

銅合金およびアルミニウム合金のカントメーターによる
分光分析における他元素の影響について

沢 田 敏 男

Effects of Other Elements in Spectrochemical
Analysis of Copper Alloys and
Aluminium Alloys by Using Quantometer

by Toshio Sawaba

住友軽金属工業株式会社研究部

論 文

銅合金およびアルミニウム合金のカントメーターによる 分光分析における他元素の影響について*

沢 田 敏 男**

Effects of Other Elements in Spectrochemical Analysis of Copper Alloys and Aluminium Alloys by Using Quantometer

by Toshio Sawada

For the spectrochemical analysis, it is necessary to know the effects of other elements.

This investigations treated this problem in detail with analytical curves for Zn, Pb, Sn, Al, Si in brass, and for Mg, Si, Fe, Mn, Cu, Zn in practical aluminium alloys.

With the point-to-plane technique, copper alloys are excited by low voltage spark ($L=360 \mu H$, $C=10 \mu F$, $R=3\Omega$) and aluminium alloys are excited by high voltage spark ($L=360 \mu H$, $C=0.007 \mu F$). Following results were obtained.-

(1) Cu-alloys;

- (a) The chart reading of Zn increased with the increasing amount of Sn, Al, Si, and decreased with the increasing amount of Pb.
 - (b) The satisfactory analytical curves for Zn, Pb in the lead brass have been obtained by plotting weight percentage in stead of contents ratio to Cu. (that is Zn% in stead of $Zn/Cu \times 60$)
 - (c) On the analytical curves for Al, Si in Albrac, differences in Zn, Al, Si contents had no effect.
- (2) Aluminium alloys (alloying elements);
- (a) The chart reading of Mg, Cu increased with 5.5% Zn, 2% up Cu contents. Analytical curves of 24S, 75S were different from other curves.
 - (b) At Si 0.3% up, chart reading of Si decreased when the alloy contains Cu and Mg. Analytical curves of 24S, 14S, Al-Mg₂Si alloys were different from other curves.
 - (c) In general, chart reading of Mn was not changed by the presence of other elements.
 - (d) Chart reading of Zinc was not changed at 1.5%Cu content and was increased by 2.5%Mg content, and was increased more by containing 2.5%Mg-1.6%Cu.
- (3) With low elements of aluminium alloys, integrating times had effects on the chart reading, and became longer with the elements in the following order Mg and Zn > Cu > Si and Mn.

*昭和33年 日本国金属学会第43回大会に一部を発表した。 **研究部

1. 緒 言

一般に分光分析方法においては可検試料と標準試料との化学的および物理的性質の類似していることが必要である。即ち成分が異なると共存元素の影響が生じたり、また試料の鋳造方法、加工熱処理の冶金的処理によって金属組織が異なって、スペクトル線の強度に影響を与えることが報告されている。⁽¹⁾⁽²⁾ この影響を無くするために溶液法が報告されているが、一度溶液にする面倒な操作があって、日常の作業分析には迅速性を増す意味から金属自体を電極とする平面試料対炭素棒の方法が用いられる。⁽³⁾

非鉄金属には多種類の材質があって、また試料履歴が種々雑多であるから日常分析作業上に共存元素の影響、試料履歴の差異による影響について知っておくことは重要なことである。そこで今回は共存元素の影響について、黄銅とアルミニウム合金の一般実用合金を対象とし、実験した結果について述べる。

2. 実験方法

銅合金では銅分の範囲が広く黄銅と青銅、銅のように銅分の大巾に異なる材質には内部標準に Cu を用いるから当然、夫々の材質によって分析条件が異なるので実験試料には Cu-Zn 合金とそれに Pb、Sn、Al および Si を添加し Cu-Zn-Pb、Cu-Zn-Sn およびアルブラック系の合金を作った。またアルミニウム合金も同時に 2 元合金と一般合金との成分規格範囲を代表するような試料を各材質毎に数個づつ作った。

実験試料の製作には鋳造方法による影響をなくするために一定の条件で鋳込むよう特に注意した。黄銅では実験用高周波炉で熔解して金型に鋳込み 65mm ϕ × 100mm の小鋳物を作り底部と上部の湯口を切断して中央部を実験試料とした。またアルミニウム合金は偏析、組織等に鋳造方法による差異があるので Fig. 1 に示したような鋳造方法の水冷

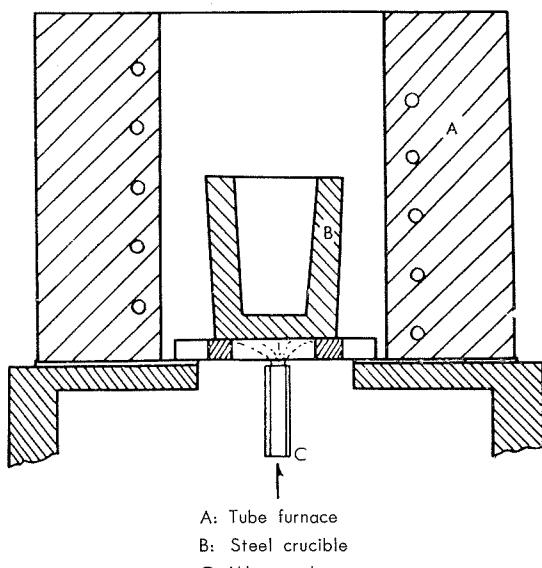


Fig. 1 Casting of Aluminium alloy sample

式小鋳物を作った。即ち管状電気炉中で 45mm ϕ × 85mm 容量の鉄製鋳型を 700°C に保温しておき、他の炉で熔解した熔湯を注ぎ底から水冷却して上部の平らなひけのない 40mm ϕ × 60mm の小鋳物を作り、上、下部の 10~20mm と表面層 2mm を削り捨てて実験試料とした。成分の決定には上下部の 2 ケ所より夫々化学分析を行って、上下間に成分的に差のないことを確めてから実験に供した。⁽⁴⁾

装置は A.R.L. の 1.5 MP.C.Q を用いて発光条件には Table 1 に示したように、黄銅系にマルチソースの低圧スパーク法を、アルミニウム合金に高圧スパーク法を用いた。また用いたスペクトル線は後图表中に示した。この一定条件で同時に発光させて、夫々の材質のスペクトル線強度と含有量との関係曲線、即ち検量線を調べ材質の差異による検量線の相異、即ち元素間の影響を比較検討した。

Table 1 Excitation condition.

Alloy	Cu-alloys		Al-alloys
	Discharge	Low voltage spark	High voltage spark
Inductance, μH		360	360
Capacitance, μF		10	0.007
Resistance, Ω		3	Residual
Out-put voltage, V		1,000	17 KV
Pre-sparking time, sec.		15	10
Integration time, sec.	About 25		About 20
Spark gap, mm		3	3
Sample	Disk, +		Disk, +
Counter electrode	120° Cone, -		20° Hemispher, -

3. 実験結果とその検討

3.1 黄銅

3.1.1 Zn および Pb, Sn, Al および Si の影響。

Cu-Zn, Cu-Zn-Pb および Cu-Zn-Sn の (Table 2 に示した成分の) 試料によって求めた検量線を Fig. 2 に示す。Cu-Zn の 2 元合金は直線の検量線が得られたのに対して、Pb が 1.0% 含まれると検量線の形は直線であるけれども Zn の限度が低くなり、3%になると更に Zn の強度が低くなってしまふかも検量線が曲がった。また Zn 35% 近は、Pb 0.5% の試料と Cu-Zn の試料は同一検量線上に乗ったが Zn 40% に対しては Zn/Cu の強度比を低くする影響がみられ Pb の含有量と共に低下することがわかった。Sn は Pb と逆に含有量と共に増加する傾向を示した。この場合、内部標準の Cu の光の強弱を充電時間で比較すると Cu-Zn は 25.5~26.5 秒、Cu-Zn-Pb は 24.5~25.5 秒、Cu-Zn-Sn では 24~25 秒であつて差は 1 秒程の短かい時間ではあるが Pb および Sn の共存により Cu の強度も多少増加する傾向にある。

Fig. 3 には Zn の含有量を Zn/Cu × 60 の代りに化学分析値の含有率で求めた検量線を示した。この場合、Sn の傾向は Fig. 2 と同じであったけれども、Pb は Cu-Zn の検量線に接近して Pb のように固溶しない元素は直接に Zn のスペクトル線強度に影響のないことを示す。Cu-Zn-Pb 系の Zn の検量線には、充電時間が同程度であるので化学分析値の含有率を用いた方がよい。

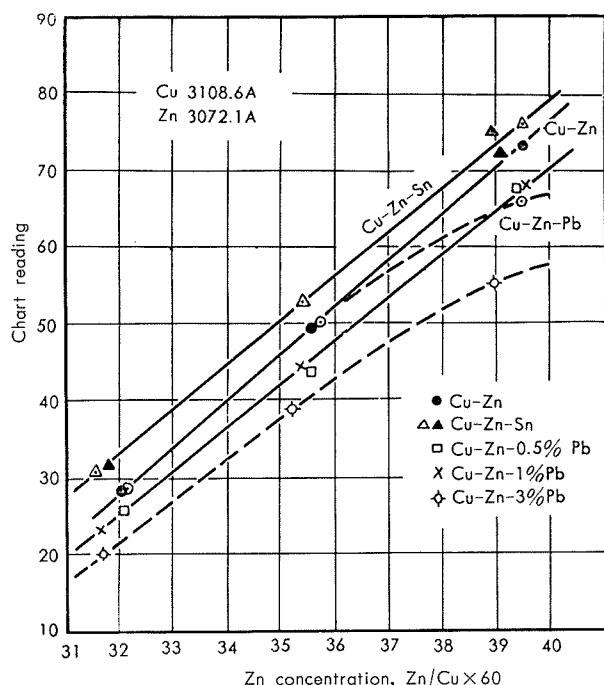


Table 2 Chemical compositions of samples

Material	Chemical composition, %				
	Cu	Pb	Sn	Fe	Zn
Cu-Zn	65.34	0.006	Tr	0.013	34.64
	62.80	0.008	Tr	0.012	37.18
	60.25	0.007	Tr	0.015	39.73
Cu-Zn-Pb	64.78	0.57	Tr	0.017	34.63
	62.40	0.46	Tr	0.021	37.12
	60.08	0.47	Tr	0.015	39.44
	64.86	0.97	Tr	0.017	34.15
	62.25	1.05	Tr	0.019	36.68
	59.83	0.73	Tr	0.018	39.42
	64.28	1.40	Tr	0.020	34.30
	61.99	1.29	Tr	0.018	36.70
	59.66	1.09	Tr	0.016	39.23
	63.17	3.28	Tr	0.014	33.54
	60.97	3.25	Tr	0.020	35.76
	58.68	3.20	Tr	0.019	38.10
Cu-Zn-Sn	64.96	0.010	0.63	0.015	34.39
	60.20	0.009	0.63	0.014	39.15
	64.80	0.011	1.12	0.017	34.50
	62.17	0.010	1.16	0.016	36.64
	59.61	0.010	1.11	0.014	39.26
	59.51	0.012	1.88	0.015	38.53

Zn % = Remainder

Fig. 4 は Cu-20%Zn の丹銅と同程度の Cu を含むアルブラックを比較した結果である。アルブラック系の実験試料は Table 3 に示した成分であって、Cu 75~81%、Zn 16~24%、Al 1.5~3%、Si 0~0.4% および As 0.07% の試料である。Zn は Si と Al の影響をうけて Cu-Zn 系と Cu-Zn-2%Al 系と Cu-Zn-2%Al-0.3%Si 系とは夫々の検量線となつて、Zn/Cu の強度比は Al、Si の添加により高くなつた。充電時間を比較すると Cu-Zn の 2 元合金が一番長く次に Cu-Zn-Al, Al および Si が共存すると短くなり Cu のスペクトル線強度が強くなつた。即

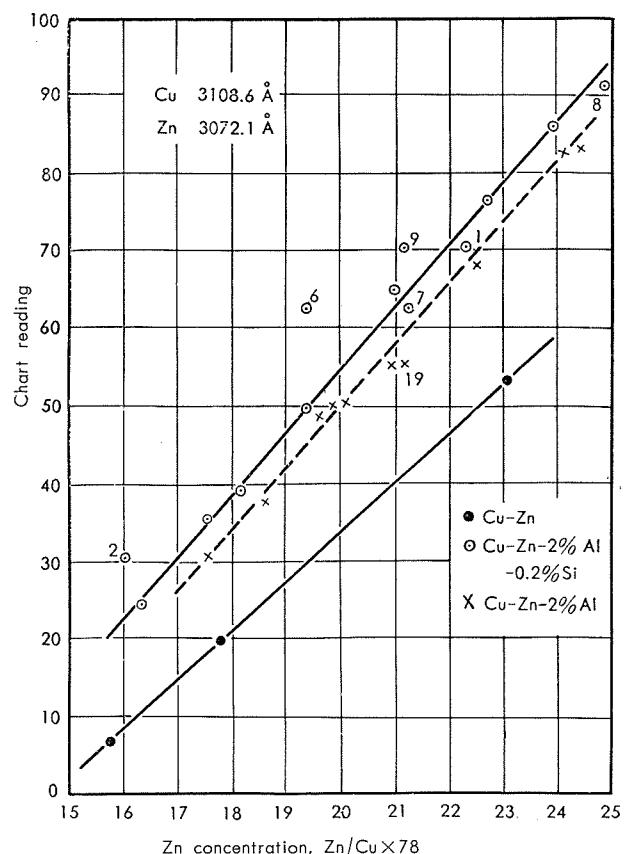
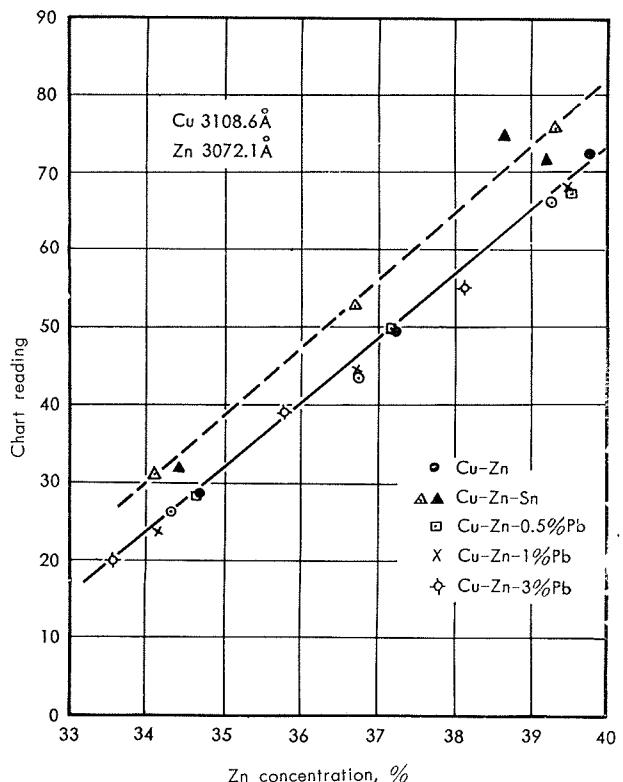


Table 3 Chemical compositions of samples

Mark No.	Chemical composition, %						
	Cu	Al	Si	As	Fe	Pb	Zn
1	76.49	1.36	0.13	0.020	0.037	0.052	21.91
2	80.13	2.94	0.23	0.029	0.088	0.078	16.46
3	78.30	1.58	0.25	0.040	0.009	Tr	19.48
4	74.91	1.83	0.25	0.050	0.009	Tr	22.59
5	80.99	1.74	0.25	0.040	0.010	Tr	16.99
6	77.95	2.50	0.21	0.060	0.014	Tr	19.26
7	77.24	1.45	0.22	0.059	0.010	Tr	21.03
8	74.17	1.93	0.16	0.030	0.010	Tr	23.70
9	76.73	1.96	0.40	0.060	0.010	Tr	20.84
10	79.31	1.96	0.17	0.070	0.010	Tr	18.49
11	75.69	1.98	0.23	0.060	0.013	Tr	22.06
12	77.02	1.96	0.22	0.050	0.010	Tr	20.74
13	79.86	1.93	0.23	0.060	0.010	Tr	17.92
14	77.06	2.12	Tr	0.077	0.024	Tr	20.72
15	77.62	2.53	Tr	0.084	0.019	Tr	19.75
16	78.10	2.15	Tr	0.070	0.023	Tr	19.68
17	78.01	1.79	Tr	0.074	0.018	Tr	20.11
18	77.38	1.51	Tr	0.076	0.015	Tr	21.02
19	79.87	2.01	Tr	0.071	0.017	Tr	18.03
20	78.97	2.09	Tr	Tr	0.020	Tr	18.92
21	75.92	2.06	Tr	0.073	0.018	Tr	21.93
22	74.79	1.99	Tr	0.078	0.020	Tr	23.12

ち放電が強くなつて充電時間が短くなるにもかかわらず Zn の光量が高くなる。つぎに Cu-Zn-Al、Cu-Zn-Al-Si 系の個々の試料について Al、Si の含有量と検量線の Zn/Cu 強度比の関係を調べてみると、Cu-Zn-Al 系の検量線より高く外れている試料は No.6 の Al 2.5%、No.2 の Al 2.9%、No.9 の Si 0.4% で、低く外れている No.8 は Si 0.16%、No.1 は Si 0.13%、No.7 は Al 0.15% であつて、Al より Si の標準値 Al 2% および Si 0.25% より高い含有量のものが高く、低いものが低く外れる結果となつた。同様に Cu-Zn-Al 系の場合にも低く外れる試料 No.19 は Al 1.5% であつて標準値の 2% より低い値である。これらの結果から Al、Si の共存により Zn の強度が増加することがわかつた。Si 0.3% 程度の共存により影響を与えることは高力黄銅の場合にもみられる現象である。

3・1・2 Pb におよぼす Zn の影響

Fig. 5 には Table 2 の試料の外に Pb 2% の試料を加えて Cu 60~65% 範囲の Pb の検量線を示した。前項の Zn の場合と同様に、Zn 含有量に Pb/Cu×60、化学分析値の含有率の両者を用いた検量線を示しているが、Pb/Cu×60 の Cu に対する Zn 量の場合には Zn 38~36% の範囲の試料は同一検量線上に乗るが Zn 33~34% 即ち Cu 65% の試料の検量線は分れて Pb/Cu の強度比が高くなつて Zn の影響がみられる。両者とも検量線の形は曲線となつて、Cu 63%-Pb 3.8% の試料のみが著しく高くなつて検量曲線より外れる。Zn 含有量に化学分析値の含有率を用いた場合は同一検量曲線上に乗つて前者と同様、Cu 63%-Pb 3.3% の試料のみが外れ、Zn の場合と同様に Pb はこの範囲における Cu および Zn の影響は無いものと考える。Pb が 3% のように多くなつてしまふ Zn 33.5% の α 相になると Pb の粒度の影響、金属組織の影響がみられ注意すべき点である。鉛入り黄銅の一般合金は Cu 56~62% の 60% 前後の合金であるから Pb の分析には Zn の場合と同時に

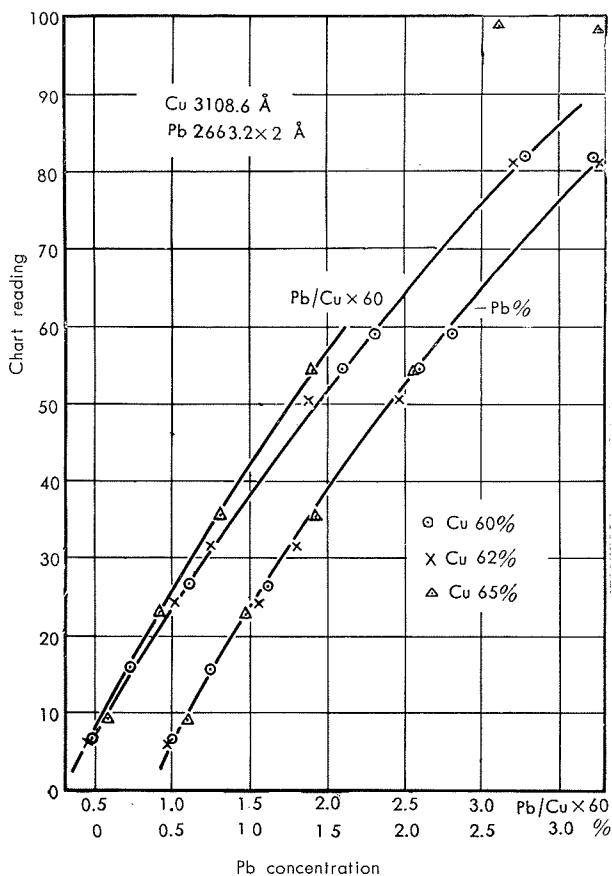


Fig. 5 Effect of Zn for Pb in Pb brass.

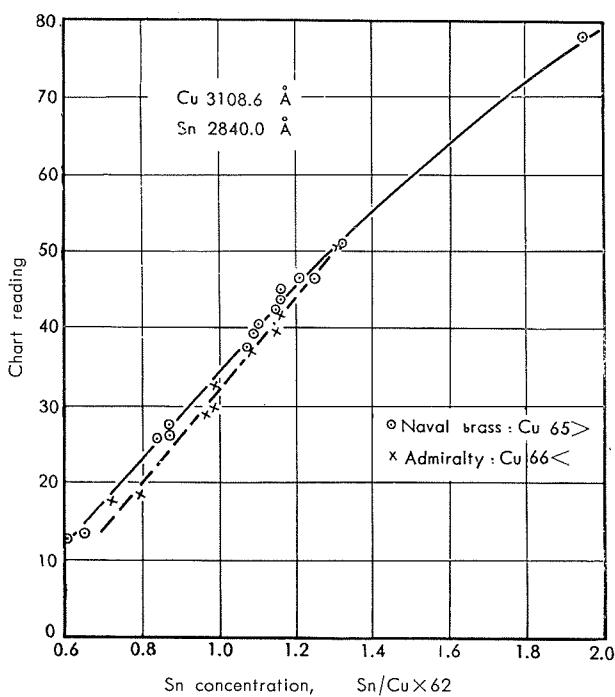


Fig. 6 Effect of Zn on analytical curve for Sn in Naval brass and Admiralty.

化学分析値の含有率を用いた検量線で求めた方がよいと考える。

3・1・3 Sn におよぼす Zn の影響

Cu-Zn-Sn 系の合金にはネーベル黄銅、アドミラリチー

の合金があるので同一条件で製作したネーバル黄銅にアドミラリチー用の標準試料も合せて実験した結果を Fig. 6 に示す。含有量には化学分析値の含有率ではよい検量線が求められないもの比較のために $\text{Sn}/\text{Cu} \times 62$ の Cu に対する Sn の量で示したものであるが大体において Cu 65% 以下、66% 以上の 2 群に分かれるようでネーバル黄銅とアドミラリチーとは充電時間も異なるので当然なことではあるが Zn(Cu) の影響がみられて別々の検量線を求める必要がある。

3・1・4 Al および Si におよぼす影響

アルブラックで Al および Si が Zn に対して影響し充電時間即ち Cu の強度にも影響を与えたので逆の場合の Al、Si および Zn 間の影響を調べた。その結果が Fig. 7 であつて Cu 80~75% (Zn 16~24%) の範囲内では充電時間に多少の差があつても、Al は Si の有無にかかわらず直線の検量線が得られ、Si も Al 量の高低にかかわらず直線の検量線になって Zn に対するような相互の影響はみられない。

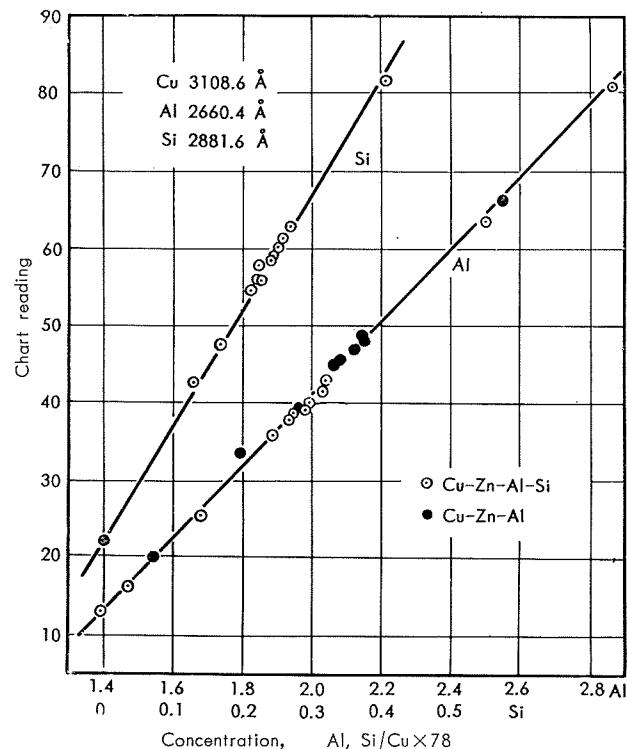


Fig. 7 Analytical curve for Al and Si in Albrac.

3・2 アルミニウム合金

アルミニウム合金の対象としてアルミニウムの 2S と合金に 3S、11S、43S、Al-Mg₂Si 系の 61S、高力アルミニウム合金の 17S、24S、75S、Al-Mg 系耐食合金の 52S、56S、鋳物用合金のラウタル等の一般実用合金を用いて、Mg、Si、Fe、Mn、Cu、Zn におよぼす影響を調べた。

3・2・1 Mg におよぼす影響

Fig. 8 に Al-Mg の 2 元合金と Al-Mg₂Si、61S、17S、24S、Al-Mg-1%Cu と 17S、24S 系の Cu 含有量を 2% に減らした試料とによる検量線を示す。実験試料の成分は

Table 4 Chemical compositions of Al-Mg-Si alloys.

Material	Chemical composition, %				
	Cu	Fe	Si	Mg	Mn
Al-Mg ₂ Si	0.002	0.04	0.37	0.52	0.002
	0.003	0.05	0.62	1.01	0.001
	0.002	0.06	0.86	1.60	0.002
	0.003	0.06	1.07	2.09	0.002
	0.002	0.07	1.35	2.59	0.002
Al-Mg-Si	0.002	0.05	0.84	1.01	0.002
	0.003	0.06	1.07	1.23	0.001
	0.003	0.06	1.21	1.27	0.001
	0.002	0.04	0.40	1.17	0.002
Al-Mg-Si	0.002	0.04	0.57	0.66	0.001
	0.002	0.03	0.60	1.52	0.002
	0.002	0.04	0.57	2.13	0.001
	0.002	0.04	0.59	2.53	0.001

表示しなかつたが各合金の規格内の値であつて Al-Mg₂Si の試料は Table 4 に示す。Al-Mg 2 元合金は 99.99 Al を

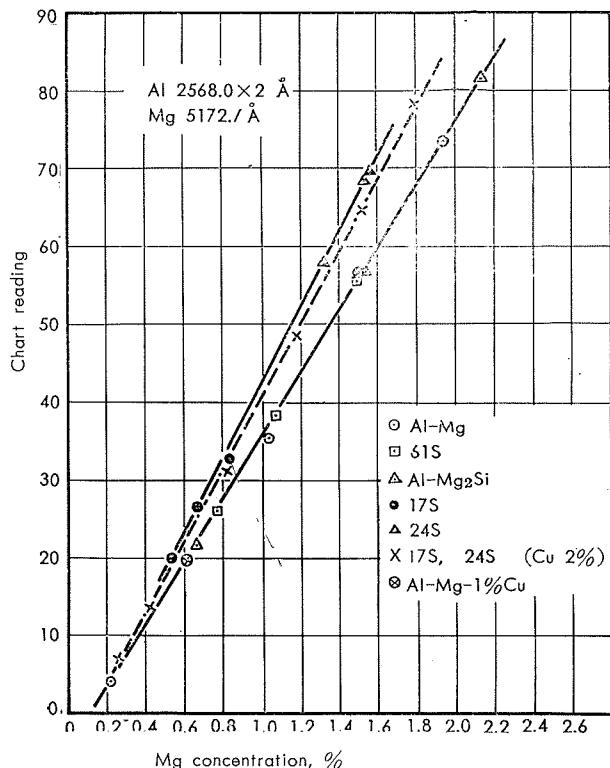


Fig. 8 Effect of Cu on the analytical curve for Mg in Al alloys.

用いて作ったもので Cu、Fe、Si の不純物は 0.01% 以下で Al-Mg-1%Cu 合金も不純物の Fe、Si は 0.01~0.03% の微量である。Fig. 8 より Al-Mg 2 元合金と Al-Mg₂Si、61S、Al-Mg-1%Cu の合金は同一検量線上に、17S、24S 系は 2 元合金の検量線上よりも高くなつて同一検量線上に、Cu 含有量を 2% にした 17S、24S 系合金は 24S 系よりも低く Al-Mg-1%Cu 合金より高くて夫々の系列の合金は直線の検量線となって、Mg は Cu の共存によって影響をうける。この結果は Mg 2% 以下の合金を対象としたもので 2% 以上の合金については 2 元合金、52S、56S、Al-Mg-0.5%Mn、75S の実験結果を Fig. 9 に示す。図より 52S、56S は当然、Al-Mg の合金で 2 元合金検量線に乗る

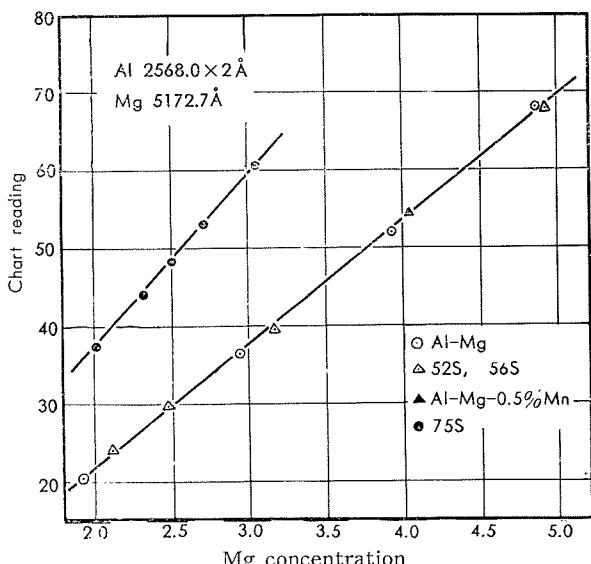


Fig. 9 Effect of Cu and Mn on analytical curve for Mg in Al-alloys.

わけであるが Al-Mg-0.5% Mn も同一検量線上に乗って 0.5% Mn の影響のないことがわかった。しかし 75S は充電時間の差もあるが充電時間の差以上に、Mg/Al の強度比が増加する傾向を示した。75S の成分は Cu 1.6%、Zn 5.5% のもので Fig. 8 の Cu の影響以上に増加し Zn の影響の大きいことがわかった。Fig. 8、Fig. 9 からわかったことは 1% 以下の Cu、Mn、Si、等は影響がなく 2~4% 以上の Cu、5.5% Zn のように数% 以上になると影響すると考られ、特に Zn の影響は大きい。Mg と Si は Mg_2Si の金属化合物を形成するので、Table 4 に示したような Al-Mg₂Si と Si を 0.5% にして Mg の含有量を変えた合金と Mg を 1.2% として Si の含有量を変えた合金による Si の影響を調べ

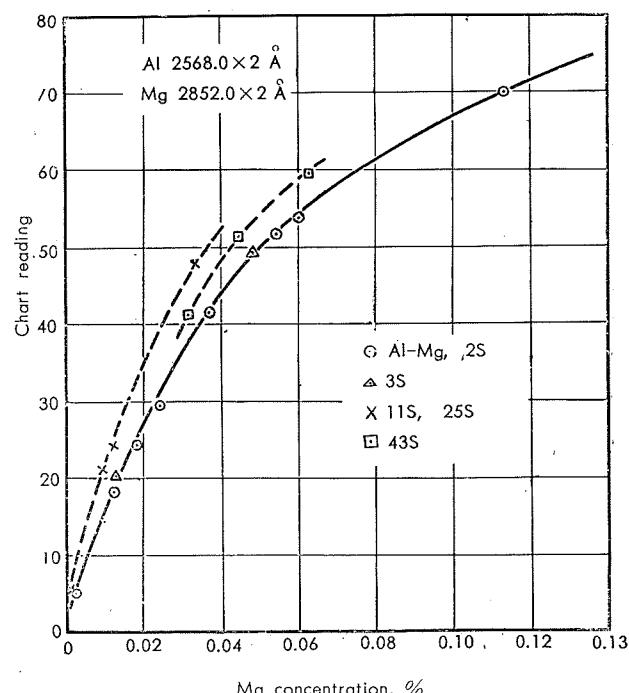


Fig. 10 Effect of Cu and Si on the analytical curve for low Mg in Al-alloys.

てみた。Fig. 8 からでも Si の影響のないことは明かであるけれども充電時間を一定にして Mg/Al の強度比と Mg/Al の濃度比による関係曲線からも検討したが Si 1.35% 近は影響のないことを確めた。

Fig. 10 には微量の Mg について Al-2568.0×2-Mg 2852.0×2 のスペクトル線対を用いて 2S、3S、11S、43S の試料について実験した結果を示す。図より 2S と 3S は同一曲線上に乘り 1.2% の Mn は影響がないが 43S の Si 5% 程度共存すると Mg/Al の強度比が増加する。11S の Cu 5.5%、25S の 4% 共存すると増加する結果となり検量線の形はそれの合金も曲線となつた。

カントメーター分析の検量線は Cu、Zn の含有量に影響され、高力アルミニウム合金は別になり、耐食アルミニウム合金のように Mg 以外の添加元素量が 1% 以下の場合は同一検量線で Al-Mg の 2 元合金の検量線を用いることが出来る。

3・2・2 Si におよぼす影響

Fig. 11 には 2S、3S、52S、61S、17S、14S、25S、24S および 11S の試料について実験した結果を示す。0.3% 以下の

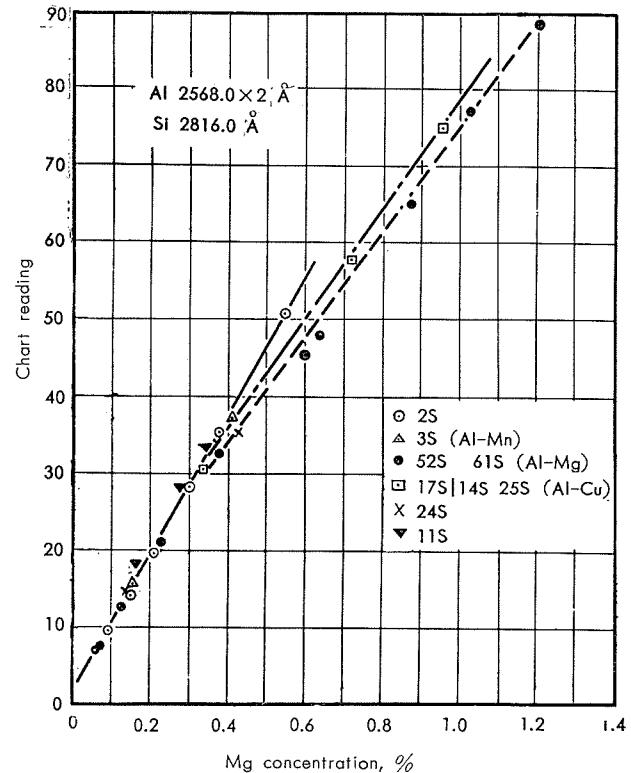


Fig. 11 Effect of Cu and Mg on analytical curve for Si in Al-alloys.

Si については何れの合金も同一検量線上に乘り影響はみられない。しかし比較的充電時間の長い Cu 5.5% を含む 11S が高くなる傾向がみられる。Si 0.3% 以上になると、Al-Si 系とみられる 2S は、0.3% 以下の検量線の延長上に乗るけれども 14S、25S、および 61S 系の Si は 0.3% 附近から折れて 2S よりも強度比の低い直線的な検量線が得られる。即ち Cu、Mg の影響がみられ 14S、25S、24S の成分を比較すると、Cu は大体 4% で Mg が 0.5% 無、1.5%

と異なって Mg の多い 24S が 61S 系の検量線上に乗っていることから Mg による影響が大きいと考えられる。Mg のときも述べたが Mg, Si は金属化合物を形成するので Mg の実験の場合と同時に Table 4 の Al-Mg₂Si 系と Al-Si-1.2%Mg 系の比較を Al スペクトル線の光量を一定にする方法と写真分光分析のように充電時間を一定にして暗電流のみを補正して Si/Al の強度比を求めて検討した結果を Fig. 12 に示す。図より明らかに、Mg が一定で Si のみを変えた試料による検量線は直線関係を示し、これに対して Al-Mg₂Si 系の試料による検量線は曲線となって交叉する。即ち Mg の低いときは高く Mg の高いときは低くなつて、しかも両実験方法でも同じ傾向を示し Mg の影響

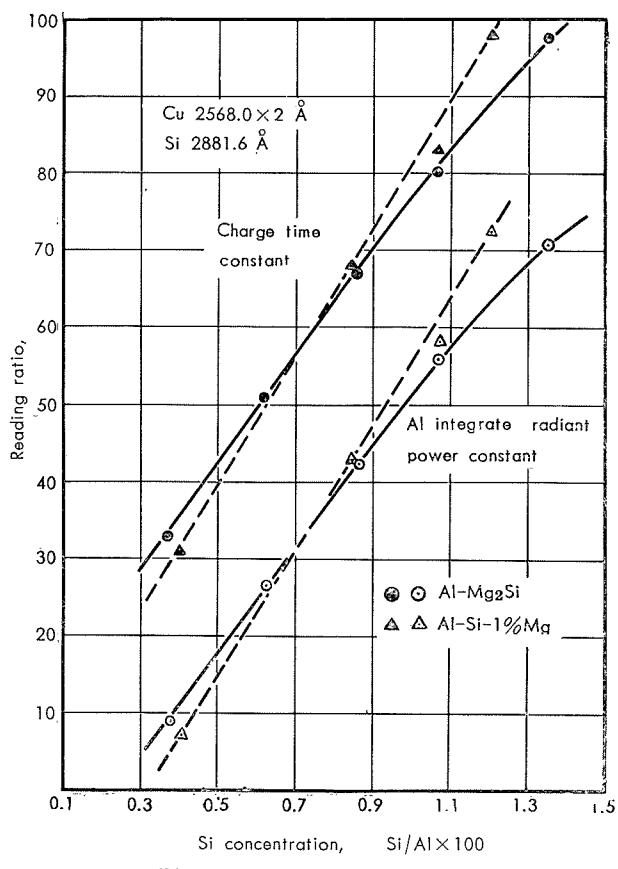


Fig. 12 Effect of Mg for Si

を確認した。もしも Mg₂Si の影響とすれば 1.2%Mg を共存する試料の Mg₂Si を成形する Si の量から両検量線は重なるものと考えるから Mg₂Si の化合物の形成とは考えられない。

3・2・3 Fe におよぼす影響

Fe は合金成分ではなく不純物として含まれる程度で一般合金中には 1%以上も含有していないので 0.7%以下の結果を Fig. 13 に示す。図より 2S, 3S, 61S, 52S, 56S および 43S が同一検量線上に乗って Mn, Mg および Si の影響はないことがわかる。しかし 17S, 24S, 11S のように Cu が 4%、5.5%共存すると充電時間も長くなるが Cu の増加と共に高くなり影響がみられる。

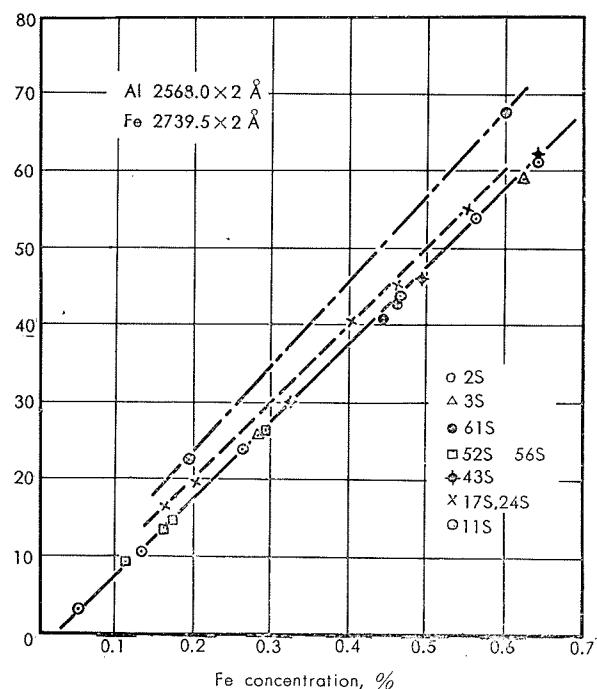


Fig. 13 Analytical curve for Fe in Al-alloys

3・2・4 Mn におよぼす影響

Fig. 14 には Al-Mn 2 元合金と 3S, 17S, 24S, Al-4.5%-Mn および ラウタルの実験結果を示す。何れの合金も同一検量線上になって影響がないと考える。0.1%以下の不純物程度のものもスペクトル線対は同じであるから Fig. 15 に示すように 52S, 56S, 61S および 43S も Mg および Si

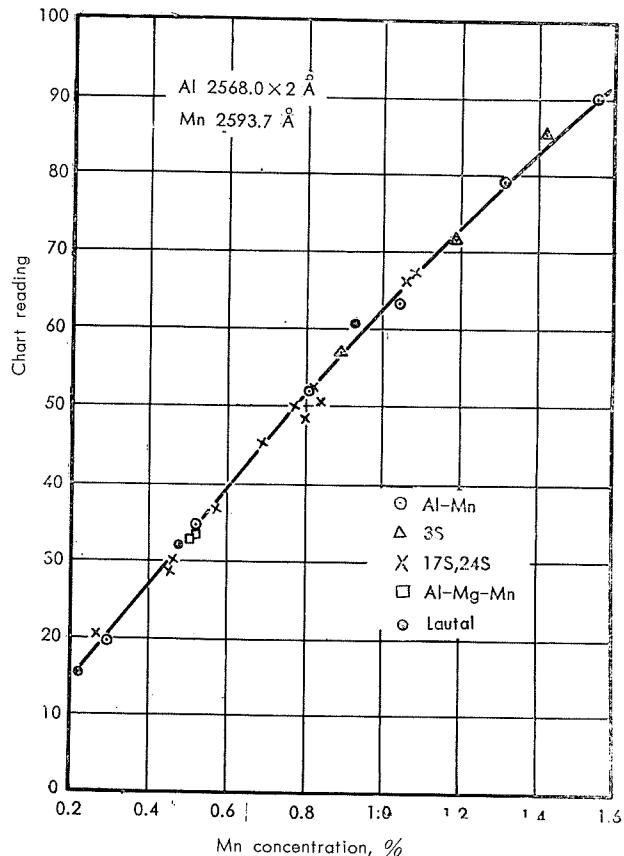


Fig. 14 Analytical curve for Mn in Al alloys.

の影響なく 2S と同じ検量線となる。しかし 11S の場合は Fe, Mg および Si の場合と同様に少し高くなる傾向がみられる。Mn は比較的他元素の影響がなくカントメーター分析では Al-Mn の 2 元合金の検量線で求めることが出来る。

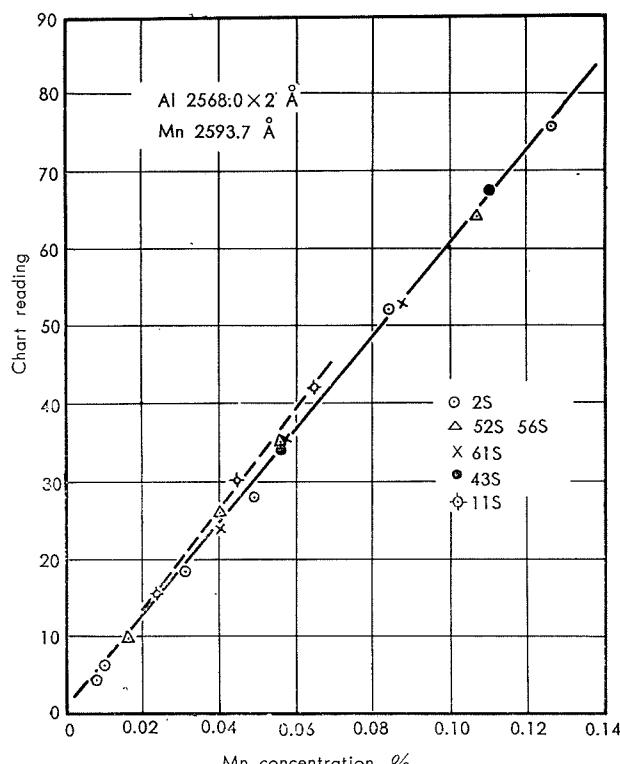


Fig. 15 Analytical curve for low Mn in Al alloys.

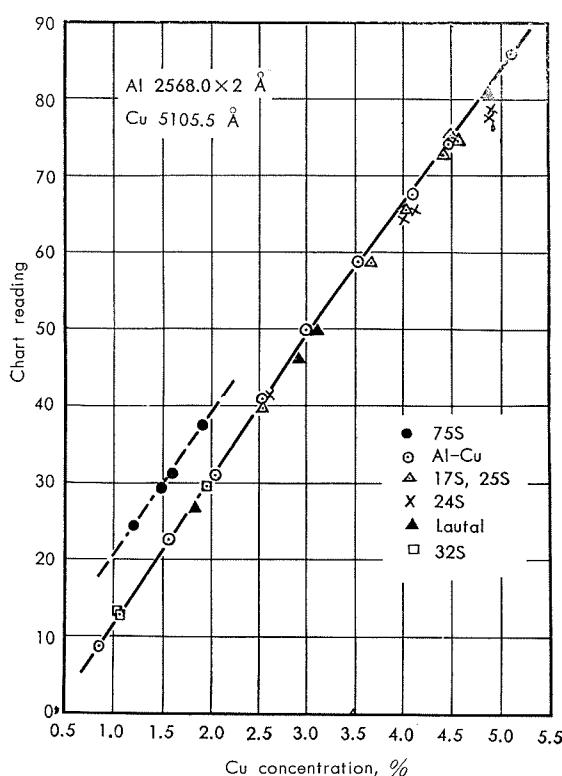


Fig. 16 Effect of Zn on analytical curve for Cu in Al-alloys.

3・2・5 Cu におよぶ影響

Fig. 16 には 1~5%間の Cu をスペクトル線対に Al 2568.0×2-Cu 5105.5 を用いて Al-Cu 2 元合金と 17S, 25S, 24S, ラウタル, 32S, 75S の合金を比較実験した結果を示す。図より Al-Cu 2 元合金の検量線は直線に近い曲線となって Cu の含有量の低い 2.5%以下では他元素の影響をうけることなく何れの場合も同一検量線となる。しかしながら Cu が 3 %以上の合金になると強度比が少し低くなる傾向がある、24S のように Mg 1.5%を含むとその影響がみられる。また Zn 5 %程共存すると強度が増加して、その影響が著しいので 75S の検量線は他の合金の検量線とは非常に大きな差異がみられる。

Al-Cu は CuAl₂ の金属化合物を形成し、CuAl₂ の挙動によって強度比の変化があることを経験しているので試料の製作、金属組織等の因子が多々含まれて今後追究しなければならぬ問題である。

Fig. 17 には不純物の Cu についてスペクトル線対に Al 2568.0×2-Cu 3273.9 を用いて実験した結果を示す。2S のアルミニウム系の検量線上に、Al-Mn の 3S, Al-Mg 系の 56S および 52S, Al-Mg₂Si 系の A51S の合金は乗って 1 %程度の Si および Mn, 5 %程度迄の Mg には影響のないことを示している。Si 5 %の 43S になるとこれも充電時間が 52S よりも短いけれども微量 Mg のときと同時に強度比の増加する傾向がみられる。

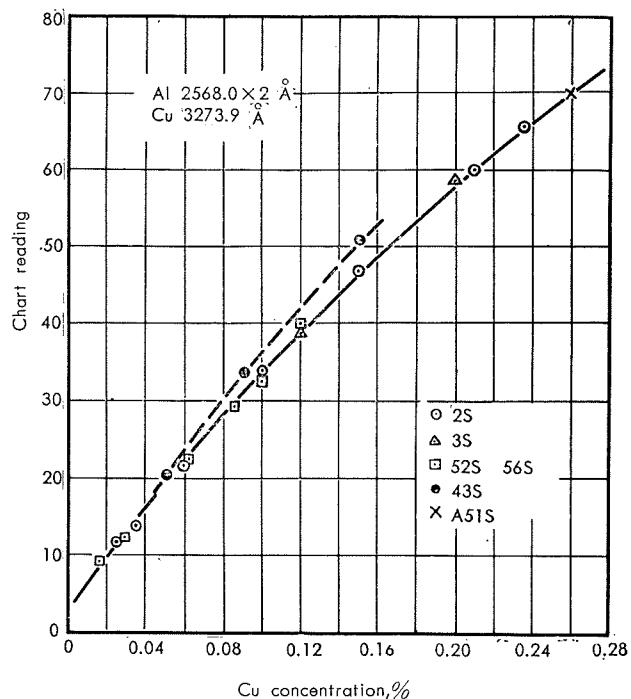


Fig. 17 Analytical curve for low Cu in Al alloys.

3・2・6 Zn におよぼす影響

Fig. 18 には Al-Zn 2 元合金と 75S、また 75S 系で Al-Cu-Zn, Al-Mg-Zn および Al-Cu-Mg-Zn の 3 元、4 元合金を作り Cu および Mg の影響について実験した結果を示す。Table 5 に示したような成分で 75S の合金と Al-

Zn の 2 元合金間には大きな差異がある。Cu, Mg の影響がみられる。しかしながら Al-Cu-Zn の 3 元合金は Al-Zn の検量線上に乗り、Al-Mg-Zn 合金は強度比が増加し、Al-Cu-Mg-Zn 合金になると 75S の検量線に乗る。即ち Cu 1.5% は影響がなく、Mg 2.5% で増加、Cu および Mg が共に含まれると更に増加して影響が大きい。Al-Cu-Zn は固溶体であり Mg, Cu が共存すると化合物を形成するので組織上の因子が存在するのであろう。

不純物程度の Zn はスペクトル線に 3345.0 を用いているがこの附近は Back ground が大きいので充電時間の差が影響する。今回の実験では共通の検量線を見出すことは出来なかった。

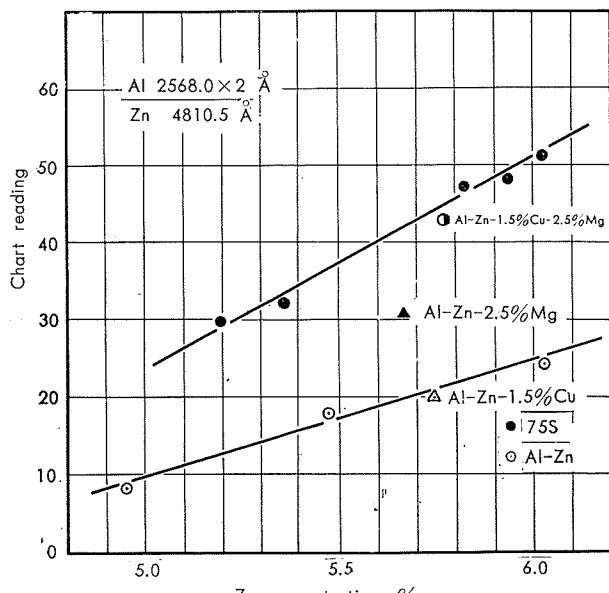


Fig. 18 Effect of Mg and Cu on analytical curve for Zn in Al alloys.

Table 5 Chemical compositions of samples.

Material	Chemical composition, %				
	Cu	Mg	Zn	Fe	Si
Al-Zn	0.002	Tr	4.95	0.02	0.01
	0.002	Tr	5.47	0.02	0.01
	0.002	Tr	6.03	0.02	0.01
Al-Cu-Zn	1.64	Tr	5.74	0.03	0.02
Al-Zn-Mg	0.02	2.55	5.67	0.05	0.02
Al-Cu-Mg-Zn	1.62	2.54	5.78	0.04	0.01

3・2・7 充電時間について。

前項迄に我々充電時間について云々してきたが充電時間とは Al スペクトル線の光量が一定値に達する迄の時間であって合金中の Al 含有量に支配されるものである。Al 99% の 2S が 20 秒の充電時間として、もし Al 90% の合金が影響なく同一放電すると仮定すれば充電時間は $20 \times 99/90 = 22$ 秒、となって 2 秒長くなるのみである。実際は共存元素の影響があり放電が変化する。実用合金の充電時間を 2 元合金と比較したのが Table 6 である。表より充電時間の短長で Al スペクトル線への影響を云々すれば大体において Zn, Mg > Cu > Si, Mn という順になり Zn および

Mg が影響を与える。Al スペクトル線に影響を与えても可検元素にも Al と同程度を影響を与えるれば共存元素の影響は現われないけれども 75S また Si に対する Mg の影響等から Zn, Mg および Cu の含有量が影響を与えることはうなづけられることである。

Table 6 Integration time on aluminium alloys.

Material	Integration time, sec	Material	Integration time, sec
2S	20.5	17S	23.5
3S	20.0	A 17S	23.4
Al-1.5% Mn	19.9	Al-5% Cu	23.1
Al-1% Si	20.1	Al-1% Zn	23.0
Al-4% Si	21.1	52S	24.2
Al-7% Si	21.1	Al-2% Mg	24.4
Al-11% Si	21.2	11S	26.0
43S	22.0	24S	26.6
Al-1% Cu	22.0	56S	27.0
Al-1% Mg	22.4	Al-4% Mg	27.0
61S	22.5	Al-4% Zn	27.0
14S	22.6	Al-6% Mg	28.5
23S	22.6	Al-5.5% Zn	28.1
A 51S	22.5	75S	30.0

4 結 言

カントメーターで黄銅、ネーベル黄銅、鉛入り黄銅、アルブラックの Zn, Pb, Sn, Al および Si と一般実用アルミニウム合金の Mg, Si, Fe, Mn, Cu および Zn について検量線を比較し共存元素の影響を検討した。得られた結果はつぎのようである。

銅 合 金

(1) Zn の強度比は Sn, Al および Si の共存によって高く、Pb の共存によって低くなる。

(2) 鉛入り黄銅では検量線の濃度に分析値のままを用いれば Pb および Zn の含有量の差異による影響を受けないで 1 本の検量線になる。

(3) アルブラック中の Al および Si は Zn の含有量の差異、Al および Si の相互の含有量の差異に影響を受けない。

アルミニウム合金

(1) Mg は 2% 以上の高い Cu および Zn の共存によって高く、Cu は Zn によって高くなるので 24S, 75S の検量線は高くなる。

(2) Si は 0.3% 以上になると Cu および Mg の共存によつて低く特に Mg の 1% で影響がみられ 14S, 25S, Al-Mg₂Si 系の合金は別々の検量線になる。

(3) Fe は Cu 4% の共存によって高くなり 11S, 24S 系は別の検量線となる。

(4) Mn はあまり他元素の影響を受けない。

(5) Zn は 1.5% Cu には影響をうけないが 2.5% Mg, 1.6% Cu-2.5% Mg の共存により高くなる。

(6) 不純物程度の低い量では充電時間の差が影響する。充電時間を長くするのは Zn, Mg > Cu > Si, Mn の順序である。

参 考 文 献

- (1) 大藤：日本金属学会誌, 20 (1956), 683.
- (2) 大藤：日本金属学会誌, 20 (1956), 687.
- (3) P.T. Beale and Daphne A. Payter : Metallurgia, 52 (1955), 253.
- (4) 沢田：本誌, 1 (1960), 55.

東京電力株式会社新東京火力発電所における
モデルコンデンサーによる復水器管の腐食試験（第1報）

大津武通 大川睦

Corrosion Testing on Condenser Tubes by Model
Condenser at Shin-Tokyo Power Station (Rep. 1)

by Takemichi Ōtsu and Mutsumi Ōkawa

住友軽金属工業株式会社

論 文

東京電力株式会社新東京火力発電所における モデルコンデンサーによる復水管の腐食試験

(第 1 報)

大 津 武 通* 大 川 陸**

Corrosion Testing on Condenser Tubes by Model Condenser at Shin-Tokyo Power Station

(Rep. 1)

by Takemichi Ōtsu and Mutsumi Ōkawa

In order to investigate the factors of corrosion and their methods of prevention on the condenser tubes by the polluted brackish water at Sumida River near Tokyo Bay, the corrosion experiments were carried out on the model condenser at Shin Tokyo Power Station. The tests were mainly for the following purposes:

- 1) The comparisons of the corrosion resistance between Albrac (patented aluminium brass), aluminium brass, aluminium bronze, 30% cupronickel and 10% cupronickel.
- 2) The effect of the velocity of the cooling water on the corrosion of Albrac and 30% cupronickel.
- 3) The effect of the periodic cleaning of tubes on the corrosion (the period was every half a month).

Some of the results obtained for the period from August 11, 1959 to August 19, 1960, were as follows: (The analysis of brackish water was conducted twice a month during the test period.)

- 1) Albrac, aluminium brass and aluminium bronze have suffered the corrosion of the type of pitting corrosion, and cupronickel the comparatively light general corrosion.
The order of the area of corrosion: Cupronickel > Al bronze > Al brass > Albrac.
The order of the depth of corrosion: Al brass > Al bronze > Albrac > Cupronickel.
- 2) In Albrac, aluminium brass, and aluminium bronze, the number of pitting was more when there are more slime-like scale on the inside wall of the tubes, and the depth of the pitting was deeper when the more velocity of the cooling water.

Therefore, with the same material and velocity, the number of pitting was less on the tubes which are frequently cleaned than those uncleared and the depth of pitting was shallow in the former.

With the low velocity of cooling water, the amount of scale and the number of pitting increased, while at high velocity the amount of scale was much reduced and the number of pitting slightly decreased but the depth of pitting increased.

- 3) By the analysis of the scale on the inside wall of tubes, a large amount of S²⁻ was detected.
- 4) By the analysis of the cooling water, the existence of S²⁻ was detected.

本研究は東京電力（株）と住友軽金属（株）との協力による『新東京火力発電所のモデルコンデンサーに於る復水管実地腐食試験』第1報（昭和35年1月）～第4報（昭和35年10月）および第1期試験報告（昭和35年11月）を基

としてまとめたものである。

原報告は東京電力（株）新東京火力発電所技術課、斎藤、下田、住友軽金属（株）研究部、大津、大川により原案がつくられ、東京電力（株）火力部および新東京火力発電所の関係者の討議検討を経て作成されたものである。

*研究部 工学博士 **研究部

1. 緒 言

大都市に於ける港湾或は河川は都市下水や工業廃水の混入で年々汚染が増大しつつあり、その汚染水を冷却水とする最近の新鋭火力発電所の復水器管には、従来のように清浄海水を冷却水とした場合とは異った異常腐食を生ずる傾向が認められつつあるが、まだかかる異常腐食に対する研究⁽¹⁾が少く、その対策も必ずしも確立したとは云えない現状である。

東京都隅田川河口の汚染河海水を冷却水とする東京電力㈱新東京火力発電所の復水器管の腐食はその代表的なものの1つであり、使用開始後短期間にして管内全面に斑点状の腐食が密生し、1年余で早くも漏洩管が発生するという状況であり、この腐食問題を早急に解決する必要に迫られている。

かかる現状にあるために、東京電力㈱および住友軽金属㈱協同の下に、昭和34年8月に新東京火力発電所内にモデルコンデンサーを作成し、同発電所の冷却水取水路の水を用いて復水器管の実地腐食試験を行い、上記腐食問題の解決をはかることとした。

この試験は昭和34年8月から開始し、翌35年8月までの1ヶ年間を第1期試験として、この間にアルブラック、アルミニウム黄銅、アルミニウム青銅、キュプロニッケル、ニッケル銅合金、不銹鋼等の各種復水器管材の耐食性ならびに管内掃除や冷却水流速等の使用条件の腐食におよぼす影響等を明らかにすると共に、汚染水腐食因子を探究することを目的とした。

本論文は上記の第1期試験の結果をまとめて報告するものである。

2. 試験概要

東京電力株式会社新東京火力発電所内にモデルコンデンサーを設置し、昭和34年8月から、次の成果を目的とする復水器管の腐食試験を開始した。

- (1) 当地汚染冷却水に対する最適材料の確認
- (2) 冷却水の管内流速の腐食に及ぼす影響の確認
- (3) 管内面掃除の防食効果の確認
- (4) 管と管板の溶接合の耐食性の確認
- (5) 水質分析等による汚染水腐食因子の探究

試験は管内に冷却水を通すのみで、管外への蒸気送入は行わなかった。

(1) の目的に対しては、アルブラック、軟質アルブラック、アルミニウム黄銅、アルミニウム青銅、30%キュプロニッケルおよび10%キュプロニッケルの6種類の管を流速2m/sec(発電所復水器に於ける標準流速)で試験した。(2)の目的に対しては、アルブラック管と30%キュプロニッケル管を1.0、1.5、2.0、2.5、3.0および4.0m/secの6種類の流速で試験した。(3)の目的に対しては、管の半数を試験中定期的(半月毎)にナイロンブラシで掃除し、残り半数は全然掃除しないままで試験した。(4)の試験は、将来復

水器管の溶接取付け法を検討する場合の資料として、この機会に腐食におよぼす影響を確めておく目的で取入れたものであり、これに対してはアルブラック管、30%キュプロニッケル管、および10%キュプロニッケル管をネーバル黄銅、30%キュプロニッケルおよびアルミニウム青銅の3種類の管板に溶接して、流速2.0m/secで試験した。(5)の目的に対しては、試験期間中毎月2回ずつ使用水の水質試験を実施すると共に、機会を見て試験管内に附着したスケールを採取して化学分析を行った。

試験中には、半月毎の定期掃除の際に管内面の状況を肉眼で観察し、また3ヶ月毎に管内検査器を用いて管内面の状況を検査した。

6ヶ月目(昭和35年2月)に1部の管(流速2m/secのアルブラックと30%キュプロニッケルの溶接取付管)を抜取って破壊調査を行った。その跡えはアルブラック管と30%キュプロニッケル管を新しく挿入して流速2m/secで試験を開始した。これは腐食におよぼす、管の使用開始季節の影響を確かめるためである。

9ヶ月目(昭和35年5月)にまた1部の管(流速4m/secのアルブラックと30%キュプロニッケル)を抜取って破壊調査した。その節新しくニッケル銅合金(セネルメタル)管とステンレス鋼管を挿入して2m/secで試験を開始した。

1年目(昭和35年8月)に約半数の管(流速1.2および3m/secのアルブラックと30%キュプロニッケルならびに2m/secの軟質アルブラック、アルミニウム黄銅、アルミニウム青銅および10%キュプロニッケル)を抜取って破壊調査を行った。

以上1年の期間を第1期試験として、その間の試験経過および結果をとりまとめた。

3. 装置、試料および試験方法

3・1 装置

新東京火力発電所はFig.1に示すごとく、東京湾の隅田

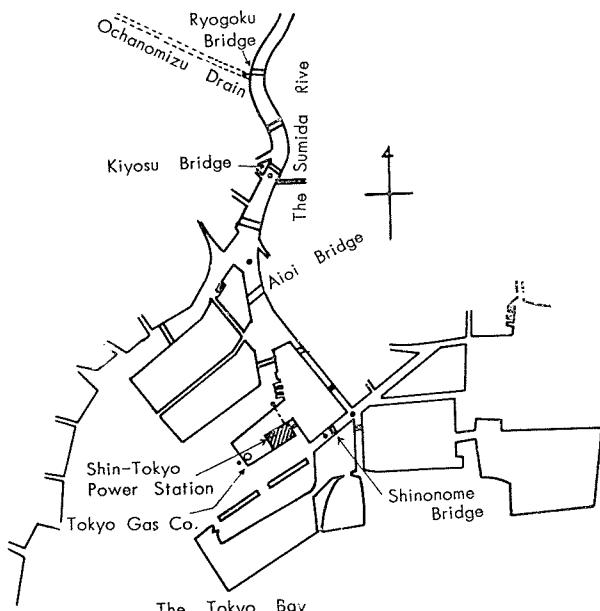


Fig. 1 Location of Shin-Tokyo Power Station.

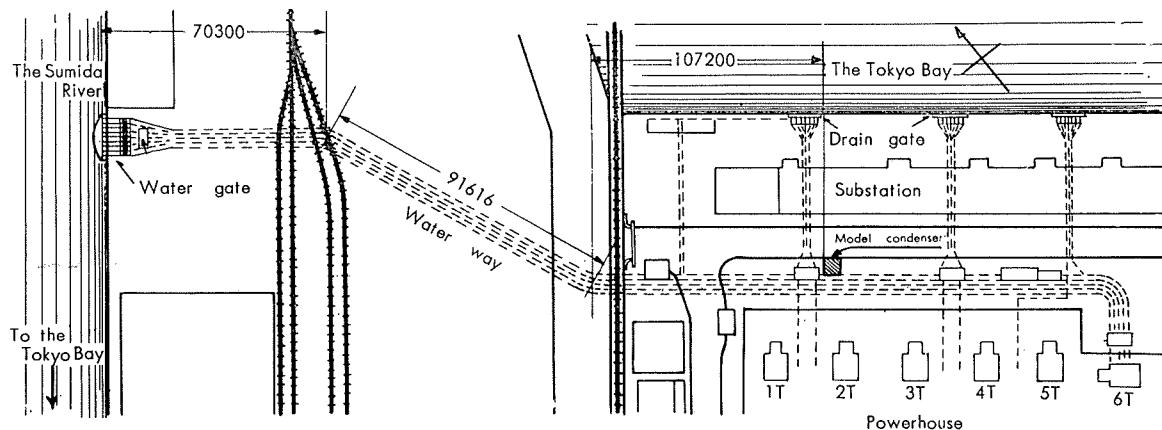


Fig. 2 Location of model condenser in Shin-Tokyo Power Station.

川河口地（江東区深川豊洲町4丁目）に建設されており、冷却水は隅田川河口側から採水して東京湾側へ放水されている。

モデルコンデンサーは、Fig. 2 に示す如く、この発電所内の1、2号機循環水ポンプ室の傍に設置し、発電所の冷却水取水路から水を取り入れるようにした。

装置の構成は Photo. 1 および Fig. 3 に示す如くである。水はポンプ②にて取水路から吸み揚げられ、送水管③によ

って、ストレーナー④を経て試験管⑥に送られる。試験管は4本を1組とした12個の流路（以下分配口と呼ぶ）。ステンレス鋼管を入れる以前は Photo. 1 の如く11個であった）に分けて装填されており、夫々の分配口に水の流量（流速）調節用のバルブ⑦が付けられている。流速は三角堰法による流量測定槽⑧によって分配口別に測定される。試験管の中を通った水は、流量測定槽を経て、排水溝⑨に集り、再び取水路内に排出される。ストレーナーの網は5mm孔の黄銅網を使用した。取水管①と送水管③には6Nガス管を使用した。なお試験管装填部の前後には空気抜き用の弁コックが付いている。取水部の構造は Fig. 4 に示す如くである。

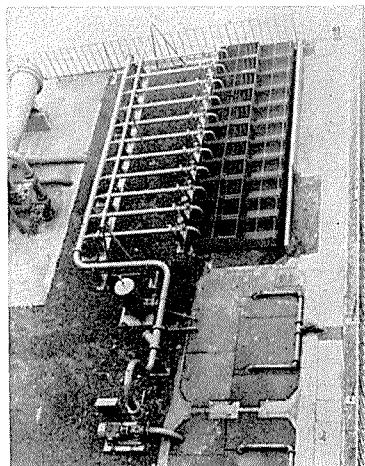
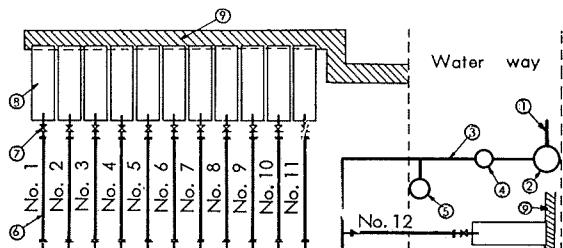


Photo. 1 General view of model condenser used in this test.



- ① Pipe to take water (see Fig. 4)
- ② Pump
- ③ Water pipe
- ④ Strainer
- ⑤ Surge tank
- ⑥ Test tubes (see Fig. 5)
- ⑦ Valve
- ⑧ Triangle dam to measure water flow
- ⑨ Drain

Fig. 3 Schematic diagram of model condenser

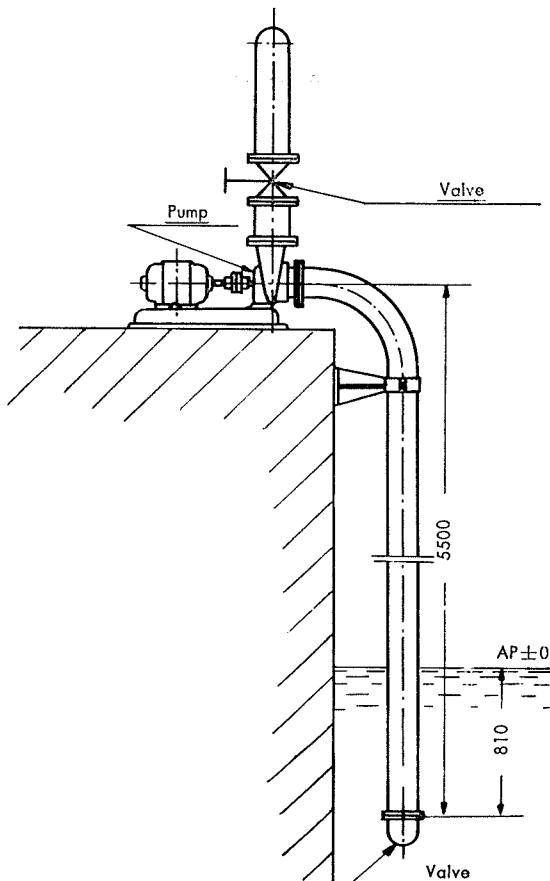


Fig. 4 A part of model condenser for taking water.

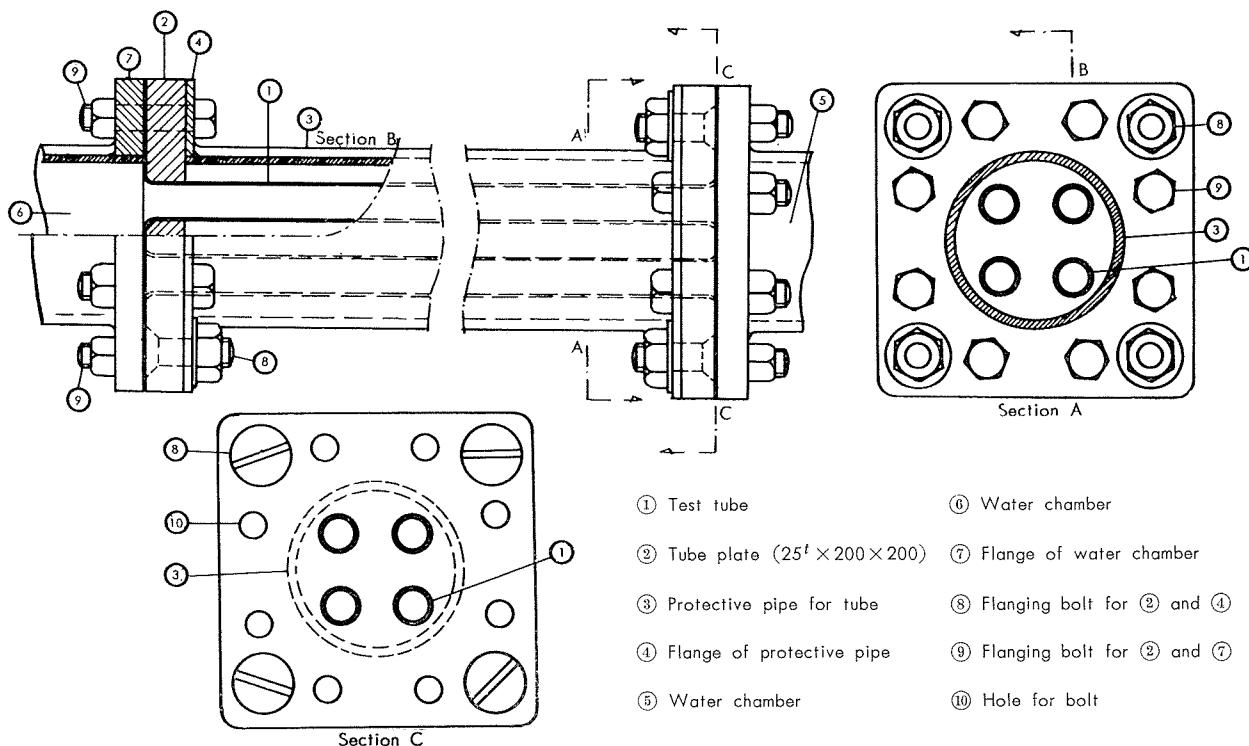


Fig. 5 Construction of tube tester.

試験管装填部の構造を Fig. 5 に示す。試験管①の寸法は $25\text{mm}\phi \times 1.0\text{mm}\text{t} \times 2,000\text{mm}\text{l}$ である。保護筒③(4N ガス管使用)はフランジビス⑧に依って管板②に取付けられ、試験管は拡管または溶接にて管板に接合されている。しかしる後管板が水槽フランジ⑦にボルト⑩によって取付けられている。試験期間中の管内掃除および管内検査は、ボルト⑩をはずして試験管を保護筒および管板と一緒に水槽から取りはずして行われる。

3.2 試料（試験管）

試験開始当初から使用した試験管は、アルブラック 16 本、軟質アルブラック 2 本、アルミニウム黄銅 2 本、アルミニウム青銅 2 本、30% キュプロニッケル 18 本および 10% キュプロニッケル 4 本であり、途中から挿入した管はアルブラック 2 本、30% キュプロニッケル 2 本、ニッケル銅合金 4

本、18-8 ステンレス鋼 2 本およびモリブデン入り 18-8 ステンレス鋼 2 本である。この中 18-8 ステンレス鋼管とモリブデン入り 18-8 ステンレス鋼管は住友金属工業で製作されたものを使用し、その他の管は当社で製作したものを使用した。化学成分および機械的性質は Table 1 に示す通りである。

3.3 試験方法

各分配口に 4 本ずつの管を装填した。分配口と管の材質および試験条件の組合せは Table 2 に示すとおりである。試験管は材質、取付け法(管板との接合法)、試験流速、試験中の掃除の有無および試験開始時季等によって 1 本ずつ全部条件が異っている。ただし No. 11' のニッケル銅合金管だけは 2 本ずつ同一条件である。

Table 1 Chemical composition, mechanical properties and wall thickness of tubes.

Mark	Material	Chemical composition, %												Mechanical properties		Thickness of tube wall, mm	
		Cu	Al	As	Si	Sb	Fe	Pb	Zn	Ni	Mn	C	Cr	Mo	Tensile strength, kg/mm ²	Elongation, %	
1	Albrac	78.03	20.3	0.05	0.26	0.01	0.02	Tr	R	—	—	—	—	—	45.8	58	1.02 1.02
2	30% cupronickel	R	—	—	—	—	0.57	Tr	—	30.56	0.26	—	—	—	40.7	47	1.02 1.02
3	Albrac (annealed)	78.10	2.10	0.05	0.25	0.01	0.01	Tr	R	—	—	—	—	—	44.9	57	1.02 1.02
4	Aluminium brass	77.13	1.94	0.05	—	—	0.01	Tr	R	—	—	—	—	—	40.9	68	1.02 1.02
5	Aluminum bronze	93.55	6.73	0.32	—	—	0.04	Tr	—	—	—	—	—	—	46.8	65	1.02 1.03
6	10% cupronickel	R	—	—	—	—	1.25	Tr	—	10.27	0.53	—	—	—	34.9	41	1.02 1.03
7	Nickel-Copper Alloy (stress relieved)	R	Tr	—	0.34	—	1.17	—	—	65.43	0.90	0.02	—	—	64.3	24	1.02 1.02
8	18-8 Stainless steel	0.08	—	—	0.52	—	R	0.03	—	9.81	1.52	0.07	18.30	—	59.4	64	—
9	18-8-2Mo Stainless steel	0.22	—	—	0.59	—	R	0.03	—	14.18	1.45	0.05	16.80	2.21	54.9	66	—

Table 2 Testing conditions for various tubes.

Set	Sample (Tube)			Testing condition			Testing period	
	Material	Mark	The number	Method of joint to tube plate	Velocity of water, m/sec	Cleaning of inside wall	Beginning	End
No. 1	Albrac	1	2	Expanding	1.0	One of the tubes is cleaned every half a month and the other is not cleaned.	Aug. 11, 1959	Aug. 19, 1960
	30% cupronickel	2	2					
No. 2	Albrac	1	2	" "	1.5	"	" "	" "
	30% cupronickel	2	2					
No. 3	Albrac	1	2	" "	2.0	"	" "	" "
	30% cupronickel	2	2					
No. 4	Albrac (annealed)	3	2	" "	2.0	"	" "	Aug. 19, 1960
	Aluminium brass	4	2					
No. 5	Aluminium bronze	5	2	" "	2.0	"	" "	" "
	10% cupronickel	6	2					
No. 6	30% cupronickel	2	2	Welding	2.0	"	" "	" "
	10% cupronickel	6	2					
No. 7	Albrac	1	2	" "	2.0	"	" "	Feb. 15, 1960
	30% cupronickel	2	2					
No. 8	Albrac	1	2	" "	2.0	"	" "	Aug. 19, 1960
	30% cupronickel	2	2					
No. 9	Albrac	1	2	Expanding	2.0	"	" "	" "
	30% cupronickel	2	2					
No. 10	Albrac	1	2	" "	2.5	"	" "	Aug. 19, 1960
	30% cupronickel	2	2					
No. 11	Albrac	1	2	" "	3.0	"	" "	May 16, 1960
	30% cupronickel	2	2					
No. 7'	Albrac	1	2	" "	4.0	"	" "	Feb. 16, 1960
	30% cupronickel	2	2					
No. 11'	Nickel-Copper Alloy	7	4	"	2.0	"	May 18, 1960	
No. 12	18-8 Stainless steel	8	2	" "	2.0	"	May 27, 1960	
	18-8-2Mo Stainless steel	9	2					

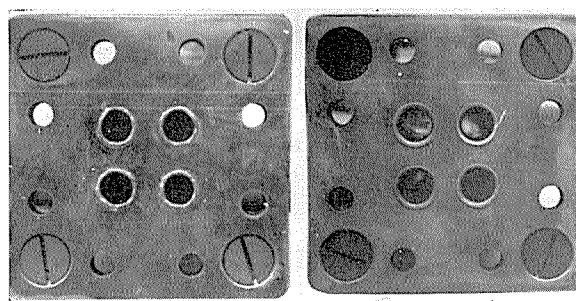
* Tube plate is naval brass

** Tube plate is 30% cupronickel

*** Tube plate is aluminum bronze

**** Tube plate is kild steel

管板との接合部の状況は Photo. 2 に示すごとくである。各分配口とも、左側 2 本と右側 2 本は夫々同一材質であり、いずれも上段のもの（記号を A とする）は内面を定期的に掃除し、下段のもの（記号を B とする）は掃除しないこととした。以下 A は掃除管、B は非掃除管と呼ぶ。拡管接合は手動式エキスパンダーによって行い、溶接



By welding

By expanding

Photo. 2 Joint of tube and tube plate.

々合は予め拡管の後管と管板の端面を揃えて、アルゴン雰囲気中でのタンクステンアーチ溶接によって行った。溶接 filler は、No. 6-2A, B には 30% キュプロニッケル線、No. 6-6A, B には 10% キュプロニッケル線、No. 7-1A, No. 8-1B および No. 8-2A, B には 硅素入りアルミニウム青銅線、No. 7-1B と No. 7-2A, B には ニッケル鉄入りアルミニウム青銅線、No. 8-1A には 硅素青銅線を夫々使用した。

A 管の管内掃除は毎月 1 日と 15 日を基準として実施し、ナイロンブラシ付きゴム弾を清水と共に 3 回乃至数回往復させた。

運転中には毎日 6 回（4 時間置きに）天候、気温、水温、水圧および流速を測定して記録した。水質試験は毎月 2 回（満潮時と干潮時を交互に）行った。また毎月 2 回の定期掃除の時にストレーナーの網を掃除し、その塵芥附着状況をも記録した。

試験中の管内面状況については、月 2 回の定期掃除の時

Table 3 Operation conditions of the model condenser.

	Date	Time at start	Time at stop	Time of operation, h. min	Time of unoperation, h. min	Note	Total time of operation, h. min
1959	Aug. 11	10:20		55.40			5.40
"			16:00		138.20		
Aug. 17	10:20		16:00	335.40			11.20
"					21.00		
Aug. 18	13:00		8:40	331.40			343.00
Sep. 1					6.20	Periodical cleaning (1st)	
"	14:50		10:00	19.10			362.10
Sep. 2					29.15	Repair of pump-motor	
Sep. 3	15:15			305.45			667.55
Sep. 16			9:00		7.15	Periodical cleaning (2nd)	
"	16:15			375.55			1043.50
Nov. 2			8:10		8.50	Periodical cleaning (3rd)	
"	17:00		8:45	305.40			1347.35
Nov. 15					31.15	Periodical cleaning (4th)	
Nov. 16	16:10		14:00	285.50			1633.25
Nov. 28					20.30	Repair of switchboard	
Nov. 29	10:30			72.30			1705.55
Oct. 1			11:00			Repair of switchboard	
Oct. 2					71.40	Periodical cleaning (5th)	
Oct. 4	10:40			285.20			1991.15
Oct. 16			8:00		54.00	Periodical cleaning (6th)	
Oct. 18	14:00			272.00			2063.15
Oct. 21			14:00		69.00	Repair of pump	
Oct. 24	11:00			337.20			2300.35
Dec. 4			8:20		24.40	Periodical cleaning (7th)	
Dec. 5	9:00			311.30			2612.05
Dec. 18			8:30		29.50	Periodical cleaning (8th)	
Dec. 19	14:20			617.45			3229.50
Jan. 14			8:05		6.15	Periodical cleaning (9th)	
"	14:20			519.40			3749.30
Feb. 5			8:00		8.20	Periodical cleaning (10th)	
"	16:20			232.20			3981.50
Feb. 15			8:40		31.50	Periodical cleaning (11th)	
Feb. 16	16:30			328.15			4310.05
Mar. 1			8:45		6.45	Periodical cleaning (12th)	
"	15:30			329.00			4639.00
Mar. 15			8:30		594.30	Periodical cleaning (13th)	
Apr. 9	10:00			581.35			5220.35
May 2			9:00		6.35	Periodical cleaning (14th)	
"	15:35			329.25			5550.00
May 16			9:00		53.50	Periodical cleaning (15th)	
May 18	14:50			114.50			5664.50
May 23			9:40		24.50	Construction of set of No. 12	
May 24	10:30			95.40			5760.30
May 28			10:10		2.35	Repair of valve	
"	12:45			94.45			5855.15
June 1			11:30		1.00		
"	12:30			32.10			5887.25
June 3			8:40		6.20	Periodical cleaning (16th)	
"	15:00			306.00			6193.25
June 16			9:00		6.00	Periodical cleaning (17th)	
"	15:00			353.40			6547.05
July 1			8:40		22.40	Periodical cleaning (18th)	
July 2	13:40			306.50			6853.55
July 15			8:30		7.50	Periodical cleaning (19th)	
"	16:20			400.20			7254.15
Aug. 1			8:40		6.50	Periodical cleaning (20th)	
"	15:30		10:10	210.40			7464.55
Aug. 10					210.40	End of test on the 1st period	
Aug. 19							

に肉眼で覗いて検査するとともに、3ヶ月置きに管内検査器を用いて検査した。

4. 運転状況

4.1 運転経過

昭和34年8月11日から運転（通水）が開始された。それから昭和35年8月19日までの1年間の運転経過はTable 3に示すとくである。途中で運転が停止されたのは、半月置きの定期掃除のため20回と、電源工事およびポンプその他の修理のため8回であり、そのうち3月15日から4月9日まで流量測定槽の塗装工事で約25日間停止した他は何れも数時間乃至2日余りの停止時間である。1年間の運転即ち通水時間の合計は7,464時間55分であった。

なお、定期掃除は35年1月初めの分が正月休日のため1回抜けた以外には、予定通り毎月1日と15日を中心にして実施された。

4.2 流速

運転中毎日6回ずつ測定された水の流速（管内流速）の1年間の平均値はTable 4に示すとくであり、各分配

Table 4 Average of the velocity of water, during test period.

Set	Velocity of water, m/sec	Set	Velocity of water, m/sec
No. 1	1.0	No. 8	1.98
No. 2	1.5	No. 9	2.60
No. 3	2.05	No. 10	3.0
No. 4	2.0	No. 11	3.8
No. 5	2.03	No. 7'	2.06
No. 6	2.0	No. 11'	2.05
No. 7	1.93	No. 12	1.98

口とも殆んど目標値に近い流速で試験された。なお運転中の流速調整は半月毎の定期掃除後の起動直後に行い、その他の間には特に大きな流速変化を生じた場合を除いては行わなかった。

なお、ポンプ出口およびサージタンクに於ける水の圧力は大体 1.2 kg/cm^2 前後であった。

4.3 水温

水温はNo. 11分配口の水が試験管から流量調整槽へ流出した部分で毎日6回測定した。各月に於る最低、最高ならびに平均値はTable 5に示すとくであり、月平均では35年2月の 8.3°C が最低、8月の 26.4°C が最高であった。

4.4 ストレーナーへの塵芥附着状況および測定槽内の状況

ストレーナーの附着塵芥は半月毎の定期掃除の際に毎回掃除を行ったが、いつも相当多量の附着物が認められた。附着状況はPhoto. 3に示すとくである。附着物の種類は、輪ゴム、ビニール片（牛乳瓶の覆）、セロファン紙、草の根、ワラ屑、木の葉、木片等が主なものであり、その

Table 5 Temperature of water in model condenser.

Month \ Temp., °C	Lowest	Highest	Average
Aug. 1959	23.8	26.2	24.9
Sep.	20.6	26.0	24.6
Oct.	17.2	21.6	18.4
Nov.	16.8	18.2	17.1
Dec.	12.5	14.0	12.3
Jan. 1960	7.8	9.9	9.1
Feb.	7.5	9.0	8.3
Mar.	9.4	11.1	10.0
Apr.	12.0	15.5	14.1
May	15.8	17.5	16.6
June	16.2	23.3	18.6
July	20.5	30.2	23.4
Aug.	25.0	27.7	26.4

量や種類は1年間を通じて殆んど変わなかった。

この状況からみると、隅田川による都市下水等の混入が相当多いようと考えられる。

また、流量測定構内を流れる水の状況は、試験を開始した34年8月から10月中旬頃までの間は、相当濁りを帯びた状態で、硫化水素臭に似た悪臭が感じられたが、11月頃から次第に澄んで来て、悪臭もなくなった。しかし、35年6月16日にチリ津波があった翌日には、水が非常に黒濁して再び悪臭を発するようになり、それ以後8月10日の運転停止日まで、水の黒濁と悪臭は消えなかった。また、流量測定槽の内壁および整流板には藻のようないもの（種々の珪藻類、藍藻類を主体としたもの）が附着して日と共に次第に多くなって来る傾向が認められたが、その量は夏季に多く、冬季には少なかった。

以上の状況からみて、冷却水は6月～10月頃即ち夏季に汚染が著しく、11月～5月の期間には比較的汚染度が低かったように認められる。

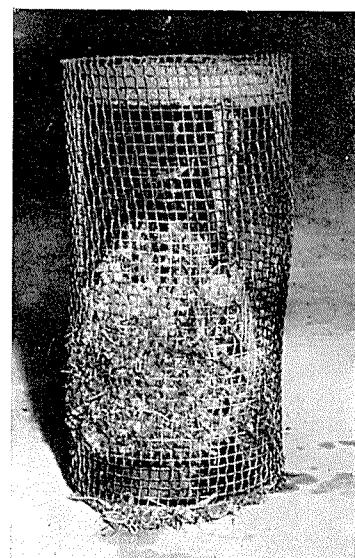


Photo. 3 Dirt collected in half a month on strainer.

5. 水質試験

5.1 試験方法

腐食試験開始後毎月2回ずつ、モデルコンデンサーに用いる水の水質試験を行った。試料の採取場所は一定しなかったが、モデルコンデンサーのポンプコック、No. 11分配口のサンプリングコックまたはモデルコンデンサー採水部近傍の取水路内のいずれかである。試験時刻は満潮時と干潮時を大体交互に実施した。また潮位による水質の変化を調べるために、満潮時、干潮時およびその中間時という具合に、1日に数回の試験も時々実施した。試験項目は、電気伝導度、pH、濁度、蒸発残留物、塩素イオン、アンモニウムイオン、硝酸イオン、亜硝酸イオン、硫黄イオン、硫酸イオン、酸素消費量、塩素要求量の12項目であり、夫々次の如き方法によって試験した。

電気伝導度——試料を $1\mu\text{S}$ 以下の純水で10倍にうすめて、リーズ&ノースラップ製水質計により測定した。

pH——大倉電気製ガラス電極pHメーターによった。

濁度——JIS・K・0101-1957に従い、フィッシャー製光電比色計にて波長 $425\text{m}\mu$ のフィルターを用いて測定した。

蒸発残留物——試料50mlを磁製皿にとり、水浴上で蒸発乾固し、次に乾燥器中で 105°C で2~3時間乾燥した後、デシケーター中に放冷して秤量した。

塩素イオン——試料5mlを純水で100mlにうすめ、ク

ロム酸カリを指示薬として、0.1N-AgNO₃溶液で滴定した。

アンモニウムイオン——試料100mlに30%NaOH溶液5mlと25%Na₂CO₃溶液10mlを加えてから全量を200mlとし、よく振りませてから静置し、この上澄液を汎過した汎液にネスター試薬を加えて発色させ、波長 $425\text{m}\mu$ のフィルターを用いて光電比色計にて測定した。

硝酸イオン、亜硝酸イオン、硫黄イオン——JIS・K・0101-1957に従った。

硫酸イオン——電気伝導度測定に使った液を25倍ないし50倍に稀めたものについて、JIS・K・0101-1957の比濁法にて測定した。

酸素消費量——JIS・K・0101-1957のアルカリ性酸化法にて測定した。

塩素要求量——塩素添加量を0~30ppmに変化させ、5分間反応後の塩素消費量が添加量に対して一定となった時の消費量を塩素要求量とした。しかし塩素消費量は必ずしも一定とならず、添加量を増すと共に除々に上昇することもあるので正確に要求量として決め難い。したがってこの試験は6月1日と6月13日の2回だけに止めた。

5.4 試験結果

毎月の試験結果および1日中の各潮位に於ける試験結果をTable 6およびTable 7に示す。

また参考として、5月18日と6月23日に実施した発電所

Table 6 Chemical analysis of water used in model condenser.

Date	Aug. 25 1959	Nov. 17	Oct. 8	Oct. 29	Dec. 10	Dec. 20	Sept. 18	Sept. 29	Jan. 11 1960	Jan. 30	Feb. 13	Feb. 20	Mar. 9	Mar. 19	Apr. 7	Apr. 16	May 7	May 16	June 18	June 23	July 19	July 28	Aug. 27	
Time	14:00	11:30	14:30	15:30	14:00	14:30	13:00	13:00	13:00	12:00	10:00	15:00	15:00	14:00	14:30	15:00	14:00	14:00	13:30	10:30	14:30	14:10	13:30	
Tide	Flood	Flood	Flood	Ebb	Ebb	Flood	Flood	Ebb	Ebb	Flood	Flood	Ebb	Ebb	Flood	Ebb	Flood	Ebb	Flood	Ebb	Flood	Ebb	Flood	Ebb	
Items																								
Electrical conductivity, $\times 100 \mu\text{S}$	364	257	364	490	453	500	463	486	468	535	686	665	545	512	492	465	422	288	439	437	458	410	397	
pH	7.10	7.10	7.20	7.50	7.20	7.40	6.60	7.70	7.50	7.50	7.40	7.50	7.60	7.30	7.30	7.30	7.30	7.10	7.40	6.90	7.45	7.45	7.30	
Turbidity, deg.	18	1	21	12	14	17	22	24	28	5	28	2	10	12	23	37	31	54	21	20	13	42	33	
Evaporation residue, %	2.25	1.72	2.26	4.28	2.97	3.61	3.00	3.31	3.30	3.31	4.19	4.31	3.43	3.11	3.09	3.28	2.68	1.70	2.74	2.22	2.89	2.62	3.77	
Cl ⁻ , %	0.24	0.90	1.02	1.21	0.90	0.90	1.34	1.63	1.72	1.54	1.66	1.70	1.71	1.62	1.65	1.52	1.34	0.71	1.48	1.47	1.40	1.38	1.27	
NH ₄ ⁺ , ppm	3.2	4.9	1.3	0.3	4.1	0.7	5.8	3.9	3.3	3.7	4.7	2.4	2.2	4.8	2.8	3.5	11.1	2.2	5.0	8.0	4.3	3.1	1.2	
NO ₃ ⁻ , ppm	0.20	—	1.70	1.50	0.90	1.10	0.80	1.10	0.40	0.40	0.80	0.80	0.70	1.01	1.79	0.81	0.46	0.61	0.54	0.59	—	—	0.40	
NO ₂ ⁻ , ppm	0.05	—	0.25	0.20	0.21	0.19	0.19	0.20	0.20	0.14	1.13	0.10	0.11	0.17	0.13	0.18	0.11	0.09	0.16	0.12	0.04	0.05	0.05	
S ²⁻ , ppm	0.21	—	0.84	0.47	0.39	0.86	1.50	1.20	1.00	1.50	0.73	0.63	0.44	0.70	0.49	0.86	0.86	0.89	0.66	1.09	0.10	0.16	0.03	
SO ₄ ²⁻ , %	0.21	0.18	0.19	0.39	0.38	0.45	—	—	0.36	0.41	0.32	0.30	0.42	0.77	0.50	—	0.39	0.58	0.28	0.25	0.17	0.17		
Oxygen demand, ppm	—	5.9	5.8	7.2	2.8	—	1.2	8.4	6.3	7.5	—	7.2	5.8	5.0	6.1	5.7	6.9	8.1	8.8	12.3	7.6	8.4	6.0	

Table 7 Chemical analysis of water used in model condenser.

Date	Jan. 16, 1960.	Feb. 27.	Mar. 22.	Apr. 20.	May 28.	June 11.	July 23.																					
Time	10:00	13:00	15:00	18:00	9:00	11:30	15:00	18:00	10:00	12:30	16:00	19:00	9:00	12:30	16:00	19:00	9:00	12:00	15:30	18:30	11:00	14:00	17:00	20:00				
Tide	E→F	Flood	F→E	Ebb	E→F	Flood	F→E	Ebb	E→F	Flood	F→E	Ebb	E→F	Flood	F→E	Ebb	E→F	Flood	F→E	Ebb	Flood	F→E	E→F					
Items																												
Electrical conductivity, $\times 100 \mu\text{S}$	585	512	507	576	487	495	503	512	530	521	536	490	425	402	400	448	418	378	382	410	425	455	441	430	351	398	435	406
pH	7.10	7.20	7.30	7.40	7.20	7.20	7.30	7.30	7.60	7.50	—	6.90	7.20	7.10	7.20	7.30	7.15	7.15	7.25	7.25	7.40	7.25	7.35	6.85	7.25	7.95	7.25	
Cl ⁻ , %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.40	1.50	1.42	1.41	1.23	1.23	1.47	1.33
NO ₃ ⁻ , ppm	1.00	0.60	0.80	0.30	0.90	0.90	0.80	0.80	1.04	1.08	0.19	0.91	0.83	0.85	0.59	0.52	0.53	0.39	0.40	0.55	0.33	0.23	0.34	0.24	—	—	—	
NO ₂ ⁻ , ppm	0.17	0.19	0.20	0.22	0.24	0.19	0.20	0.81	0.20	0.22	0.23	0.24	0.10	0.15	0.15	0.09	0.11	0.10	0.10	0.05	0.08	0.09	0.06	0.07	0.07	0.05	0.06	
S ²⁻ , ppm	1.12	1.17	1.25	1.30	0.60	0.73	0.65	0.91	0.65	1.08	1.17	0.52	0.65	0.83	1.09	0.76	0.70	0.94	0.94	0.94	0.73	0.80	0.83	0.75	0.29	0.27	0.29	0.39

Table 8 Chemical analysis of various water.

a) May 18, 1960.

Location	The lower part of the Shinonome Bridge on the Sumida Rever	The upper part of the Shinonome Bridge on the Sumida Rever	The Tokyo Bay near Tokyo Gas Co.	Water gate of Shin-Tokyo P.S.	Same as the left	Same as the left	The upper part of the Aioi Bridge on the Sumida Rever	The Kiyosu Bridge on the Sumida Rever	Drain near the Ryogoku-bridge	Drain gate of Shin-Tokyo P.S.	Same as the left	Same as the left
m (from surface)	0.5	2.0	2.0	0.5	2.0	4.0	2.0	2.0	0.5	0.5	2.0	8.0
°C	21.0	20.5	19.5	19.0	18.0	18.0	19.0	19.5	19.5	23.0	23.5	23.5
Time	10:10	10:20	10:40	11:00	11:00	11:00	11:15	11:25	12:50	13:25	13:25	13:25
Tide	F→E	F→E	F→E	Ebb	Ebb	Ebb	E→F	E→F	E→F	E→F	E→F	E→F
Items												
Electrical conductivity, $\mu\text{m}/\text{cm}^2$	38000	37900	39900	35500	39300	46500	29800	31500	1550	46300	42400	42500
pH	7.50	7.30	7.50	7.20	7.40	7.70	7.00	7.00	7.60	7.60	7.60	7.60
Cl ⁻ , %	1.04	0.99	1.34	0.92	1.51	1.26	0.77	0.80	0.026	1.22	1.11	1.11
SO ₄ ²⁻ , %	0.38	0.33	0.32	0.35	0.36	0.36	0.28	0.35	0.28	0.36	0.36	0.38
Turbidity, deg.	30.6	54.4	29.2	30.9	23.7	17.0	38.8	38.8	92.6	68.4	20.6	23.9
CaCO ₃ , ppm	3910	3710	3910	3530	3930	4730	3020	3130	800	4560	4110	4220
Evaporation residue, %	2.53	2.41	2.54	2.26	2.59	3.14	1.89	2.01	0.076	3.06	2.74	2.70

b) June 23, 1960.

Location	Water gate of Shin-Tokyo P.S.	Same as the left	Same as the left	The Tokyo Bay near Tokyo Gas Co.	Drainage from Tokyo Gas Co.	Drain gate of Shin-Tokyo P.S.	The lower part of the Shinonome Bridge of the Sumida Rever
m (from surface)	2	4	7	0.5	0.5	0.5	0.5
°C	23	24	25	23	26	28	23
Time	10:25	10:25	10:25	9:55	9:47	9:30	9:40
Tide	Flood	Flood	Flood	E→F	E→F	E→F	E→F
Items							
Electrical conductivity $\mu\text{m}/\text{cm}^2$	24200	40200	43700	32600	38500	34100	30600
pH	6.95	7.15	6.90	7.06	7.20	6.90	7.00
Cl ⁻ , %	0.76	1.34	1.47	1.05	1.27	1.12	0.99
NH ₄ ⁺ , ppm	6.08	3.73	4.18	5.76	5.56	4.80	9.32
S ²⁻ , ppm	1.58	0.91	1.09	0.83	0.83	1.01	1.01
NO ₃ ⁻ , ppm	0.595	0.391	0.591	0.304	0.503	0.387	0.258
NO ₂ ⁻ , ppm	0.13	0.13	0.12	0.10	0.17	0.12	0.09

近傍の隅田川水系各所河海水の水質試験結果を Table 8 に示す。

試験結果を項目別にみてみると次のとくである。

1) 電気伝導度

大部分のデーターは4万 μm から5万 μm 程度であり、季節的変動はあまりない。潮位による変動は、日によって明瞭でないこともあるが、大体干潮時に低く、満潮時に高い傾向がある。なお、発電所取水口 (water gate) に於る試験では、水面下深くなるほど値が大きく、比較的下層の方が取水路内の水 (モデルコンデンサー使用水) に近い値を示している。

2) pH

大体7.0~7.5で、季節的変動はみられない。1日の潮位による変動も不明瞭である。取水口では水面下深くなるほど高くなる傾向がある。

3) 濁度

1~54で変動が大きい。季節的影響はないとも云えないが、天候、周囲の状況等のファクターの影響が大きくて不明瞭である。取水口では水面下深くなるほど小さい傾向が

ある。

4) 蒸発残留物

大部分は2.3~3.5%で、純海水よりやや小さい値のようであるが、中には純海水以上に大きいと思われる値もある。季節的影響はみられない。大体電気伝導度と同様の傾向を示している。

5) 塩素イオン

0.71~1.72%の間にあり、大部分は1.3~1.7%である。東京湾海水の塩素イオン量は大体1.8%以上であるから、使用水は海水と河水の混合したものであることが判る。上記試験結果から大体の海水混合率を推定すると、大部分が70~90%程度である。

なお、取水口では水面下2mから3.4mの間の塩素イオン量に大きな差があり、上層部は河水の割合が多いようである。モデルコンデンサーの水は下層のものに近い。

6) アンモニウムイオン

0.3~11.1 ppmの間で、かなり変動が大きい。天候の影響が大きいようである。

7) 硝酸イオン

初めのうち非常に高い値が出ているが、その当時の測定方法に疑問があり、データーに確信が持てない。最近では0.2~0.6ppm程度である。

8) 亜硝酸イオン

35年6月までのデーターには、濁度の影響が入っている懼があることに気付いたので、7月以降測定方法を若干変更した。したがって6月以前と7月以降のデーターは不連続であり、前者は若干過乗に出ている可塑性がある。後者では0.04~0.07ppmである。

9) 硫黄イオン

これも35年6月までのデーターは濁度の影響で若干高い値に出てる可能性がある。7月以降では0.03~0.39ppmである。

10) 硫酸イオン

0.17~0.77%を示した。

11) 酸素消費量

1.2~12.3ppmで、季節的傾向はあまり明瞭でない。

12) 塩素要求量

表示しなかったが、6月1日には約12ppm、6月13日には約13ppmであった。

6. 試験中の管内面状況の検査

6.1 検査方法

1) 肉視検査

半月毎の定期掃除の際、分配口分解直後すなわち管内掃除を行う直前に、各管の入口側管端から内部を覗いて内面状況を調査した。

2) 管内検査器による検査

管内検査器による検査は、試験開始後3ヶ月目(34年11月16日)、6ヶ月目(35年2月15日)、9ヶ月目(35年5月16日)および1年目(35年8月19日)の4回実施した。この検査は定期掃除管の内面掃除が済んだ後で行った。検査器は大船光学工業製21耗管内検査器(側面ミラー、視野範囲約7mmφ、観察倍率約10倍)を使用し、試験管の冷却水入口端より800mmまでの範囲を調べた。

なお、溶接取付け管12本の中8本は溶接部の肉盛が多過ぎて検査器が挿入出来ないため検査せず、また破壊調査のため当日抜取られた管も検査しなかった。

6.2 肉視検査結果

検査結果の要点をTable 9に示す。○印は腐食(点食)と思われる黒い斑点が認められたことを示し、×印はスライム状の沈着スケールが全面に厚く附着し、×印は同様の沈着スケールが全面に薄く附着していたことを示している。以下、非掃除管と掃除管に別けて簡単に述べる。

6.2.1 非掃除管(B管)の状況

1) スケール附着状況

最初、黄褐色を呈したスライム状の沈着スケールが全面に薄く附着し、流速の比較的遅い管は3ヶ月目(34年11月16日)頃まで日と共に次第に厚くなつて来た。流速の遅い

管ほどスケールの附着が多く、流速3m/sec(No. 10)および4m/sec(No. 11)の管は3ヶ月目でも殆んど附着していないかまたは極く僅少な状態であった。またいずれの管も管端近傍はスケールの附着が極めて少なかった。

3ヶ月目以降10ヶ月目(35年6月16日)までの間には、附着スケールの状況に殆んど変化がなく、時期と共に附着量が増加する傾向は殆んど認められなかった。

10ヶ月半(7月1日)の時には、附着スケールが急に厚くなつており、色も黒色に変化した。これは6月16日以降水が黒濁したことによるものと思われる。その後8月19日まで、附着スケールの状況に変化は認められなかった。

2) 腐食状況

沈着スケールが殆んど附いてないかまたは比較的小いNo. 11、No. 10およびNo. 9分配口のアルブラック管には3ヶ月目頃から点食の存在が認められたが、同じ分配口の30%キュプロニッケル管には腐食はみられなかった。その他の分配口の管は沈着スケールが厚く覆っているために腐食状況は判らなかった。

6.2.2 掃除管(A管)の状況

1) スケール附着状況

試験開始後1ヶ月半(34年1月2日)までの間は、各半月間に管内全面に黄褐色のスライム状スケールが薄く附着するのが認められたが、その後スケールの附着量は減少し、35年6月15日までの期間中は殆んど附着していないことが多かった。チリ津波のあった後の7月1日には、全部の管に黒色のスライム状スケールが厚く附着しており、その後8月19日までの各半月毎の間にも黒色のスケールが比較的厚く附着するのが認められた。このスケールはplashで掃除をしても完全除去することが出来なかった。

2) 腐食状況

アルミニウム青銅管(No. 5-5A)は1ヶ月半頃から点食が認められ、アルブラック管(No. 1-1A, No. 2-1A, No. 3-1A, No. 7-1A, No. 8-1A, No. 9-1A, No. 10-1A, No. 11-1A)、軟質アルブラック管(No. 4-3A)、およびアルミニウム黄銅管(No. 4-4A)には2ヶ月半ないし3ヶ月目頃から点食が認められた。これらの管の点食は、最初に見出された時から、35年7月1日に沈着スケールのために見えなくなるまでの半年余りの期間中、数や大きさに明瞭な変化が認められなかった。点食の最も多いのはNo. 5-5A(アルミニウム青銅)であり、No. 9-1A(アルブラック・流速2.5m/sec)がこれに次いでいた。その他の管には大差は認め難かったが、流速の遅い管に幾らか多い傾向が認められた。7月1日以後は管内面が黒色のスライム状スケールに厚く覆われたため点食も殆んど見えなくなつた。

30%キュプロニッケル管(No. 1-2A, No. 2-2A, No. 3-2A, No. 6-2A, No. 8-2A, No. 9-2A, No. 10-2A, No. 11-2A)と10%キュプロニッケル管(No. 6-6A)は、沈着スケールで内面が見えなくなる前の6月16日までの10ヶ

月の間には明瞭な腐食の発生は認められなかった。2、3の管に時々点食らしき斑点が少数認められたこともある（Table 9 参照）が、その後の検査で継続的に見出されていないので、附着物の見誤りと思われる。

なお、35年2月15日に挿入されたNo. 7' のアルブラック管と30%キュプロニッケル管は、6月16日までの4ヶ月

間腐食らしきものの発生は認められなかった。その後は沈着スケールのため不明である。

6・3 管内検査器による検査結果

6・3・1 掃除管（A管）の検査結果

運転開始後3ヶ月毎に4回行った管内検査結果の要点はTable. 10に示し、Photo. 4に代表例を示す。

Table 9 Result of observation of inside wall of tubes by peeping from a tube end.

Order Date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	1959										1960										
Tube	Nov. 1	Nov. 16	Oct. 2	Oct. 15	Dec. 2	Dec. 16	Sept. 4	Sept. 18	Jan. 14	Feb. 5	Feb. 15	Mar. 1	Mar. 15	May. 2	May. 16	June. 3	June. 16	July. 1	July. 15	Aug. 1	Aug. 19
No. 1	1 A	x	x	x		x		o	⊗	⊗	⊗	o	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	x	x	x	x
	1 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2 A	x	x	x				o	⊗	x		o	⊗			x	x	x	x	x	x
	2 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
No. 2	1 A	x	x				o	o	⊗	⊗	o	o	⊗	o	⊗	x	x	x	⊗	⊗	x
	1 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2 A	x						x	x					o	x			x	x	x	x
	2 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
No. 3	1 A	x					x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	1 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	2 A																	x	x	x	x
	2 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
No. 4	3 A	x	x				⊗	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	3 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	4 A	x	x	x			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	4 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
No. 5	5 A	x	x	⊗	⊗	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	5 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	6 A	x	x	x				x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	6 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
No. 6	2 A	x	x									x				x	x	x	x	x	x
	2 B	x	x				x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	6 A	x									x				x	x	x	x	x	x	x
	6 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
No. 7	1 A	x	x				o	o	o	o	o	o	o	⊗	o						
	1 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	2 A	x					x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	2 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
No. 8	1 A	x	x	x			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x
	1 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	2 A	x	x				x		o				x		x	x	x	x	x	x	
	2 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
No. 9	1 A	x					o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	1 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	2 A	x					x		o				x		x	x	x	x	x	x	
	2 B	x					x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
No. 10	1 A	x	x				o		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	1 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	2 A	x					x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	x	x	x	x	
	2 B	x	x				x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
No. 11	1 A	x					o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					
	1 B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	2 A	x					x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	x	x	x	x	
	2 B	x	x				x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
No. 7'	1 A																x	x	x	x	x
	1 B																x	x	x	x	x
	2 A																x	x	x	x	x
	2 B																x	x	x	x	x
No. 11'	7 A																x	x	x	x	x
	7 B																x	x	x	x	x
	7 A																x	x	x	x	x
	7 B																x	x	x	x	x
No. 12	8 A																x	x	x	x	x
	8 B																x	x	x	x	x
	9 A																x	x	x	x	x
	9 B																x	x	x	x	x

○ There are spots like pitting corrosion on the inside wall.

×

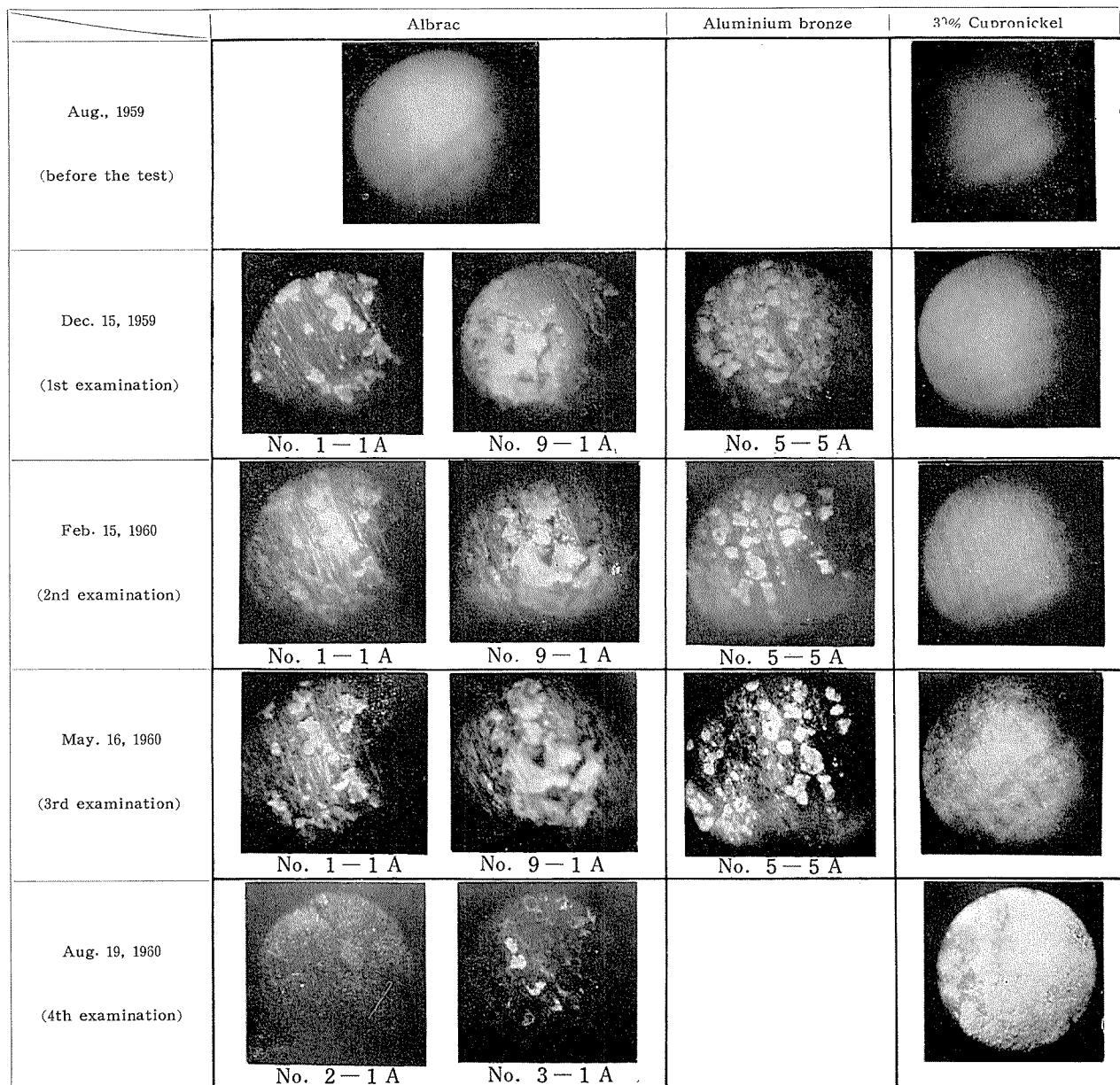
× There is the thick slime-like scale covering the inside wall of tube.

×

× There is the thin slime-like scale.

Table 10 Result of examination of tubes' inside wall by bore-scope.
(Periodically cleaned tube)

Mark	Material	Velocity of Water, m/sec	1st Examination (Dec. 15, 1959)	2nd Examination (Feb. 15, 1960)	3rd Examination (May. 16, 1960)	4th Examination (Aug. 19, 1960)
No. 1	1 A Albrac	1.0	Pittings(0.1mm in depth) (somewhat numerous). Matrix is black film.	The pittings have scales. The film is mottled of black and light brown.	Same as the left.	—
	2 A 30% cupro-nickel		General corrosion. (very slight)	General corrosion is somewhat severe more than the left.	G-Corr. is somewhat severe still more than the left.	—
No. 2	1 A Albrac	1.5	Pittings(0.1mm in depth) Matrix is black film.	The pittings have scales. The film is mottled of black and light brown.	Same as the left.	Have been covered by slime-like scale. Pittings in some place.
	2 A 30% cupro-nickel		General corrosion (very slight)	General corrosion is somewhat severe more than the left.	G-Corr. is somewhat sever still more than the left.	G-Corr. is somewhat sever still more than the left.
No. 3	1 A Albrac	2.0	Pittings(0.1mm in depth) Matrix is black film.	The pittings have scales. The film is mottled of black and light brown.	Same as the left.	Have been covered by slime-like scale. Pittings in some place.
	2 A 30% cupro-nickel		General corrosion. (very slight)	General corrosion is somewhat severe more than the left.	G-Corr. is somewhat severe still more than the left.	G-Corr. is somewhat severe still more than the left.
No. 4	3 A Albrac annealed	2.0	Pittings(0.1mm in depth) Matrix is black film.	The pittings have scales. The film is mottled of black and light brown.	Same as the left.	—
	4 A Aluminum brass		Same as the above.	Same as the above	Same as the left.	—
No. 5	5 A Aluminum bronze	2.0	Pittings (0.2mm in depth) (very numerous). Matrix is black film.	Same as the above.	Same as the left.	—
	6 A 10% cupro-nickel		General corrosion. (very slight). Black films in some place.	General corrosion is somewhat severe more than the left.	G-Corr. is somewhat severe still more than the left.	—
No. 6	2 A 30% cupro-nickel	2.0	General corrosion, (very slight)	Same as the above.	Same as the above.	G-Corr. is somewhat severe still more than the left.
	6 A 10% cupro-nickel		—	—	—	—
No. 7	1 A Albrac	2.0	—	—	X	X
	2 A 30% cupro-nickel		—	—	X	X
No. 7'	1 A Albrac	2.0	X	X	Light brown film.	Have been covered by slime-like scale. Pittings in some place.
	2 A 30% cupro-nickel		X	X	General corrosion, (very slight).	G-Conr. is considerably severe more than the left.
No. 8	1 A Albrac	2.0	—	—	—	—
	2 A 30% cupro-nickel		General corrosion, (very slight).	General Corrosion is somewhat severe more than the left.	G-Corr. is somewhat severe still more than the left.	—
No. 9	1 A Albrac	2.5	Pittings(0.15mm in depth) Matrix is black film.	The pittings have scales. The film is mottled of black and light brown.	Same as the left.	Have been covered by slime-like scale. Pittings in some place.
	2 A 30% cupro-nickel		General Corrosion, (very slight).	General Corrosion is somewhat severe more than the left.	G-Corr. is somewhat severe still more than the left.	G-Corr. is somewhat severe still more than the left.
No. 10	1 A Albrac	3.0	Pittings(0.1mm in depth). Matrix is black film.	The pittings have scales. The film is mottled of black and light brown.	Same as the left.	—
	2 A 30% cupro-nickel		General corrosion, (very slight).	General Corrosion is somewhat severe more than the left.	G-Corr. is somewhat severe still more than the left.	—
No. 11	1 A Albrac	4.0	Pittings(0.1mm in depth). Matrix is black film.	The pittings have scales. The film is mottled of black and light brown.	—	X
	2 A 30% cupro-nickel		General corrosion, (very slight)	General Corrosion is somewhat severe more than the left.	—	X
No. 11'	7 A Nickel-Copper Alloy	2.0	X	X	X	General corrosion
	7A' Nickel-Copper Alloy		X	X	X	"
No. 12	8 A Stainless steel	2.0	X	X	X	Pittings(0.1mm in depth). Matrix is brown film.
	9 A 18-8-2Mo Stainless steel		X	X	X	Pittings (0.1mm in depth) (a few). Matrix is brown film.

Photo. 4 Inside wall of tube, observed by bore scope. $\times 4$

(1) 第1回検査

- a. 全管ともスライム状の沈着スケールは認められなかつた。
- b. キュプロニッケルを除くアルブラック、軟質アルブラック、アルミニウム黄銅およびアルミニウム青銅の全管に点食が認められた。いずれの管の点食も管端部約150mmの範囲には認められず、それより内部の方にのみ生じていた。

アルミニウム青銅管は点食が非常に多く、深さは0.2mm程度と推定された。アルブラックおよびアルミニウム黄銅管の点食はいずれも深さ0.1mm程度と推定された。しかしNo. 9分配口のアルブラック管だけは点食が大きく、深さも0.15mmぐらいと推定された。

c. アルブラック、アルミニウム黄銅およびアルミニウム青銅の全管とも、点食以外の部分には全面均一な黒色の内面被膜が生じていた。流速3m/sec以上のアルブラック管は、その被膜がまだらにハクリして平滑な地肌を露出した部分が認められた。その面積は3m/secでは約30%、4m/secでは約40%であった。

d. キュプロニッケル管には点食は認めなかった。

e. 30%キュプロニッケル管にはアルブラック等に認められたような内面被膜が認められず、全面に極く軽微な全面腐食を受けて生じた地肌の肌荒れが認められた。10%キュプロニッケル管は30%キュプロニッケル管と同じ軽微な肌荒れを来たした上に薄い黒色内面被膜がまだらにハクリ残存していた。

なお、キュプロニッケルの全面腐食による肌荒れは極く軽微であり、いずれの管もほぼ同程度であった。

(2) 第2回および第3回検査

a. 全管いずれもスライム状沈着スケールは認められなかった。

b. アルブラック、アルミニウム黄銅およびアルミニウム青銅管はいずれも新しい点食の増加は認められず、形状にも著しい変化を認めなかつた。また点食孔の内部に6ヶ月目には主として淡褐色、9ヶ月目には主として黄白色のスケールが附着していく、深さの変化は判らなかつた。

c. 3ヶ月目に均一な黒色を呈していたアルブラック、アルミニウム黄銅およびアルミニウム青銅管の内面被膜がまだら状に茶褐色となり、6ヶ月目、9ヶ月目と茶褐色部分が広くなつてゐた。また3ヶ月目に認められた流速の大きなアルブラック管の被膜ハクリ部はその後被膜が生成し、6ヶ月目以降認められなかつた。

d. キュプロニッケル管はいずれも3ヶ月目と同様な全面腐食型の肌荒れが認められ、6ヶ月、9ヶ月と次第に激しくなる傾向を認めた。

e. 6ヶ月目に新しく挿入したNo.7'のアルブラック管は3ヶ月経過後にも点食が認められず、全面均一な茶褐色の被膜に覆われていた。

f. 6ヶ月目に新しく挿入した30%キュプロニッケル管は、3ヶ月経過後殆んど平滑な地肌を呈しており、極く軽微な肌荒れが始っているように認められた。

(3) 第4回検査

a. アルブラック管の内面はいずれも9ヶ月目と著しく異り、掃除直後にもかかわらず、黒色を呈したスライム状のスケールが殆んど全面に薄く附着していた。このスケールは再度ブラシでこすってもとれなかつた。

30%キュロニッケル、ニッケル銅合金およびステンレス鋼管には、いずれもスライム状のスケールの附着は認められなかつた。

b. アルブラック管の点食および内面被膜はスケール附着のため殆んど見られなかつた。極く一部のスケールハクリ部をみると、1ヶ年試験せる管はいずれも9ヶ月目と同様な黒と茶褐色のまだら色をした平滑な被膜が認められ、点食孔には白緑色の腐食生成物と考えられるものが認められたが、6ヶ月目に挿入したNo.7'-1A管のスケールハクリ部は、3ヶ月目(第3回検査時)と同様な均一茶褐色被膜におおわれていて点食は認められなかつた。

c. 30%キュプロニッケル管は、9ヶ月目よりも激しい全面肌荒れが認められた。6ヶ月目に挿入した管も前回検査時以降急激に肌荒れが進行し、1ヶ年試験した管と同程度になつたように認められた。

d. 9ヶ月目に挿入したニッケル銅合金管にも全面腐食による肌荒れが認められた。3ヶ月経過しただけであるが、1ヶ年試験した30%キュプロニッケル管と同程度の肌荒れを呈していた。

e. 9ヶ月目に挿入したステンレス鋼管にも点食が認められた。点食は18-8ステンレス鋼管の方がモリブデン入り18-8ステンレス鋼管より数も多く、大きさも大きいことが判つた。深さはいずれも0.1mm程度と推定された。点食部以外の面には全面茶褐色の被膜が認められた。

6・3・2 非掃除管(B管)の検査結果

検査結果の要点はTable 11に示す。

(1) 第1回検査

a. 非掃除管の内面には黄褐色を呈したスライム状のスケールが附着していた。附着量は流速の遅い管ほど多く、流速3m/sec以上の管は極めて少なかつた。また、いずれも管端部約150mmの範囲には極めて少なかつた。

b. 流速2.5m/sec以下の管はスライム状スケールが厚いために、管自体の腐食状況は判らなかつた。

c. 流速3m/secおよび4m/secのアルブラック管には点食が認められたが、スケール附着のため詳細は判らなかつた。点食孔以外は全面均一な黒色内面被膜が存在しているように認められた。

d. 30%キュプロニッケルの流速3m/secおよび4m/sec管には点食は認められず、光沢のない平滑な褐色被膜が認められた。

(2) 第2回および第3回検査

a. 3ヶ月目に認められた流速2.5m/sec以下の管のスライム状スケールは、その後9ヶ月目までの6ヶ月間には、附着量の顕著な増加は認められなかつた。

b. 6ヶ月目に新しく挿入したNo.7'の管は、3ヶ月経過した第3回検査時にもスライム状スケールの附着は極めて薄かつた。

c. 流速3m/secのアルブラック管に認められた点食は掃除管と同様、内部に淡褐色または黄白色のスケールの附着が認められた以外には3ヶ月目と殆ど変りがなかつた。

d. 流速3m/secの30%キュプロニッケル管は点食が認められず、全面光沢のない黒褐色を呈していた。

(3) 第4回検査

a. 全管とも、前回までの黄褐色とは異った、黒色のスライム状スケールが附着していた。

b. 1年経過した管のスケール附着量はいずれも9ヶ月目より若干厚くなつた程度であるが、6ヶ月目および9ヶ月目挿入したNo.7', No.11およびNo.12分配口の管は、第3回検査時以後急激に増加して、同流速の1年経過せる管と同程度に厚く附着していた。

Table 11 Result of examination of tubes' inside wall by bore-scope.
(Uncleaned tube)

Mark	Material	Velocity of water, m/sec	1st Examination (Dec. 15, 1959)	2nd Examination (Feb. 15, 1960)	3rd Examination (May 16, 1960)	4th Examination (Aug. 19, 1960)
No. 1	1 B Albrac	1.0	Light brown slime-like scale cover the surface (very thickly)	Same as the left.	Same as the left.	—
	2 B 30% cupro-nickel		Same as the above (very thickly)	Same as the left.	Same as the left.	—
No. 2	1 B Albrac	1.5	Same as the above. (thickly)	Same as the left.	Same as the left.	Slime-like scale is black, and is somewhat thicker than the left.
	2 B 30% cupro-nickel		Same as the above, (thickly)	Same as the left.	Same as the left.	Same as the above.
No. 3	1 B Albrac	2.0	Same as the above (thickly)	Same as the left.	Same as the left.	Same as the above.
	2 B 30% cupro-nickel		Same as the above. (thickly)	Same as the left.	Same as the left.	Same as the above.
No. 4	3 B Albrac annealed	2.0	Same as the above. (thickly)	Same as the left.	Same as the left.	—
	4 B Aluminium brass		Same as the above (thickly)	Same as the left.	Same as the left.	—
No. 5	5 B Aluminium bronze	2.0	Same as the above. (thickly)	Same as the left.	Same as the left.	—
	6 B 10% cupro-nickel		Same as the above. (thickly)	Same as the left.	Same as the left.	—
No. 6	2 B 30% cupro-nickel	2.0	Same as the above (thickly)	Same as the left.	Same as the left.	Slime-like scale is black and is somewhat thicker than the left.
	6 B 10% cupro-nickel		Same as the above (thickly)	Same as the left.	Same as the left.	Same as the above.
No. 7	1 B Albrac	2.0	—	—	X	X
	2 B 30% cupro-nickel		—	—	X	X
No. 7'	1 B Albrac	2.0	X	X	Light brown slime-like scale adhere very thin.	Slime-like scale is black and is considerably thicker than the left.
	2 B 30% cupro-nickel		X	X	Same as the above.	Same as the above.
No. 8	1 B Albrac	2.0	—	—	—	—
	2 B 30% cupro-nickel		Light brown slime-like scale cover the surface. (thickly)	Same as the left.	Same as the left.	—
No. 9	1 B Albrac	2.5	Same as the above. (comparatively thin)	Same as the left.	Same as the left.	Slime-like scale is black, and is somewhat thicker than the left.
	2 B 30% cupro-nickel		Same as the above (comparatively thin)	Same as the left.	Same as the left.	Same as the above.
No. 10	1 B Albrac	3.0	Slime-like scale is very few. Pittings. Black film.	The pittings have scale.	Same as the left.	—
	2 B 30% cupro-nickel		Slime-like scale is very few. Brown film?	The film transcolored to black.	Same as the left.	—
No. 11	1 B Albrac	4.0	Slime-like scale is very few. Pittings. Black film.	The pittings have scales.	—	X
	2 B 30% cupro-nickel		Brown film.	The film transcolored to black.	—	X
No. 11'	7 B Nickel-Copper Alloy	2.0	X	X	X	Black slime-like scale cover the surface sameily as No. 2-1B etc.
	7B' Nickel-Copper Alloy		X	X	X	Same as the above.
No. 12	8 B 18-8 Stainless steel	2.0	X	X	X	Same as the above.
	9 B 18-8-2 Mo Stainless steel		X	X	X	Same as the above.

7. 抜取り管の調査

7・1 調査管

試験開始後 6 ヶ月目の 2 月 16 日に No. 7 分配口、9 ヶ月目の 5 月 16 日に No. 11 分配口、更に 1 年目の 8 月 19 日に No. 1, No. 3, No. 4, No. 5, No. 8 および No. 10 分配口の試験管を抜き取って夫々破壊調査した。調査管の詳細は Table 12 に示す。なお、掃除管 (A 管) は、いずれも抜取り当日の定期掃除は行わないで抜取った。従って最後の掃除を行ってから半月間試験した状態である。

7・2 調査方法

先ず抜取り管を丸鋸にて縦割り後、内面のスケール附着状況を調べ、更にスケールをブラシでこすり落した後の内面被膜状況を調べ、その後酸洗いを行ってから内面の腐食状況を肉眼観察によって調査した。ブラシで剥離せしめたスケールは化学分析を行った。更に各管について、内面肉

眼観察で腐食が最も深いと認められた部分約 3 個所の断面を顕微鏡で観察して腐食深さを測定した。断面を研磨する際には、試片を透明合成樹脂に埋め込んで、研磨面（調査面）が腐食部の最深部を通り且つ管の外面に直角になるように細心の注意をはらった。研磨面が腐食最深部から逸れたものについては腐食深さを測らなかった。

7・3 内面および断面状況

縦割り後の各管の内面状況を Photo. 5 に、ブラシでこすって水洗した後の状況を Photo. 6 に、また酸洗いによってスケールおよび内面被膜を完全に除去した後の金属面の腐食状況を Photo. 7 に示す。また各管の最深腐食部の外観とその断面状況を Photo. 8, 9 に示した。Photo. 5, 6, 7 はいずれも管端部約 150mm の範囲を除いた部分の代表状況であり、後述するごとくいずれの管も管端部約 150mm の範囲の状況はこれとは少し異っている。以下各管について述べる。

Table 12 Tubes examined with destruction method after corrosion test.

Mark	Material	Testing condition			Tested period
		Joint to tube plate	Velocity of water, m/sec	Periodic cleaning of inside wall	
No. 7 - 1A	Albrac	Weld	2.0	Done	Aug. 11. 1959 ~ Feb. 15. 1960 (6 months)
No. 7 - 1B		"	"	No	
No. 7 - 2A	30% cupronickel	"	"	Done	
No. 7 - 2B	"	"	No		
No. 11 - 1A	Albrac	Expand	4.0	Done	Aug. 11. 1959 ~ May 16. 1960 (9 months)
No. 11 - 1B		"	"	No	
No. 11 - 2A	30% cupronickel	"	"	Done	
No. 11 - 2B	"	"	No		
No. 1 - 1A	Albrac	"	1.0	Done	Aug. 11. 1959 ~ Aug. 10. 1960 (12months)
No. 1 - 1B	"	"	"	No	
No. 8 - 1A	"	Weld	2.0	Done	
No. 8 - 1B	"	"	"	No	
No. 10 - 1A	"	Expand	3.0	Done	
No. 10 - 1B	"	"	"	No	
No. 4 - 3A	Albrac annealed	"	2.0	Done	
No. 4 - 3B	"	"	"	No	
No. 4 - 4A	Alminium brass	"	"	Done	
No. 4 - 4B	"	"	"	No	
No. 5 - 5A	Aluminium bronze	"	"	Done	
No. 5 - 5B	"	"	"	No	
No. 1 - 2A	30% cupronickel	"	1.0	Done	h. min 3981.50
No. 1 - 2B	"	"	"	No	
No. 8 - 2A	"	Weld	2.0	Done	
No. 8 - 2B	"	"	"	No	
No. 10 - 2A	"	Expand	3.0	Done	
No. 10 - 2B	"	"	"	No	
No. 5 - 6A	10% cupronickel	"	2.0	Done	
No. 5 - 6B	"	"	"	No	

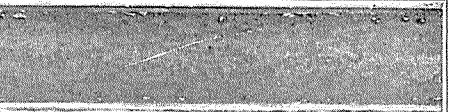
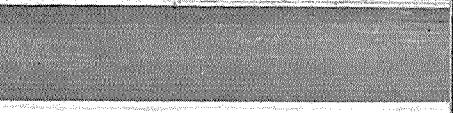
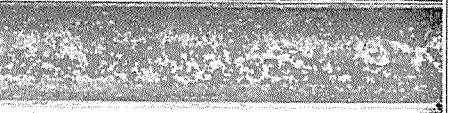
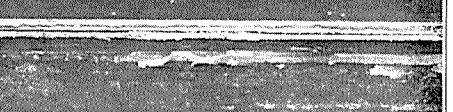
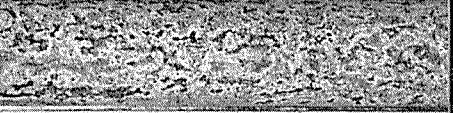
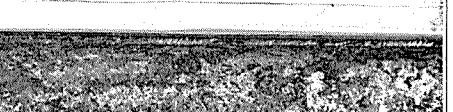
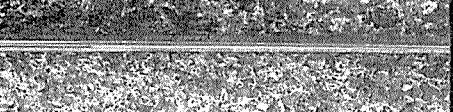
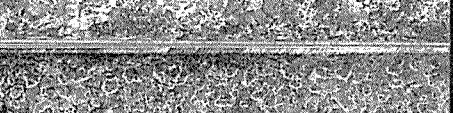
Testing period	Material	Velocity of water, m/sec	Mark	Periodically cleaned tube	Uncleaned tube
Aug. 11, 59'~Feb. 16, 60' (6 months)	Albrac	2.0	No. 7-1		
	30% cupro-nickel	2.0	No. 7-2		
	Albrac	4.0	No. 11-1		
	30% cupro-nickel	4.0	No. 11-2		
	Albrac	1.0	No. 1-1		
		2.0	No. 8-1		
		3.0	No. 10-1		
	Albrac annealed	2.0	No. 4-3		
	Aluminum brass	2.0	No. 4-4		
	Aluminum bronze	2.0	No. 5-5		
	30% cupro-nickel	1.0	No. 1-2		
		2.0	No. 8-2		
		3.0	No. 10-2		
Aug. 11, 59'~Aug. 19, 60' (1 year)	10% cupro-nickel	2.0	No. 5-6		

Photo. 5 Scale formed on inside wall of tube.

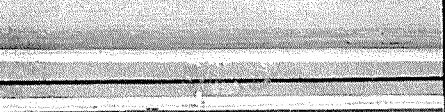
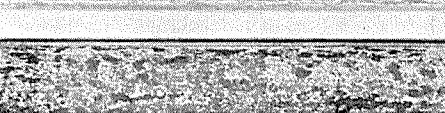
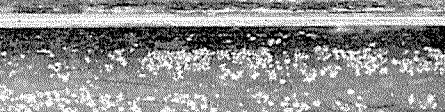
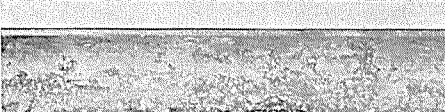
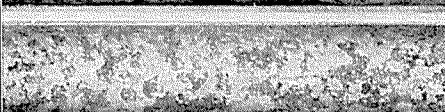
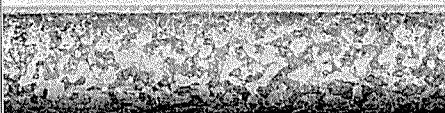
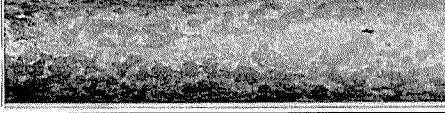
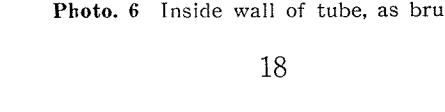
Testing period	Material	Velocity of water, m/sec	Mark	Periodically cleaned tube	Uncleaned tube
Aug. 11, 59'~Feb. 16, 60' (6 months)	Albrac	2.0	No. 7-1		
	30% cupro-nickel	2.0	No. 7-2		
	Albrac	4.0	No. 11-1		
	30% cupro-nickel	4.0	No. 11-2		
Aug. 11, 59'~May 16, 60' (9 months)	Albrac	1.0	No. 1-1		
		2.0	No. 8-1		
		3.0	No. 10-1		
	Albrac annealed	2.0	No. 4-3		
Aug. 11, 59'~Aug. 19, 60' (1 year)	Aluminium brass	2.0	No. 4-4		
	Aluminium bronze	2.0	No. 5-5		
	30% cupro-nickel	1.0	No. 1-2		
		2.0	No. 8-2		
		3.0	No. 10-2		
	10% cupro-nickel	2.0	No. 5-6		

Photo. 6 Inside wall of tube, as brushed.

7・3・1 6ヶ月目の調査管

- (1) No.7-1A 管 (アルブラック、溶接、2.0m/sec、掃除管) :

全面にわって黒色と茶褐色のまだら色をした薄い平滑被膜におおわれており、点々と多数の点食が認められた。点食孔には黄褐色ないし白青色のスケールが薄く附着してい

た。なお、管端部約180mmの範囲には点食はなかった。ブラシでこすって水洗しても殆んど変りがなかった。酸洗い後の金属面も、点食部以外は健全であり、管端の溶接部およびその近傍にも腐食は認められなかった。点食部の面積を全部総合したものの、管内面全面積（管端近傍の健全範囲を除く）に対する割合は大体15%程度と推定された。

Testing period	Material	Velocity of water m/sec	Mark	Periodically cleaned tube	Uncleaned tube
Aug. 11, 59' ~ Feb. 16, 60' (6 months)	Albrac	2.0	No. 7-1	7-1A	7-1B
	30% cupro-nickel	2.0	No. 7-2	7-2A	7-2B
	Albrac	4.0	No. 11-1	11-1A	11-1B
	30% cupro-nickel	4.0	No. 11-2	11-2A	11-2B
		1.0	No. 1-1	1-1A	1-1B
	Albrac	2.0	No. 8-1	8-1A	10-2B
		3.0	No. 10-1	10-1A	10-1B
	Albrac annealed	2.0	No. 4-3	4-3A	4-3B
	Aluminium brass	2.0	No. 4-4	4-4A	4-4B
	Aluminium bronze	2.0	No. 5-5	5-5A	5-5B
		1.0	No. 1-2	1-2A	1-2B
	30% cupro-nickel	2.0	No. 8-2	8-2A	8-2B
		3.0	No. 10-2	10-2A	5-6B
	10% cupro-nickel	2.0	No. 5-6	5-6A	8-1B

Photo. 7 Corrosion of tubes. (as cleaned by sulfuric acid solution)

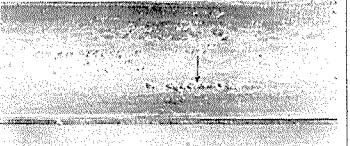
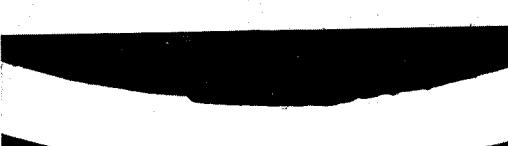
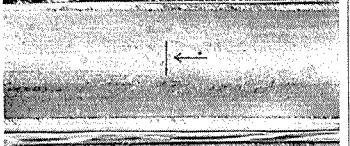
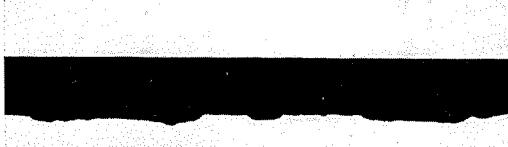
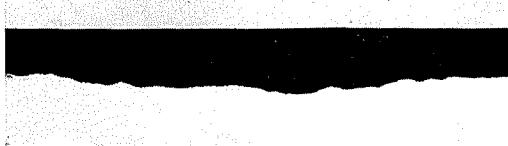
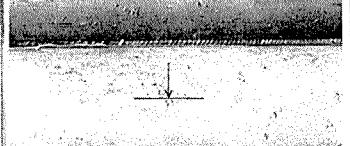
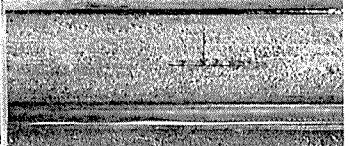
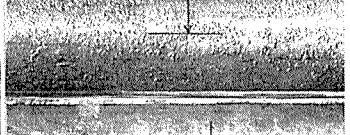
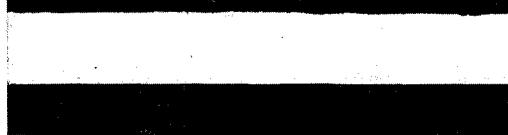
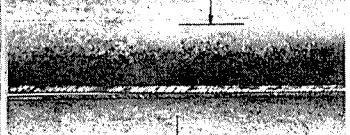
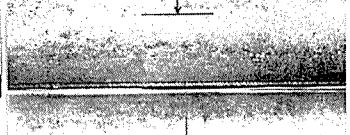
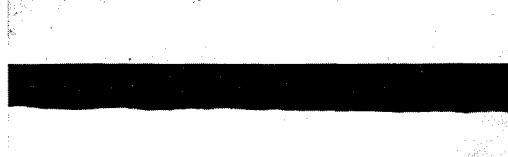
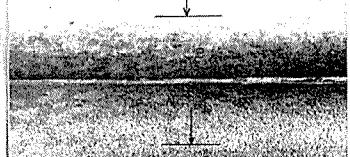
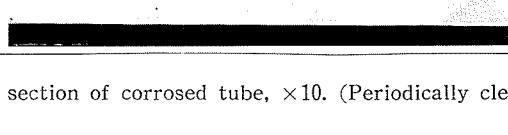
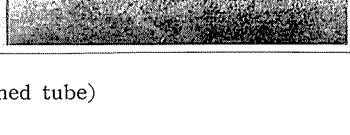
Testing period	Material	Velocity of water, m/sec	Mark		
Aug. 11, 59'~Aug. 19, 60' (1 year)	Albrac	2.0	No. 7-1A		
			No. 7-2A		
	Albrac	4.0	No. 11-1A		
			No. 11-2A		
	30% cupro-nickel	1.0	No. 1-1A		
			No. 8-1A		
			No. 10-1A		
	Albrac annealed	2.0	No. 4-3A		
	Aluminium brass	2.0	No. 4-4A		
	Aluminium bronze	2.0	No. 5-5A		
	30% cupro-nickel	1.0	No. 1-2A		
			No. 8-2A		
			No. 10-2A		
	10% cupro-nickel	2.0	No. 5-6A		

Photo. 8 Cross section of corroded tube, $\times 10$. (Periodically cleaned tube)

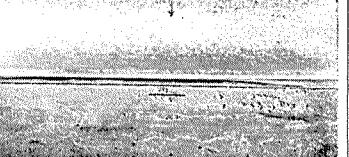
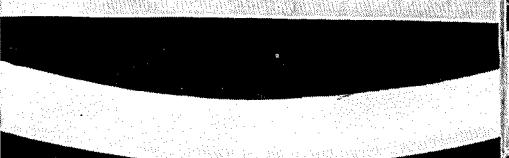
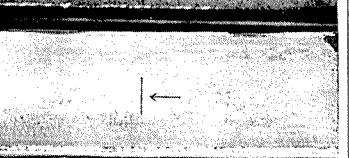
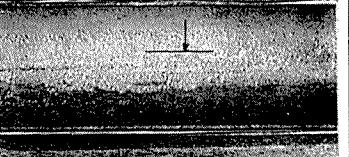
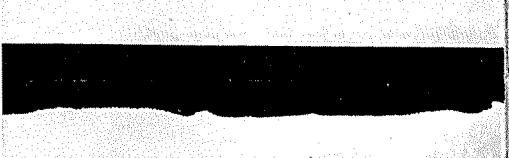
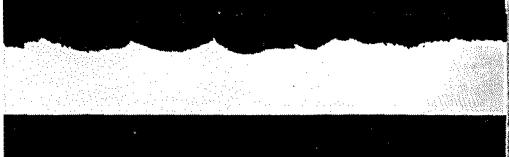
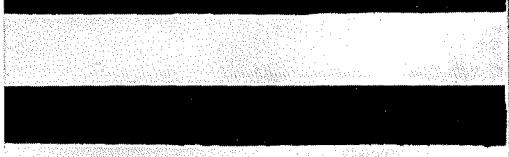
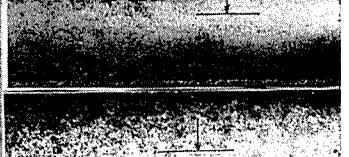
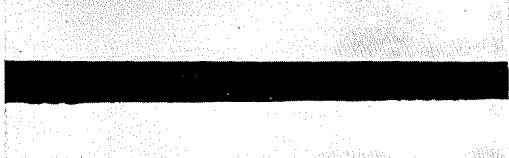
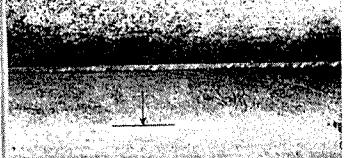
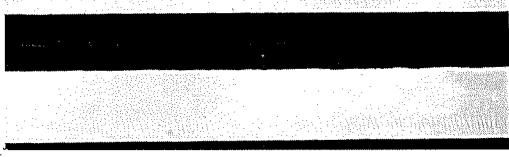
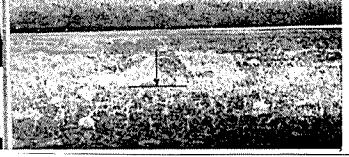
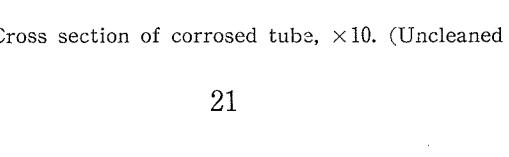
Testing period	Material	Velocity of water, m/sec	Mark		
Aug. 11, 59'~Feb. 16, 60' (6 months)	Albrac	2.0	No. 7-1B		
	30% cupro-nickel	2.0	No. 7-2B		
Aug. 11, 59'~May 16, 60' (9 months)	Albac	4.0	No. 11-1B		
	30% cupro-nickel	4.0	No. 11-2B		
Aug. 11, 59'~Aug. 19, 60' (1 year)	Albrac	1.0	No. 1-1B		
		2.0	No. 8-1B		
		3.0	No. 10-1B		
	Albrac annealed	2.0	No. 4-3B		
	Aluminium brass	2.0	No. 4-4B		
	Aluminium bronze	2.0	No. 5-5B		
		1.0	No. 1-2B		
	30% cupro-nickel	2.0	No. 8-2B		
		3.0	No. 10-2B		
	10% cupro-nickel	2.0	No. 5-6B		

Photo. 9 Cross section of corroded tube, $\times 10$. (Uncleaned tube)

Table 13 Area of corrosion.

Testing period	Material	Velocity of water, m/sec	Periodically cleaned tube		Uncleaned tube	
			Mark	Area of corrosion, %	Mark	Area of corrosion, %
6 months	Albrac	2.0	No. 7-1A	About 15	No. 7-1B	About 80
	30% cupronickel	2.0	No. 7-2A	100	No. 7-2B	100
9 months	Albrac	4.0	No. 11-1A	About 7	No. 11-1B	About 7
	30% cupronickel	4.0	No. 11-2A	100	No. 11-2B	100
12 months	Albrac	1.0	No. 1-1A	About 10	No. 1-1B	About 30
	Albrac	2.0	No. 8-1A	About 7	No. 8-1B	About 20
	Albrac	3.0	No. 10-1A	About 7	No. 10-1B	About 20
	Albrac annealed	2.0	No. 4-3A	About 10	No. 4-3B	About 20
	Aluminium brass	2.0	No. 4-4A	About 15	No. 4-4B	About 40
	Aluminium bronze	2.0	No. 5-5A	About 40	No. 5-5B	About 85
	30% cupronickel	1.0	No. 1-2A	100	No. 1-2B	100
	30% cupronickel	2.0	No. 8-2A	100	No. 8-2B	100
	30% cupronickel	3.0	No. 10-2A	100	No. 10-2B	100
	10% cupronickel	2.0	No. 5-6A	100	No. 5-6B	100

* Rate to the total area of inside wall of tube.

この値は腐食面積として、他の管と共に Table 13 に示してある。断面顕微鏡調査で測定した最も深い点食部の深さは、Table 14 に示すごとく 0.28mm であった。この管の点食は今期破壊調査したアルブラック管の中で最も大型で、かつ深いものであった。管端溶接部の断面状況は Photo. 10 に示すごとくであり、腐食は認められない。

(2) No. 7 1B 管 (アルブラック、溶接、2.0m/sec、非掃除管) :

全面に黄褐色のスライム状スケールが厚く附着していた。しかし管端近傍は非常に薄く、管端から約 150mm の範囲は黒色の内面被膜が見える程度であった。ブラシでこすると附着スケールはかなり除去されて、黒色の内面被膜および点食がところどころまばらに表れたが、大部分の面はスケールが完全に除去されないで薄く固着したままであった。点食孔には白緑色のスケールが認められた。酸洗いの後は、管端部約 200mm は健全で、その他の範囲は全域にわたり、点食の密集したような腐食部が無数に認められ、腐食面積は約 80% を占めていた。腐食深さの測定値は 0.19mm である。なお管端溶接部およびその近傍には腐食は認められなかった。

(3) No. 7-2A 管 (30%キュプロニッケル、溶接、2.0 m/sec、掃除管) :

スライム状のスケールは認められず、全面やや黒味がかった褐色の薄い被膜におおわれていた。この被膜はアルブラック管に認められた光沢ある緻密な固着性被膜とは異なり、比較的荒い感じの被膜で、ブラシでこすると大部分は粉末状となってハクリし、金属地肌が表れた。酸洗いによる被膜除去後の面は、点食等の顕著な腐食は認められず、概ね健全であったが、管端近傍 100mm 位を除き、全面殆んど均一に金属光沢のない微細な肌荒れを呈しており、軽微な全面腐食を受けているように認められた。断面状況も

Photo. 10 に見られるごとく、殆ど健全なようではあるが、内面側に軽微な凹凸が認められる。その最凹部の肉厚測定値は 0.98mm であった。大体 0.04mm 程度の腐食を受けているものと考えられる。なお管端溶接部およびその

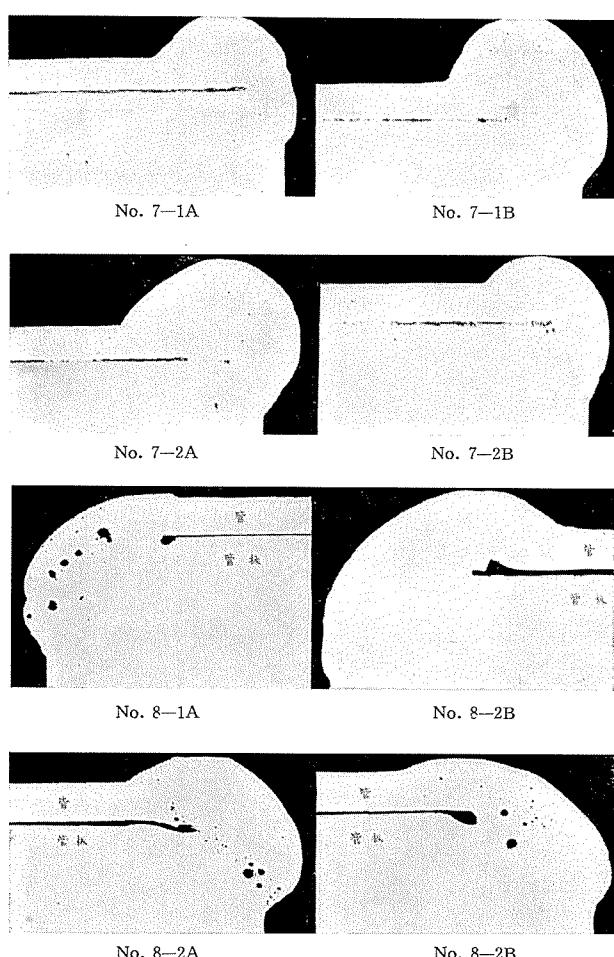


Photo. 10 Cross section of welded part. $\times 10$

Table 14. Depth of corrosion.*

Testing period	Material	Velocity of water, m/sec	Periodically cleaned tube		Uncleaned tube	
			Mark	Depth of corrosion, mm	Mark	Depth of corrosion, mm
6 months	Albrac	2.0	No. 7-1A	0.28	No. 7-1B	0.19
				0.26		—
	30% cupronickel	2.0	No. 7-2A	0.04	No. 7-2B	0.04
				0.01		0.01
9 months	Albrac	4.0	No. 11-1A	0.16	No. 11-1B	0.20
				0.15		0.22
	30% cupronickel	4.0	No. 11-2A	0.11	No. 11-2B	0.08
				0.09		0.10
12 months	Albrac	1.0	No. 1-1A	0.10	No. 1-1B	0.18
				0.12		0.14
		2.0	No. 8-1A	0.15	No. 8-1B	0.21
				0.16		0.20
		3.0	No. 10-1A	0.20	No. 10-1B	—
				0.20		0.22
	Albrac annealed	2.0	No. 4-3A	0.25	No. 4-3B	0.25
				0.25		0.27
	Aluminium brass	2.0	No. 4-4A	0.34	No. 4-4B	0.30
				0.32		0.32
				—		0.32
	Aluminium bronze	2.0	No. 5-5A	—	No. 5-5B	0.27
				0.26		0.26
				0.20		0.24
	30% cupronickel	1.0	No. 1-2A	0.11	No. 1-2B	0.09
				0.08		0.10
				0.10		0.09
		2.0	No. 8-2A	0.08	No. 8-2B	0.08
				0.11		0.11
				0.10		0.10
	10% cupronickel	2.0	No. 10-2A	0.11	No. 10-2B	0.12
				0.07		0.11
				0.12		0.08
		2.0	No. 5-6A	0.10	No. 5-6B	0.11
				0.10		0.10
				0.11		0.08

* Determined by microscopic examination of cross section.

近傍には別段異常は認められなかった。

(4) No. 7-2B 管 (30% キュプロニッケル、溶接、2.0 m/sec、非掃除管) :

全域にわたって茶褐色のスライム状スケールが附着していた。このスケールは非常にハクリ性に富んでいて、切断の際に大半がハクリしてしまって、軽微な肌荒れの認められる地肌がまだらに露出していた。ブラシでこするとスケールは殆んどハクリして地肌が表れた。なお、ブラシでハクリされたスケールは No. 7-1B 管 (アルブラック) のそれよりもかなり濃い色を呈しており、下層に生成されていた内面被膜も一緒にハクリしたことが推定された。酸洗い

後の状況は No. 7-2A 管と殆んど同じであった。また断面状況も No. 7-2A 管と殆んど同様で、0.04mm 程度の全面型腐食を受けているように認められた。

7・3・2 9ヶ月目の調査管

(1) No. 11-1A 管 (アルブラック、4.0m/sec、掃除管) :

No. 7-1A 管と同様、全面黒ないし茶褐色の薄い被膜におおわれておらず、両管端部各 150mm 位の範囲を除き多数の点食が認められた。総点食面積は内面の約 7 %と推定され、最深深さは 0.16mm と測定された。

(2) No. 11-1B 管 (アルブラック、4.0m/sec、非掃除管) :

非掃除管であるが、点食孔を除いてはスライム状スケ

ルの附着は殆んど認められず、No. 11-1A 管と殆んど同じ状態であった。点食の発生状況も No. 11-1A 管とほぼ同じで、面積は約 7 % であったが、深サは 0.22mm で No. 11-1A 管よりいくらか深かった。

- (3) No. 11-2A 管 (30% キュプロニッケル、4.0m/sec、掃除管) :

全面殆んど均一に、6ヶ月目の No. 7-2A 管と同様の光沢のない黒褐色の被膜によって薄くおおわれていた。

ブッシング後および酸洗い後の状況も No. 7-2A 管と殆んど同じであったが、地肌の肌荒れは No. 7-2A 管よりやや頗著であった。断面で測定した肉厚最小値は 0.91mm であり、0.11mm 程度の肉厚減と認められた。

- (4) No. 11-2B 管 (30% キュプロニッケル、4.0m/sec、非掃除管) :

No. 11-2A 管と同様の黒褐色被膜におおわれていた。被膜の厚サは No. 11-2A 管より若干厚いように認められ、所々それがハクリして新しい被膜が出来ている部分も認められた。ブッシング後および酸洗い後の内面状況ならびに断面の状況も No. 11-2A 管と殆んど同じであり、腐食深サも 0.10mm で殆んど変わなかった。

7・3・3 1年目調査管

- (1) No. 1-1A 管 (アルブラック、1.0m/sec、掃除管) :

全域にスライム状のスケールが薄く附着していた。両管端部夫々約 200mm の範囲のスケールは非常に薄く、色は緑色を呈していた。抜取り直後は黒色を呈していたが 10 数日放置した間に変色したものである。おそらくスケール内の第一銅腐食生成物が空気酸化を受け第二銅化合物に変化して緑変したものと思われる。その他の部分のスケールは黒ないし黒褐色を呈しており、ところどころ斑点状の白色または白緑色のスケールも認められた。ブラシでこすると、スライム状スケールはかなり薄くなり平滑な黒色および茶褐色の内面被膜がところどころまばらに現われたが、大部分の面はスライム状スケールが薄く固着残存していた。酸洗い後は、両管端部夫々 150mm 位の範囲には殆んど腐食が認められず、その他の全域に微細な点食が多数認められた。この管の点食は、後述の 2.0m/sec および 3.0m/sec のアルブラック掃除管の点食に比較するとやや小型ではあるが比較的数が多いため総合面積としては広く、内面の約 10% 程度であった。最深腐食深サは 0.12mm で、キュプロニッケルを除く全調査管の中で最も浅かった。

- (2) No. 1-1B 管 (アルブラック、1.0m/sec、非掃除管) :

管端近傍を除いた全域にわたり、スライム状のスケールが非常に厚く附着しており、その厚サは全調査管中最も厚かった。色は 6ヶ月目の No. 7-1B 管と同様の黄褐色のものが下層の大部分を占め、その上層に灰色を呈したもののが薄くおおっていた。これは抜取り直後黒色であったのが放置中に乾燥して灰色化したものである。管端近傍約 200 mm の範囲はスライム状スケールの附着が非常に薄く、No. 1-1A 管の管端近傍と同じ状態であった。ブラシでこ

すった後の状況は No. 1-1A 管と同様である。酸洗い後には、管端部約 200mm を除いた部分に、多数の点食が凝集したような状態の腐食部がまだらに生じているのが認められ、その面積は全面積の 30% 程度であった。腐食深サは 0.18mm で、No. 1-1A 管よりやや深い。

- (3) No. 8-1A 管 (アルブラック、溶接、2.0m/sec、掃除管) :

スライム状スケールが No. 1-1A 管より若干薄く附着しており、全域にわたって殆んど緑色を呈していた。ブッシング後の状況は No. 1-1A 管と同様であり、酸洗い後の面には、管端部約 150mm の範囲を除いた全域に多数の点食が認められ、その腐食面積は約 7 % であった。溶接部およびその近傍には腐食は認められなかった。点食部の最深深サは 0.16mm で No. 1-1A 管より若干深い。なお溶接部の断面調査では、Photo. 10 に示すごとく溶接時に生じたガス孔が内部に多数認められたが、腐食の形跡はなかった。

- (4) No. 8-1B 管 (アルブラック、溶接、2.0m/sec、非掃除管) :

スケールの附着状況は、厚サが若干薄いと認められる以外は No. 1-1B 管と同じであり、それをブラシでこすった後の状況も No. 1-1B 管と殆んど同じであった。酸洗い後の面には、管端部約 150mm の範囲を除き、No. 1-1B 管と同様の、点食の密集した様な腐食がまだらに存在した。腐食部の面積は大体 20% 程度で No. 1-1B 管よりやや少いが、腐食深サは最深部 0.21mm で No. 1-1B 管より僅かに深かった。なお溶接部の断面には腐食は認められなかった。

- (5) No. 10-1A 管 (アルブラック、3.0m/sec、掃除管) :

附着スケールが No. 8-1A 管よりも薄いと認められる以外は No. 8-1A 管と殆んど同様であった。酸洗い後は管端部約 100mm の範囲を除いた全域に、No. 8-1A 管と同じ程度の点食が認められ、その腐食深サは No. 8-1A 管よりも僅かに深く、最大 0.20mm であった。

- (6) No. 10-1B 管 (アルブラック、3.0m/sec、非掃除管) :

非掃除管にもかかわらず、附着スケールは非常に少く No. 8-1A 管 (流速 2.0m/sec の掃除管) とほぼ同程度で、色も下面は大体 No. 1-1A 管と同様の黒乃至黒褐色、上面は No. 8-1A 管と同様主として緑色を呈していた。

内面には管端部約 150mm の範囲を除いた全域に、点食の多数かたまたま腐食部が No. 8-1B 管と同じように生じており、その最深深サは 0.22mm であった。

- (7) No. 4-3A 管 (軟質アルブラック、2.0m/sec、掃除管) :

スケールの色および附着状況とともに、No. 8-1A 管と殆んど同じであった。酸洗い後の内面には管端部約 100mm を除いた全域に No. 8-1A 管と同程度の点食が生じていたが、比較的大きく深そうな点食がかなり認められ、その測定深サは 0.25mm であった。

- (8) No. 4-3B 管 (軟質アルブラック、2.0m/sec、非掃除管) :

スケールの附着状況およびブラッシング後の状況は No. 8-1B 管と殆んど同じであった。内面の腐食状況も No. 8-1B 管と同様であったが、深さはかなり深いように認められ、最深部測定値は 0.27mm で、No. 4-3A 管よりも僅かに深かった。

(9) No. 4-4A 管（アルミニウム黄銅、2.0m/sec、掃除管）：

附着スケールは、小さな斑点状の白色又は白緑色スケールがかなり多数認められる以外は No. 8-1A 管と殆んど同じであり、それをブラシでこすった後の状況も同様であった。酸洗い後の面には、管端約 150mm の範囲を除いた全域にかなり深い点食が多数（アルブラック掃除管の 2 倍位）認められた。最深腐食深さは 0.34mm で、軟質アルブラック管よりも更に深く、No. 8-1A 管の 2 倍位の深さであった。（今回の調査管中で最も深い）。

(10) No. 4-4B 管（アルミニウム黄銅、2.0m/sec、非掃除管）：

スケール附着状況は No. 8-2B 管の状況と殆んど同様であるが、切断時にハクリした部分が比較的多く、また、ブラッシング後、明らかに腐食部と認められる白色および白緑色スケールの附いた凹部（点食の密集した様な状態）が非常に多く認められた。酸洗い後は、管端部約 100mm を除き、点食の密集した様な腐食部が非常に多く認められた。その面積は約 40% でアルブラック非掃除管の 2 倍程度であり、深さも No. 4-4A 管と同程度に深かった。

(11) No. 5-5A 管（アルミニウム青銅、2.0m/sec、掃除管）：

スケール附着状況は No. 8-1A 管とよく似ていたが、微細な斑点状の白色乃至白緑色スケールを伴った点食が極めて多かった。洗滌後は管端近傍を除いた全域に微細でかなり深そうな点食が無数に存在し、アルブラック非掃除管に認められた如き点食密集状の腐食部もかなり混っていた。腐食部を総合した面積は、大体全面積の約 40% と認められた。腐食深さは 0.26mm で、軟質アルブラック管と同程度であった。

(12) No. 5-5B 管（アルミニウム青銅、2m/sec、非掃除管）：

スケル附着状況は No. 8-1B 管とよく似ていたが、切断時にスライム状スケールのハクリした部分がかなり多く、特に上面側は殆んど大部分が剥離してしまって、その下に白色乃至白緑色スケールの附いた腐食部が殆んど全面的に認められた。酸洗い後の内面は管端部約 200mm の範囲を除き、点食が密集した様な状態の腐食部が全面の約 85% を占めており、その深さは最大 0.27mm であった。

(13) No. 1-2A 管（30% キュプロニッケル、1.0m/sec、掃除管）：

黄緑色の部分も僅かに混った黒褐色のスライム状スケールが No. 1-1A 管と同程度の厚さに附着しており、切断時にそれが約半分以上まだら状にハクリしてしまった。ハク

リ部は大部分軽い肌荒れを呈した地肌を露出していたが、濃い黒褐色または黄緑色を呈した薄い被膜もまだらに残存していた。ブラシでこすると附着スケールは殆んど除去されて、黒褐色または緑褐色を呈した被膜の一部が極めて薄くまだらに残存したのを除いては、大部分、軽い肌荒れを呈した金属地肌が露出した。酸洗い後の内面は全面ほぼ均一に軽微な腐食肌荒れが認められるのみで点食型の腐食は認められず、外観的には点食を生じている管よりもかなり健全な様に見受けられた。なお、肌荒れは 9 ヶ月目の 30% キュプロニッケル管よりもやや顕著であった。また管端近傍は内部に比して肌荒れが非常に軽かった。肌荒れ部の断面状況は 9 ヶ月目のものと同様殆んど健全なように見受けられたが、全体的に肉厚が若干減少しており、最大肉厚減（腐食深さ）は 0.11mm 程度と認められた。

(14) No. 1-2B 管（30% キュプロニッケル、1.0m/sec、非掃除管）：

No. 1-1B 管と同様の厚いスライム状スケールが附着していたが、非常にハクリし易く、切断時に大部分がまだら状にハクリしてしまった。ハクリ部には、濃い黒褐色または緑褐色の薄いスケールがまだらにハクリ残存しており、更にそのハクリ部は地肌が露出していった。ブラシでこすった後は No. 1-2A 管と殆んど同じであった。酸洗い後の内面状況および断面状況も No. 1-2A 管と全く同じような状態であり、腐食深さも 0.10mm で No. 1-1A 管と同程度であった。

(15) No. 8-2A 管（30% キュプロニッケル、熔接、2.0 m/sec、掃除管）：

No. 1-2A 管の状況と殆んど同じであったが、スライム状スケールの附着厚さはかなり薄く No. 8-1A 管のそれと同じ程度であった。ブラシでこすった後の状況、酸洗い後の状況および断面状況はいずれも No. 1-2A 管と同じであり、腐食深さも同様 0.11mm であった。なお、この管は熔接々合管であるが、熔接部およびその近傍に、別段変った腐食は認められなかった。

(16) No. 8-2B 管（30% キュプロニッケル、熔接、2.0 m/sec、非掃除管）：

No. 1-2B 管と殆んど同じであったが、スライム状スケールの厚さはそれより少し薄く No. 8-1B 管のそれと同程度であった。ブラシでこすった後の状況、酸洗い後の状況、断面状況および腐食深さはいずれも No. 1-2A 管と殆んど同じであり、管端の熔接々合部およびその近傍にも異常は認められなかった。

(17) No. 10-2A 管（30% キュプロニッケル、3.0m/sec、掃除管）：

No. 1-2A 管と大体同じ状態であるが、スライム状スケールの附着は極めて薄く、No. 10-1A 管と同程度であった。ブラシでこすった後の状況、酸洗い後の状況、断面状況および腐食深さはともに No. 1-2A 管と殆んど同じであった。

- (18) No. 10-2B管 (30%キュプロニッケル、3.0m/sec、
非掃除管) :

スケールの附着状況はNo. 8-2A管と殆んど同じ状態を呈していた。ブラッシング後、酸洗い後および断面の各状況ならびに腐食深さも他の30%キュプロニッケル管と殆んど同じであった。

- (19) No. 5-6A管 (10%キュプロニッケル、2.0m/sec、
掃除管) :

切削後及びブラシでこすった後の内面状況は30%キュプロニッケルのNo. 8-2A管と殆んど同じであった。腐食状況は、30%キュプロニッケル管と同様の全面腐食を生じていたが、内面観察では極めて微細な点食も混在しているように認められた。腐食深さの測定値は0.11mmで30%キュプロニッケル管と同程度であった。

- (20) No. 5-6B管 (10%キュプロニッケル、2.0m/sec、
非掃除管) :

スケールの附着状況は30%キュプロニッケルのNo. 8-2B管と殆んど同じであったが、切断時のハクリ部分が若干少なかった。ブラシでこすった後および酸洗い後の状況、断面状況ならびに腐食深さ(0.11mm, 0.10mm, 0.08mm)はいずれもNo. 5-6A管と同様であった。

7・4 内面スケールの分析結果

ブラシでハクリせしめたスケールを集めて化学分析を行い、Table 15に示す結果を得た。

スケール採取量 Total (amount)は、既に管の縦割りに際しての機械的衝撃でハクリした部分を含まない。したがって、密着性に欠けるキュプロニッケル等では実際附着量よりかなり少い。しかし、密着性に富むアルブラックでは、前述の管内検査および抜取り破壊後の内面観察で認められたと同じく、流速の増大と掃除による附着量減少の傾向を証明している。また、9ヶ月目以降1ヶ月毎に急激にスケール量が多くなったことも明らかとなった。

Table 15 Chemical analysis of scale formed on inside wall of tube.

Tube	Testing period	6 months		9 months		12 months										
		Material	Albrac cupronickel	Albrac cupronickel	Albrac	Albrac annealed	Alminium brass	Alminium bronze	30% cupronickel	10% cupronickel						
	Velocity of water, m/sec	2.0	2.0	4.0	4.0	1.0	2.0	3.0	2.0	2.0	1.0	2.0	3.0	2.0		
	Mark	No. 7-1	No. 7-2	No. 11-1	No. 11-2	No. 1-1	No. 8-1	No. 10-1	No. 4-3	No. 4-4	No. 5-5	No. 1-2	No. 8-2	No. 10-2		
Total amount, g	A [※]	—	—	Tr	0.26	1.83	1.19	0.16	1.25	1.16	(0.78)	(1.88)	(0.91)	(0.24)		
	B	—	—	0.01	0.38	2.95	2.79	1.39	2.75	2.21	(1.79)	(0.64)	(0.54)	(0.51)		
% Chemical Composition,	Cu	A	—	14.20	—	43.25	23.70	36.48	48.32	52.04	50.58	54.50	40.26	26.65	30.75	57.00
		B	10.66	26.60	33.00	33.45	27.88	22.80	43.08	33.80	32.56	31.22	33.80	18.50	36.80	15.68
	Fe	A	—	18.50	—	5.60	7.85	2.60	1.80	1.95	1.85	2.20	2.70	1.10	2.60	1.40
		B	18.20	16.00	15.00	10.60	6.85	5.50	2.50	6.60	7.15	6.30	4.70	3.80	1.60	7.35
	Zn	A	—	1.00	—	—	5.20	6.15	2.06	7.25	21.55	0.70	0.25	0.20	0.50	0.50
		B	0.25	1.27	—	—	1.70	3.25	7.30	2.70	26.70	0.25	—	0.40	0.30	0.05
	Al	A	—	12.70	—	—	1.01	0.66	0.63	1.00	1.27	4.76	0.32	0.21	0.63	0.61
		B	3.78	7.62	—	—	4.17	2.49	1.00	2.80	2.78	5.50	0.42	0.48	0.95	1.79
	Si	A	—	1.03	—	—	0.63	0.69	0.67	0.49	0.56	0.82	1.54	0.40	2.55	0.23
		B	5.08	1.59	—	—	0.61	4.65	1.80	3.16	1.99	2.99	1.50	0.61	0.93	2.57
	Ni	A	—	9.45	—	5.27	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	12.80	12.14	16.70	5.50
		B	Tr	5.44	—	5.15	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	9.50	8.92	14.10	5.50
	Ca	A	—	1.07	—	—	Tr	Tr	0.21	Tr	0.14	Tr	Tr	0.04	1.14	Tr
		B	1.32	1.00	—	—	0.54	0.32	0.36	0.64	0.46	0.33	2.29	3.43	0.36	0.57
	Mg	A	—	3.60	—	—	0.16	0.11	0.72	0.33	0.38	0.26	0.72	0.10	0.76	0.44
		B	1.23	0.58	—	—	1.05	1.22	0.56	2.12	1.06	0.71	2.25	3.29	0.87	1.17
	SO ₄ ²⁻	A	—	0.41	—	—	1.87	0.62	—	1.32	0.74	0.82	1.21	1.36	—	0.88
		B	0.62	0.62	—	—	3.02	1.48	0.93	3.37	3.69	4.35	1.23	1.69	0.99	2.51
	Total S	A	—	1.51	—	—	5.20	6.97	—	4.29	6.38	1.18	4.47	2.62	—	5.81
		B	1.42	1.47	—	—	4.48	5.22	5.37	5.20	6.10	6.26	2.70	2.42	2.97	3.54
	Sulfide	A	—	1.37	—	—	4.57	6.76	—	3.85	6.13	5.91	4.09	2.17	—	5.52
		B	1.21	1.26	—	—	3.47	4.73	5.06	4.08	4.87	4.81	2.29	1.86	2.64	2.70
	Moisture	A	—	31.09	—	—	12.75	14.82	—	13.70	15.48	12.36	20.87	21.39	—	13.93
		B	24.55	32.28	—	—	19.10	18.14	—	18.69	16.81	23.42	14.38	18.51	—	14.75
	Ignition loss	A	—	10.08	—	—	3.17	3.37	—	3.13	3.14	3.80	5.60	5.16	—	3.11
		B	10.94	7.23	—	—	2.71	4.07	—	4.59	4.26	5.58	4.35	4.71	—	6.49

※ "A" is periodically cleaned tube, "B" is uncleaned tube.

いずれの管も、スケールは管の主成分たる Cu, Zn, Ni, Al 等がかなり多く、腐食生成物が多いことを示している。また、灼熱減量も多く、このうちにはスライム等の有機物質や硫化物が多いことも推定出来る。特に硫黄分が非常に多いことが注目される。

7・5まとめ

以上の抜取管破壊調査で認められた点をまとめると次のとくである。

(1) 6ヶ月目および9ヶ月目に抜取った掃除管以外の全管にスライム状の沈着スケールが附着していた。スケールの附着量は、定期的な掃除の実施または流速の増大によって著しく減少する傾向が認められた。1年目に抜取ったスケール附着量を比較すると次のとくである。

1m/sec 非掃除管 > 2m/sec 非掃除管 > 1m/sec 掃除管 >
3m/sec 非掃除管 > 2m/sec 掃除管 > 3m/sec 掃除管

また、いずれの管も乱流の影響があると考えられる管端部約 150mm の範囲は中央部に比しスケール附着量が著しく少なかった。

(2) 9ヶ月目以前の管のスライム状沈着スケールは黄褐色を呈していて附着量も少く、1ヶ月目の管のスケールは黒色で沈着量も比較的多かった。これは河海水の夏季汚染の影響を示すものと思われる。

(3) アルブラック、アルミニウム黄銅およびアルミニウム青銅管の附着スケールはかなり固着性に富み、キュプロニッケルではハクリ性に富む相違のあることが判った。これは次に述べる内面被膜の性状によるものであろう。

(4) スケール除去後認められた内面被膜は、アルブラック、アルミニウム黄銅およびアルミニウム青銅では黒、茶褐色の光沢ある緻密な固着性被膜であり、ブラシでこすってもハクリし難いが、キュプロニッケルでは濃黒褐色の比較的荒い感じの被膜であり、ブラシでこすると大部分は粉末状となってハクリし地肌があらわれた。

(5) アルブラック、アルミニウム黄銅およびアルミニウム青銅管の腐食はいずれも点食型であり、キュプロニッケル管の腐食はいずれも全面均一腐食型であった。ただし 10% キュプロニッケル管は極く微細な点食も混在しているように認められた。腐食面積を比較すると、10% および 30% キュプロニッケル > アルミニウム青銅 > アルミニウム黄銅 > アルブラック、の順であり、腐食深さでは、アルミニウム黄銅 > アルミニウム青銅および軟質アルブラック > アルブラック > 10% および 30% キュプロニッケル、の順であった。

(6) いずれの管も乱流の影響があると認められる管端部約 150mm の範囲は、概して健全であった。

(7) キュプロニッケル管では、腐食状態および腐食深さに対する流速および掃除の影響は明瞭でなかった。

アルブラック、アルミニウム黄銅およびアルミニウム青銅では、掃除管の点食は比較的分散し、非掃除管の点食は多数密集して生じている傾向が認められた。したがって各々同一流速においては掃除管に比し非掃除管の方が腐食面

積が大きく、また侵食も比較的深かった。

また、アルブラック管では流速の大なるほど腐食が深い傾向があり、腐食面積は逆に遅い 1m/sec の管の方が僅かに広かった。

(8) 30% キュプロニッケルの 6ヶ月目、9ヶ月目および 1ヶ月目に抜取った各管を比較すると試験時間経過について腐食が進行しているように認められた。

アルブラック管の試験経過の影響は明瞭でなく、非掃除管にのみ腐食進行が認められる。しかし掃除管では試験期間 6ヶ月の流速 2m/sec 管が異常に点食孔が大きく深い。この原因は明らかでないが、溶接々合によりキュプロニッケル管、アルミニウム青銅管板等との間の電食のためか、あるいは掃除の際の被膜破壊による局部腐食のためか、いずれかの特異現象と考えられる。

(9) 溶接接合管はいずれも溶接部およびその近傍に溶接に基づくと認められる腐食はなかった。

(10) 管内面のスケールを分析した結果、腐食生成物の他に、スライム等の有機物質の多いことが推定され、また多量の硫黄分が検出された。

8. まとめおよび考察

今期試験においては、汚染冷却水に対する各種復水器管材の耐食性、汚染水腐食因子および管内掃除や冷却水流速等の使用条件の腐食におよぼす影響等の探究解明を目的とし、前述のごとき諸結果を得た。これらの結果をまとめて考察すると次のとくである。

(1) 本試験装置による試験結果を考える場合次の 3 点は常に考慮せねばならぬであろう。1) 蒸気による温度の影響を無視せざるを得ないこと。2) 試験管長が短く冷却水側の腐食因子との相互作用が少いこと。3) 試験管の合金種類の相違等により電食の影響が加わる恐れのあること。

しかし、本試験では、短期間に汚染水腐食を再現せしめており、かなりの成果を得ることが出来た。

(2) 水質分析より、硫化物およびアンモニア等の腐食作用成分の存在を確認し、有機物質の混入と溶存酸素の欠乏から嫌気性硫化物生産菌の繁殖が可能と認められることが判った。即ち通常の冷却水と異なる汚染を確認した。

(3) 抜取調査管の管内スケール中に多量の硫化物を検出した。スケール中の硫化物の存在は、汚染水異常腐食を生じている新東京火力発電所および大阪火力発電所等の復水器管のいずれにも共通した特徴であり、汚染水異常腐食の主要因子として、硫化物は無視出来ないものの 1つと考えられる。

この硫化物が、冷却水中の単純なる硫化物によるか、沈着スケールとなる泥土質に含まれる複雑な硫化物によるか、あるいは嫌気性硫化物生産菌の管内生育によるものか、今後明らかにする必要がある。

(4) 夏季（6～9月）には沈着スケールが黒色を呈して著しく多く、冷却水も硫化水素臭を有して黒濁しているが、

冬季には沈着スケールが黄褐色を呈して少く、冷却水も清澄度を増す。かかる季節的変化に対応する水自体あるいは水に混入する物質の分析的確認とともに、腐食因子としての解析的検討が必要と思われる。

(5) 管内の定期検査によると、試験開始後1ヶ月半にしてはやくも腐食の始まりを認め、3ヶ月目にはキュプロニッケルを除く全部の管に点食の生成を認めたが、冬季に使用開始したアルブラック管には3ヶ月後にも点食が認められず、更に6ヶ月後の夏季になつても点食が発生しているかどうかが確認出来なかつた。このことから、夏季より使用開始した場合汚染水腐食は極めて起り易く、冬期より使用開始した管には腐食が起り難いことが判つた。この原因については、夏季、冬期の冷却水水質や水温等の腐食作用の相違以外に、管内生成初期被膜の性質の相違も考えねばならぬであろう。

(6) 夏季よりの使用管の調査から、初期3ヶ月間すなわち水の汚染度が高いと考えられる期間に点食が発生し、かつその間にかなり進行することが判つた。また秋季から春季にかけて水の汚染度の減退とともに点食の進行度はかなり減少することも判つたが、しかし必ずしも停止したとは認め難い。また、この1ヶ年の試験からみると、初期以外に内面被膜が破壊されて点食が新しく発生することも殆んど認められないことが判つた。この点食の発生と進行とを別けて考えることが汚染水腐食を明らかにする上に必要と考える。

(7) 冷却水流速が通常の復水器管の流速2m/sec以下だと管内沈着スケールを多くし、点食の数を増大する。逆に流速が大となるとスケールは著しく減少し、点食の数も僅かながら少くなるが、点食孔の深さは増大する。この事実から、流速は点食の発生に対して沈着スケール量を支配することによる2次的因素に過ぎず、点食の進行に対してのみ1次的作用があると考えられる。したがつて今期試験目標の1つとしての冷却水流速の影響は明らかとなつたが、流速制御による腐食防止は殆んど期待出来ないことが判つた。

(8) 半月毎に管内面の掃除を行うことにより、点食の発生および進行が抑制される傾向が認められた。また冷却水乱流のためスケールが殆んど沈着しない管端近傍には腐食が認められなかつた。これらの事実は管内面沈着スケールが腐食に対して支配的因素となつてゐることを示すものと考えられる。

(9) 酸化アルミニウム表面被膜により耐食性を有するアルブラック、アルミニウム黄銅およびアルミニウム青銅の各管に著しい点食が生じ、また被膜型耐食合金の代表例である不銹鋼にも点食を認めたことから考え、汚染水の腐食作用はこれらの優れた防食被膜を点状に破壊する極めて激しいものであることが判る。また30%キュプロニッケルやニッケル銅合金には点食の生成が認められず、全面均一型の腐食が生じている。これらの合金も通常の腐食環境下で

は被膜による耐食性が認められているが、汚染水下に於ては表面被膜が全面的に破壊されて、単に合金地肌自体による耐食性しか示していないことが判つた。

(10) 現用耐食復水器管材料の汚染水異常腐食に対する耐食性は30%キュプロニッケルが最も優れており、10%キュプロニッケルがこれに次ぎ、アルミニウムを合金元素とする銅合金や、不銹鋼等が幾分劣ることが判つた。しかし、本腐食環境においては30%キュプロニッケルでも完全に腐食を防止出来ないので、更に適当な防食法の確立および高度の耐食合金の探究が必要と考える。

9. む す び

隅田川汚染河海水を冷却水とした場合の復水器管の腐食因子および腐食防止対策を調べるべく、モデルコンデンサーによる第1期試験を行い、腐食因子としての硫化物の分析による確認を行い、沈着スライム質スケールの悪影響を管腐食におよぼす管内掃除の影響等から明らかにした。

また、流速が異常腐食の発生に対して2次的効果しか有しないのではないかと考察した。また、アルミニウムあるいはクローム、ニッケルを合金元素として耐食性をもたしているアルブラック、アルミニウム黄銅およびアルミニウム青銅や不銹鋼には点食が発生し、30%キュプロニッケルには点食が生じないことから、実用復水器管として現段階では30%キュプロニッケルが最も汚染水に対して耐食性良好と認められることを明らかにした。

しかし、30%キュプロニッケルでも汚染水に於ては軽微な全面均一型の腐食を受けることから考え、今後更に、冷却水の化学処理、管内スライム質スケールの沈着防止方法、管材料面での防食方法および新しい耐食合金の開発等の研究が必要である。

文 献

1. H.A. Todhunter: Power, 100 (1956) March 85.
T.H. Rogers: J. of the Inst. Metals 75 (1949) 19.
大津武通、佐藤史郎: 住友軽金属技報, 1 (1960), 260.

アルミニウムおよびアルミニウム合金の流水による
腐食に関する研究

寺 井 士 郎 馬 場 義 雄

Study on the Corrosion of Aluminium and

Its Alloys Flowing Water

by Shiro Terai and Yoshio Baba

住友軽金属工業株式会社

アルミニウムおよびアルミニウム合金の流水
による腐食に関する研究*

寺 井 士 郎** 馬 場 義 雄**

Study on the Corrosion of Aluminium and
Its Alloys by Flowing Water

by Shiro Terai and Yoshio Baba

We have been studying the corrosion of condenser tubes of aluminium and its alloys by flowing water since November 1959 and at the same time corrosion tests have been conducted on the work hardened or annealed sheets of 99.4% and 99.2% aluminium; and 3003, 5052, 5454 and Alclad 3003 alloys for one year.

- (1) The results obtained for corrosion tests using tap water of flowing rate of 0.3 m/min. and a pH of 6.45, were as follows;
- i) Tensile strength of all specimens, except Alclad 3003 alloy, decreased with the time of testing. Decrements in tensile strength of work hardened specimens were more than annealed ones.
 - ii) Decrements in elongation of 99.4%Al 99.2%Al and 3003 alloy were remarkable, especially in the first three months.
 - iii) The pit had penetrated through the thickness of the specimens of 99.4%Al, 99.2%Al and 3003 alloy in one year. Instead Alclad 3003 alloy was resistant to localized pitting attack since the coating (7072) electrolytically protected the core (3003).
 - iv) Weight loss of 5052 alloy was the least in all of the specimens and less than 1 mg/cm²/year.
 - v) The number of pits was the least for 5052 alloy, too.
- (2) Using model condenser, corrosion tests by well-water were conducted on condenser tubes for 70 days with the rate of flow of water at 2 m/sec. and 126 days at 5 m/sec. Following results were obtained.
- i) By the analysis of well-water, it had a pH of 7.2 and contained remarkably more Fe⁺⁺ + Fe⁺⁺⁺, Cl⁻ or evaporation residue than tap water.
 - ii) Changes in mechanical properties during corrosion test were negligible for 70 days at 2 m/sec., but appreciable for 126 days at 5 m/sec.
In the latter case, decrements of about 15% in tensile strength and proof stress were observed in 99.2%Al, 3003, 5052 and 5454 alloys, while, decrements in elongation were remarkable in 99.4%Al, 99.2%Al and 3003 alloy, and the decrements ratio was 40-60%.
 - iii) Corrosion products (mainly alumina) adhered considerably to every places of inner face of tubes. By removing these products many pits were found. The total number of pits was the least for 5052 alloy.
 - iv) Localized pitting attack was prominent in 99.4%Al, 99.2%Al and 3003 alloy, but in Alclad 3003 alloy, attack into the core will not occur until all of the coating have been removed from a large area.
 - v) From the investigation of pits and the mechanical properties, 5052, 5454 and Alclad 3003 alloys showed higher resistance to corrosion than 99.4%Al, 99.2%Al and 3003 alloy. These results are considered to show a good agreement with those by tap water.

* 軽金属研究会第19回秋期大会 (35-11-16) に発表

**研究部

1. 緒 言

近年、アルミニウムおよびその合金の冷却器あるいは復水器としての使用は次第に増加の傾向にある。冷却器管材あるいは復水器管材としてのアルミニウムは安価であること、熱慣流性能の優れていること、軽量であること等の数々の利点を有しているが、一方冷媒として一般に使用される水に対しては、水質によって耐食性が十分とは云えない欠点を有している。即ち冷媒としての水は pH5~8 の範囲のものが使用されているが、重金属イオン、塩素イオン等が水中に含まれていると点食が起り、これが貫通して使用に耐えなくなる場合が生ずる。この様な水に対するアルミニウムの腐食試験は従来からもかなり数多く行われているが、一言にどの材料が水に対する耐食性が優れているかを云うことは出来ない。

一般に冷却器あるいは復水器としてのアルミニウム各材質の腐食試験結果の 2,3 について述べると、D.W. Sawyer⁽¹⁾ および R.H. Brown⁽²⁾ は重金属イオンを含まない水に対しては、1100, 3003, 5052 および 6061 合金等は十分耐食的であり、Alclad 3003 はあらゆる種類の水に対して安定であると報告している。これに反して W.A. Pollock^{(3)~(5)} は Wisconsin Electric Power でアルミニウムを復水器管材として使用した結果、6061-T4 の方が 3003-H14 あるいは Alclad 3003-H14 に比較してエロージョンに対する抵抗が優れ価格も安いと報告している。その他 2,3 の各材質の比較試験結果が報告されているが、その優劣は水質によってまちまちである。

我々も 1959 年末よりモデルコンデンサーを設置して、99.4% および 99.2% アルミニウム、3003, 5052, 5454 あるいは Alclad 3003 合金等の管材の井戸水による流水試験を行なっているが、これに平行して管材と同様のアルミニウムおよびその合金板材について実験的に水道水による流水試験を行なって来た。今回約 1 ケ年にわたる水道水による流水試験および井戸水を流通したモデルコンデンサーによる腐食試験結果がまとまったので報告する。

2. 水道水による流水実験

2.1 実験方法

2.1.1 実験材料

実験材料は本実験では非熱処理材について行なった。即ち、商業純度の 99.2% および 99.4% アルミニウムならびに一般に耐食性アルミニウム合金として知られている 3003, 5052, 5454 および Alclad 3003 合金を選び、冷間加工度 80% の板厚 1mm の硬質材とこれを 340°C で 30 分軟化した焼鈍材の両者を使用した。尚 Alclad 3003 合金の皮板の厚みは片面で 10% である。各材料の分析結果を Table 1 に示した。

2.1.2 実験方法

Fig. 1 に実験装置の概略を示した。即ち 220×300×300 mm のガラス容器に引張試片および重量減あるいは腐食孔

Table 1 Chemical compositions of the test specimens.

Materials	Chemical compositions, %							
	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
99.4% Al	0.035	0.13	0.32	0.023	0.004	Tr	0.036	0.007
99.2% Al	0.025	0.15	0.56	0.013	0.001	Tr	0.015	0.007
3003	0.018	0.11	0.52	1.14	Tr	Tr	0.013	0.002
5052	0.004	0.10	0.31	0.004	2.48	0.24	0.004	0.003
5454	0.04	0.13	0.23	0.79	2.92	0.11	Tr	0.02
Alclad 3003-1	0.002	0.11	0.47	1.14	Tr	Tr	0.007	0.003
Alclad 3003-2	Tr	0.14	0.45	1.32	Tr	Tr	0.007	0.05
3003	7072	0.009	0.10	0.36	0.009	Tr	Tr	1.01

Alclad 3003-1 : One side 7072 Clad 3003

〃 3003-2 : Both side 7072 Clad 3003

調査用試片 (1×25×35mm) をビニール紐で吊り下げ水道水を絶えず下から上へ 0.3m/min. の速度で溢れさせた。

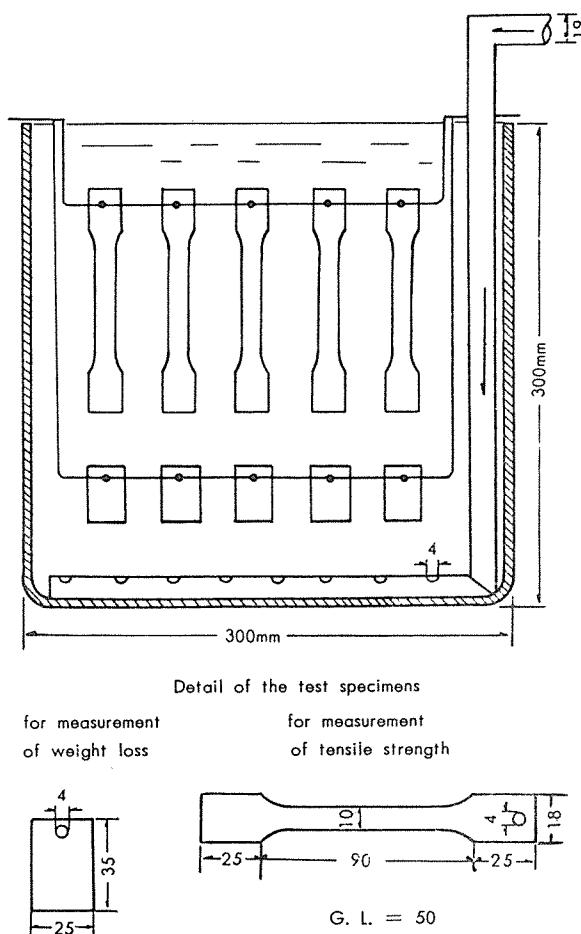


Fig. 1 Schematic diagrams of test apparatus.

2.1.3 水 質

流水試験水としては当社内を流れる水道水を使用した。その水質試験結果を Table 2 に示した。pH は 6.45 である。

2.1.4 流水温度

流水温度の測定は 3 日に 1 度 8 時と 16 時に行ない。その結果を Fig. 2 に示した。

2.2 実験結果

各材料につき、1, 2, 3, 6 および 12 ヶ月経過後の機械的性能、点食孔深さおよび腐食重量減、外観および断面状況

Table 2 Chemical analysis of tap water used in corrosion test.

Items	
pH	6.45
Methyl orange alkalinity as CaCO_3	ppm 10.5
Total hardness (as equivalent CaCO_3)	ppm 22.0
SO_4^{2-}	ppm 7.2
NH_4^+	ppm 0.05
SiO_2	ppm Tr
$\text{Fe}^{++} + \text{Fe}^{+++}$	ppm 0.04
Cu^{++}	ppm Tr
Cl^-	ppm 4.95
Evaporation residue	ppm 41.5

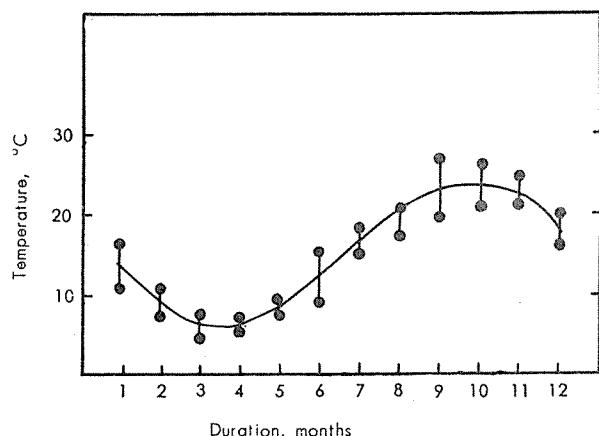


Fig. 2 Variation of tap water temperature during test.

等について調査した。

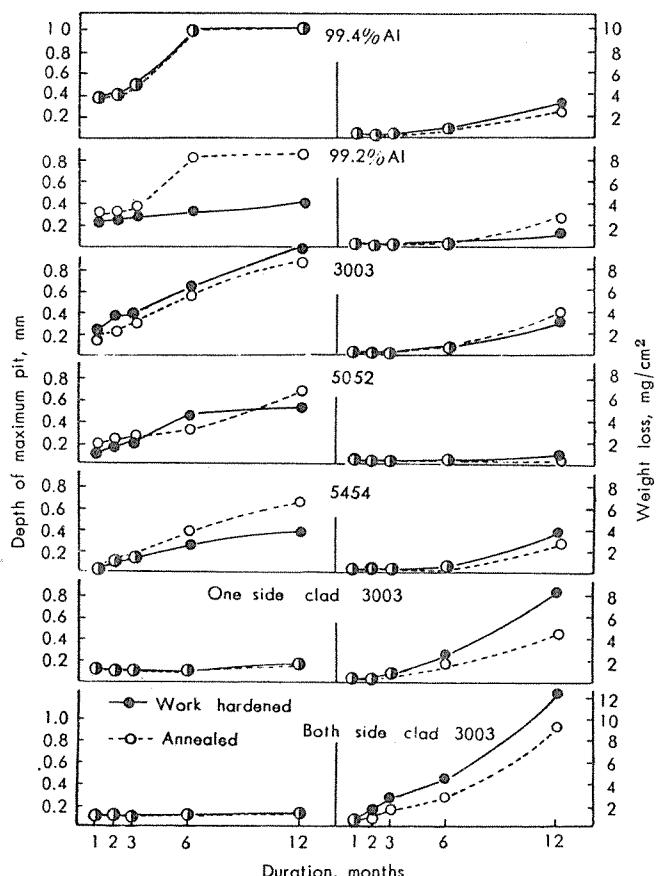


Fig. 4 Change of depth of maximum pit and weight loss of test specimens during tests.

2.2.1 機械的性能

各材料の流水試験による機械的性能の変化を Fig. 3 に示した。硬質材、焼純材共に各々 2 枚ずつ引張試験を行なった。これによると Alclad 3003 合金を除いたすべての材料は硬質材、焼純材をとわず流水月数に応じて引張強さは低下している。この場合硬質材の方が焼純材に比較して低下

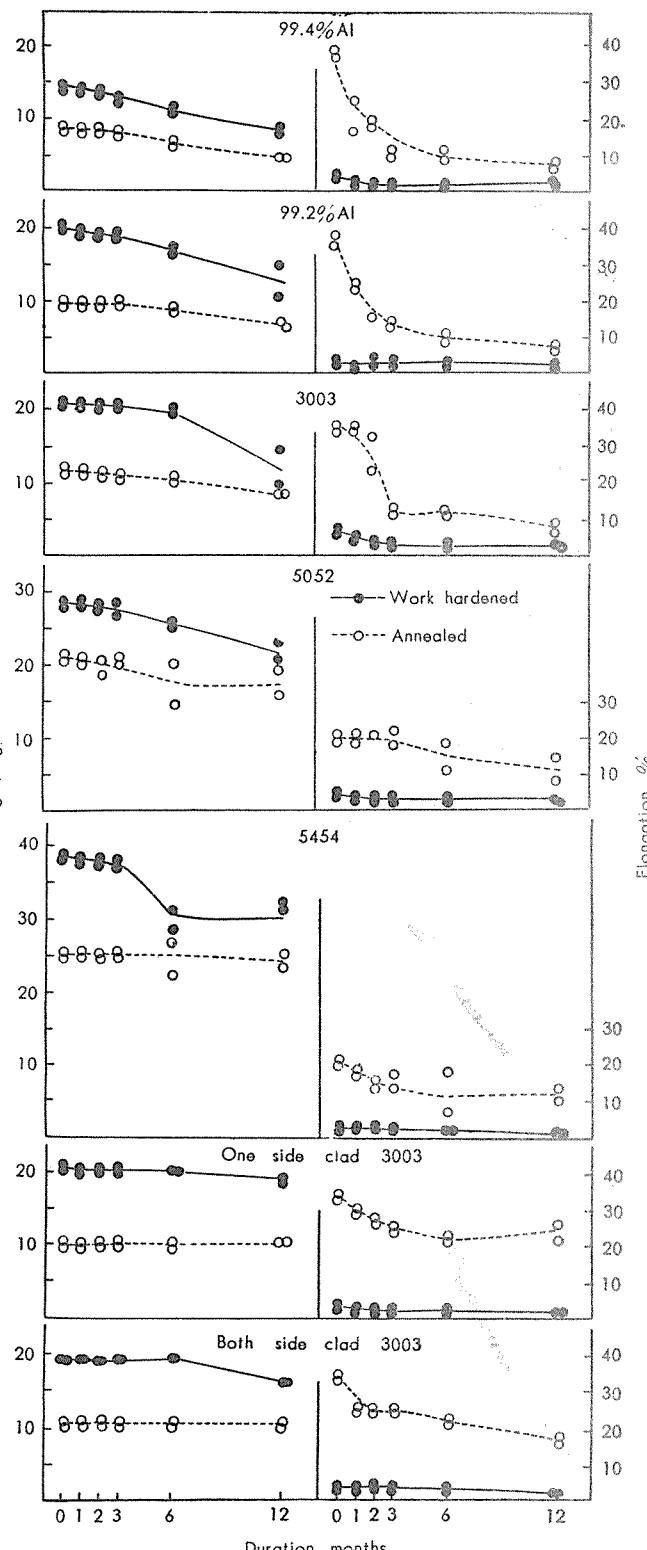


Fig. 3 Results of tensile test on test specimens.

が著しく、1年間で 7kg/mm^2 程度低下している。一方 Alclad 3003 合金は、両面クラッド材の硬質材が1ヶ年の試験で若干引張強さが低下しているが、全般的には殆んど変化はない。伸びはどの材料も硬質材は最初から低い為に殆んど変化はないが、焼鈍材の方は流水月数と共に低下する。99.4%Al、99.2%Al および 3003 合金は特にはじめの3ヶ月間の低下が著しい。

2・2・2 点食孔の深さおよび腐食重量減

各材料の流水試験による点食孔の最大深さおよび腐食重量減の変化を Fig. 4 に示した。これによると点食孔の深さは、99.4%Al、99.2%Al の焼鈍材および 3003 合金は1年後には試片を貫通している。99.2%Al の硬質材、5052 および 5054 合金は貫通はしていないが最大深さが $0.5\sim0.7\text{ mm}$ におよんでいる。一方 Alclad 3003 合金は腐食の進行が 7072 合金のクラッド部でほぼ完全に止まっており芯部の 3003 合金にまではおよんでいない。

腐食重量減はいずれも流水月数と共に増加しているが、5052 合金が最も少く1ヶ年の試験で 1mg/cm^2 以下である。Alclad 3003 合金の腐食重量減は著しい。

2・2・3 外観および断面腐食状況

各材料の1ヶ年の流水試験後の外観および断面腐食状況を Photo. 1 および Photo. 2 に示した。これによると総じて 5052 合金の点食が少く又電食効果によって片面クラ

ッド材の 3003 合金側は全然点食が起っていない。どの材料も板の表裏によってかなり点食孔の発生密度が異なっている。尚 Photo. 2 からもみられる如く Alclad 3003 合金を除いた硬質材の点食孔は圧延方向に伸びて発生している様である。

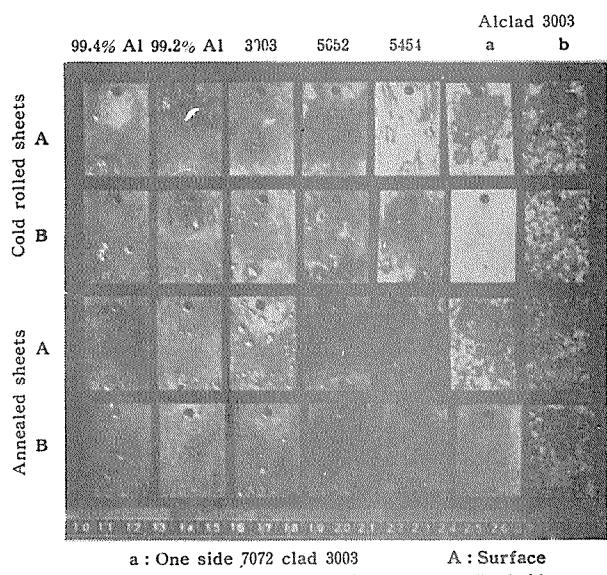


Photo. 1 Results of 12 months exposure of test specimens in tap water.

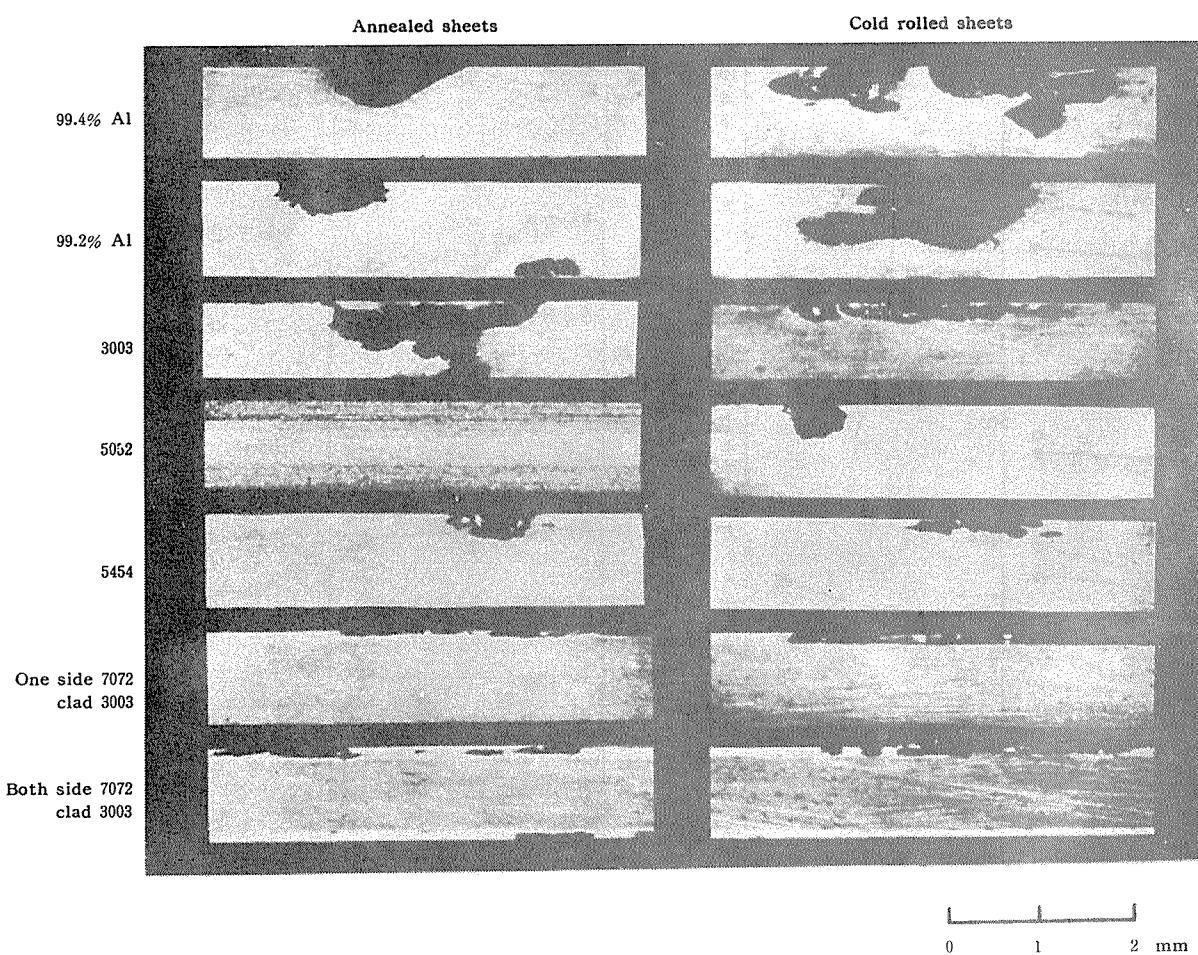


Photo. 2 Cross section of 12 months exposure of test specimens in tap water.

2・3まとめおよび考察

- 以上の実験結果をまとめてみると、
- (1) 流水試験に使用した水道水は、水質試験によれば、pHは6.45、SO₄²⁻は7.2ppm、Cl⁻は4.95ppmで特に変ったこともない。
 - (2) 水温は各月によりかなり異なっているが、最低5°C、最高28°Cである。
 - (3) 引張強さはAlclad 3003合金を除いた他の材料は流水月数と共に低下する。この場合、硬質材の方が焼純材に比して低下が著しく、1年間で7kg/mm²程度低下している。
 - (4) 伸びはいずれの材料も硬質材は最初から低い為に殆んど変化はないが焼純材は流水月数と共に低下する。特にはじめの3ヶ月間の低下が著しい。
 - (5) 点食孔の最大深さは、1年後には99.4%Al、99.2%Alおよび3003合金は貫通しており、5052合金および5454合金は0.5~0.7mmにおよんでいるが、Alclad 3003合金はクラッド部で止まっている。
 - (6) 腐食重量減はいずれの材料も流水月数と共に増加しているが、5052合金が最も少く1年間で1mg/cm²以下である。
 - (7) 点食孔の発生密度は板の表裏によって異なっている。総じて5052合金の点食が最も少ない様である。

3. モデルコンデンサーによる実験

3・1 実験方法

3・1・1 実験材料

実験材料は水道水による実験の場合と同種類のもの、即ち、99.4%Al、99.2%Al、3003、5052、5454およびAlclad 3003合金を選び、外径19.07mm、内径13.67mm、肉厚2.7mm、長さ1500mmの半硬質程度の管材を使用した。尚Alclad 3003合金のクラッドは内面のみで肉厚の約20%である。各材料の分析結果をTable 3に示した。

Table 3 Chemical compositions of the test specimens.

Materials	Chemical compositions, %							
	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Zn	T!
99.4 % Al	0.014	0.17	0.33	0.005	0.003	Tr	0.006	0.008
99.2 % Al	0.013	0.15	0.57	0.006	0.002	Tr	Tr	0.008
3003	Tr	0.12	0.35	1.08	Tr	Tr	Tr	Tr
5052	Tr	0.06	0.12	Tr	2.50	0.27	0.01	0.01
5454	Tr	0.06	0.11	0.66	2.75	0.09	0.01	0.02
Alclad 3003, 3003 (Inside 7072), 7072	Tr	0.12	0.52	1.18	Tr	Tr	Tr	Tr
	Tr	0.11	0.35	0.04	Tr	Tr	0.98	0.01

3・1・2 実験方法

この実験に使用したモデルコンデンサーの外観をphoto. 3に、実験装置の概略図をFig. 5に示した。モデルコンデンサー本体はすべて5052あるいは6061等のアルミニウム合金で作られており、配管は鉄製、水槽は木製である。井戸水は水槽下部より吸い上げられ、モデルコンデンサー本体を経た後再び水槽に戻される循環方式であつて水槽表面を除いては循環水は空気と接しない。尚モデルコンデンサー内の各材料の配管はFig. 6に示した如く、適当に上下15本ずつ計30本、拡管して甲板に取りつけた。

流速は約5m/secおよび2m/secで約2ヶ月、6ヶ月

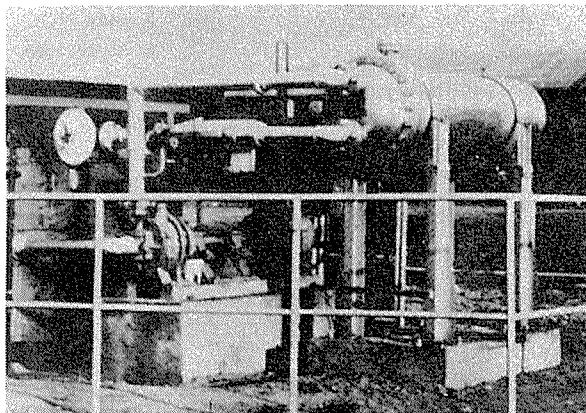


Photo. 3 General view of model condenser used in this test.

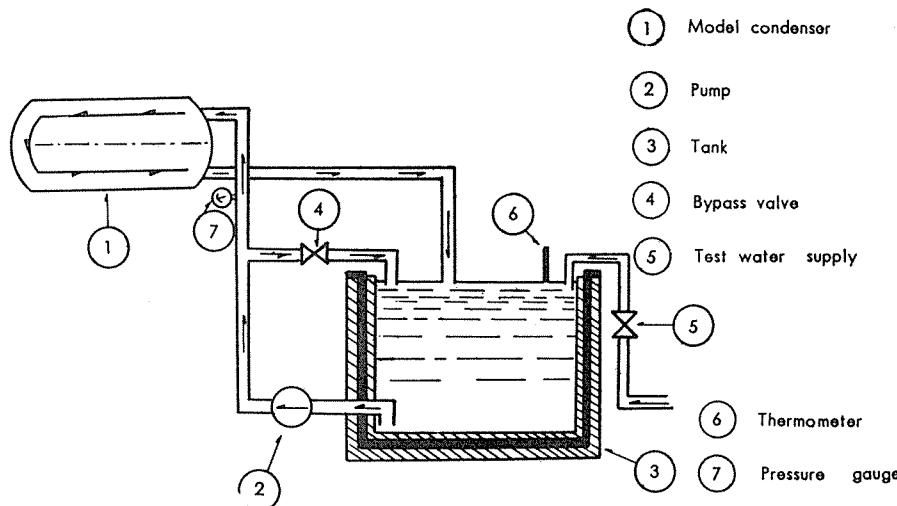


Fig. 5 Schematic diagram of model condenser.

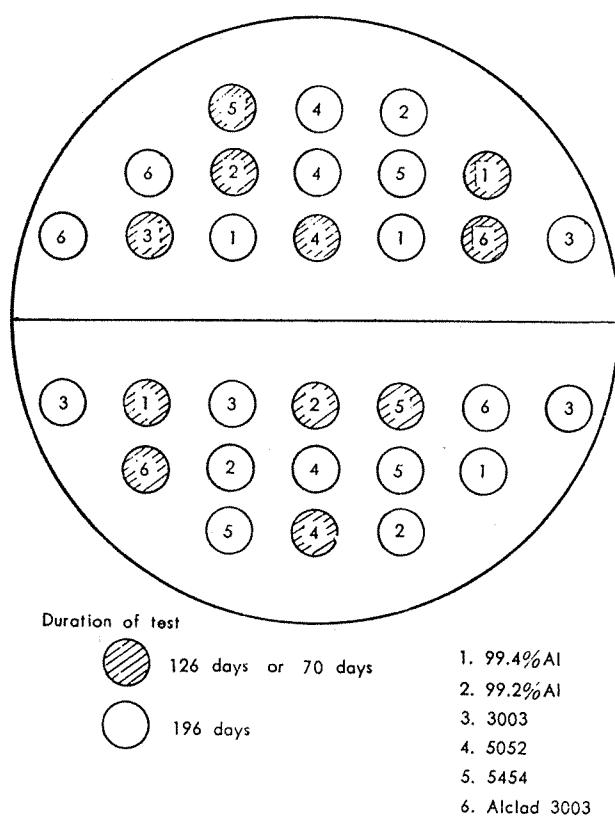


Fig. 6 Installation of test tubes in model condenser.

および10ヶ月間の実験を行なった。

3・1・3 水 質

流水試験水には当社内の井戸水を使用した。水質試験は

鉄管から直接採取した水および水槽内の水の両者について行なつた。70日、126日および196日の分析結果をTable 4に示すとく循環前の水はpH7.2であるが、循環中にpHが8以上に増大し若干アルカリ性になつてゐることが解った。又前実験の水道水にくらべれば全鉄イオン、塩素イオンおよび蒸発残渣が著しく多い。

3・1・4 流水温度

流水温度の測定は1週間に1度8時と16時に行ない、その結果をFig.7に示した。これによると水温は管内を流れれる流水抵抗によつてかなり高くなつており、季節によつても殆んど変らずほぼ30°~40°Cである。

3・2 実験結果

(1) 流速2m/secで70日間の流水試験後、(2) 流速5m/secで126日間の流水試験後および(3) 流速5m/secで126日更に2m/secで70日計196日間の流水試験後の試料について、Fig.8に示した試片採取位置より試片を採取し機械的性能、外観あるいは断面腐食状況等の調査を行なつた。

3・2・1 機械的性能

Fig.9に流速2m/secで70日間流水試験を行なつた際の機械的性能の変化を示した。これによると、材料により引張強さおよび耐力が若干低下するものがあるが全般的に殆んど変化は認められない。

Fig.10に流速5m/secで126日間更に2m/secで70日間流水試験を行なつた際の機械的性能の変化を示した。一般に最初の126日間における低下がかなり認められるが後

Table 4 Chemical analysis of well-water used in model condenser

Items	Direct (days)			Tank (days)		
	70	126	196	70	126	196
pH	7.29	7.20	7.24	8.70	8.80	8.27
Methyl orange alkalinity as CaCO ₃	ppm	73	—	73	182	203
Total hardness (as equivalent CaCO ₃)	ppm	157	160	131	275	46
SO ₄ ²⁻	ppm	23	2	1	37	39
NH ₃	ppm	1.1	2.7	0.4	0.1	0.2
SiO ₂	ppm	56	55	57	16	25
Fe ⁺⁺ + Fe ⁻⁺	ppm	174	13.4	10.6	70	64.0
Cu ⁺⁺	ppm	0.02	Tr.	0.02	0.16	0.24
Cl ⁻	ppm	101	154.9	74.6	348	131.9
Evaporation residue	ppm	398	437	337	1045	717
						490

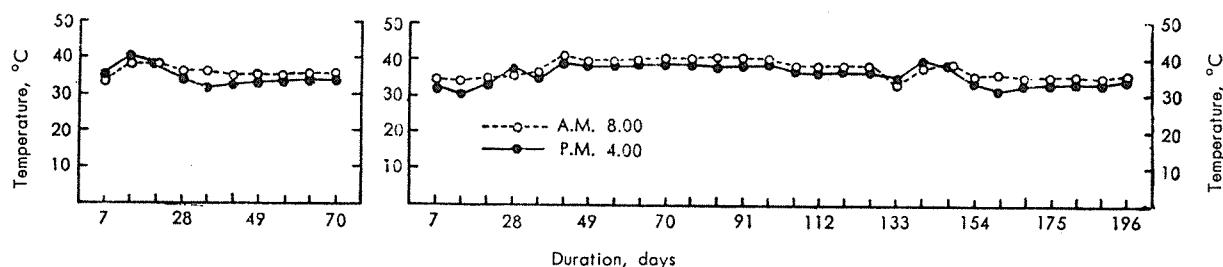


Fig. 7 Variation of water temperature during corrosion test, using model condenser.

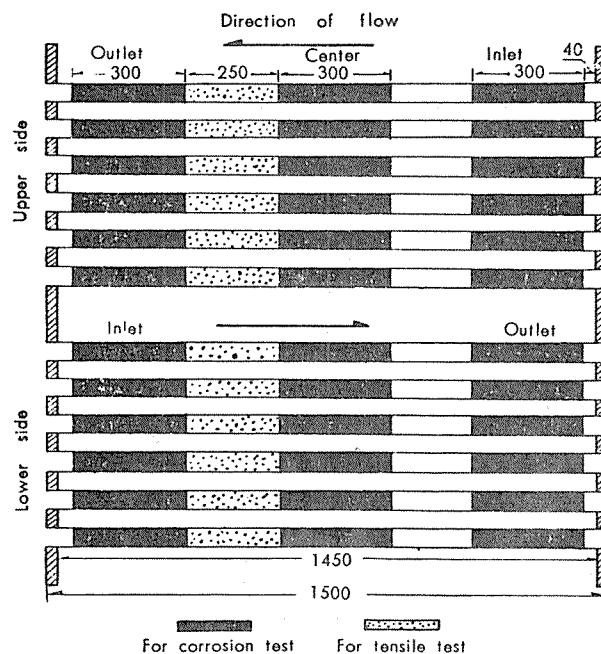


Fig. 8 Position for corrosion and tensile test specimens.

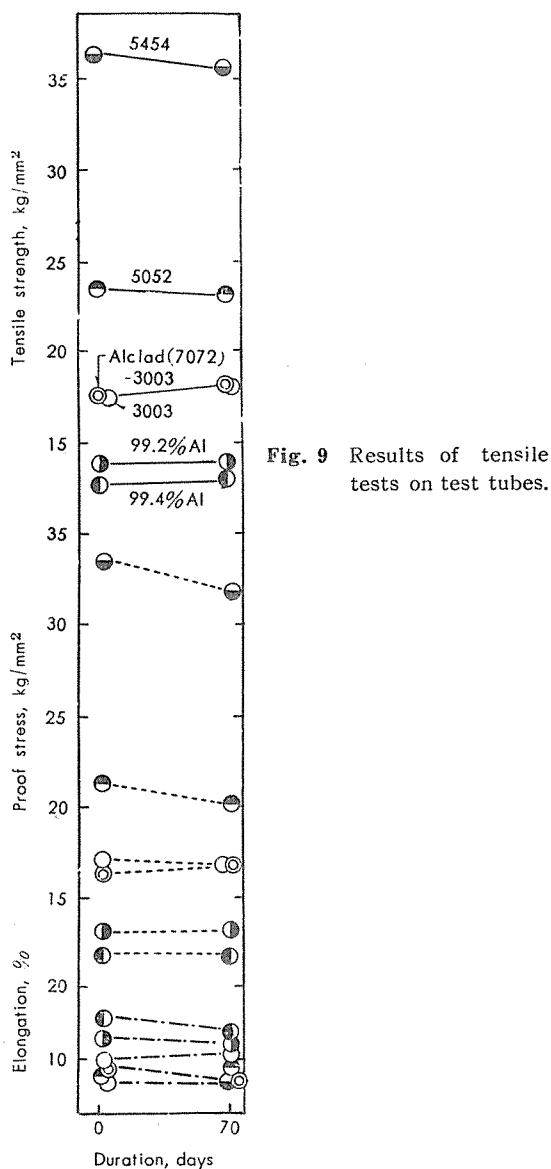


Fig. 9 Results of tensile tests on test tubes.

の70日間では始んど変化がない。5052および5454合金は引張強さ、耐力で4~6kg/mm²の低下がみられるが伸びは殆んど変化しない。Alclad 3003合金および99.2%Alも引張強さの低下は、2kg/mm²程度である。一方伸びの低下は99.2%Al、99.4%Alおよび3003合金が著しく減少率は40~60%である。Alclad 3003合金も伸びは若干低下している。

3・2・2 管内面の腐食状況

Fig. 8に示した要領で試験後の各管から長さ30cmの試料を採取し、これを長手方向に2等分して管内面の腐食状況を調査した。これによると各試料とも採取位置による腐食状況の差異は殆んど認められなかつた。Photo.4は流速2m/secで70日間試験を行なつた後の管内面の腐食状況で試料の採取位置は入水側（Fig.8の上段）中央部である。各材料とも腐食生成物がかなり内面に附着している。これらの附着状況はAlclad 3003合金が最も著しく、5052合金は他の材料にくらべて最も少い様である。

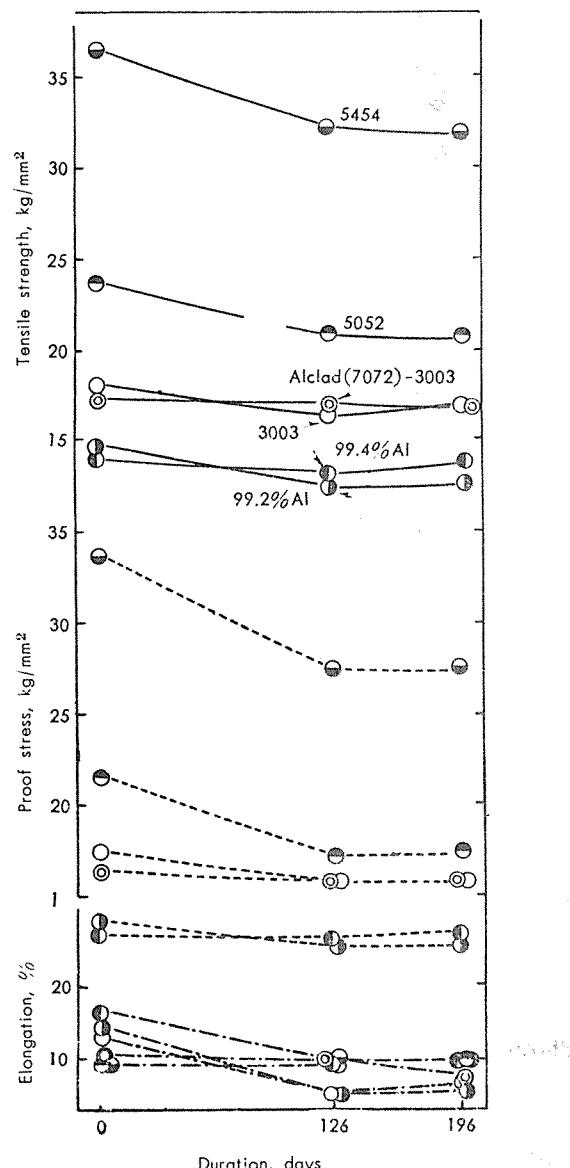


Fig. 10 Results of tensile tests on test tubes.

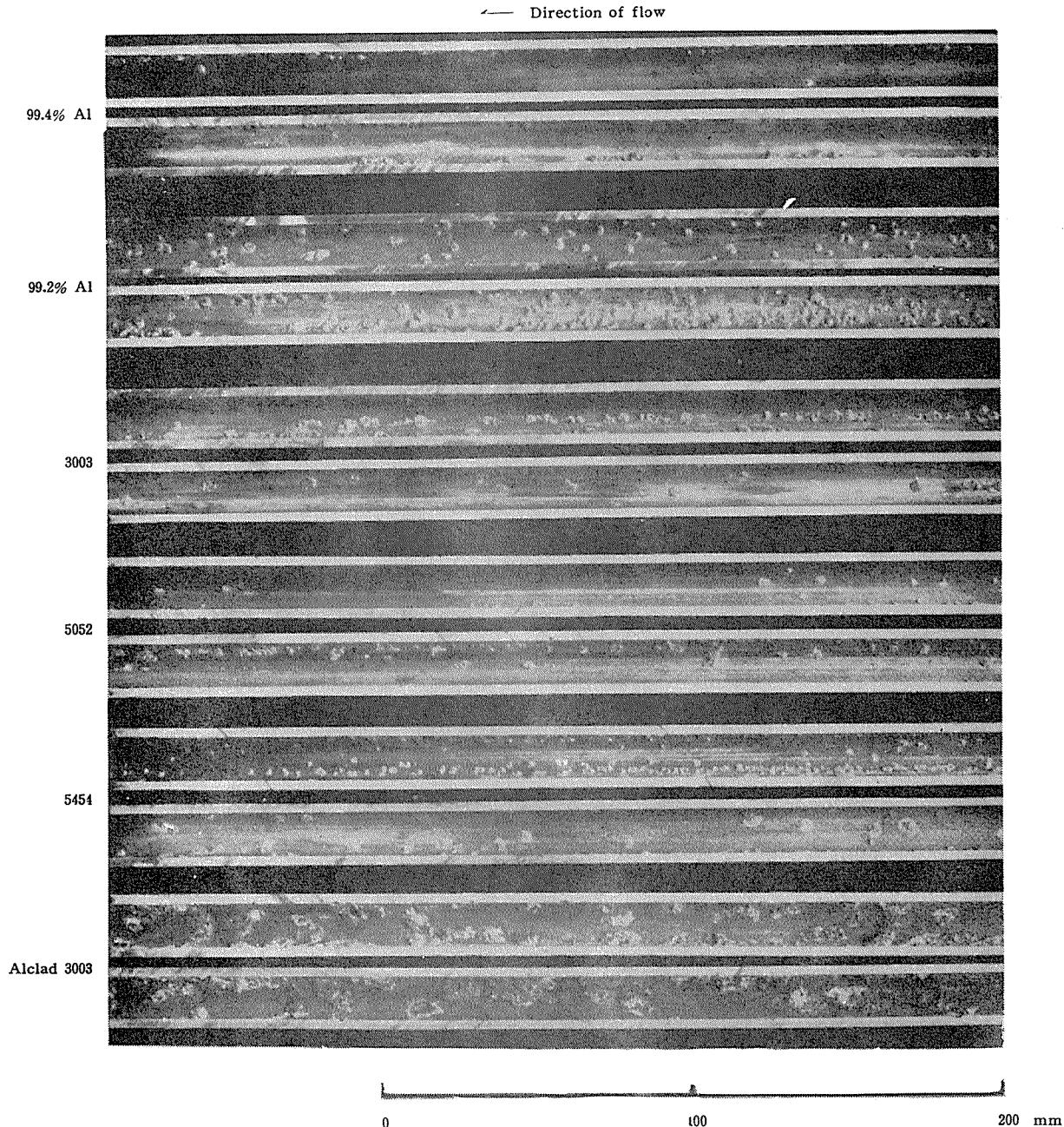


Photo. 4 Section of condenser tubes after 70 days in water system, water velocity 2m/sec.

Test specimens were taken from center of upper side in Fig. 8.

この腐食生成物を集めで化学分析した結果、その殆んどがアルミナであった。Photo. 5 は管内面を約 50°C の 10%苛性ソーダで洗滌した後の状況を示した。腐食生成物の取除かれた跡には点食孔が認められる。更に流水期間を長くしたものでは、腐食生成物が多くなり、これが全面にわたって附着している。そしてこれらの腐食生成物を苛性ソーダで除去した跡はやはり一様に腐食孔が認められる。Photo. 6 に代表例として196日間流水後の試料内面を苛性ソーダで洗滌後示した。

3・2・3 断面腐食状況

Photo. 7 に流速 2m/sec で70日間流水試験を行なった際の入水側および出水側 (Fig.8 の下段) 各管中央部の断面

腐食状況を示した。Alclad 3003 合金を除いた他の材料はいずれも所々にわずかの点食が認められる。Alclad 3003 合金はクラッド部 (7072 合金) がかなり腐食している。Photo. 8 は流速 5m/sec で126日間の入水側各管の入口、中央および出口の断面腐食状況である。いずれの材料も採取場所による差は殆んどみられない。99.4%Al、99.2%Al および 3003 合金は点食の進行が著しく、肉厚の半分 (1.4 mm) 以上に達しているものもある。5052 合金および 5454 合金は点食の進行程度が軽く 0.5mm 以下である。Photo. 9 に流速 2m/sec で70日間、5m/sec で126日間計196日間の流水試験を行なった際の入水側および出水側各管中央部の断面腐食状況を示した。傾向は Photo. 8 と変わらないが、

Alclad 3003 合金で、腐食がクラッド部を貫通して若干芯部の 3003 合金によよんでいる部分が認められる。

3・3まとめおよび考察

以上の実験結果をまとめてみると

- (1) この実験に使用した井戸水は水質試験によれば pH は 7.2 であるが、循環中に pH が 8 以上に増大し、若干アルカリ性になってくる、これは腐食生成物の水酸化アルミニウム等に原因するものと考える。又前実験の水道水にくらべれば全鉄イオン、塩素イオンおよび蒸発残渣が著しく多い。
- (2) 水温は管内を流れる流水抵抗によってかなり高くなつており季節によつてもあまり変らず 30~40°C である。
- (3) 流速 2m/sec で 70 日間流水試験を行なった際の機械的

性能の変化は殆んどみられない。流速 5m/sec で 126 日間流水試験を行なった際にも Alclad 3003 合金および 99.4% Al の引張強さおよび耐力は変化しないが、その他の材料では 15% 前後の低下が認められる。一方 5052 および 5454 合金には伸びの低下は認められないが、99.4% Al, 99.2% Al および 3003 合金は著しく減少率は 40~60% である。この傾向は水道水による実験結果とよく類似している。尚 Alclad 3003 合金も伸びは若干低下している。

- (4) 管内面の腐食状況は採取場所によって変らず、かなり腐食生成物が附着している。この腐食生成物を化学分析した結果は大部分がアルミナで、これを除去した跡には点食孔が認められる。各材料の腐食程度は 5052 合金が最

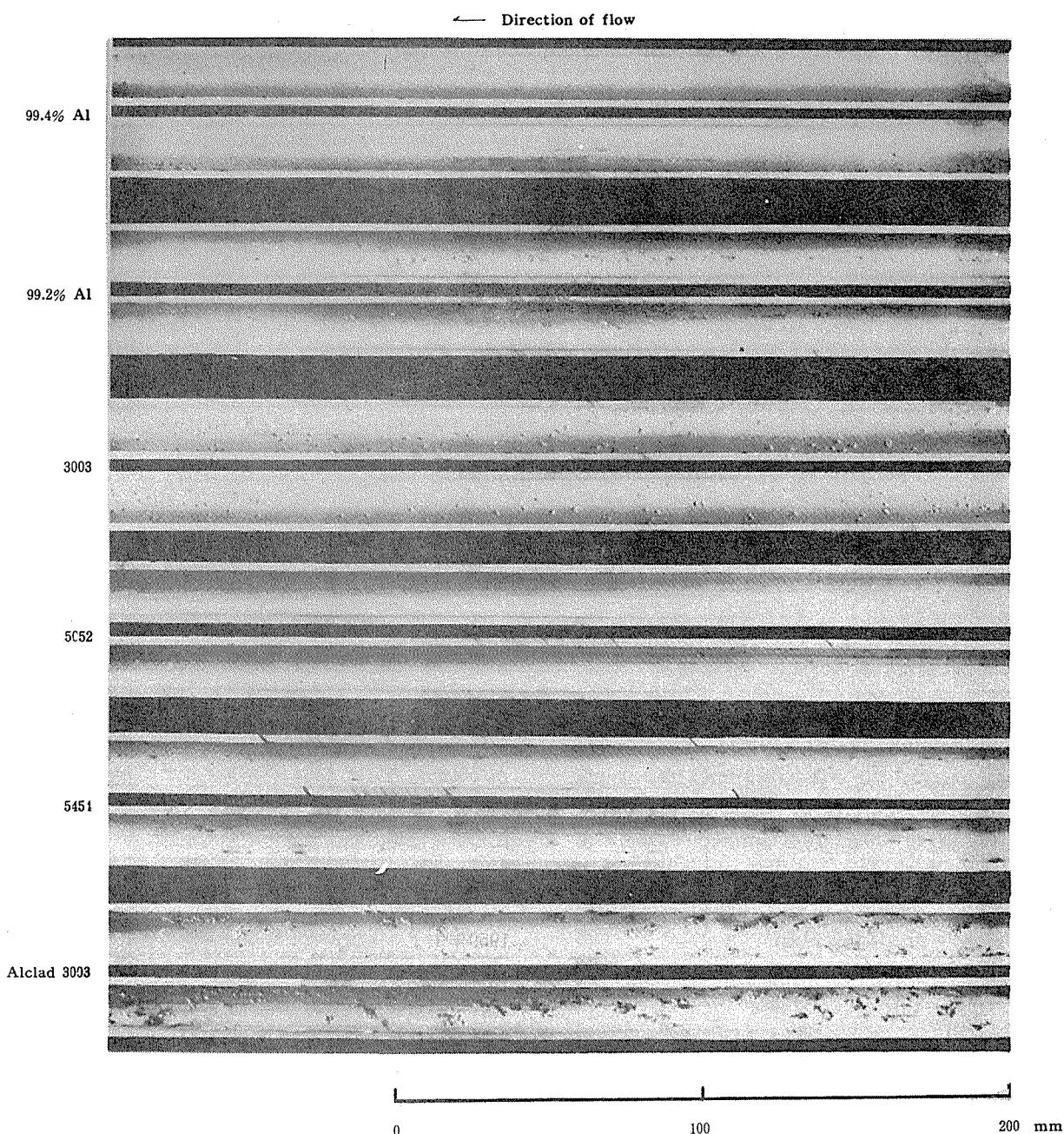


Photo. 5 Same as Photo. 4, but corrosion products were removed.

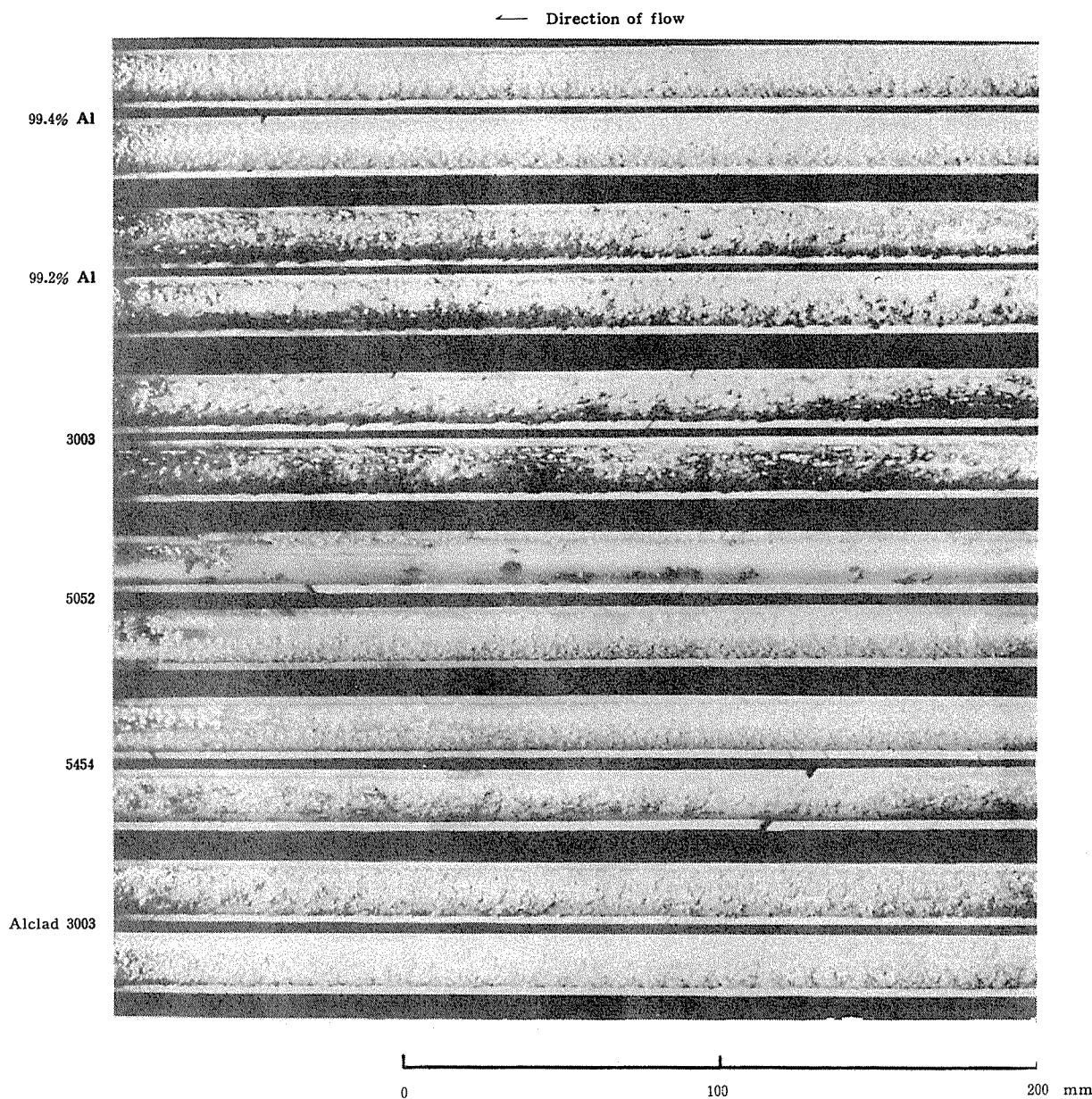


Photo. 6 Same as Photo. 5, but after 126 days with water velocity 5m/sec and 70 days with 2m/sec.

少い様である。

(5) 断面腐食状況は流速 2m/sec で 70 日間の流水試験では Alclad 3003 合金のクラッド部 (7072 合金) がかなり腐食しているが、その他の材料はいずれも所々にわずかの点食がみられる程度である。流速 5m/sec で 126 日の場合 99.4%Al、99.2%Al および 3003 合金の点食深さの進行は著しいが、5052 および 5454 合金はその程度が軽い。Alclad 3003 合金は腐食の進行は完全にクラッド部で止まっているが、196 日間の試験では一部芯部の 3003 合金に侵入している所が認められる。

(6) モデルコンデンサーによる実験および水道水による実験でも 3003 合金は 5052 あるいは 5454 合金等に比して⁽⁶⁾ 腐食が著しかったが、J.L. Basil および M.W. Rausch の流速 3m/sec で海水によるアルミニウム合金管の腐食試験では、3003 あるいは Alclad 3003 合金の方が 5052

合金よりも点食に対する耐食性が優れていると報告されている。我々の今回の実験では 3003 合金の鉄の含有量が 5052 あるいは 5454 合金等に比して多かったので、若干鉄の影響といったことも考えられるので、このことについては更に検討するつもりである。

4. 結 言

1959年末よりモデルコンデンサーを設置して、99.4%Al、99.2%Al、3003、5052、5454 および Alclad 3003 合金について、半硬質程度の管材の井戸水による流水試験、ならびに同種の板材料の硬質材および焼鈍材について、約 1 年間実験室的に水道水による流水試験を行なって来た。その結果次の様なことがわかった。

[1] 水道水による流水実験として、流速 0.3m/min, pH 6.45 の水道水で 1 年間流水試験を行なった結果

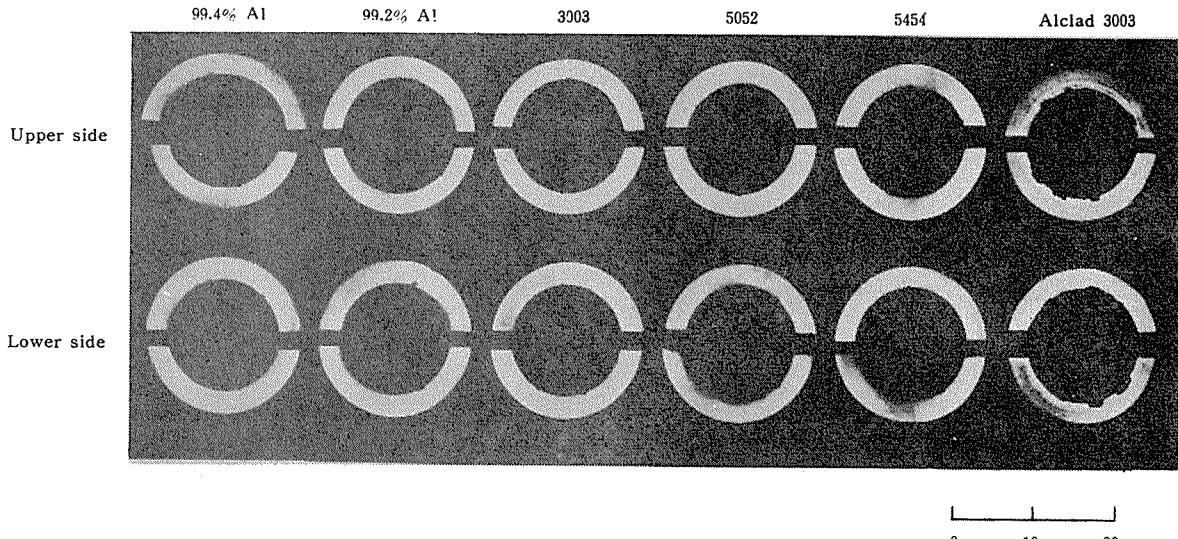


Photo. 7 Transverse cross section of condenser tubes after 70 days in water system, water velocity 2m/sec. Test specimens were taken from center of upper and lower side in Fig. 8.

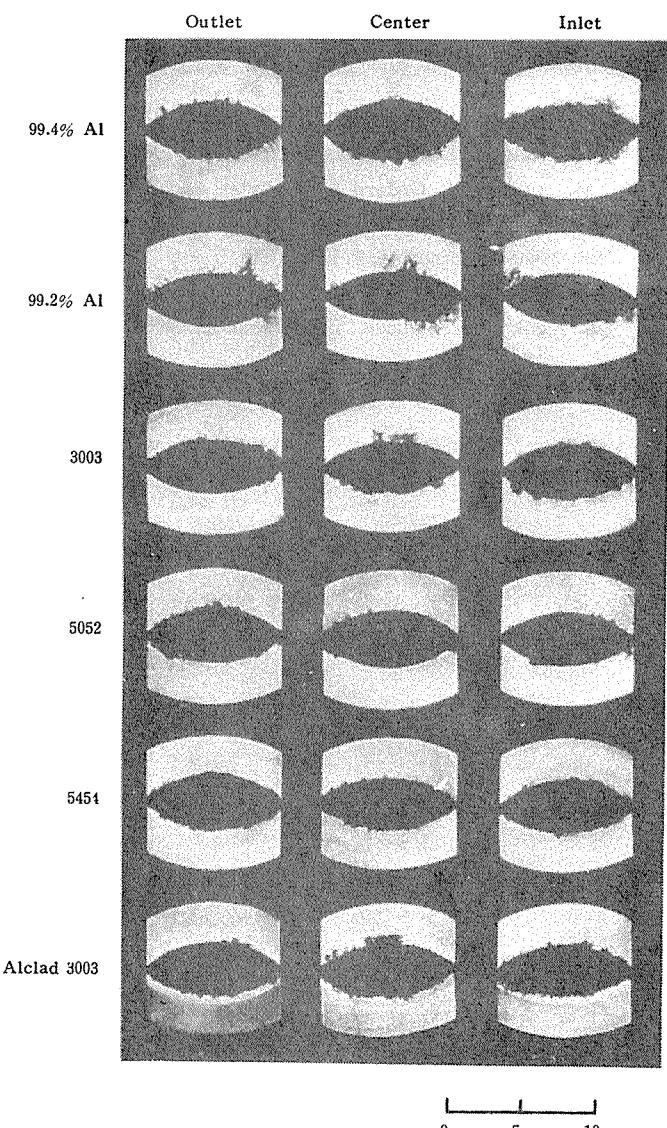


Photo. 8 Transverse cross section of condenser tubes after 126 days in water system, water velocity 5m/sec. Test specimens were taken from inlet center and outlet of upper side in Fig. 8.

i) 引張強さは、Alclad 3003 合金を除いた他の材料は流水月数と共に低下する。この場合硬質材の方が焼鈍材に比して低下が著しく 1 年間で 7kg/mm^2 程度低下している。

ii) 伸びの低下は 99.4% Al、99.2% Al および 3003 合金に著しく、特に最初の 3 ヶ月間の低下が顕著である。

iii) 1 年後の点食孔の最大深さは、99.4% Al、99.2% Al および 3003 合金は貫通しているが、Alclad 3003 合金はクラッド部で止まっている。

iv) 腐食重量減は、いずれの材料も流水月数と共に増加しているが、5052 合金が最も少く 1 年間で 1mg/cm^2 以下である。

v) 点食孔の発生数も 5052 合金が最も少い様である。

[2] モデルコンデンサーによる実験として流速 2m/sec で 70 日間、流速 5m/sec で 126 日間、井戸水による流水試験を行なった結果

i) 使用した井戸水の水質は pH7.2 であるが試験中 pH8 以上の若干アルカリ性を示すことが解った。又水道水にくらべれば全鉄イオン、塩素イオンおよび蒸発残渣が著しく多い。

ii) 流速 2m/sec で 70 日間流水試験を行なった際の機械的性能の変化は殆んどみられない。流速 5m/sec で 126 日間の場合にも、Alclad 3003 合金および 99.4% Al の引張強さおよび耐力は変化しないが、その他の材料では 15% 前後の低下が認められる。一方 99.4% Al、99.2% Al および 3003 合金の伸びの低下は、著しく、減少率は 40~60% である。

iii) 管内面の腐食状況は採取場所によって変らず、かなり腐食生成物が附着している。この腐食生成物を化学分析した結果は大部分がアルミナで、これを除去した跡には点食孔が認められる。各材料の腐食程度は 5052 合金が最も少い様である。

iv) 腐食の進行深さは Alclad 3003 合金ではクラッド

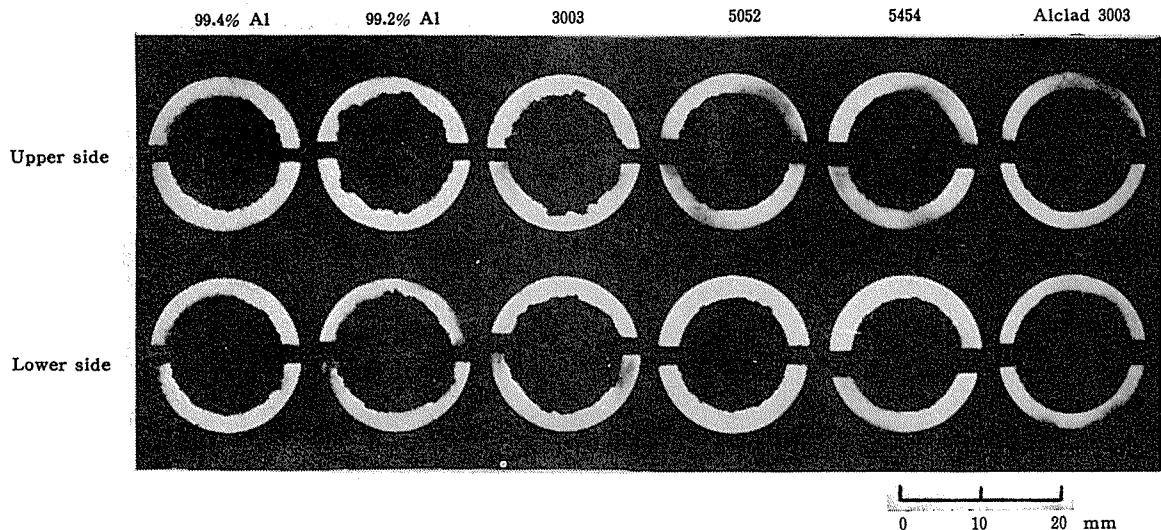


Photo. 9 Same as Photo. 7, but after 196 days in water system, water velocity 5m/sec.
for 126 days, 2m/sec. for 70 days.

部が殆んどなくなるまで芯部へは侵入しないが、99.4%Al、99.2%Al および 3003 合金ではかなり著しい。
v) 全般に、5052, 5454 および Alclad 3003 合金の方が 99.4% Al、99.2% Al および 3003 合金よりも機械的性能、腐食孔深さの面から耐食的である結果を得たが、これは水道水による流水実験の結果とよく一致しているように思われる。

文 献

- (1) D.W. Sawyer, R.H. Brown : Corrosion, 3(1947), 443.
- (2) W.A. Pollock : Power Engineering, June (1959), 74.
- (3) P.M. Aziz, H.P. Godard : Industrial and Engineering Chemistry, August (1952), 1791.
- (4) R.B. Mears : Corrosion, 2(1946), 165.
- (5) 下平, 沢田 : 日金誌, 20(1956), 500.
- (6) J.L. Basil, M.W. Rausch : E.E.S. Report, 040037A (5).

P

28

Reprinted from SUMITOMO LIGHT METAL TECHNICAL REPORTS Vol. 2, No. 1, JAN., 1961

純チタニウムと各種金属との汚染河海水中における

接触腐食について

鈴木脩二郎

Galvanic Coupling Test on Commercial Pure Titanium and

Other Metals in Polluted Brackish Water near

Nagoya Harbour

by Shujiro Suzuki

住友軽金属工業株式会社研究部

純チタニウムと各種金属との汚染河海水中における 接触腐食について

鈴木脩二郎*

Galvanic Coupling Test on Commercial Pure Titanium and Other Metals in Polluted Brackish Water near Nagoya Harbour

by Shujiro Suzuki

In our country, most of the large factories are built near the sea coast and using the brackish water as their industrial water, therefore, they employ the corrosion resistant materials for this purpose. Recently the degree of pollution at sea and river is getting higher and at the same time the condition of usage of the corrosion resistant materials are becoming severe, and even with these corrosion resistant materials the various abnormal corrosion phenomena are observed.

Titanium is the good corrosion-resistant material and the resistance in brackish water is as much as those of gold and platinum, so that the chemical, petroleum and other industries begin to use titanium.

In order to clarify the problem of contact corrosion, long range galvanic coupling tests of titanium and other metallic materials are carried out in the very polluted brackish water near Nagoya Harbour.

The following results are obtained:

- 1) Titanium coupled with other metallic material is completely corrosion resistant during the tests in a month, six months and about a year as well as titanium uncoupled.
- 2) After the coupling tests of about a month, 13% Cr stainless steel, pure aluminium and aluminium alloy (24S) have suffered the corrosion a little more than the above materials alone in the same environment, and the surface conditions of these coupled materials are almost the same as those of the uncoupled materials.
- 3) After the coupling tests of almost six months, 13% Cr stainless steel, pure aluminium and aluminium alloy (24S) have suffered more corrosion than the uncoupled specimens of each, and the severe corrosion is observed at the contact surfaces of the above specimens to titanium. From this fact it can be said that the galvanic corrosion has occurred for them.
- 4) In the coupling test about a year, 13% Cr stainless steel, pure aluminium and aluminium alloy (24S) have evidently caused the galvanic corrosion at the contact surfaces to titanium and partly the pitting corrosion is observed.
- 5) In the case of carbon steel the galvanic corrosion can be expected from the galvanic series, while this expectation does not come true in this experiments, and the further experiments will be carried out for this problem.
- 6) The galvanic corrosion are not observed, for the coupled materials used in this experiments other than those mentioned above.

* 研究部

1. 緒 言

チタニウムは軽く、高温に於いて比強度が高い金属であるばかりでなく、非常に耐食性の優れた金属である。近年、各種の無機酸や有機酸に対する耐食性の優秀なことより、特に我国の化学工業方面では広く使用されるようになって来た。

特に、我国は周囲を海に囲まれる海洋国であるから、各種の工場も多く海岸近くに建設され、多量の海水を工業用水として使用している。そのため各種の耐食性金属材料が用いられているが、年々工業地帯の河海水の汚染度が高まり、又その使用条件が苛酷になるにつれて、従来の耐食性材料である不銹鋼、銅合金およびニッケル合金に於いても異常腐食現象がみられ、多くの問題点がある。

しかしチタニウムの海水に対する耐食性は、金および白金と同程度と云われる位、優れており鉄鋼材料の如く pitting corrosion を起さず erosion に対しても極めて強い金属であるが、実際に実験された詳細なデーターは、外國の文献にみられる程度で、我国に於いては、未だ詳細な報告はない。著者は、チタニウムと他の金属との接触腐食について、工場地帯の非常に汚染度の高い河海水中に於いて、約1年間の実地試験を行った結果を報告する。

2. 試料および実験方法

2・1 試料 本実験に使用した試料は Table 1 に示す如き種類および組成を有するもので、鉄鋼材料は市販品を、チタニウム、アルミニウム系材料および銅系材料は当社製品を、その他の金属は、当研究部において製作したものである。

試料寸法は Fig. 1 の如き厚さ 0.6mm、巾 20mm、長さ 35mm の大きさを有するものである。

Table 1 Chemical composition of specimens.

Titanium

Material	Chemical composition, %						
	C	H	N	O	Fe	Si	Ti
Comm. pure titanium (ST-60) (1)	0.02	0.005	0.02	0.09	0.2	0.01	Bal.

Carbon steel and stainless steels.

Material	Chemical composition, %						
	C	Cr	Mn	Mo	Ni	Si	Fe
Carbon steel	0.11	—	0.45	—	—	0.25	Bal.
18-8 stainless steel	0.07	18.96	1.55	0.16	10.47	—	Bal.
13%Cr stainless steel	0.25	13.78	—	—	—	—	Bal.

Copper and copper alloys.

Material	Chemical composition, %								
	Al	Fe	Pb	Si	Mn	Ni	Zn	Other	Cu
Pure copper	—	—	—	—	—	—	—	(P) 0.02	>99.5
Albrac. (2)	1.85	0.014	0.002	0.26	—	—	Bal.	(As) 0.049	78.04
7:3 Brass	—	0.002	Tr.	—	—	—	30.14	—	69.85
Cupro nickel	—	0.75	0.009	0.10	0.71	30.80	0.63	(Co) 0.22	66.65

Aluminium and aluminium alloy.

Material	Chemical composition, %							
	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Al
Pure aluminium	—	0.10	0.001	Tr.	0.06	0.005	0.01	Bal.
Aluminium alloy (24S)	4.33	0.23	1.51	0.64	0.12	0.01	0.03	Bal.

Nickel

Material	Chemical composition, %				
	C	Co	Cu	Fe	Ni
Nickel	0.008	0.50	0.05	0.162	Bal.

Silver and silver alloy.

Material	Chemical composition, %				
	Cd	Cu	Ni	Zn	Ag
Pure silver	—	—	—	—	> 99.95
Brazing alloy	14.42	15.43	3.02	15.88	48.82

Note : (1) Sumitomo Titanium guaranteed 60,000 psi. (tensile strength)

(2) Special aluminium brass alloy modified with Si and Sb; Patented product of Sumitomo Light Metal Ind., Ltd.

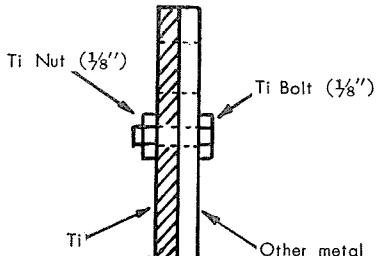
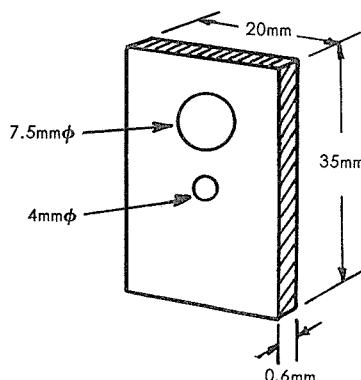


Fig. 1 Dimension of specimen and coupled specimens.

試料は、すべて脱錆、酸洗を充分行い、表面をエメリ研磨紙 #400 で研磨後、アルコールで更に洗滌し、デシケーター中に充分保管後重量を測定した。

2・2 実験方法 試料は、各種金属単独のものと、チタニウムとその他の各種金属をチタニウム製 $\frac{1}{8}$ " ボルトで完全に密着させたものを Fig. 2 の如く木製の枠にビニール被覆電線を桿にして、お互いに碍子によって接触しない様に

吊して、昭和34年5月25日運河中に試料を浸漬し、1ヶ月後、半年後、および約1年後、別々に試料を取り出し、汚泥を除去、水洗し、デシケーター中で十分乾燥後秤量し腐食量、腐食状態を調査した。

実験を行った位置は、当工場東側の名古屋港に通ずる堀

川運河岸壁で、暗黒色に汚染しており、JIS K 0101 の方法によって分析した結果は Table 2 に示す如き河海水である。尚、実験期間中の水温の変化は、Fig. 3 に示す通りである。

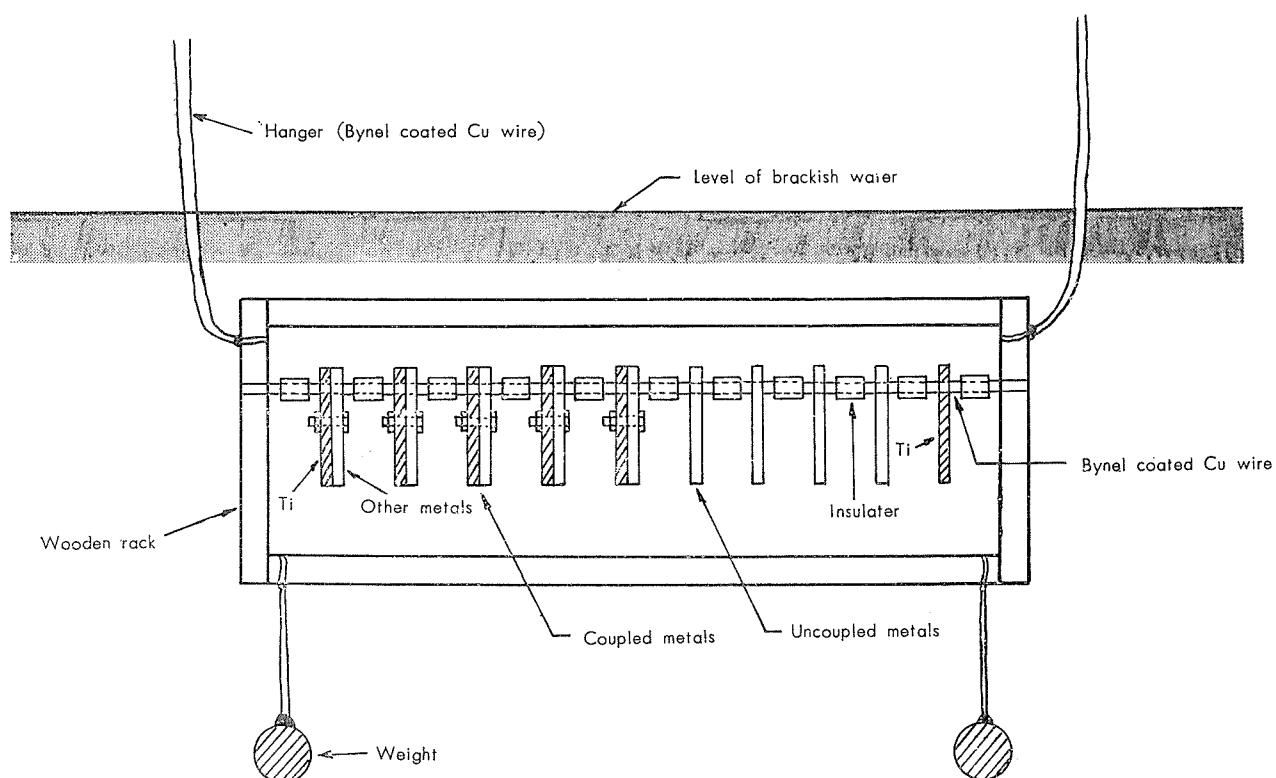


Fig. 2 Schematic diagram of the immersion experiment for the coupled and uncoupled specimens.

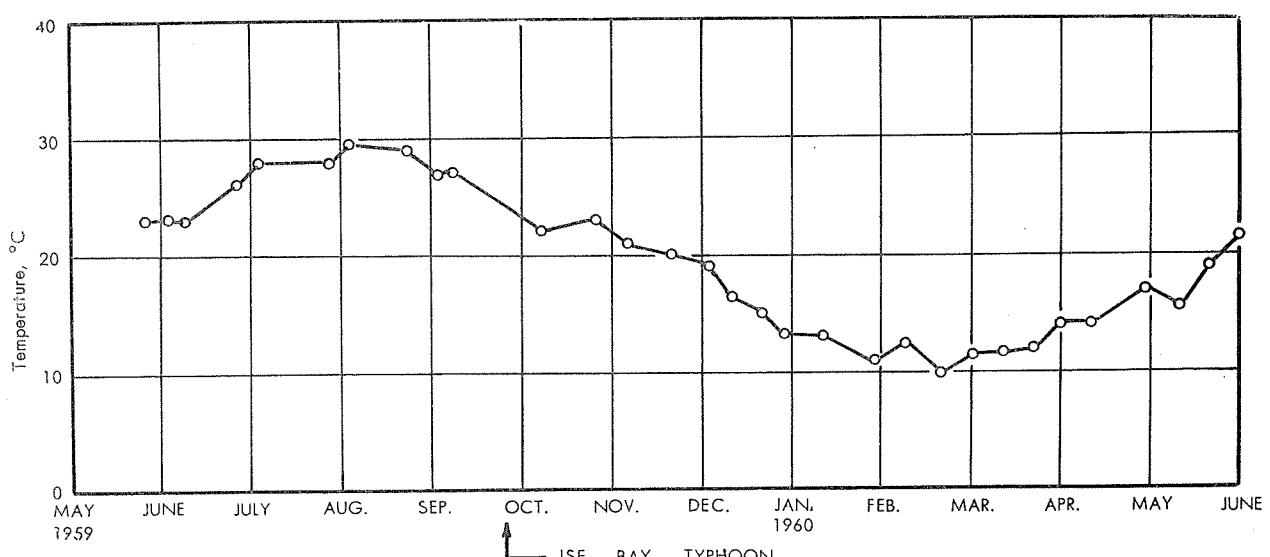


Fig. 3 Variation of brackish water temperature in testing period.

Initiation of test: May 25, 1959.

Termination of test: June 7, 1960.

Table 2 Chemical analysis of polluted brackish water

Item	Brackish water (Average)	Sea water (standard)
Turbidity	19	—
pH	7.00	8.0~8.3
Specific conductivity $\mu\text{a}/\text{cm}^2$	29210	—
Specific gravity g/cm ³	1.007~1.026	1.02~1.03
Evaporated residue (110°C) ppm	18000	34700
Ignition loss (900°C) ppm	7570	—
M-alkalinity ppm	135	—
Total hardness ppm	2930	—
Oxygen demand ppm	8.7	—
SO ₄ ²⁻ ppm	2.0	—
Cl ⁻ ppm	8420	19100
NH ₄ ⁺ ppm	9.4	0.005~0.05
NO ₂ ⁻ ppm	Trace	—
NO ₃ ⁻ ppm	Trace	0.003~1.6
S ppm	Trace	—
Chlorine demand ppm	5.4	—
Fe ⁺⁺ +Fe ⁺⁺⁺ ppm	0.2	0.002
SO ₄ ²⁻ ppm	1195	2660
Ca ⁺⁺ ppm	169	403
Mg ⁺⁺ ppm	522	1280
SiO ₂ ppm	8	0.02~2.7

3. 実験結果

3.1 1ヶ月間の腐食試験結果

1ヶ月間の腐食試験結果を、Table 3, Photo. 1 および Photo. 2 に示した。チタニウムの接触腐食量は、単独の場合と共に殆んど変化なく、接触金属によって影響を受けていない。

又、その表面状況も、浸漬当時と殆んど変化なく金属光沢を十分有していた。

Table 3 Corrosion rates of titanium and coupled metals in brackish water by galvanic couple test for 30 days.

Material	Uncoupled corr. rates, mm/year	Couple corr. rates, mm/year	
		Titanium	Other Metal
Titanium	Nil	—	—
Carbon steel	0.18	Nil	0.161
18-8 stainless steel	Nil	Nil	Nil
13% Cr stainless steel	Nil	Nil	0.0038
Copper	0.072	Nil	0.0466
Albrac	0.0051	Nil	0.0056
Brass	0.0215	Nil	0.0146
Cupronickel	0.023	Nil	0.0175
Aluminium	0.0039	Nil	0.018
Aluminium alloy (24S)	0.0022	Nil	0.0063
Nickel	0.0059	Nil	0.0059
Silver	Nil	Nil	0.0006
Brazing alloy	Nil	Nil	0.0007

接触金属に於いては、13%Cr 不鏽鋼、純アルミニウムおよびアルミニウム合金(24S)は、その接触した場合の方が腐食量が稍々多いが、その他の金属は殆んどその単独の場合の腐食量と変わらない。又その表面状態も1ヶ月程度では、単独の場合の表面状況の変化と変らず接触腐食によつて特に著しい変化はない。

3.2 6ヶ月間の腐食試験結果

6ヶ月間の腐食試験結果を Table. 4, Photo. 3 および Photo. 4 に示した。チタニウムの接触腐食量は、単独の場合と共に殆んど変化なく、その表面状態も、接触面側は接触金属の錆や接触金属の色が附着した様相を呈するものもあるが、その他はすべて金属光沢を有し、全然腐食した痕跡も認められない。

接触金属に於いては、13%Cr不鏽鋼、純アルミニウムおよびアルミニウム合金(24S)は、接触した場合の方が腐食量が多く、それらのチタニウムとの接触面の腐食状態は、単独のものより著しく腐食し、明らかに galvanic corrosion

Table 4 Corrosion rates of titanium and coupled metals in brackish water by galvanic couple test for 183 days.

Material	Uncoupled corr. rates, mm/year	Couple corr. rates, mm/year	
		Titanium	Other Metal
Titanium	Nil	—	—
Carbon steel	0.282	Nil	0.224
18-8 stainless steel	Nil	Nil	Nil
13% Cr stainless steel	0.0046	Nil	0.035
Copper	0.01	Nil	0.059
Albrac	0.0082	Nil	0.0075
Brass	0.0092	Nil	0.0111
Cupronickel	0.0164	Nil	0.017
Aluminium	0.0055	Nil	0.123
Aluminium alloy (24S)	0.003	Nil	0.021
Nickel	0.0074	Nil	0.0011
Silver	0.0218	Nil	0.0191
Brazing alloy	0.0002	Nil	0.0008

が生じていることを示している。その他の金属は、単独の場合と殆んど腐食量は変らず、又その表面状態も単独の場合の表面状態の変化と同様で、特にチタニウムとの接触面が変化を生じている形跡はない。

3.3 約1年間の腐食試験結果

約1年間の腐食試験結果を Table. 5, Photo. 5 および Photo. 6 に示した。チタニウムの接触腐食量は、単独の場合と共に殆んど変化なく、その表面状態も接触面側は、接触金属の錆や接触金属の色が着いた様相を呈するものもあるが、その他の部分は何らこの約1年間にわたる腐食試験でも変化なくすべて金属光沢を有し、全然腐食が生じておらなかった。

接触金属に於いては、1ヶ月および6ヶ月の腐食試験結

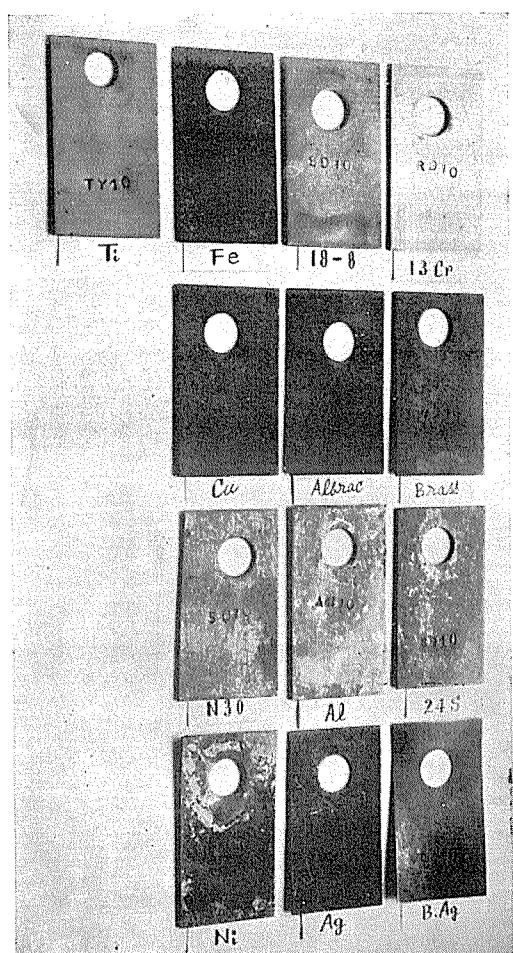


Photo. 1. Surface of uncoupled materials immersed in brackish water for 30 days.

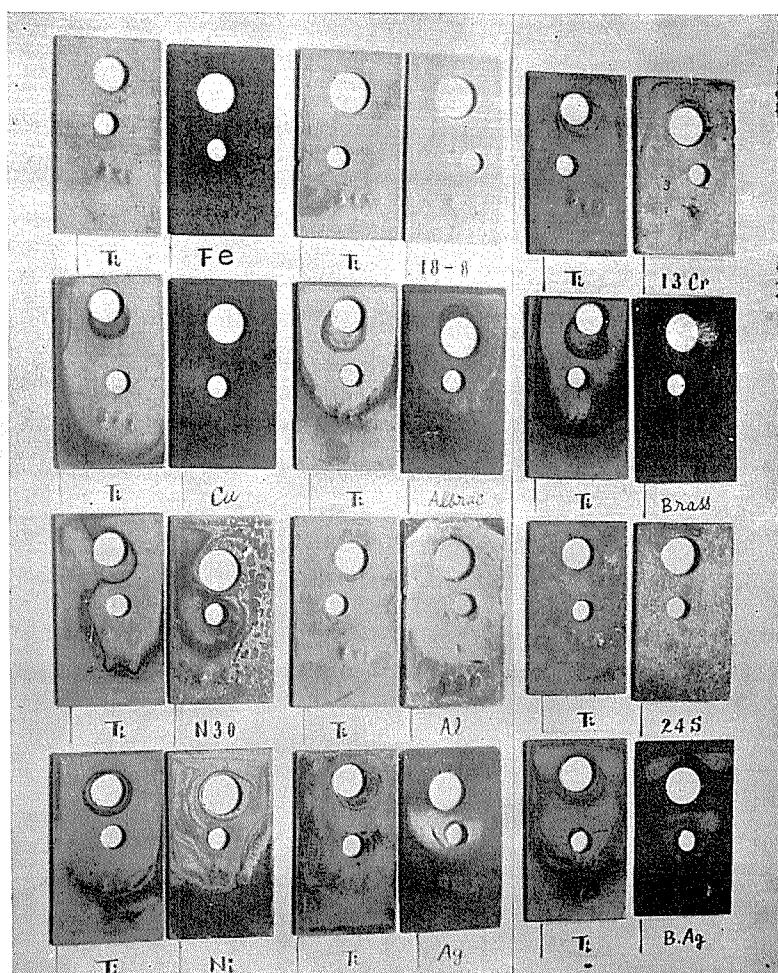


Photo. 2. Surface of galvanic coupled materials immersed in brackish water for 30 days.

Table 5 Corrosion rates of titanium and coupled metals in brackish water by galvanic couple test for 374 days.

Material	Uncoupled corr. rates, mm/year	Couple corr. rates, mm/year	
		Titanium	Other Metal
Titanium	Nil	—	—
Carbon steel	0.208	Nil	0.185
18-8 stainless steel	Nil	Nil	Nil
13% Cr stainless steel	0.0012	Nil	0.0388
Copper	0.131	Nil	0.0875
Albrac	0.0089	Nil	0.0092
Brass	0.0075	Nil	0.0101
Cupronickel	0.0413	Nil	0.0332
Aluminium	0.0037	Nil	0.054
Aluminium alloy (24S)	0.0018	Nil	0.0354
Nickel	0.0062	Nil	0.0071
Silver	0.027	Nil	0.0252
Brazing alloy	0.0008	Nil	0.0002

Table 5-2.

Note : The marks below applies to Figs. 4~15 and Photos. 1~6.

Mark	Materials
Ti	Comm. pure titanium.
Fe	Carbon steel.
18-8	18-8 stainless steel.
13 Cr	13% Cr stainless steel.
Cu	Pure copper.
Albrac	Albrac.
Brass	7:3 brass.
N 30	30% cupronickel.
Al	Pure aluminium.
24 S	Aluminium alloy. (24S)
Ni	Pure nickel.
Ag	Pure silver.
B.Ag	Brazing alloy.

果と同様、13%Cr不銹鋼、純アルミニウムおよびアルミニウム合金(24S)は、単独の場合よりも腐食量が多く、これらのチタニウムの接触面の腐食状態は、激しく腐食しており明らかに galvanic corrosion が起っていることが判る。尚、13%Cr不銹鋼およびアルミニウム合金(24S)では pitting corrosion の痕跡が現れていた。その他の金属は、単独の場合と殆んど腐食量は変らず、その表面状態

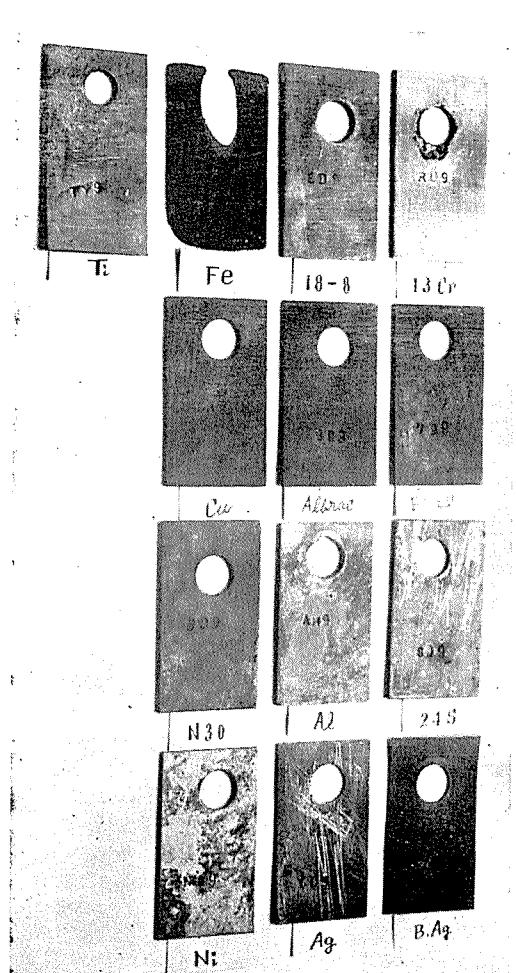


Photo 3. Surface of uncoupled materials immersed in brackish water for 183 days.

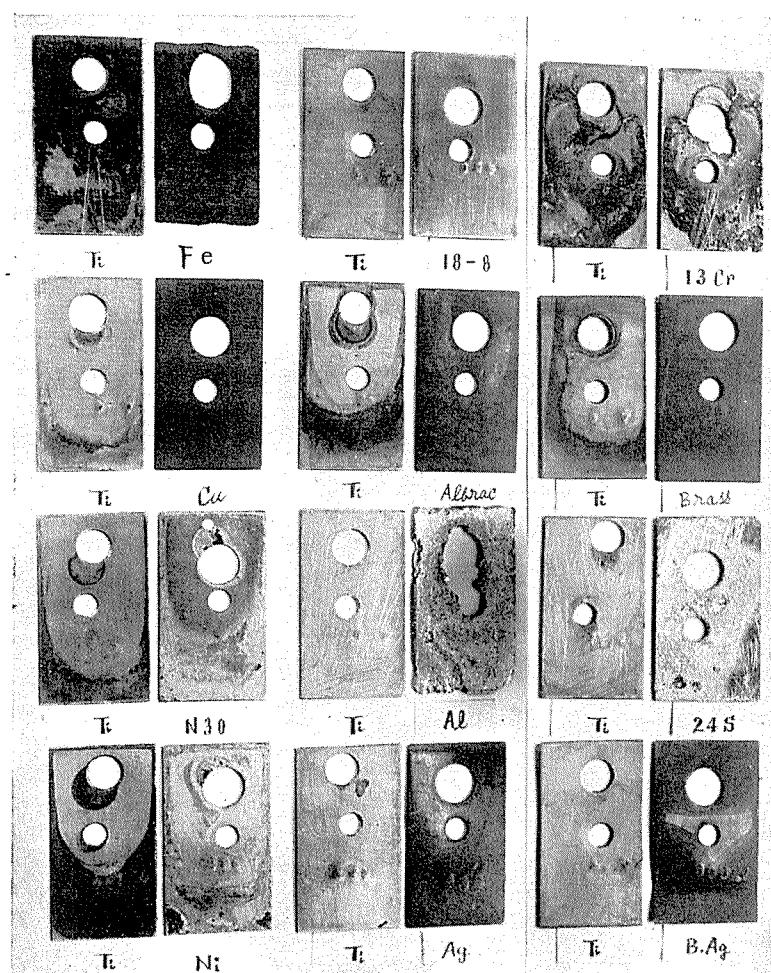


Photo 4. Surface of galvanic coupled materials immersed in brackish water for 183 days.

も特に差異は認められなかった。

更に、上記の結果をまとめて、接触腐食試験に於ける腐食量の変化を Fig. 4～Fig. 15 に示した。これらの図表からも 13%Cr 不銹鋼、純アルミニウムおよびアルミニウム合金 (24S) は明らかに galvanic corrosion により腐食が促進しているが、チタニウムは如何なる金属材料と接触しても腐食が促進する惧れはない。

4. 考 察

上記の結果を T.M.C.A. により発表されている海水中に於ける galvanic series のデーターより検討してみると次の如く考えられる。即ち

(1) チタニウムの単極電位は $-0.10V$ で、アルミニウムは $-0.79V$ であるから当然アルミニウムは、 galvanic corrosion により腐食は促進される。又アルミニウム合金 (24S) も略々同程度の電位を有すると推定されるから、同様に腐食が促進するのは当然であり、 C. Braithwaite の結果および D.W. Stough, et al. の結果とよく一致した。

(2) 13%Cr 不銹鋼の単極電位は、炭素鋼 ($-0.61V$) および 18%Ni-8%Cr 不銹鋼 [(active) $-0.53V$] と同程度と考えられ、アルミニウムより稍々貴に位するが、同様に galvanic corrosion により腐食は促進される。しかし、本実験に用いた炭素鋼では、電気化学的に考えれば、 galvanic corrosion が起ると考えられるにも拘らず、実験結果では galvanic corrosion による腐食現象が見られなかった。この様な汚染河海水中の他の何かの因子によって電位が変化したためではないかと考えられる。

18%Cr-8%Ni 不銹鋼 (passive) の電位は、 $-0.08V$ でチタニウムの電位に近く galvanic corrosion は起らず、 C. Braithwaite の結果および D.W. Stough, et al. の結果と同様に接触腐食の心配はない。

(3) アルブラックの海水中の単極電極は、純銅 ($-0.36V$) および黄銅 ($-0.36V$) と同程度と考えられ、アルミニウムおよび炭素鋼より貴であるが、チタニウムとの間には、 galvanic corrosion が起る可能性は存在するが、本実験結果では、その様な傾向がみられないのは、これら銅系金

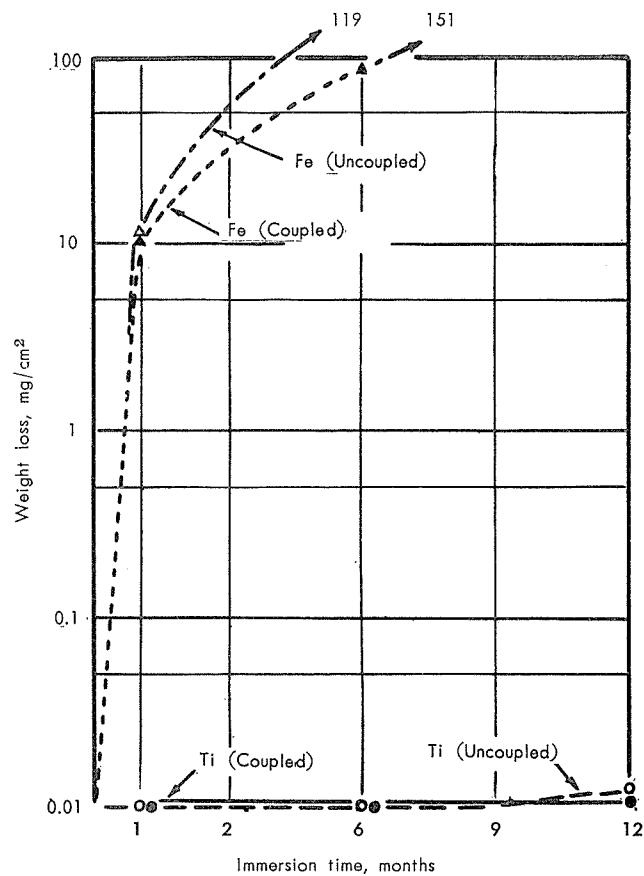


Fig. 4 Time vs. weight loss of titanium and carbon steel immersed in brackish water.

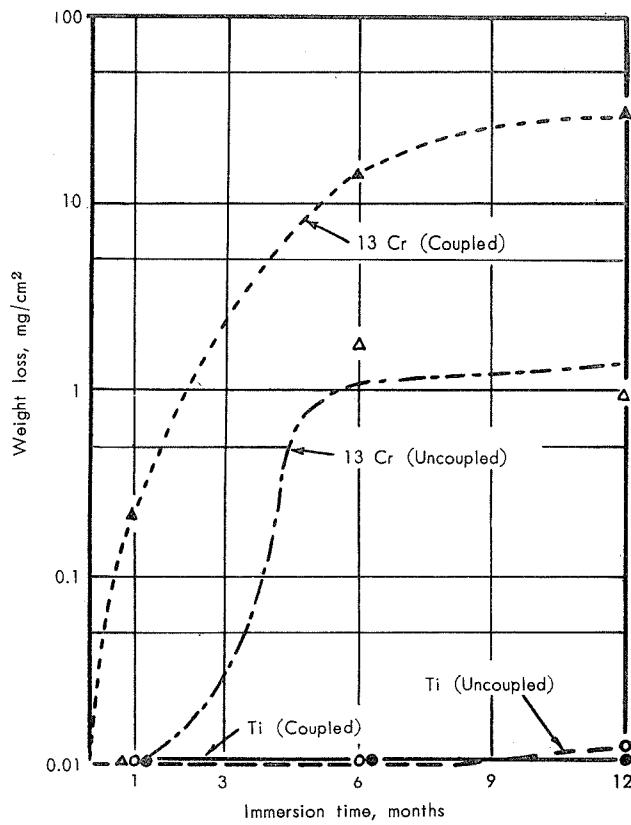


Fig. 6 Time vs. weight loss of titanium and 13 Cr stainless steel immersed in brackish water.

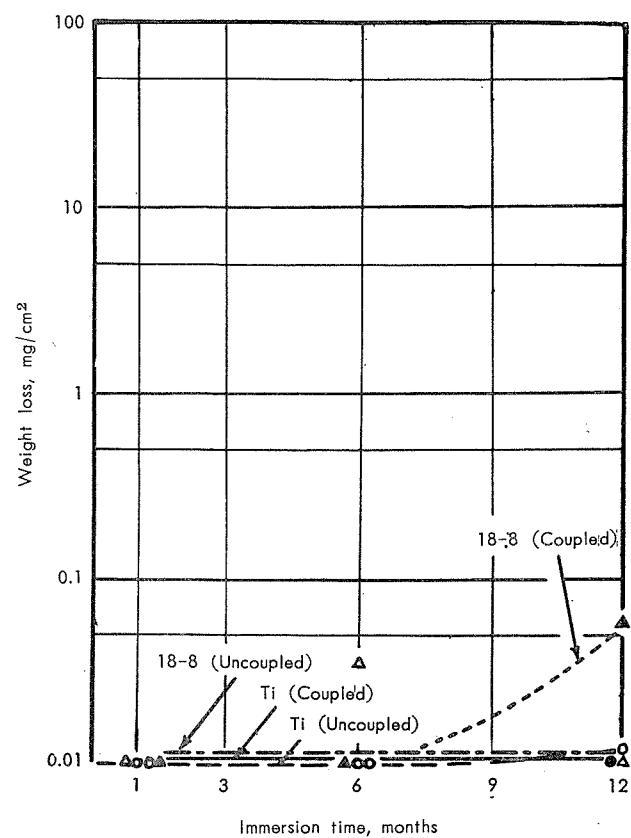


Fig. 5 Time vs. weight loss of titanium and 18-8 stainless steel immersed in brackish water.

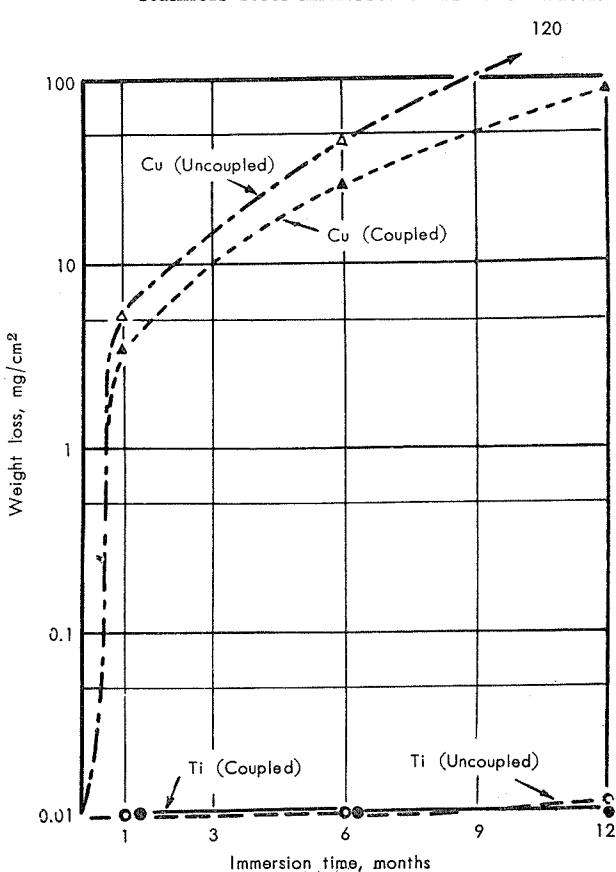


Fig. 7 Time vs. weight loss of titanium and pure copper immersed in brackish water.

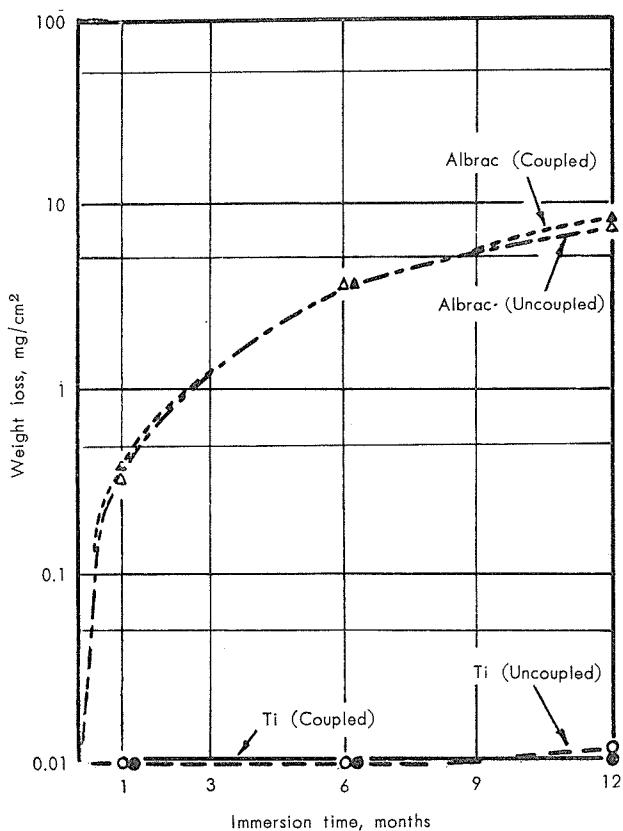


Fig. 8 Time vs. weight loss of titanium and Albrac immersed in brackish water.

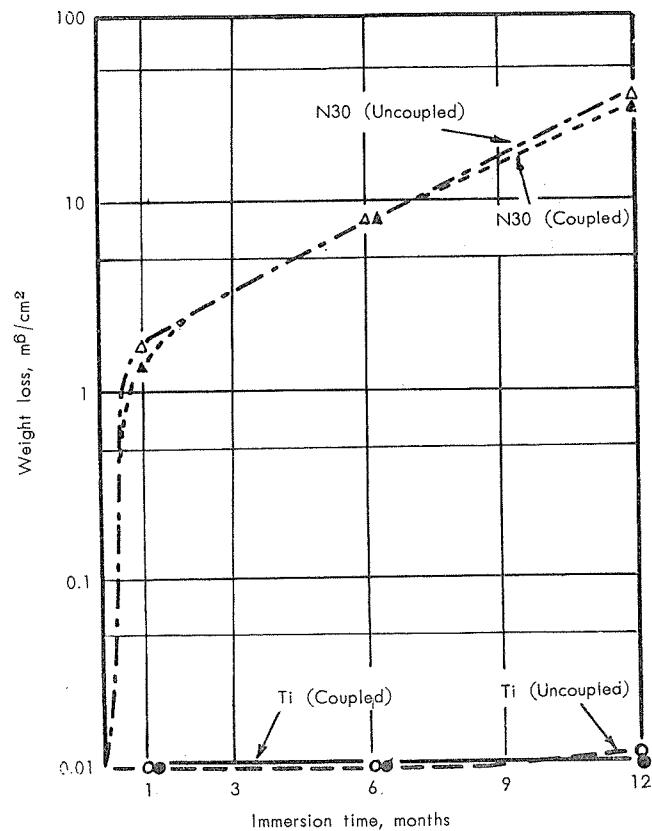


Fig. 10 Time vs. weight loss of titanium and cupro-nickel immersed in brackish water.

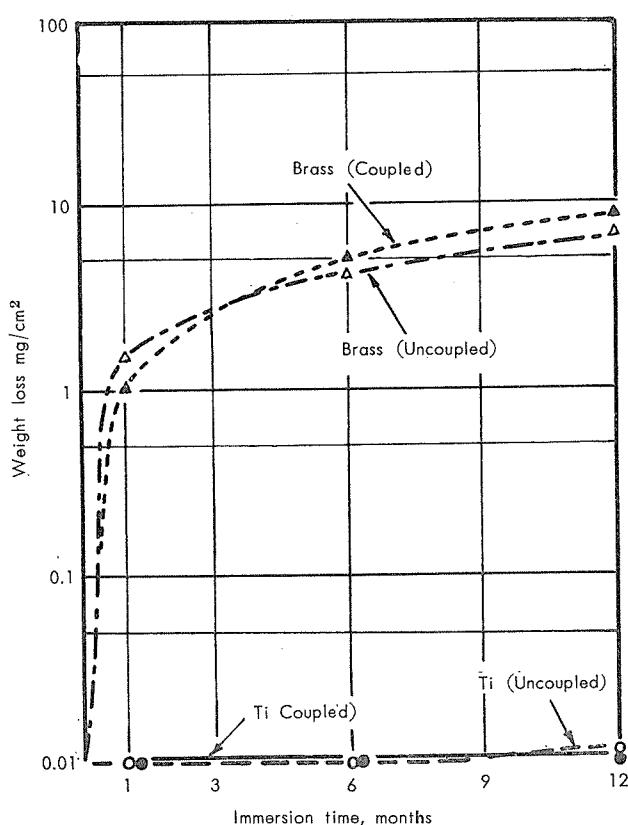


Fig. 9 Time vs. weight loss of titanium and brass immersed in brackish water.

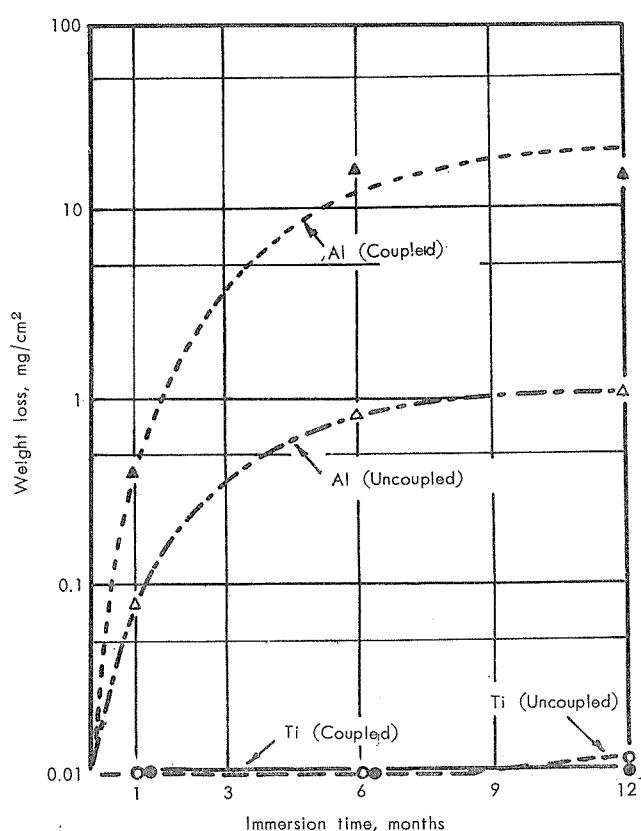


Fig. 11 Time vs. weight loss of titanium and pure aluminium immersed in brackish water.

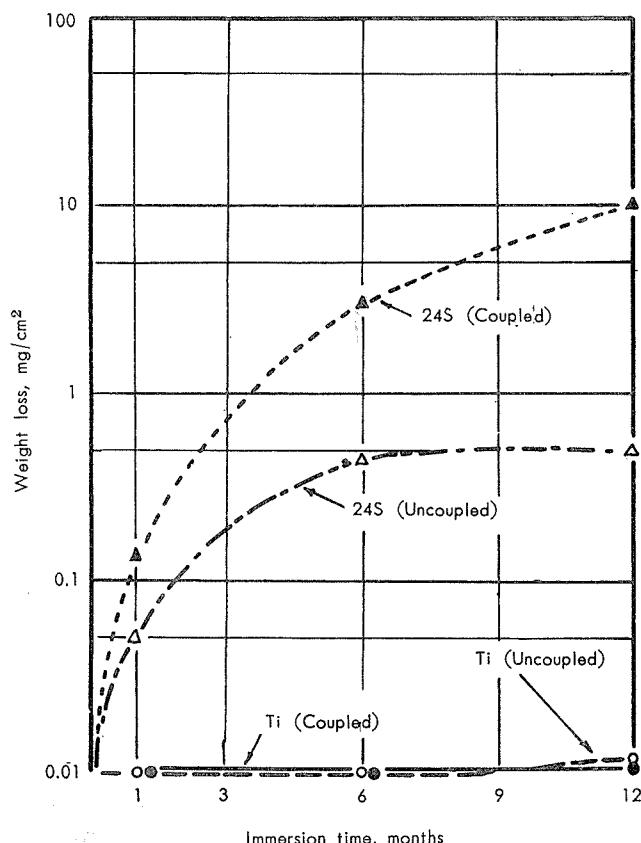


Fig. 12 Time vs. weight loss of titanium and aluminium alloy (24S) immersed in brackish water.

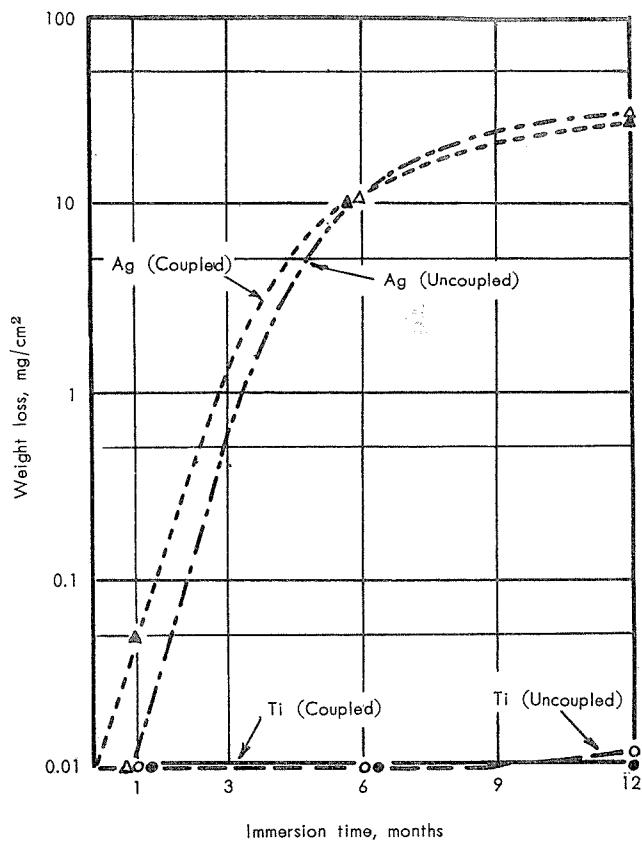


Fig. 14 Time vs. weight loss of titanium and pure silver immersed in brackish water.

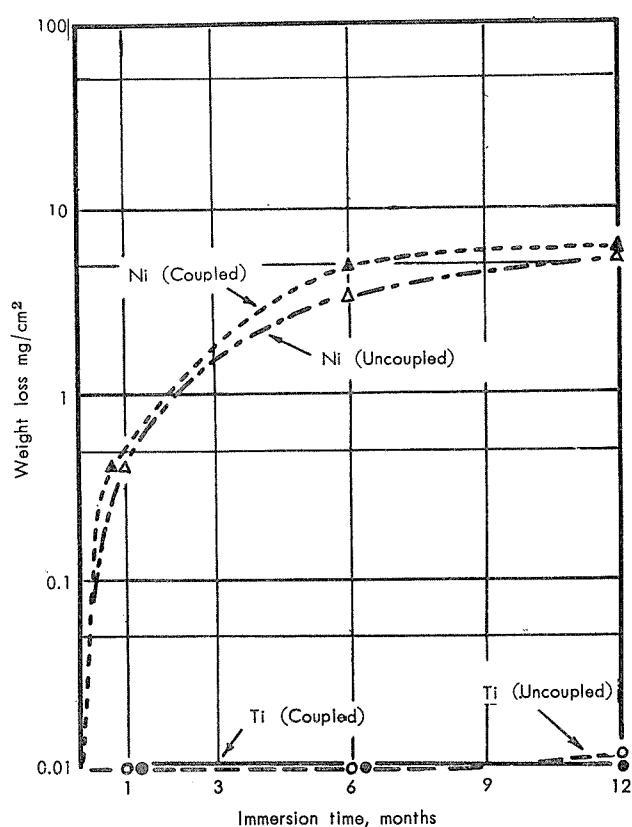


Fig. 13 Time vs. weight loss of titanium and pure nickel immersed in brackish water.

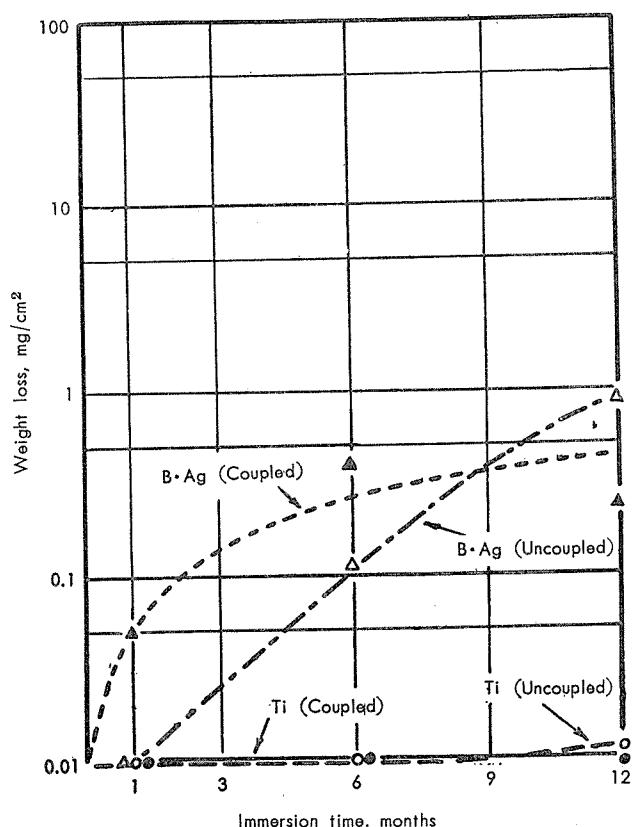


Fig. 15 Time vs. weight loss of titanium and brazing alloy immersed in brackish water.

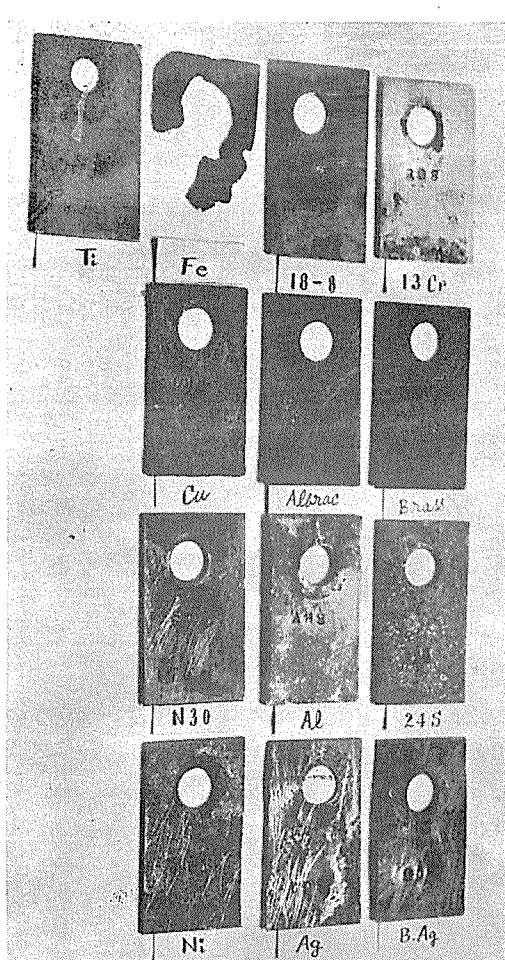


Photo. 5 Surface of uncoupled materials immersed in brackish water for 374 days.

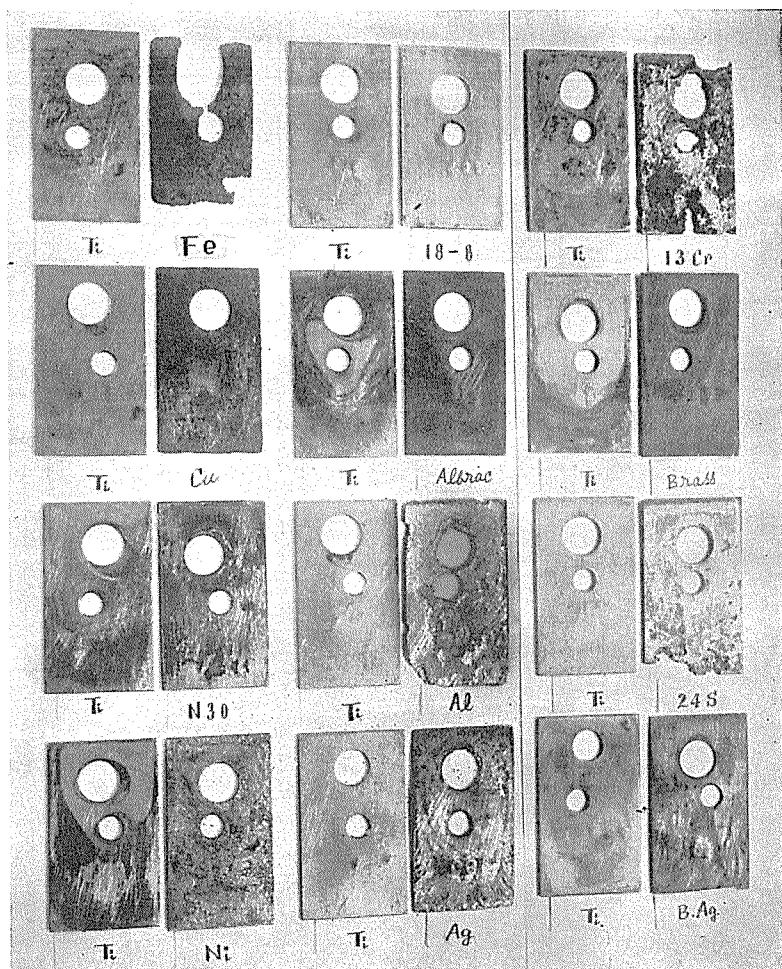


Photo. 6 Surface of galvanic coupled materials immersed in brackish water for 374 days.

属材料の腐食生成物の電位が更にチタニウムに近いために galvanic corrosion が促進されなかったものと考えられる。

又、30%Ni キュプル・ニッケルの単極電位は -0.25V で、更に銅合金よりチタニウムに近いため galvanic corrosion の懼れは少ない。

(4) その他、純ニッケル、純銀および銀鐵の単極電位はチタニウムに極めて近く、当然 galvanic corrosion の心配はないと考えられ、本実験結果もこれを証明している。

5. 結 言

実験結果より汚染河海水中に於けるチタニウムは、他の金属材料と接触して用いても、本実験の範囲では、何ら影響を蒙る心配はない。

アルミニウムおよびアルミニウム合金は、鉄鋼材料との間に galvanic corrosion が起つて腐食が促進するごとくチタニウムとの間に galvanic corrosion が生じ、アルミ

ニウムの腐食が進行するから注意すべきである。

13%Cr不銹鋼も又、河海水中では、アルミニウムの場合と同様 galvanic corrosion の惧れがある。

炭素鋼に於いては、未だ疑問の点があるので更に検討する予定であるが、本実験結果からは、galvanic corrosion は考えられなかった。

その他の金属材料は、本実験の範囲内に於いては、 galvanic corrosion の心配はなかった。

文 献

- (1) H. B. Bomberger, P. J. Cambourelis and G. E. Hutchinson: J. Electrochem. Soc., **106** (1959), Sep. 442.
- (2) Titanium Metals Handbook for the Chemical Processor. (1959) 11.
- (3) C. Braithwaite: Metal Progress, **67** (1955), Aug. 182.
- (4) D. W. Stough F. W. Fink and R. S. Peoples: Light Metal Age, **15** (1957), Feb. 20.

R-8

Reprinted from SUMITOMO LIGHT METAL TECHNICAL REPORTS Vol. 2, No. 1, JAN., 1961

全溶接アルミニウム合金製
天井走行起重機製作について

今 泉 徹 中 田 淳 一
蛭 子 基 寺 井 士 郎

All Welded Aluminium Traveling Crane

by Tōru Imaizumi, Junichi Nakata

Motoi Ebisu and Shiro Terai

住友軽金属工業株式会社研究部

技術資料

全溶接アルミニウム合金製 天井走行起重機製作について

今 泉 徹 * 中 田 淳 一 **
蛭 子 基 *** 寺 井 士 郎 ****

1. 緒 言

戦時中航空機用材料として異状な発展を遂げた軽合金も我が国に於ては終戦と共に其の市場を失い、平和的民需品として鍋釜を初めとする日用品に其の活路を見出して再出発せざるを得なかった。一方欧米各国に於てはアルミニウム合金の需要は日用品の類もさることながら、むしろ車輌、船舶等を始めとする運輸関係諸機械並に近代ビルディング、橋梁等を始めとする建築土木関係の構造用材として急激な発展をとげつつあり、各国共此の方面に最大の市場を見出し着々として鉄鋼の分野に喰込む趨勢にあり更に華々しい将来が約束されている。これは戦後民需用に適する各種の新合金が研究開発されると共に軽合金本来の軽量で耐食性に秀れ、機械的強度も強く、しかも加工性がよい等の優秀な諸性質が需要者によく認識されて來、且つこれ等をたくみに利用して大きな利益が得られることがわかつてきただからであり、我国に於ても此の点が次第に認識されてから年々日用品以外の新用途が開発されつつある。斯くの如くアルミニウム合金材が構造材としても極めて優秀な金属材料であることが広く一般に再認識されつつある時、米国の Kaiser Aluminum & Chemical Corp. は Cleveland Crane and Engineering Co. と協力して、同社が Ravenswood に建設した最新鋭の精練および圧延工場に、第1表の如く容量 5~125 \$スパン 60呎~105呎の全溶接アルミニウム製起重機総計27台を製作設置して良好な状態で使用しているが、以下その概要について述べる。

監督を住友機械株式会社殿が、アルミニウム構造体の溶接組立加工を日本アルミニウム株式会社殿が夫々担当して製作した。以下先ず KAISER 社に於ける例について概説し、つぎに今回の試作の経過の概要を報告して諸賢の御参考に供することとした。

2. KAISER 社の天井走行起重機について

緒言において述べたように米国の Kaiser Aluminum & Chemical Corp. は Cleveland Crane and Engineering Co. と協力して、同社が Ravenswood に建設した最新鋭の精練および圧延工場に、第1表の如く容量 5~125 \$スパン 60呎~105呎の全溶接アルミニウム製起重機総計27台を製作設置して良好な状態で使用しているが、以下その概要について述べる。

第1表 KAISER社が設置計画せる
アルミニウム起重機

台 数	能 力 \$	ス パ ン、呎
2	5	60
7	10	105
3	15	83
1	15	105
1	20	105
2	30	61
1	40	61
4	50	105
2	80	61
2	100	105
2	125	83

2・1 設 計 概 要

アメリカ鉄鋼協会の規格では、鉄鋼製起重機のガーダーの許容最大タワミ量は 1942 年にスパン 1 時当り 0.0015 吨 ($\frac{1}{670}$ s) と決められたが、その後 1957 年にスパン 1 時当り 0.001 吨 ($\frac{1}{1000}$ s) に改訂されている。しかしアルミニウム製ガーダーの場合は弾性率が鋼の約 $\frac{1}{3}$ であるため、設計上の応力を低くしても撓み量は可成り大きくなるので、最大許容撓み量としてスパン 1 時当り 0.0015 吨 ($\frac{1}{670}$ s) 近認めてもらう様にし、尚剛性を増すためにアルミニウムガーダーの深さを約 25% 増しさらに板厚も適当に増して設計している。その結果第2表に示すごとくアルミニウムガーダーは鋼製ガーダー

* 住友機械工業株式会社 技術部研究課 ** 日本アルミニウム工業株式会社製造部製罐工場課 *** 住友軽金属工業株式会社技術部開発サービス課 **** 住友軽金属工業株式会社研究部

第2表 同仕様のアルミニウム及鋼製起重機
重量比較 (Long Tons)

	10t×105呎		50t×105呎	
	アルミニウム製	鋼製	アルミニウム製	鋼製
トロリー・フレーム	1.04	2.55	2.90	7.23
ギヤーボックス	0.89	2.69	1.07	3.12
ガーダー(2)	15.19 38%	40.00 100%	21.80 42%	51.60 100%
エンドトラック(2)	1.62	4.48	2.14	5.53
エンドタイ			2.28	6.77
カブ	0.36	1.15	0.36	1.13
運転室	0.13	0.31	0.13	0.31
配電管及スイッチボックス	0.40	1.13	0.49	1.34
機械廻りの通路	2.23	6.28	2.36	6.47
電線廻りの通路	2.55	6.73	2.77	7.59
パンバー・ハウジング	0.54	1.44	0.54	1.44
補助トラス		3.59		4.48
残り	12.05	32.05	27.70	27.70
合計	37.00 46%	80.00 100%	64.50 52%	124.50 100%
最大車輪負荷	19.00	28.50	24.5	33.0

ダーより58~62%軽くなるという結論を得た。尚、使用アルミニウム合金はガーダー其他大部分は耐食性アルミニウム合金5083 (NP 5%相当) であり、その代表的な機械的性質を第3表に示した。

第3表 5083合金の機械的性質(代表値)

合 金 名	仕 様	抗張力、 \$/平方吋 (kg/mm ²)	耐力、 \$/平方吋 (kg/mm ²)	伸び、 (2吋) %
5083	AW(2)	18.3 (28.8)	8.9 (14.0)	18
5083	H113	20.3 (32.0)	14.7 (23.1)	16

註(1) 1/4吋~2吋厚サに於ける標準値を示す

(2) 5356のフライアーメタルを使用してMIG溶接されたものとしての機械的性質

2.2 加工費概要

2.2.1 溶接費

アルミニウムのアルゴンアーク溶接は速度が早いためアルゴンガス使用による溶接費用の増加を相殺し、鋼の溶接の場合と同じ費用であった。即ち鋼の場合の溶接速度は1吋~3吋/分であるのに対し、アルミニウムの場合のそれは1吋~8吋/分であり約33%の溶接能率の増加が認められた。

2.2.2 剪断ならびに成形費

1/2吋厚サまではアルミニウム合金板も鋼板も同じ剪断ならびに成形費で加工出来る。

2.2.3 鋸切削費

1/2吋~2吋のアルミニウム合金板の鋸切削費は鋼板をガス切断する費用と比較すると約4%程高くついた。しかし最近発展して来たアルミニウム厚板切断法即ちトーチカッティング法を使用すると此の差は殆んど無くなる。即ち結論的にはアルミニウム製と鋼製の製作加工費の差は殆んどなく同じであるといってよい。

2.3 アルミニウム製起重機の経済性ならびに利点

2.3.1 経済性的比較

アルミニウム製起重機と鋼製起重機との経済性的比較を示すため、第4表にKaiser社発表の50t×105呎起重機

第4表 50t×105呎スパンのアルミニウム製及び
鋼製起重機の経済性比較表

のアルミニウム製及び鋼製の夫々の場合の経済性の比較例

構 造 材	アルミニウム製	鋼 製	アルミニウム 製の割増額
起重機重量, lb	170,500	311,500	
クレーン次出費額			
構 造 材 (註1)	\$ 99,400	\$ 70,600	\$ +28,800
電気部品 (註2)	47,100	54,900	- 7,800
残 部 品	20,000	20,000	
製作費小計	\$ 166,500	\$ 145,500	\$ +21,000
運搬費 (註3)	2,650	4,840	- 2,190
組立据付費	8,000	10,000	- 2,000
一次出費総額	\$ 177,150	\$ 160,340	\$ 16,810
アルミニウム製/鋼製		1.11	
基礎費, 500呎 (註4)	\$ 64,000	\$ 76,500	\$ -12,500
設備費総額	\$ 241,150	\$ 236,840	\$ + 4,310
アルミニウム製/鋼製		1.02	
保全費(20年間) (註5)			
塗装費(室内)		+4,870	-4,870
操業上の保全費		+2,000	-2,000
20年間の精算費用総額	\$ 241,150	\$ 243,710	\$ - 2,560
アルミニウム製/鋼製		0.99	

註1: アルミニウム製構造と鋼製構造の構造材費比較表

構 造 材 料	アルミニウム	鋼
構造体総重量(lb)	99,400	243,500
工場に於ける材料1磅当り単価		
材料費	\$ 0.49	\$ 0.08
組立加工費	0.51	0.19
其他塗装並に仕上費	-	0.02
製品1磅当りの総費用	\$ 1.00	\$ 0.29
構造体総費用	\$ 99,400	\$ 70,600
アルミニウム製起重機に対する割増額		\$ 28,800
アルミニウム製対鋼製の重量比		0.41
アルミニウム製対鋼製のコスト比		1.40

※ 材料内分; 形材その他12%

註2: 起重機電気部品費の比較 (50t×105呎起重機)

構 造 部 分	アルミニウム製		鋼 製	
	モーター	価額	モーター	価格
ホイスト	1@ 135HP	\$ 21,600	1@ 135HP	\$ 21,600
トロリーリー	1@ 19HP	6,000	1@ 33HP	8,200
ブリッヂ	2@ 45HP	19,500	2@ 65HP	25,100
=90HP		=130HP		
総 計		\$ 47,100		\$ 54,900
アルミニウム製の場合の節減額		\$ 7,800		

註3: アルミニウム製起重機の運送費に於ける節減額は起重機コストの1 1/2~2%位となる。尚此の外に積卸しの設備の能力並に数量が少く無い等の他の利益もある。

註4: 50t×105呎クレーンの基準費比較

	アルミニウム製		鋼 製	
	モーター	価額	モーター	価格
車輪数		8		8
車輪負荷、lbs		52,200		71,500
基礎に於ける反力、lbs		104,400		143,000
走行ガーダー1時当りのコスト	※	\$ 128	\$ 153	
走行ガーダー500呎のコスト		\$ 64,000	\$ 76,500	
アルミニウム製の場合の節減額		\$ 12,500		

※ 抗打、基礎、柱、及びビーム費を含む。

註5: 保全費

	アルミニウム製		鋼 製	
	内	外	内	外
室 内	\$ 7,320		\$ 2,440	\$ 4,870
室 外	\$ 14,640		\$ 4,880	\$ 9,760

を示す。即ち此のアルミニウム製起重機では鋼製起重機に比し重量が約45%軽減するが、一次出費額は\$21,000 即ち約13.5%鋼製の場合よりも高くつく。しかしながら此の割増額は運送費や組立据付費を加算していくと次第に少くなってくる。更に500呎の走行ガーダーに対する基礎費迄含めて考えた場合 アルミニウム製起重機の設備総額は \$241,150となり鋼製の場合に比しわずか \$4310 即ち 2%のコストアップにしかならない。更にこれに20年間使用した場合の保全費を考慮に入れる上アルミニウム製起重機の場合には\$2,560の費用節減となる。

2・3・2 其の他の利点

- A. 重量が軽減し建屋の建設費が安い。前述の如くアルミニウム製起重機は鋼製起重機に比し、自重が48~54%軽減されそのため走行荷重が減少するので鋼製の場合より建屋の建設費が可成り安くなる。
- B. 建屋の補強なしに起重機能力の増加が容易であり、重量が軽減されるため車輪負荷が24~34%軽減される。従って鋼製起重機をアルミニウム製起重機に置換えれば車輪負荷を増加しないで起重機能力を25~35%増加することが可能となる。これは極めて重要な利点で工場拡張の際起重機能力を増加する必要が生じた場合には、鋼製起重機を使用すれば建屋を補強しなければならない。此の費用は起重機の費用より多くなるのが普通であるが、この様な場合アルミニウム製起重機を採用すると、起重機の吊上能力を増しても走行ガーダーおよび支柱基礎等の補強工事に一銭も出費する必要がなく非常に有利である。

C. 能率が向上する。

重量軽減のため鋼製起重機に比し始動停止が早く、また速度上昇が出来るため、一工程の時間 (cycle time) が減

第 5 表 同一仕様の動力装置付のアルミニウム製及
鋼製起重機のサイクルタイムの比較

	アルミニウム合金製	鋼 製
速 度		
ホイスト速度、呎/分	55	55
トロリー速度、呎/分	200	150
ブリッヂ速度、呎/分	500	400
40呎 トロリー移動距離	200呎 ブリッヂ移動距離	18呎 リフト移動距離
サイクルの要素		
吊具をかける時間秒	7.0	7.0
吊上げ時間(18呎)秒	19.6	19.6
ブリッヂ移動時間(200呎)秒	24.0	30.0
トロリー移動時間(40呎)秒	12.0	16.0
吊具を放す時間、秒	7.0	7.0
トロリー戻り時間(40呎)秒	12.0	16.0
ブリッヂ戻り時間(200呎)秒	24.0	30.0
フックを卸す時間(18呎)秒	19.6	19.6
合計/10\$単位荷重	125.2	145.2
アルミ製のサイクル対鋼製のサイクル比	0.861	
アルミニウム製起重機使用に依る生産増加		16.4%

少し、能率が向上する。Kaiser 社における Mill Crane の例では第 5 表にのべた様に約15~25%稼動率が上昇したといっている。

D. 走行用電動機の容量が縮少出来る。

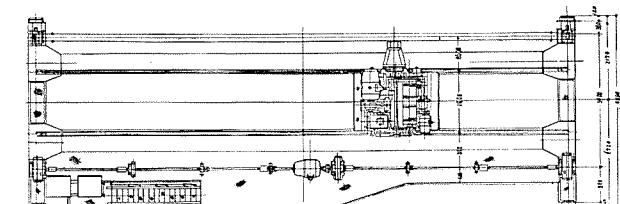
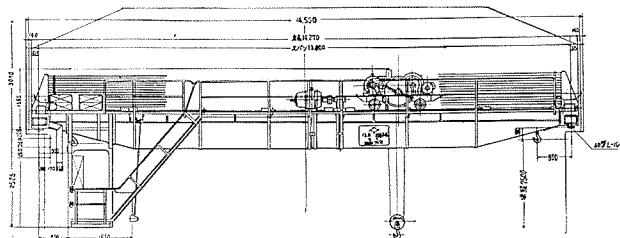
自重が軽減するため走行用電動機の容量は第 4 表註 2 にのべたごとく同一能力の鋼製起重機より縮少出来る。

3. 試作起重機の概要

本起重機は弊社製板工場に設置せるもので、第 6 表に仕

第 6 表 試作天井走行起重機の仕様

型 式		普通型天井クレーン(ボックスガーダー)		
卷 上 荷 重		5 頭		
卷 上 揚 程		7.5 m		
径間(走行軌条間距離)		13.9 m		
横 行 航 条 心 メ 距 離		1.6 m		
横 行 軌 条		22.kg レール		
運 動	速 度、 m/min	電 動 機		
卷 上		出 力、KW	回 転 数、rpm	定 格 min
横 行		12	900	60
走 行		30	1200	60
		100	7.5	900
電 源		三 相 交 流 220 volt 60㎐		



第 1 図 試作全アルミニウム合金製天井走行起重機の概略図

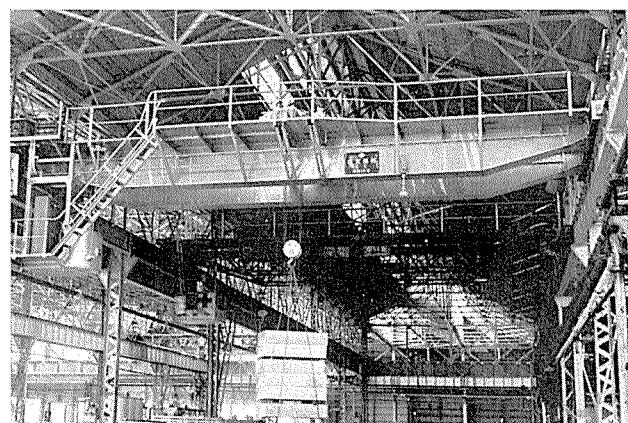


写真 1. 全アルミニウム製天井走行起重機の外観
(巻上荷重 5 頭)



写真 2-a. 運転室附近の外観

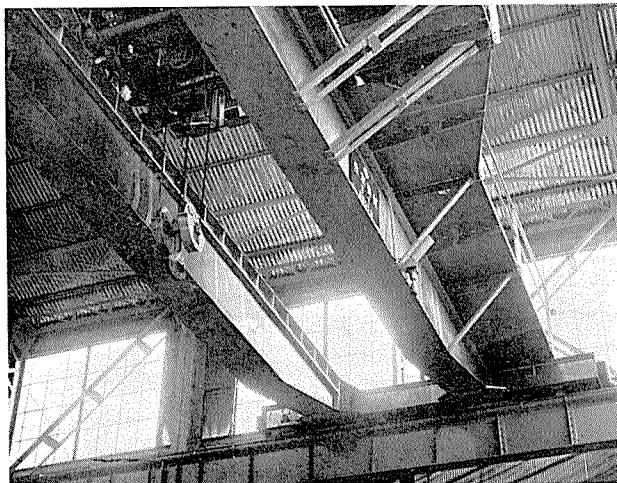


写真 2-b. ボックスガーダーを下斜めより見た外観
様の概略を、第 1 図に寸法概略を、写真 1 および 2 a; b に外観を示した。

4. アルミニウム合金の使用範囲および材質

本アルミニウム合金製起重機の接合は溶接によるものであるから、材料は可成りの強度を有しあつ溶接性が良好であり、溶接接手効率のすぐれたものでなければならず、また耐食性の優れていることも望ましい。この様な観点より、各構造部分には第 7 表に示す材料をそれぞれ選んだ。各合金の性質について以下に述べる。

4・1 化学成分

化学成分の JIS による規格範囲を第 8 表に示した。耐

第 7 表 アルミニウム合金使用範囲

使 用 築 所		使 用 材 料
主 要 構 造 部	ガード - サード - トロリー - フレーム	耐食アルミニウム合金第 7 種 (A2P7-F) (A2S7-F)
ギヤー - ケース	機械ブレーキ - ケース 走行ギヤー - ケース	アルミニウム合金鉄物第 7 種 A (AC7A-F)
運 転 室	骨組 - 側板 - 天井 - 床	A2P7-F
歩 道 : 梯 子 : 手 ス リ		A2P7-F A2T1-H
カバ - 類	ギヤー - カバー 軸カバー 溝車カバー	A2P7-F
リーマーボルト		耐食アルミニウム合金鍛造品第 6 種 (A2F6-T6)

第 8 表 使用材料の化学成分範囲 (JIS による)

使用材料の種類	符号	化 学 成 分, %							
		Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti
加工材	耐食アルミニウム合金板 7 種	A2P7	<0.10	<0.40	<0.40	0.3 ~ 1.0	3.8 ~ 4.8	<0.10 ~ 0.50	<0.20
	耐食アルミニウム合金押出形材 7 種	A2S7	/	/	/	/	/	/	/
	耐食アルミニウム合金管 1 種	A2T1	<0.10	<0.45	<0.10	2.2 ~ 2.8	<0.10 ~ 0.15	0.35	—
	耐食アルミニウム合金鍛造品 6 種	A2F6	<0.35	0.6 ~ 1.2	<1.0	<0.2	0.45 ~ 0.8	0.15 ~ 0.35	0.15
鋳物材	アルミニウム合金鉄物	AC7	<0.1	<0.3	<0.4	<0.8	3.5 ~ 5.5	<0.1	<0.2

食アルミニウム合金 1 種および 7 種ならびにアルミニウム合金鉄物 7 種 A はいずれも Al-Mg 系合金に属する合金である。前者の 2 合金は、加工用合金であり、加工硬化によって所定の強度が得られるが、板厚の厚い場合はいずれも、熱間加工のまま使用することが多い。

アルミニウム合金鍛造品 6 種は Al-Mg₂Si 系合金に属し、前述の加工硬化形の材料とは異なり焼入時効によって所定の強度が得られる。

4・2 機械的性質

4・2・1 引張強さ

第 9 表に JIS による機械的性質を示した。本起重機は、耐食アルミニウム合金板 7 種については熱間加工のまま

第 9 表 使用材料の機械的性質規格 (JIS による)

使用材料の種類	質別	記号	厚 サ	引張強さ			曲げ試験 180°屈曲 内側半径
				耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	
耐食アルミニウム合金板 7 種	軟質	A2P7-O	0.5~1.5 1.5~3 3~6 6~12	>13 >13 >13 >13	>27 >27 >27 >27	>15 >18 V18 >18	2t 2t 3t 3t
耐食アルミニウム合金押出形材 7 種	押出のまゝ	A2S7-F	—	>12	>27	>13	
耐食アルミニウム合金管 1 種	硬質	A2T1-H	—		>23	>5	
耐食アルミニウム合金鍛造品 6 種	焼入焼モドシ	A2F6-T6	—	>26	>30	>14	+
アルミニウム合金鉄物	鋳造のまゝ	AC7-F	—		>22	>12	

+ 試験材の伸び 鍛造品実体は 10 以上

○ カタサ試験 ブリネルカタサ 90 以上

サカタ試験 ブリネルカタサ 約 60

使用しているが、JIS 規格には軟質のみで熱間加工のままの規格が制定されていないので、耐食アルミニウム合金板7種に相当する NP 5% 英国規格数値を参考までに第10表

第 10 表 NP 5% の英國規格による機械的性質

使用材料の種類	質別	記号	厚さ、mm	耐力、 $0.1\% \text{kg/mm}^2$	引張強さ、 kg/mm^2	伸び、% $(\Delta L/L_0)$
NP 5%	製造のまゝ 軟質	NP 5% M NP 5% O	6.4~25.4 6.4~25.4	>12 >10.5	>25.5 >25.5	>12 >18

に示した。本起重機の設計強度の基準は、JIS 軟質材の規格数値を採用しているので、実際軟質材より強度の優れた傾向にある熱間加工のままを使用することは強度面での余裕が多いと考えられる。

第11表に本起重機に使用した各材料の引張試験結果を示す。いずれも、JIS 規格数値あるいは英國の規格数値に十分なる余裕をもって合格しており、材質上の問題は皆無であった。

第 11 表 本起重機に使用した上述各合金の引張強さ

使用材料の種類	使用箇所	寸法厚さ、mm	引張強さ		
			耐力、 kg/mm^2	引張強さ、 kg/mm^2	伸び、%
A 2 P 7-F	ガーダー	9	21.3	32.5	14
	サドル	9	22.2	32.2	16
	運転室	4.5	23.1	32.4	14
	カバー類	5	22.1	32.5	16
	歩道	5	22.1	32.6	16
	トロリー	12	20.6		17
	フレーム	9	23.7	34.3	16
	手スリ	—	26.5	27.9	3
	梯子	—	—	—	—
	AC 7 A-F	—	23.4	—	3
A 2 F 6-T 6	ギヤー	—	—	—	—
	ケース	—	—	—	—
	リーマー	—	33.6	28.4	16
	ボルト	—	—	—	—

尚各材料とも溶接構造を主体として居るため一応応力部分に使用された各材料については、溶接部の引張試験を行い、非破壊試験の結果と併せ考え、十分なる継手効率を有するものであることを確認した上で使用した。

第12表に結果の1例として、最も使用割合の多かった耐

第 12 表 耐食アルミニウム合金7種(熱間加工のまゝ)板材溶接部の強度

イ 母材

質別	板厚、mm	引張強さ、 kg/mm^2	耐力、 kg/mm^2	伸び、%
熱間加工のまゝ	5	32.5	22.1	16
	9	32.5	21.3	14

ロ 溶加材

耐食アルミニウム合金7種抽伸線

ハ 溶接条件

方法M I G手溶接

板 厚	5	9
マーカー電圧、V	26	27
溶接電流、A	210	250
アルゴン量、l/min	30	30

試片の開先

ニ 溶接部の引張試験結果

試験片形状	板厚、mm	引張強さ、 kg/mm^2	耐力、 kg/mm^2	伸び、%	継手効率、%	
					引張強さ	耐力
T 1 S 5号 (ビード付)	5	28.2	—	10.0	86.7	—
	9	27.5	—	—	84.6	—
溶接1号 (ビードなし)	5	24.17	15.8	12.0	76.0	71.0
	9	24.0	14.1	13.0	73.8	66.1

食アルミニウム合金7種板材の5mm および 9mm板の溶接後の引張試験の結果を示した。材料が製出のままの状態であるため、後述の溶加材の選定の際に用いた焼鈍材を母材に使用した場合よりは継手効率は若干低く出ている。

4・2・2 疲労強度

第13表に主な材料の疲労強度を示した。之等の各数値は、

第 13 表 各材料の疲労強度

合金の種類および質別	疲労強度、 kg/mm^2		
	10^5	10^6	10^7
A 2 P 7-F	21.4	16.7	15.5
A 2 S 7-F	21.2	17.8	15.5
A 2 S 1-H	16.2	12.2	10.6
AC 7 A-F	—	—	—

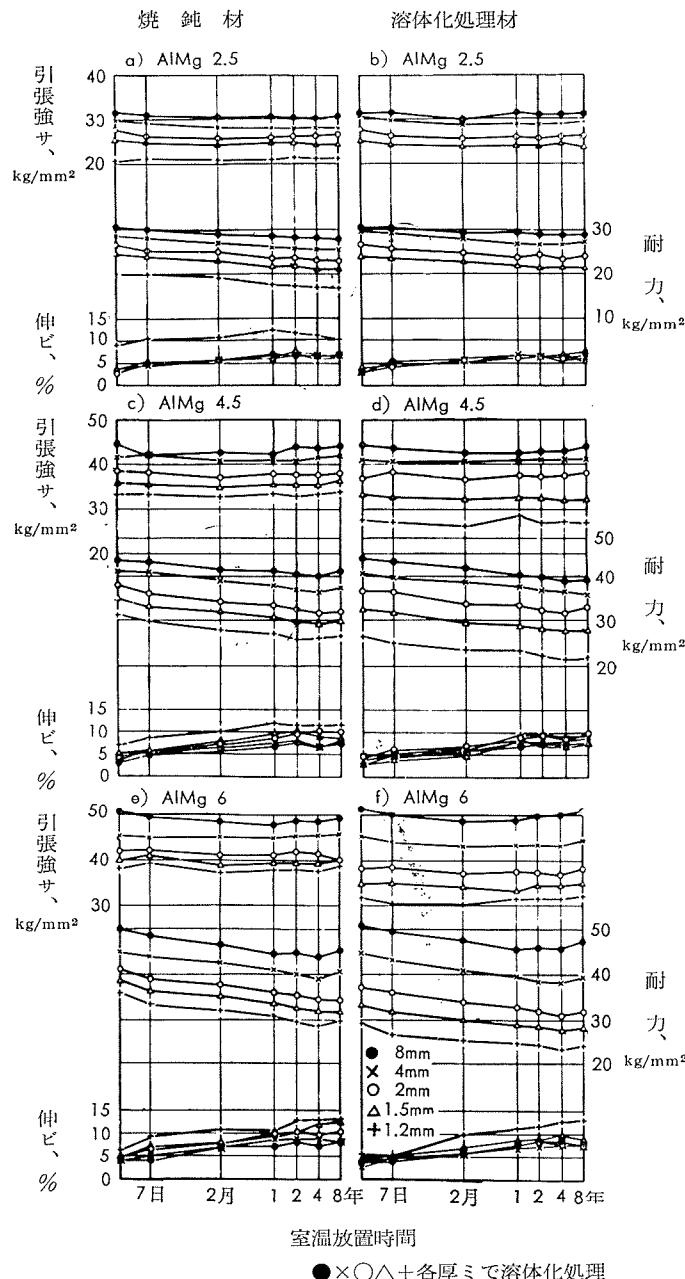
ALCOA 等諸外国の Handbook に発表されている代表的数値と大差は認められず、良好な値を示している。

尚、溶接部の疲労強度に関しては、耐食アルミニウム合金7種についての結果を本技報に報告したが、さらに鈴木氏および中村氏が上述と同一材料の6mm 焼鈍板について実施した結果によると、余盛のある無欠陥突合せ継手は曲げ疲労強さに関しては母材に対して 80% の継手効率を示し、曲げ疲労破壊はビード止端部にそって進み、且つ余盛部分の形状および寸法によって継手効率が変化する傾向があると報告されている。したがって、溶接についてはこれらの点にも十分な注意を行なった。

4・2・3 Al-Mg 系合金の経年変化について

Al-Mg 合金の加工材は、時間の経過と共に、引張強さ、耐力および伸びが変化する。即ち、引張強さは加工時と殆んど変わらないが、耐力においては数%の減少、伸びにおいては数%の増加が現われると云われている。これらの点について、最近の、Brenner^③の報告を、第2図に示した。

今回主要構造材として使用した、耐食アルミニウム合金7種のマグネシウム含有量は 4.5 %程度であるので、冷間加工のままで 2~3 kg/mm^2 程度の低下を来たすが、熱間加工のままの材料であり、加工終了時の温度が 200°~300°C 前後の関係で、上述の経年変化に伴う耐力の減少率よりは少いことが予想され、実際の設計は焼鈍材の強度を基準にしている関係で問題にならないものと考えられる。



第2図 焼純あるいは溶体化処理後冷間圧延した Al-Mg

合金の室温放置時間と機械的性質の関係

5. 予備試験

5.1 耐食アルミニウム合金7種のMIG溶接に於ける溶加材の選定のための溶接試験

アルミニウム合金製クレーンの主要材である耐食アルミニウム合金7種(A2P7)に適する溶加材の材種を選定するため4種類の溶加材について溶接試験を行なった。

(1) 試験条件

A. 試験用板

耐食アルミニウム合金7種焼純材6×100×500mm板を突合せ溶接する。これらの板(以下母材といふ)は、いずれも次のような表面処理を行なって試験に供した。

表面処理: 10%NaOH洗浄→水洗→20%HNO₃洗浄→水洗→乾燥

母材の機械的性質及び化学成分を第14表および第15表に示す。

第14表 母材の機械的性質:

引張強さ、kg/mm ²	耐力、kg/mm ²	伸び、%	カタサ、Hv(5)
29.3	15.0	22.9	74.0

第15表 母材の化学成分:

化 学 成 分、%								
Al	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti
Bal	0.03	0.16	0.38 ~ 0.39	0.46 ~ 0.48	3.65 ~ 3.67	0.01 ~ 0.04	0.19 ~ 0.23	—

示す。

B. 溶加材

種類および化学成分を第16表に示す。

第16表 溶加材の種類及び化学成分

材質	化 学 成 分、%								
	Al	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti
5052	Bal	0.01	0.09	0.16	0.04	2.40	tr	0.21	tr
5154	Bal	0.02	0.06	0.11	0.01	3.47	tr	0.28	tr
5356	Bal	0.01	0.05	0.10	0.12	5.66	0.02	0.10	0.13
NP%	Bal	0.02	0.14	0.16	0.63	3.89	tr	0.22	tr

寸法: 何れも 2mmφ

表面処理: これらの溶加材は使用する前にあらかじめ次の表面処理を行なった。

10%NaOH 洗浄→水洗→20%HNO₃ 洗浄→水洗→乾燥

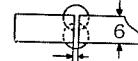
C. 溶接条件

エアコ社製 Model3 溶接機により手溶接、無拘束、下向姿勢で溶接試験板を5枚作成した。アルゴンガス流量はすべて35.c.f.h (16.5ℓ/min) で一定とした。一方アーク電圧は気孔発生の少ない25Vだけとした。其の他の溶接条件を第17表に示した。

第17表 溶接条件

Filler	アーク電圧	溶接電流			溶接速度
5052	25	180	200	220	60~82
5154	〃			〃	55~79
5356	〃			〃	56~87
NP%	〃			〃	50~82

試片の開先



裏側の溶接は裏削りをしてから行なう。

(2) 試験結果

溶接結果を検討するため溶接部のX線検査、顕微鏡組織、化学組織および機械的性質を調査した。その結果を次に示した。

A. X線検査結果

X線による観察結果を第18表に示した。

第18表 X線検査結果

心線の種類	検査結果
5052	プローホールほとんど無し
5154	プローホール多し
5356	プローホール多し
NP%	プローホールが若干あり

B. 顕微鏡組織

溶接部のマクロ及びミクロ組織は写真3～6に示す通りであり、何れの心線の場合も別に問題はなかった。

C. 溶接金属の化学成分

第19表 化学成分

心線の種類	化 学 成 分、%								
	Al	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti
5052	Bal	0.03	0.14	0.32	0.31	1.58	tr	0.02	—
5154	Bal	0.02	0.13	0.24	0.23	3.23	tr	0.23	tr
5356	Bal	0.02	0.12	0.23	0.29	4.18	tr	0.17	0.10
NP5/6	Bal	0.01	0.13	0.26	0.45	3.58	0.02	0.23	tr

第20表 溶接後の引張試験結果

試験片の種類	心線の種類	引張強さ、kg/mm ²	耐力、kg/mm ²	伸び、%	総手効率、%	
					引張強さ	耐力
JIS 5号	5052	24.6	13.0	9.2	83.7	86.8
	5154	24.8	14.0	8.1	84.6	93.3
	5356	26.4	14.5	11.5	90.1	96.8
	NP5/6	29.2	14.4	13.1	99.7	96.0
溶接 1号	5052	20.9	—	—	71.3	—
	5154	21.3	—	—	72.7	—
	5356	21.0	—	—	71.8	—
	NP5/6	23.8	—	—	81.3	—

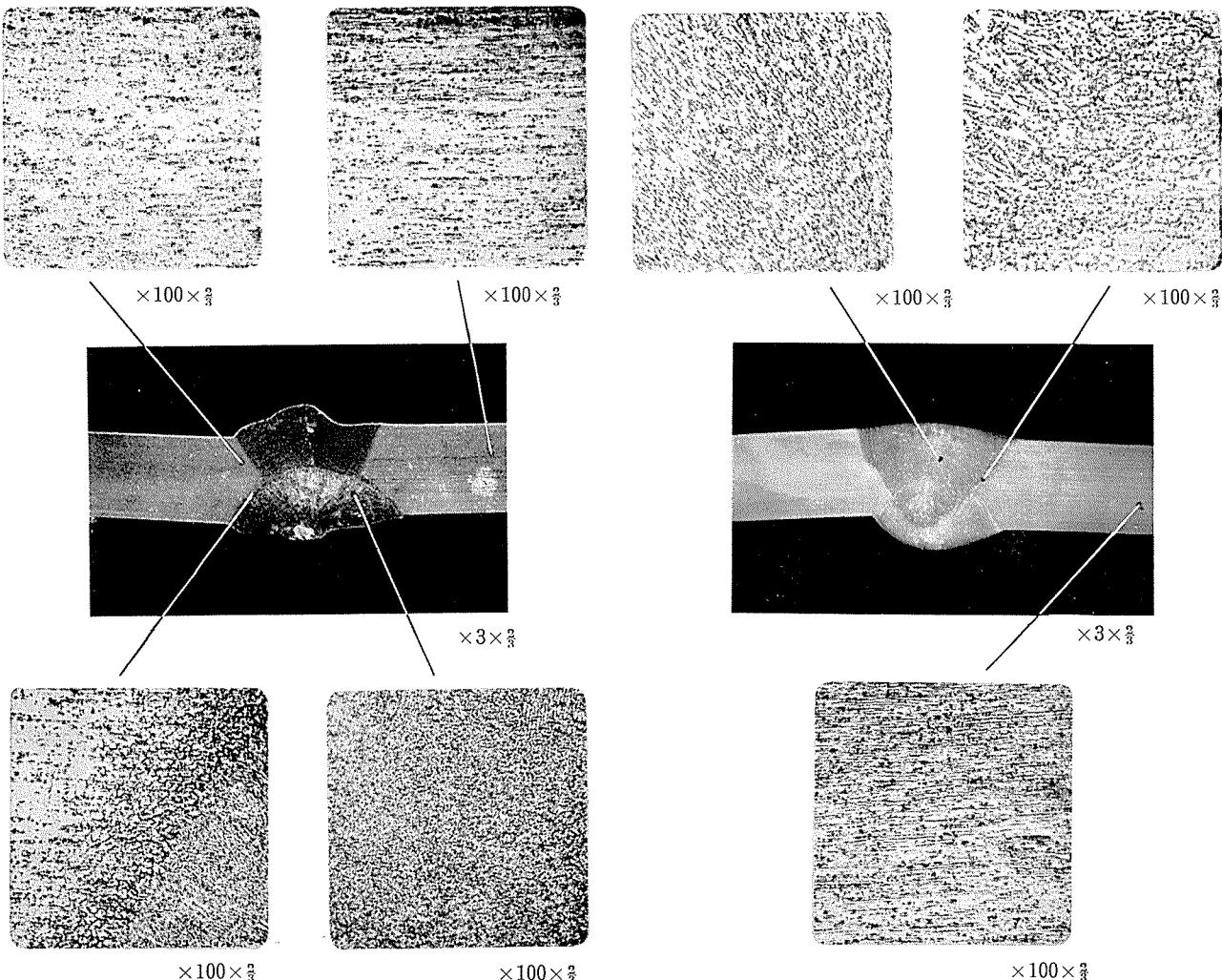


写真3. 母材 NP5/6-Filler 5052 による MIG 溶接部の組織

第21表 溶接後の曲げ試験結果

心線の種類	表 曲 ゲ	裏 曲 ゲ
5052	約 90° で破断	約 90° で破断
5154	約 90° で破断	約 30° で破断
5356	約 70° で破断	約 30° で破断
NP5/6	多くのヒビ割れ	約 100° で破断

溶接部の余盛りを削り、その化学成分を分析した結果は第19表の通りである。すなわち母材と溶着金属のMg量を比較すると添加材に5052を使用した場合は溶着金属中のMg量は母材のそれより低下するが、5154、5356および耐食アルミニウム合金7種線(共材)を使用した場合はマグネシウムの低下は認められず、いずれも母材の規格範囲内にある。

D. 機械試験結果

溶接部の機械的性質について

引張試験結果を第20表に、曲げ試験結果を第21表に示した。尚、曲げ試験は曲げ半径12mm(2t)で、JISに規定された180°曲げ試験を行った。

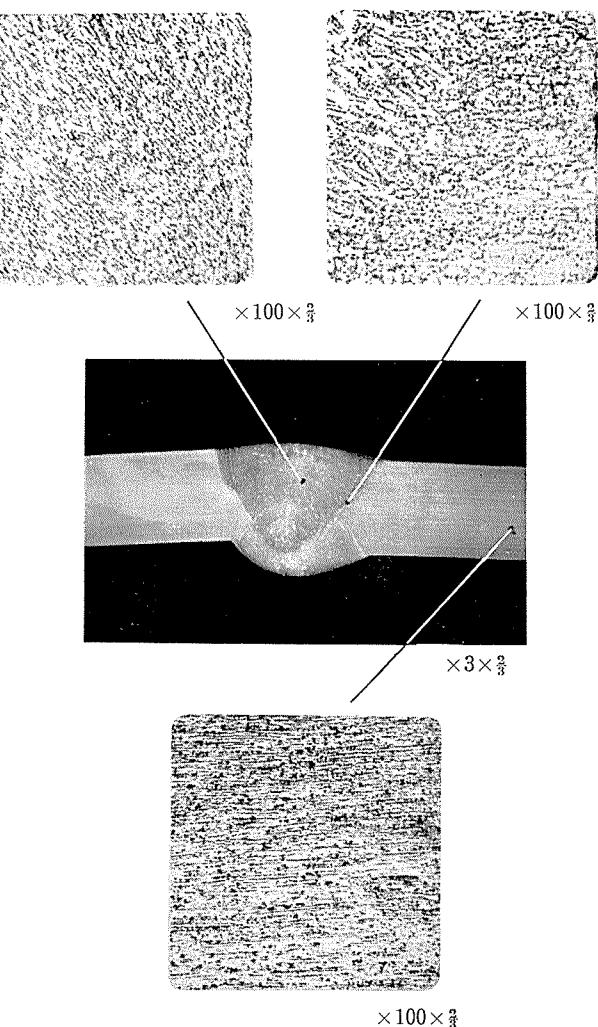


写真4. 母材 NP5/6-Filler 5154 による MIG 溶接部の組織

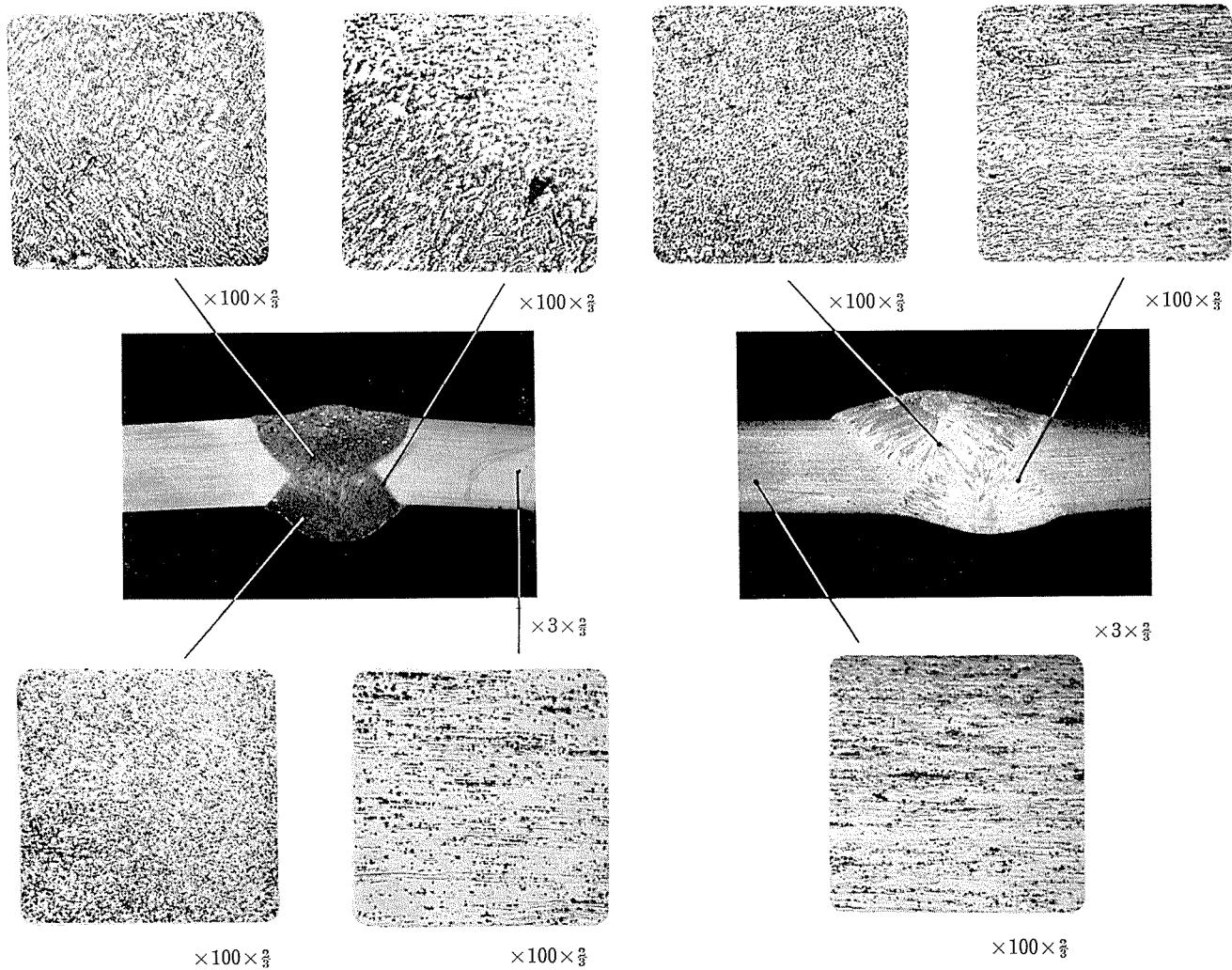


写真 5. 母材 NP5%Filler 5356 による MIG 溶接部の組織

E. 溶接部のカタサの変化状況

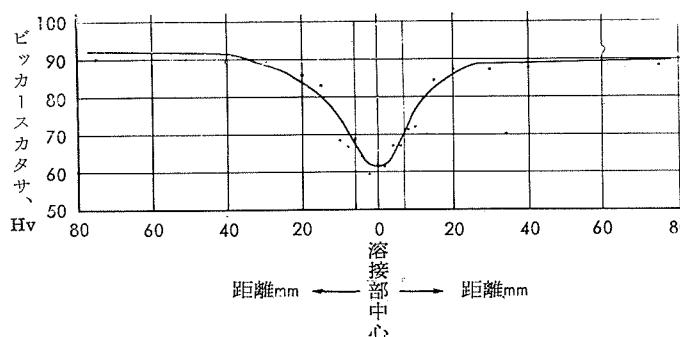
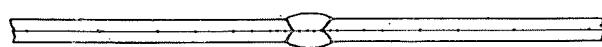
溶接部のカタサの変化をビッカースカタサ計(5kg)で測定した。その結果を第3図に示した。溶接による母材の熱影響は中心から約30mmの範囲におよんでいる。

(3) 試験結果の考察

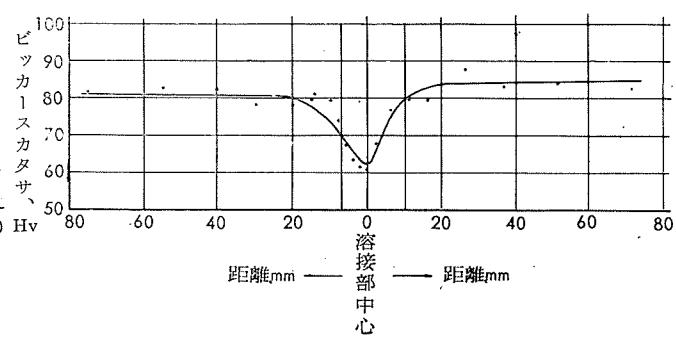
写真 6. 母材 NP5%Filler N5% による MIG 溶接部の組織

A. 気孔について Al-Mg系合金のMIG溶接において気孔発生の因子としては、

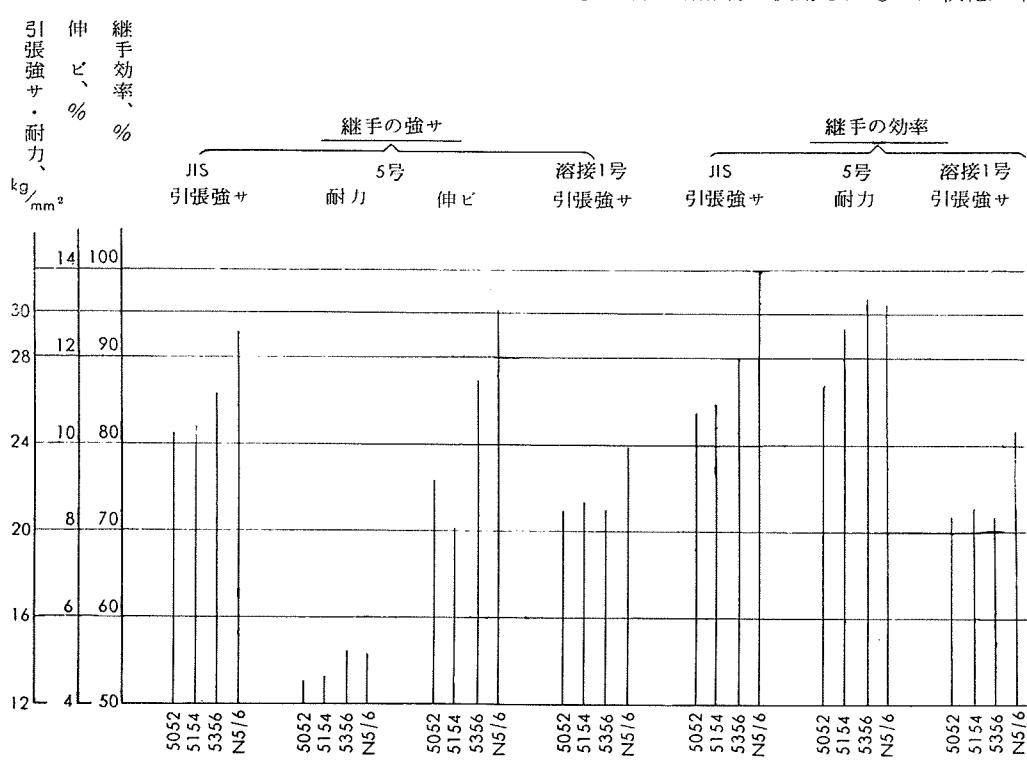
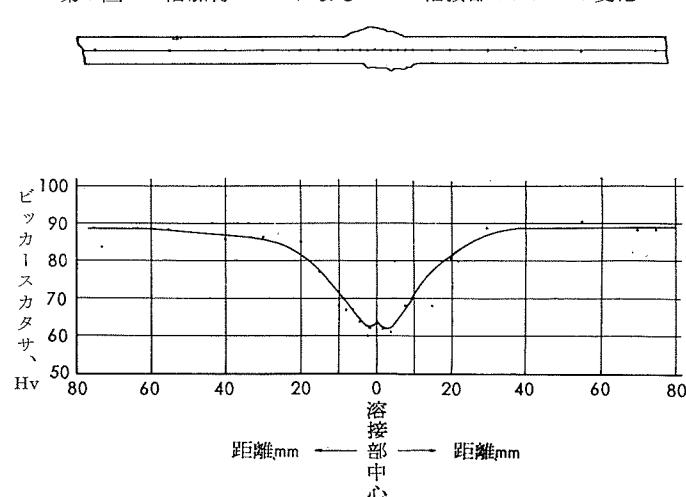
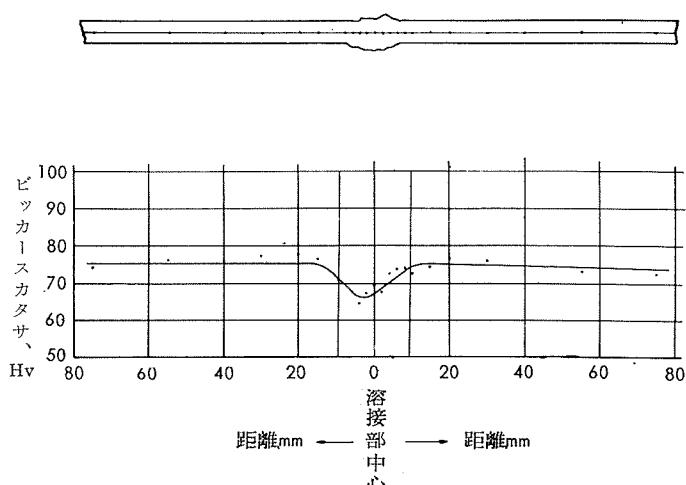
1. 母材心線の表面処理、とくに心線の前処理が不適当。
2. アーク電圧の高過大。
3. 溶接電流の過小および溶接速度の過大。



第3図-a 溶加材 5052 による MIG 溶接部のカタサの分布



第3図-b 溶加材 5154 による溶接部のカタサの変化



第4図 各種溶加材による溶接部の抗張性の変化

4. 合金成分中のマグネシウム含有量。
などが考えられる。

この実験ではアーケ電圧は気孔発生の少ない25Vに一定として溶接電流を大体180、200および220Aとして溶接を行った。X線検査の結果マグネシウム含有量の少ない5052は気孔の発生が最も少なく、5154、5356および耐食アルミニウム合金7種ではやや多くこの3者間の優劣はつけがたかった。

B. ワレについて Al-Mg 系合金の溶接でワレの発生は一般にマグネシウム量の増加に従って少なくなると言われているが、本実験では5052および耐食アルミニウム合金7種の添加材を使用した場合はワレは全く認められないのに5356使用の場合は表側の溶着金属内に少し見うけられ、また5154の場合にも表側の溶着金属内に相当多く見うけられた。

C. 溶接部の機械的性質について 溶接部の引張試験の結果を図示すると第4図のようになる。

すなわち継手の引張強さ、伸びはともに溶加材のマグネシウム量の多いもの程その値が大きくなる傾向を示している。継手効率については余強盛りを残した場合は約 100%となり余強盛りを削った場合は80%強となる。この結果から考えて耐食アルミニウム合金7種の溶接には共材か5356の心線を使用するのが良いと思われる。

曲げ試験の結果は、前述の曲げ半径 2t ではあまり良い結果は得られなかったが、この中では共材を溶加材に使用したもののが最も良好と思われた。カタサの変化の測定では大体溶接部中心から 15~20mm の範囲が軟化を示している。共材に溶加材に使用したものは軟化が中心から 30mm

位までおよんでいるが、この原因は共金を溶加材に使用したための影響ではなく何らかの溶接条件の差によるものと思われる。

D. 溶着金属の化学組成 銅、珪素、鉄およびマンガンが母材の影響をうけて溶加材の成分より増加しマグネシウムがやや減少しているが、特に溶加材が5052の場合の減少量が多い。他の溶加材の場合はマグネシウム含有量が母材の規格内であるため上述の問題はない。しかし溶加材が5154の場合はマンガンが少し不足している。

(4) 溶接条件の決定

以上の検討結果より母材A2P7の溶接には溶加材は共金を使用することが、総合的な判定ではすぐれていることがわかったので実際に使用する材料と同じ板を使用し、板厚の組合せ溶接条件も実作業と同じ条件で曲げ試験したところ、好結果が得られたので溶接条件は第22表の如く決定した。

第22表 本体の溶接条件

継手の種類	開先	心縫の種類	アーク電圧(V)	溶接電流(A)	ガス流量(l/min)	備考
5mm突合せ		N5/6,2.4φ	26	210	30	
9mm突合せ		N5/6,2.4φ	27	250	30	片面グラインダ仕上
隅肉						

註) 表面処理は総てワイヤーブラッシュ研削後シンナー拭きして仕上げた。

5・2 モデルガーダーによる溶接試験ならびに応力測定及び破壊試験

アルミニウム製クレーンの設計製作に先立ち、アルミニウム溶接による製作加工の可否の検討および技術の習得ならびにボックスガーダー構造の応力分布を検討するため、アルミニウム合金製ガーダーの実尺部分模型を製作し、応力測定および破壊試験を行った。

(1) 試験方法

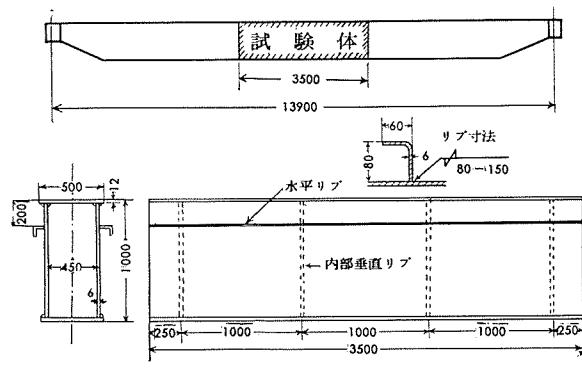
A. モデルガーダー

材質：耐食アルミニウム合金7種 (JIS-A2P7)

製作：MIG溶接

溶接棒 耐食アルミニウム合金7種線2.4mmφ

形状：第5図写真7の如く実物構造の一部分



第5図 モデルガーダーの概要寸法

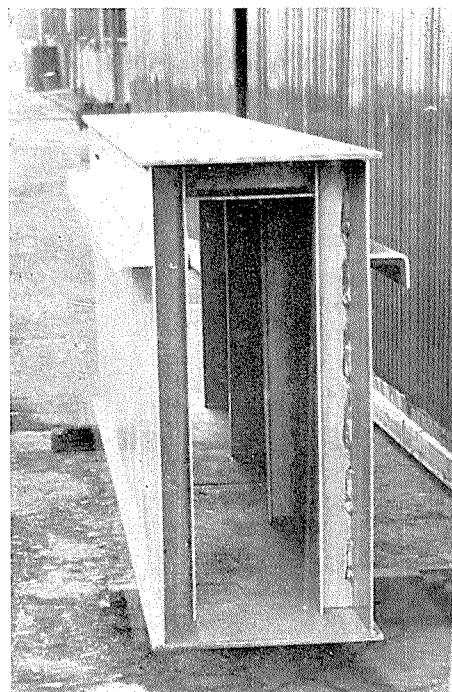


写真7. モデルガーダーの外観

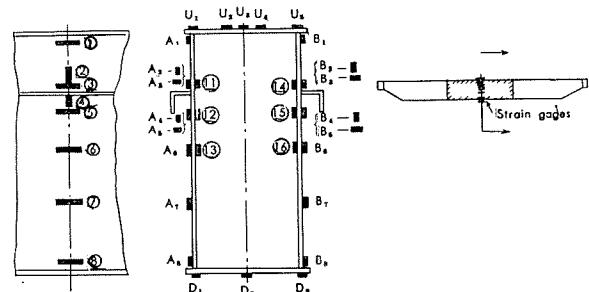
B. 応力と荷重の測定方法

ヒズミ計と荷重計を使用し、応力および破壊荷重を測定した。

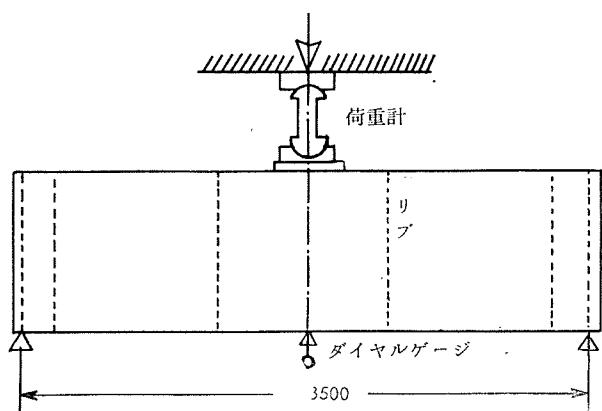
ヒズミ計貼付場所は第6図に示した。

ヒズミ計と荷重を使用し、応力と破壊荷重を測定した。

ヒズミ計貼付場所は下図通りである。



第6図 モデルガーダーの荷重試験の際の荷重およびヒズミ測定の要領



第7図 第1回試験における負荷寸法(中央に集中荷重が働くようにした)

C. 試験方法

a. 第1回試験

(a) 負荷方法

第7図および写真8の如くモデルガーダーの中央に集中荷重が働くようにプレス(1000t)にて加圧した。

(b) 負荷経過

第23表に負荷経過を示した。

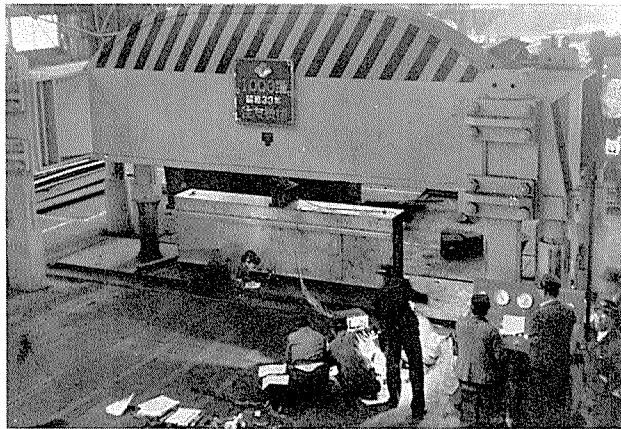
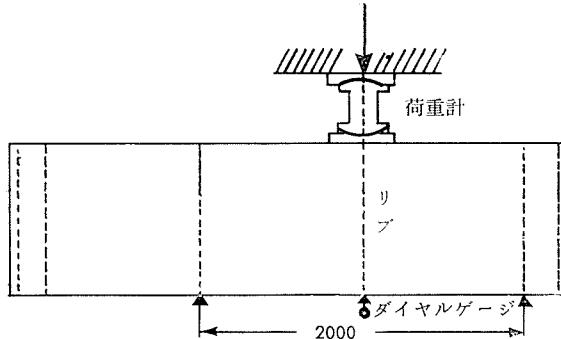


写真8. 同上ガーダーの中央部集中荷重による荷重試験の状況

第23表 (b) 第1回試験の際の負荷経過

負荷順位	荷重の大キサ、t	考備
1	0 → 18 → 0	
2	0 → 18 → 0	
3	0 → 36	36tに至り急激に破壊す



第8図 第2回試験における負荷方法(長さの約1/3の位置に集中荷重が働くようにした)

b. 第2回試験

(a) 負荷方法

第8図の如くモデルガーダーの長さの約1/3の位置に集中荷重が働くようにプレスにて加圧した。

第25表 第1回負荷試験結果

第1回試験		第1回			第2回		
貼付位置	回数	1 8 t		残留応力	1 8 t		残留応力
		ヒズミ×10 ⁻⁶	応力×kg/cm ²		ヒズミ×10 ⁻⁶	応力×kg/cm ²	
A - 1	520 ~ 530	364 ~ 371			490 ~ 500	343 ~ 350	
A - 2	950 ~ 980	665 ~ 688			900 ~ 950	630 ~ 665	
A - 3	47 ~ 48	33 ~ 33.5			5 ~ 6	3.5 ~ 4.0	
A - 4	370 ~ 380	260 ~ 266			400	280	
A - 5	450 ~ 440	315 ~ 310			105 ~ 115	74 ~ 82	
A - 6	310 ~ 320	218 ~ 224			300 ~ 370	210 ~ 260	
A - 7	280 ~ 290	196 ~ 203			250 ~ 280	175 ~ 182	
A - 8	500 ~ 510	350 ~ 357			300 ~ 320	210 ~ 225	
B - 1	520 ~ 530	365 ~ 371			470	330	
B - 2	950 ~ 980	665 ~ 688			1000 ~ 1050	700 ~ 735	
B - 3	8 ~ 9	5.5 ~ 6.5			50 ~ 60	35 ~ 42	
B - 4	260 ~ 270	182 ~ 190			330 ~ 350	231 ~ 245	
B - 5	135 ~ 140	95 ~ 98			100 ~ 120	70 ~ 84	
B - 6	320 ~ 330	225 ~ 230			320 ~ 340	225 ~ 238	
B - 7	300	210 ~			290 ~ 320	203 ~ 224	
B - 8	590 ~ 600	415 ~ 420			300 ~ 350	210 ~ 245	
1 1	8 5	60 ~			20	14	
1 2	7 5	53			55 ~ 60	39 ~ 42	
1 3	8 0	56			53 ~ 54	37 ~ 38	
1 4	3 7	26			10 ~ 13	7 ~ 9	
1 5	4 0	28			28 ~ 30	20 ~ 21	
1 6	9 0	63			10 ~ 11	7 ~ 8	
U - 1	240 ~ 260	168 ~ 183			220 ~ 250	154 ~ 175	
U - 2	380	266			400 ~ 420	280 ~ 294	
U - 3	400 ~ 430	280 ~ 300			450 ~ 470	315 ~ 330	
U - 4	400 ~ 440	280 ~ 310			440 ~ 460	308 ~ 323	
U - 5	300 ~ 310	210 ~ 217			250 ~ 260	175 ~ 182	
D - 1	9 5 0	665			440 ~ 450	308 ~ 315	
D - 2	3 2 0	214			320	225	
D - 3	310 ~ 320	217 ~ 214			400 ~ 420	280 ~ 295	
ダツミ量	215 ~ 228	(1/100mm)			520 × 10 ⁻⁶	70 × 10 ⁻⁶	
					364kg/cm ²	60 × 10 ⁻⁶	
						420kg/cm ²	
							49kg/cm ²
					212 ~ 220	(1/100mm)	

(b) 負荷経過

第24表に負荷経過を示した。

第24表 (b) 第2回試験の際の負荷経過

負荷順位	荷重の大キサ、t	備考
1	0 → 20 → 40 → 0	
2	0 → 21 → 40 → 55 → 0	
3	0 → 20 → 40 → 58 → 0	
4	0 → 23 → 42 → 60 → 80 → 83	83t で破壊す

(2) 試験結果

A. 第1回試験(スパン3500mm中央集中荷重の場合)

- a. 応力とタフミ量の測定結果は第25表に示した。
- b. 荷重36tonにてフランジ上面とウェブ面との接合部が破壊した。
- c. 破壊原因是上面フランジ直下のウェブ面の応力集中による座屈であった。
- d. 尚この場合フランジとウェブとの隅肉溶接ははずれなかった。写真9にその状況を示す。

B. 第2回試験(スパン2000mm中央集中荷重の場合)

- a. 応力とタフミ量の測定結果は第26表に示した。
- b. 荷重83tonにてフランジ上面とウェブ面との接合部が破壊した。
- c. この破壊現象は第1回試験の時と同様である。即ち破壊原因是上面フランジ直下のウェブ面の応力集中による座屈である。又この場合にもフランジとウェブとの隅肉溶接部分には欠陥は発生しなかった。

(3) 試験結果の考察

試験に使用したモデルガーダーは、ボックスガーダー構造のアルミニウム合金製ガーダーの溶接による製作加工の可否を検討し、技術を習得する目的で製作したものであり、荷重試験のために製作されたものでなかったためスパンの

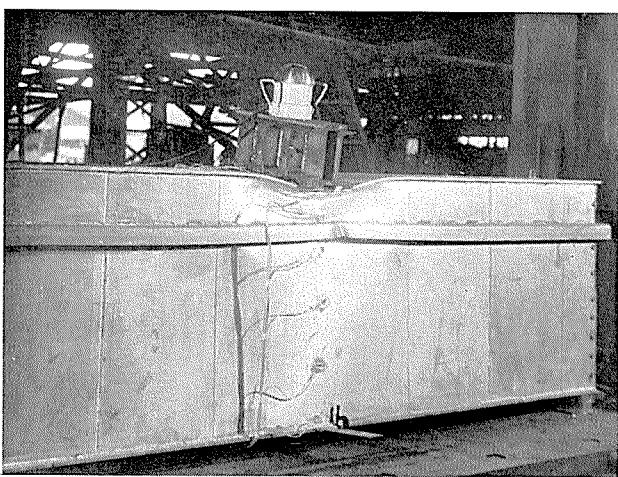


写真9. 同上モデルガーダーの試験後の外観

長さが短かく、そのため曲げ破壊荷重に達する前に座屈によって破壊してしまい、クレーンガーダーの破壊試験としては十分成功したとはいえないが下記事項が確認された。

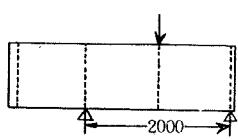
A. 先ずボックスガーダーにてアルミニウム合金製クレーン構造が製作できるであろうことが、本試験体の製作途中にて確認を得た。

B. 破壊はウェブの局部座屈であったが、この破壊現象の観察の間に溶接部の脆性破壊は行われていないことが見受けられた。

C. 破壊原因となった局部応力集中は厳に注意すべきである。特にアルミニウム合金材は鉄材に比して弾性係数Eの値が1/3に減少する。このことは座屈現象に大きく影響するわけである。実際の起重機の構造の場合には横行レール等により車輪荷重による集中荷重はこの試験の時より緩和される。しかし鉄製の起重機に比してアルミニ

第26表 第2回負荷試験結果

第2回試験								
荷重計ヨミ	荷重	タフミ量	D - 1		D - 2		D - 3	
	t	1/100 mm	ヒズミ	応力	ヒズミ	応力	ヒズミ	応力
1 2 4 (1) 2 4 0 0	2 0 4 0 0	2 3 0 3 0 9 5 0	3 5 1 0 5	2 5 7 4	1 4 8 2 1 0	1 0 4 1 4 7	2 7 5 3 4 0	1 9 3 2 3 8
1 3 0 (2) 2 4 0 3 3 0 0	2 1 4 0 5 5 0	2 2 0 3 0 0 3 5 4 2 2	95 ~ 105 190 ~ 195 2 5 5	67 ~ 74 133 ~ 137 1 7 9	160 ~ 175 2 4 0 2 9 0	112 ~ 123 1 6 8 2 0 3	230 ~ 270 3 4 0 3 7 0	161 ~ 189 2 3 8 2 6 0
1 2 0 (3) 2 4 0 3 4 5 0	2 0 4 0 5 8 0	2 1 0 2 8 0 3 4 0 3	105 ~ 115 190 ~ 200 2 6 5	74 ~ 80 133 ~ 140 1 8 6	165 ~ 170 2 3 0 ~ 2 4 0 2 9 0	116 ~ 120 1 6 1 ~ 1 6 8 2 0 3	240 ~ 255 3 1 0 ~ 3 2 0 3 5 0	168 ~ 186 2 1 7 ~ 2 2 5 2 4 5
1 4 0 2 5 0 (4) 3 6 0 4 8 0 5 0 0	2 3 4 2 6 0 8 0 8 3	2 2 0 2 9 0 3 3 8 4 1 2 8 3	110 ~ 130 200 ~ 220 2 7 0 3 2 5	77 ~ 91 140 ~ 154 1 8 9 2 2 8	170 ~ 180 2 3 0 ~ 2 5 0 2 8 0 3 4 0	120 ~ 126 1 6 1 ~ 1 7 5 1 9 6 2 3 8	240 ~ 250 3 0 0 ~ 3 2 0 3 4 0 3 5 5	168 ~ 175 2 1 0 ~ 2 2 5 2 3 8 2 4 8



ウム合金製の起重機構造は応力集中を特に注意して回避するような構造とすべきである。その他は大体鉄製起重機構造の時の設計と大差ないと考される。

6. 設 計

一般に、アルミニウム合金製天井走行起重機の設計は、鋼製のものと別に根本的な差異はない。ただ2、3の点について注意すべき事項を以下に述べる。

6.1 強 度

本起重機に使用のアルミニウム合金材の引張強さは27 kg/mm²で耐力 $\sigma_{0.2}$ は 13 kg/mm² である。設計応力としては、この耐力 $\sigma_{0.2}$ に対し安全率%を2.5として $\sigma_{0.2} / \% = 13 / 2.5 = 5.2$ 即ち 5.2 kg/mm² を採用した。この設計応力は疲労限 5×10^{-8} 回に対しても十分安全な値である。又この種の天井クレーンにとって、最大応力の回数が 5×10^{-8} 回あるということは殆んど無限時間と考えても良い値である。尚、この値は設計応力としてはいささか安全に過ぎるきらいがあるとは考えたが、本邦最初のアルミニウム合金製起重機でもあるのでこの値に決めた。

6.2 タワミ量

天井走行起重機のガーダーのタワミ量は、JISによってスパンの1/1200以内と決められている。勿論この規定は、鋼製、アルミニウム合金製であることを問わず材料に関係なく決められたものである。一般にガーダーのタワミ量 δ は大略以下の如き函数となる。

$$\delta = f \left(\frac{\sigma L^2}{EH} \right)$$

σ : 最大曲げ応力 L : スパン

H : ガーダー桁の深さ E : 弹性係数

アルミニウム合金材の E は約 7000 kg/mm² で鋼の約 $1/3$ と低い。又、設計応力は前述の如く 5.2 kg/mm² で鋼の約 $1/2.5$ となる。従って鋼構造の場合と同様の桁深サ H を採用すると、タワミ量 δ が幾分大きくなる傾向がある。しかしこれは桁深サ H を幾分深めにすることに依って、タワミ量 δ を規定範囲内に収めることができる。

6.3 ガーダー構造の剛性、振動

構造物の剛性は、その材料の弾性係数 E および G に比例する。アルミニウム合金材の弾性係数は、鋼に比して低いので、剛性も比例して低くなる。これを防ぐためには、曲げ慣性能率および捩り慣性能率を増大するような構造を採用して剛性を維持して起重機の運動および運転性能を良好とすべきである。又、ガーダーの振動に関しては、固有振動数は E の平方根に比例し、自重の平方根に逆比例する。したがってアルミニウム合金構造でも自重を $1/3$ 程度にまでは軽減出来ないので、鋼製と同じ構造では、鋼製のものに比して固有振動数が幾分減少する傾向にある。ガーダーの固有振動数がある値以下に減少するとトロリー横行時およびガーター走行時に振動現象を起すことがある。しかしこれもガーダー構造の慣性能率を多少増大させることにより、十分防止することができる。

6・4 走 行 電 動 機

アルミニウム合金構造による重量軽減によって、走行用の電動機の容量は、低減することが考慮される。本起重機では、鋼製の場合には 10 kw の電動機を必要とするが重量が軽減せられたため 7.5 kw に低減した。尚、巻上および横行用の電動機の容量は、吊上荷重に依って決るので、起重機構造部にアルミニウム合金を使用しても電気容量は変化しない。

6・5 電解腐食について

構造部はアルミニウム合金で製作はするが、機械部品は鋼製でなければならないものがある。その場合、アルミニウム合金面と鋼面とが接触する場所が出てくる。したがって、その接触面に電解質が存在すれば電解腐食を起すことが考えられる。本設計では、接触面にジンククロメート・プライマーを塗布する方法と鉄の接触面に亜鉛メッキをほどこす方法あるいは、ステンレス製のものを使用する方法とを混用して電解腐食を防ぐことにした。

6・6 重 量 について

アルミニウム合金製にすることの最大の目的は、クレーン重量を軽減することである。本クレーンの重量軽減率を第27表に示した。ただし起重機の重量軽減の度合はその起

第 27 表 今回製作したアルミニウム合金製クレーン
と同じ能力の鋼製クレーンとの重量比較

		鋼 製 の も の	アルミニウム合金製
ク レ ー ン 全 体 重 量 比		100	69
内 訳 鋼 部 分	アルミニウム合金採用部分	42	40.5
		58	28.5
アル ミ ニ ウ ム 合 金 内 部 採 用 部 分	ガ ー ダ ー サ ド ル トロリー・フレーム ギヤー・ケース 運 転 室 歩道、手スリ、梯子 カ バ ー 類 電 線 用 配 管 材	28.2 9.2 3.0 3.8 4.0 1.7 4.0 4.1	15.2 3.8 1.6 2.3 1.7 0.7 0.9 2.3

注：以上の数値は鋼製クレーン全体重量を100として比較を行つたものである。

重機の仕様により、場合々々で変化する。それは荷重に比してガーダーの自重の大きな、即ちスパンの長い起重機の場合程重量軽減の度合は大きい。即ち起重機の吊上荷重が決定すれば、トロリー自重機械類は決定する。そしてスパンの長さが変化してもトロリー自重機械類の重量は変化しない。

しかし、スパンの長さが変わればガーダー自重は直に変化して全体に対する影響は大きくなる。

7. 加 工

加工法としては起重機に対して特別な方法は殆んど用いず構造物に対する従来の方法に従つていった。

7・1 工 程

本起重機の場合には各ブロックの製作工程は大体次の通りである。（複雑な構造物はブロック毎に分けて製作するのが通例であるが）

①ケガキ→②材料寸法切→③ヒズミ取→④開先取→⑤折曲ゲ→⑥溶接→⑦ヒズミ取←⑧溶接組立→⑨芯出→⑩切削加工→⑪総組立

各工程について加工法および使用工具を説明すると以下の通りである。ただし()内の記号は工具の記号。

(1) ケガキ

ケガキ線を明確にするため予めインクを塗って切断線を印す。切断を行わない基準線等はアルミニウムの表面にキズをつけないために鉛筆を用いた。(A1. A2. A3. B1. B2. B5. B6. E1. E5) 写真10はその状況を示す。

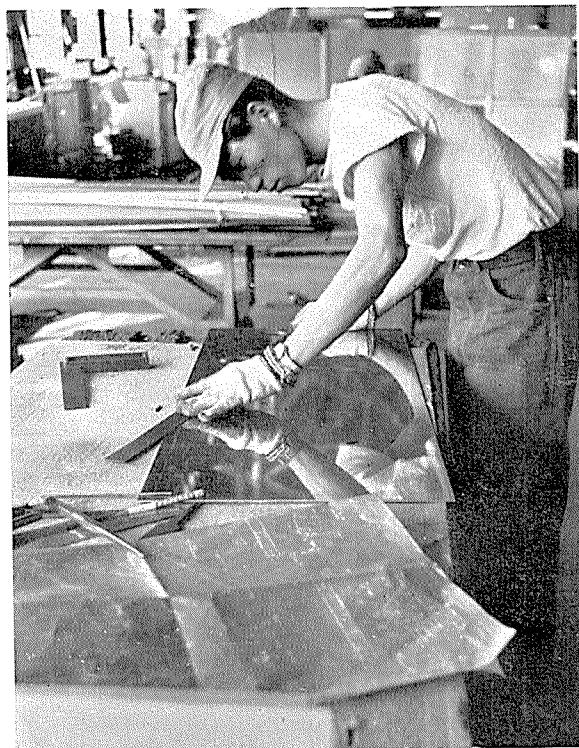


写真 10. ギヤーカバーの原図引き

(2) 材料寸法切

直線切断はシアーにて、曲線部は大きいRにはスキルソーを、小さいRおよび異形切断にはジグソーを用いた。写真11はスキルソーによる切断の状況を示す。ジグソーおよ

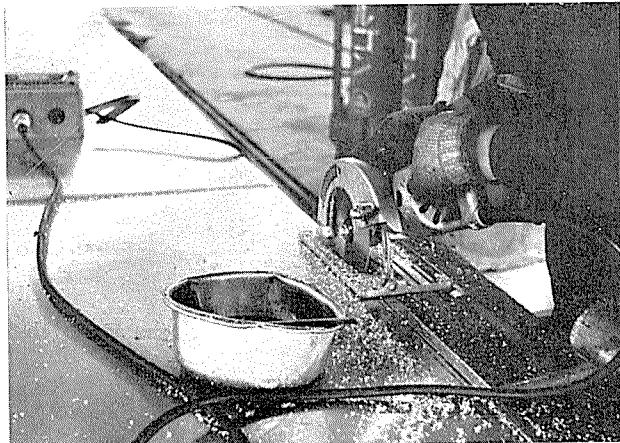


写真 11. スキルソーによるウェブプレートの寸法切

びスキルソー共に本来木工用のため多少オーバーロードになり易い。今後はアルゴンアーク切断法を用いるべきである。(D1. C1. C9)

(3) ヒズミ取

シアーによる切断の場合、小巾で厚板の材料はねじれの発生がありヒズミ取を行わねばならない。特にトロリーフレームの各材料に対して必要であった。(A8. A9. E6)

(4) 開先取

スキルソー、ニューマチックチッピングハンマーおよびアルゴンアーク切断等が用いられるが、ここではチッピングハンマーが手軽で能率も良いために使用した。完了後はステンレス製のワイヤーブラシをかけて溶接部の清浄化を計った。(A10. C2)

(5) 折曲ゲ

折曲ゲの必要な材料はブレーキプレスによって行った。

(D8) 写真12にその状況を示す。

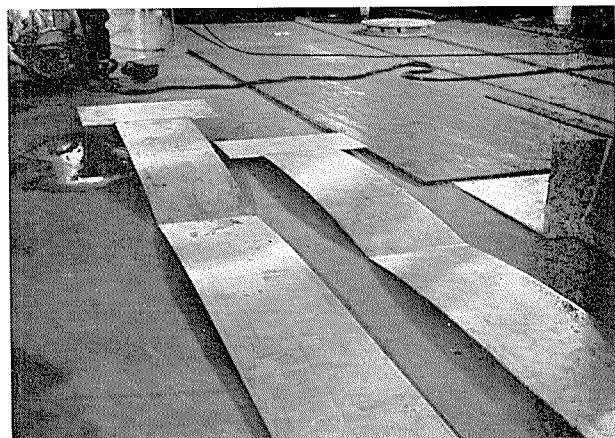


写真 12. ガーダー下部フランジの曲げ状態

(6) 溶接

MIG溶接機とTIG溶接機とを使用した。大体5t以上は前者を5t以下は後者を用いた。この工程⑥に於ける溶接は製品各ブロックの組立て溶接に際しては写真13に示す様に十分な拘束を行って総組立に於けるヒズミの発生を極力少なくした。ギヤカバーはスポット溶接機を併用した。(D2. D3. D7. D9. A5. A6)

(7) ヒズミ取

工程⑥に於て拘束を外すとやはり少しあはヒズミが残るため十分ヒズミを取る必要がある。(A8. A9. D7. E6) 写真14はその状況を示す。

(8) 溶接組立

完成した各ブロックの組立ては、溶接前にもう一度寸法の測定をして余分な所を切り落した後定盤上に適当な治具を用いて拘束し、仮付状態にてヒズミを計測した後、ヒズミ取を行い本溶接をした。(A4. A8. A9. A16. B1~B8. C1. C2. C9. D2. D3. D7. E6) 写真15に溶接組立の状況を示す。

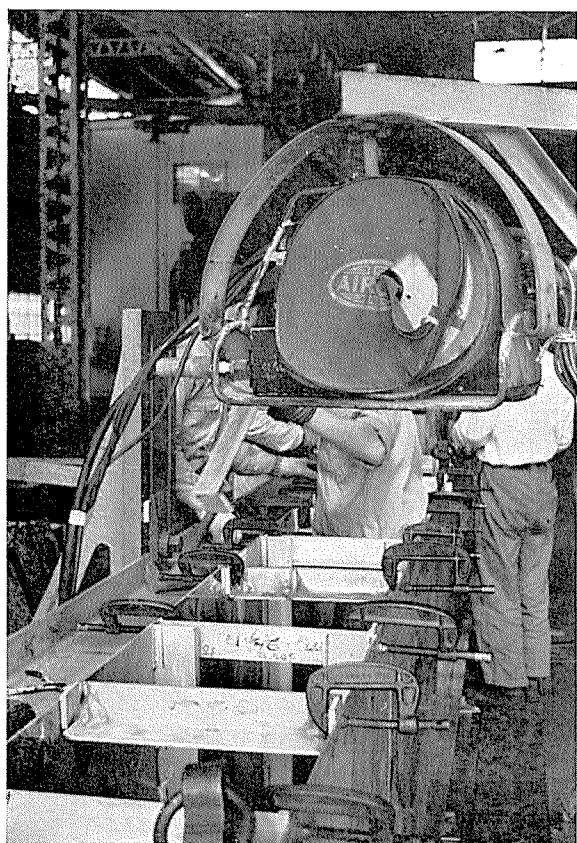


写真 13. 溶接前の拘束状況

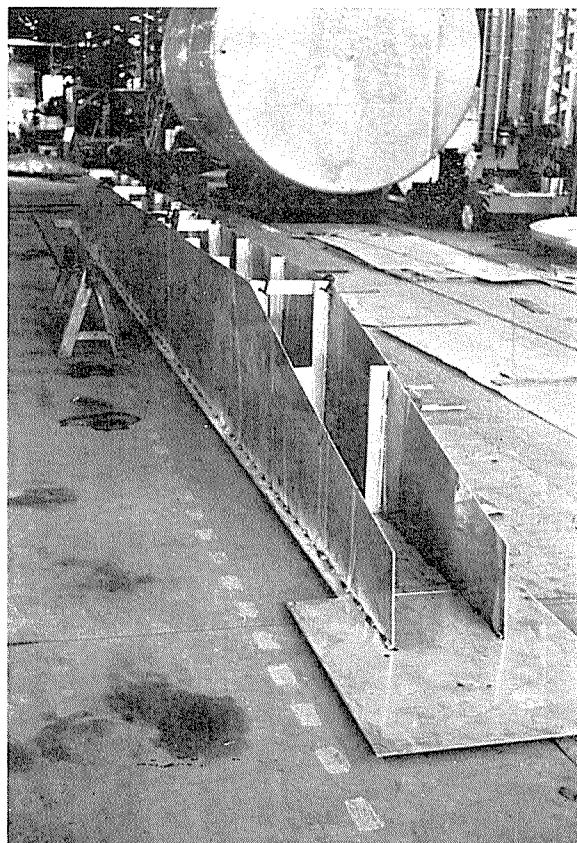


写真 15. ガーダー本体仮溶接状態

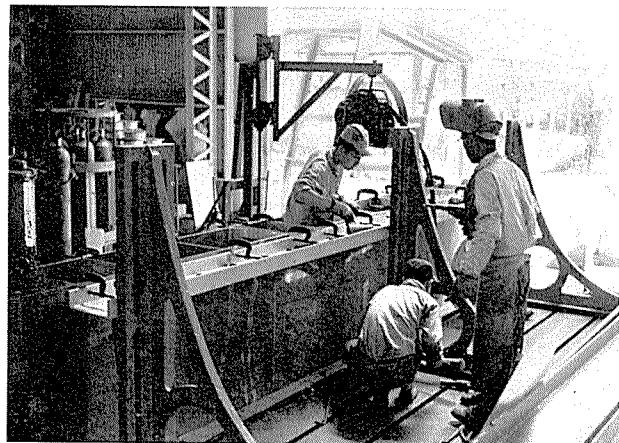


写真 14. 溶接ヒズミの修正

(9) 芯出

組立の完了した製品の芯出を行い不良個所は肉盛あるいは研削等で手直しをして加工場所をけがいた。(A1~4.B1~9.C2~4.D2.D3.D7.E1 E5.E7) 写真16はトロリーフレームの芯出し状況を示す。

(10) 切削加工

工程⑨におけるケガキに従って各々の加工を行った。

(A4.C2~9)

(11) 総組立

鉄部品等の取付はボルトナットであるが原則としてアルミニウム合金材料との接触部は前述のごとくジンクロメー

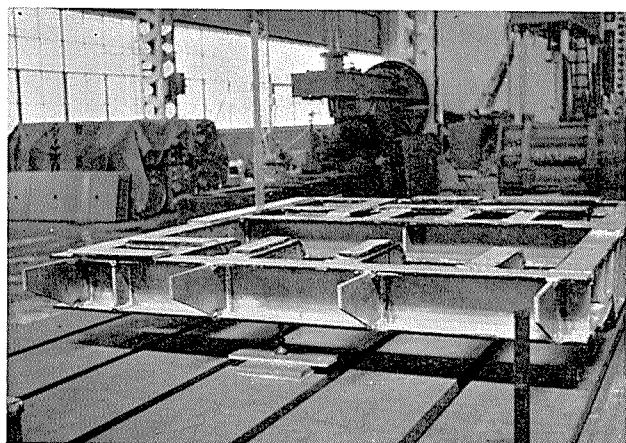


写真 16. トロリーフレーム芯出し及び計測

トプライマーに浸した帆布をはさむことにより電解を防いだ。アルミニウム合金材料をアルミニウム合金でボルト締めする場合には必ずワッシャーが必要で、アルミワッシャー又はジンクロ帆布又はネオプレンワッシャーを鉄ワッシャーと共に用いた。(A3.A5~7.E1~E3)

7・2 使用工具

第28表に使用した工具を総括して示した。

7・3 溶接機並に溶加材

溶加材の選定については 5・1 項に示した通りである。MIG 溶接機は熱影響範囲が少ないためヒズミの発生の恐れのある所には有利であるが多少プローホールが多いのが

第28表 使用工具名称

番号	名 称	番号	名 称
A	手 工 具	D	機 械 装 置
1 ケガキ針	4 ニューマチツクアングルグラインダー	4 瓜生製 USG-4D	
2 ポンチ	5 クーナードリル	5 昭和起重機より借受	
3 ハンマー	6 高周波ドリル	6 日立製	
4 ヤスリ	7 電気ドリル(3/8)	7 日立製 LU3/8型	
5 モンキーバー	8 ク (1/2)	8 日立製 DU1/2型	
6 スパンナ	9 ジグソー	9 GE/UHS33/1	
7 ベンチ			
8 拝子			
9 拝木			
10 ステンレス製ワイヤーブラシ			
B	測 定 工 具		
1 1m スティールスケール	1 シアーアー		
2 2m ク	2 MIG溶接機		
3 20m 卷尺	3 TIG		
4 10m ク	4 プレーナー		
5 1m 折尺	5 ポール盤		
6 曲尺	6 施盤		
7 ノギス	7 定盤(4m×6m)		
8 水準器	8 ブレーキプレス		
9 トランシット	9 スボット溶接機		
C	動 力 工 具	E	そ の 他
1 スキルソ (ポータブル丸鋸) 米国スキル社77型	1 ケガキインク		
2 ニューマチツクハンマー 北川製 C-O型	2 帆布		
3 クグラインダー KG-2型	3 ジンクロメイトプライマー		
	4 チヨーク		
	5 鉛筆		
	6 酸素アセチレン炎		
	7 ジヤツキ		

欠点である。起重機の製作に TIG 溶接を用いた所は次の通りである。

1. 運転室
2. 梯子
3. 歩廊、手摺

何れも薄物であってこれを MIG 溶接で行うことは細径のワイヤーが使用し得ないため不可能である。現在使用中のエアルコモデル21型は溶加材を送り出す機構のため剛性の少ない細い線は使用し得ない。TIG 溶接はスパッターは少なくビードは美しく出来るが電流密度を高くするとトーチが非常に大型になり、また溶接速度も低いので 5t 以上の厚板には不適であった。アルゴンガスは純度 99.9 以上のものを使用している。MIG の電源はエアルコ社製の 500A 定電圧特性のセレン整流式 D.C. であり TIG 用の電源は MCR-W 型 500A の三菱電気製のもので高周波併用の AC である。

7・4 トロリーの加工

トロリーは第9図および写真17の如く工程⑦までは 5つ

第9図 トロリーの加工要領

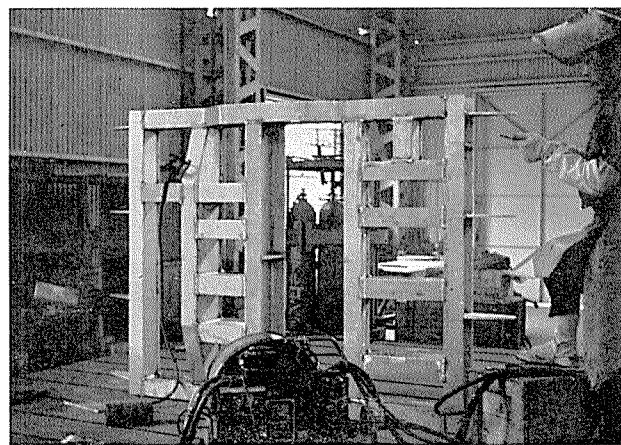
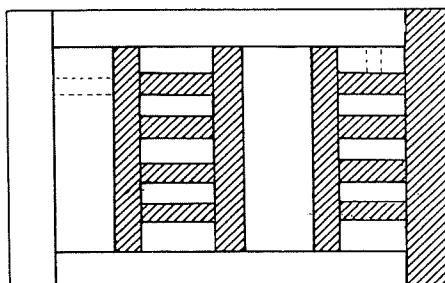


写真 17. トロリーフレームの溶接状況

のプロックで製作その後は工程⑦以上の通りである。写真 17~18 はトロリー溶接の 1 例である。

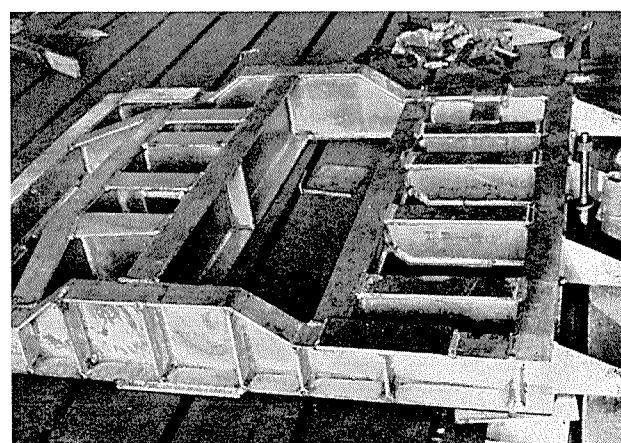


写真 18. トロリーフレーム組立完成

7・5 ガーダーの加工

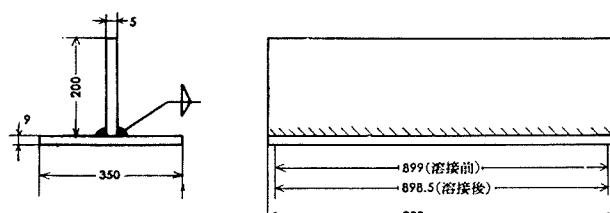
(1) 溶接収縮量について

鉄に比してアルミニウムは数倍の溶接収縮量があるため今迄あまり問題にならなかった溶接収縮ヒズミについてこの様な長尺物でしかも精度を要するものには特別な注意が必要であったのでウェブプレートに補剛材を溶接するにあたってその位置の正確さを期すため次に示す実験を行ってみた。

A. 9t フランジに 5t ウェブを溶接した際のガーダー長サ
方向の縮み代

第10図 溶接の際の収縮量測定の試験用

(材料は耐食アルミニウム合金 7種)



第10図のテストピースを用いて写真19に示すように 9t

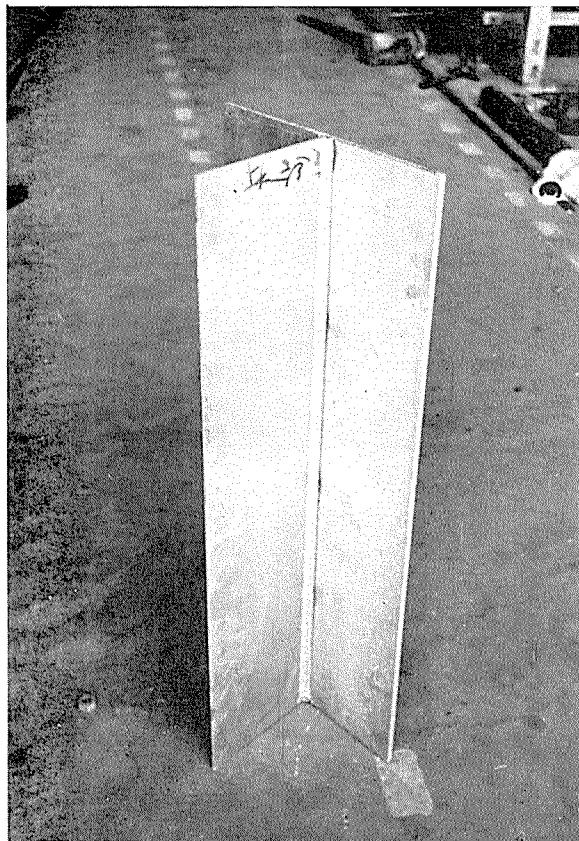
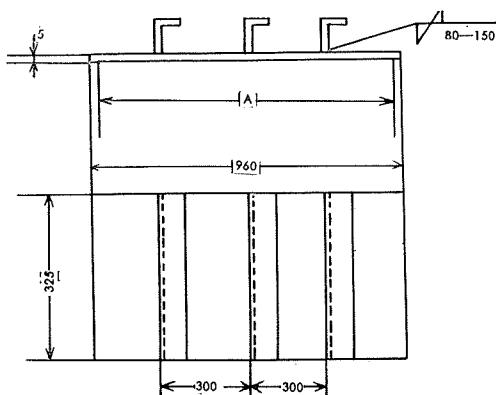


写真 19. 9 $\frac{7}{8}$ t フランジに 5 $\frac{7}{8}$ t ウエーブを溶接したときの一例

フランジに 5t ウェーブを溶接した際のガーダーの長サ方向の縮み代を測定した。その結果は図示の如く 0.5/900 であった。

B. ウエーブプレートに型材 (#1287) を溶接した時の縮み代
第11図のテストピースを用いてウエーブプレートに補強材

第11図 溶接の際の収縮量測定の試験片その 2
(材料は耐食アルミニウム合金 7種)



(#1287 押出型材) を溶接した際のガーダーの長サ方向の縮み代を測定した。写真20はウエーブプレートに型材を溶接した状態を示す。

測定結果は第29表の如く補強 1 本当り 0.3mm 縮む。故に補強のピッチ割りは $900 + 0.3 + 0.5 = 900.8 \rightarrow 901$ mm とし

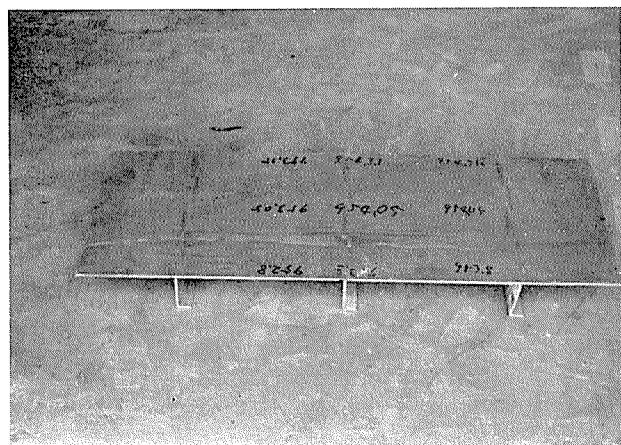


写真 20. ウエーブプレートに形材を溶接したときの状況

第29表 第11図に示した試験片による溶接後の縮み代測定結果

	溶接前	溶接後	1 本当りの縮み代
端 部	954.35	953.35	約 0.3
中 央 部	954.05	953.05	約 0.3
端 部	953.8	952.8	約 0.3

て溶接する。故にガーダーの総収縮量は大体 $1\text{mm} \times 14 = 14\text{mm}$ である。

こうして全長は 20% 程度長めにしてウェーブの両端の斜めの部分の寸法を決めて補剛材の溶接前に切断し次に補剛材を溶接した。以後の組立を次に示す。

(2) ガーダー組立の順序は次の通りである。

- 上部フランジにウエーブプレートを仮付(右)
- 上部フランジにウエーブプレートを仮付(左)
- ボックス内部の上部フランジとウエーブプレートの本溶接(右) 写真21にその状況を示す。

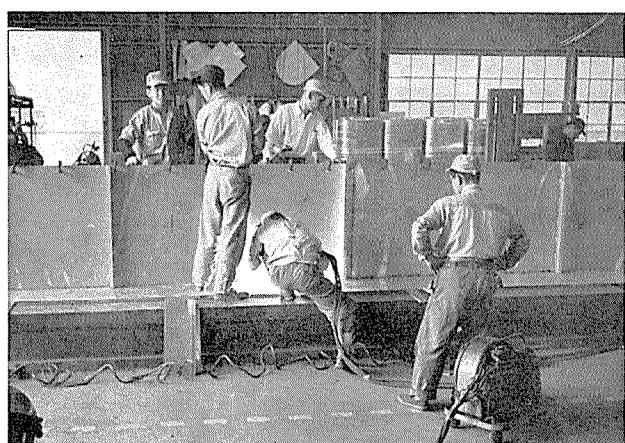


写真 21. ウエーブプレートの本溶接

- ボックス内部の上部フランジとウエーブプレートの本溶接(左)
- ボックス内部の横補剛材の溶接
- ボックス内部の斜補剛材の溶接、写真22にその状況を示す。

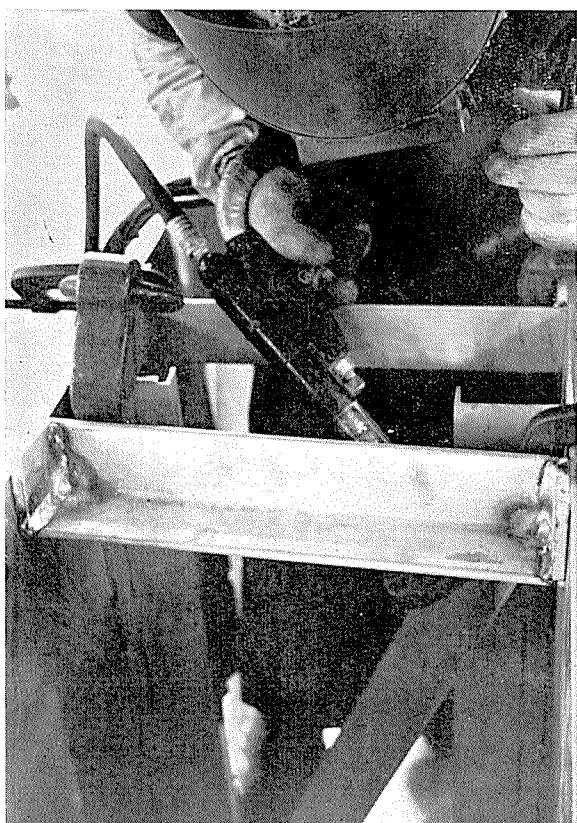


写真 22. ポックス内部の斜補剛材の溶接

- G. ポックス最下部にあたる位置に各縦補剛材ごとに6t×60の5052-F板をウェブヒズミをとるために追加溶接
- H. 上部フランジとウェブプレートの外側の本溶接
- I. 下部フランジの溶接前のウェブのヒズミ取
- J. ウェブプレートに外側横補剛材溶接
- K. 下部フランジの溶接。写真23にガーダーポックス組立の

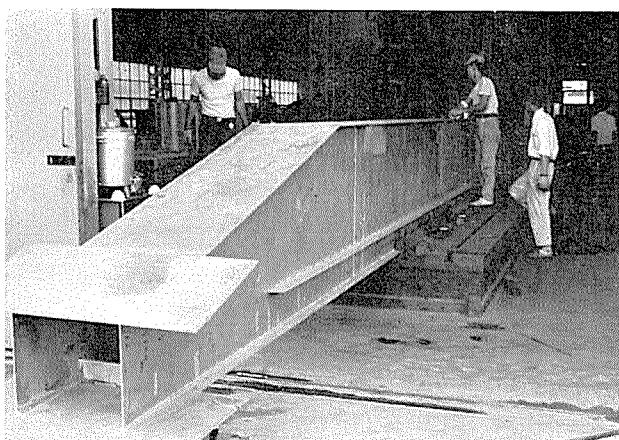


写真 23. ガーダーポックス組立の状況

- 状況を示す。
- L. 全長計測後サドルとの結合部の寸法切及び当板溶接。
 - 写真24はその状況を示す。
 - M. 歩廊受材の溶接。写真26にその状況を示す。

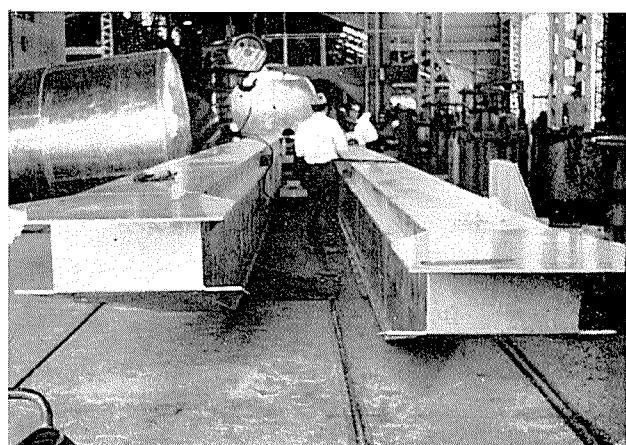


写真 24. 全長計測後のサドルとの結合部の当板溶接

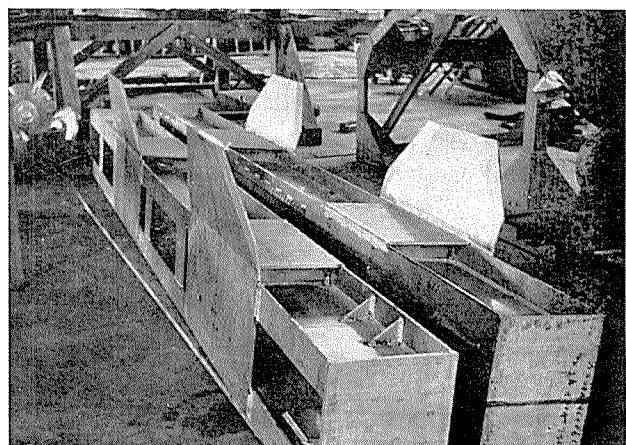


写真 25. サドル完成

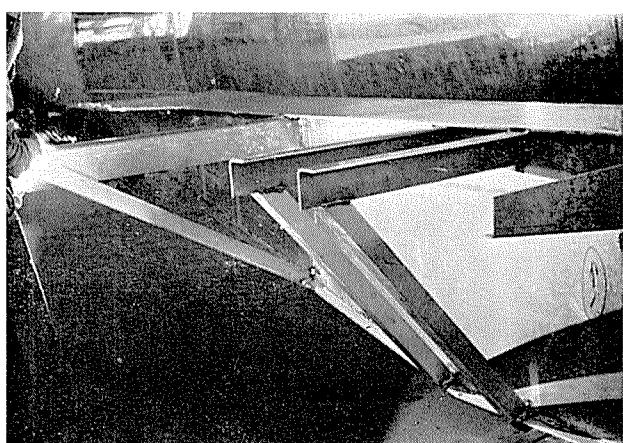


写真 26. 歩廊受材の溶接

- N. 歩廊の溶接および取付。写真27および28にその状況を示す。
- O. 手摺取付
- P. ガーダーサドルを万力にて仮組。写真30にガーダー及びサドルの組立状況を示す。
- Q. レベラーにて芯出。写真31にその状況を示す。

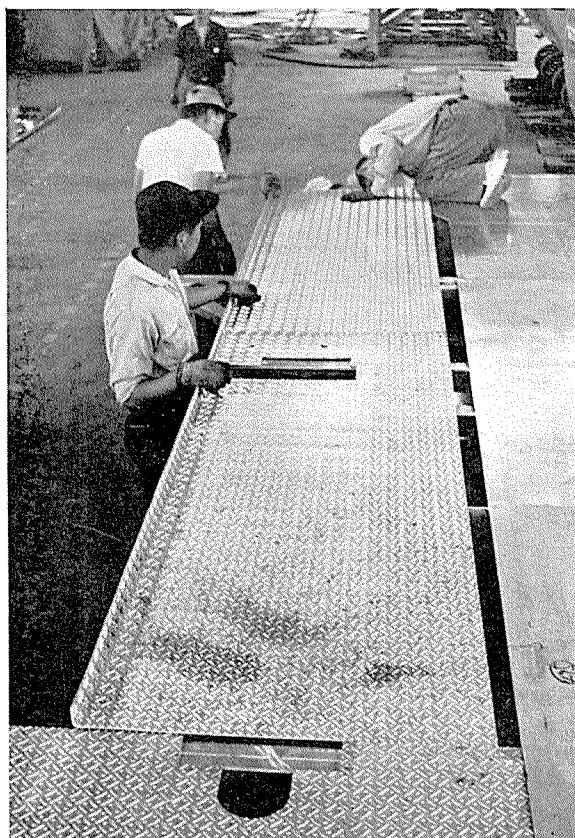


写真 27. 歩廊の溶接及び取付

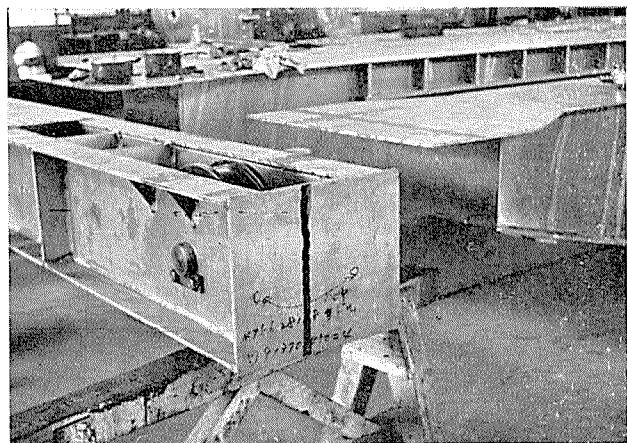


写真 29. サドルへの車軸取付状況

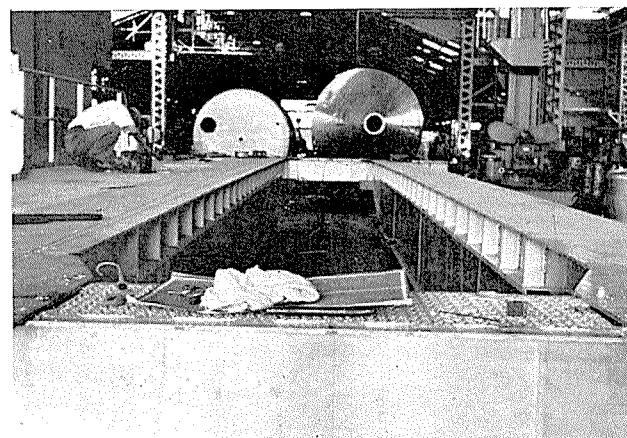


写真 30. ガーダー及びサドルの組立状況

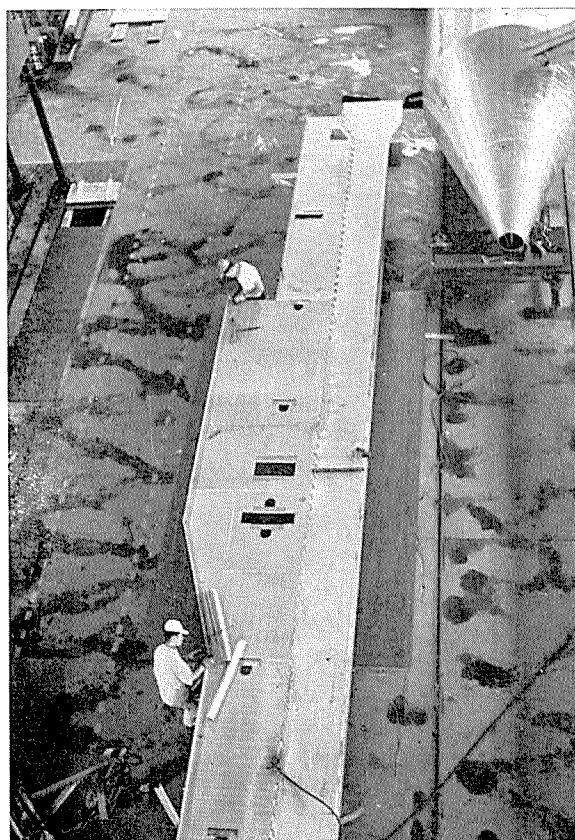


写真 28. 歩廊取付状況

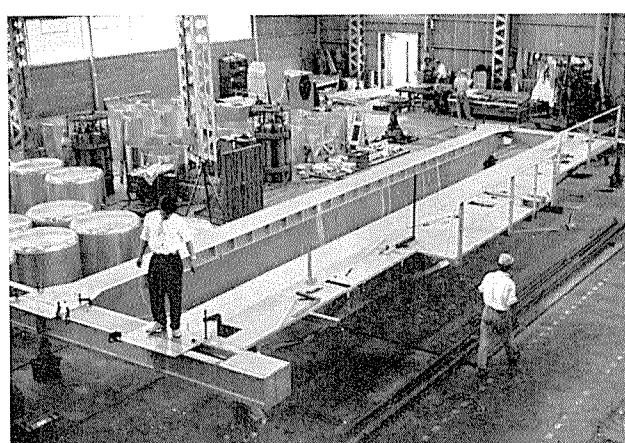


写真 31. 芯出及び計測作業状況

R. 各部のケガキ

S. ガーダーサドル結合部のリーマー孔開け

T. ケガキ部分の加工（サドルの車軸孔レール取付孔等）

U. 運転室梯子取付。写真 32, 33, 34 および 35 にその状況を示す。

V. 同上取外し

W. ガーダーサドルの再組立

X. 走行部品の取付（レール、車輪およびモーター等）写



写真 32. 運転室骨組々立状況

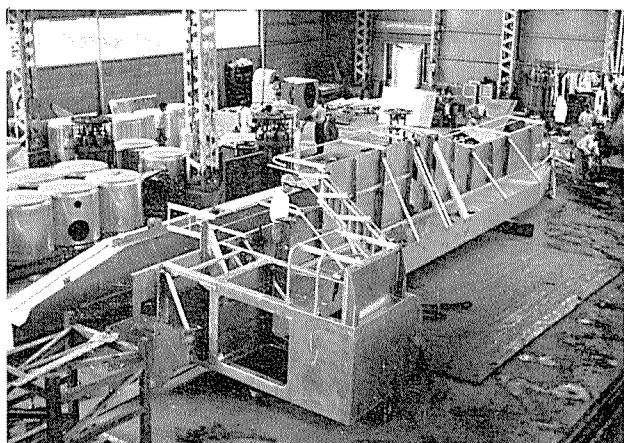


写真 35. 手摺と梯子の取合せ



写真 33. 運転室取付の寸法出し

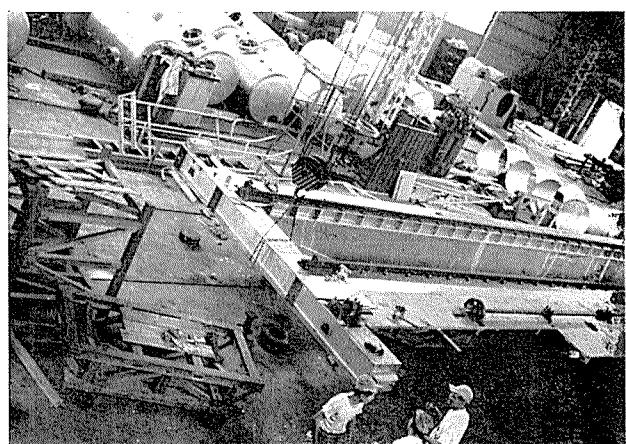


写真 36. 走行軸取付

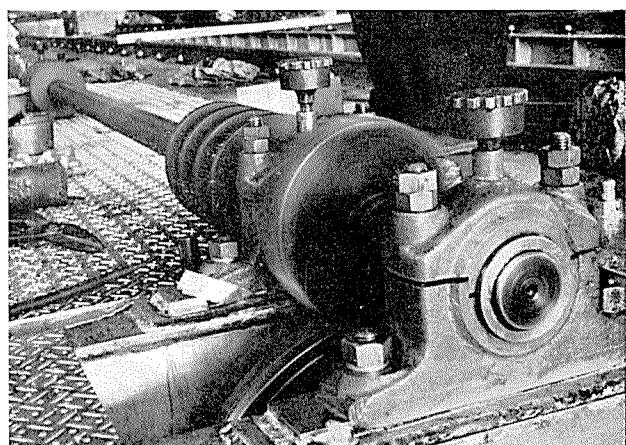


写真 37. 地上試運転の状況

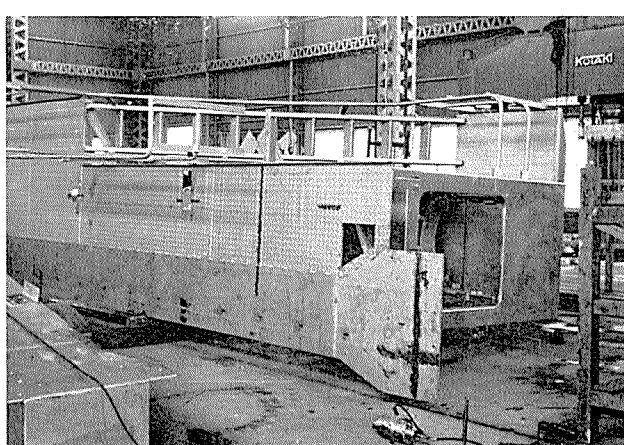


写真 34. 本体に運転室手摺取付完了

写真36にその状況を示した。

Y. 試運転（ライナー調整）写真37に地上試運転の状況を示す。

(3) キャンバーの調整

スパン間で測定するのが本当であるが工程間に於ける計測ではガーダー本体末端 200mm の位置にて測定した。

計測方法は第12図に示す通りである。

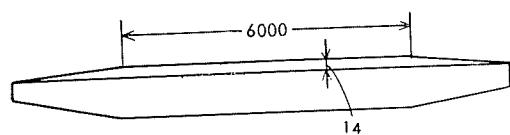
キャンバーは最初切断の容易さを考慮され第13図に示す

様なものであった。その後検討の結果ポータブル丸鋸にてある程度の曲線切りが可能なため第14図に示す様にキャンバーは曲線にした。

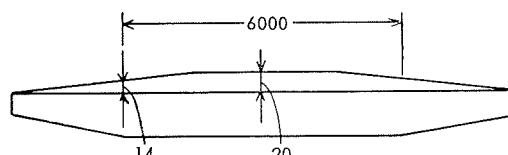
前記工程Hに於けるキャンバーは第15図の如くであった。(逆キャンバー) 図よりわかる如く上部フランジとウエーブプレートとの外側の本溶接後のキャンバー(逆キャンバー)は



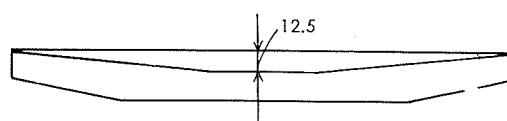
第12図 ガーダー本体のキャンバーの測定方法



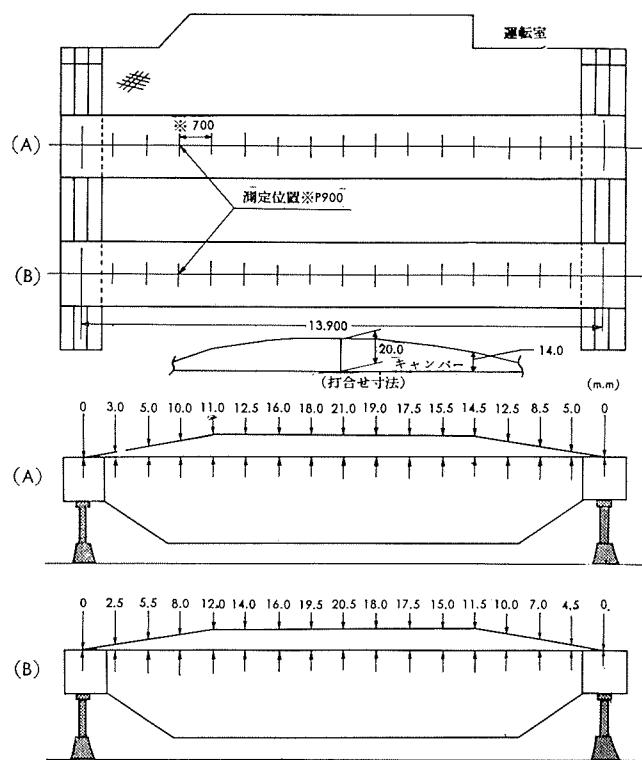
第13図 最初に計量したガーダー本体のキャンバー



第14図 第13図のキャンバーを曲線にしたもの



第15図 上部フランジとウエーブプレートとの外側の本溶接後のキャンバー(逆キャンバー)



第16図 ガーダー本体のキャンバー測定結果

エブプレートの延長 13,000mm にわたる溶接収縮のため原図キャンバーの 20mm もたちまち、不足になっている。上部フランジを溶接した工程 H に於てキャンバーは

$$20\text{mm} + 12.5\text{mm} = 32.5\text{mm}$$

の逆キャンバーになった。ここに下部フランジの溶接は外側のみであるためキャンバーのかえりは

$$32.5\text{mm} \times \frac{1}{2} = 15\text{mm}$$

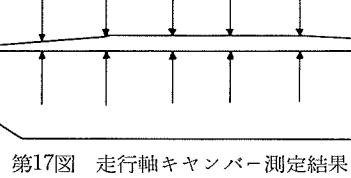
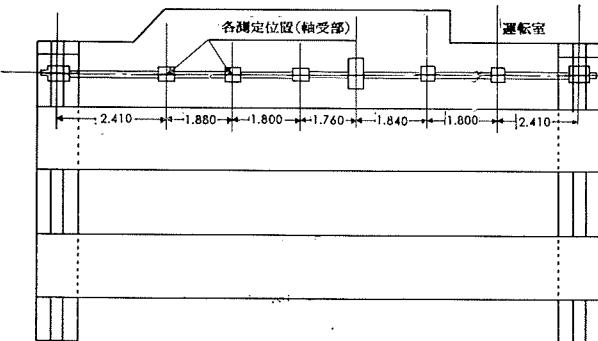
とみなす事が出来る。故に下部フランジ溶接前のキャンバーは

$$20\text{mm} - 15\text{mm} = 5\text{mm}$$

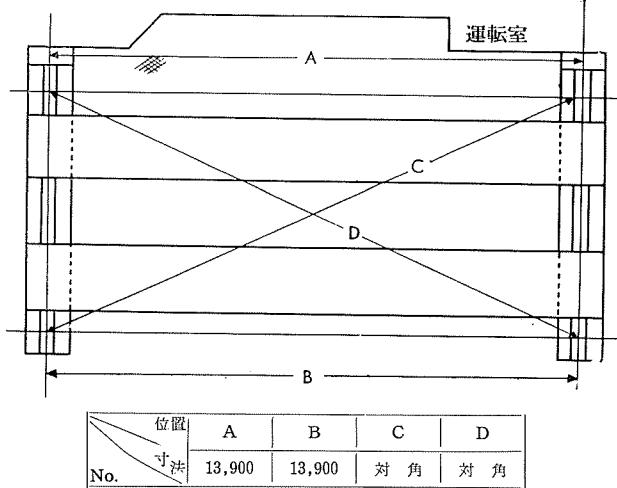
としなければならぬ工程 I において

$$12.5\text{mm} + 5\text{mm} = 17\text{mm}$$

のキャンバーを取付けねばならない。又、左右ガーダーのキャンバーの差も 3mm 以内を必要とするため工程 I の様に定盤上で無理にキャンバーを付け、それによって生じたウエーブのヒズミを取り去った。こうして完成したガーダーのキャンバーは第16図～19図の通りである。

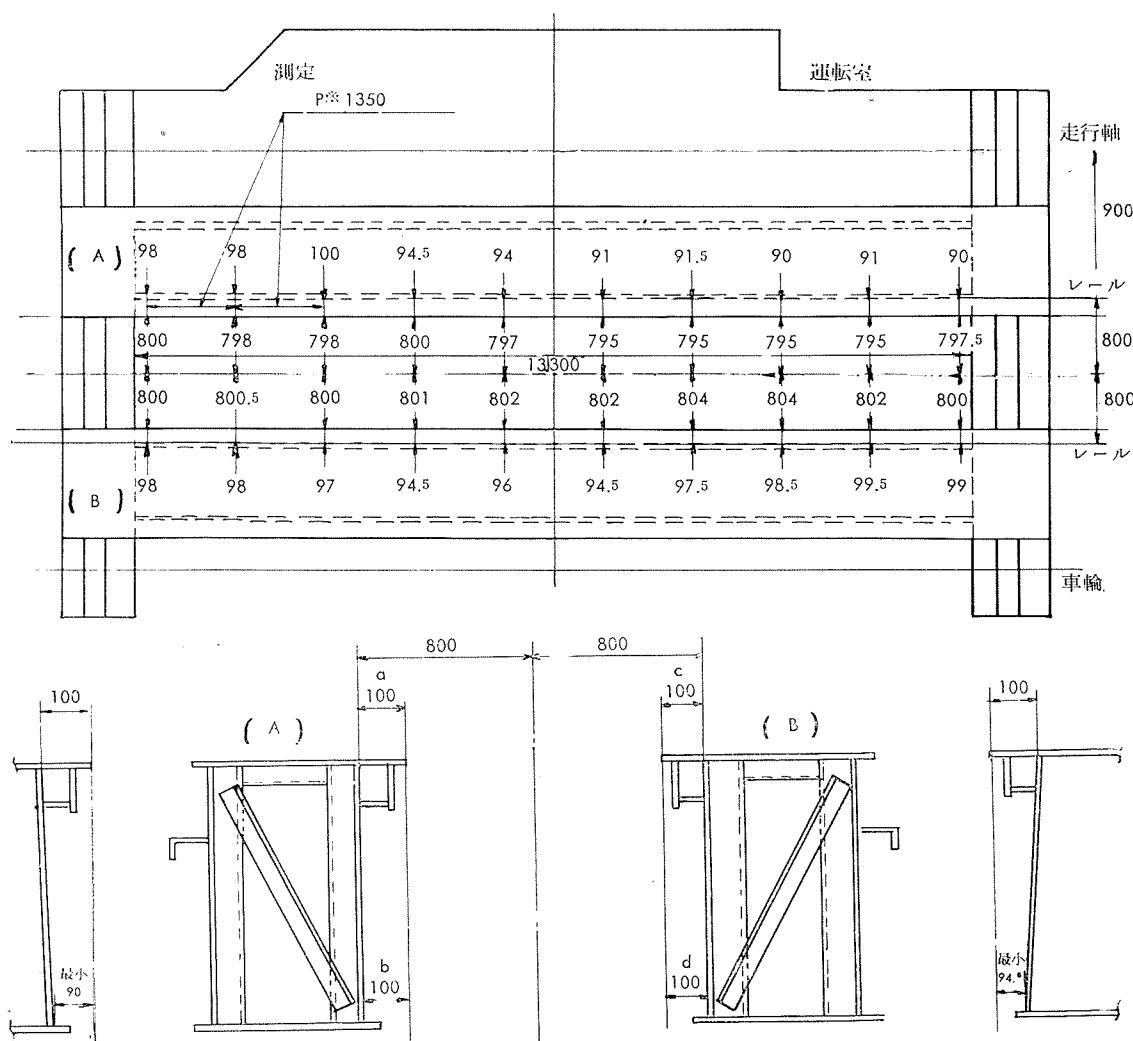


第17図 走行軸キャンバー測定結果



位置	A	B	C	D
寸法	13,900	13,900	対角	対角
No.	13,903	13,902	14,303.5	14,601.5

第18図 スパンおよび対角寸法測定結果



第19図 桁主板と軌条の偏心度、主ガーダー垂直度結果

8. 荷重試験

8.1 荷重の増減とタワミの関係

巻上荷重を0から6tまで増減し、各段階におけるタワミを測定した。その結果は第30表の如く最大使用荷重5tに

於てヒズミは $\frac{1}{3500} \text{ S}$ とかなり小さいものであった。

8.2 負荷時の応力

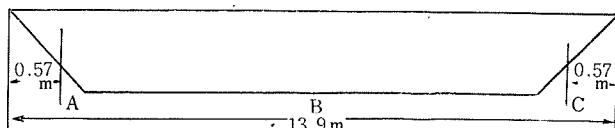
今後の起重機設計にあたっての参考にするため荷重時にクレーンの各所に発生する応力を測定した。

(1) 測定要領

A. 測定計器

新興通信 PS-7型静動ヒズミ測定器
ゲージ 共和無線 K-22-1

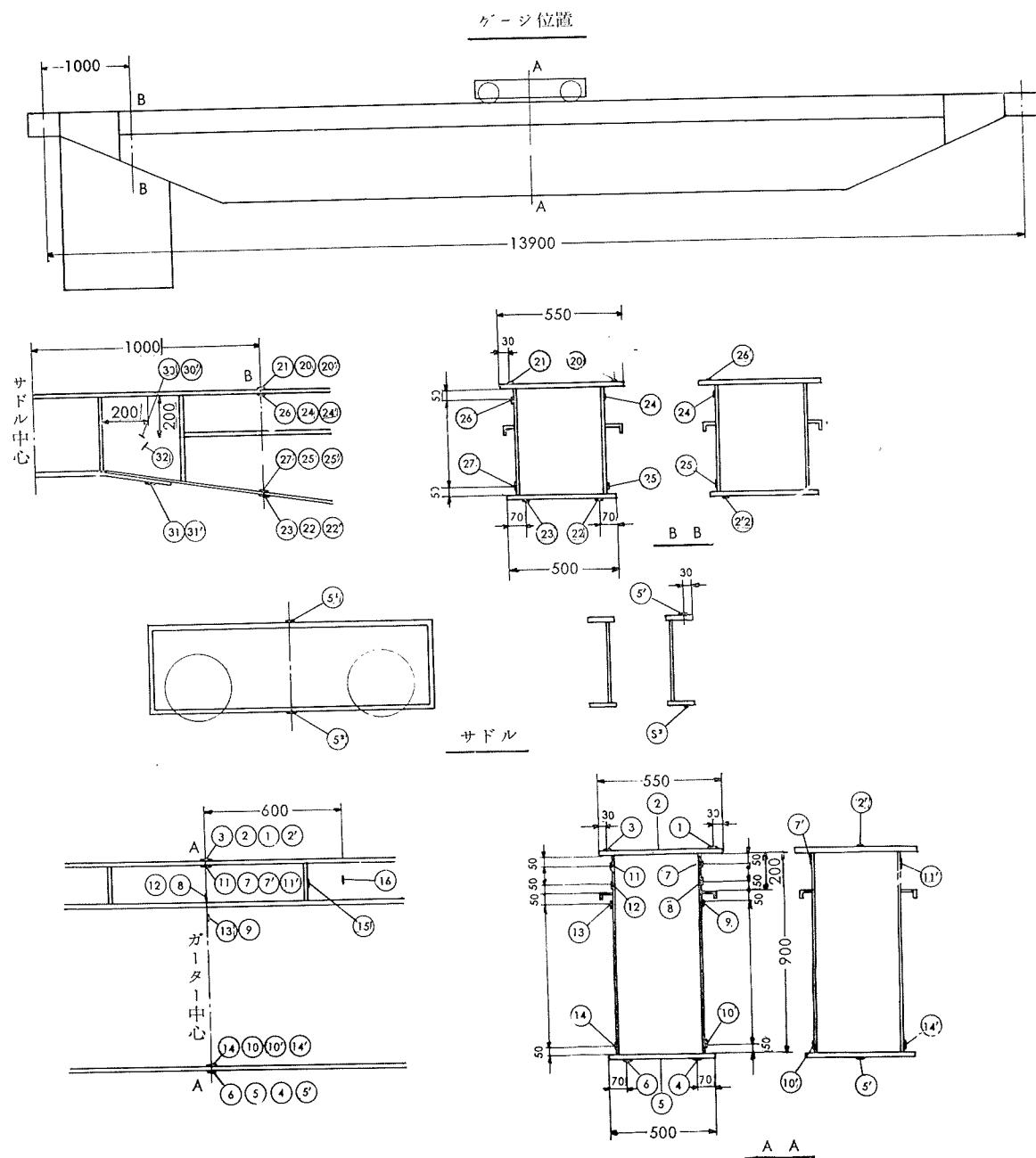
B. ヒズミ計貼付位置



第30表 起重機本体の荷重試験

荷重増加↓	屯数	読ミ、mm			タワミ mm	スパンに対する比	荷重減少↑	読ミ、mm			タワミ mm	スパンに対する比
		A	B	C				A	B	C		
1	1	0.5	1.0	0.5	0.5			1	0.5	1.0	0.7	0.4
3	3	1.3	3.5	1.4	2.2	$\frac{1}{3,500} \text{ S}$		3	1.0	3.0	1.5	1.8
5	5	2.0	6.0	2.0	4.0			5	2.3	6.3	2.0	4.2
6	6	2.5	7.5	2.5	5.0			6	2.5	7.5	2.5	5.0

(注) Steel の場合の法規は、タワミは $\frac{1}{1200} \text{ S}$ 以下となつてある。



第20図 ヒズミ計貼附位置

ヒズミ計の位置は第20図に示す。

C. 負荷条件

静ヒズミおよび動ヒズミの二者を測定した。

- (1) 静ヒズミ……ガーダー中央にて 5 ton 荷重を吊る。
- (2) 動ヒズミ……ガーダー中央にて 5 ton 荷重を地切りする場合（最初鋼索をゆるめて最高速度で捲上げた場合）

(2) 測定結果

A. ヒズミ及び応力の測定結果は第31表の通りである。

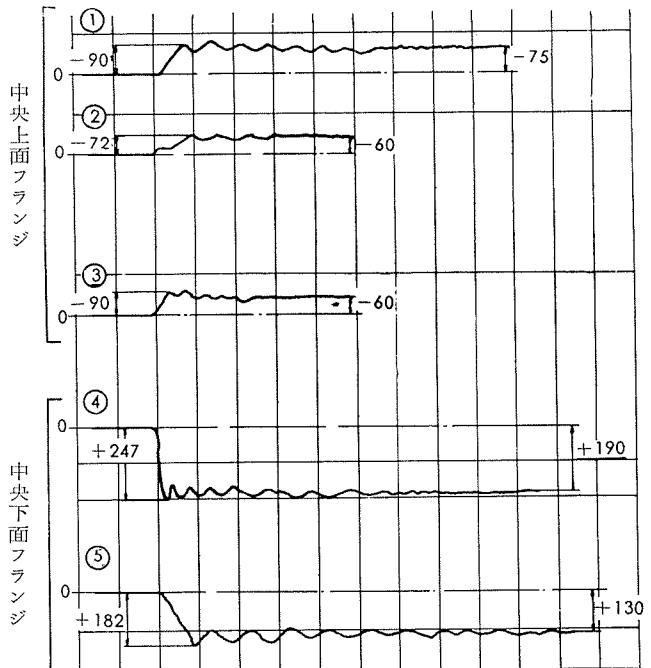
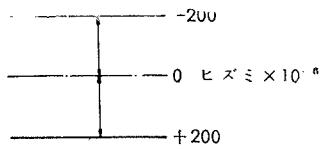
第31表 負荷時の各部分に発生する応力

測定位置	説ヒズミ				動ヒズミ		
	ヒズミ $\times 10^{-6}$		応力 kg/cm^2		ヒズミ量 $\times 10^{-6}$	動ヒズミ 係數	
	+	-	σ_t	σ_c			
ガ	中フ 尖ラ 上面 面ジ	1 2 3		75 60 60	52 42 42	90 72 90	1.2 1.2 1.5
	中フ 尖ラ 下ラ 面ジ	4 5 6	190 130 160		133 91 112	247 182 240	1.3 1.4 1.5
	中 央 尖 ウ エ ブ ア 中 央 尖 帆 エ 車	7 8 9 10 11 12 13 14	15 100 50 10 20 150	60 10 70 35 14 105	42 3 120 75		
	中 央 尖 帆 エ 車	15 16	10 45	7 31	54	1.2	
	ガ 対 1 称 1 中 位 央 置	2 ¹ 5 ¹ 7 ¹ 10 ¹ 11 ¹ 14 ¹	160 60 140 65 170	55 112 98 45 119	38 42 168 45 221	77 142 1.2 1.2 1.3	1.4 1.2 1.2
	端 部 上 面 ジ	20 21		10 30	7 21		
	端 部 下 面 ジ	22 23	75 35	52 24		90	1.2
	端 エ 部 ブ	24 25 26 27	65 15 35	10 45 10 54	7 10 78		1.2
	他端 ノ 部 ガ 対 1 外 位 置	20 ¹ 22 ¹ 24 ¹ 25 ¹		20 10 35	14 14 60		
	最 端 部 ブ	20 31 32 31 ¹	30 5 60 5	21 3 40 42	104 48 72		1.3 1.2 1.2
サ ド ル	中ラ 央ラ ンジ フジ	S-1 -2	150	80 105	53 210	210	1.3 1.4

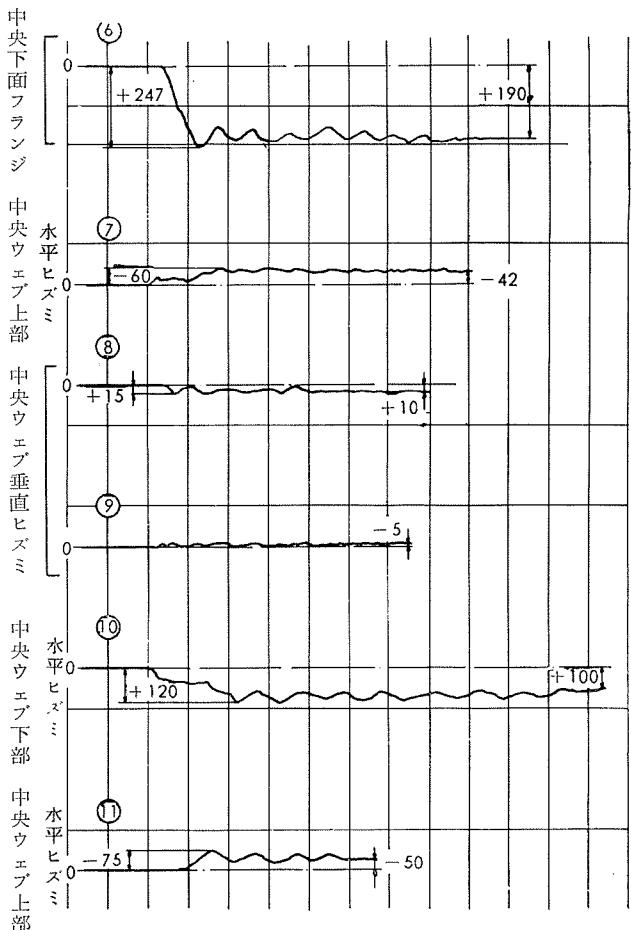
B. 動ヒズミ測定時のオシログラフを 21-a~f 図に示す。

(3) 測定結果の検討

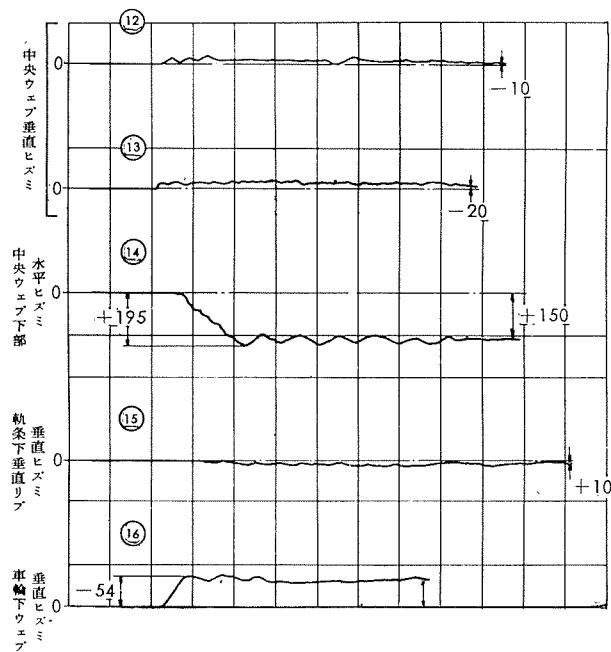
A. ガーダー中央最大曲げ応力について。



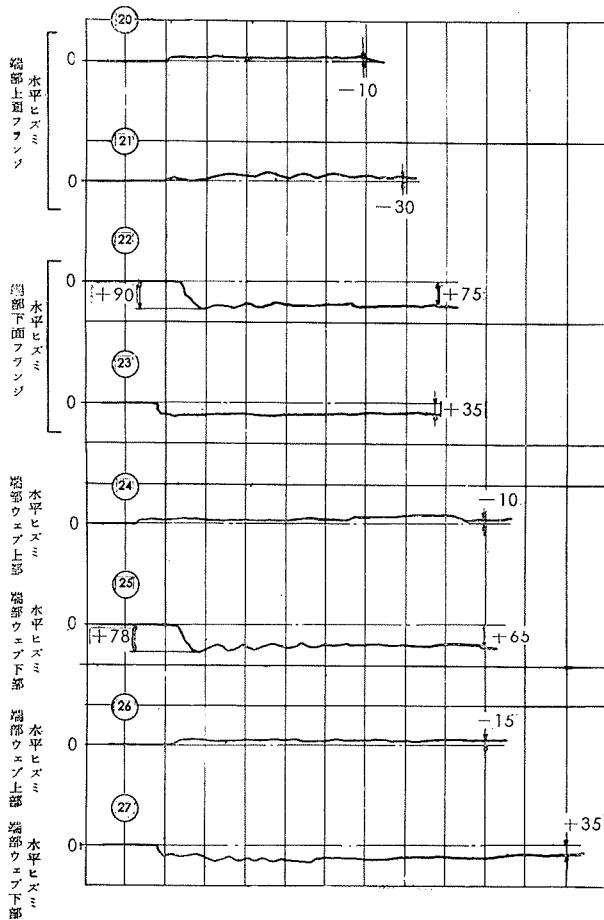
第21図-a 動ヒズミ測定結果そのa (番号は第20図の参照)



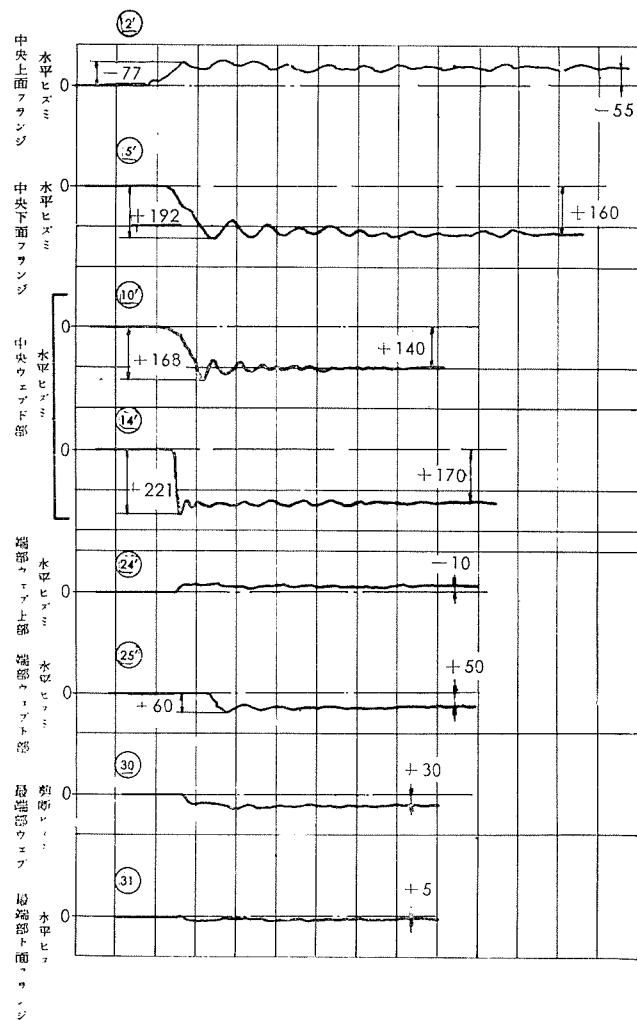
第21図-b 動ヒズミ測定結果その2



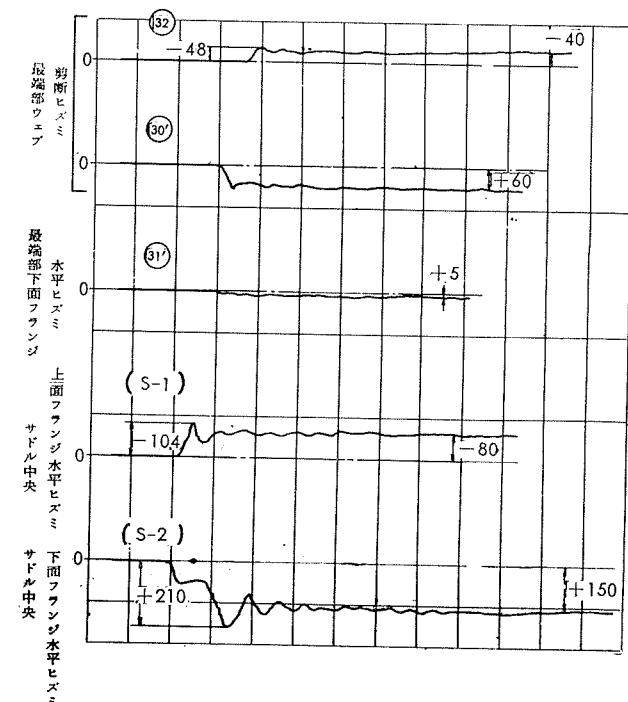
第21図-d 動ヒズミ測定結果その4



第21図-e 動ヒズミ測定結果その5



第21図-f 動ヒズミ測定結果その6



第21図-g 動ヒズミ測定結果その7

第32表 ガーダ中央における最大曲げ応力計算値と実測値の比較

	計算値	測定値 + 計算値			
		上面フランジ圧縮応力		下面フランジ引張応力	
		運転室側 ①②③平均	非運転室側 ④⑤⑥平均	運転室側 ①②③平均	非運転室側 ④⑤⑥平均
5t 中央荷重による応力 kg/cm ²	148	* 45	* 38	* 112	* 112
トロリーによる応力 kg/cm ²	60	60	60	60	60
以上 小計 +	208	105	98	172	172
以上に動荷重係数をかける × 1.2	250	126	118	206	206
ガーダー自重による応力 kg/cm ²	88	88	88	88	88
以上 総計 kg/cm ²	338	214	206	294	294

* は測定値

設計の際の計算値と測定値を比較すると第32表の通りである。

B. サドル発生応力について

5t 荷重を中央にて吊上げた時、サドル中央、上下フランジに発生する応力の計算値と測定値を比較すると第33表の通りである。

第33表 サドルに発生した応力の実測値

計算値・圧縮引張共	88 kg/cm ²
測定値 上面フランジ圧縮応力	56 kg/cm ²
測定値 下面フランジ引張応力	105 kg/cm ²

尚、参考までにサドルに発生する最大応力は、5t荷重がサドルに近接した時で、更に自重による応力を加算する設計計算に依れば

荷重による応力 : $\sigma_L = 177 \text{ kg/cm}^2$

トロリーによる応力 : $\sigma_T = 32$

自重による応力 : $\sigma = 131$ (+
計 340 kg/cm^2)

C. 荷重による動荷重係数について

今回の測定結果によると、本起重機の動荷重係数は第34表の如く 1.2~1.4 と想像される。

第34表 本起重機の動荷重係数

場所	動荷重係数
ガーダー中央	上側フランジ圧縮応力
	下側フランジ引張応力
	ウエブ曲げ応力
	車輪下ウエブ圧縮応力
ガーダー1部	フランジ引張応力
	ウエブ曲げ応力
	崩断応力
サドル	上側フランジ圧縮応力
	下側フランジ引張応力

9. 結語

以上弊社設置の全溶接アルミニウム合金製起重機の概要を報告したが、何分我国に於て初めての試みであり、また現在の安全法規では起重機の主構造材としては、アルミニウム合金材は認められて居らず制限外工事として監督官庁の特別の認可を要する等の条件を考慮して設計したため、アルミニウム起重機の重量減は全体として30%程度にしか過ぎなかった。

しかしながら本試作に依り天井走行起重機もアルミニウム合金を使用した全溶接構造で極めて優秀な設計製作が出来ることが実証された。

本試作の過程に於ける経験と資料を基礎に更に研究を重ねれば Kaiser 社の例の如く更に一層の重量軽減が得られ、従って経済性の高い全溶接アルミニウム合金製起重機が設計製作し得られるものと確信する。

例えば本試作に於ては現行 JIS の起重機ガーダーに対する最大許容タワミ量 (1/1200×Span) に制約されて設計したため思い切った重量軽減が得られなかった事もあるが、結果的にはタワミ量は $\frac{1}{3300} \text{ s} \sim \frac{1}{3500} \text{ s}$ と云う非常に少ない数値であった。この点(今回の資料と経験を生かして使えば)今後の設計に当っては一層の経済設計が得られよう。

筆を擱くに当って深い御理解を示された監督官庁ならびに種々御協力を賜った関係各社に対し深甚の敬意と感謝を捧げる。

文獻

- (1) A.H. Koepf: Iron and Steel Engineer, 63(1959), 69.
- (2) 鈴木、中村: 熔接技術, 8(1960), 50.
- (3) P. Brenner Aluminium 35(1960), 589.

技 術 資 料

アルミニウムおよびその合金の加工技術:

アルミニウムおよびその合金のアルゴン・アーク溶接

アルミニウムおよびその合金の加工技術：

アルミニウムおよびその合金のアルゴン・アーク溶接

小林藤次郎*

本文はアルミニウムおよびその合金加工に関する最近の技術を解説する目的で執筆したが、単に加工技術と称しても、その内容には、成形、切削、ビヨウ接、溶接、あるいは表面処理等多種多様の加工方法があるので、ここでは、まず溶接についてのべ、以下機会あるごとに他の加工技術について紹介することにした。

1. 緒 言

わが国においては鉄鋼に対する溶接技術がすこぶる進歩普及しているのに比べて、アルミニウムの溶接技術は、はるかに劣り、かつ一般的でない。これは鋼材の広い使用範囲に対して、アルミニウムの使途がごく限られた部門に長い間沈潜していた結果であった。すなわち、わが国のアルミニウムは、昭和になって国産化され、しかもその用途は圧さくして作られた家庭器物のようなごくわずかなもの除いて大半が航空機材料として、その加工技術と共に限られた部所に結集され、鋼材のように早くから広く工業的に利用されなかつたからである。しかし戦後諸般の事情が変り、アルミニウムもようやく本来の諸性質が広く各種の工業に受入れられ、しかも自由に利用出来るようになった結果、今日では化学工業、建築、車輛あるいは造船等にいちじるしく需要が増大した。したがって、その加工技術の進歩と共に必然的に溶接の問題が広く要求されたが、遺憾ながら鋼材に比べ、また欧米諸外国に比べてその技術の劣っていたことは止むをえない。

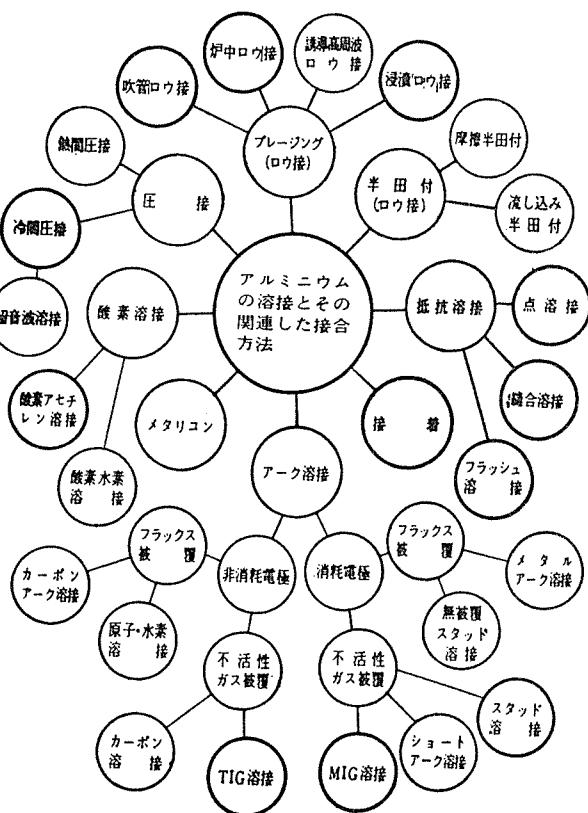
今日でも「アルミニウムは溶接できるのか」との質問をよく受ける。それほどアルミニウムの溶接技術は普及していない。もちろんこれにはアルミニウムが上述のように工業用材としての経験に乏しく、溶接性の認識に欠けていたことも1つの原因として挙げられるが、本質的には他の工業用金属材料にくらべ、アルミニウムは酸化し易く、しかも熱伝導のよいことなどがその溶接作業を困難にしている理由でもあった。欧米でも、アルミニウムの溶接は鋼材の溶接に遅れて発達し、第1次大戦以前仏人オダムによって行われたのが世界で最初といわれ、1910年頃はまだ困難視されていたことがある。

米国溶接協会 (The American Welding Society) の溶接の定義に従えば「溶接とは可塑的に、あるいは塑性状態と溶融状態において圧力や打撃を与えるか、または圧力や打撃を与えることなしに、溶融状態で金属を局部的に直接結合すること」といわれる。第1の方法は鍛接で、特にアルミニウムの場合は、最近発達しつつある冷間圧接 (Cold Welding) がある。第2の方法は、点溶接 (Spot

Welding), 縫合溶接 (Seam Welding), 突合せ溶接 (Flush Butt Welding) および衝撃溶接 (Percussion Welding) のような抵抗 (加圧) 溶接である。第3の方法は、現在最も使われている溶融接合 (Fusion-Welding) すなわち融接で、今日一般にいわれる溶接である。なおこの融接には加熱の方法によって、ガス溶接とアーク溶接が挙げられる。

これらの方法は、いずれも鋼材における溶接技術と同様にアルミニウムにも行われるが、ただアルミニウムは融点が低いのにかかわらず溶融熱を多量に要し、しかも非常に酸化し易く、その酸化物 (Al_2O_3) の融点がまたはなはだ高いこと、あるいは熱伝導がいちじるしく高いため、鋼材にくらべ溶接部の温度上昇が遅いこと等から鉄鋼の溶接とはおのずから異なる技術が要求される。

第1図 溶接 (接合) の種類



* 日本アルミニウム工業株式会社技術部長 工学博士

最近、アルミニウムの接合方法として、溶接同様普及しつつあるものに、ロウ付がある。低温溶接 (Eutectic-Welding) としてわが国に紹介されている方法もその一つであるが、真鍮ロウや銀ロウのような硬ロウに相当するアルミニウム特有のロウ接 (Brazing) で溶接に類似するが、溶接とはやや違い、また軟ロウに相当する半田付 (Soldering) も行はれる。

戦後15年を経てわが国のアルミニウムおよびその合金の溶接技術はいちじるしく進歩し、今日では往年の姿を一変した感がある。これらの結合方法を一括分類すると第1図のように示されるが、ここでは現在もっとも一般的に普及しているアルゴンガスアーク溶接について述べる。

2. アルゴンアーク溶接の展望

一般に不活性な単原子分子であるアルゴンやヘリウムのような非酸化性の雰囲気中で炭素や金属の電極と被溶接物（以後母材という）との間にアークを作りその熱によって行う溶接を不活性ガスアーク溶接 (Inert Gas arc Welding) といわれる。

溶接にアークを使う方法が発見された当時、すでにその雰囲気を不活性ガスで覆うことが考えられ1890年に米国で、炭酸ガスを利用したことがある。また1920年には比較的高電流でも消耗しない電極としてタングステンが米国で使われた。その後 G. E. 社の H. Hobard と P. Devers が種々のガスを使ってアーク溶接を研究し、前者はヘリウム後者はアルゴンで溶接部をおおうとタングステン電極の消耗が少なく、良好な雰囲気を生ずることをそれぞれ独立して発見した。そしてこれを基礎にして1930年フラックスを使わず不活性ガス雰囲気中でタングステン、炭素あるいは他の耐熱性電極により諸金属をアーク溶接する広範でしかも基礎的な特許を得た。しかし以後余り実用されず、1940年に至って Northrup Aircraft 社の R. Meredith がマグネシウム合金で作った航空部品の組立にこの溶接を使って成功したのが端緒となって、1944年に初めて実用性のある特許となった。⁽¹⁾ この間 Linde Air Products 社はノースラップ社からその技術を導入し、さらに組織的な研究を行った。⁽²⁾ このようにその基礎的発明から実用化に至るまで約十年を経ているが、その理由の一つは高純度の不活性ガスを経済的に得られなかつたことが上げられる。しかし第2次世界大戦はこの困難を克服し、工業的に高純度ガスの生産を開始して前記両者の協力でこの溶接技術を確立したといわれる。戦後このすぐれた特質はさらに実用化され、タングステンアーク溶接として全世界の溶接界に今日のような普及をもたらした。

一方これと平行してタングステン電極の代りに溶接棒自体を電極とし、これを逐次送給して溶接を継続するメタルアーク溶接が1948年 Air Reduction Sales 社により完成された。⁽³⁾ これは手動ガンの先端に自動的に電極となる心線

が送られる方式で、その後リンデ社で全自動式に改められた。これらの方法は最初アルミニウムに応用されたが、以後ステンレス鋼、アルミニウム青銅あるいは炭素鋼など各種の合金の溶接に次第に利用されるようになって来た。

今日ではヘリウムよりアルゴンの方がその物理的性質やアークの安定な理由で一般に利用されるが、その発生経過からたとえアルゴンを使った場合でもタングステンを電極としたものに対してヘリーアークあるいはヘリウエルドという名称が使われる。わが国では初めこれを単に不活性ガスアーク溶接と呼称したが、その後この溶接方法が広範に発展分科化するにおよび総括的にはアルゴンアーク溶接というようになった。英国ではこれを Argonarc と呼称する。

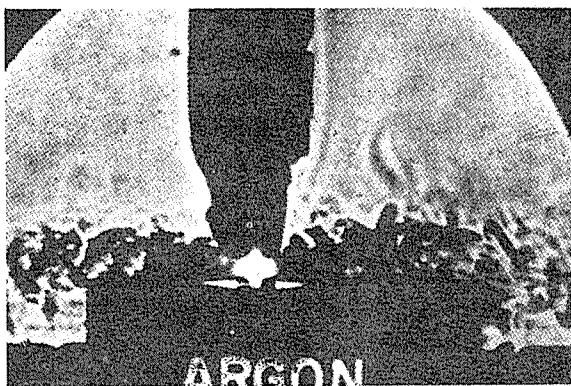
現在では上に述べたタングステンを電極とし溶接棒を使い、あるいは使わずにアルゴン雰囲気中で溶接する非消耗電極式 (Nonconsumable) のタングステンアークとアルゴン雰囲気中で普通のアーク溶接のように溶接棒を電極とするが、その供給を自動的に行う消耗電極式 (Consumable) のメタルアークとに大別される。わが国ではその頭文字をとって前者を TIG Weld (Tungsten Inert Gas Shielded Arc Weld) 後者を MIG Weld (Metallic Inert Gas Shielded Arc Weld) ということが多い。しかしメーカーのリンデ社は前者を Heliarc、後者を Shielded Inert Gas Metal Arc Process のはじめの頭文字5つを探って SIGMA という商品名を与え、エアコ社では前者を Heliweld、後者を Aircomatic と呼称する。

3. アルゴンアークの概要

アルゴンアーク溶接におけるアルゴンはガス溶接の酸素、アセチレンや、原子水素アーク溶接における水素などと全然趣きを異にし、一般には熱現象（融接）に関係しない。中性または還元性の CO, H_2 あるいは N_2 などはいずれも^④ 原子分子であるから高温のアーク中で多量の熱を吸収して熱解離し、これが溶接部で再び分子化するため熱を放出して非常な高温となり、熱の集中性良く溶接部の溶込みを大きくする。〔最近のアルゴンガス（含水素）切断はこの性質を利用して〕。したがって熱解離を起さない場合に比較して電気的には入力が増大しアーク電圧が高くなり、アークが不安定になりやすい。しかも分子状では中性でも原子状では母材と反応する場合が多くなり、高温雰囲気で母材に対して完全に中性無害なガスは元素の周期律表中の不活性ガス以外はない。アルゴンアーク溶接のすぐれた特長の1つがこれである。したがってアルゴン量は本質的には溶接速度の相違、板厚の大小などに関係なく単に酸化防止の保護、シャハイ範囲ということできまり量的で大きい変動はない。

現在アルミニウムおよびその合金の溶接にはヘリウムよりアルゴンが主として使われる。20°Cにおけるヘリウムの密度 ($0.1664 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$) はアルゴン ($1.6626 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$) に較べ小さく約1/10で、空気 ($1.205 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$) に対し

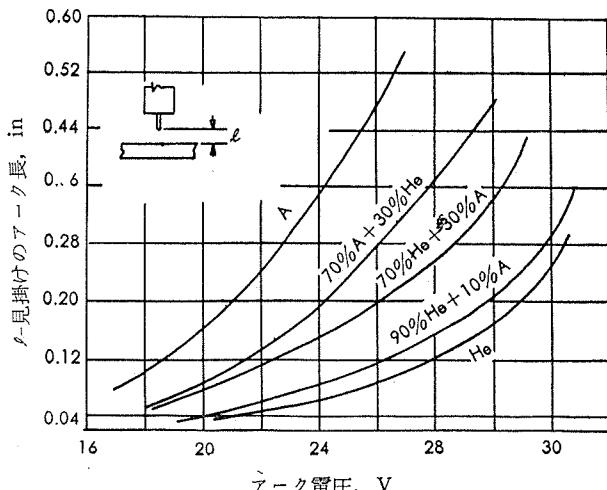
て約1/7であるが、アルゴンは空気の約1.4倍である。したがって下向き溶接での被覆作用はヘリウムはもちろん空気より良好である。高温でそれ程の差がないとしてもアルゴンの被覆力の良いことは写真1のシュリーレン写真によって明らかに識別できる。⁽²⁾ したがってガスの純度にも関係するが溶接部の酸化や気泡発生の防止に対してヘリウムはア



上図のヘリウムが急速に上昇しているに対し
下図のアルゴンは母材の表面をよく被覆する
写真1 不活性ガスのシュリーレン写真

ルゴンより多量に必要である。これを電気的にみると第2図のように、一定のアーク長に対してアーク電圧に著しい相違がある。これはヘリウムがアルゴンより熱容量や熱伝導度が大きいためアークの周囲から熱を奪いアークを維持するためより多量のエネルギーを要し、電流を一定とすれば電圧を増す以外に方法がないからである。またアークが不安定でアーク音が高く、スパッタリングも激しいため溶接電源の開路電圧を高くする。しかしその反面ヘリウムはアルゴンよりアークエネルギーが大きいため溶込みが深く、溶接速度が速くなる。したがって厚板の溶接に適するがアルゴンはその逆となる。しかしアルゴンはアーク長が変動してもアーク電圧の変化が少なく熱量の供給も少ないから溶接の調節が容易となり、また後記する酸化膜に対する清浄作用も質量の大きいアルゴンが優れている。さらにその経済性を考えると高純度のヘリウムは現在すべて輸入をまたねばならず生産地の米国東海岸から入手すれば相当高価なものとなるのに対し、アルゴンは空気中より酸素、窒素などを採る時の副産物として得られ、国内でも容

易に入手できるからはるかに経済的である。



第2図 アーク電圧と見掛けのアーク長
コンシューマブルアーク法, 180A

4. アルゴンガス

使用するアルゴンガスの純度は一般に99.9%以上といわれているが、99.8%はもちろん99.5%でも溶接できないことはない。JIS (K1105—1958) では99.9%以上の純度のものを一般溶接用アルゴンガスとして規定しており、米国規格 (Mil-A-4144—1951) では99.8%以上の純度と規定している。ただし米軍規格は購買規格である。これらの規格値を第1表に示した。しかし実際の純度は99.99%以上といわれ、その分析例を第2表に示した。試料1はエアコ社のガスで、試料2は国産のガスである。しかしアルゴンが如何に清浄でも空気を捲込み、または母材の汚れが溶接中に種々の障害を生ずることは避けられない。このような障害を避けるには溶接時に個々の注意が必要となり、母材とノズルの距離やガス量は特に注意を要す。

第1表 アルゴンガスの規格

組成	JIS K 1105—1958	MIL-A 4144—1951
純度 (体積%)	99.9 以上	99.8 以上
酸素 (〃)	0.002 以下	0.005 以下
水素 (〃)	0.01 〃	0.01 〃
水分 (mg/l)	0.02 〃	0.02 〃 *
窒素 (体積%)	0.1 〃	0.2 〃

註 * または露点-65°F 以下

第2表 アルゴンガスの分析

組成	試料1	試料2
純度	99.995 以上	99.99 以上
酸素	0.0003	0.001 以下
水素	—	0.001 〃
水分	—	0.001 〃
窒素	0.0025	0.007 〃
炭化水素 (炭酸ガスとして)	0.0003	—
二酸化炭素	0.0001	—

アルゴンガスを通すホースは漏れなく良く接続することは当然であるが、アセチレンガスなどに使用した古いホースを流用することは禁物で不純物はそれ自身の特有な影響を溶接部に与える。不純物としては、水素、窒素、空気、

水、水蒸気および油氣などが挙げられる。

水素——水素は溶接物に氣泡を生じ、水素含有量の増加と共にその氣泡は増加する。

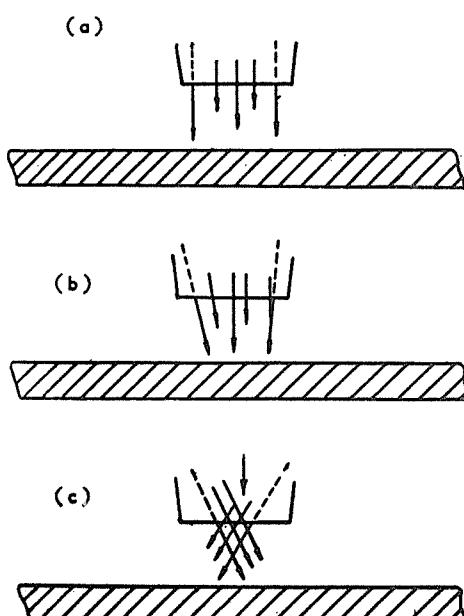
窒素——窒素は高温でアルミニウムと反応し窒化物を作る。特に直流電源を使用し、母材が正極となる直流正極性の場合はビード面は褐色となり、健全な溶接が出来ない。

空気——アルゴン中に0.01~0.02%の空気を含有すると溶接部の両端に酸化物や窒化物からなる褐色のスケールが来る。これは溶接時に溶融池の中で浮び、凝固時にはビードの縁に集結する、またアーケークに動搖を生じその含有量が多くなると、アーケークの保持が困難となる。そして溶融が不十分となりビードの下に割れを残すようになる。

水蒸気——水蒸気は空気と同様に溶接部の周縁にスケールを作り、ビードに氣泡を生成する。このスケールと氣泡は水蒸気の多くなる程増加する。したがってこの溶接ではたとえ新しい設備を使用する時でもホースやパイプラインの中に残っている空気と水分を完全に除去することが必要である。

油氣——アルゴンガス中に油脂の蒸氣があると溶接部の表面に浮遊物を生成する。したがってすべての溶接機器でガスに接触する部分には油やグリースの使用を避けなければならない。アセチレンや他のガスに使用した古いホースの使用はもちろんであるが、母材あるいは溶加材の表面に油脂分の附着していることは絶対に禁物で十分に脱脂、乾燥した状態で使用する。

高速度に溶接する場合や多少風のある中で溶接する場合、溶接部をアルゴンで完全に覆うことが困難になるので母材とノズル（カップ）先端との距離を調整し、またアルゴン量を増加する。この場合無駄にガスを使わず経済的なガス量を決めることが必要であるが、ホースや調整器などの接続を完全にし、ガスの流れに伴いこれらの縫目の隙間から



第3図 ガスカップ内形状によるアルゴン流の変化

空気を吸入しないように注意する必要がある。またガスカップの先端より出るガスは第3図の(a)や(b)のようにカップの内面に導かれ平行若しくは母材面で切った截頭円錐状に放出されるが、(c)のようにカップの内面の傾斜が強いと（円錐の頂角が大きいと）母材とカップの先端との間に円錐の頂点が来るのでガスはクロスし、乱流を起して空気を混入しがちとなる。したがってこのようなカップを知らずに使用すると健全なビードが出来ない、そして必要以上に多量のアルゴンを使うようになる。また逆にガスが発散するような形状も空気こそ吸引しないが無駄にガスを放出するから望ましくない。市販品にしろ自家製品にしてもカップの内面の形状はその先端からガスが放出するまでに少なくとも10mm以上円筒状の一様な断面をもつものでガスを先端まで導くようにすることが望ましい。

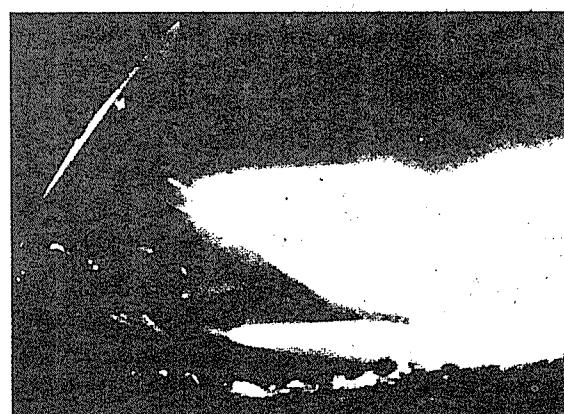
アルゴンとヘリウムはそれぞれ特長があるから一般に諸金属に対していずれとするかは目的に応じて決定され、両者の長所をとって混合ガスを使用することが米国で行われているが、わが国では当分望めない。しかしアルミニウムやマグネシウムではその表面に強固な酸化皮膜があり、これを破壊する清浄作用の勝れたアルゴンの方が望ましい。この意味でも本文ではアルゴンを使用した場合について述べる。

5. 溶接特性

アルミニウムおよびその合金に対するこの溶接の特長をあげると次のようになる。

(1) 溶接中酸化、窒化がないため酸化物、窒化物などの巻込みなく、溶接部の組成変化も少ない。しかもアルゴン中で比較的急冷するため冷却中も酸化せず光沢あるビードが得られる。

(2) 清浄作用があるためフラックスを使わず、したがってガスの発生なく溶接後フラックスの遺存による腐食がないから洗滌処理が不要である。ガス溶接ではこのフラックスを残さないよう、また洗滌して除去しやすいところに溶接継手の位置を考慮する必要があり、突合せ継手を主に採



アーケークが最短距離を通らない

写真2 アークステフネス

用して重ね継手はほとんど行わないのが常識である。しかしこの溶接ではその懸念なく構造上の自由性が増し設計が容易となる。

(3) 溶接速度が速いため溶接部の強度、韌性高く、母材に与える熱影響の範囲がせまくて熱変形によるヒズミも少ない。

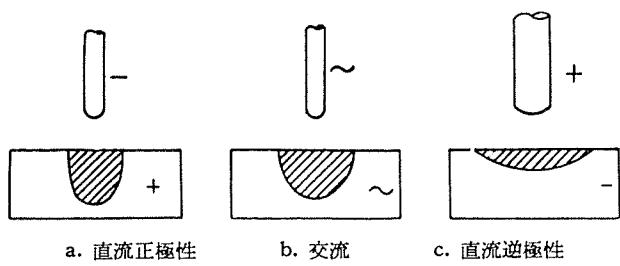
(4) 一般的のアーカ溶接ではアーカが母材と電極の最短距離に発生し必ずしも電極の向く方向にアーカを持続しないが、この場合のアーカは写真2のようにトーチを傾けるとその方向に指向し、電極の向きにアーカが固執する指向性(Stiffness)が電流に比例して強くなる。A. Muller や W.Green はこの現象を電流の磁器作用とし、計算から電極と母材の間に等磁気力線図を描いて説明しているが、むしろガスの噴出方向にアーカが流されると簡単に考える者もある。このようなアーカの特性は隅肉などの溶接で溶接部外にアーカが短絡しないため円滑な作業が行える特長がある。

(5) 溶接作業は扱いやすいトーチやガンによって行うため、ガス溶接よりむしろ簡単であり、特殊な技能を必要としない。経験によればアルミニウムを酸素アセチレンで溶接する熟練者はアルゴンのポンベ約2本(約12m³)を消費するまで健全な溶接部を作れるようになる。

6. 電源の極性—TIG溶接の特性

アルゴンアーカ溶接の電源は普通のアーカ溶接の電源と同様3種類ある。

直流正極性：これは電極を負極に、母材を正極とした場合である。この場合負極から飛出した電子はアーカの流れの形で電極から母材に向い正極を打撃するため母材は電極に較べて多量の熱を発生し急速に溶融する。この際電離したガスの陽イオンは比較的遅速で負極に向いそこで発生熱は少ないから、タンクステンのような電極を使えば消耗はほとんどなく、細径の電極で高電流密度まで使うことが出来る。この際熱の70%は母材で、30%が電極で発生するといわれる。したがって第4図(a)のように母材の溶込みが深く幅のせまいビードとなり溶接速度も速くすることが出来る(逆極性の場合の2倍)からこの種の極性は厚物に適するが、酸化膜の除去作用を伴わないから、アルミニウムおよびその合金やマグネシウムおよびその合金には一般に使わない。

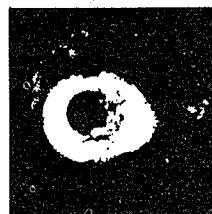


第4図 極性と溶込みの関係

直流逆極性：正極性と逆に電極を正、母材を負極とした場合である。電子は母材から電極に流れ電極の先端は著しく加熱され、タンクステンなどの高融点金属で比較的電流密度を小さくしても電極は過熱され、制限電流を越えるとその先端は球状となり消耗して、溶接部を汚すことが多い。この場合電極の電流容量は正極性の約1/9に減少し直径の太いものが必要となる。したがって第4図(c)のように比較的幅広のビードとなり溶込みは浅く薄物の溶接に適す。この極性はアルミニウムその他(マグネシウム、ベリリウム銅等)のように溶接を防害する酸化膜が存在してもこれを破壊し、溶接できる固有の性質が現われる。普通これを清浄作用(Cleaning Action)といい、アルミニウムの溶接には見逃せない重要な性質である。その機構として諸説が上げられ、電離したガスの陽イオンが陰極降下の電圧に加速され負極の母材表面に吸引撃突する結果いわゆる陽イオンのBonbardmentを生じ、あたかもサンドブラストしたように表面の酸化膜が破壊される。この現象はヘリウムでは余り著しくなく、原子量の約10倍重いアルゴンでよく認められるということで一般に支持されている。また Cathode Spatteringといわれる現象で、母材の表面から電極に向って電子が放出される時、表面の酸化物を破壊するという提言もある。さらにガスイオン同様金属イオンが酸化膜を破壊する説、あるいは酸化膜の電解が行われるという説、など諸説まちまちである。いずれにしてもこの極性でアルゴンを使って溶接すると写真3のようにビードに接した両側(写真是片側を示し、滑らかな白色にみえる幅0.5~1.0mm位の帯状)に光沢あるアルミニウムの部分とその外側にサンドブラストを行ったようにみえる白色の肌荒れ部分(写真で薄黒い部分)が出来る。また溶接中その溶融池の進行方向の端にも認められ、母材が溶融する直前にアーカを消して溶融池のできるところを観察すれば写真4のようにな



写真3 ビード側の縁辺に残ったクリーニング使用と肌荒れ、×5

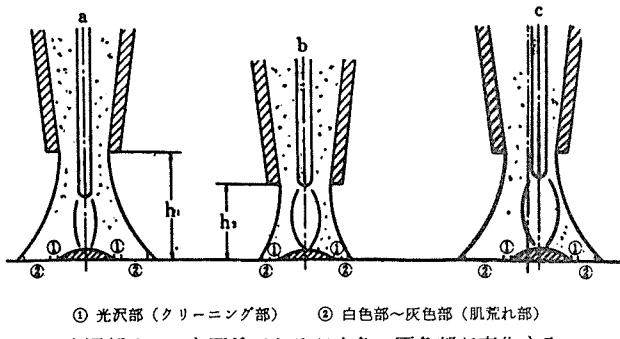


中央の黒い部分はクリーニング作用により現れた光沢のあるアルミニウム

写真4 板面がアーカで溶融する直前のアーカ跡、×2

の中央は光輝（黒色）部分で占められ、それを囲んで白色域の発生が認められる。

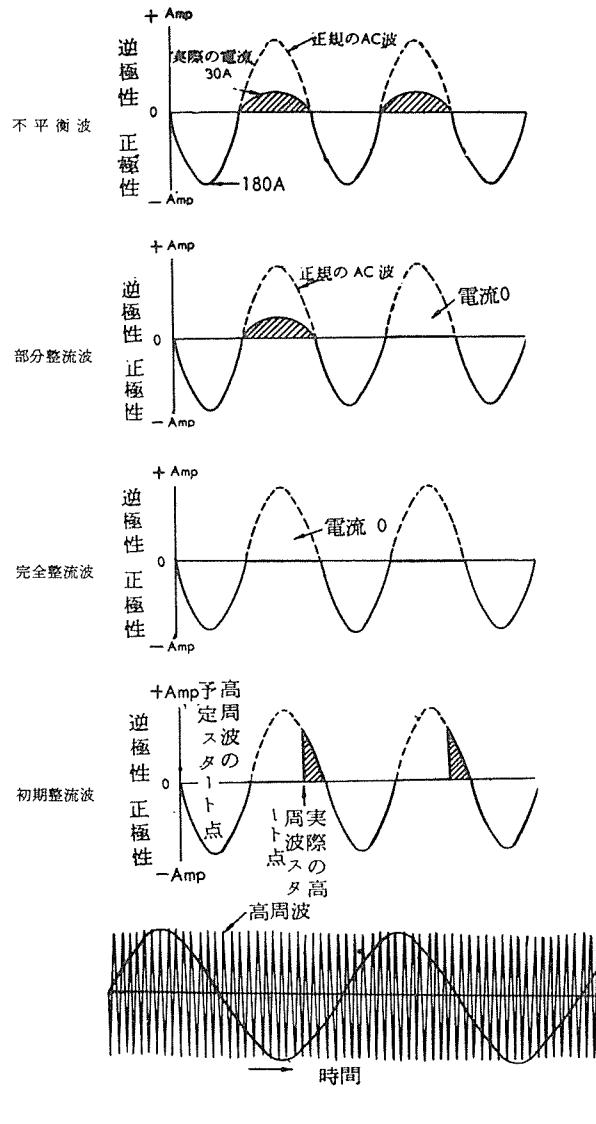
簡単な実験によってこれを観察すると第5図(a)のようにビードとこの肌荒れゾーンの間で盛上っているビードのスソに光沢ある細い部分がビードと平行に走り、その外側に肌荒れゾーンがやはりビードと平行にある。もちろんビードの左右対称にある。この肌荒れゾーンは清浄作用の2次的作用によって生じたものと思われるが溶接中アルゴンガスの流量を減らすと狭くなり、ガスカップの先端を母材に近づけると(b)のように狭くなる。またタングステン電極をカップの中心から偏心させると(c)のように偏心側のゾーンは狭く反対側が広くなる。もちろんアーカーを点弧しないでアルゴンガスだけ吹かせても母材の表面にはなんら変化を認めないからこのクリーニング作用は帶電したアルゴンガスの粒子が母材に作用する反応であることは明らか⁽¹⁰⁾である。アルミニウムをノーフラックスで溶接しても健全な溶接の出来るのはこの清浄作用のあるため溶加材を電極とするMIG溶接はこの極性を使用する。



第5図 クリーニング使用域の変移

交流: 交流では直流正極性と逆極性が電流の半波ごとに行われ、それぞれの特性が交互に現われる。すなわち正極性時は母材を強く加熱し、逆極性時に酸化膜を溶接可能な程度に破壊して第4図(b)に示したようにビードの幅、溶込みが両極性の中間となり、タングステンの消耗も著しくない。しかしタングステンとアルミニウムでは電子放射能が著しく違うため正極性の半波期間に陰極降下が小さくアーカー電流が大きく、逆極性の半波期間は大きい陰極降下が必要としてアーカー電流は小さい。このように両者の電圧降下に伴い電流はそれに応じた波形となって完全な交流に直流が重畠した不平衡形となる。したがってこの直流分で変圧器の鉄心は磁気的に偏磁され1次側に大きい電流が流れるから、もし普通の溶接機をタングステンアーカー(TIG)溶接用に使用する時はその溶接機の最大電流の約70%以下で使用しないと変圧器を焼損することがある。⁽¹¹⁾ また両極性の変換時、正極性から逆極性に移る時電流は零となりそれから電流の小さい半波が続き、極端な場合逆極性時の半波が出ないで完全な整流状態となってクリーニング作用も起こらず溶接が出来ないことがある。そのため開路電圧を高

圧とすることも考えられるが、安全上60~100Vに止め、アーカーの安定とスタートしやすくする目的で高周波(100KC~2MC, 3000~4000V)を重畠する。しかし高周波を重畠してもタイミングが悪いと不完全半波となってやはりアーカーは断続する。この不平衡型に対して2次側に抵抗やコンデンサーを直列に入れ直流を除去した平衡型のものもあるが、コンデンサーを数多く使用するため設備的に高価となり、若干の不balanceを残したものが多い。これらの関係を示すと第6図となる。高周波によれば電極を母材に接近



平衡したアーカー溶接機による平衡波

第6図 交流波形の整流状況

するだけで点弧（ノータッチスタート）するが不平衡型は溶接中もアーカーの断続を防ぐため高周波を流す必要があり、平衡型はスタート時だけ溶接中は高周波を流さない。したがって後者には常時高周波を与えるために生ずる電波障害（附近のラジオやテレビの音や画面を乱す）の問題がなく、さらにビードが均一で溶込みも大きいという報告もある。結局アルミニウムおよびその合金のTIG溶接には高周波を重畠した平衡型か不平衡型の交流（A.C.H.Fという）

式が一般に使われる。

以上のように極性により種々の性質がちがうので母材の種類によってその極性を変えることになる。第3表に材料別の極性を表示した。

第3表 材料の種類による極性とガスの適否
(TIG溶接)

材 料	交 流 (A.C.H.F.)	直 流		適当なガス
		正極性	逆 極 性	
アルミニウム延伸材	優	不可	良 (2.3mm以下不可)	A
アルミニウム鉛物	優	不可	不可	A
マグネシウム延伸材	優	不可	良 (3.2mm以下不可)	A, He
マグネシウム鉛物	優	不可	良	A, He
ス テン レ ス 鋼	良 (0.8~3.2mm不可)	優	不可	A, He
低 炭 素 鋼	良 (0.8~3.2mm不可)	優	不可	A, He
高 炭 素 鋼	良	優	不可	A, He
鉄	良	優	不可	A, He
無 酸 素 銅	不可	優	不可	A, He
黄 銅 (70~30)	良	優	不可	A
モ ネ ル	良	優	不可	A, He
銀	良	良	不可	A, He

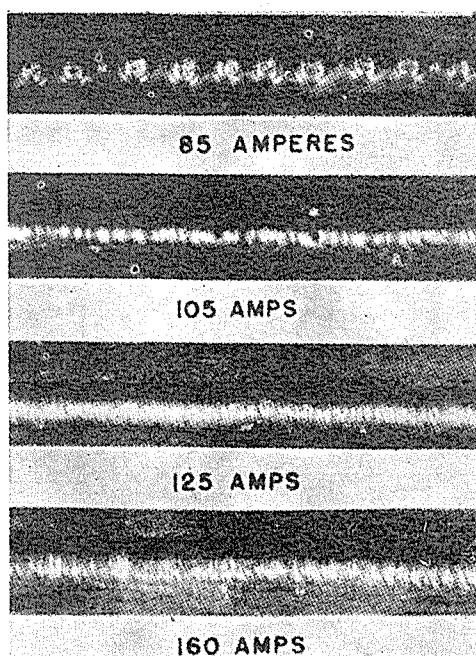
7. アルゴンメタルアーク(MIG)の特性

一般に裸棒による鋼材の普通のアーク溶接は溶着した金属成分の不均一と、アークの不安定のため初期では余り好ましい方法でなかった。その原因是空気中の酸素、窒素と溶湯が反応して溶着金属に問題を残し、アークの不安定は電極から母材へ移行する金属粒子が大きくなり比較的長時間ショートするためであった。しかしこの欠点は外界とシャーブ断するフラックスをもつ被覆電極棒の出現により改善され、良質の溶着金属が得られるばかりでなく、被覆フラックス中に安定剤を取り入れてアークの安定をはかるに成功したことから現在のアーク溶接の発展を導いた。

アルゴンメタルアーク溶接では外界とのシャーブ断にアルゴンを使い、しかもこれがガス溶接のフラックスの役目を果し、電極棒は裸のアルミニウムおよびその合金であるからアークの安定はこの溶接方法の基本的特質である。普通直流逆極性を使用しアークの発生と共に溶着金属は電極となる心線の先端から細粒となって母材に移行するが電流密度が小さいとアークは不規則に動搖し、粒子は肉眼でも観察されるほど大きく健全な溶接はできない。しかし電流密度がある程度大きくなると急激に細粒の飛沫に変り一定時間における融滴数は増加し、アークが安定化して健全な溶接が行える。この細粒に変る最小電流密度は普通の被覆棒を使うアーク電流(50~80A、溶接棒は3/32"径使用、以下同

じ) はもちろんタングステンアーク (150~400A) に比べても大きい電流 (200~400A) が必要である。

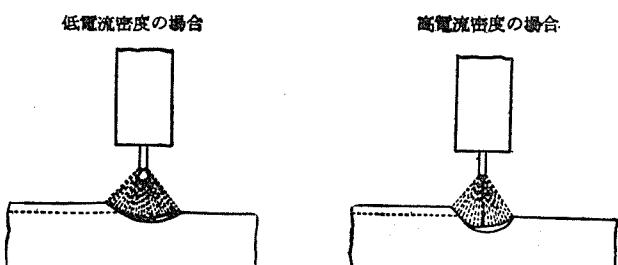
すなわち第7図のように低電流密度では電極先端に溶融球ができる、これが次第に大きくなり重力で母材の溶融池に落ちこれを断続する。この間溶球が電極先端で不規則に運動するため母材には大きいクレータが出来る。これに対し高電流密度の場合は溶融金属が細粒の電極が先端からクレータの中心に逐次発射され、クレータは前者よりはるかに小さくなる。高速カメラで撮影した写真によれば電極の心線は逐次連続して溶融、細粒の飛沫となって母材に移行することを示している。⁽¹²⁾ 電流密度が溶融金属の移行に大きく影響することは写真5の母材の表面に出来たビードの写真で説明される。85A (電流密度27000A/in²) ではアークが不安定で断続的にビード面に大球の溶融金属が溶着し、各球の溶着ごとにアークが切れて再スタートを必要としたが105A (34000A/in²) ではほとんど連続し溶球は小さいがいぜんアークは不安定でビード幅も均一でない。しかし125A (40000A/in²) でアークは安定しビードも連続し、さらに160A (52000A/in²) ではアークが全く安定してビードも均一となる。



アルゴンガス、心線1/16"径およびアークの移動速度15in/min

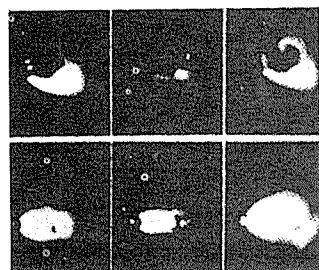
写真5 溶着金属の電流密度による影響

この写真では電流密度の増加に伴う溶融金属の細粒になる点が明かでないが、一般に健全な溶接を行うには、40000~70000A/in² の高電流密度を必要とする。しかし電流密度が過大になるとアンダーカットを生じまたビード面を汚すため上の範囲が適当とされている。このように高電流密度で使用すると種々な姿勢で溶接ができる、上向き溶接も容易である。一般に心線の端部で溶融したものは表面張力で心線上に粘着するから母材への移行は一度蒸発したもののが



第7図 電流密度の金属移行におよぼす影響

母材上に凝固するか、あるいはある程度大きくなつてから重力で落下移行すると理解されるが Muller 等はこの場合高電流密度による強力な電磁作用でアークの Stiffness が溶融粒子を電極から pinch off して母材に向つて引きつけ、極端な例では 500A で 150 ダインあり、重力を無視



左に逆極性、右は正極性

写真6-1 溶融金属の移行



写真6-2 正極性時の溶融金属の挙動

6-2 の溶融粒子が心線の先端で球状に成長し、その形状から母材と反対方向に押し返されていることや、また一つの球がシールドガスの外に飛出していることからも判断される。すなわち正極性では溶融粒子が心線から離れても母材の陽極反撥作用で溶融池から遠くに押され満足な溶接ができる⁽¹³⁾。これらのことからもアルゴンメタルアーク溶接 (MIG) では逆極性が使われるわけである。溶融金属は飛散りや蒸発などで若干失われ残りが溶着するが、第4表にその1例を示したようにアルゴン中では約98%の効率を示し、母材に移行した溶着金属の化学成分は心線とほとんど変らず移行中の損失がない。この中でチタニウムのような反応しやすい成分でもよく移行し、ほとんど変わることはない他のアーク溶接では得られない特長である。したがって母材と溶着金属との化学成分の相違による熱処理性の問題、化学工業、船舶などに使われるタンク類の溶接部の腐食の問題、また高温で使用する溶接構造物の熱膨脹の問題なども一般的のアーク溶接に比べてはるかに少なくなる。

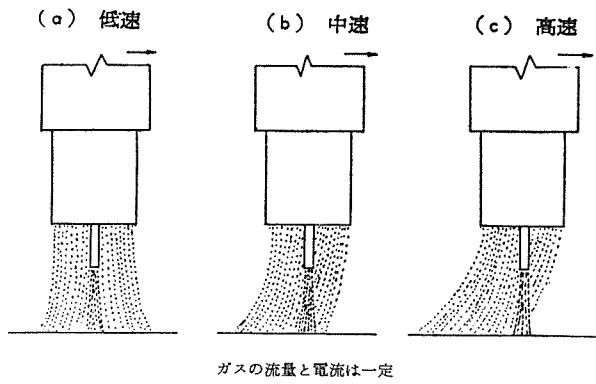
次にアルゴン量を一定とした時電極の移動速度が遅いと、第8図(a)のようにガスの噴射形状はアークや溶融池の周囲を完全に覆い、その速度が増加するにしたがってガスは空気の抵抗によって移動方向と反対に押され(b)、さらに高速となれば移動方向と反対の後方に引張られた形状となり(c)、アークの先端が母材面で空気中に露出する。写真7

第4表 電極と溶着金属の化学成分の比較

合金を種類	成分	化 学 成 分 (%)												
		C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Ti	Pb	Sn	Al	cu	Fe
アルミニウム合金 4043														
心 線	...	0.02	4.57	...	...	...	...	...	...	...	...	95.37	0.05	0.40
溶 着 金 属	...	0.02	4.45	...	...	...	...	...	...	...	...	95.35	0.10	0.43
ステンレス鋼 タイプ 321														
心 線	0.079	1.43	0.58	0.061	0.019	10.52	18.58	...	0.95	...	...	...	...	...
溶 着 金 属	0.085	1.44	0.63	0.012	0.016	10.52	18.78	...	0.85	...	...	...	...	...
鋼、1 %Mn														
心 線	0.13	1.13	0.16	0.016	0.022	...	...	0.18	...	...	...	...	...	...
溶 着 金 屬	0.09	1.07	0.18	0.017	0.023	...	...	0.19	...	...	...	...	...	...
ニッケル No.61														
心 線	0.04	...	0.59	0.005	...	95.08	...	...	2.32	...	...	0.90	...	0.57
溶 着 金 屬	0.04	...	0.62	0.005	...	95.24	...	...	2.36	...	...	0.96	...	0.63
リ ン														
心 線	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3.66	5.24	...	Bal	0.05
溶 着 金 屬	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3.57	4.97	...	Bal	0.04

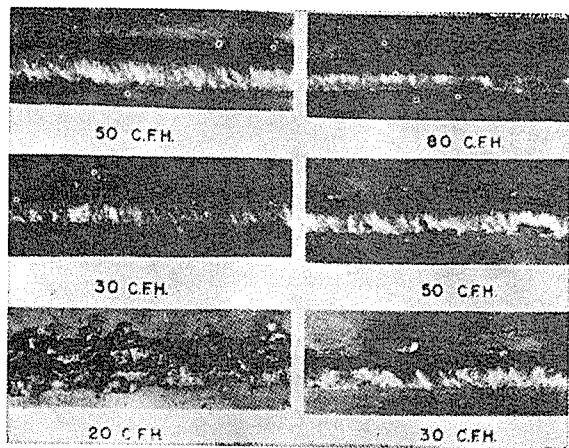
して上向きにも飛び、さらにアルゴンの高速噴射のエネルギーが溶融粒子を加速すると述べている。⁽⁶⁾ またこのような粒子移行の状況を正極性の場合と比較すると写真6-1となり、両者の違いが明らかである。これも高速写真で逆極性ではアーク中を細球が移行するのに対し、正極性では大粒が心線の先端から自主的に滴下してない。この状況は写真

は前掲 Muller 等の実験結果を示した写真であるが、電極の移動速度が 12in/min の場合、アルゴン流量が 20ft³/hr では溶着金属の大部分がスパッターするだけでシールドは無効であるが、30ft³/hr にすると前より良好となり、50ft/hr でほぼ完全なシールドが得られる。しかし移動速度を前の約 2 倍 (25in/min) にすると 30ft³/hr でも好ま



第8図 溶接速度のガスシールドによよぼす影響

しくなく、 $80\text{ft}^3/\text{hr}$ で有効なシールドが得られる。これをX線で観察してもシールドが不完全な場合は溶接部が多孔性を示し完全にシールドしたものは健全である。したがってアルゴン量は前記したようにアーケをシールドするだけでは十分ではなく、実際は溶接速度に伴う空気抵抗に打勝つ流量が必要となり、また溶接姿勢や周囲の条件で種々変るため個々の場合について予め試験して良好な条件を見出すことが必要となる。



アルゴン、心線 $4043, 3/32\text{in}$ 経、23V-220A
左=12 in/min, 右=25 in/min—
写真7 アークの移動速度とビードの状況

一般にアーケ電圧はアーケ長にはほぼ比例し、電極心線の消耗率（溶融速度）は電圧の増加によって減少し電流の増加と共に増加する。この関係はいざれもほとんど直線的に変化するからこの特性は自動的にアーケを制御することになる。たとえば写真8のような直流溶接機の電圧電流特性のものを使うと電圧が少しでも変われば電流も変化する。この特性に心線の消耗率をプロットすると比較的狭い範囲に消耗率の広い範囲が收まり、心線の供給が一定である限り何等かの原因でアーケ長が短くなるとアーケ電圧が低下し、電流が増加するため心線の消耗率は直ちに増大してアーケ長は恢復し、はじめの溶接条件に戻る。もちろんこの溶接では供給速度すなわち溶融速度が速いことが根本条件である。このようにアーケ電圧の自動調整装置を使わなくてもアーケおよび電源の各特性によって自己制御するた

め、たとえ手動操作の場合でも電気的には自動溶接が行われるのでこれを半自動溶接と呼称する。これに対し特殊な設備を装着し心線を溶接方向と直角に自動的に多少反覆移動するようなウィーピングを与えて相当厚肉のものを溶接する全自动溶接装置もある。

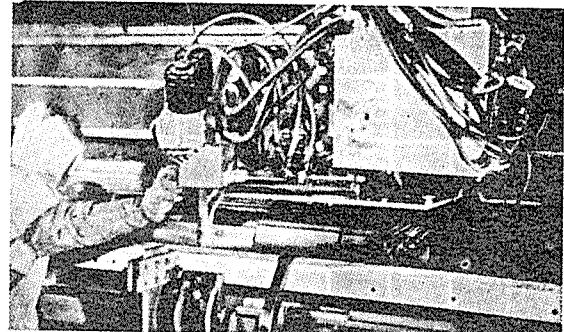


写真8 全自動ミグ溶接装置による作業の状況

一般に心線の供給速度と消耗率が完全に一致すれば、常に一定長のアーケを維持できるが、単に一定速度で心線を供給しても電気的あるいは機械的原因でその平衡が破れれば母材とショートもしくはアーケが切れる。これを防ぐため従来のアーケ溶接ではアーケ電圧の自動制御装置が使われた。すなわち供給速度を一定に保って溶融速度を加減するという方法であるが実用的には困難視されていたので、その方法がこれで初めて実現したわけである。これがMIG

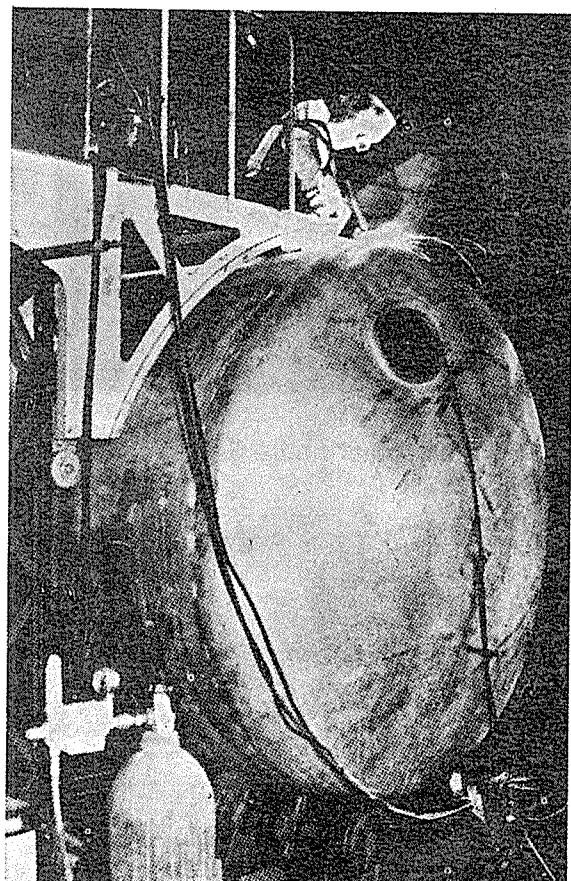


写真9 MIGによるビールタンクの溶接作業

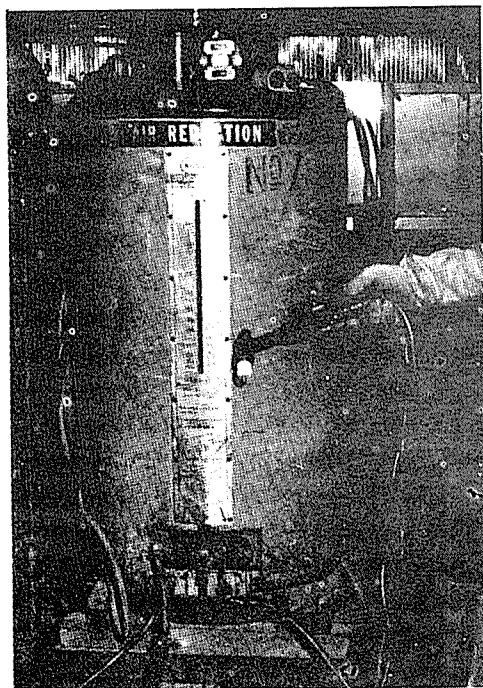
溶接の特長である。最近はさらに好ましい定電圧特性あるいは上昇特性をもつ電源がこの溶接に使われている。写真9は厚さ6mmの純度99.7%のアルミニウム板を使ってビール貯蔵槽(272hl)を半自動式で溶接している状況を示したが、アーカーの下でタンクを静かに回転するだけで健全な溶接が行える。この場合溶接線がガンの真下に正しくあればローラに乗せたタンクの溶接線から一定距離に固定した溶接ガンは一度スタートすれば一周するまで連続して溶接し、溶接士はその進行状況を監視するだけでよい。

8. アルゴンアーク溶接装置

各種装置の中で最も一般化しているものを次に挙げる。

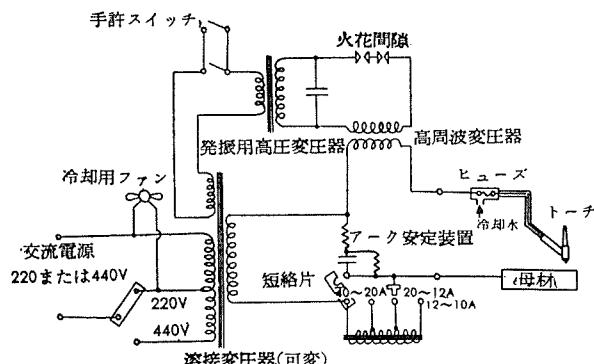
8・1 TIG溶接の手動装置

アルミニウムおよびその合金の溶接用として現在最も普及している溶接装置で溶接機、トーチおよび制御装置から構成される。



29KVA, 220V, 400AAirco社製バンブルビー

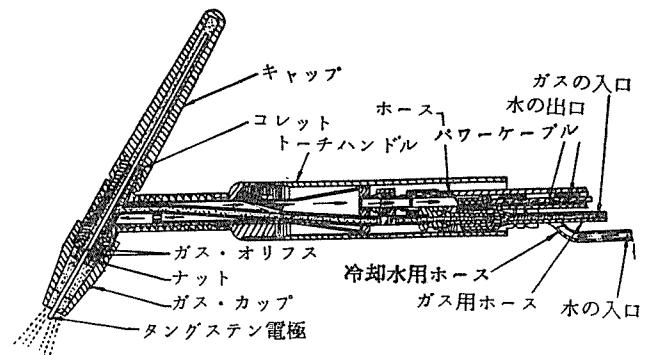
写真10 TIG溶接機とトーチ



第9図 不平衡TIG溶接機の結線図

溶接機： 電源は高周波発生装置を備えた交流変圧器で普通2次側に直列抵抗を入れるが、平衡型では1A当り $100\mu F$ の小型コンデンサーを直列に多数挿入する。電流の調節は変圧器の固定した2次コイルに対し1次コイルを移動するか、2次側に挿入したリアクターを調整する方法などがあり、リモートコントロールができる。容量は15~50KVAの範囲で電源電圧200~220V 溶接電流は最大300~500Aのものが多く、開路端子電圧は70~80Vである。写真10は米国エアコ社平衡型溶接機の外観とそのトーチ(HW-4型自重約450g)をまた第9図に不平衡型TIG溶接機の基本的結線図を示す。

トーチ： トーチはタングステン電極を保持し、アルゴンを溶接部に供給するもので、これを手に持ちながら溶接をおこなう。形状は電流容量により大小様々なものがあり、第10図にその代表的な構造を示した。トーチの柄とタングステンキヤップは電気的に絶縁を必要とするためプラスチック製であるが、柄の尾端からアルゴン、冷却用水および溶接電流を通すケーブル用のビニールパイプが3本出ている。トーチは手で操作するためできるだけ軽量なのが望ましく、排水はケーブル用のパイプを併用するため断面の比較的小さいケーブルが使われる。これらのパイプは長さ3~4mのものが多く、ケーブルを入れたパイプの他端はユニクターに接続し、ここで太い電線と冷却水に分離する。ガスパイプは流量計、減圧弁および圧力計を経てアルゴン



第10図 TIG溶接のトーチの構造

ポンベに連絡される。トーチ先端のガスカップは耐熱性を必要とするためセラミック製のものが多く、時にはこの部分を水冷した金属性のものを使用する。セラミック製のものは破損し易く、また使用中次第に焼損するので品質の良好なものを選び、とくに高周波に対する絶縁性が必要である。このカップは溶接電流に応じて内口径の違うものを取換えるが、その取付はネジによる。これは正しく締付ないと、内部を流れるアルゴンに吸引されて、隙間から外部の空気を取り入れ、健全な溶接部が得られない。またカップの内面に導かれたガスは溶接部に噴出するから、その乱流を防ぐためにもカップは先端から少くとも10mm位内面を円筒状に平行させるか、多少先端が開口する程度とし、ガスが平行に流出するようにその形状を予め吟味することが必要である。

電極材としては純タングステン、トリウムタングステンおよびジルコニウムタングステンなどがあり、後ものほど好ましい。現在では多く純タングステンを使用する。しかし純タングステンは後の者にくらべて動作温度が高いのでスパッタリングによる消耗が多く、また母材に触れて電極のコンタミネーションを生じ、これを除去するため先端を時々研磨するので比較的消耗が多い欠点がある。トリウムやジルコニウムを含むタングステン合金は動作温度が比較的低くても電子放射能が大きいため同径でもトーチの電流容量が大きくなり、コンタミネーションのおそれがない。これを分類すると次のようになる。

(1) 純タングステン——交流溶接ではアーカーが安定しコンタミネーションが少なく、先端は常にきれいな半球状を作る。

(2) トリウムタングステン——アーカーを容易にスタートし、AC, DC いずれでもコンタミネーションが少ない。それ自身溶けにくく溶接中母材にタッチしても母材を汚さない。またトリウムの添加により電流容量が大きく、母材にねばりつくことや、凝固する傾向が少ない。

(3) デルコニウムタングステン——母材がタングステンによる汚れを絶対にきらうような場合に適し、先端の半球状の保持により AC 溶接の優秀性とコンタミネーションに対する抵抗が大きい。これらの電極の外周仕上げは引抜きのままのものとセンターレスグラインダーで仕上げたものとがあるが、使用上の優劣は決めがたい。しかし適当なグレンサイズで全長均一な直径をもち、表面を十分洗滌したものが好ましい。このタングステン電極はガスの噴出孔をもったコレットチャックによって固定する。トーチの構造上長さが約50mm位になるとチャックの締代が少く、使

いにくいので出来るだけ長いもの (75mm以上) が経済的である。その意味でタングステンキャップは長くしてある。写真10のガスカップの中央に光って見えるのがタングステン電極の先端で、カップの先端から電極径の約 0.5~1 倍突出した状態で使用する。電極は溶接電流によってその直径を変え 0.6~6 mm の範囲で 7~8 種類ある。タングステンの直径とガスカップの口径を組合せた諸例が示されている。(後出)。

制御装置：ボンベ中のアルゴンの圧力は最高 150 は気圧 (15°C) で、約 6.5m³(15°C) 充填してある。使用時の圧力は 1 気圧以下であるから、普通のガス溶接用減圧弁を使わず一般には特殊な 2 段減圧弁により使用圧力を調整する。そのために写真11の圧力調整器を使用し、これには使用中のガス量を直接読取る流量計 (1/minかft³/h) が取付けてある。

溶接の開始前予めガスを流し、終了時にガスを停止するガスセーバーがあり、手動もしくは電気的に操作する。元来タングステンの先端はアーカーが切れて暫く白熱状態にあるため、アーカーの停止と同時にアルゴンの供給を絶つとすぐ酸化し、タングステンを消耗する原因となるばかりでなく、つぎの溶接時に母材の表面に飛散して溶接部のコンタミネーションの原因となる。そのためアーカーの停止後タングステンが酸化しない温度までアルゴンを放出させることが必要で、タイマーとソレノイドバルブを組合せアーカーの停止と同時に電極の直径や電流値により 0~60 秒の範囲で自動的に作動するガスセーバーが使われる。冷却水についてもソレノイドバルブによって溶接開始とともに通水し、中止によって停止する制御装置があり、また断水や水量不足の場合にトーチの過熱やケーブルの温度上昇を避ける目的でリレーを使って溶接回路を開き作業を継続出来ないようにする保護装置もある。

この溶接機でアルミニウムを溶接する場合、溶接可能な最小の肉厚は経験的には 0.6mm 位まで出来るが、実際の作業としては約 1.2mm である。しかし肉厚の最大はバス回数を増せばいくらでも厚いものが出来その限界というものはないが、作業能率が悪く不経済となるから厚肉ものの溶接はつぎの MIG 溶接を使用する。

6・2 TIG溶接の自動装置

手溶接にたいして機械溶接ともいい、トーチを台車に乗せて溶接部の上を静かに走らせる。またこの逆にトーチを固定し母材を移動させることがある。前者は直線状の継手に、後者は円状の継手に適用する例である。溶加材（溶接棒）は独立した装置で、これも自動的に送給するがトーチと母材の相対速度は電気的に関連していないため、両者を同調させるのに予備試験を行い送給条件を決めておく必要がある。しかし溶加材を使わず溶接するような場合、たとえば端部の合せ溶接や板製パイプの溶接などには極めて高能率を発揮する。写真12はこの目的で作られたエアコ社製の自動ヘリウェルドヘッドと呼ばれる装置である。電源は

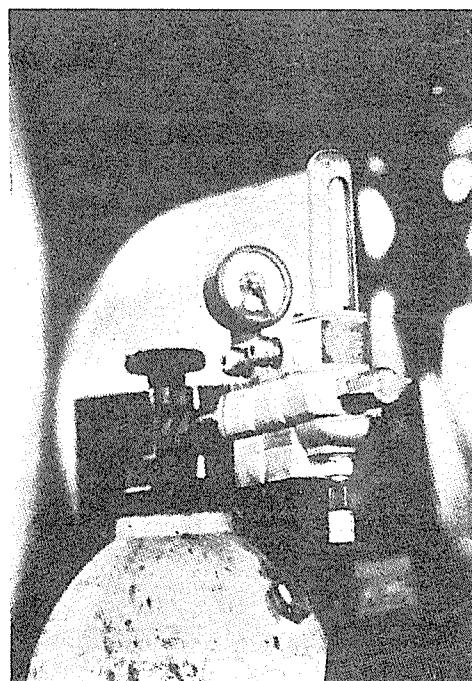


写真11 アルゴンアーカー溶接用のガス圧力調整器と流量計

TIG溶接のものを使用する。

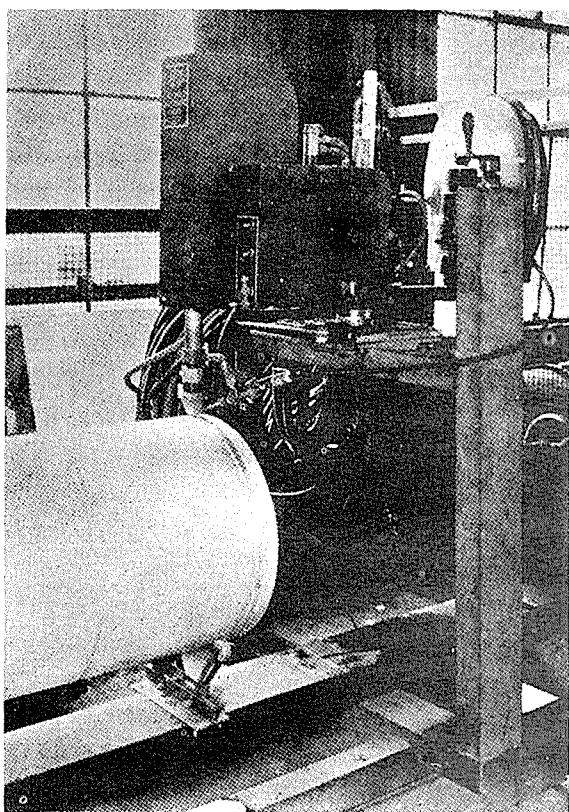
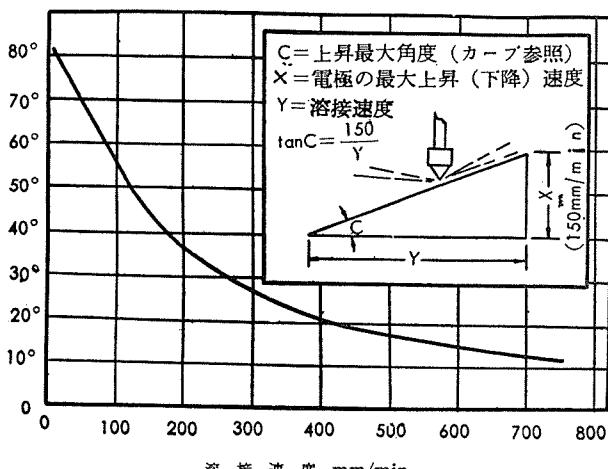


写真12 自動TIG溶接装置

またこのトーチは自動的に上、下に移動する。これはアーケ長の変動によるアーケ電圧の変化をサイラトロンを使って直流モーターを精細に動作し、即時トーチを上下しアーケ長をつねに一定とする電極制御方式をもつ装置である。このようなものでは溶接速度が余り大きいとトーチの上下動作がそれにともなわないという限界がある。その1例を第11図に示したが、トーチの最大上昇（或は下降）距離は140mm、その速度は最大 250mm/min である。写真12で溶加材は線をリールに巻いて自動的に交流モーターで

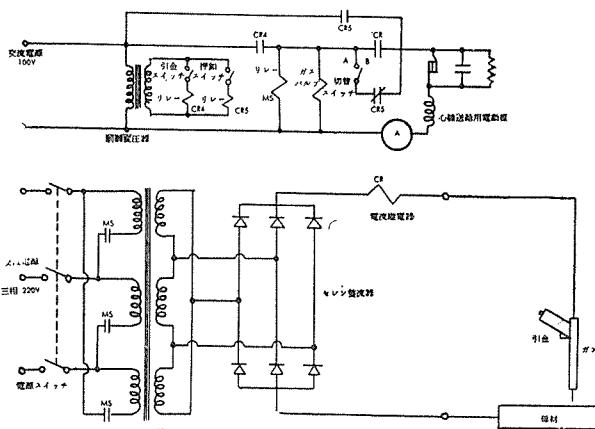


第11図 自動TIG溶接装置の溶接速度と最大上昇（下降）限

溶接部に送る機構である。この装置によると、上の限界までオートツある母材に対し自動的に溶接が出来る。

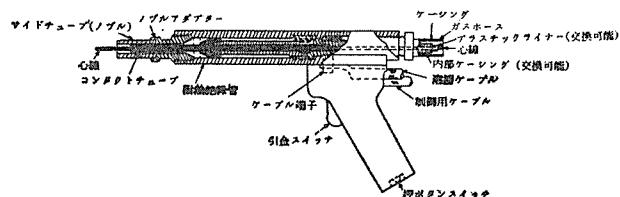
8・3 半自動MIG溶接装置

この方法はタンクステン電極のかわりに溶加材を線状（心線という）にして定速度でガンに供給する。この心線の先端と母材の間にアーケを発生させ、その熱で電極自体の先端が溶融、細粒の飛沫となって母材に逐次移行しながら周囲から噴出するアルゴン霧囲気中で溶接を行う方法である。したがって下向はもちろん横あるいは上向溶接が可能である。この操作を示す結線図の1例を第12図に示した。これは定電圧特性をもつCP型溶接機を使用し、主要な構成はつぎの3種に大別される。



第12図 半自動MIG溶接装置の結線図

ガン：ガンはピストル型でメーカーにより多少違うがエアコマティックガン（自重約800g）の概要を第13図に示した。この引金を引けばまずガスがノズル先端から流れ、心線の先を母材にタッチすればアーケを発生、溶接電流が流れ同時に心線供給用整流子モーターが回転して定速度で心線を繰り出しアーケ長を絶えず一定に保持しながら溶接が行われる。溶接休止時に手元の押ボタンを押せば心線だけが送



第13図 半自動MIG溶接用ガンの内部構造

られ、その先端の位置を調節できる。ヘリアーケのトーチと同様ガスの尾端に溶接電流を流すケーブルと電源、ガスおよびモータの開閉をおこなう制御用リード線が連結され、ガスと心線の通るケーシングはゴムホースに包まれ、内部のライナで移動する心線と接触する部分は全部ナイロン製とし、アルミニウム線がこれに接触して表面を傷つけないよう考慮してある。しかしアルミニウム以外の硬い心線の場合は金属製のケーシング（含ライナ）に換えることが出来る。このライナは心線を曲折なく直線としてガ

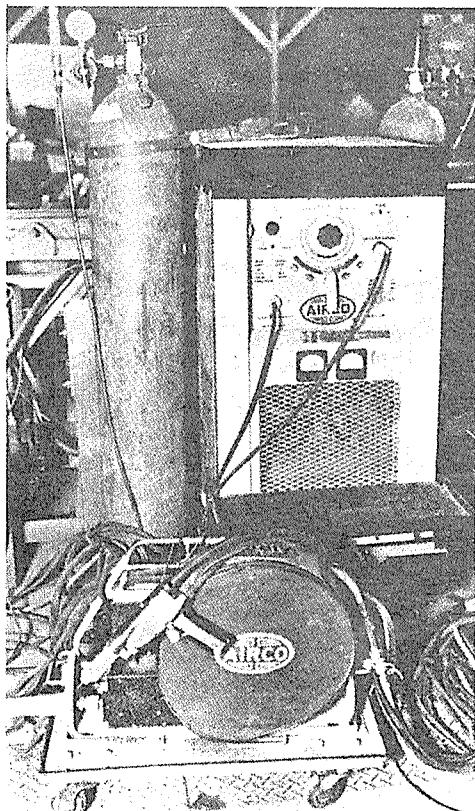
ンに供給するガイドであるが、同時にケーシング内の間隙をとおしてアルゴンの輸送管をかねている。ケーシングの長さは一般に3~4mで一方はガンに他端は制御装置に連結され冷却水は容量の大きいもの以外使わない。

その容量は型式の大小に応じ最大電流300~500Aのものがある。心線は直径1.19, 1.59および2.38mmのものを使い、コントラクトチューブは心線の径に応じて取りかえる。これを使用している状況を写真13に示す。



写真13 半自動MIG溶接の作業状況

心線供給装置：これは心線用リールを持ち溶接機とガンのあいだにあって、ガスの開閉をつかさどるソレノイドバ

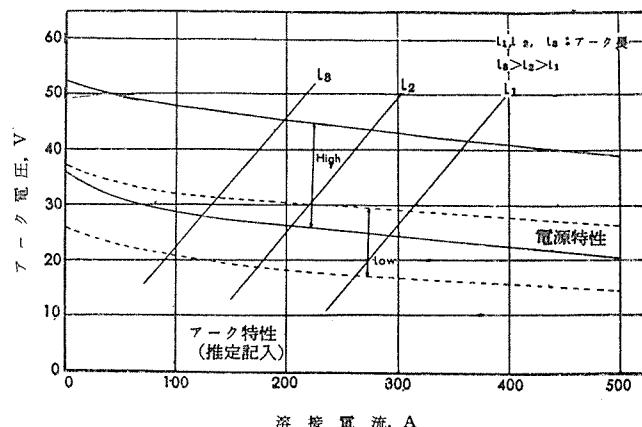


30KVA, 500A. エアコ社製
写真14 半自動MIG溶接装置

ルプと心線を一定速度でケーシングに送り出す整流子モータに駆動されるロールがあり、その速度を調整することができる。写真14の前部にこの制御装置を示してある。

電源：電源はアルミニウムの場合直流逆極性として使用する。従来は垂下特性（電流の増加にたいして電圧が低下する）をもつ直流発電機を使用していたが、最近は入力電源として220V、3相交流変圧器とセレン整流器を組合せた定電圧特性（電流の変化に対して電圧がほとんど変わらない）をもつ第14図に示したCP型電源の溶接機（1例、26KVA、500A）が多く使われる。この方がその本質的特長以外に作業中モーターの噪音にわずらわされることなく、しかも保持が簡単である。電源電圧はタップの切替（HighとLowに）またその範囲の細い調整はダイヤルにより行う。

溶接電流は心線の送給速度を変えることにより調整する。すなわち任意の速度に対してアーカ電圧を一定とするには電流が送給速度に等しい溶融速度を与えるような値に移行し、送給を速くすれば電流は増加する。この方式によればアーカ電圧はほとんど一定に維持され、burn backがない。その理由は電流が増して溶融速度が増加し、あるいは心線の遅れや供給不足でその出方が遅れると時間の経過と共にアーカ長が急に伸び、従来の垂下特性電源では電圧が上昇してガンのガイドチューブ（一般には銅製）に心線が溶着するが、CP方式では無負荷電圧が低いためそこまで心線が溶けない内にアーカが消えるからである。スタートは心線の先で母材をスクラッチするだけで数千アンペアの電流が瞬時に流れ、極めて容易にアーカを発生し、もし誤って心線の先端が母材に接触、溶着した場合でもこの大電流で心線を溶断しあきシングが避けられる。しかし定電圧直流溶接機の電源特性の実例（CP-500型）にアーカ特性の傾向を記入した第14図に示されるように両特性は交叉するので電流によりアーカ長は変化し、たとえ定電圧でもアーカ長は一定でない。



第14図 定電圧直流アーカ溶接機(CP型)の電源特性とアーカ特性

尚このMIG溶接は、TIG溶接で行えるよう薄板には

不適当で、最低約3mmとされている。しかし厚い方には際限なく高速度で溶接が行えるので溶接費が著しく低下する特長がある。最近 Short Arc 溶接と呼称し、MIG 溶接と同じ方式ではあるが、MIG 溶接より低電圧、低電流(14~20V, 30~125A)で細い心線(0.7~1.2mm ϕ)を使用し、各種金属(アルミニウム、炭素鋼、ステンレス鋼、銅)の薄物(0.75~2.5mm t 、アルミニウムは最小1mm t)を高速度(2500mm/min)で手動あるいは自動で溶接する新方式が米国で開発され、すでに実用しているが、わが国ではまだ余り知られていない。⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾

9. アルミニウムおよびその合金の溶接性

溶接する立場からみてアルミニウムやその合金には次のような共通した性質があげられる。

(1) 溶融熱——アルミニウムと他の2、3の金属材料の溶融熱を示すと第5表となり、明らかにアルミニウムを溶融するに必要な全熱量はその融点の比較的低いにもかかわらず、融点の高い純銅の全溶融熱より多量で、さらに高融点の鋼材に比べても約20%少ない程度である。その理由はアルミニウムの比熱と溶融潜熱が他のものより著しく大きいことによる。

(2) 熱伝導度——第5表に示したアルミニウムの熱伝導度は純銅より低いが鋼材よりはるかに高いため、供給熱は速かに周囲へ逃げて溶接局部の温度上昇が遅い。これが前項と共に鋼材の溶接に比べ、アルミニウムのガス溶接では比較的の大きい火口を必要とし、抵抗溶接では電導度の良いことも手伝って強大な溶接電流を必要とする。

(3) 熱膨脹——アルミニウムの熱膨脹係数は 23.5×10^{-6} (20~100°C)で鋼材の 11.7×10^{-6} (SAE1020)に対し約2倍ある。従って溶接時の膨脹が大きく、またこれが溶接後不均一に収縮する結果、溶接部の周辺にヒズミが出来やすく、さらに高温における引張強さが低いため溶接部やその附近にキレツが起きることがある。

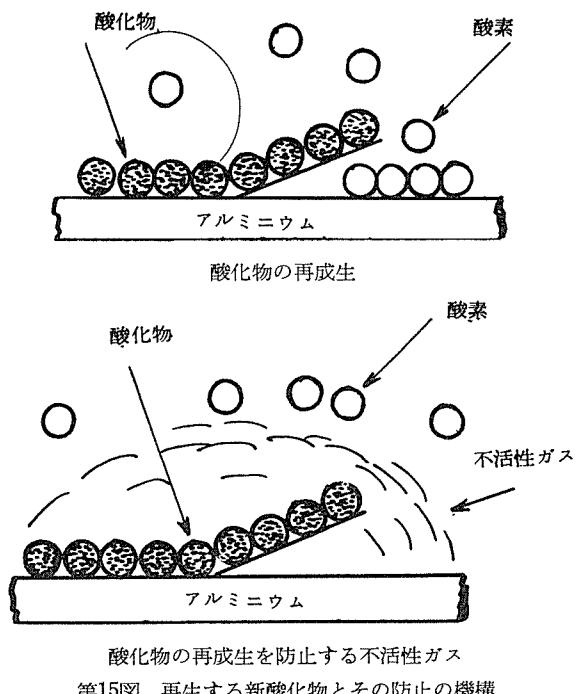
(4) 耐酸化性——アルミニウムは非常に酸化しやすく、室温でも空気中の酸素と反応して硬く薄いガラス状の酸化アルミニウムをその表面に生成する。この酸化アルミニウム(Al_2O_3 , $Al_2O_3 \cdot H_2O$ あるいは $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$)の融点は2,768°Cといわれるから、このような酸化膜で覆われた母材は溶接時にアルミニウム相互の融合を妨げる。しかもこの酸化物の比重(3.75~4.0)はアルミニウム(2.71)に比べて大きいため溶接時に酸化物は表面に浮ぶことなくビードの下に沈潜し、また溶接中に結晶水が分解して水素を放出するため溶接部に気泡を残し健全な溶接となりにくい。従ってこれらの酸化物はあらかじめ除去する必要がある。

第5表 各種金属の熱的性質

材質	溶融点(t) °C	平均比熱 t=0 Cal/g/°C	溶融熱 Cal/g	全溶融熱 Cal/g	熱伝導度 Cal/cm ² /°C/sec
アルミニウム*	657	0.248	93.0	256	0.53 H材
純銅	1083	0.103	50.6	163	0.93
純鉄	1539	0.16	65	311	0.18
軟鋼	1524	0.155	65	301	0.12
高炭素鋼	1500	0.15	65	290	0.11
ステンレス鋼 (18-8)	1463	0.14	65	269	0.03

*純度99.0%の場合を示す

以上は従来のガス溶接でアルミニウムが鋼材の溶接に比べ困難視された諸点であるが、この酸化膜を除去する方法として、一般にはワイヤ・ブラシやサンド・ペーパーを使用して機械的にこすり取る方法や、フラックスを使って化学的に溶融または分解させる方法、あるいは電気的にアークのような高熱を与えてこの酸化膜を気化させる方法などがあげられる。しかしこのような方法は表面の酸化物を完全に除去するのに十分でない。たとえ表面の酸化物を除去しても、その表面には第15図のように空気中の酸素と直ちに結合した新しい酸化膜で覆われることに留意する必要がある。アルミニウムのガス溶接では良くフラックスを使用し溶接部をこれでカバーするが、このフラックスは主として $LiCl$, $NaCl$, KCl , NaF , B_3Cl_2 および Na_3AlF_6 などのアルカリ金属ないし土金属のハロゲン化合物の共溶融物を粉碎したもので、アルミニウムに対して浸食性であるため溶接後これを十分洗滌しても、溶接部とその周辺の表面は浸食を受けて光沢ある仕上り面は望めない。しかしながらアルゴンアーカー溶接では、この耐酸化性の乏しい欠点を不活性のアルゴンで高熱部を包むことにより解決し(第15図参照)、その清浄作用や気化作用でフラックスは全然不用である。又溶融熱を比較的多量に必要とすることはアークの高熱源で十分補い、熱膨脹の大きいために発生するヒズミは溶接速度が速かで母材に与える熱影響が少くなるため緩和される。さらに融点が低いことは早く常温に復帰し、熱伝導の高いことは冷却を促進するので溶融池を急速に構成し、下向き溶接のみならず垂直あるいは上向き溶接もしやすくなる。従って継手の溶融部がアルゴン雰囲気から空気中に露呈した時は温度が相当下って表面の酸化は余り進まず、表面に光沢のある溶接部が得られる。実際にこのビードの表面は鋼ロールで仕上げた板以上に光沢を遺存する。これに反し高融点、低熱伝導の鋼材では溶接部がアルゴン雰囲気から出た時にまだ温度が十分に降下しないため周囲の空気で酸化され、溶接部ならびにその周辺にスケールが出来る。これは外観上だけでなく溶接上からも見逃せない重要な意味がある。上に述べたように一般に溶接部の表面



第15図 再生する新酸化物とその防止の機構

は予備作業として機械的ないし化学的に酸化物や油脂を除去し清浄にすることが必要で、ビード上に酸化物が存在すると周囲溶接のように初期のビードを再度溶かして継ぐ場合、スケールのあるまま溶接する結果溶接作業が困難となり、その部分に気泡が発生して健全な溶接が得られない。すなわちガス溶接で欠点とみられたアルミニウムの諸性質がアルゴンアーク溶接では逆に特長とみられ、銅は鋼材より低融点で熱伝導度が高く、ステンレス鋼は熱伝導度はあまり良くないが耐酸化性が良好なためいずれもアルゴンア

ーク溶接に適することになる。普通のアーク溶接で最も一般的な軟鋼材はアルゴンアーク溶接では適正を欠き、経済性にも関係するが、現在でもあまり実用されていない理由がここにある。なおアルミニウムは高温はもちろん溶融しても鋼材のように色が変化せず、その融点よりはるかに高い温度でようやく鈍い赤色を呈するだけであることを注意する必要がある。アルミニウムおよびその合金の溶接性を概観すると、1100以上の工業用純アルミニウムが最も良好で高純度アルミニウムがこれに準じ、アルゴンアーク溶接はもちろんガス溶接も容易である。非熱処理合金の3003および3004は1100とほとんど同様で、5052と5154はガス溶接ではやや劣るが、アルゴンアーク溶接は容易である。しかし5056はマグネシウムの含有量が多いためやや劣る。熱処理合金では6053、6061、6063および6151のようなAl-Mg-Si系合金はガス溶接はやや劣り、アルゴンアーク溶接は3003とほぼ同程度に健全な溶接が行える。しかも溶接後熱処理すると継手の溶接効率を上昇する。2014、2017、2024および7075などのAl-Cu-Mg-Si系、あるいはAl-Cu-Zn-Mg系合金は健全なガス溶接が出来にくく、しかも溶接部の耐食性が母材よりさらに劣るため、一般には溶融溶接を行わなかったが、アルゴンアーク溶接の普及に伴ない実用性の再検討が行われ、2014では既にM4A2浮のう橋（橋板）などの溶接構造物が作られている。展伸材の溶接方法とその難易性を一括すると第6表のようになる。アルミニウム合金鑄物についても一般に展伸材と同じ方法で溶接できる。ただ断面の肉厚が極端に違う鑄物や形状の複雑な鑄物の溶接は熱ヒズミやワレを生じやすく、展伸材とは別の注意が要求される。合金別による溶接の難易

第6表 アルミニウム合金（展伸材）の溶接性

合 金 と 質 別	溶 接 性			合 金 と 質 別	溶 接 性			合 金 と 質 別	溶 接 性		
	酸素・アセチレン	アルゴン・アーケ	抵抗溶接 （スポット）		酸素・アセチレン	アルゴン・アーケ	抵抗溶接 （スポット・シーム）		酸素・アセチレン	アルゴン・アーケ	抵抗溶接 （スポット）
EC-O	A	A	B	3004-O	B	A	B	5154-O	C	A	B
-H12	A	A	A	-H32	B	A	A	-H32	C	A	A
-H14	A	A	A	-H34	B	A	A	-H34	C	A	A
-H16	A	A	A	-H36	B	A	A	-H36	C	A	A
-H18	A	A	A	-H38	B	A	A	-H38	C	A	A
1100-O	A	A	B	5005-O	A	A	B	6061-O	A	A	B
-H12	A	A	A	-H12	A	A	A	-T4	A	A	A
-H14	A	A	A	-H14	A	A	A	-T6	A	A	A
-H16	A	A	A	-H16	A	A	A	6062-O	A	A	B
-H18	A	A	A	-H18	A	A	A	-T4	A	A	A
2011-T3	D	D	B	5050-O	A	A	B	-T6	A	A	A
-T8	D	D	B	-H32	A	A	A	6063-O	A	A	B
2014-T4	D	B	B	-H34	A	A	A	-T4	A	A	A
-T6	D	B	B	-H36	A	A	A	-T5	A	A	A
2017-T4	D	B	B	-H38	A	A	A	-T6	A	A	A
2018-T61	D	B	B	5052-O	A	A	B	-T42	A	A	A
2024-T3	D	B	B	-H32	A	A	A	-T83	A	A	A
-T4	D	B	B	-H34	A	A	A	-T831	A	A	A
-T36	D	B	B	-H36	A	A	A	-T832	A	A	A
2117-T4	D	B	B	-H38	A	A	A	6066-O	A	A	B
2218-T72	..	B	..	5056-O	C	A	B	-T4	A	A	A
3003-O	A	A	B	-H38	C	A	B	-T6	A	A	A
-H12	A	A	A	-H32	C	C	A	7001-T6	D	D	B
-T14	A	A	A	-H34	C	C	A	7075-T6	D	B	B
-H16	A	A	A	-H36	C	C	A				
-H18	A	A	A	-H38	C	C	A				

注 A：溶接性良好で一般的な溶接手順と方法によって可能。

B：溶接性やや劣るが、あらかじめ試験を行って良好な条件と方法をもって行うことにより可能。

C：溶接性悪く、割れやすく耐食性や機械的性質が劣化する。

D：一般に使われる溶接方法では溶接出来ない。

性を第7表に示す。

第7表 アルミニウム合金鉄物の溶接性

合 金 (質 別)	溶 接 性 (ガス およ びアーケ)	合 金 (質 別)	溶 接 性 (ガス およ びアーケ)	合 金 (質 別)	溶 接 性 (ガス およ びアーケ)
43	A	214	B	356	B
108	B	A214	B	A356	B
A108	B	B214	B	360	—
113	C	F214	B	364	—
C113	B	218	—	380	—
122	D	220	D	A612	C
A132	C	319	B	C612	C
138	C	333	B	750	D
142	D	355	B	A750	D
195	C	C355	B	B750	D
B195	C				

注 A～Dは第6表注と同じ

アルミニウム合金の溶接性については Singer と Jennings⁽¹⁶⁾が Ring casting と平行して行った溶接ワレの研究⁽¹⁷⁾およびこれを各種合金について行った筆者等の研究結果からその傾向が示される。これによると铸造時と同様、溶接時も固相線以上の温度で高温脆性を惹起する範囲があり、Ring casting によれば 0.2%Fe を含むアルミニウムは Si が 0.25～3 % の範囲で溶接ワレが起り、Si がこれ以下の純アルミニウム、あるいはこれ以上の合金ではワレを認めず、ワレの最大は 0.7～0.8%Si にある。Fe と Si が共存する一般の工業用純アルミニウム(1100程度)では Fe の増加はあまりワレに関係なく⁽¹⁸⁾、Si が敏感に影響し Si が Fe より多くなると铸造性が劣る。溶接性についてもこれと同様な傾向を示し、Al-Mg-Si 系合金の結果では、0.5～1.0%Mg₂Si 合金のワレが最大である。しかしこれに 0.04 % の Ti を加えるとワレの長サが減少し溶接性が改善される⁽¹⁷⁾。これらの状況を示すと第16～19図のようになる。また Lees の溶接部におけるワレの原因とその機構についての⁽²⁰⁾研究によれば、熱間ワレを生じやすい合金に共通した点は、その合金がはっきりした凝固範囲を持つことであるとしている。たとえば高純度アルミニウムや共晶合金のように、一定温度で凝固するものにこの種のワレは比較的生じないが、2元系合金のワレに対する感度は合金元素を増加すると最大値に達しさらに増すと最小にまで下る。この間最大のワレの傾向を示す合金は最も広い凝固範囲をもつ組成と良く一致することを実験的に明らかにした。従って共晶成分と密接な関係をもち、ワレの感度は共晶成分の増加と共に減少する。しかし実際的な問題として溶接性から実用的なアルミニウム合金を論じた Koziarski の結論では溶接性の良いアルミニウム合金とは気泡の出来ないワレ感度の鈍い、しかも腐食および疲労に強いことであるが、肉厚に関係なく溶接性の良い万能な合金というものは現在のところ望めないといふ。

10. アルミニウム合金の溶接標準

実用しているアルミニウムの溶接構造物に対する経験によれば、化学工業用の大型タンク類は比較的厚板で 1060 以上の純アルミニウムが使われ、船舶関係では厚肉の形材も

しくは板で 5052、5083(NP%) および 5056 が多く、車輌関係では前者より比較的薄い 1100、3003、5052、6061 の板および 6063 の形材がよく使われる。従って厚物には MIG 溶接を主とし、TIG 溶接を補助的に使用するが、薄物には TIG のみで MIG はあまり使わない。各種溶接方法による最小板厚の限度を第8表に示す。TIG 溶接はバス回数を増すことによって厚物にも使用できるが経済的には MIG 溶接より劣る。たとえば 4.8mm の板を突合させ 1 層で溶接

第8表 各種溶接方法の最小板厚の限度

溶 接 方 法	母材の最小厚さ、mm		母材の 最大厚さ、 mm
	実 験 値	現 場	
M I G 溶接	0.8	2.4	(1)
T I G 溶接	0.6	1.3	25
酸素・アセチレン溶接	0.6	1.3	25
原子水素アーカ溶接	0.6	1.3	25
金属アーカ溶接	1.6	3.2	(1)
スポット溶接	—	ハク	4.2(2)
シーム溶接	ハク	0.3	4.8

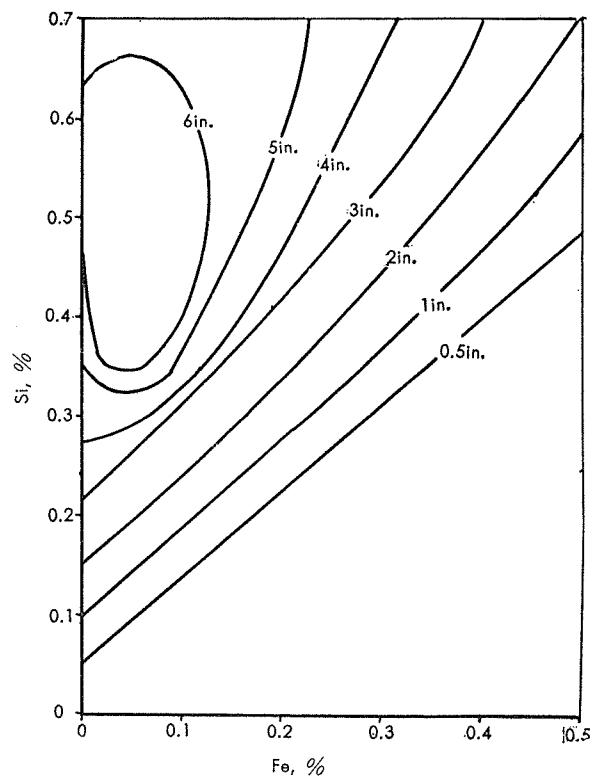
注 (1) 板厚に制限されないが、いままでに 76mm 位までが溶接されている。

(2) 実験的には、12mm までの板厚が可能である。

する場合、アルゴン消費量は TIG で 10ℓ/min、MIG は 18ℓ/min であるが、溶接速度は前者の約 280mm/min に対し、後者は約 920mm/min で約 3.3 倍速いから、単位溶接長当たり MIG は TIG の約 1/2 のアルゴン消費量となる。しかし母材が薄くなると MIG では溶落ちを生じやすく溶接が困難となり可能な厚さに限度がある。これは溶接条件で変るため明瞭に指摘することは出来ないが、厚さ 2 mm までは満足な結果が得られる可能性がある。⁽²³⁾ しかし厚さ 3 mm 以下では溶接条件がつかみにくいので避けた方がよい。溶接条件はリンデ、エヤコ社あるいはアルキヤンなどから第20図、第9表(TIG溶接)および第10～11表(MIG溶接)が紹介されている。前者は 1100 について示し、後者は 6061 を母材とし、4043 を電極とした場合を示してある。第10～11表で、もしこれ以上大きい溶接電流を使用すれば溶接速度をより速くすることが出来、経済的とも考えられるが溶接部の質的低下をきたす懸念がある。工業用純アルミニウムや 3003 を溶接する場合は、この標準より溶接電流を 5～10% 増加する。また 5056 を電極とする場合には、この溶接電流では 10～20% 高いからアーカの移動速度をより高速化する必要があり、薄いもの程その速度を速くする。しかし一般には適当な電流に下げて、より細いサイズの電極線を使用することが望ましい。

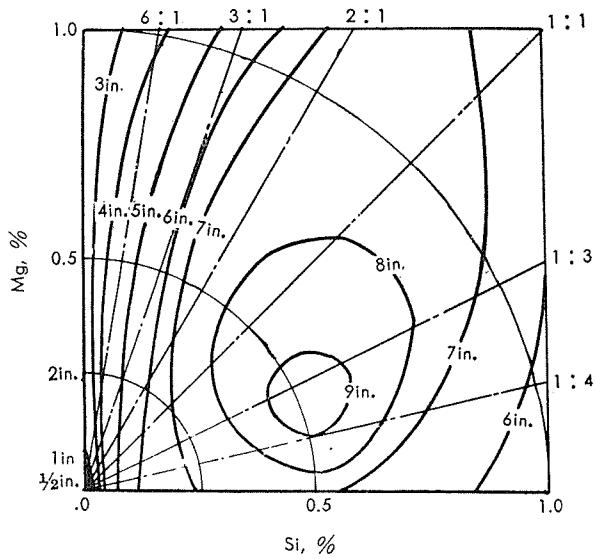
わが国でも最近造船関係の技術者の行ったほう大な実験^{(26)*}結果を基礎として船舶用軽金属委員会で規定した基準案がある。これらは NP% (ANP) を主に 5052、5056などを試料として標準化したが、1100、3003 などについてもこれに準じて行える。また Al-Mg₂Si 系の熱処理材は、この標準から除外してあるが実際の作業には参考となる。しかし 2014、2017、2024 および 7075 などの高力アルミニウム合金は現在まで溶接構造の実例が少なく、従ってその基準も見当らない。とくに 2014 は耐力が引張強さの約 88% にも達

*わが国における唯一の基準とされる労作であるが、紙幅がないので収録を割愛した。

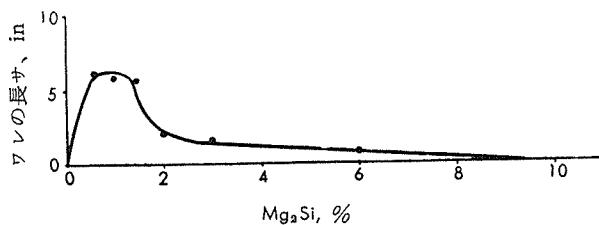


第16図 Al-Fe-Si 系合金の溶接ワレ

—拘束した長サ 4in の板（厚サ約 2mm）2枚を突合せその間 3in 溶接してビード（表裏）上に発生したワレの長サを集計したコンターライン、数字はワレの長サ—



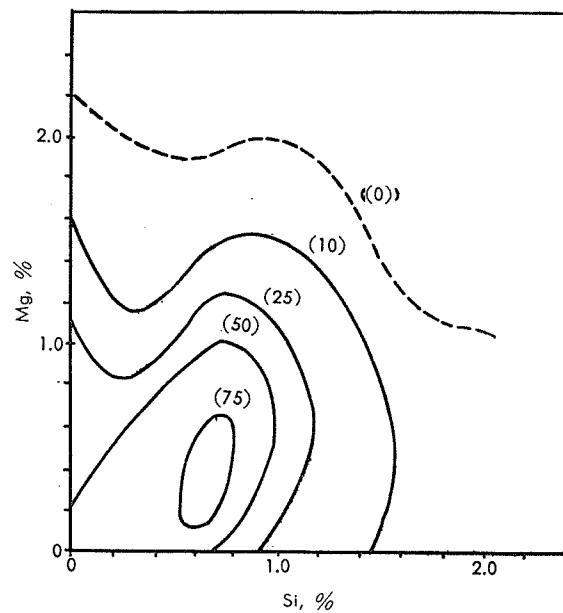
A Al 間における铸造ワレのコンターライン



B 拘束時の溶接ワレ（第16図と同条件）

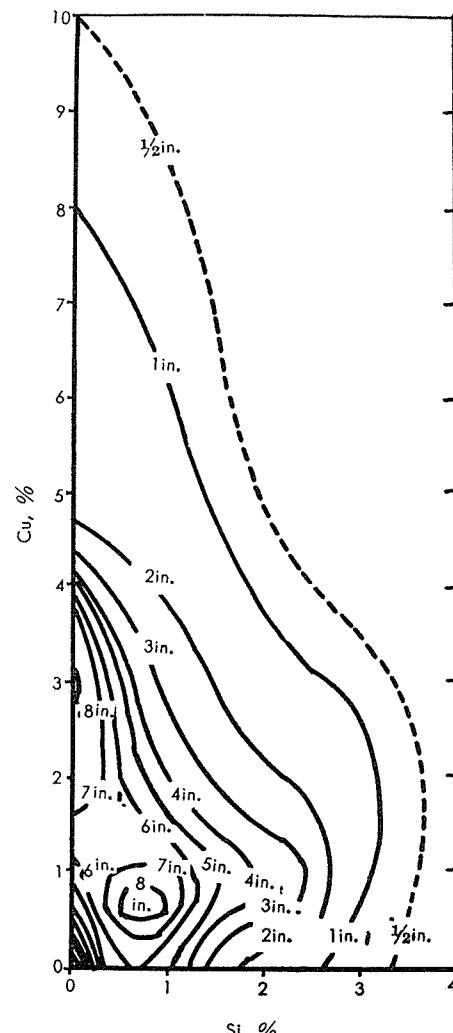
第17図 Al-Mg-Si 系合金のワレ

—A=Ring casting, B=溶接—



第18図 Al-Mg-Si 系合金に Ti (0.04%) を添加した場合のワレ

—Ring casting, カッコ内の数字はワレの長サ(mm)—



第19図 Al-Cu-Si 系合金の溶接ワレ

—第16図と同条件—

し、橋梁その他重構造用材として好んで使用されつつあるがいざれもリベット構造である。米国土木学会軽金属構造設計委員会の規格によれば、2014を使用する場合溶接構造とすることを禁じているのは、溶接結果にまだ十分な安全性が期待されないと見ているからであるが、現在ではすでに米陸軍およびわが国の防衛庁陸幕の T.B.Eng.-M4A2浮のう橋の橋板に2014材の溶接構造を採用しており、この点は今後なお開発研究を必要とする問題である。

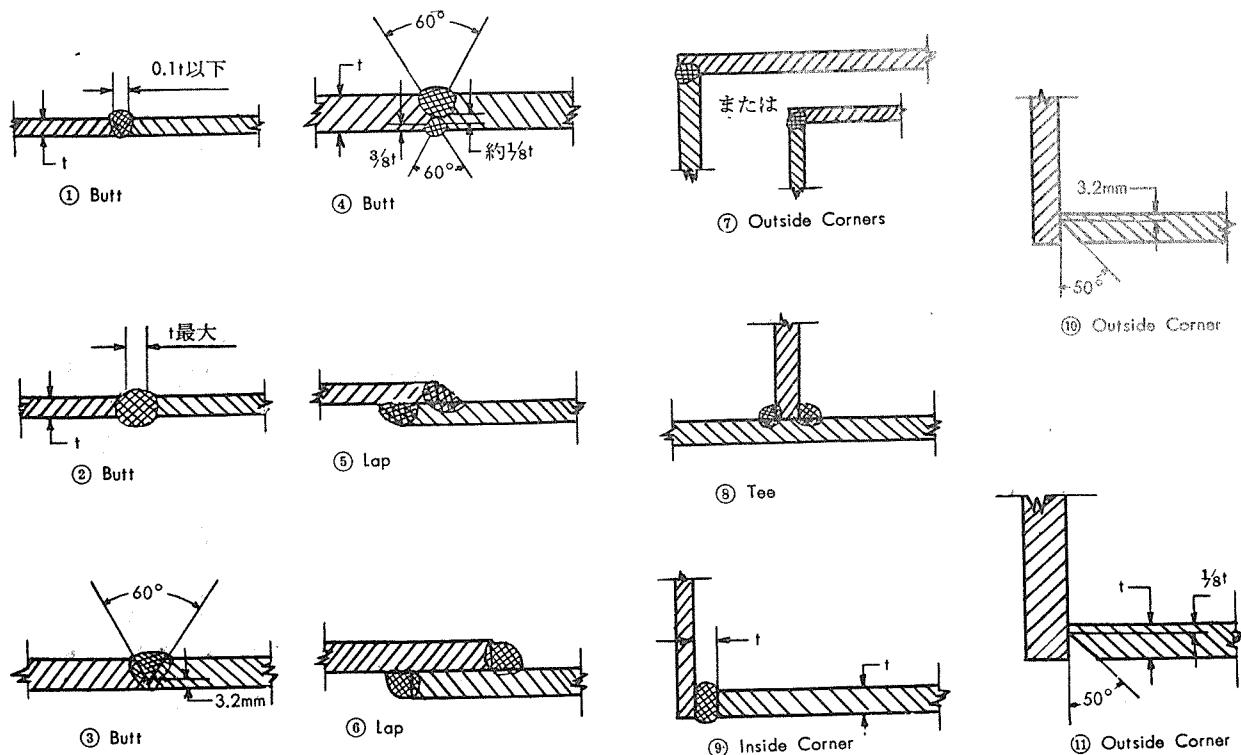
11. 溶加材（溶接棒）

TIG溶接においては母材の厚さが1mm以下の薄物には溶加材を余り使わないが、一般にはこれを使用し溶接部の厚さに応じ第9～11表に示すようにその直径を変える。材種は原則として母材と同じいわゆる共材を使い、合金の溶接には4043 (Al-5%Si) が湯流れ良く熱間ワレの少ない理由でしばしば利用されたが、溶接部がもろくなる傾向があり、またわが国のように好んで陽極処理をする場合は、溶接部が薄黒く灰色となるため、溶接のままあるいは溶接後塗装するもの以外は避けている。またこの Al-Si 合金にNaなどを添加した改良合金は溶接ワレを生じるので使わない。

各種アルミニウム合金を溶接する場合の母材の組合せとこれに推奨される溶加材の材種を示すと第12表となる。しかしこれは一般用であって特殊な用途については一応検討する必要がある。溶接部は鉄物と同様の組織であるから、鉄物で Ti や B を添加して結晶粒を微細化し機械的性質を改善するように、溶加材にもこのような合金を使用する。たとえば Al-Mg 合金に Ti を加えた溶加材が英国で使わ

れるが、わが国ではまだそれまでになってない。溶加材は TIG溶接では一般に板材から短ざく形に細く切取るかその目的で作られた線を使用するが、MIG溶接では丸線以外使えない。この線は前者では硬軟いずれの材質を使うも差支えないが、後者は送給機構に関連して軟質線は操作に円滑を欠き硬質、真円の線が望ましい。この溶加材の合金規格はわが国ではまだ制定されていないが、米国は A.S.T.M. の B285-57T と A.W.S (米国溶接協会) の A5.10-57T によって規定し、英國にも B.S.1474 (1949) がある。溶加材は使用前十分に洗じようし、表面の汚れや酸化物を除去する。これを怠ると汚れたビードが出来るのみならず内部に気泡を生じ健全な溶接が出来ない。洗じようは 60°C 以上の約 10% NaOH 水溶液に浸漬し、水洗後硝酸で中和、さらに温水で洗じよう乾燥する。母材の表面も同様に洗じようすることは前にも述べたが、形状その他の理由で洗じようできない場合が多いのでワイヤブラシやスチール・ワールなどで表面をこすり酸化物を除去するか、少くともトリクレンを使って溶接部の表面を脱脂することが必要である。

TIG では余り問題とならないが、MIG では電極の溶加材がその先端で過熱され、細粒となって母材に移行するので、この間溶加材の一部は蒸発することも考えられる。従って合金によっては添加材と溶着物はその化学成分の変化が類推される。そこで各種合金について実験を行った。すなわち 99.9% Al 上に Al-Mg 系の各種溶加材を使って MIG 溶接でビードを盛り上げ、このビードより試料を採取して分析し、前後の成分変化を比較した。この結果によると溶着合金の Mg は溶加材の含有量の 15～20% が常に減少し、



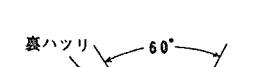
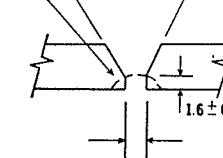
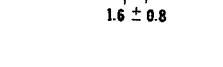
第20図 繼手の種類と開先

第9表 TIG溶接における下向の標準例

母材の厚さ、mm	開先の形状 (第20図参照)	溶接電流、Amp			タンゲンスチン 電極の直径、 mm	溶接速度 (下向き)、 mm/min	溶加材の直径、 mm	アルゴン 使用量、 l/min	備考
		下向き	立向き	上向き					
1.6	①② 突合せ	60~80	60~80	60~80	1.6	300	ナシ~1.5	7	
	④⑤ 重ね	70~90	55~75	60~80	1.6	250	ナシ~1.5	7	
	⑦ カド	60~80	60~80	60~80	1.6	300	ナシ~1.5	7	
	⑧ 隅肉	70~90	70~90	70~90	1.6	250	ナシ~1.5	7	
3.2	①② 突合せ	125~145	115~135	120~140	2.4	300	2.5~3	8	
	④⑥ 重ね	140~160	125~145	130~160	2.4	250	ナシ~2.5	8	
	⑦ カド	125~145	115~135	130~150	2.4	300	ナシ~2.5	8	
	⑧ 隅肉	140~160	115~135	140~160	2.4	250	1.5~2.5	8	
4.8	①② 突合せ	190~220	190~220	180~210	3.2	280	3	10	
	④⑥ 重ね	210~240	190~220	180~210	3.2	230	3	10	
	⑦ カド	190~220	180~210	180~210	3.2	280	3	10	
	⑧ 隅肉	210~240	190~220	180~210	3.2	230	3	10	
6.4	①② 突合せ	260~300	220~260	210~250	4.8	250	3~4.5	12	
	④⑥ 重ね	290~340	220~260	210~250	4.8	200	3~4.5	12	
	⑦ カド	280~320	220~260	210~250	4.8	250	3~4.5	12	
	⑧ 隅肉	280~320	220~260	210~250	4.8	200	3~4.5	12	
9.5	③ 突合せ	330~380	250~300	250~300	4.8~6.4	130	4.5~6	14	2層溶接
	④ 重ね	330~380	250~300	250~300	4.8~6.4	130	4.5~6	14	〃
	⑩ カド	330~380	250~300	250~300	4.8~6.4	130	4.5~6	14	〃
	⑧ 隅肉	350~400	250~300	250~300	4.8~6.4	130	4.5~6	14	〃
12.7	③ 突合せ	400~450	290~350	250~300	4.8~6.4	80	4.5~6	15	2~3層溶接
	④ 重ね	400~450	300~350	275~325	4.8~6.4	80	4.5~6	15	3層溶接
	⑩ カド	400~450	300~350	275~325	4.8~6.4	80	4.5~6	15	〃
	⑧ 隅肉	420~470	300~350	275~325	4.8~6.4	80	4.5~6	15	〃

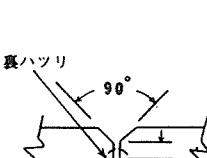
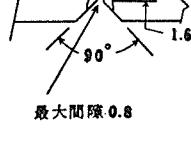
第10表 MIG溶接における下向き突合せの標準例 (一時的にパッキングを使う場合)

母材=6061, 溶加材=4043

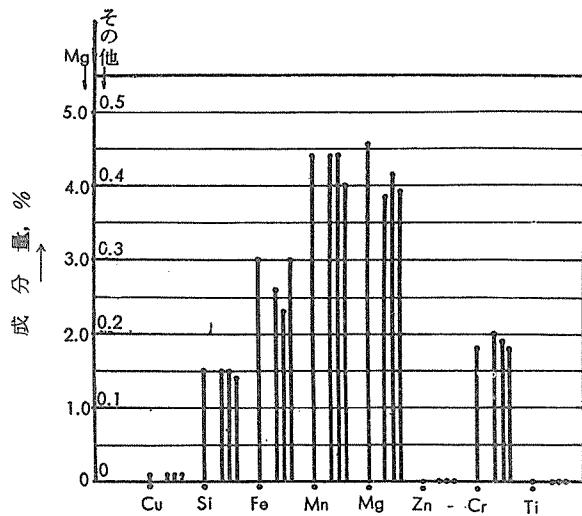
板厚、mm	バス回数	開先	電極の径	溶接電流(DCRP)、Amp	アーク電圧、Volt	溶加材の速度、mm/min	アークの移動速度、mm/min	アルゴン量、l/min
3.2	1		1.2	155	22±1	6600	914	14
	2R			155	23±1	6350	1220	14
4.8	1		1.6	200	22±1	5080	610	14
	2R			200	23±1	4830	1220	14
6.4	1		1.6	230	23±1	6100	1220	16
	2			230	25±1	5850	914	16
	3R			230	25±1	5850	914	16
	8			250	23±1	6600	914	18
9.5	1		1.6	250	25±1	6350	814	18
	2			250	25±1	6350	1044	18
	3R			270	23±1	6860	610	18
	12.7			270	25±1	6600	407	18
12.7	1		1.6	270	25±1	6600	610	18
	2			270	25±1	6600	407	18
	3			270	25±1	6600	305	18
	4R			270	25±1	6600	610	18

第11表 MIG溶接における下向き突合せの標準例 (パッキングを使わない場合)

母材=6063, 溶加材=4043

板厚、mm	バス回数	開先	電極の径	溶接電流(DCRP)、Amp	アーク電圧、Volt	溶加材の速度、mm/min	アークの移動速度、mm/in	アルゴン量、l/min
12.7	1		1.6	270	25±1	7110	914	18
	2R			270	25±1	7110	1016	18
	3			270	26±1	6860	560	18
	4R			270	26±1	6860	660	18
19.0	1		1.6	270	25±1	6860	914	18
	2R			270	25±1	6860	610	18
	3			270	26±1	6860	430	18
	4R			270	26±1	6860	380	18
	5			270	26±1	6860	610	18
	6R			270	26±1	6860	610	18
	7			270	26±1	6860	610	18
	8R			270	26±1	6860	610	18

Cr, Fe および Si は僅かに増減あり、Mn と Cu はほとんど変わらない。⁽²⁸⁾ 5083 (ANW) を使った場合の実験結果を第21図に示した。従って Al-Mg 合金を Al-Mg 合金の溶加材で MIG 溶接する場合は母材より Mg 量の多い溶加材を使用することが望ましい。



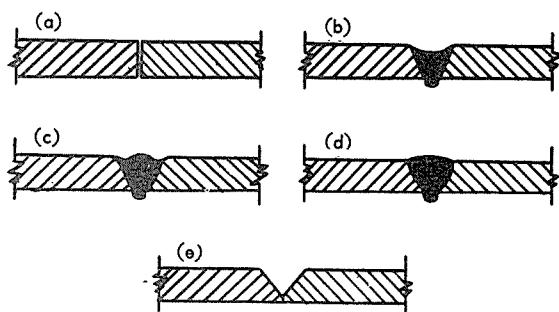
第21図 溶加材 (ANWをMIGで溶接した前後における溶着金属の成分変化一欄外の・印は心線の成分—)

溶接部に強度を要求する場合と強度は多少低くてもじん性をまず要求することがある。このような場合は溶加材の成分を変えることによってその目的に多少そうことが出来る。その1例を第13表に示す。

第13表 Al-5%Mg 合金板 (13mm) の突合せ溶接
—化学成分の異なる溶加材による溶接部の抗張性—

溶 加 材	耐力 (0.1%), kg/mm ²	引 張 強 度, kg/mm ²	伸 び (2in), %
2S	10.2	23.7	19
Al-2%Mg	9.3	26.2	20.5
Al-3.5%Mg	10.6	25.6	21.5
Al-5%Mg	10.1	26.0	21
Al-7%Mg	10.2	27.5	30
43S	9.5	22.7	11
母 材	11.7	27.1	33

比較的厚板を溶加材なしで第22図の (a) のように突合せて TIG 溶接すると、(b) あるいは (c) のように溶融金属



第22図 溶接部の状況と開先

が裏側に廻り、同容積のキャビテーが上部に出来る。そのため溶加材を使って (d) のように盛上げるが、溶接部を健全なものとするには一般に (e) のように開先をとり、これに溶加材を溶融して盛上げる。この意味で従来溶接棒と称していたものを溶加材 (filler material) といわれる。板

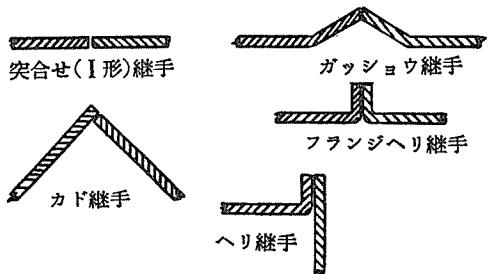
第12表 各種アルミニウム合金の溶接に対して一般に使用される溶加材

— T I G および M I G 用 —

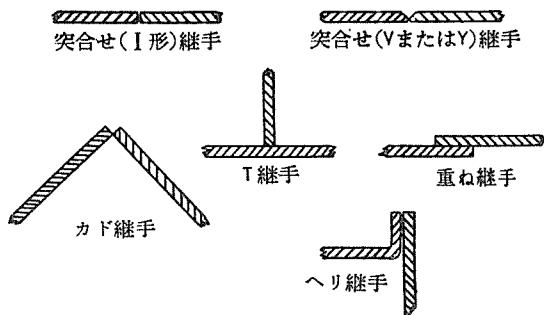
母 材	43 214 216 319 355 356	6061 6062 6063 6151 #2 E C	5456	5454	5086 5083 5356	5154	5052	5005 5050	3004	1100 3003	E C	1060
1060	4043	4043	5356 5556 5183	5356 5183	5356 5183	5183	4043	4043	4043	1100	1260	1260
E C	4043	4043			5356 5183	5183	4043	4043	4043	1100	1260	
1100 3003	4043	4043			5183 5556 5183	5356 5183	5183	4043	4043	1100		
3004	4043	4043	5356 5556 5183	5356 5554	5356 5183	5183	4043	4043	4043			
5005 5050	4043	4043			5356 5556 5183	5356 5356	5183	4043	4043			
5052	4043	4043	5356 5556 5183	5356 5554	5356 5183	5183	4043 5154	4043				
5154	4043 355 5154			5183 5556 5356	5154 5554	5356 5183	5154					
5083 5086 5356	5356 5183		5356 5556 5356	5183	5356 5183	5356 5183						
5454	5454	5356	5183 5556 5356	5554								
5456		5356 5183 5556	5183 5556 5356									
6061 6062 6063 6151 #2 E C	4043 355	4043 5154										
43,214, 216,319, 355,356	4043 355											

厚によってこの端部に種々の形状をした開先を作ることは第9～11表や第20図に示したが、継手の形状によって溶加材を使い、または使わない場合の例を第23図に示す。

(1) 溶加材を使わない場合



(2) 溶加材を使用する場合



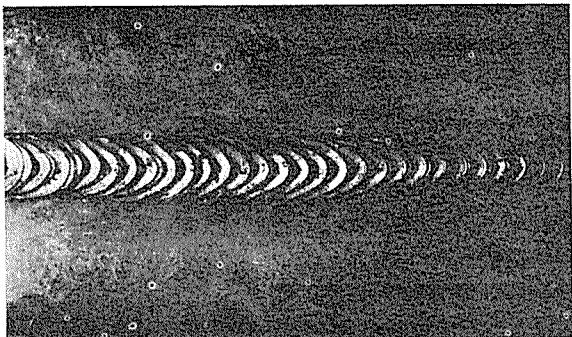
第23図 溶接継手の種類

12. アルミニウムおよびその合金の溶接データ

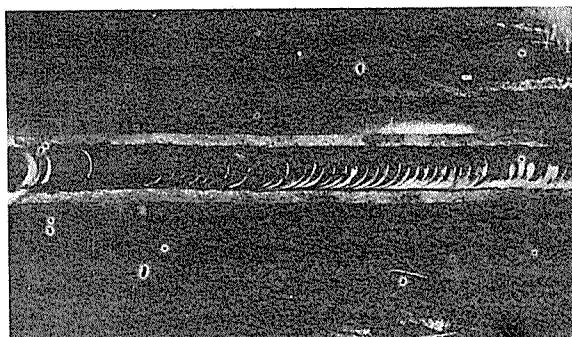
12.1 工業用純アルミニウムの溶接

純度 99.7%、厚さ 6.4mm の半硬質板を開先 (60°) して突合せ、酸素・アセチレン、TIG および MIG でそれぞれ溶接した場合のビードの状況を写真15に示す。TIGのビードはガス溶接と同様ややあらい波状を呈しているが、MIGのビードは両者に比べて細かく一見して区別できる。またガス溶接とアルゴンアーク溶接との相違はビードの両そとに認められる光沢のあるクリーニング作用の跡と、その外側に存在する白色のバンドの有無、およびビード面の光沢などで識別出来る。MIGの写真でビード附近に飛散したスパッターがあり、溶接線に多少起伏があるのは溶接条件に適正を欠いていた。これら溶接部の断面のマクロ組織は写真16のように下のものほど铸造組織が細かく、溶融部附近では母材の再結晶の状況が良くわかる。すなわちガス溶接では大きさや数が最も著しく MIG溶接は細かくまたわずかである。また溶接部を中心にしてその左右の母材のカタサ分布から熱影響の範囲をみると第24図のように、ガス溶接、TIG次に MIG の順に軟化範囲は狭くなり、溶接速度の違いがここに現われている。この熱軟化部でカタサの最低値の部分は俗に2番といわれ、この部分は再結晶とその成長、また固溶析出など複雑な変化が連続して生じ、その結果耐食的にも母材と均一性を欠くことが類推される。この例で溶接継手の強度を母材と比較すると第14表となる。

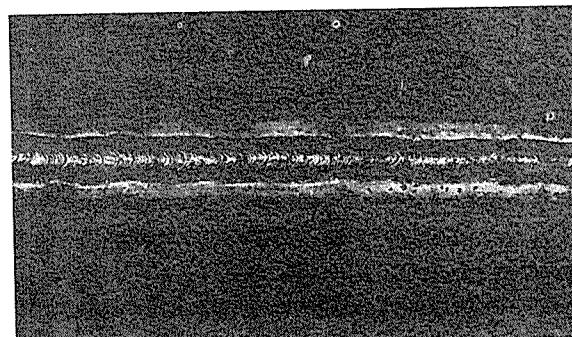
一般に継手の引張強さは溶接方法の相違に対し余り変わらないが、半硬質ではいずれも母材より小さくなり、継手効率（継手と母材の引張強さの比）は硬質材ほど低下し、軟質材で健全な溶接ならば 100% となる。また同一母材では



酸素・アセチレン溶接、溶接速度 75mm/min

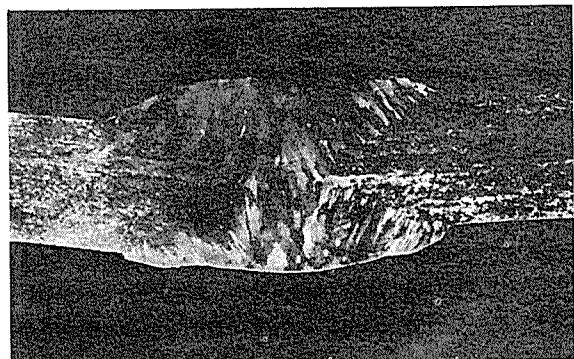


TIG 溶接、210A, 20 l/min, 溶接速度 93mm/min

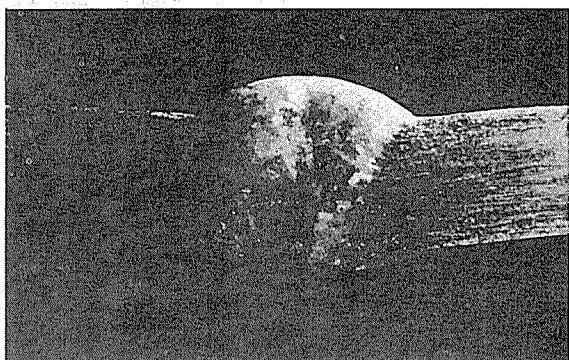


MIG 溶接、250A, 27 l/min, 溶接速度 842mm/min

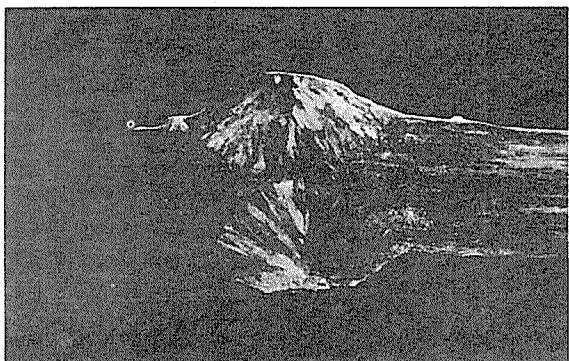
写真 15. 異なる溶接方法によるビードの状況



酸素・アセチレン溶接

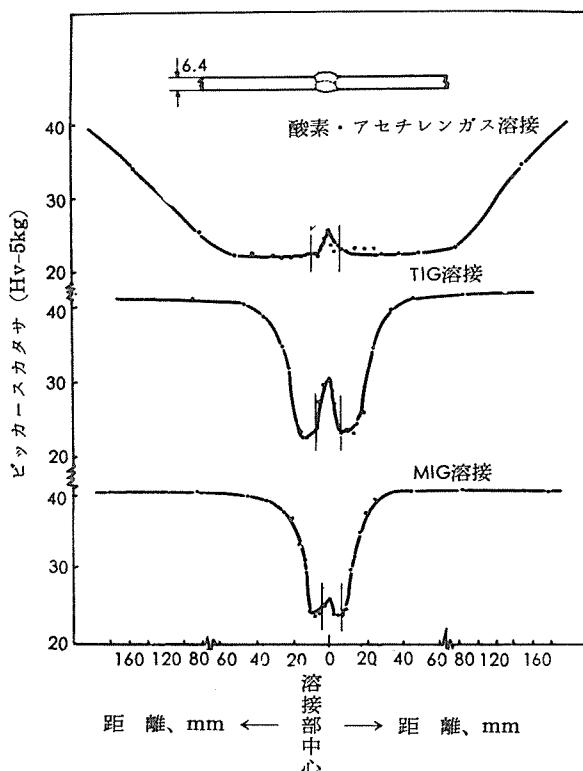


TIG 溶接



MIG 溶接

写真 16. 異なる方法による溶接部の断面



第24図 異なる溶接方法が母材に与える熱影響

第14表 異なる溶接方法による継手の抗張性

—工業用純アルミニウム (99.7%—半硬質) —

溶接方法	引張強度、 kg/mm^2	伸び %	継手効率 %
酸素・アセチレン	7.3	36.5	54.8
TIG	8.2	25.4	62.7
MIG	9.1	19.2	68.5
母材	13.3	17.8	—

熱影響を多く受けるものほど低下する。伸びは硬質材ほど著しく増加し、MIGでは母材の伸びに近いがガス溶接では軟質材の伸びとなる。

濃硝酸、ホルマリンなどの大型タンク、車上タンクおよびローリー・タンクや酢酸、濃過酸化水素のドラムなど、化学工業における需要をはじめ最近はビールの貯蔵槽、発酵槽およびたるなど醸造方面にもアルミニウムを国内で広く使うようになり、その多くは純アルミニウムのアルゴンアークによる溶接構造が採用されている。写真17にその1例をあげる。

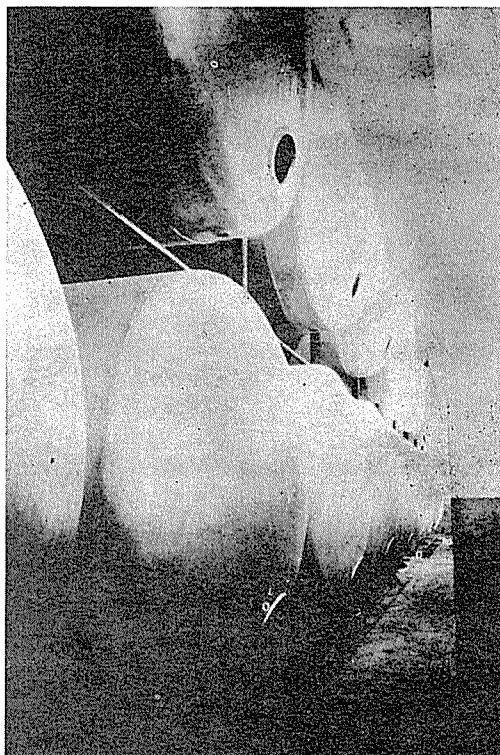


写真 17. アルミニウム (99.7%) 製ビール貯蔵タンク
一胴体 6mmt、カガミ 6.5mmt, Cap.272hl—

12・2 耐食アルミニウム合金

3003、5052、5083、6061および6063など、このグループに属する合金のアルゴンアーク溶接に関しては海外はも(30)～(34)、国内でも船舶、車輌に使用され、多くの研究結果が発表されている。その基礎的な問題はここ数年造船グループの研究で確認され、現在は現場での工作上に問題が移されている。第15表はアルゴンアークによる各種合金の抗張性と継手効率を示したが、第13表と同様に溶加材に使う合金の種類によって継手の強度は著しく相違する。4043を5052やANPに使用すると溶接部の伸びが低く溶着金属がもろくて、むしろ1100や共材の方が良いことを示している。軟質材はいずれも継手効率が高く90～100%に達するが、加工硬化した硬質材では50～60%に低下する。しかし61S-T6のような熱処理材の継手効率は溶接のままで70～80%であるがこれを再度T6処理をすれば100%にすることが出来るので利用度が増加しつつある。この合金の

第15表 耐食アルミニウム合金の溶接継手の抗張性と継手効率

合金の種類	板厚、mm	溶加材	溶接方法	引張強さ、kg/mm ²		継手効率、%*	伸び、%		摘要 番号は引用文献を示す。
				母材	溶接部*		母材	溶接部	
3003-O 5052-O	2	1100	MIG	10.3	10.5 10.4	100.5	—	—	(36)
	3	"	"	10.0	10.4	104	36	—	
	5	"	"	20.1	20.3	101	—	—	
	2	4043	"	20.1	14.7	73	—	—	
	3	"	"	20.2	19.7	98	32	—	
	5	"	"	20.5	20.5	100	32	—	
ANP-O ANP-1/4H	6	4043	"	32.9	25.7	78	19	6.0	(38)
	5052	"	"	28.1	86	—	—	12.5	
	5154	"	"	29.9	91	—	—	16.0	
	ANP	"	"	28.3	86	—	—	16.0	
	5056	"	"	29.5	90	—	—	13.6	
	6	4043	"	36.0	27.7	77	13	5.5	
	5154	"	"	28.6	80	—	—	13.6	
	5056	"	"	30.0	83	—	—	13.4	
5056-O	6	5056	TIG	23.5	23.2	99	28	16.0	(37)
	10	"	"	23.4	100	—	—	27.0	
	15	"	"	26.5	100	—	—	26.0	
6061-O 6061-T4 6061-T6	1.6	4043	"	12.7	12.7	100	22	—	(34)
	"	(Alcan 35S)	"	24.6	19.0(23.2)	77(94)	22	—	
	"	"	"	31.6	19.0(29.5)	60(93)	12	—	
6061-O	2	4043	"	13.4	12.0	90	—	—	(36)
	2	"	"	13.4	12.6	94	—	—	
	3	1100	"	13.3	12.9	98	39	—	
	5	"	"	13.5	13.2	98	36	—	—
6061-T6	9.5	4043	TIG MIG	31.6 30.5	18.3 22.4	58 73	18 16	—	(33)
	"	"	"	"	"	"	"	—	
6061-T6	6.4 9.5 12.7	4043	"	31.6 32.3 30.2	22.0 23.4 24.0	70 73 80	20 20 25	4.3 2.6 3.6	
6061-T6	12.7-38 6.4-38	"	TIG	29.5	18.3	62 102	15 10	—	(31)
6063-O -T4 -T6	1.6	"	"	10.5	10.5	100	40	—	
	"	"	"	16.1	14.8(16.2)	92(100)	33	—	
	"	"	"	23.1	14.8(23.2)	63.8(100)	20	—	

* カッコ内は溶接後再熱処理

場合も MIG 溶接は TIG 溶接より継手効率がやや大きい。なおこの種の合金の TIG 溶接とガス溶接との抗張性の相違も顕著で前者の優秀なことを示し、熱影響による軟化範囲の違いも第24図と同じように明らかに現われる。写真18～19に耐食アルミニウム合金を使用した溶接構造物の実例を示す。

12・3 高力アルミニウム合金の溶接

この系の合金は前にも述べたように、ガス溶接では溶接性が悪く実用されなかつたが、アルゴンアーケ溶接の発展(40)に伴いその利用が活発になりつつある。Martin は 2024 と 7075 を 6061 と比較した研究結果を第25、26図のように示し、溶加材によって継手効率の著しく相違すること、継手の

じん性を欠く点を指摘して、高力アルミニウム合金の溶接には継手効率が高く、しかも靱性を与えるような溶加材の研究が必要であると述べている。熱処理合金は熱処理性の溶加材を使い、溶接後熱処理することによって継手効率を

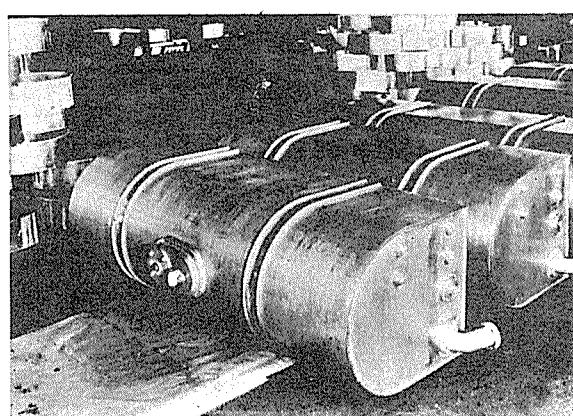
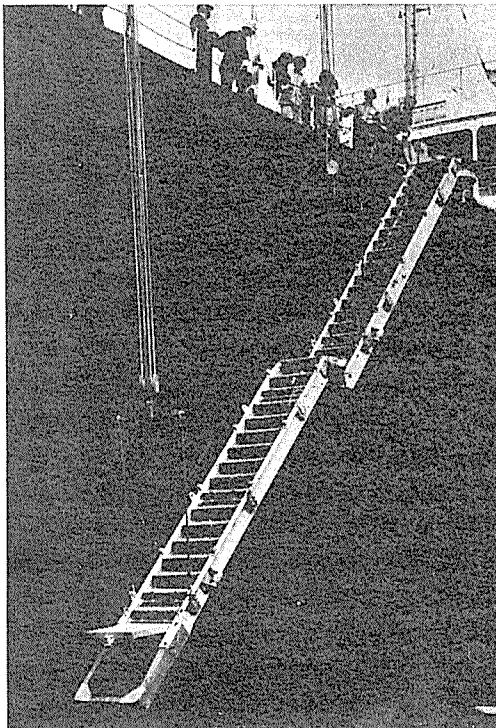
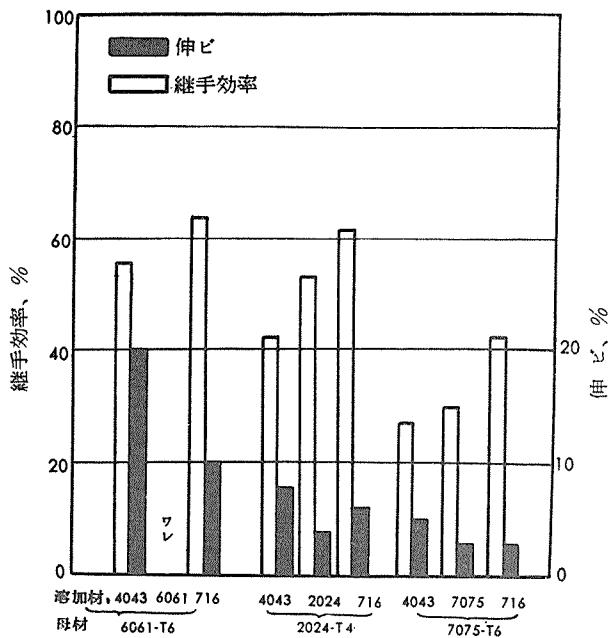
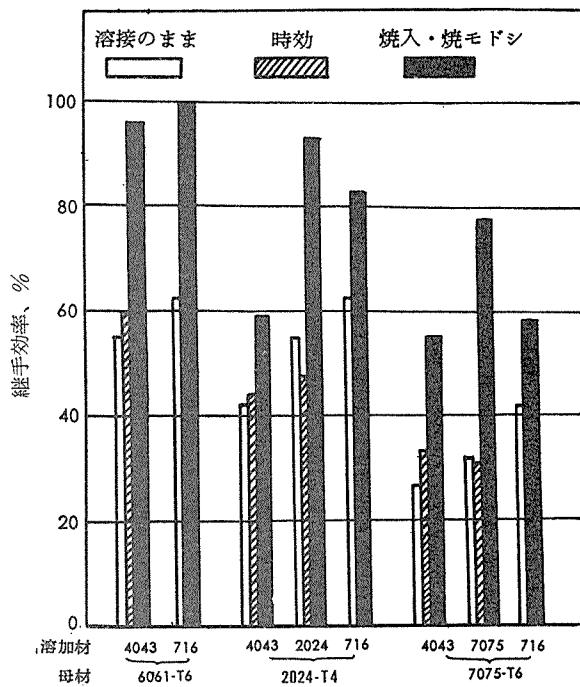


写真 18. 国鉄キハ 400t 燃料タンク
—厚サ 3mm, A2P3 および AC7A-F—

写真 19. 舷 梯
—長サ 12.7m, 自重 910kg, 5056 形材を溶接、鉄物は AC7A-1—



第25図 高力アルミニウム合金の継手効率
—TIG 溶接したままの場合—



第26図 高力アルミニウム合金の各質別の継手効率
—TIG 溶接—

著しく向上出来る。2014の溶接はApblettとPellini⁽⁴¹⁾およびDowd⁽⁴²⁾がTIG溶接を行っているが、第16表に示したわれわれの実験結果も同じ傾向を示している。この実験に採用した溶加材の範囲ではT6材を溶接したままで継手強度は著しく低下し、継手効率は50%以下となるが、W材は溶接後の焼戻しで50%以上となり、F材では溶接後のT6の処理でいずれも60%を越え、溶加材が熱処理合金の場合は80%以上となる。とくに716合金(Al-4%Cu-10%Si)は強度的に改良されるが、伸びが不十分で今後の研究にせまられている。

2017の溶接結果を第17表に示したが、この種のものも共材で溶接後焼入すれば継手効率が100%に達し、伸びも比較的大きい結果が得られているのは注目に値する。

12・4 鋸物と展伸材の溶接

アルミニウム合金鋸物には従来巣やワレなどの欠陥のある鋸物を修理する程度に使われていた溶接が、最近は鋸物相互はもちろん鋸物と展伸材を溶接して重量を軽減し、單一鋸物として鋸造することの困難で費用のかかる複雑な形を簡素化するために使用するような傾向にあり、溶接技術の導入とその重要性が認識されつつある。

第16表 2014板(厚さ6mm)の継手効率(溶加材を種々変更した場合)

母材	溶加材	溶接方法	溶接板の熱処理	引張強さ、kg/mm ²	伸び、%	継手効率、%	切断位置
2014-F	3003	TIG	焼入、焼モドシ(T6処理)	30.2	3.2	64.6	B, W
	2014	〃	〃	41.4	3.1	88.9	B
	2024	〃	〃	38.7	2.5	83.0	B
	4043	〃	〃	30.1	1.8	64.6	B
	ANP	〃	〃	27.9	3.0	62.1	B
	716	〃	〃	43.8	1.7	98.8	B
2014-T4	3003	〃	焼モドシのみ	21.9	4.4	47.0	B, W
	2014	〃	〃	25.2	5.3	53.9	B
	2024	〃	〃	24.5	4.9	52.5	B
	4043	〃	〃	24.3	5.4	52.1	B
	ANP	〃	〃	24.0	4.7	51.5	B
	716	〃	〃	25.4	3.0	57.4	B
2014-T6	3003	〃	溶接のまま	20.6	5.2	45.1	B, W
	2014	〃	〃	21.9	3.5	47.0	B
	2024	〃	〃	22.7	4.1	48.6	B
	4043	〃	〃	22.6	4.3	48.4	B
	ANP	〃	〃	21.8	3.2	46.8	B
	716	〃	〃	22.8	5.1	51.5	B

注：継手効率は母材のT6に対して算出する。母材(T6)の引張強さ=46.6 kg/mm²、伸び=12%、B=母材で切断、W=溶接部で切断

第17表 2017 溶接強度

合 金 の 質 別	溶 加 材	溶 接 別	アルゴン流量、 l/min	溶 接 電 流、 Amp	溶 接 速 度、 mm/min	引 張 強 サ、 kg/mm ²	耐 力、 (0.2% ₂) kg/mm ²	伸 %	破 断 位 置
2017-F(1.4t) 〃 〃 母 材	2017	TIG ガス	7 —	105 —	200 —	22.1 22.0	12.3 10.6	3.3 5.0	B 〃
	4043	TIG ガス	7 —	110 —	250 —	23.7 22.8	— —	3.4 5.1	〃 〃
	—	—	—	—	—	27.9	27.4	2.1	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2017-O(1.4t) 〃 〃 母 材	2017	TIG ガス	7 —	105 —	210 —	18.8 19.1	— —	13.5 7.7	B 〃
	4013	TIG ガス	7 —	105 —	200 —	18.8 20.0	— —	13.2 5.5	〃 〃
	—	—	—	—	—	18.8	—	20.1	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2017-T4(1.4t) 〃 〃 〃 母 材	2017	TIG ガス	7 —	110 —	230 —	35.4 28.5	21.9 19.6	7.0 2.4	B W
	4043	TIG ガス	7 —	110 —	250 —	26.1 26.6	18.0 —	3.0 1.0	〃 〃
	—	—	—	—	—	33.3	—	5.5	〃
	—	—	—	—	—	41.3	23.0	21.8	—
2017-F(1.4t) 溶接後 〃 T4処理 〃	2017	TIG ガス	7 —	110 —	250 —	41.2 42.0	23.5 24.5	16.9 18.6	B 〃
	4043	TIG ガス	7 —	110 —	250 —	38.2 26.6	— —	8.7 2.0	〃 W
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—

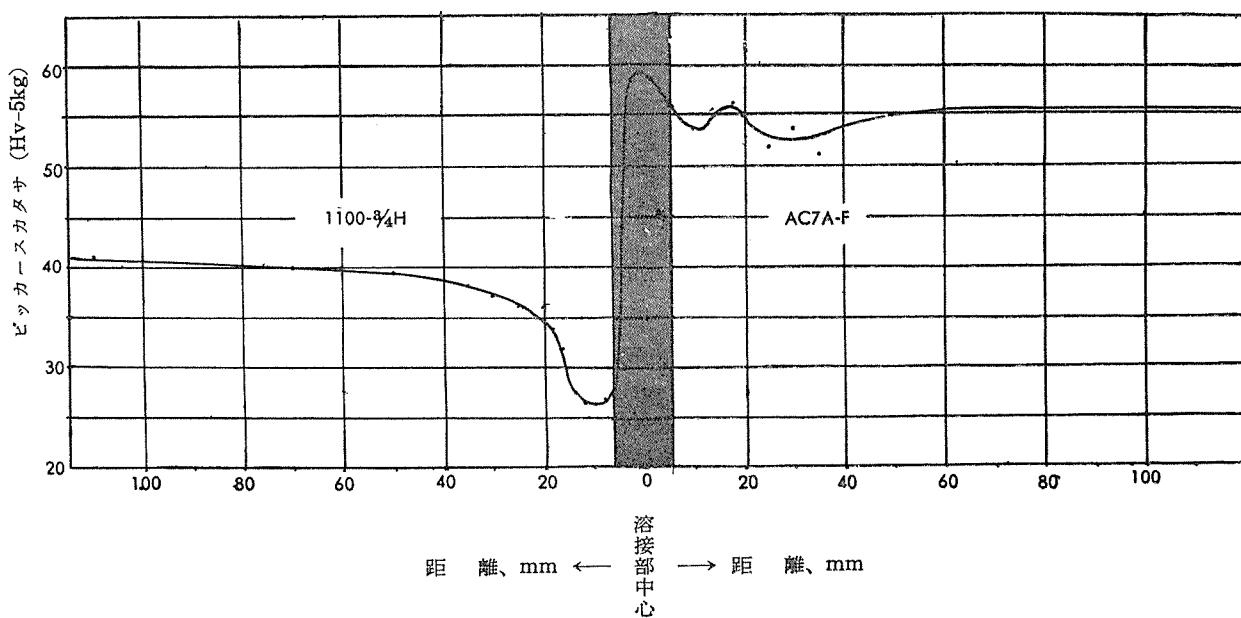
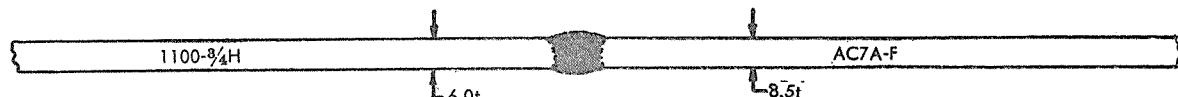
注 : T4 処理—500°C, 30min, 水焼入後常温時効。

(45)
展伸材と鋳物を TIG 溶接した場合の結果は第 18 表となり、両者のカタサ分布例を示すと第 27、28 図となる。溶接

部はやや複雑で軟化部は展伸材の場合と同じ分布であり、結果的には十分実用出来ることがわかる。

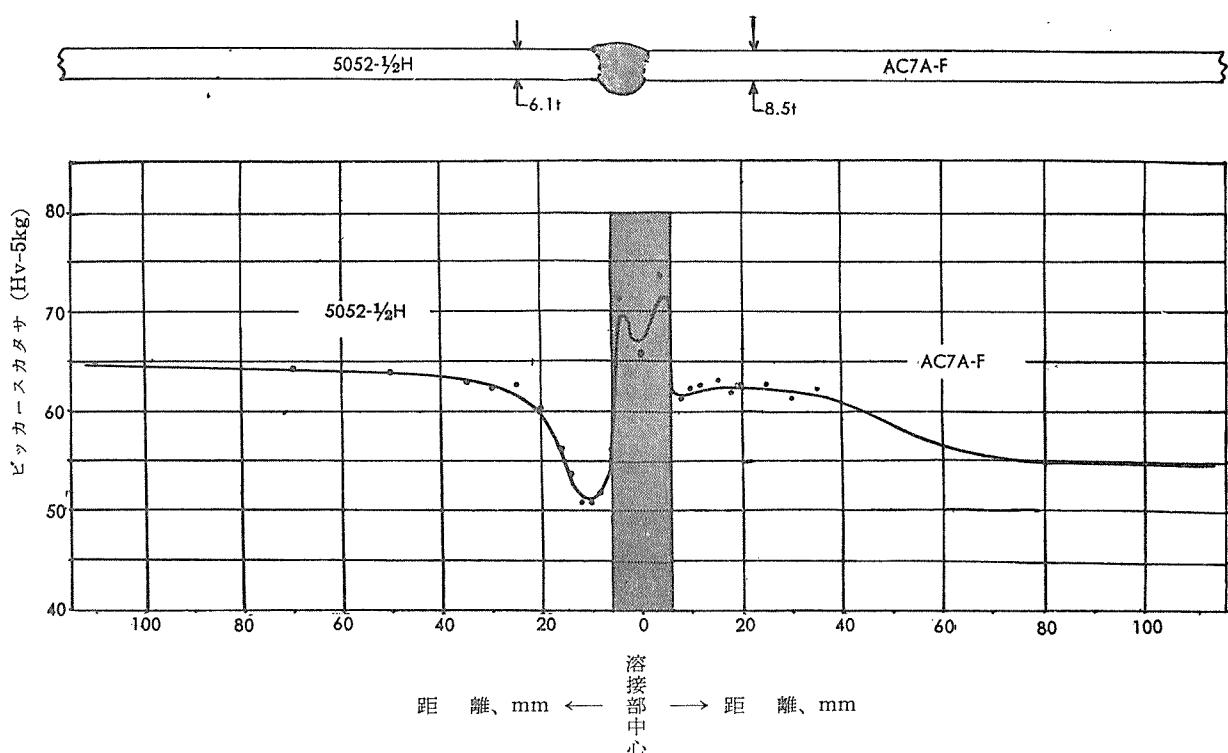
第18表 展伸材と鋳物の TIG 溶接

組 合 せ	板 厚、 mm	母材の引張強さ、 kg/mm ²	溶 加 材	溶 接 部		切 断 位 置
				引張強さ、 kg/mm ²	継手効率、 %	
1100-3/4H-AC4C-F	6.0-8.0	13.9-16.5	4043	9.1	65	1100母材
1100-3/4H-AC7A-F	6.0-8.5	13.9-17.8	ANW	9.7	70	1100母材
5052-1/2H-AC4C-F	6.1-8.0	24.5-16.5	4043	18.2	100	AC4C母材
5052-1/2H-AC7A-F	6.1-8.5	24.5-17.8	ANW	19.4	79	5052母材



第27図 1100 と AC7A との TIG 溶接部におけるカタサ分布

—溶 加 材 ANW—

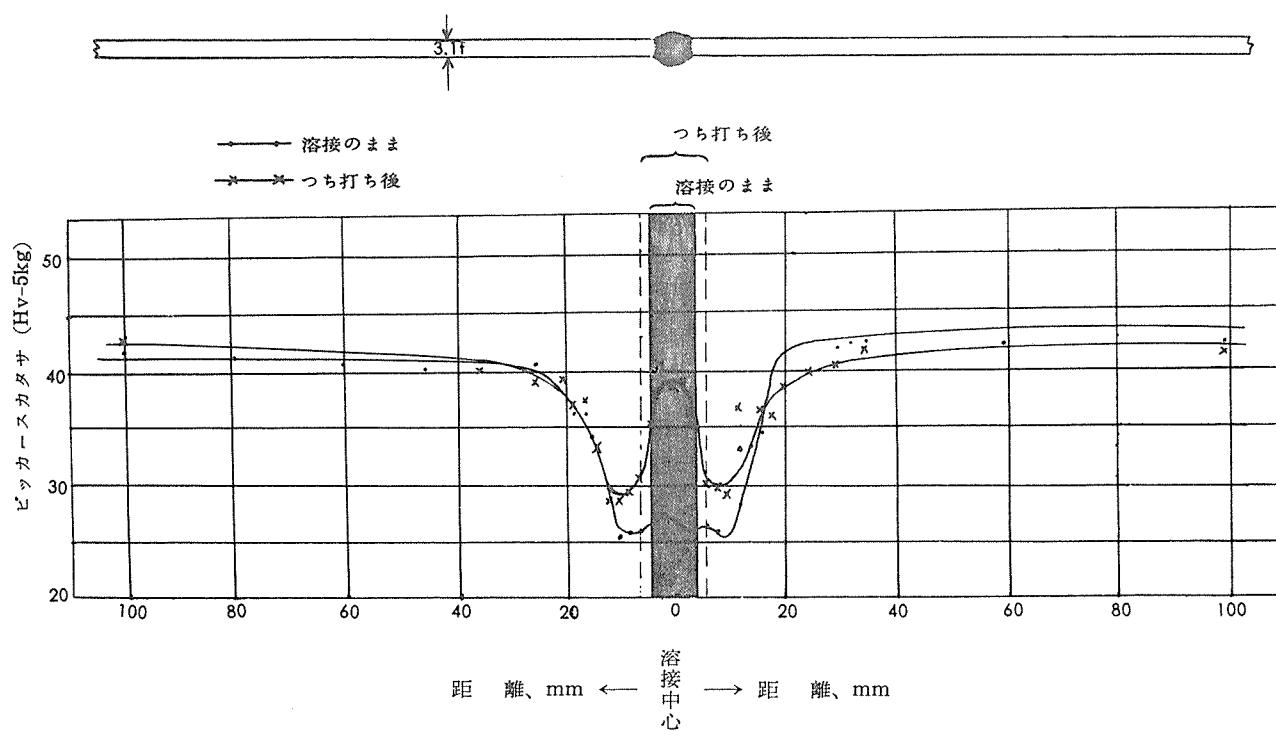


第28図 5052とAC7AとのTIG溶接部におけるカタサ分布
—溶加材 ANW—

12.5 溶接部のつち（鎚）打ち

溶接で作られたタンク類では、よく表面を滑らかにするため溶接部の余盛りを除去することがある。この場合あらかじめビードの表面をつち打ちしてから削除するのが一般に行なっている方法である。この場合つち打ちする前後に

おける溶接部の状況をカタサ分布とミクロ組織で示すと第29図および写真20となる。使用した材料は1100-H(厚さ3.1mm)で、溶加材も1100をもってTIG溶接したものである。明らかに溶接部のカタサは上昇し、ミクロ組織的にも結晶粒が変形している。しかし2番の部分は母材を叩くことになり、避けているのでカタサの回復は顕著でない。



第29図 つち打ちによるカタサの変化
—母材1100-H₁/4, 溶加材 1100—

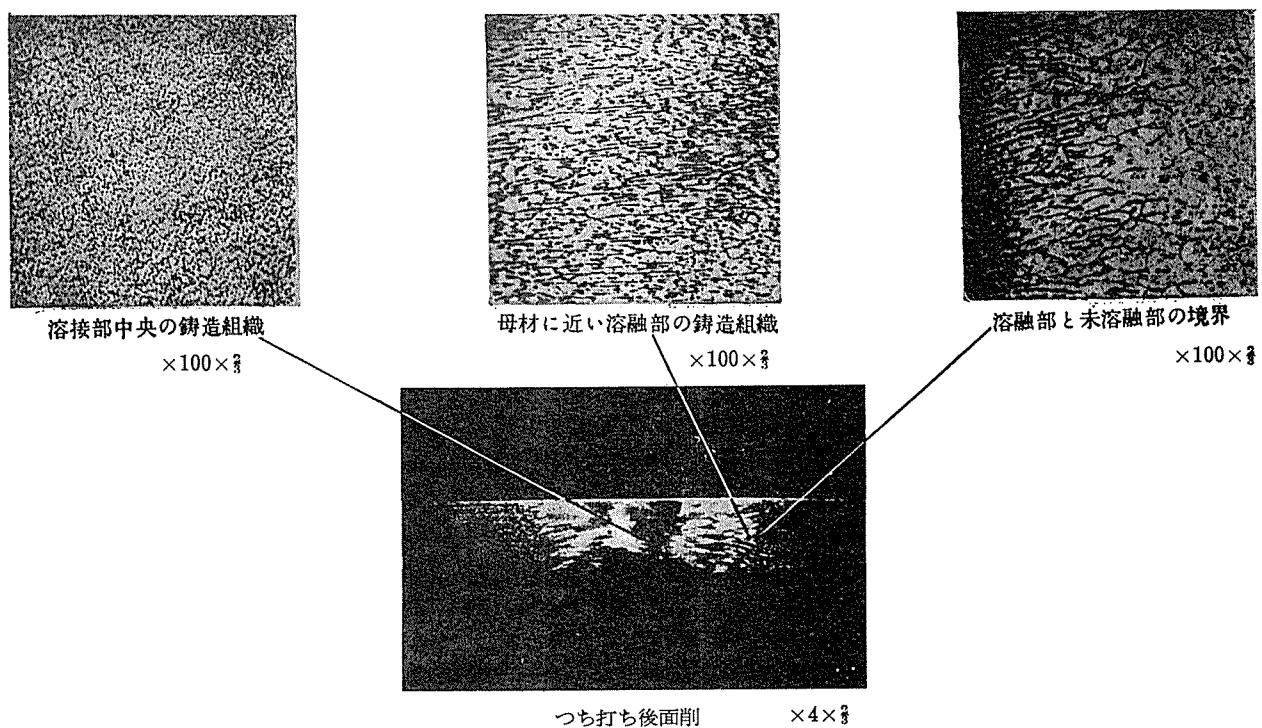
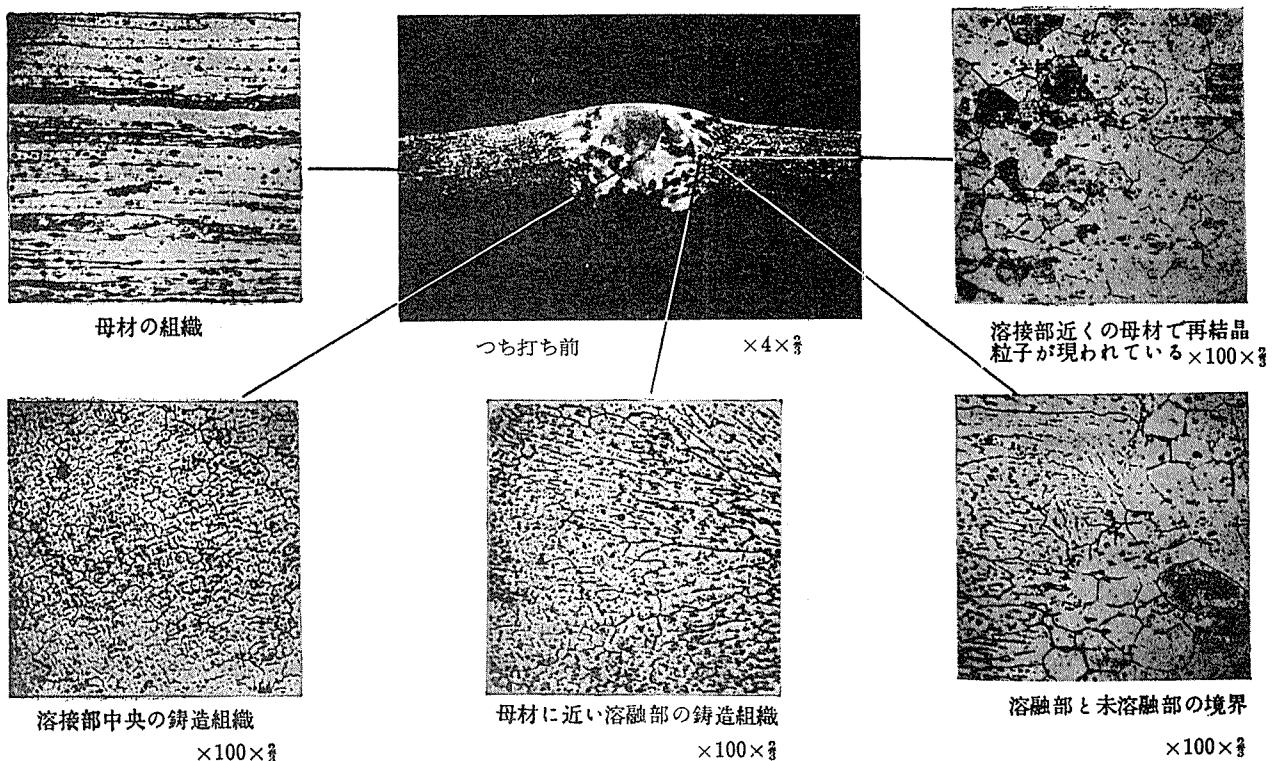
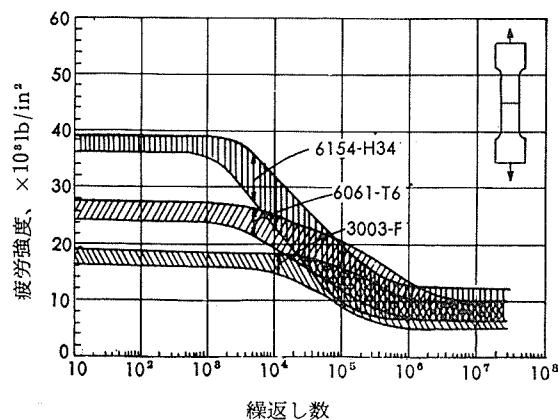


写真 20 溶接部のつち打ち前後におけるマクロおよびミクロ組織
—母材1100- $\frac{3}{4}$ H (3.1mmt)、溶加材1100、過塩素酸の電解腐食—

以上はいずれも溶接部に対する静的試験の結果であるが、溶接構造が次第に利用されるに従って溶接部の疲労が問題となる。第30図は厚さ $\frac{3}{8}$ " の 3003-F、5154-H34 および 6061-T6 板を TIG と MIG で溶接した継手に対する疲労試験の1例を示したが、⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁷⁾ 10⁸ サイクル以上における強度はいずれも数 kg/mm² となり合金別による差がほとんど認められないことは注目すべき事柄である。



第30図 溶接した耐食アルミニウム合金板の疲労強度

13. む す び

以上アルゴン・アーク溶接とそれをアルミニウム合金に利用した場合について述べたが、まだ十分につくしていない。特に経済上から各種溶接方法の比較を十分検討する価値があるにもかかわらず果していない。ただガス溶接に比べ、TIG や MIG 溶接機 (TIG の 3~4 倍高) は多額の設備費を必要とするが、十分にか (稼) 動させた場合は 5~10ヶ月で消費したアルゴン量のコストが設備費より高額となることを認識する必要がある。溶接長サ 1mあたりのコスト (厚サにより多少違う) を比較すると、アルゴンの市価が高価であった初期は別として、最近では TIG は酸素・アセチレンよりやや低いか同じ程度に達し、MIG では TIG の約 $\frac{1}{3}$ の低コストになる例があり、コスト的にも将来への発展が期待できることを付言して本稿を終る。

文 献

- (1) B.E. Rossi : **Welding Eng.**, (1954), 160, Mc Graw Hill.
- (2) H.E. Rockefeller : **Welding J.**, 30 (1951), 711.
- (3) W.H. Wooding : **Welding J.**, 32 (1953), 299.
- (4) W.H. Wooding : **Welding J.**, 32 (1953), 407.
- (5) 小林：溶接界 5(953), 1, 18.
- (6) A. Muller, W.J. Green and G.R. Rothschild : **Welding J.**, 30 (1951), 717.
- (7) H.T. Herbst : **Welding J.**, 29 (1948), 600.
- (8) G.I. Gibson and G.R. Rothschild : **Welding J.**, 29 (1948), 496-S.
- (9) B.E. Rossi : **Welding Eng.**, (1954), 169.
- (10) 小林：溶接界 6 (1954), 11, 694.
- (11) R.W. Tuthill : **Welding J.**, 29 (1948), 785.
- (12) R.H. Gillette and R.T. Breymeyer : **Welding J.**, 30 (1951), 146-S.
- (13) W.H. Wooding : **Welding J.**, 32 (1953), 407.
- (14) T. McElrath : **Welding J.**, 38 (1959), 28.
- (15) Union Carbide Metalworking Bulletin 10 (1959), Dec. No. 4, 7.
- (16) A.R.E. Singer, P.H. Jennings : **J. Inst. Metals**, 73 (1946), 197.
- (17) 小林、大辻：日本金属学会昭和34年第44回春季大会に発表。
- (18) A. R. E. Singer, P. H. Jennings : **J. Inst. Metals**, 73 (1946), 273.
- (19) A. R. E. Singer, P. H. Jennings : **J. Inst. Metals**, 74 (1947), 227.
- (20) D. C. G. Lees : **J. Inst. Metals**, 72 (1946), 343.
- (21) J. Koziarski : **Welding J.**, 32 (1953), 970.
- (22) Alcoa : **Welding Alcoa Aluminum**, (1955) 17.
- (23) 内田、萩原：鉄道技研中間報告, 7-61 (1956); 溶接学会誌, 25 (1956), 660.
- (24) Linde : **How to weld with Heliarc Torches**, (1950) 21.
- (25) Alcan : **Aluminum Welding and Allied Processes**, Section 6, 6-3-3.
- (26) 船舶用軽金属委員会第7回報告書 (1956), 41 および改定案 (1959), 軽金属協会。
- (27) A.S.C.E. : **J. Structural Division**, 82 (1956) No. ST3.
- (28) 小林、三木：未発表。
- (29) A.D.A. **Symposium on Welding and Reveting Large Al Structures**, (1951), London.
- (30) C.T. Gayler, J.R. Girini, W.H. Wooding : **Welding J.**, 32 (1953), 179-S.
- (31) F.G. Nelson, Jr., F.M. Howell : **Welding J.**, 31 (1952), 397-S.
- (32) J.B. Custer : **Welding J.**, 33 (1954), 65-S.
- (33) E.C. Hartmann : **Welding J.**, 33 (1954), 21-S.
- (34) Aluminium Union : **Arc Welding of Aluminium and Its Alloys**, (1950), London.
- (35) 船舶用軽金属委員会：船舶用軽金属委員会報告書第5, 6, 7, (1954, 55, 56), 軽金属協会。
- (36) 内田、萩原：前掲。
- (37) 山口、坂本、山本：軽金属, (1953), 9, 69.
- (38) 鈴木、村瀬：溶接学会誌, 25 (1956), 681.
- (39) 小林、和氣：軽金属, (1953), 5, 76.
- (40) D.C. Martin, M.I. Jacobson, C.B. Voldrich : **Welding J.**, 32 (1953), 161-S.
- (41) W.R. Apblett, W.S. Pellini : **Welding J.**, 30 (1950), 473-S.
- (42) J.D. Dowd : **Welding J.**, 31 (1951), 448-S.
- (43) 小林、坂上：軽金属研究会第12回春季大会（京都）に発表。
- (44) 小林、和氣：軽金属、前掲。
- (45) 小林、三木：軽金属研究会第19回秋季大会に発表予定。
- (46) E.C. Hartmann, H. Holt : 前掲,
- (47) H. Holt : **Welding J.**, 35 (1956), 308-S.

R - 10

Reprinted from SUMITOMO LIGHT METAL TECHNICAL REPORTS Vol. 2, No. 1, JAN., 1961

アルミニウム薄板の引張試験片の形状について

竹内勝治 田中英司

On the Form of Tension Test Specimens of Thin Aluminium Sheet

by Katsuzi Takeuchi and Eiji Tanaka

住友軽金属工業株式会社研究部

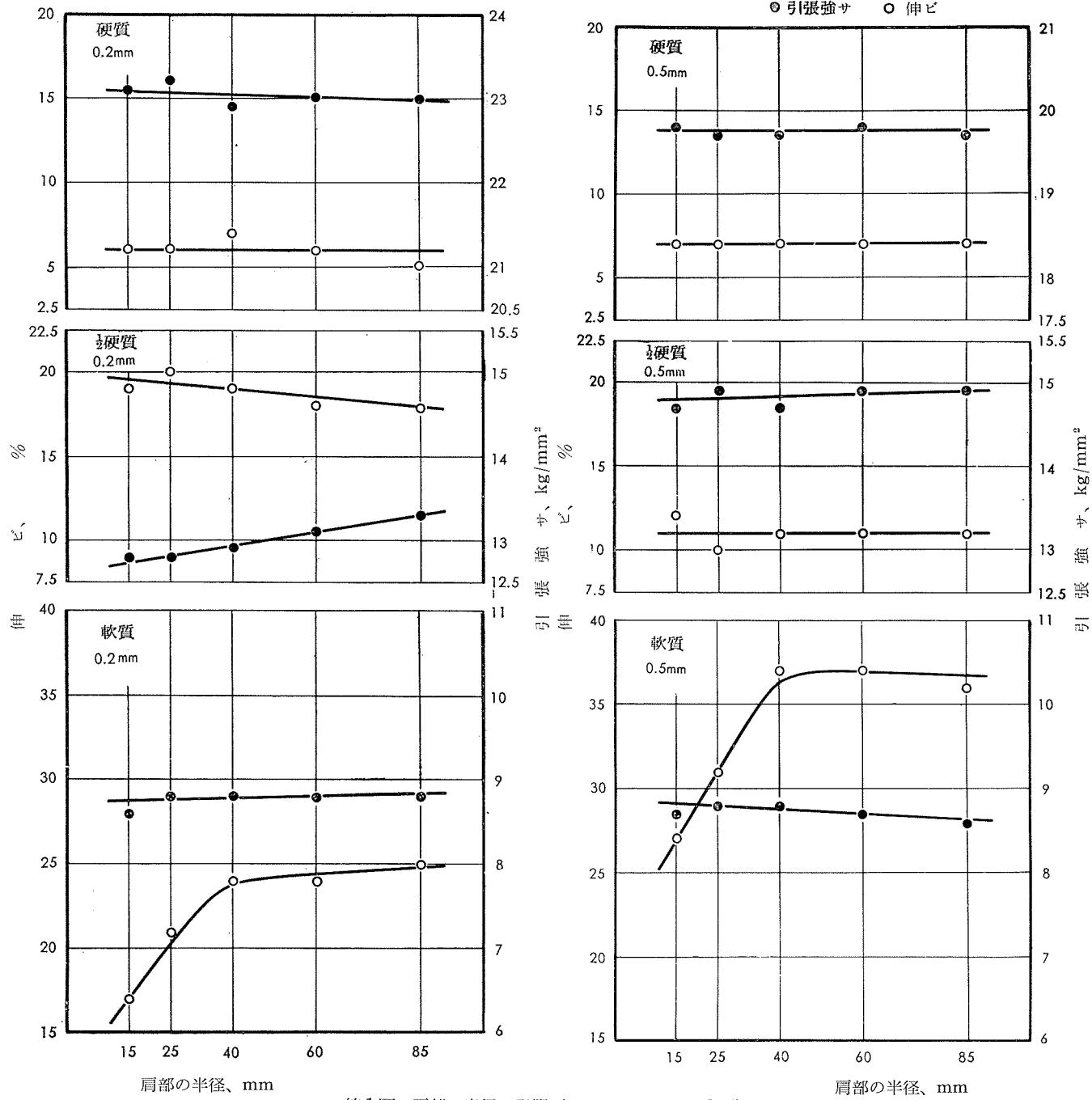
アルミニウム薄板の引張試験片の形状について

竹内勝治* 田中英司*

最近、厚さ 0.5mm 未満のアルミニウム板の需要が多くなり、フィン材その他の用途にかなり使用されている。

薄板の引張試験は JIS H 4101 によると「厚さ 0.5mm 未満の板では行わない」と規定されているが、その引張性質を測定することは品質管理上並びに用途面からも必要である。

薄板を厚板と同じ形状の試験片で試験を行うと、引張強さは余り変わらないが、標点外における破断をおこして伸びが著しく減少する場合がある。我々は薄板の引張性質を正しく評価するために、試験を如何にすべきかを検討する必要があり、その一つの手段として試験片の形状が引張性質に及ぼす影響を厚さ 0.2 及び 0.5mm のアルミニウム板



第1図 肩部の半径の影響（アルミニウム板、3種）

*研究部

3種 (JIS H 4101) について検討した。薄板の引張試験に関する資料は比較的少ないので、その結果を述べ御参考に供したい。

1. JIS 5号試験片の肩部の半径の影響

第1図は試験片 (幅35mm) 肩部の半径を横軸に、縦軸は引張強さまたは伸びをとて、板厚並びに質別に示したものである。

引張強さは各質別とも肩部の半径を変えても大差ないが、伸びは傾向が異なる。すなわち、硬質並びに半硬質の伸びは肩部の半径が変わってもほとんど同程度の値を持つのに対し、軟質は肩部の半径の増加に伴って伸びが増加し、肩部の半径40mm以上になるとその割合は減少する。

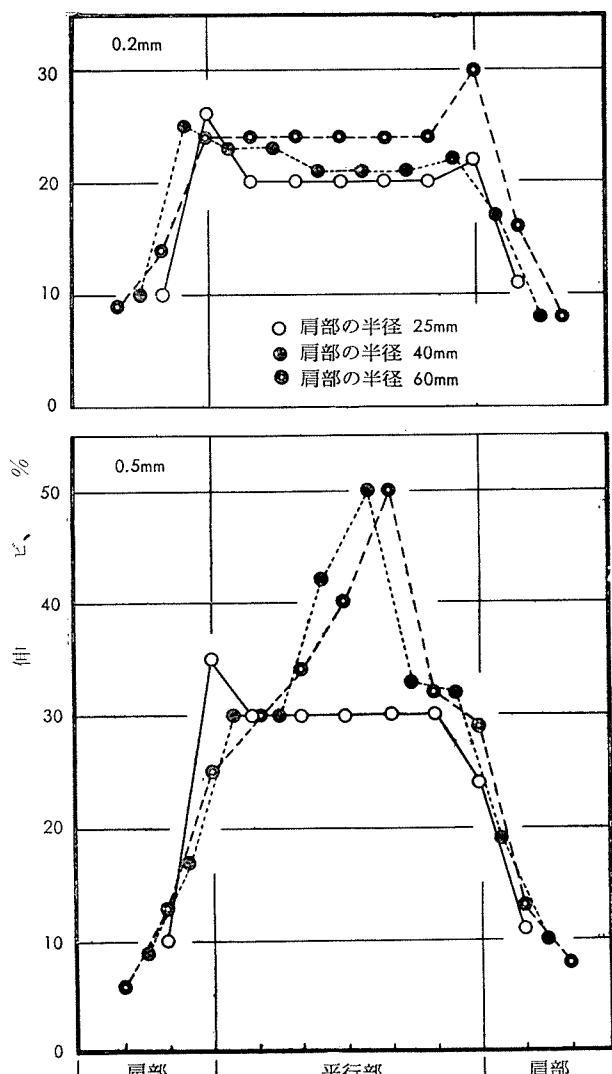
第2図は軟質板試験片の伸びの分布の一例である。

0.2mm板は破断位置が肩部の近くではあるが、肩部の半径が大きいものは平行部での伸びが増していることが判る。0.5mm板の場合、肩部半径25mmのものは0.2mm板と同様に肩部の近くで破断したが、肩部の半径40mm並びに60mmのものは平行部の中央で破断し、伸びの分布が異なっている。

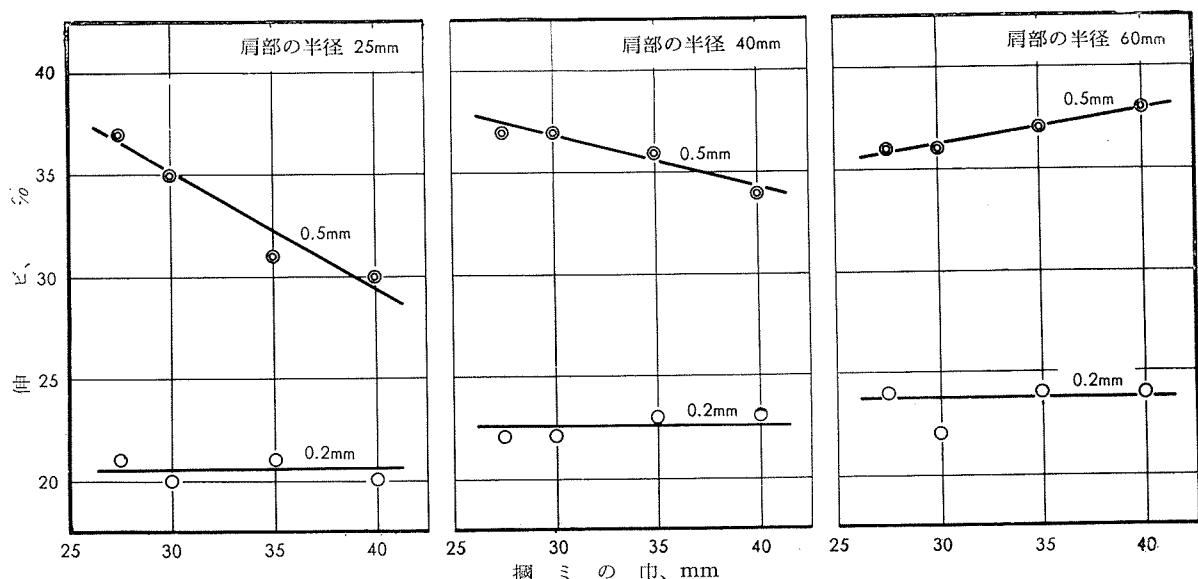
2. JIS 5号試験片の幅の影響

第3図は軟質板試験片の幅と伸びの関係を肩部の半径別に示す。

0.2mmの板は幅の相違が伸びにほとんど影響を及ぼさない。0.5mm板は幅を狭くすると伸びが多くなる場合 (肩部の半径25並びに40mm) と逆な傾向を持つ場合 (肩部の半径60mm) とがあるが、その程度は肩部の半径の影響よりもやや小さい。



第2図 伸びの分布



第3図 伸びに及ぼす幅の影響 (アルミニウム板3種、軟質)

3. JIS 5号試験片を縮小した場合

第4図はJIS 5号試験片(平行部の長さ60mm、肩部の半径25mm、幅35mm)の幅の巾と平行部の巾と同じ割合で縮小した試験片について試験した結果の一例を示したものである。

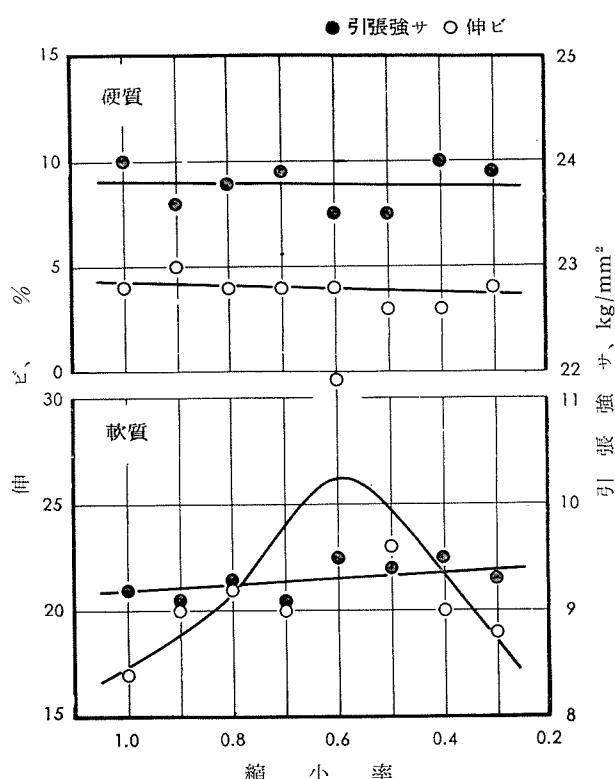
引張強さは試験片寸法が小さくなても両質別ともほとんど変わらないが、伸びの傾向は硬質と軟質とでは異なる。硬質の伸びは各縮小率とも同程度の値を持つが、軟質は縮小率0.6附近に最高値を持つ。

4. 総括

アルミニウム薄板の伸びの低い一つの原因是試験片の形状から生ずる肩部近傍の応力集中が挙げられる。

本資料によると、硬質並びに $\frac{1}{2}$ 硬質板は試験片の形状が引張性質にはほとんど影響を及ぼさないが、軟質板は肩部における応力集中を減ずるような形状の試験片を用いることが望ましいことを示している。すなわち、0.5mm未満の軟質板の引張試験を行う場合はJIS 5号試験片の幅の巾を35mm、肩部の半径を60mmとすると、比較的良好な伸びを得ることができる。

なお、高純度のアルミニウム薄板についても同様な検討を行い、同じ結果を得たことを附記する。



第4図 JIS 5号試験片縮小の影響