

係を研究せるに小片にての機械的性質の見地りせば下記三成分は略々同一の抗力を示す。

成分%	C	Cr	Mo
A	0.3	1.2	0.3~0.9
B	0.35	1.2	0.2~0.4
C	0.4	1.2	0.1~0.15

然るに焼入に對する質量効果を研究せるにクロムはその量多き程良好なるが如くモリブデンは0.4%程度に於て既に充分の効果を示し且つその量を之以上増大するもその割に効果増大せざるが如し。尙炭素はクロム及モリブデンの共存に於ては高き程良好なるが如きを以て單純クロム・モリブデン鋼としては小片の機械的性質及焼入に對する質量効果の兩方面を併せ考へ上記 B 種に屬する下記のものゝ適當と考へたり。

炭素 0.33~0.35%, クロム 1.1~1.4%,
モリブデン 0.3~0.4%, マンガン 0.5~0.8%

但しマンガンは次編の研究に基き特に上限に近く採るを可とす。尙此種鋼材は肉厚 200~300mm 以下の場合に使用するを適當とす。

第4編複合クロム・モリブデン鋼の研究に於てクロム・モリブデン鋼に第四元素としてニッケル・バナヂウム・タングステン、珪素、マンガン、銅、アルミニウム等を添加し先づ小片に於ける機械的性質を研究せるに上記各元素共、單純クロム・モリブデン鋼の機械的性質を改善する事始ど無し、然れども焼入に對する質量効果を研究せるにニッケル・マンガン鋼等は或限度以上を添加せば有利にしてタングステンは殆ど影響無く、珪素は少量なれば殆ど影響無く大量となれば幾分影響あり。バナヂウムは其の量の

如何に拘らず常に不利なり。斯くて小片に於ける機械的性質と焼入に對する質量効果とを併せ考ふれば次の如き複合クロム・モリブデン鋼は現時代に於ける最優秀構造用鋼の1種たるを知れり。

成分%	C	Cr	Mo	Mn	Ni	Cu
A	0.33~0.35	1.1~1.4	0.3~0.4	1.3~1.7	—	—
B	0.33~0.35	1.1~1.4	0.3~0.4	0.5~0.8	2.0~2.5	—
C	0.33~0.35	1.1~1.4	0.3~0.4	0.5~0.8	—	2.5~3.0

即ち A はマンガン・クロム・モリブデン鋼、B はニッケル・クロム・モリブデン鋼 C は銅・クロム・モリブデン鋼なり。此内 A 及 C は國產資源のみより成るも B にはニッケルを含有す。蓋し本編は所謂ニッケル・クロム鋼より遙かに優秀なる鋼種を得んが爲めの研究なるを以て、第四元素としては特に國產資源と限定せざりしが故なり。

尙上記 A, B, C の3種は單純クロム・モリブデン鋼よりも焼入に對する質量効果一層良好なるを以て肉厚 200~300mm 以上の場合は此種複合クロム・モリブデン鋼を使用するを可とす。但し肉厚 200~300mm 以下の場合は單純クロム・モリブデン鋼と同程度或はそれ以下の性質を有するに過ぎざるを以て、使用者は特に此點に注意し肉厚 200~300mm を限界とし兩鋼の使用區分を明らかにするを要す。

附録に於てモリブデンは國產資源なるを明にせり。

モリブデンの價格は常にニッケルの 10 倍以内なるを以て 3% ニッケル・クロム鋼よりも 0.3% モリブデンを含有しある單純クロム・モリブデンの方安價なりとす。

擲筆するに當り本研究を終始熱心に助力せられたる龜海元作、島村節三兩君に感謝す。

推 進 器 材 料 の 研 究

藤 井 芳 郎*

ON THE MATERIAL FOR SCREW PROPELLER.

By Yoshiro Fujii.

SYNOPSIS:—The author believes that the corrosion fatigue limit of the material is one of the chief causes which induce the propeller erosion.

Therefore, after investigating about the corrosion fatigue phenomenon, he can find out the new good material for propeller which has the high corrosion fatigue limit and good casting property.

第 1 緒 言

推進器の潰蝕に就ては種々の成因が擧げられて居るが、最近多くの推進器及び類似の用途のものに就て其の生成状

況並に箇所を調査考察の結果)「潰蝕は一般に應力が急激に最大量に達し且つ其の消長度大なる翼根部に多數發生する事實から該部が其の材料の海水中に於ける腐蝕疲勞限度

* 横須賀海軍工廠

1) 風間：機械學會誌 4(1930)1172

を超過する繰返應力を受くるに歸因する」と云ふことが判明したので著者は腐蝕疲労に就て研究を進め、任意の割合の抗張、壓縮度に於ける腐蝕疲労限を容易に計測し得る試験機を案出すると共に腐蝕疲労限高く、可鑄性良好なる推進器用耐蝕合金を發見するを得た。

第 2 腐蝕疲労限の研究

I. 試料の成分並に機械的性質

1) 成分 下記の如き成分を有する現用推進器用滿庵青

試料符號	化學成分%				
	Zn	Mn	Fe	Al	Cu
A	39.05	5.25	0.97	痕跡	殘分
B	39.05	5.62	0.98	0.6	殘分

銅を以て長さ上部 285mm 下部 250mm 幅 43mm 高 50mm の舟型をなせる金型試料を作製した。

2) 抗張試験 オルセン 50t 抗張試験機を使用し直径 14mm 標點間の長さ 50mm の試験片に就て試験の結果は次の如くである。

試料符號	抗張力 kg/mm ²	伸度%	断面收縮 率%	荷重 27.5 kg/mm ² に対する永久變形量
A	61.3	20.6	21.0	0.00007''
B	65.2	19.0	19.6	0.00009''

3) 永久變形量の測定 アムスラー 10t 抗張試験機を使用し荷重を 500kg 宛増加して試料 A に就て標點距離 50mm 間の永久變形量を Marten の Mirror Extensometer で計測した。其の結果は第 1 表に示す通りである。

第 1 表 滿庵青銅の抗張應力に対する永久變形量

應力 kg/mm ²	伸長 1/1000 ^{mm}			應力 kg/mm ²	伸長 1/1000 ^{mm}		
	全伸長	永久變形	彈性變形		全伸長	永久變形	彈性變形
1.86	77	0	77	12.70	629	7	622
3.41	154	0	154	14.25	710	10	700
4.96	233	0	233	15.80	793	15	778
6.50	311	0	311	20.44	1,058	45	1,013
8.05	390	0	390	25.08	1,424	172	1,252
9.60	471	3	468	30.50	2,684	1,129	1,555
11.15	548	5	543				

完全な彈性體は實在しないから微少の應力を加へても必ずこれに對應して永久變形を生ずるものであるが、唯その量が微細であるため計測装置に現はれない。斯かる微少の變形は腐蝕、疲労等に對しては殆ど影響はないのが計器に現はるゝ程度に達すると相當の影響を示すに至るものであつて後述の腐蝕耐久限の 8.35 kg/mm² は始めて永久變形量が Extensometer に現はれる應力に相當する。

II. 腐蝕粘性限 金屬が負荷の状態に於て腐蝕は促進し其の受ける荷重の大なる程腐蝕も亦著しくなることは衆

知の事實である。金屬が粘性限 (Creep limit) 以上の荷重を受けると Creep して遂に切斷するが、この際腐蝕媒質に接する時は小なる荷重に於ても切斷するに至る。この場合の最大荷重を著者は腐蝕粘性限と名付けた。

推進器は使用状態に於て同時に一定量の荷重と繰返消長する荷重とを受けると繰返應力が小となると次第に大なる固定應力に耐久し遂に繰返應力が零となつた時の固定應力が腐蝕粘性限に等しいと著者は考へる。故に腐蝕粘性限は腐蝕疲労を論ずるに必要不可欠可からざる要素である。

Mn 青銅に就て粘性限試験機²⁾を使用し、3% NaCl 水溶液中に荷重された状態に於て試料を浸漬し液を少量宛絶へず置換して Cl⁻ イオンを補充した。計測の結果下の如し。

試料符號	A	B
海水中の腐蝕粘性限 kg/mm ²	21	25
大氣中の粘性限 kg/mm ²	32	39

III. 海水中に於ける腐蝕疲労試験

腐蝕疲労試験とは繰返應力を與へつゝ腐蝕せしめる試験であつて前以て腐蝕せしめたものに疲労試験を施行するものではない。

1) 従來の研究 腐蝕が疲労耐久限に及ぼす影響の頗る大なることは夙に知られた事實であるが、實驗装置が面倒で實驗に長日月を要するため發表されたものは多くない。特に非鐵合金に關するものは少ない。

イ) 米國海軍の Mc Adam³⁾ は多年この方面の研究に従事し多くの論文を發表して居る。夫を要約すると

a. 疲労と同時に腐蝕が極めて微量でも存在すると耐久限は著しく降下する。

b. 前以て應力を加ふることをなしに著しく腐蝕せしめた場合は前者に比して最初の腐蝕度大なるに拘はらず其の疲労耐久限は高い。

c. 試料の大きさは其の厚さ又は直径が 1/2in 以上であれば腐蝕による影響略同一となるため耐久限に影響せず。

d. 最初加へた應力が普通の疲労耐久限以上の時は直に腐蝕疲労を惹起するが其れ以下であつて腐蝕疲労限より大なる場合には作用が二段に別れ、最初腐蝕のみ進行し局部

²⁾ 藤井：金屬の研究 9(1930)507

³⁾ Mc Adam: Ame. Soc. Test. Mat. 26 (1926) 224.
Dit 27 (1927) 102.

Ame. Soc. Steel Treat. 11 (1927) 355.

International Cong. Test. Mat. Amsterdam. (1927) 305

Ame. Inst. Min. and Met. Technical paper 58 (1928).

Ame. Soc. Test. Mat. 28 (1928) 117.

Dit 29 (1929) 250.

的に實際應力が耐久限を超過するに至つて所謂腐蝕疲労を起す。

ロ) 英國海軍の Haigh⁴⁾ は自己の考案せる直接應力疲労試験機を使用し眞鍮のアンモニア液中に於ける腐蝕疲労試験を行ひ大氣中の耐久限の約 86% に減少せるも、前以て腐蝕せるものを大氣中で試験した場合には殆ど影響がない。尙船用推進器の破壊は瓦斯を混有した海水の腐蝕性のため疲労が促進せらるゝことが一因であると論じて居る。

ハ) Speller, Mc Corkle and Mumma⁵⁾ は重クロム酸曹達其他の適當な防蝕劑の使用によつて鋼の腐蝕疲労を或る程度迄防止し得ることを實驗によつて證明し、結局腐蝕疲労は普通の腐蝕と同様表面に生ずる防蝕性保護膜の安定度が最大の影響を及ぼすものであつて應力及局部的腐蝕はこの保護膜を破壊するから腐蝕疲労限が著しく低下し破壊の原因をなすものであると述べて居る。

ニ) Engleson⁶⁾ は Kaplan 型の實驗用水タービンに種々の材質の翼を取付け實用状態で試験の結果腐蝕疲労限の大なる材料が潰蝕を生ぜざることを確めた。

2) 大氣中に於ける疲労耐久限 小野式繰返彎曲回轉試験機を使用し、試験片の形狀は後述の腐蝕疲労限計測の場合と一致せしむるため中央の平行部の長さを 45mm に長くせる外は固有の寸法通りに作製した。

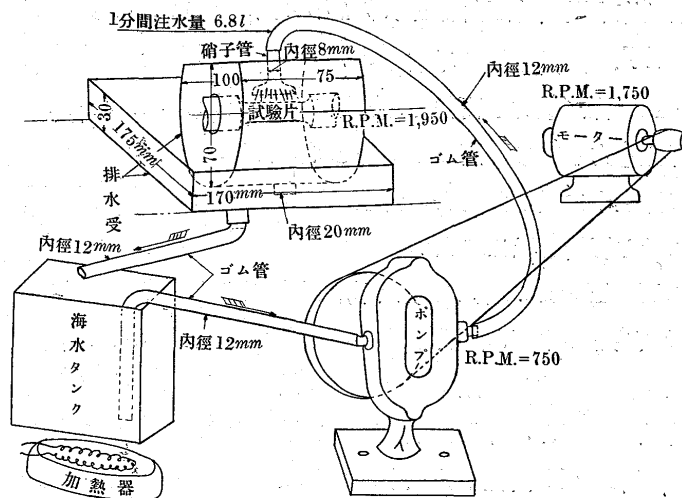
繰返回数 は 2×10^7 を以て限度とし夜間は試験を休止した。試験の結果は下表に示す通り。

試料符號	疲労耐久限	耐久限/抗張力
A	8.35 kg/mm ²	8.36/61.3 = 0.136
B	11.00	11/65.2 = 0.168

3) 腐蝕疲労限 腐蝕疲労は腐蝕の程度繰返回数及荷重に依つて左右せられ、假令同一成分の材料を試験するも、腐蝕媒質の種類、溫度、接觸の狀況並に試験時間等によつて著しき差異を生ずるから此等の周圍條件を一定にし新に實驗を開始した。

大氣中の耐久限との比較を正確に行はんがため二臺の小野式試験機を使用し、同一寸法の試料に就て試験を並行して行つた。注液装置は第 1 圖に示す如く、齒車唧筒によつて毎秒 20.36m の流速を以て毎分 6.8l 宛 3% の食鹽水を灌注した。夜間は試験を休止したが注水部には食鹽水を滴下せしめて表面の被膜の變化を防止した。腐蝕液の溫度

第 1 圖 腐蝕試験海水灌注装置



は夏冬を通じて 20°C に保ち冬季は電氣ヒーターで加熱した。

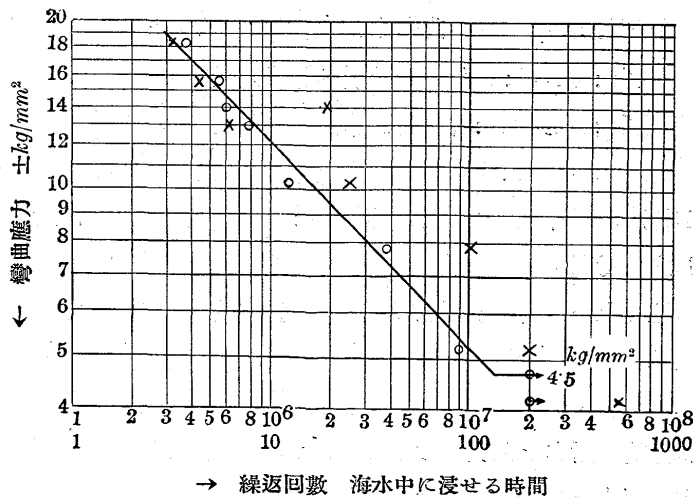
試験の結果は下表に示す通り。

試料符號	腐蝕疲労限 kg/mm ²	腐蝕疲労限 / 抗張力	腐蝕疲労限 / 疲労耐久限
A	4.7	4.7/61.3 = 0.077	4.7/8.35 = 0.56
B	8.0	8.0/65.2 = 0.123	8/11 = 0.73

この値は何れも比較的結晶粒微細なる金型鑄物に對するものであつて實際の推進器は結晶粒粗大であるから之より

第 2 圖 マンガン青銅腐蝕疲労試験

±7.4 kg/mm² ○は應力對繰返回数 ×は應力對海水浸漬時間



小野式繰返彎曲試験材

荷重 kg	彎曲應力 kg/mm ²	應力繰返回数	海水に浸る 時 分 秒	備 考
35.0	18.3	381,100	3~20	切斷す
30.0	15.6	567,000	4~40	切斷す
27.0	14.1	594,700	19~20	切斷す
25.0	13.0	788,500	6~20	切斷す
20.0	10.3	1,274,000	25~25	切斷す
15.0	7.8	3,856,200	101~10	切斷す
10.0	5.2	8,953,400	200~0	切斷す
9.0	4.7	20,000,000	529~30	切斷せず
8.0	4.2	20,000,000	552~40	切斷せず

⁴⁾ Haigh: Inst. of Metals 17 (1917) 55.

⁵⁾ Speller, Mc Corkle and Mumma: Inst of Metals 28 (1928) 159, 29 (1929) 238.

⁶⁾ Engleson: Engineer (1930) 420.

も不良となるものと思はねばならない。彎曲應力對繰返回数及海水浸漬時間曲線を示すと第2圖の通りである。

IV. 腐蝕疲労の考察

1) 繰返應力と腐蝕との關係 第2圖に示す如く腐蝕は繰返應力を受ける間のみ著しく進行し、荷重を受けないで海水中に浸した場合の腐蝕は微々たるもので疲労耐久限に殆ど影響を及ぼさない。

Mc Adam の稱する如く腐蝕疲労限と大氣中に於ける耐久限との中間の應力を受ける場合先づ腐蝕のみ進行し、或る程度に達して始めて疲労の開始を見ると考へることは腐蝕のみによる繰返回数の著しき増加を來たすこととなり $\log S / \log N$ 曲線中大氣中の耐久限を境として直線の傾斜に變化を生ずる筈なるも第2圖に見る如くかゝる結果を示さず。

故に腐蝕疲労は後述の如き機構によつて進行するものと解釋するを可と認める。

2) 繰返應力の種類の影響 上述の疲労試験は何れも抗張壓縮量相等しき應力を繰返し加へた所謂交番應力の場合であつて試験機としてはこの種のもの最も多きも實用上かゝる状況の應力を受くる場合少く或一定の抗張壓縮應力を基準として更に繰返應力を受くる場合多し。推進器はこの場合に屬する。

今上限應力を F_h 下限應力を F_l で表はすと

$F_h : F_l = 1 : -1$ 交番疲労耐久限

$F_h : F_l = F_h : 0$ 正常疲労耐久限

$F_h : F_l = 1 : 1$ 不動疲労耐久限

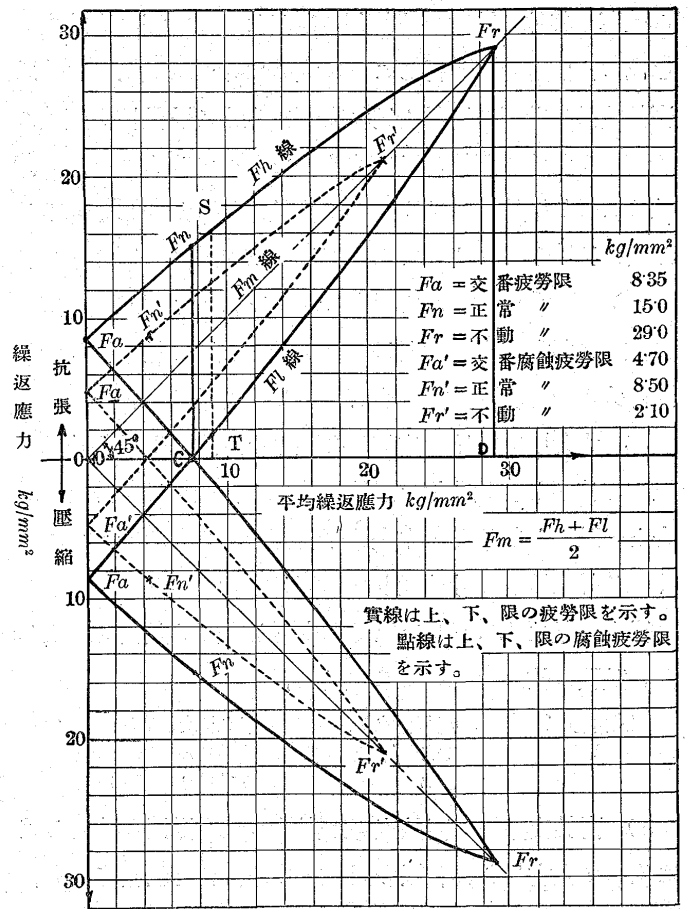
が特別の場合であつてその外 $F_h : F_l$ の種々の割合に對し之に對應する疲労耐久限存在するも計測に長時間を要する性質上一々實測不可能であるから實驗曲線にこの關係を表はしたものが多し。Goodman, Gerber, Haigh, Smith, Moore-Kammer 曲線等が之である。此等は概ね靜的破斷力を上限とせるため、平均應力高くして繰返應力範圍小なる場合には實驗値と一致しない場合多く、且つ鋼に就て計測した結果であるからこれ等の線圖の使用に際しては材質並に試験方法の異なるに従つて相當修正の要がある。

3) 疲労限度對平均繰返應力線圖の案出 從來の實驗の結果應力安全反覆範圍を示す上限繰返應力 F_h 又は下限繰返應力 F_l と代數的平均繰返應力 $F_m = (F_h + F_l) / 2$ との關係は直線と拋物線との中間の曲線なることが分明して居

る。然るに最も盛に用ひらるる Goodman 線圖は直線 Gerber 線圖は拋物線で表せるため實際の疲労限度は前者では過少後者では過大に示される。

故に著者は横軸に平均繰返應力 F_m 縦軸に抗張又は壓縮繰返應力を取り、座軸に 45° をなす直線を以て平均繰返應力を表はせる疲労限度對平均繰返應力曲線を案出した(イ)線圖の構成(第3圖)

第3圖 疲労限度及海水中的腐蝕疲労限度對平均繰返應力線圖



a. 上限疲労耐久限を示す $F_r F_a$ 曲線上に $O F_a$ = 交番疲労耐久限なる如く F_a をとる。横軸上に $O C$ = 正常疲労耐久限の $1/2$ にとり之に垂直に $C F_n$ = 正常疲労耐久限なる如く F_n をとる。横軸及縦軸と互に 45° をなせる $O F_r$ 線上に $O D = D F_r$ = 不動疲労耐久限なる如く F_r をとる以上三點を通過する曲線が上限疲労耐久限を示す。

b. 縦及横軸と各 45° をなす $O F_r$ 直線は平均繰返應力を表はすと、定めたるを以て下限疲労耐久限はこの點を中央とし同一の繰返應力の場合の上限疲労耐久限とその絶對値等しく符號相反する點に表はされる。即ち逐次に $O F_r$ 線に對し對象的に各點をとればよい。

c. 曲線 F_a F_r 及 $F_r(-F_a)$ で囲まれた面積内が安全繰返應力範囲を示し、その上下は何れも疲労によつて切斷するに至る應力を示す。

d. 全く同様にして壓縮に對する上限並に下限の曲線が得られる。

e. 腐蝕疲労限度線圖は上述の疲労限度曲線と同一の概念を以て作圖し得られる。

f. 本曲線は中間の平均應力に對する疲労耐久限を數個所計測して補正を施す必要がある。

ロ) 作圖法 先づ交番、正常、不動の3疲労耐久限の三點を決定してこの三點を曲線で結びこれ等の中間の疲労耐久限を二點以上計測して曲線を修正すれば得られるのであるが、従來の試験機では交番疲労耐久限以外を求めることが困難であるから、著者は新に試験機を考案して其の他の諸點を容易に計測することを得たため作圖は簡單且つ正確となつた。而して不動疲労耐久限は粘性限を採用する。

ハ) 線圖使用法 本線圖によつて次の項目が容易に求められる。

平均應力を知つて其の上下限の疲労耐久限を得る場合。

上限の疲労耐久限を知り最大繰返應力範囲を得る場合。

繰返應力範囲を知つて上限の疲労耐久限を得る場合。

ニ) 許容應力の決定方法 繰返消長する應力を受くる機械構成部の計畫に當り其の許容應力の決定は次の如く行ふのが便利である。

計算によつて平均應力 F_m 並に其の消長範圍 Δ (最高應力と最低應力との代數差) を決定する。次に F_m に相當する最大許容消長範圍 $\Delta' = F_h + F_l$ (上限疲労限と下限疲労限との代數差) を求める。

a. Δ が Δ' より小なる場合には $\Delta'/\Delta = k$ とすると k の値は用途によつて一定しないが普通の用途なれば2以上に定むるを可とする。この條件を満足すれば最大應力を許容應力として使用して差支ない。

b. Δ が Δ' より大なる場合若くは k が2より小なる場合は平均應力を小にして $\Delta'/\Delta = 2$ なる如き點を線圖によつて求め、この場合の最大應力を以て許容應力とする如く計畫を変更するを要す。

4) 電磁式繰返彎曲疲労試験機の考案 本機は交流並に直流の2個の電磁石を使用し、直流電磁石にてある量の偏倚せる彎曲荷重を試料に與へ置き、交流電磁石によつて正負當量の繰返彎曲荷重を與へる装置であつて任意の量並に

割合の抗張及壓縮應力を與へられる。

交流のサイクルは60では試料を引きつけたるまま放さないから、特に10~30サイクルの低周波の交流器を計畫製作せしめなるべく試料の自然振動數に同調するサイクルを使用して所要電流の減少を圖つた。試料には鋼製の冠を附して帶磁性を附與した。本装置によつて Mn 青銅の疲労耐久限を計測した結果は前述の小野式試験機で得た數値と略一致する。

5) 腐蝕疲労限實驗式 繰返應力對疲労限度の關係は第3圖によつて求められるが之がためには曲線圖を作製するを要する。本關係を満足せしめる實驗式を求めたところ次の如き式を得た。

$$\text{上限腐蝕疲労限 } y = 45.88 - (21 - x)^{1.173/p_{185}}$$

本式は Mn 青銅に對するもので x は平均繰返應力を表はす。この結果は第3圖より得るものとよく一致する。

6) 推進器腐蝕疲労の機構一般に銅合金を靜止せる海水中に浸漬する時は其の表面には鹽素イオンに作用され難き第一銅鹽の不働態膜を生じ爾後の腐蝕進行を阻止する性質があるが、この膜は脆く、これに繰返應力を加へるとその面絶へず伸縮するため防蝕膜の生成を妨げ、又既に生じたる膜は龜裂を生じ、その隙目から海水侵入して腐蝕が内部に進行し甚だしい場合には剝離して新金屬面を露出するに至る。

結晶粒境は内部に比して通常電解壓高きため腐蝕は多くこの部に沿ひて進行し、繰返應力のため結晶の凝集力を失ひ分離脱落して遂には點蝕溝蝕を生ずるに至るものである

今靜的荷重對永久變形量の關係を Mn 青銅に就て計測した第1表を吟味すると大氣中の疲労耐久限 $8.35 kg$ は永久變形が始めて表はれる應力に相當し材料中に生じた粘性變形が破壊の核となることを示して居る。

然るに海水中に於ては $4.7 kg$ の應力で破壊するのはこの程度の應力のために $\pm 2/100 mm$ 内外の伸縮を繰返行ふため表面の防蝕膜を破壊するに至るものであつてこれ以下では恐らくは防蝕膜が保存されるのであらう。勿論防蝕膜が破壊する結果腐蝕次第に進行し、表面に點蝕、溝蝕を生じこれがため斷面の急變化若くは切込作用を惹起し疲労耐久限の降下を來たすことも原因の一となるものであらうが Haigh, Mc Adam 等の實驗に示す如く腐蝕せしめた材料の大氣中に於ける疲労耐久限が左程降下しないことから繰返應力を伴はない腐蝕は第二次的のものと認めざるを得

ない。

推進器に作用する應力は操舵、荒天等の不時の場合を除くも推進軸の傾斜、伴流、虚空作用、翼のアンバランス等のために一回轉中に相當量の消長¹⁾を生じ最も大なる應力を受ける翼の附根には約 9 kg/mm^2 を基準としてその 30% 消長する繰返應力を受くるものとして大なる誤謬なきものと思ふ。

若し III 3) に示した A 材の如く腐蝕疲労限が 4.7 kg のものを使用したとすると平均應力 9 kg の場合には上限 12.4 kg 下限 5.6 kg となつて $\pm 3.4\text{ kg}$ 即ち 38% の許容範囲があつて一見安全である如く思はれるが、その安全率は $3.4/2.7=1.26$ 倍に過ぎない。且つ實際の推進器材は砂型であつて金型試料の場合よりも腐蝕疲労限は 10~20 低いから平均應力 9 kg であつてその 30% 消長する應力を受ける場合には腐蝕疲労限を超過することゝなる。

況や操舵又は荒天の場合には更に甚だしく超過するを以て潰蝕を惹起するに至るものと考へる。

第 3 耐蝕材料の研究

推進器用満庵青銅に就て腐蝕疲労試験の結果實用状態に於ける應力が腐蝕疲労限を超過するため長年月使用の間に

最大の應力を受ける翼の附根に潰蝕を生ずる一因となることを知つた。之が對策として計畫上翼の幅又は厚さを増加し斷面の強さの急變化を避くると共に腐蝕疲労限高くして鑄造容易なる材料を使用せばこの缺點を除去することが出来るから主としてこの方面の研究を進めた。

I. 従來の研究 Cu-Zn 系に少量の Al を添加せるものは海水中には良好なる防蝕膜を形成しイマジヤムとして市場に現はれて居る。尙 Ni を加へたものも耐蝕合金として知られて居る。Cu-Zn 合金に Ni, Al, Mn, Si 等を加へた場合の合金の性質組織等に就ての研究は少くなく、その中最近のものとしては O. Smalley⁷⁾ J. Silberstein⁸⁾ E. A. Vaders⁹⁾ R. Genders¹⁰⁾ C. Clifford¹¹⁾ 石川、松山、横田¹²⁾等の諸氏の既發表を要約すると、

4:6 の眞鍮に Al を加へると 3% 迄は抗張力、降伏點、硬度を増加するがそれ以上になると却つて減少する。猶腐蝕と高温酸化を防止し Zn の蒸發を少なくする効能あるも湯の流れ不良となる缺點がある。Al 2, Zn 22, Cu 殘分の合金は Al-Dur-Bra と稱し復水器管用として使用さる Ni は 2% 以下では抗張力及伸度を害せずして降伏點を上昇せしめる。

第 2 表 各種試料

試料 番號	化學成分%								備 考	試料 番號	化學成分%								備 考
	Zn	Al	Ni	Si	Fe	Cr	Mn	Cu			Zn	Al	Ni	Si	Fe	Cr	Mn	Cu	
1	9.69	5.79	2.70					殘	Cu-Zn-Al-Ni 系	Mn	39.05	0.60		0.98		5.62	殘	現用	
2	19.02	3.29	2.99					"		N.M	39.67	0.46	7.66		3.04		0.35	"	現用
3	25.26	3.27	3.57					"		18	(22.0)(2.0)								Aludurbra
11	30.21	5.57	3.12					"			25.54	3.22							"
12	31.30	2.84	5.11					"		17	(15.0)			(5.0)					"
20	25.30	1.81	2.03					"		16.2			5.05					Silzin	
6	(10.0)	(5.0)	(4.0)	(3.0)				"	4	(20.0)(5.0)			(1.5)(0.5)					"	
7	(20.0)	(4.0)	(3.0)	(3.0)				"	5	(30.0)(4.0)			(1.5)(0.5)					"	
8	(30.0)	(3.0)	(3.0)	(3.0)				"	14	(30.0)(3.0)			(3.0)					"	
13	(30.0)	(3.0)	(3.0)	(5.0)				"	14	30.30	2.46		2.15					"	
16	(15.0)	(3.0)	(3.0)	(3.0)				"	15	(30.0)(3.0)			(3.0)					"	
19	16.21	2.99	2.02	2.96				"	23	32.86	2.67		1.77					Cu-Zn-Al-Cr-Fe 系	
21	(25.0)	(2.0)	(3.0)	(2.5)				"	23	(25.0)(5.0)			(2.0)(1.0)					"	
22	25.20	2.70	1.26	2.46				"	24	27.12	4.57		1.76	0.35				"	
21	(20.0)	(5.0)	(0.7)	(1.0)				"	24	(25.0)(5.0)			(2.0)(0.8)					"	
22	19.42	6.30	1.29	1.70				"	25	22.94	5.37		2.09	0.39				"	
22	(20.0)	(5.0)	(1.0)	(1.5)				"	25	(25.0)(5.0)			(0.8)(5.0)					"	
22	16.68	6.58	1.02	1.51				"	25	23.81	4.13		0.72	3.91				"	
31	(25.0)	(2.0)	(3.0)	(1.7)				"	27	(15.0)(4.0)(2.3)			(1.5)(0.7)					"	
32	24.85	1.85	2.44	1.28				"	28	(20.0)(3.0)(2.3)			(1.5)(0.7)					"	
32	(23.0)	(2.0)	(3.0)	(1.5)				"	29	(18.0)(4.0)(2.3)			(1.5)(0.7)					"	
33	23.23	2.94	3.03	1.56				"	30	(20.0)(2.0)(3.0)			(1.5)(0.5)					"	
33	(25.0)	(2.0)	(4.0)	(2.5)				"	30	19.75	2.27	2.88		1.78	0.13			"	
34	22.75	2.84	2.93	1.55				"											
34	(23.0)	(2.0)	(3.5)	(1.5)				"											
34	22.75	2.84	2.93	1.55				"											

記事 試料番號 9, 10, 26 は性質不良に就き試験を行はず缺號とせり。括弧内の數字は豫定成分を示す。

7) Smalley : Ame. Inst. Min. and Met. Eng. (1926) 799.
 8) Silberstein : Metal Industry 34 (1929) 5.
 9) Vaders : Inst. of Metals (1930) 363.
 10) Genders : Dit. (1930) 163.
 11) Clifford : Metal Industry 37 (1930) 59.
 12) 石川、松山、横田 : 技術研究所報告

Cu 80~85, Zn 10~15, Si 4.5~5% のものは Silzin と稱し青銅代用品として優秀な性質を有して居る。

II. 試料の成分 文献調査並に豫備試験の結果實用の見込ある次の4系に就て其成分を變化し 3,4 種類の合金を作製した。

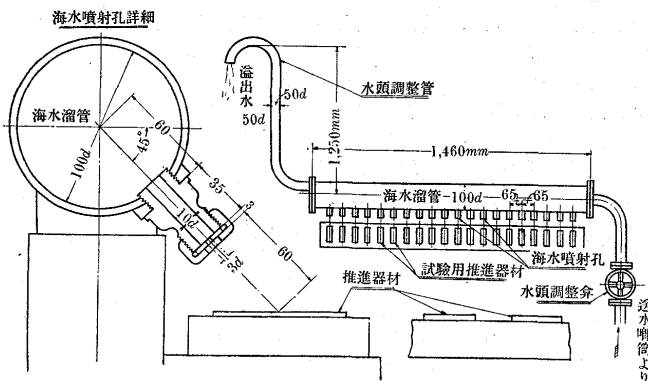
- イ Cu-Zn-Al-Ni 系 = Cu-Zn-Al-Ni-Cr 系
- ロ Cu-Zn-Al-Ni-Si 系 ホ 現用の各種合金
- ハ Cu-Zn-Al-Cr-Fe 系

試料はクリプトル電気抵抗爐で約 10 kg 宛熔解し長さ約 250 mm 巾 200 mm 厚さ 25 mm の板状の金型に鑄込んだ。其中特に優秀なものは 20~40 kg 熔解した。

試料の化學成分は第2表に示す通りである。

III. 抗張並に硬度試験値 オルセン 50 t 抗張試験機を使用し直径 14 mm 標點間 50 mm の試料に就て計測した。硬度はブリネル硬度計を使用した。其の結果は第3表に示す通りあつて、

第4圖 海水漬蝕試験装置



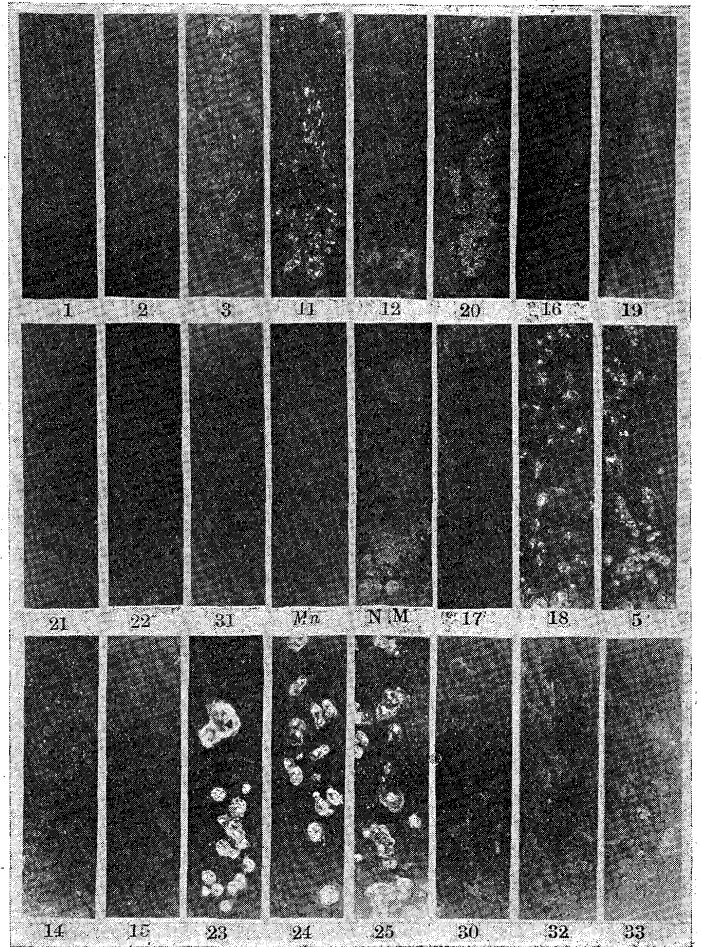
降伏點 35 kg/mm² 伸度 9% 以上の優秀なものを舉ると
5 11 12 19 25 28 30 34 Mn 青銅 N.M. 青銅 シルジン

であつて Zn 及 Ni の増加と共に降伏點伸度共に大となり Al 及 Si の増加と共に脆性が大となる傾向がある。

IV. 海水に対する漬蝕度 長 70 mm 幅 15 mm 厚 4 mm に機械削りした試料の表面を荒研磨紙で磨いた。海水噴射装置は第4圖に示す通り径 5 mm の噴口總數 20 箇から毎秒 5 m 内外の水速を以て試料の表面に 45° の角度を以て

第5圖 海水漬蝕試験

試験時間 235 噴口径 5 mm 水頭 1.2 m 水速 5 m/秒 内外



第3表 抗張並硬度試験値

試料番號	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 度 標點間 50 mm	斷面收縮 %	ブリネ ル硬度	試料番號	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 度 標點間 50 mm	斷面收縮 %	ブリネ ル硬度
1	62.9	35.0	8.2	11.1	198.0	N.M. 青銅	72.8	44.2	17.0	17.7	196.5
2	54.6	29.3	28.0	27.7	156.0	17	57.0	35.7	10.7	13.0	174.0
3	58.4	28.8	29.5	37.2	154.0	18	34.7	14.4	49.1	47.5	80.0
11	76.4	44.7	10.3	11.8	217.0	4	57.2	28.0	17.2	19.6	161.0
12	58.8	38.3	17.1	19.6	165.0	5	61.8	35.2	13.2	13.8	173.0
20	57.6	45.0	6.4	8.2	188.0	14	51.2	21.6	43.2	40.5	127.0
16	53.4	42.1	1.8	2.1	222.0	15	52.0	23.0	30.8	32.8	128.5
19	53.5	35.9	9.5	12.6	161.0	23	49.8	31.4	5.1	10.4	201.0
21	63.1	40.5	5.0	6.5	190.5	5	61.8	35.2	13.2	13.8	173.0
22	70.7	68.9	0.2	0.3	285.5	24	71.4	52.7	6.0	11.2	217.5
31	58.9	35.4	9.6	11.7	176.0	25	55.7	31.3	10.6	12.4	162.5
32	50.5	23.6	17.2	19.0	157.0	27	41.3	21.1	43.8	57.6	75.5
33	55.6	29.2	4.0	6.0	217.0	28	69.3	46.3	13.3	12.6	217.0
34	59.0	35.7	9.5	13.2	193.0	29	69.2	52.3	4.1	6.1	212.0
Mn 青銅	71.3	34.4	19.0	19.6	183.0	30	51.6	42.2	5.0	7.7	183.0

第4表 海水漬蝕試験

試験記号	硬度 ツカ 1度	試験前			試験後其儘の状態			試験後表面の鹽滓を 除去したる状態			表面腐蝕状態
		重さ gr	重さ gr	減量 gr	減率 %	重さ gr	減量 gr	減率 %	重さ gr	減量 gr	
1	237	36.5223	36.5117	0.0106	0.029	36.4191	0.1032	0.283	褐色の地へ白き點々の錆少量生ず點蝕多し		
2	197	36.1282	36.1125	0.0517	0.043	36.0074	0.1208	0.335	同上 點蝕多し		
3	250	35.4808	35.4307	0.0581	0.164	35.3392	0.1496	0.422	同上白色の斑點多く點蝕あまり多からざるも銅析出す		
11	282	35.2877	35.2453	0.0424	0.120	35.1622	0.1255	0.356	褐色の地へ白の點々の錆生じ少しく點蝕ありて銅析出す		
12	168	34.3571	34.3260	0.0311	0.091	34.2386	0.1185	0.345	濃黒綠色地の薄黒綠色の錆生じ少しく點蝕あり		
20	193	35.3352	35.3086	0.0266	0.075	35.2557	0.0795	0.225	薄黒褐色地へ白緑交りの點々の錆あるも點蝕なし		
16	266	35.3574	35.3422	0.0152	0.043	35.2558	0.1016	0.287	12に同じ		
19	168	34.3508	34.3264	0.0244	0.071	34.2707	0.0801	0.233	薄黒赤緑地へ薄黒青緑の錆を生ず、少しく點蝕あり		
21	224	33.2610	33.2509	0.0101	0.030	33.2016	0.0594	0.179	薄黒褐色地へ極微の薄黒綠色の膜を生ず、極微の點蝕あり		
22	339	32.8075	32.7964	0.0111	0.034	32.7538	0.0537	0.164	同上點蝕の量少しく多し		
31	193	32.9928	32.9489	0.0439	0.133	32.8980	0.0948	0.287	同上錆は極く表面のみ		
32	187	33.6389	33.6105	0.0284	0.084	33.5265	0.1124	0.334	黄褐色の地へ黒色を帯びたる濃綠色の錆稍多し少しく點蝕あり		
33	166	34.5239	34.4883	0.0356	0.103	34.4123	0.1116	0.327	同上點蝕少し		
Mn 青銅	252	35.4733	35.3886	0.0847	0.239	35.2562	0.2171	0.612	赤錆の地へ薄黄褐色の錆生じ點蝕多く銅を析出す		
N.M 青銅	287	36.3347	36.3332	0.0015	0.004	36.2350	0.0997	0.274	薄黒の地へ薄鼠褐色の錆を生ず、點蝕は表面のみ		
17	218	34.6402	34.5085	0.1317	0.380	34.4197	0.2205	0.637	薄綠色地へ薄黒綠色の錆を生ず、少しく點蝕あり		
18	120	34.9811	34.9640	0.0171	0.043	34.9214	0.0597	0.171	同上點蝕少し		
5	179	35.1920	35.1682	0.0238	0.068	35.0954	0.0966	0.275	灰褐色地へ白の點々の錆を生ず、少しく點蝕あり		
14	172	36.2406	36.2309	0.0097	0.027	36.1080	0.1326	0.266	赤褐色地へ白褐色交りの點々の錆生ず、少しく點蝕あり銅析出す		
15	121	35.3828	35.3628	0.0190	0.054	35.2385	0.1443	0.408	同上		
23	183	33.2902	33.2679	0.0225	0.067	33.2079	0.0823	0.247	薄黒褐色へ白の點々の錆を生ず、少しく點蝕を生ず		
24	250	33.0423	33.0244	0.0179	0.054	32.9596	0.0827	0.250	同上銅析出す		
25	195	33.3382	33.3134	0.2480	0.074	33.2545	0.0837	0.251	薄黒綠色地へ白緑交りの點々の錆を生ず、點蝕稍多し		
27	133	34.2863	34.2456	0.0407	0.119	34.1531	0.1332	0.389	薄黒褐色地へ濃綠色の點々の錆を生ず、點蝕多し		
28	230	34.6596	34.6255	0.0341	0.098	34.5269	0.1327	0.383	薄緑褐色地へ薄綠色の錆を生ず、點蝕多し		
29	237	33.9522	33.9118	0.0404	0.119	33.8269	0.1253	0.369	薄緑褐色の地へ薄緑白交りの錆を生ず、點蝕多く銅析出す		
30	203	34.0811	34.0453	0.0358	0.105	33.9404	0.1407	0.413	薄黒綠色の地へ濃綠色の錆を生ず、點蝕多し		

噴射せしめ合計 235 時間（夜間は休止す）後の表面の状況並に試験前後の重量差を計測した。

噴口に基く誤差を防ぐため 50 時間毎に試料の位置を順次交換せしめた。試験後の重量は試験直後及表面の鹽滓を除去したる状態との二つの場合に就て計測した結果は第 4 表に、試験後の表面の状況は第 5 圖に示す通りである。

鹽滓除去後の減耗率は 0.3% 以下であつて點蝕が微少なものは

5 14 16 18 19 20 21 23 24 31 NM青銅

であつて Cu-Zn-Al-Ni-Si 系は成績良好である。

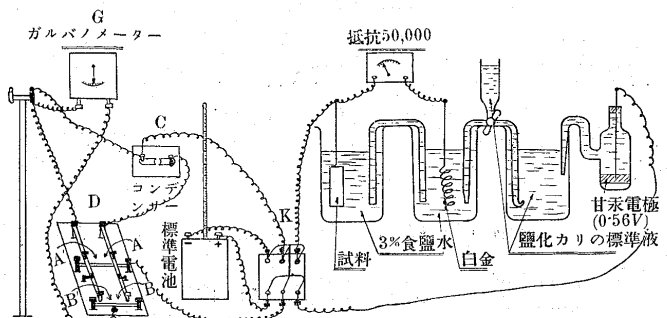
Mn 青銅、シルジウム及び其他の系は上記のものに比較すると漬蝕度大である。

V. 海水中に於ける電位 三芳理學士の考案した第 6 圖の装置を使用して測定した。溶液は 3% 食鹽水を用ひ、試料を陰極とし、1N の甘汞電極を陽極とし電池を形成させ計測した結果を水素を 0 としたポテンシャルに換算した 0.3. 以上の電位、即ち耐蝕性の大であるものは

4 11 14 15 22 23 24 25 31 33 NM青銅 Mn青銅

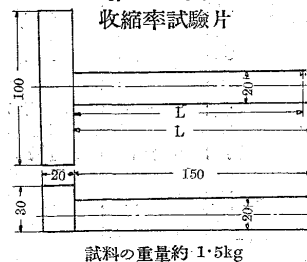
である。

第6圖 電位差測定装置



A は着 B は切
B を着けると A は切、此の場合ガルバノメーターの針は振れる
A' B' は切 B' を着けて GM の振れを止める

第7圖 收縮率試験片



VI. 收縮率 收縮率の大

なるものは鑄造が困難であるから鑄鐵で第7圖の如き金型を作製し、幹部の最初の長さを L 最後の長さを L' とし $L-L'/L$ を以て收縮率と定め

各試料に就て計測した。其結果を第5表に示す。

第5表 収 縮 率

試料番號	1	2	3	11	12	20	16	19	21	22	23
収 縮 率	1.76	1.85	2.19	1.93	1.86	1.83	1.81	1.98	1.90	1.90	1.78
試料番號	32	33	Mn 青銅	N.M. 青銅	17	18	5	14			
収 縮 率	1.94	1.90	2.10	1.86	1.60	1.92	2.56	2.05			
試料番號	15	23	24	25	27	28	29	30			
収 縮 率	1.86	2.04	1.62	1.78	1.44	1.70	1.91	1.86			

収縮率 1.8% 以下のものは

1 24 25 27 28 31

であつて Cu-Zn-Al-Ni 系に Si を添加することによつて収縮率を減少せしめ得た。

VII. 凝固區間 凝固區間の大なるものは概して鑄造が困難であるから熱分析を行ひ liquidus 並に solidus を測定した。

其の結果を第6表に示す。

第 6 表

試料番號	凝固開始 温度 °C	凝固終了 温度 °C	凝固 區間	試料番號	凝固開始 温度 °C	凝固終了 温度 °C	凝固 區間
1	1,034	1,015	24	17	886	838	48
2	989	957	32	18	945	932	13
3	960	931	29	5	979	957	22
11	969	931	38	14	933	914	19
12	980	924	56	15	937	917	20
20	941	216	25	23	963	933	30
16	928	887	41	24	983	952	31
19	922	896	26	25	955	922	33
21	959	932	27	27	1,006	963	43
22	964	918	46	28	990	945	45
31	918	892	26	29	964	938	26
32	927	897	30	30	1,037	970	67
33	926	900	26				
Mn 青銅	876	848	28				
NM 青銅	935	903	32				

凝固區間 30° 以内のものは

1 3 5 14 15 18 19 20 21 23 29 31 32 33 Mn

青銅

である。

VIII. 腐蝕疲労限 第1圖の装置を用ひて Mn 青銅 N.M. 青銅に就て大氣中及海水中に於ける疲労耐久限を計測した結果次の通り。

試料	Mn 青銅 A		同上 B		NM 青銅	
	大氣中	海水中	大氣中	海水中	大氣中	海水中
疲労耐久限 kg/mm ²	8.35	4.7	11.0	8.0	19.5	12.0

第2 IV (4) にて説明せる電磁式試験機によつて Mn 青銅 B 及 No. 32 合金に就て計測した結果は次の通りであつて海水中の場合の方高きは良好な防蝕膜を形成することと腐蝕液を灌水するため負荷による試料の温度の上昇を防

試料	疲労耐久限 kg/mm ²	試料	疲労耐久限 kg/mm ²
No. 32 合金	大氣中 14	Mn 青銅	大氣中 14
	海水中 17.6		海水中 8

止するに因るものと認める。

IX. 腐蝕粘性限 第2 II にて述べたる装置によつて 3% NaCl 水溶液中に於ける Mn 青銅 B 及 No. 32 合金の粘性限を計測した結果は下の如く No. 32 合金が海水中にて負荷の場合著しく耐蝕度大であつて容易に破壊せざることを示して居る。

試料	No. 32 合金	Mn 青銅 B
腐蝕粘性限 kg/mm ²	44	25

X. 顯微鏡組織 Cu-Zn 系では Zn の量 38% 迄は α 固溶體の單相であるが、それ以上では β 析出し 48% にて β 相のみとなり、更に Zn 増加せば γ 相現はる。

L. Guillet の研究による各元素の Zn 當量を示すと

Al 6.0	Ni 1.1~1.7	Si 10.0	Sn 2.0	Fe 0.9	Mn 0.5
Pb 1.0	Cd 1.0				

であつて添加量と當量値より合金の組織が豫知し得る。

α 相は結晶粒微細なるも Cu 多き部分が Dendrite となりて假りに 2 相となり、これを單相となすためには高温にて長時間焼鈍するを要する。

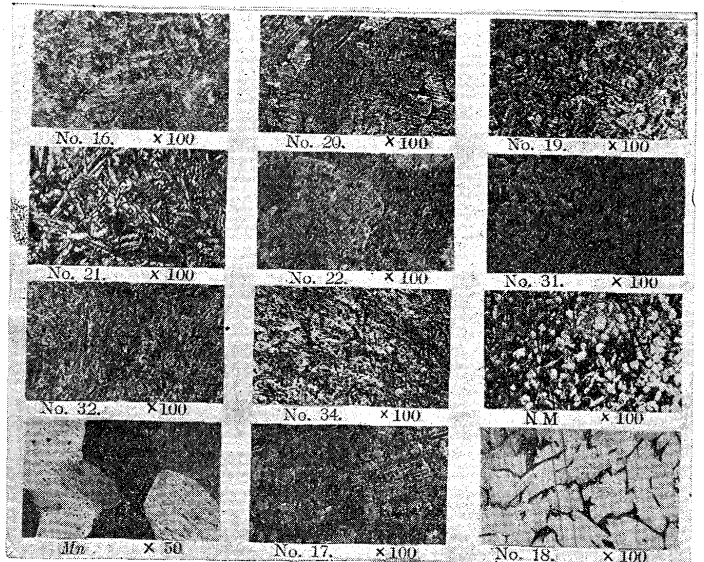
β 相は結晶粒頗る大なるも Dendrite とならざるため推進器は何れも焼鈍せずして使用することより最初より單相のものの方良好なる結果を示す。

Al を添加すると海水中にて良好なる防蝕膜を形成する性質を帯びる。試料は何れも鑄造せる儘の状態であるから化學成分の上よりは α 相のみのものも實物では二相となり多量のものには β 相現はる。

Cu-Zn-Al-Ni-Si 系にて 22 は β 相なるも其の他は何れも α 若くは α+β 相である。

No. 32 は Zn 含有量 40 に相當し少量の β を混ぜる

第8圖 顯 微 鏡 組 織



α 相よりなり結晶粒微細である。

Mn 青銅は β 相であつてその結晶粒頗る大である。

NM 青銅は亜鉛含有量 44 に相當し $\alpha + \beta$ 相である。

主なる材料の顯微鏡組織は第 8 圖に示す通り。

XI. 新材料の發見 從來 *Cu-Zn* の二元素に *Ni*, *Al*, *Mn*, *Si* 等を加へたる合金は少くなく、これに關する研究は I に掲げた通りであるが未だ *Cu-Zn* に *Al*, *Ni*, *Si* を同時に加へたものは見當らない。

上述の試験の結果 *Al* 2~3, *Ni* 3~4, *Si* 1~2, *Zn* 22~25%, 残り *Cu* なる成分を有する合金は綜合的に諸性質が優良であつて、推進器用 *Mn* 青銅に比較すると耐蝕性約 2 倍、海水中の腐蝕疲勞限約 3 倍、粘性限約 2 倍であつて、可鑄性も優つて居る。

直徑 380 mm の小型推進器を製作し實際、船に使用した結果も良好であるから大型の推進器に採用する價值があるものと認める。猶海水唧筒の扇車其の他の海水接觸部に使用した成績も亦良好である。

第 4 綜 括

1) 推進器材として使用せられる *Mn* 青銅に就て諸性

質を計測したる結果實用狀態では海水中に於ける腐蝕疲勞限を超過した繰返應力を受けることを見出し、推進器の潰蝕が腐蝕疲勞限に起因することを確認すると共にその機構を明らかにするを得た。

2) 容易に各種類の腐蝕疲勞限を計測し得る電磁式疲勞試験機を考案した。

3) 腐蝕疲勞限對繰返應力線圖を案出して容易に各種の腐蝕疲勞限を線圖上より求め得るに至つた。

4) 腐蝕疲勞限實驗式を決定して計算によつて腐蝕疲勞限を求め得るに至つた。

5) 海水に對する耐腐度比較的大なる 36 種の合金に就て抗張力、海水中の潰蝕度、海水中の電位、收縮率、凝固區間、顯微鏡組織、腐蝕疲勞限並に粘性限を測定した結果新に發見した。

Al 2~3, *Ni* 3~4, *Si* 1~2, *Zn* 22~25, *Cu* 殘部なる成分の合金は種々の點に於て推進器並に海水接觸部に對し最も優良なる材料であることを確認するを得た。

終りに臨み直接試料の調製並に計測に従事せる青井米藏氏に感謝の意を表する。