

# 耐 海 水 鑄 鉄 の 研 究

## A Study on Corrosion Resistant Cast Iron's Behavior in Sea Water

西 山 太 喜 夫\*      宮 崎 勢 四 郎\*  
 Takio Nishiyama      Seishirō Miyazaki

浜 野 敏 夫\*      相 沢 達 志\*  
 Toshio Hamano      Tatsushi Aizawa

### 内 容 梗 概

海水ポンプ用の材料として低合金鑄鉄で耐食性そのほかの性質のすぐれたものを見出すため二、三の実験を行った。

その結果普通鑄鉄の耐食性は微細な黒鉛とち密なパーライトによって保持されることが明らかとなり、さらにパーライト地の耐食性をあげるため諸種の合金元素を少量添加して実験を試みたところ、C 3.0%、Si 4.5%、Cr 1.5%を標準成分とする低 Si-Cr 鑄鉄が比較的価格低廉で耐食性のすぐれていることがわかった。

そこでその諸性質を調査した結果、この鑄鉄はこれとほぼ同じ抗張力を有する普通鑄鉄と比較して耐浸食性、耐摩耗性などがすぐれており、鑄造性もまた比較的良好なことを認めた。

### 1. 緒 言

海水を使用するポンプの部品は従来主として銅合金製であった。その回転部分のランナなどは常時海水にさらされており高度の耐食性が要求されるので、銅合金またはステンレスによらざるを得なかった。しかしケーシング、デリベリあるいは管類、バルブ類は重量も大きく通常の濃度と温度を有する海水の場合は鑄鉄によって作られることが多かった。

鑄鉄はその材質、組織、表面状態などによってかなり耐食性の異なるものであることが知られている<sup>(1)(2)</sup>。Ni-Resist などの高合金鑄鉄ならば相当な耐食性を有しているが高価であって汎用性に乏しい。筆者らは比較的低廉で耐食性が普通鑄鉄に数倍する耐海水鑄鉄の開発を目標とし、

(1) 鑄鉄の組織は海水に対する耐食性にどのような

影響を与えるか。

(2) 鑄鉄に少量の合金元素を添加したとき海水に対し耐食性が向上するか、どのような合金元素がこれを向上させるのに役だつか。

(3) 少量の合金元素添加による耐海水鑄鉄の材質そのほかの諸性質について種々検討し低 Si-Cr 鑄鉄が適当であることを認めたので結果について報告する。

### 2. 鑄鉄の静止海水中における耐食性及び組織の影響

#### 2.1 実験方法

鑄鉄の組織が耐海水腐食性に及ぼす影響を調査するため5種類の成分を有する鑄鉄を 10, 40, 80 mm 厚の階段状試験片と 30×40×200 mm の角柱状試験片に鑄込んだ。また比較試料としてダクタイル鑄鉄、砲金、圧延鋼

第 1 表 供試試料ならびに比較試料の化学成分と機械的性質

	材 質	炉別熱処理	化 学 分 析 値 (%)					抗 張 力 kg/mm <sup>2</sup>	硬 度		備 考
			C	Si	Mn	P	S		ブリネル	ショア	
供 試 料	No. 1	高周波炉	3.77	2.27	0.51	0.177	0.072	24.3	201	29	
	No. 2	キューボラ	3.51	2.43	0.37	0.288	0.094	21.7	229	36	
	No. 3	キューボラ	3.35	2.07	0.42	0.365	0.094	24.7	212	35	
	No. 4	高周波炉	2.97	1.66	0.49	0.123	0.068	27.6	235	33	
	No. 5*	高周波炉	3.08	1.66	0.48	0.127	0.054	29.6	207	31	
比 較 試 料	DCI-55	鑄造のまま	3.49	3.43	0.32	0.057	0.014	70.6	269	37	伸び 1.2%
	DCI-40	焼 鈍 後	3.49	3.43	0.32	0.057	0.014	53.6	197	28	伸び 15.2%
	ミーハナイト	調 質	3.01	1.40	1.09	0.059	0.032	54.9	352	50	現 品
	FC 19	鑄造のまま	3.23	2.70	0.54	0.319	0.084	19.1	207	31	現 品
	平 鋼	圧 延	0.07	0.19	0.37	0.015	0.011	—	—	—	
	S 35 C	圧 延	0.32	0.19	0.63	0.034	0.014	59.8	163	22	伸び 28.8%
BC 3	鑄造のまま	Cu % 87.40	Sn % 9.46	Zn % 0.92	Pb % 2.22	Fe % Tr	—	—	—		

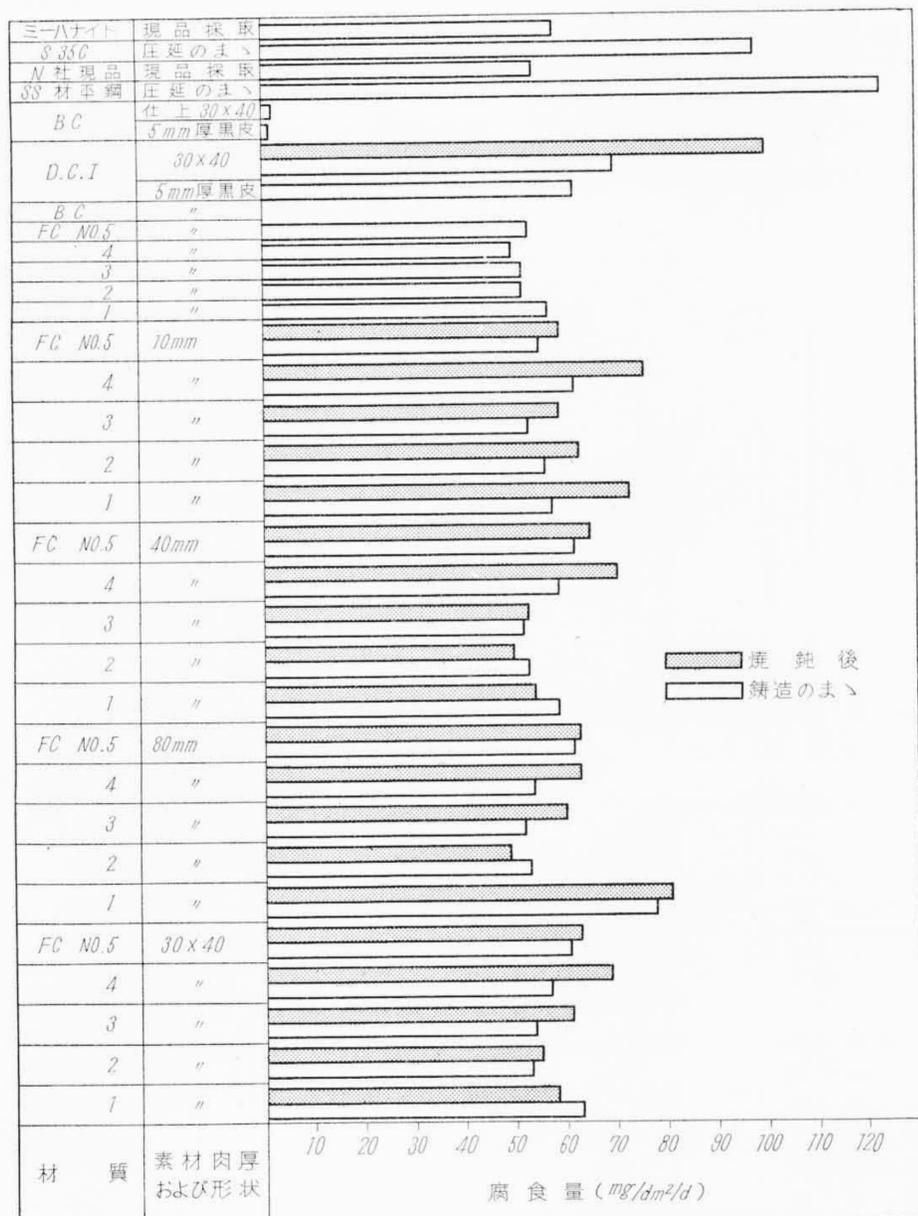
\* No. 4 にCa-Si (0.4%Siの割合で) を添加接種した。

\* 日立製作所亀有工場

第2表 人工海水の化学的成分

(蒸溜水 1 l に対する g 数)

NaCl	MgCl <sub>2</sub> · 4 H <sub>2</sub> O	MgSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	KCl	NaHCO <sub>3</sub>	NaBr
26.518	2.447	3.305	1.141	0.725	0.202	0.083



第1図 供試試料ならびに比較試料の腐食減量

材などを用いた。これらの試料の化学成分を第1表に示す。試験片はいずれも 30×30×5 mm に機械仕上げの後エメリーで逐次研磨し鏡面近くまで仕上げた。

静止浸漬腐食試験の方法として時間的にすみやかに腐食を進行させるため浸漬および大気中へ引きあげることによる乾燥を交互に繰り返す方法をとった。海水の成分は地方によって異なるが、とりあえず日本近海の海水の NaCl 分<sup>(3)</sup>に近い人工海水を実験に使用した。

成分は第2表のとおりで pH は 8.0 であった。

室温にてビーカーに人工海水を 500 cc ずつ入れガラス製のフックにつるした試料を浸漬した。実験完了後の試料の洗浄は 10% HCl 溶液に腐食抑制剤ウロトロピン 0.5% を添加し 50 分間浸漬して行った。

## 2.2 実験結果

腐食試験の進行とともに一般に鑄鉄の黒皮試験片は最初から増量を示し、切削した試片は最初 60 時間くらいは減量し以後増量を示した。これは新しい面は鉄が溶解して重量が減少するがある時間以後はかるくブラッシで落す程度の洗浄操作では腐食生成物を完全に離することが困難である。したがって表面は一見きれいに見えていても増量する結果となったのである。

浸漬時間 1,795 時間、大気乾燥 985 時間、合計 2,780 時間の腐食試験を終了した試料を酸洗して腐食生成物を除いたのち、秤量した結果から各材質各肉厚別の腐食減量を計算した。単位は mg/dm<sup>2</sup>/day である。また比較試料としてミーハナイトが 2,330 時間、銅合金は 3,370 時間、そのほかは普通鑄鉄同様 2,780 時間のちの結果を同じ要領で計算した。

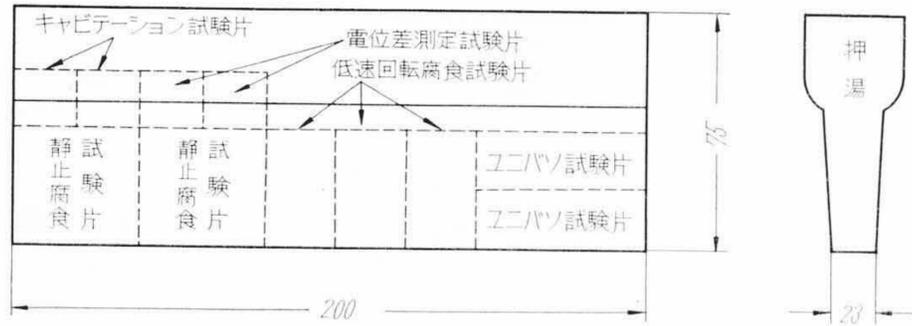
これらの腐食減量を各肉厚別に鑄放状態および 700°C 焼鈍状態とを比較したのが第1図である。一般に鑄放状態のほうが焼鈍したものより耐食性がよい。これは 700°C の不完全焼鈍によって若干パーライトの分解によりフェライトが生成し、黒鉛との電位差を大きくしたためと考えられる。普通鑄鉄は砲金に比しはるかに耐食性は劣るが鋼材よりはるかに良好である。これは片状黒鉛が腐食の進行を阻止しているためと考えられる。なかで FC No. 2, 3, 4 が良好である。FC No. 3 の耐食性の最もよい理由は顕微鏡組織を比較した結果、パーライトが極めて密で黒鉛もやや細かいことによると考えられる。このような組織にすることが一般の鑄鉄系材料における耐海水性を維持する不可欠条件である。

## 3. 鑄鉄の海水に対する耐食性に及ぼす合金元素の影響

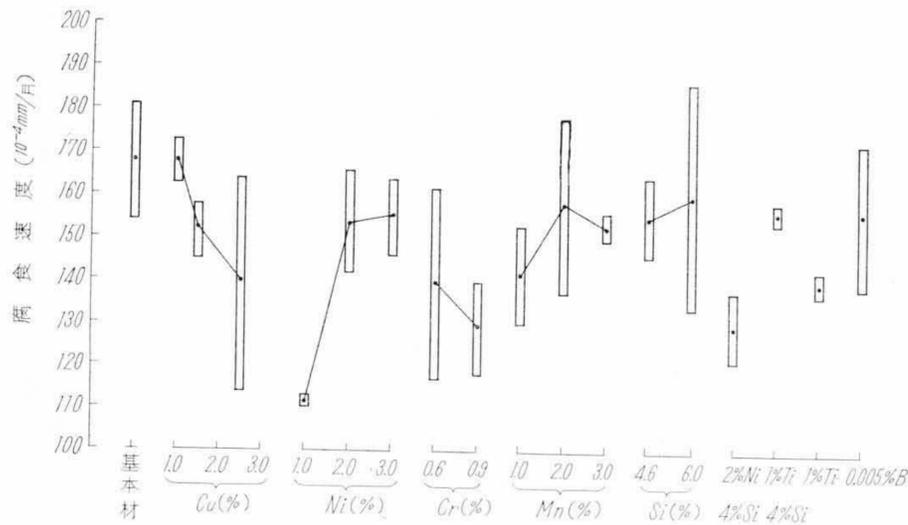
### 3.1 実験方法

#### 3.1.1 試料の作成と組織の調査

低合金鑄鉄で比較的耐食性がよく、溶解、鑄造、加



第2図 舟形試験片形状および各種試験片採取位置



第3図 静止腐食試験による腐食速度に及ぼす添加元素の影響

第3表 試料の目標成分、化学分析値および比重

試料 No.	添加元素およびその添加量	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Cu %	比重
A-1	基本材	3.34	2.35	0.34	0.244	0.096	0.02	Tr	0.29	7.21
B-2	Cu 1.0%	3.22	2.35	0.29	0.230	0.091	0.06	0.05	1.08	7.22
B-3	2.0	3.27	2.52	0.23	0.212	0.088	0.06	0.04	1.89	7.24
B-4	3.0	3.22	2.24	0.26	0.243	0.096	0.05	0.08	2.72	7.23
C-2	Ni 3.0	3.21	2.23	0.28	0.246	0.091	0.09	2.92	0.32	7.19
3	2.0	3.24	2.34	0.29	0.257	0.088	0.06	1.95	0.17	7.23
4	1.0	3.25	2.34	0.31	0.262	0.096	0.11	1.04	0.26	7.24
D-2	Cr 0.6	3.18	2.23	0.31	0.226	0.064	0.60	0.06	0.14	7.25
D-3	0.9	3.08	2.23	0.31	0.227	0.067	0.91	0.05	0.15	7.40
E-2	Mn 1.0	3.31	2.18	0.92	0.240	0.102	0.05	0.05	0.15	7.15
E-3	2.0	3.30	2.11	1.87	0.237	0.062	0.06	0.06	0.14	7.14
E-4	3.0	3.48	2.20	2.74	0.232	0.067	0.08	0.06	0.14	7.18
F-2	Si 4.0	2.81	4.17	0.32	0.258	0.121	0.09	0.07	—	7.11
F-3	6.0	3.07	6.24	0.34	0.239	0.124	0.08	0.06	—	6.94
F-4	Si 4.0 Ni 2.0	3.02	4.04	0.29	0.234	0.127	0.07	1.91	—	7.13
F-5	Si 4.0 Ti 1.0	2.86	4.11	0.34	0.237	0.141	0.09	0.11	—	7.14
H-1	Ti 1.0	3.01	2.29	0.33	0.219	0.137	0.07	—	—	7.20
K-1	B 0.005	2.99	2.31	0.31	0.237	0.141	0.06	—	—	7.23

第4表 比較試料の化学成分および比重

試料 No.	材質	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Cu %	比重
M-1	FC-15	2.73	1.34	0.65	0.141	0.110	0.04	—	—	7.24
M-2	FC-25	3.17	1.58	0.54	0.138	0.102	0.05	—	—	7.33
N-1	ニレジスト	3.27	1.71	0.95	0.142	—	2.17	17.94	7.00	7.48

工なども容易で、しかも機械的性質の良いものをうるため、CおよびSi含有量がFC 10程度の鋳鉄に対し効果のあると考えられる元素すなわち、Si、Cr、Cu、Mn、Ni、Ti、Bなどを添加し諸種の実験を行った。

3.33% C, 2.29% Si, 0.38% Mn, 0.286% P, 0.095% S, 0.06% Cr, 0.04% Ni, 0.04% Ti, 0.10% Alの成分を有する鋳鉄を3kgずつ高周波電気炉で熔解し合金鉄または純金属で各元素を1~2種ずつ添加した。1,500°Cに昇温後第2図に示すように乾燥形舟形試験片に鑄込んだ。図中に各種試験片の採取位置を示す。その添加目標値と試料の成分は第3表のとおりである。また比較試料として第4表のような成分のものを鑄込んだ。以上の試料の組織を顕微鏡で調査した。

### 3.1.2 腐食試験法

静止腐食試験は上述の普通鋳鉄のとき行ったとほぼ同様の方法によった。人工海水の成分も同じにした。ただし試験時間はやや短く約1,000時間にし、

低速回転腐食試験はE. H. Huse氏<sup>(4)</sup>の方法に準じて日立製作所亀有工場で作った装置によって行った。試料を40°Cの人工海水(成分同前)中で72時間回転(周速3.8m/min)させて24時間ごとに3回秤量を行い腐食による試料の肉厚減量(S)を次式により算出した。

$$S = W/dA \quad (\text{単位 mm})$$

ここに W: 腐食減重量

d: 試料の比重

A: 試料の表面積

またこの値を腐食時間で割って腐食速度を算出した。

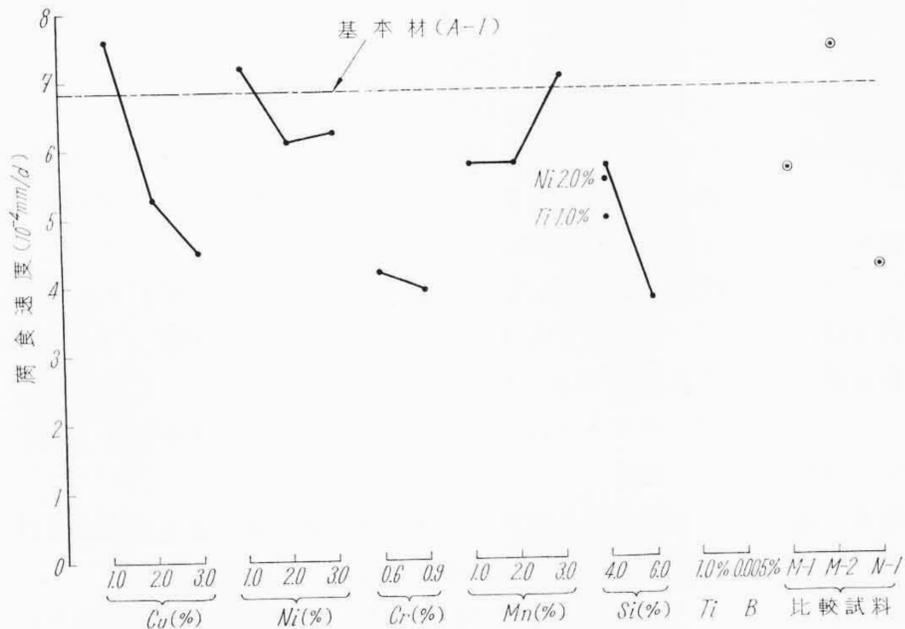
つぎにキャピテーションエロージョンに対する抵抗を40°C人工海水を用い磁ひずみ振動方式<sup>(5)</sup>によって試験した。

### 3.2 実験結果

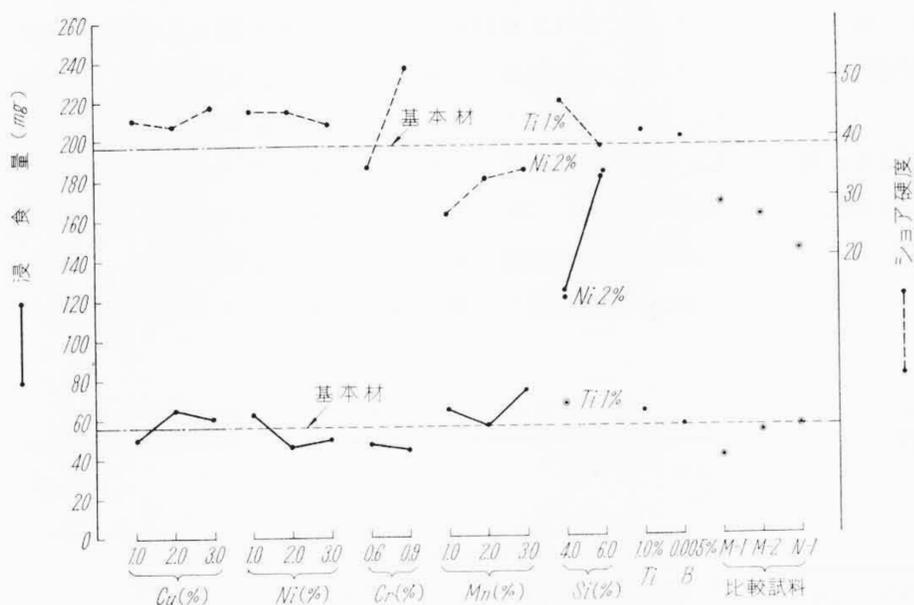
#### 3.2.1 腐食試験結果

静止腐食試験における腐食速度に及ぼす添加元素の影響は第3図に示すように棒グラフの範囲にかなりばらついた。この中でCuは多いほど良く、Crも効果があり、Ni+Siも良好であった。Ni単独の場合1% Niの試料がかなりの腐食速度を示したのは試料の状態が良くなかったのではないかと考えられる。

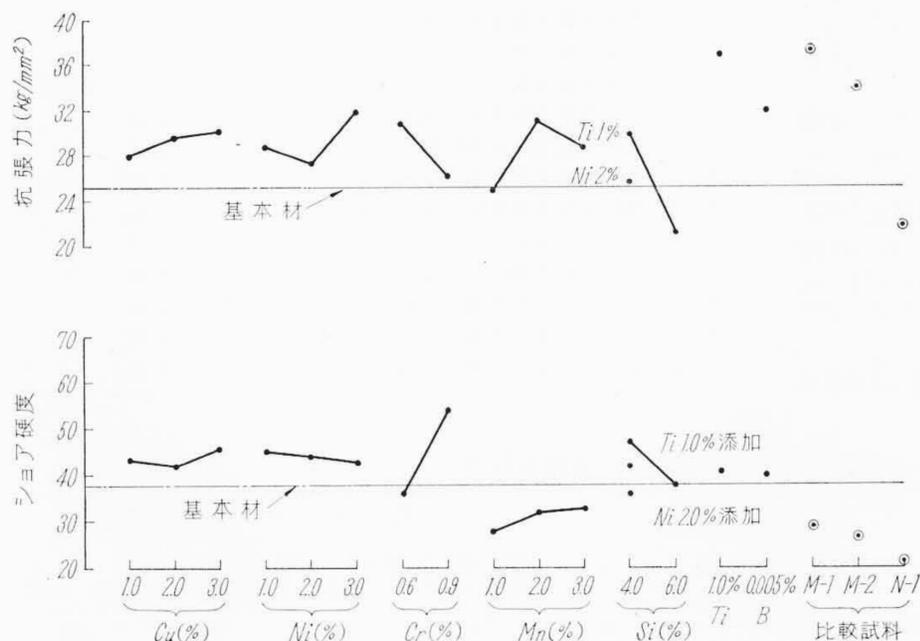
低速回転試験の結果は第4図のようでCrを含む試



第 4 図 低速回転腐食試験による腐食速度に及ぼす添加元素の影響



第 5 図 キャビテーション浸食量に及ぼす添加元素の影響



第 6 図 機械的性質に及ぼす添加元素の影響

料および 3% Cu の試料は静止試験と同様の傾向で良好であった。6% Si, 1% Ti などの試料も良い成績であった。Ni はあまり耐食性良好でなかった。

次にキャビテーション浸食量に及ぼす添加元素の影響を第 5 図に示す。この浸食量は同系統の材質については硬度と反比例すると考えられるので<sup>(6)</sup>、試料のショア硬度を併記した。0.9% Cr の試料は硬度の大きな割合に浸食量は小でなかった。未処理の普通鋳鉄より浸食量小なるものは意外に少なく、6% Si の試料などは非常に多かった。

以上の各試料の抗張力は第 6 図のとおりで、試料肉厚が小であったため普通鋳鉄でも約  $25 \text{ kg/mm}^2$  を示し、合金鋳鉄はかなり強い。普通鋳鉄より坑張力が小なのはフェライトの多い 6% Si の試料のみであった。

### 3.2.2 低合金耐海水鋳鉄の材質選定

以上の結果から各種添加元素の耐食性に及ぼす効果を考察して見ると、Si は本実験では高珪素鋳鉄のように多量には添加しなかったが、6% Si の試料には相当量のシリコフェライトを含有すると思われ、そのため耐食性は良かったが耐浸食性が劣る結果となった。これはまた黒鉛が発達しすぎたためでもある。

Cr は有望な元素である。多量添加するとセメントサイトを析出するので鋳物として用いることができにくい、本実験の添加量範囲ではパーライトがち密となり、かつ黒鉛が少なくまた小さく晶出したので耐食性、耐浸食性が良好となった。

Cu は本実験の添加量の範囲でも坑張力を増すという説が多いが<sup>(7)(8)</sup>、これと同様な実験結果を示し、かつ耐食性、耐浸食性とも比較的良好だったのは黒鉛が細かく密集し共晶に近い密な組織になったからではないかと考える。

Cr および Cu を含む試料は静止腐食試験で局部的腐食を受けることが認め

られたが、鑄鉄の肉厚効果と耐食性との関係を検討する必要があると考えられる。

Ni の添加は組織を均一にしそのため機械的性質が良くなったが、耐浸食性が若干良好となった程度であった。

Mn は耐食性に対し効果が少なく、B も影響が不明であった。Ti は1% の添加によってち密なパーライトと芋虫状黒鉛の混合組織を生じ、機械的性質も良好で耐食性耐浸食性ともに優良であったが、共晶鑄鉄として別に研究されるべきものとする。

このように考えてくると、興味のあるのはSi とCr あるいはCu とSi の複合添加である。このうち後者は岡本博士<sup>(9)</sup>により研究され6% Si に1.0~1.5% Cu を添加して焼入すると耐食性を著しく向上すると結論している。筆者らも同様な成分の二、三の鑄鉄について実験し結果を認めたが(省略)、この鑄鉄が海水に強いのか、また筆者らの考えたSi とCr の複合添加が海水に対し効果があるか否かを確かめるため、次の実験を行った。

本報ではSi-Cr 鑄鉄を中心として考察し、Si-Cu 鑄鉄は別の実験で性質良好と認められたもののみをほかの鑄鉄と同様比較試料として扱うこととした。

#### 4. Si-Cr 鑄鉄の諸性質について

##### 4.1 実験方法

耐食性、耐浸食性が良好で機械的性質、鑄造性などが

普通鑄鉄に匹敵し、価格もあまり高価とならないことを考慮に入れると、Si はせいぜい6% まで、Cr は1.5% までと考えられる。Si を4.5 および6%、Cr を0.8 および1.5% 添加し、Cr を添加しないものを含めた6成分の試料を高周波電気炉で熔製した。原料は4.16% C, 1.20% Si, 0.34% Mn, 0.082% P, 0.017% S, 0.1% Cr, Ni Tr, 0.26% Cu, 0.12% Ti のような成分の釜石ダクタイル鉄で、これに75% Fe-Si, 60% Fe-Cr を添加し、1,500°C に昇温後 25φ×250l (mm) 丸棒に注湯した。C% の目標はパーライトのち密さと黒鉛の粗大化防止を考え2.8% とした。

熔製された試料の化学成分は第5表のようでSi は目標よりやや高目、Cr はやや低目となった。

これらの試料につき前章と同様40°C の人工海水中で低速回転腐食試験およびキャビテーションエロージョン試験を行い、さらに機械的性質も検討した。

つぎにSi-Cr 鑄鉄のC% を再検討し適当な含有量を決定するため数種類の試料を熔製した。4.08% C, 2.27% Si, 0.56% Mn, 0.124% P, 0.015% S, 0.01% Cr, 0.08% Cu のような成分を有する釜石ダクタイル鉄を高周波電気炉で熔解し、75% Fe-Si, 60% Fe-Cr を添加し、1,450°C に昇温後 20φ砂型に鑄込みその組織を調査した。それらの試料の化学成分は第6表に示すとおりである。組織が

第5表 試料の化学分析結果

試料 No.	試験種目*	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Cu %	比重
P-1	⊕ ⊕	2.81	4.82	0.37	0.067	0.024	0.05	—	7.15
P-1	⊕	2.85	4.58	0.31	0.069	0.024	0.05	—	—
P-2	⊕ ⊕	2.80	4.62	0.35	0.054	0.026	0.78	—	7.16
P-2	⊕	2.85	4.60	0.34	0.061	0.027	0.78	—	—
P-3	⊕ ⊕	2.73	4.92	0.35	0.063	0.027	1.46	—	7.21
P-3	⊕	2.73	5.00	0.30	0.059	0.022	1.47	—	—
P-4	⊕ ⊕	2.78	6.32	0.32	0.061	0.024	0.05	—	6.99
P-4	⊕	2.72	6.23	0.33	0.067	0.020	0.05	—	—
P-5	⊕ ⊕	2.76	5.58	0.35	0.046	0.020	0.82	—	7.01
P-5	⊕	2.68	6.35	0.32	0.059	0.023	0.71	0.31	—
P-6	⊕ ⊕	2.70	6.00	0.31	0.050	0.021	0.36	—	7.09
P-6	⊕	2.68	5.98	0.33	0.050	0.022	1.43	—	—

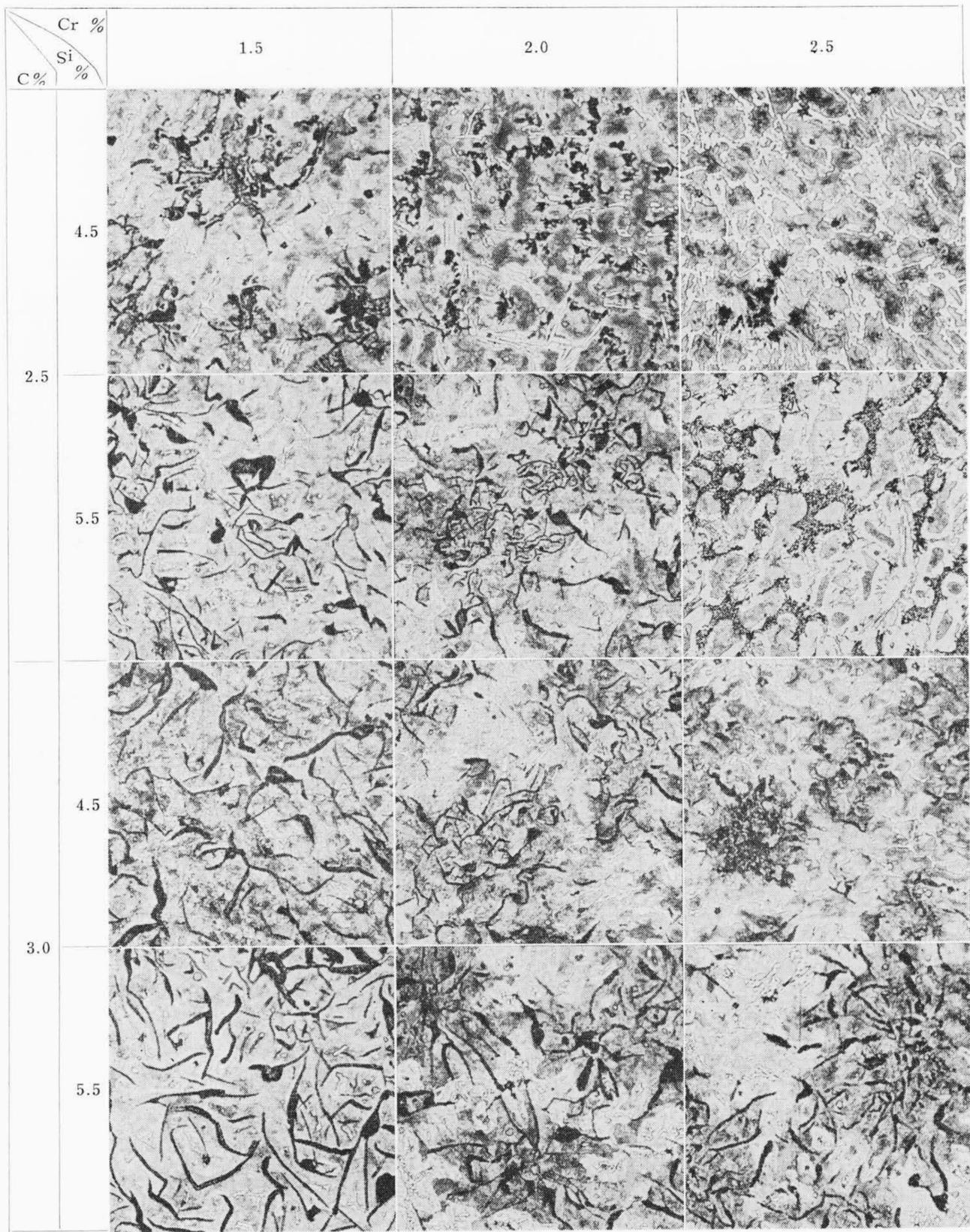
\* ⊕ は機械試験用の試料であることを示す。  
 ⊕ は低速回転腐食試験用の試料であることを示す。  
 ⊕ はキャビテーションエロージョン試験用の試料であることを示す。

第6表 供試試料の化学分析結果

試料 No.	目標成分 (%)			化学分析値 (%)						備考
	C	Si	Cr	C	Si	Mn	P	S	Cr	
V-1	2.0	4.5	1.0	1.81	4.55	0.19	0.152	0.070	1.13	切削不能
V-2	2.0	4.5	1.5	1.78	4.65	0.18	—	—	1.67	
V-3	2.0	4.5	2.0	1.68	4.37	0.22	—	—	2.16	
V-4	2.0	5.5	1.0	1.96	5.56	0.19	—	—	1.08	
V-5	2.0	5.5	1.5	1.96	5.43	0.19	—	—	1.52	
V-6	2.0	5.5	2.0	1.94	5.58	0.18	—	—	2.02	
V-7	2.5	4.5	1.5	2.40	4.50	0.25	—	—	1.61	
V-8	2.5	4.5	2.0	2.31	4.42	0.25	—	—	2.10	
V-9	2.5	4.5	2.5	—	—	—	—	—	—	
V-10	2.5	5.5	1.5	2.45	5.65	0.28	—	—	1.61	
V-11	2.5	5.5	2.0	2.33	5.74	0.26	—	—	2.02	
V-12	2.5	5.5	2.5	2.31	5.62	0.30	—	—	2.58	
V-13	3.0	4.5	1.5	2.94	4.34	0.28	—	—	1.65	
V-14	3.0	4.5	2.0	2.82	4.40	0.21	—	—	2.15	
V-15	3.0	4.5	2.5	2.75	4.45	0.32	—	—	2.62	
V-16	3.0	5.5	1.5	2.91	5.60	0.33	—	—	1.61	
V-17	3.0	5.5	2.0	2.87	5.50	0.30	—	—	1.95	
V-18	3.0	5.5	2.5	2.80	5.58	0.29	—	—	2.29	

第7表 供試試料の化学成分および機械的性質

試料 No.	化学成分 (%)								機械試験値			
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗折最大荷重 (kg)	抗折たわみ (mm)	ブリネル硬度
K-223	2.76	4.50	0.57	0.113	0.010	1.65	0	0.16	17.6	800	5.0	285
K-242	2.85	5.55	0.61	0.090	0.014	2.14	0	0.15	11.5	500	3.8	212



第7図 供試試料の顕微鏡組織 (×100)

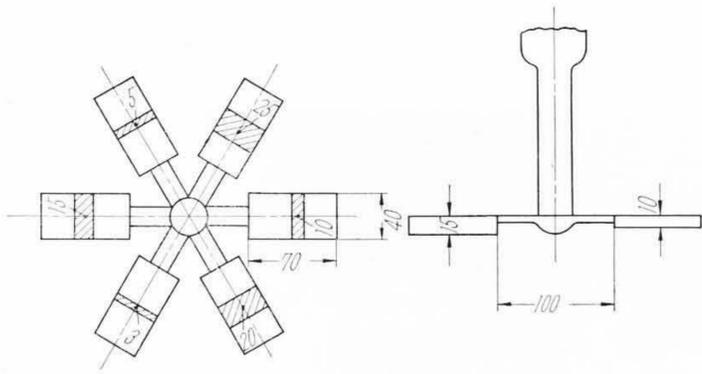
ら見ると普通鋳鉄に近い密なパーライトと、適度の大きさに発達して切削性を阻害しないような黒鉛とを有するものはCが少なくとも2.5%以上で4.5~6.0% Si, 1.5~2.3% Crの範囲でなければならない。C%の低いものやCr%の高いものはセメントライトが析出し白鉄に近くなる。2.5% C および3.0% Cの各試料の組織を第7図にかかげた。

この中でSiは上記の範囲で高いほうがよいか、低目がよいか、もし高目とすればパーライト組織を維持する

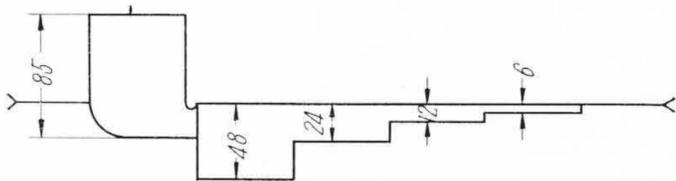
ためCrも高目にせねばならない。したがって最終的に鋳造性を含め耐海水鋳鉄にふさわしいものを第7表のように2種類にしぼって検討することとした。

鋳造性試験など諸種の試験用試験片および小物ポンプ部品を鋳造するため、60 kVA 塩基性高周波電気炉で4.06% C, 2.33% Si, 0.61% Mn, 0.132% P, 0.023% S, 0.05% Cr, Ni Tr, 0.15% Cu のような成分の尼ヶ崎鋳を熔解, 1,400°Cに昇温後湯汲にとり注湯した。

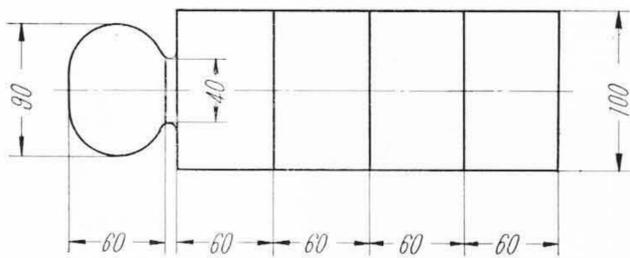
流動性試験片のみ1,340°C (Pt, Pt-Rh 熱電対で测温)



第8図 肉厚感度試験片 (生砂型)



第9図 階段式肉厚感度試験片 (乾燥型)



第8表 比較試料の化学成分および機械試験値

記号	材質	化学成分 (%)					機械試験値	
		C	Si	Mn	P	S	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	ブリネル硬度
W-2	FC-15	3.52	2.33	0.53	0.084	0.071	18.5	183
W-3	FC-25	3.19	2.20	0.68	0.061	0.092	26.1	229
W-4	DCI-55	3.52	2.43	0.37	0.054	0.008	71.2	255

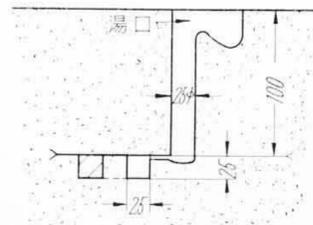
で注湯, ほかの試験片は 1,300~1,370°C で注湯した。JIS 抗張および抗折試験片は 30φ×500 mmの砂型に铸込んだ素材より加工し試験した。その結果化学成分と機械的性質は第7表のとおりであってほぼ目標どおりのものが得られた。

流動性は渦巻状試験片の砂型に铸込んで調査した。

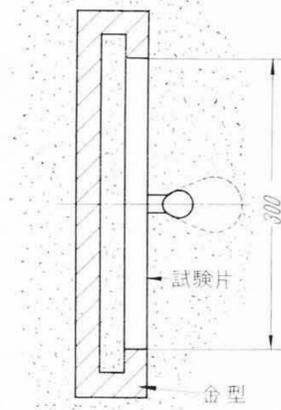
肉厚感受性試験のため第8図(生砂型), 第9図(乾燥型)にそれぞれ铸込んだ。これらの試験片はその断面の肉眼組織および中央部の顕微鏡組織の調査に用いた。

線収縮測定のため第10図のような試験片も铸込んだ。

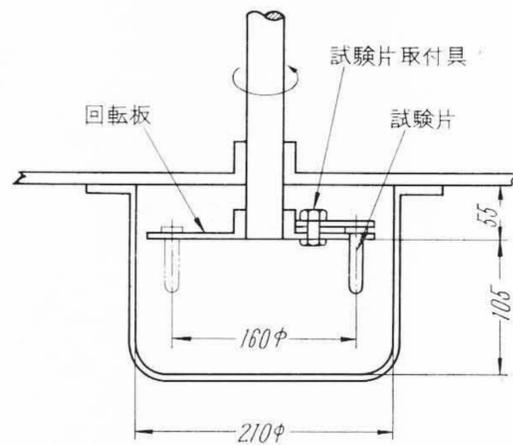
つぎに耐食性試験として低速回転腐食試験, キャピテーションエロージョン試験および泥水中の摩耗試験を行った。前2者はいずれも前述の実験に用いたと同一の方



第10図 線収縮試験片



第11図 摩耗試験片

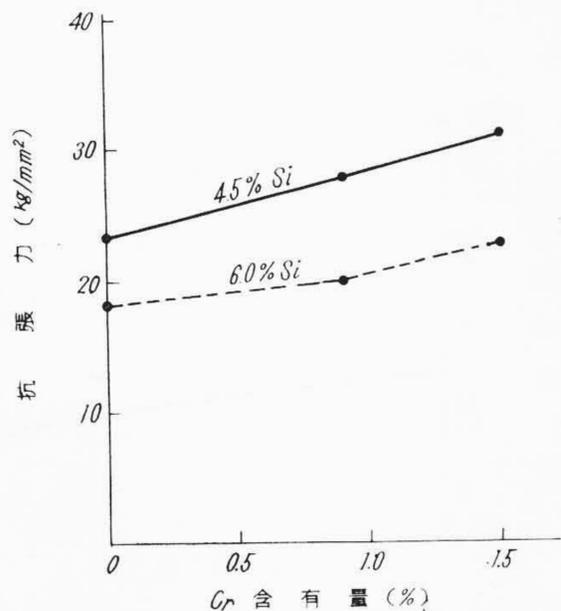


第12図 泥水中摩耗試験装置

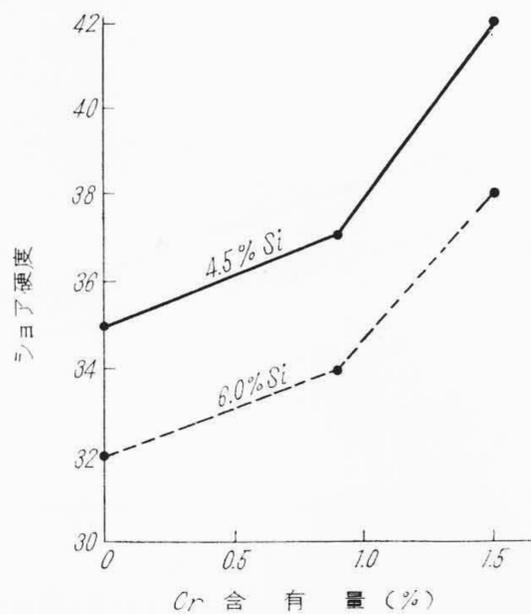
法である。最後の摩耗試験は含砂流水を扱う水車やサンドポンプ材料などの試験に用いられる方法である<sup>(10)</sup>。この方法によれば海水中に泥砂が混合しているポンプ部品にも本実験に供した鑄鉄が利用できるか否かがわかると考えた。

試験片は第11図に示す形状寸法に加工され, 第12図に示すような形状寸法の装置にとりつけられ, 鉄製容器内には水1kgに対し60~100メッシュの筑摩珪砂を2.7kg入れた。電動機から無段変速機を経て730 rpmに調整された回転円板上に試験片を取付けた。試験片取付位置における周速は6.3 m/sで砂と水をかくはんしつつ回転する。試験時間は12時間で3時間ごとに試験片の摩耗減量を測定した。砂および水は各秤量ごとにとりかえた。

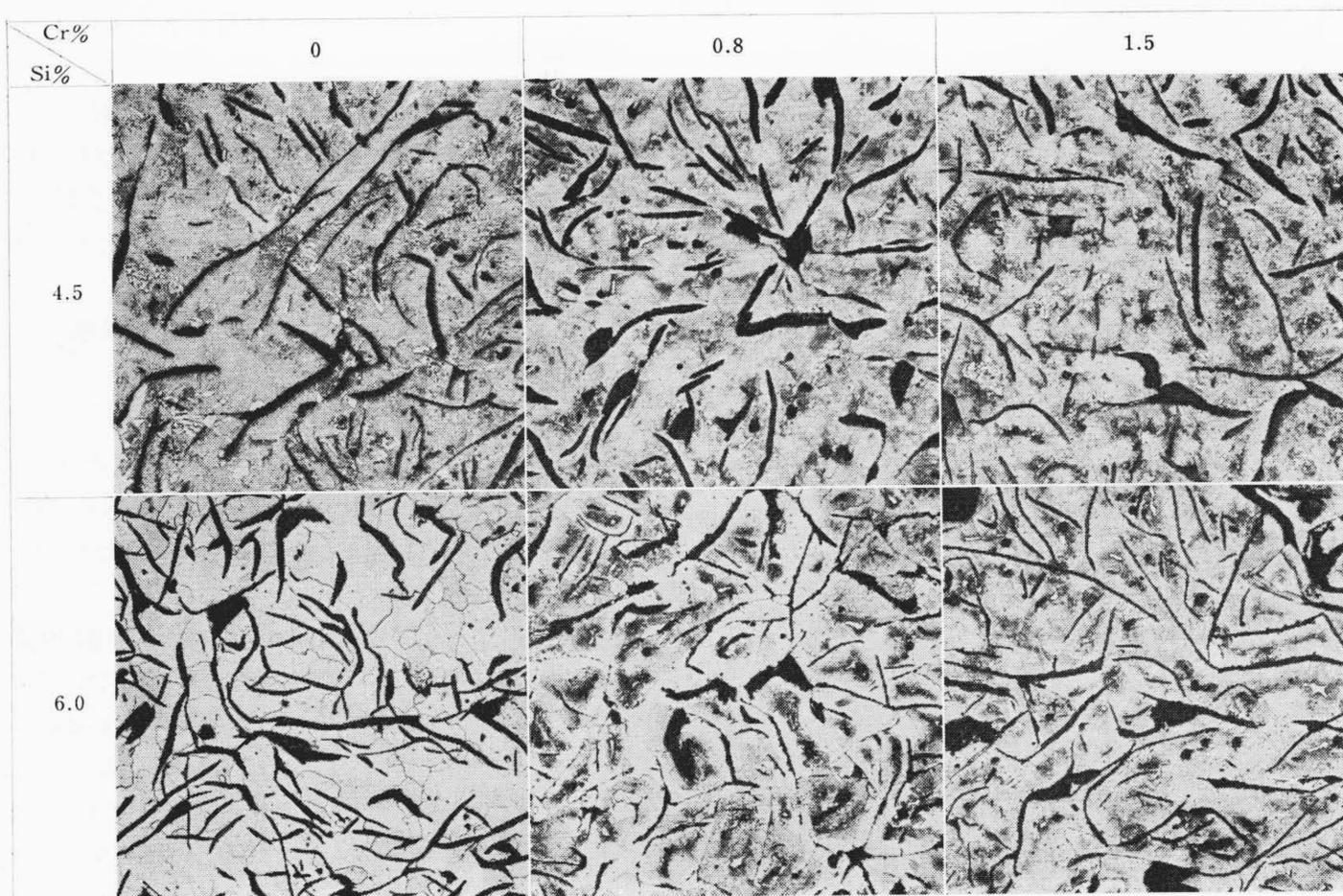
これらの耐食, 耐摩耗試験には比較材として第8表のような成分を有する2種類の鑄鉄とダクティル鑄鉄(鑄放)とを用いた。



第13図 SiおよびCrの抗張力に及ぼす影響



第14図 SiおよびCrのショア硬度に及ぼす影響



第15図 試料の顕微鏡組織 (×100)

4.2 実験結果

4.2.1 SiとCrとを同時添加した鑄鉄の機械的性質と耐食性

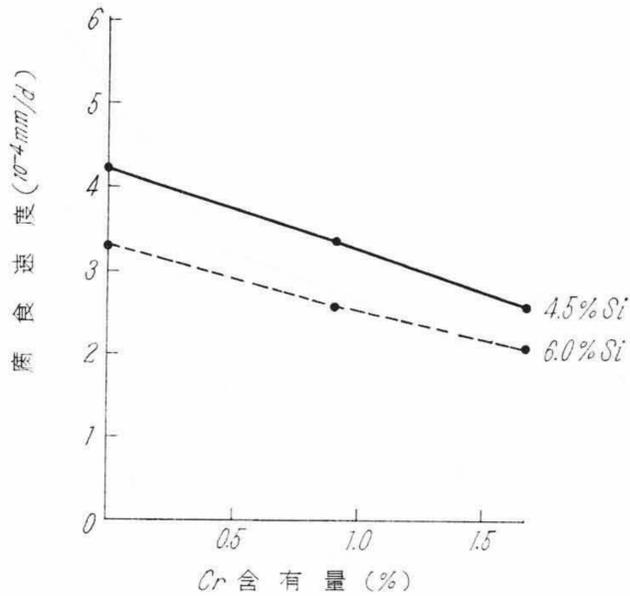
SiおよびCrの含有量が抗張力に及ぼす影響を第13図に、ショア硬度に及ぼす影響を第14図に示す。

Siが多い鑄鉄は抗張力小で硬度大である。Crが増せば抗張力硬度ともに増す。これらの試料の組織は第15図に見られるとおりで、1.5% CrでもSiの含有に

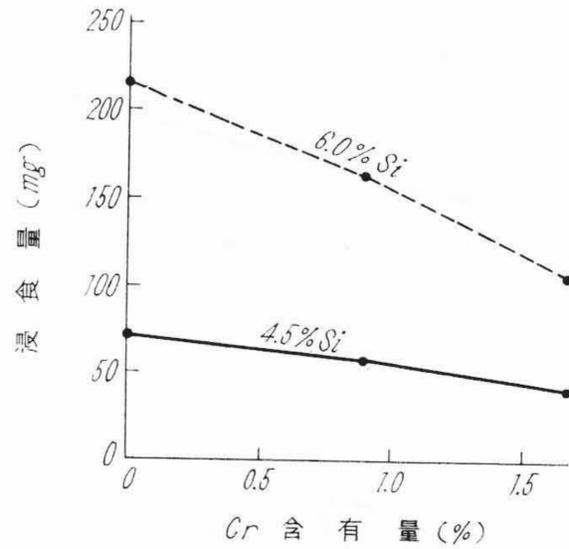
よってパーライトを維持している。

低速回転腐食試験の結果を第16図に示す。Crが多くなるに従って腐食減量は小となり、Siの高いほうが耐食性は良い。またこの試験片における局部腐食は一般に少なかった。シリコフェライトとCrの共存が地の耐食性をいっそう改善したものと考えられる。

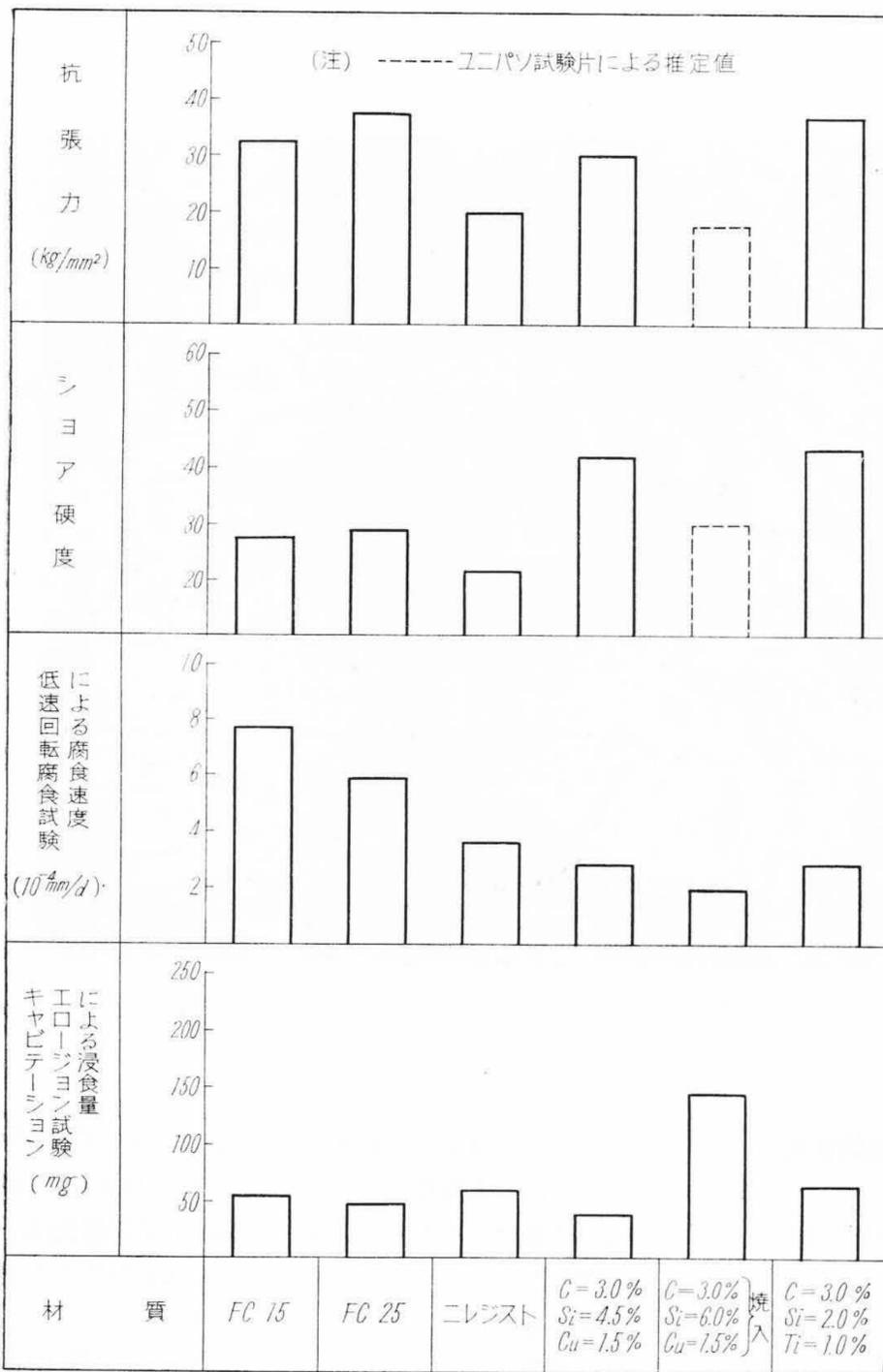
キャビテーションエロージョン試験結果を第17図に示す。Siが多い試料は浸食量大である。これは黒鉛



第16図 腐食速度に及ぼす Si および Cr の影響



第17図 浸食量に及ぼす Si および Cr の影響



第18図 Si-Cr 鑄鉄の諸性質と他鑄鉄との比較

の粗大化によると考えられる。ここでも Cr の良い影響がわずかながら現われている。

以上を要するに組織が均一で密な 4.5% Si, 1.5% Cr の試料が耐食、耐浸食性、機械的性質ともに良好と認められた。ほかの鑄鉄との比較は第18図で示されている。

#### 4.3 代表的成分を有する2種の Si-Cr 鑄鉄の諸性質

##### 4.3.1 鑄造性

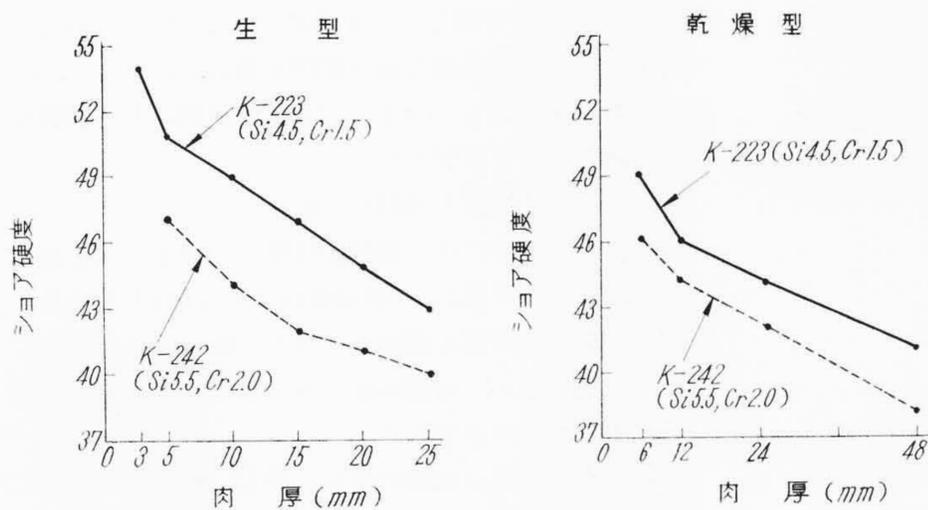
流動性試験の結果はキューボラから出湯した FC 20, FC 15 とほぼ同等で、5.5% Si, 2.0% Cr の試料は流動性が良かった。

肉厚感受性調査の結果を第19図に示す。生型、乾燥型ともに硬度に及ぼす肉厚感度は相当大きいですが、組織はいずれもパーライト組織となった。4.5% Si の試料の生型 3 mm 厚ではデンドライトが発達した組織を示し硬度も最大値を示した。生型肉薄物には Si 量の多いほうが適していると考えられる。

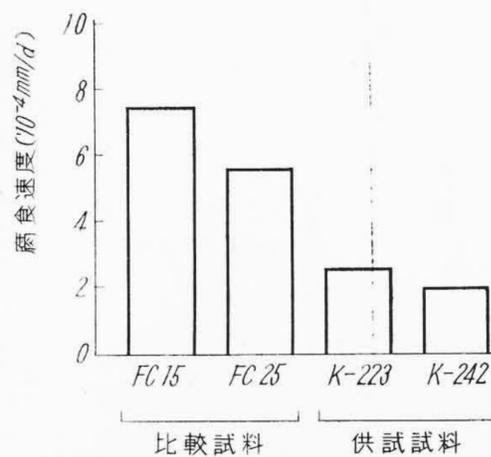
線収縮試験によればこの種の鑄鉄の伸尺は 13.5/1,000 が適当であることがわかった。しかし製品の鑄造においては鑄型形状による拘束もあり普通鑄鉄同様の伸尺で可と考えられる。

##### 4.3.2 耐食性

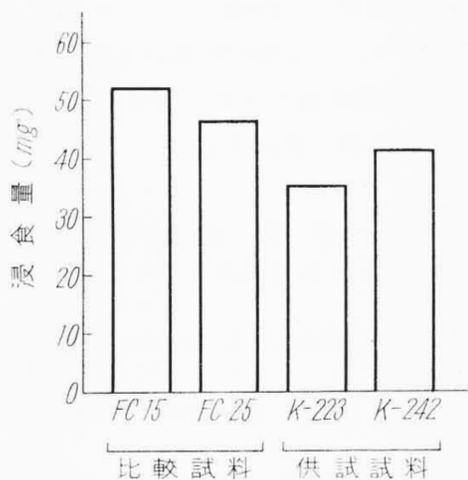
72時間の低速回転腐食試験における腐食速度を普通鑄鉄と比較したところ



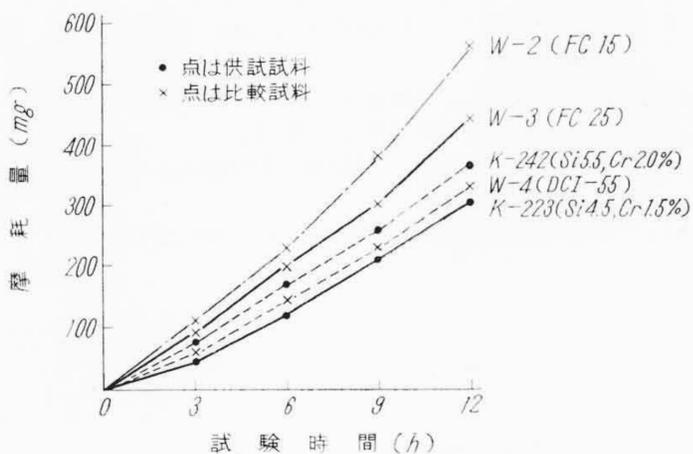
第 19 図 鋳物の肉厚とシヨア硬度との関係



第 20 図 供試試料と比較試料との腐食速度の比較



第 21 図 供試試料と比較試料との浸食量の比較



第 22 図 供試試料および比較試料の摩擦試験結果

第 20 図のようになった。4.5% Si の試料は FC 15 の約 3 倍、5.5% Si の試料は実に約 4 倍の耐食性を示すことがわかった。

#### 4.3.3 耐浸食性

キャピテーションエロージョン試験における浸食量を普通鋳鉄と比較したところ第 25 図のようになった。4.5% Si の試料は FC 15 の約 1.5 倍しか強くない。こ

第 9 表 典型的 Si-Cr 鋳鉄の機械的性質と耐海水性

Si-Cr 鋳鉄の成分			機 械 的 性 質*				耐 海 水 性**		
C (%)	Si (%)	Cr (%)	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗折荷重 (kg)	抗折タワミ (mm)	ブリネル硬度	耐腐食性	耐浸食性	耐摩耗性
2.8	4.5	1.5	17.6	800	5.0	285	2.9	1.5	1.3
2.8	5.5	2.0	11.5	500	3.8	212	3.7	1.3	1.5

\* 30φ丸棒による。 \*\* FC 15 を 1.0 とした比較値。

れは試験片の素材が 30 mm で組織にやや粗大な黒鉛を晶出していたためと考えられる。

#### 4.3.4 泥水中の耐摩耗性

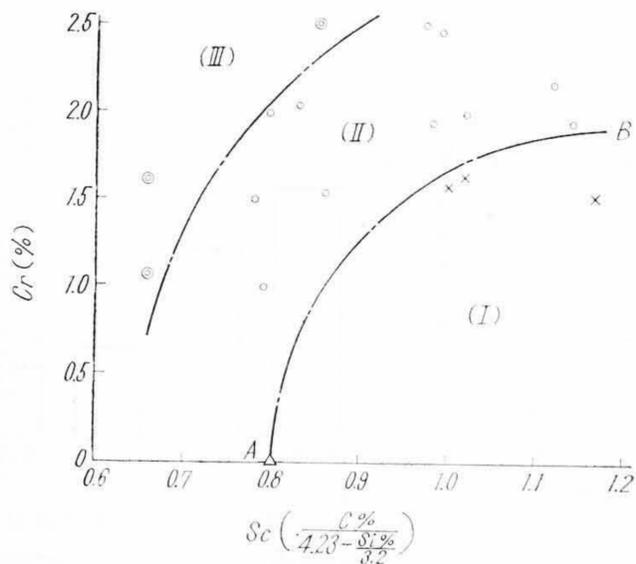
試験方法の項で述べた方法は海水ポンプにおける実際と砂の濃度がちがうが、12時間後の摩耗量の比較によってほかの鋳鉄との相対的耐摩耗性を検討してみると、第 22 図のとおりになった。4.5% Si の試料はブリネル硬度のほぼ等しい DCI-55 よりやや良く、FC 15 の約 2 倍強い。

以上を要するに耐食性において 5.5% Si、2.0% Cr 鋳鉄が良好であるが、組織が均一で浸食や異物の混入にも耐えうる実用的な鋳鉄としては 4.5% Si、1.5% Cr が推奨される。これらの鋳鉄の諸性質をとりまとめると第 9 表になる。

## 5. 考 察

耐海水 Si-Cr 鋳鉄の成分範囲を C 2.5~3.2%、Si 4.5~6.0%、Cr 1.5~2.3% と決め、Si および Cr の共存による均一なパーライト組織と強じんかつ海水に耐える性質について考察しよう。

一般に鋳鉄の組織を支配する因子は成分と冷却速度であり、ち密なパーライト組織を呈するためには肉厚に応じた適当な成分を有することが必要となる。しかし本 Si-Cr 鋳鉄は Si が Cr 炭化物を安定化し肉厚による組織の影響を最小限にとどめていると考えられる。そこで普



第23図 Si-Cr 鑄鉄の成分と組織との関係  
(20φ丸棒による)

通鑄鉄でCとSiの含有量によって組織図を作り考察を  
すると同じように、Cr含有量を考慮に入れた組織図を  
作って見た。

Si-Cr 鑄鉄の組織に及ぼすC含有量の影響を調査し  
た実験試料について打点したのが第23図で、横軸は炭  
素飽和度Scを、縦軸はCr含有量を示す。丸山氏の組織  
図<sup>(11)</sup>を応用して(I)(灰鉄×印)(II)(斑鉄○印)(III)  
(白鉄◎印)の3区域に分けた。なおこれらは20φ丸  
棒試料によるものである。

以上から筆者などが推奨した微細パーライトを有する  
耐海水鑄鉄の成分はAB線の直下をえらぶ必要があるこ  
とがわかった。

## 6. 結 言

普通鑄鉄の海水に対する耐食性が微細な黒鉛とち密な  
パーライト組織によって保持されることを静止腐食試験  
により確認した後、パーライト地の耐食性をあげるため  
諸種の合金元素を少量添加して実験を試み、Si, Cr, Cu,

Tiなどの含有が有効なことを認めた。この中から鑄放し  
で使用でき、価格低廉な成分範囲を検討の結果、C 2.5~  
3.2%, Si 4.5~6.0%, Cr 1.5~2.3%の範囲にある鑄鉄を  
耐海水鑄鉄として推奨したい。

さらにその諸性質を検討した結果

- (1) 普通鑄鉄に比し機械的性質が同等またはそれ以  
上で耐食性は3倍以上、耐浸食性は約1.5倍を有する。
- (2) 機械的性質と耐海水性はC, Si, Crの含有量に  
よって異なるが、用途に応じ成分を上記の範囲内で適  
当に組合わすべきである。
- (3) 肉厚感度は比較的少ないがC, Siともに低目と  
なれば5mm以下の生型鑄物には不適當である。
- (4) 流動性は従来ポンプ部品に使用されている鑄鉄  
にまさる。

終りに終始本研究をご指導くださった東北大学名誉教  
授村上武次郎博士、日立製作所亀有工場川本部長、小堀  
課長ならびに、実験に協力された日立製作所本社飯泉氏、  
亀有工場渡辺氏に深く感謝する。

## 参 考 文 献

- (1) 齊藤ほか：金属材料およびその加工法 194 (昭-  
28 丸善)
- (2) Herbert H. Uhlig: Corrosion Handbook, 385  
(1954)
- (3) 加藤ほか：化学工業大辞典 II 383 (昭-16 非凡  
閣)
- (4) Edward H. Huse: Metal Progress 66, 2, 100~  
102 (Aug-1954)
- (5) 西山ほか：日立評論 11, 77~87 (昭30-9)
- (6) 西山ほか：亀有工場研報第448号
- (7) Piwowarsky: Foundry Trade Journal 40, 40  
(1929)
- (8) J. L. Gregg: Alloy of Iron & Copper 1934
- (9) 岡本：鑄物 27, 19 (昭30-1)
- (10) W. A. Stauffer: Metal Progress 69, 1, 102  
(Jan-1956)
- (11) 岡本：金属材料組織図説 47 (昭-28)