

熔鑪送風機用瓦斯機關ピストン棒材料の 腐蝕疲労に関する研究

(日本鐵鋼協會第 17 回講演大會講演 昭和 12 年 4 月)

田川 淺次郎*

STUDY ON THE CORROSION-FATIGUE OF THE MATERIAL FOR THE PISTON ROD OF THE GAS BLOWING ENGINE FOR THE BLAST FURNACE.

Asajiro Tagawa

SYNOPSIS:—A piston rod made of nickel-chrome steel for the 4,800 H.P. Gas blowing engine, manufactured by the foreign works was fractured. Investigating the cause of failure, the corrosion fatigue due to cooling water was found to be an important factor.

Therefore, series of fatigue tests on the fractured material and also on carbon steels with a tensile strength of about 60kg/mm^2 were carried out with special care to the corrosion fatigue, the conclusions are as follow ;—

1. The carbon steel is sufficiently good as a material for the piston rod.
2. The degree of forging increases the resistance to corrosion fatigue.
3. By using emulsion oil as a cooling medium, the corrosion fatigue can be prevented to a certain extent.

目 次

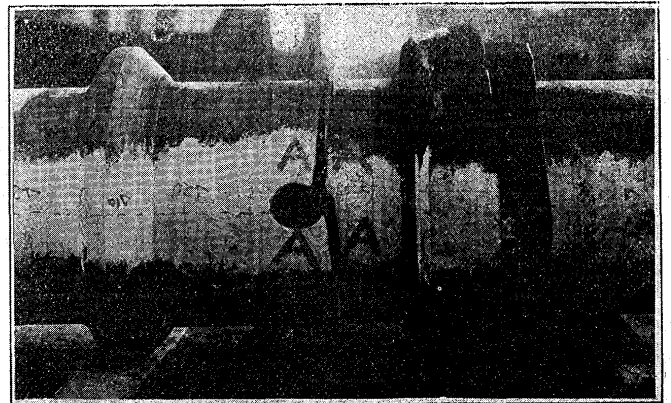
- I. 緒 言
 1. 研究の動機 2. 従來の研究 3. 研究の施行方針
- II. 一般事項
 4. 實驗裝置 5. 試験片の形状及寸法 6. 實驗方法及防蝕劑並に防蝕試料の製作 7. 疲労限界の決定方法
- III. 外國製 Ni-Cr 鋼ピストン棒の腐蝕疲労試験
 8. 實驗項目 9. 實驗材料 (a) 試験片の採取位置 (b) 試験片の機械的性質 化學成分及組織 10. 實驗結果 11. 總括
- IV. 當所製炭素鋼ピストン棒の壓延材及鍛鍊材の腐蝕疲労試験
 12. 實驗項目 13. 實驗材料 (a) 試験片の採取位置 (b) 試験片の機械的性質 化學成分及組織 14. 實驗結果 (a) 炭素鋼ピストン棒の壓延材の試験結果 (b) 炭素鋼ピストン棒の鍛鍊材の試験結果 15. 總括
- V. 當所製炭素鋼ピストン棒の鍛鍊度を異にせる材料の疲労試験
 16. 實驗項目 17. 實驗材料 (a) 試験片の採取位置 (b) 試験片の機械的性質 化學成分及組織 18. 實驗結果 19. 總括
- VI. 當所製炭素鋼ピストン棒の腐蝕疲労試験
 20. 實驗項目 21. 實驗材料 (a) 試験片の採取位置 (b) 試験片の機械的性質 化學成分及組織 22. 實驗結果 23. 總括
- VII. 結 論

I. 緒 言

1. 研究の動機 熔鑪に附屬せる複動串型 4 サイクル

4,800 馬力瓦斯送風機の第 1 シリンダーの外徑 360 mm 内徑 160 mm ピストン棒 (外國製) が運轉開始以來 1 年 9 ヶ月餘にして冷却水がピストンに出入する斜孔部に於て棒の軸心に直角に破壊した (第 1 圖の A 及 B 圖 第 2 圖 第 3

第 1 圖 外國製 Ni-Cr 鋼ピストン棒の破壊状態圖
(A) 棒の天側より見たるもの

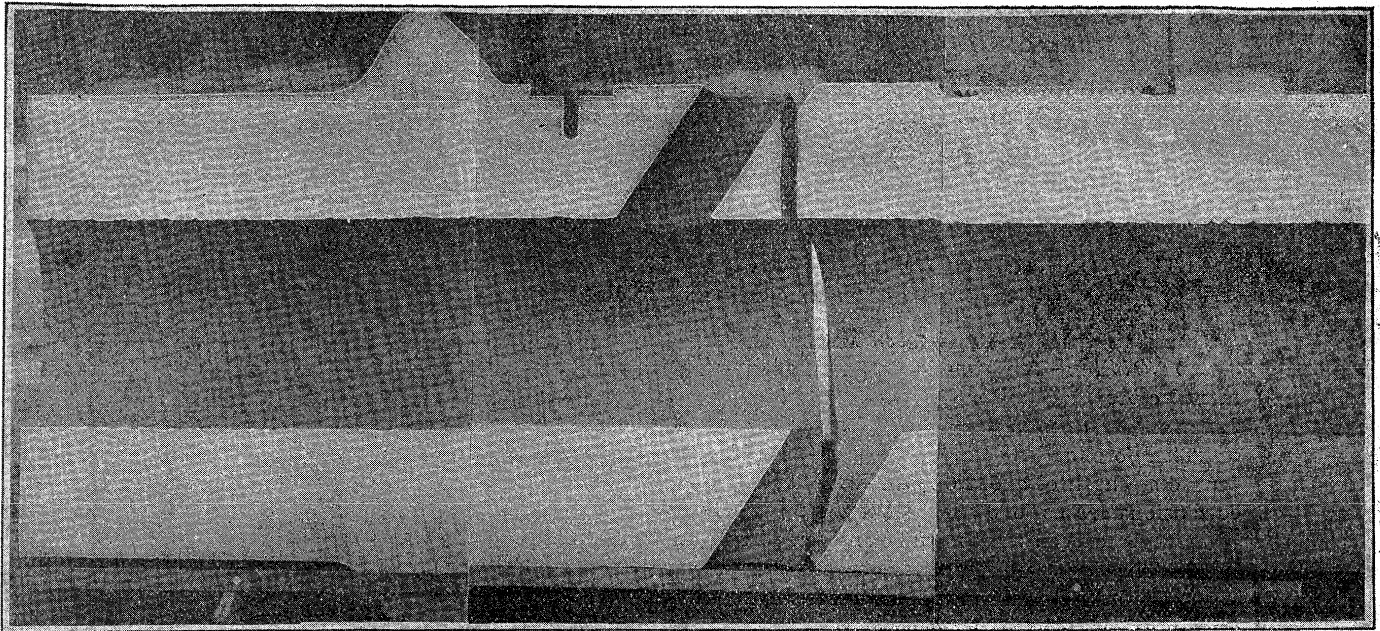


(B) 棒の地側より見たるものにして A 圖に示す材料を其の裏側より見たるもの

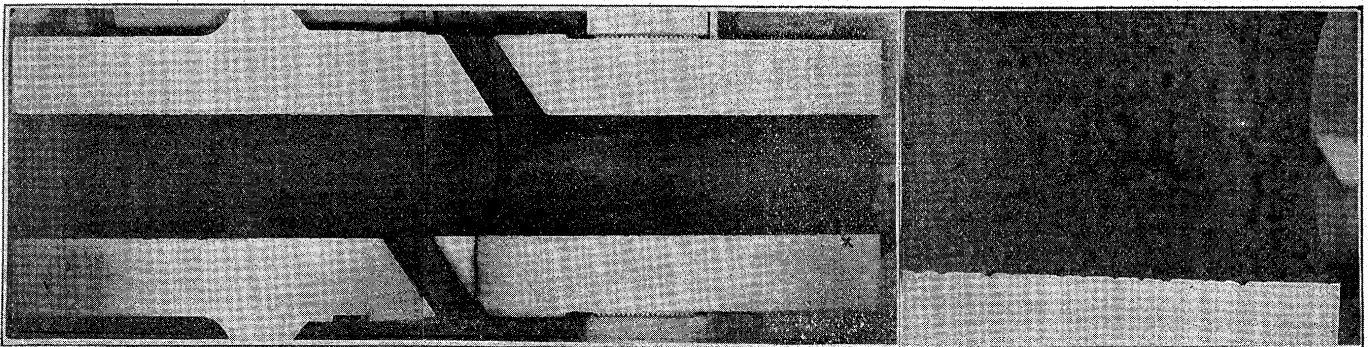


* 日本製鐵株式會社八幡製鐵所

第2圖 Ni-Cr 鋼ピストン棒の破壊状態圖 (棒の軸に沿ひ天地に縦斷せるもの)



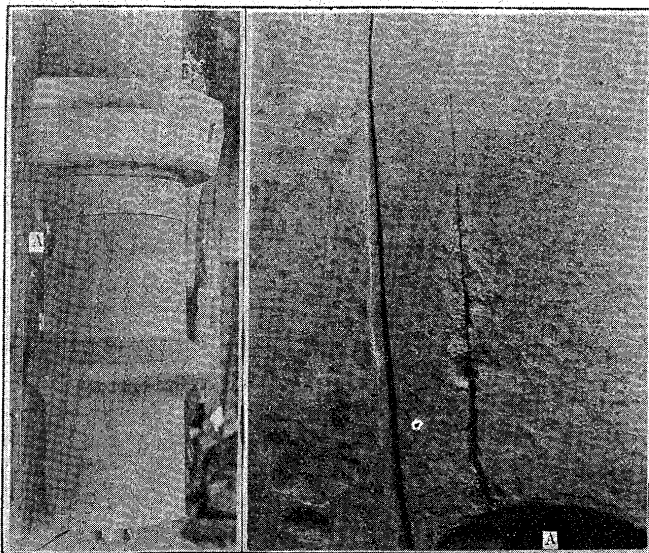
第3圖 Ni-Cr 鋼ピストン棒の破壊状態圖 (A) 棒の軸に沿ひ天地に縦斷せるもの (B) 腐蝕孔より起る龜裂を示す(×印は個所)



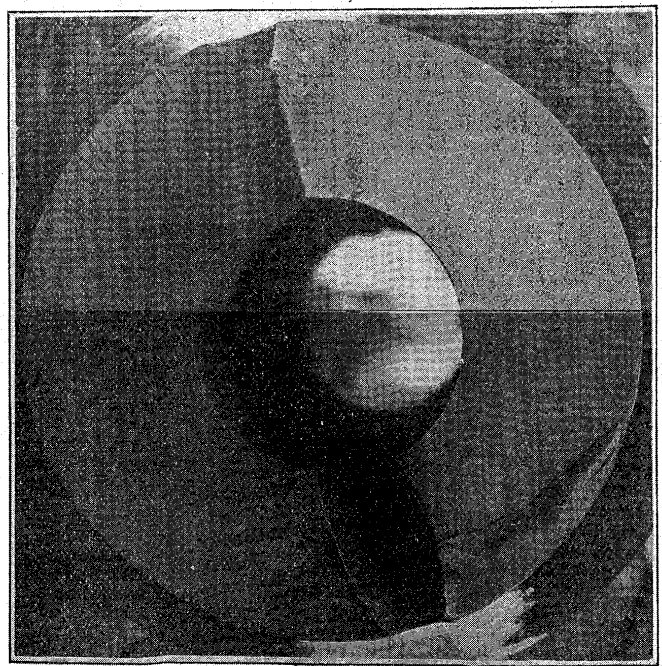
備考 第2圖及第3圖はピストン棒の軸に沿ひ天地に縦斷したる時に出來た2個の材料の断面を示す。

第4圖 外國製 Ni-Cr 鋼ピストン棒の破壊状態圖

- (A) 棒の外側より見たもの
- (B) 棒の外側の斜孔部附近を示せるもの



第5圖 Ni-Cr 鋼ピストン棒の破壊せる横断面



圖の A 及 B 圖 第 4 圖の A 及 B 圖参照) 其破面は特に著しき缺點を示さず (第 5 圖) 只破壊が棒の斜孔部より發し第 2 圖及第 3 圖に示す如く棒軸に沿ふ縦断面によると水と接觸する部分には無数の腐蝕ピットを生じ其ピットが切欠きとなり奥深く龜裂を生じ腐蝕孔の大なる程龜裂は大であつた 其れ故腐蝕疲労が破壊の重要因子なる事が明らかに認められた そこで破壊せる Ni-Cr 合金鋼ピストン棒の腐蝕疲労の強さを調べ更に取換品たる當所製の 2 種の炭素鋼の各ピストン棒に就きて腐蝕疲労の強さを決定し且つ之等の鋼材に對して如何なる冷却剤を使用すれば多少にても腐蝕疲労の影響を防止し得られるかを研究する必要に迫られた

2 従來の研究 大型内燃機關のピストン棒特に船用 2 サイクル ディーゼル機關の水冷却ピストン棒が近年屢々破壊するので其防止策は斯界の問題となつて居る 其破壊原因は材質 熱應力其他種々あるであらうがピストン棒が水の腐蝕作用を受けるために其疲労限界が著しく低下せしめられる事が有力なる原因の一つと見做されて居る 而して現在までの經驗にては材料の化學成分を變へる事により腐蝕疲労の防止は出来ないとされてゐる 従て一般に腐蝕疲労の研究は各方面に於て大なる注意を喚びつゝある有様で其概要は別に輯録したから茲には省く)

3 研究の施行方針 本研究に於ては東京帝國大學教授小野鑑正博士の御指導の下に前記の材料及當所發電所瓦斯機關ピストン棒材料につき次の實驗を行ふ事にした

(a) 破壊せる送風機瓦斯機關ピストン棒より取れる試験片に就て空氣中の疲労強さを定め之と比較するために注水状態に於ける強さを見出し尙ほ種々の防蝕劑又は防蝕法に就て其影響を試験する事

(b) 取替品たる送風機瓦斯機關用當所製炭素鋼ピストン棒材料の壓延材及之を更に鍛鍊せるものにつき夫々空氣中の疲労強さを定め且つ之と比較する爲めに注水状態に於ける強さを見出すこと

(c) 發電所瓦斯機關用當所製炭素鋼ピストン棒新製品材料につき鍛鍊度を異にせる場合の疲労強さの變化を見出す事

(d) 取換品たる送風機瓦斯機關用當所製炭素鋼ピストン棒より取れる試験片の空氣中及注水状態に於ける疲労強さ

1) 日本製鐵株式會社八幡製鐵所研究所 各種鋼質のピストン棒 (内燃機關用)の冷却及腐蝕疲労防止に関する文献(1931~1935)

を見出し且つ防蝕劑の影響を試験する事

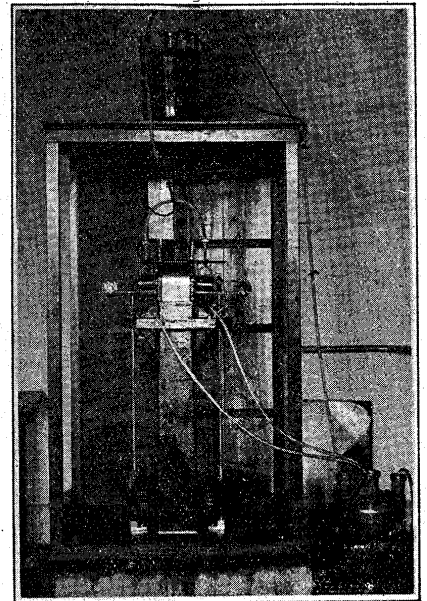
II 一般事項

4 實驗裝置 本實驗を施行した裝置は米國 Olsen 會社製 White-Souther 式彎曲疲勞試驗機 (第 6 圖) であつて 2 個の試験片は同時に試験し得られ 直結 1/2 馬力電動機よりベリカルギアによつて廻轉され 其の廻轉數は毎分 1,850 であつた

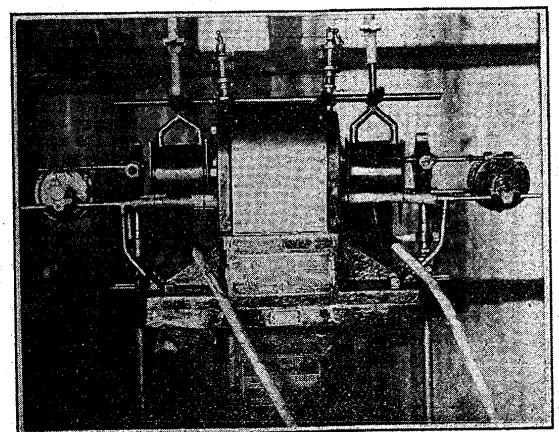
實驗に於ては 2 個の試験片を構成する一本の試料を試驗機の掴み部分に挿入して 圓筒形楔の打込みによつて固定し 其兩端に重錘を掛け其廻轉數は積算回轉計によつて測定した

水又は防蝕液を注いで疲勞試験を行ふ場合には第 7 圖に示す如き注液装置を用ひ試験片の部分を圓筒形のセルロイド箱を以て覆ひポンプによつて 2 個の硝子タンクの間

第 6 圖 White-souther 式耐久試験機



第 7 圖 試験片腐蝕裝置

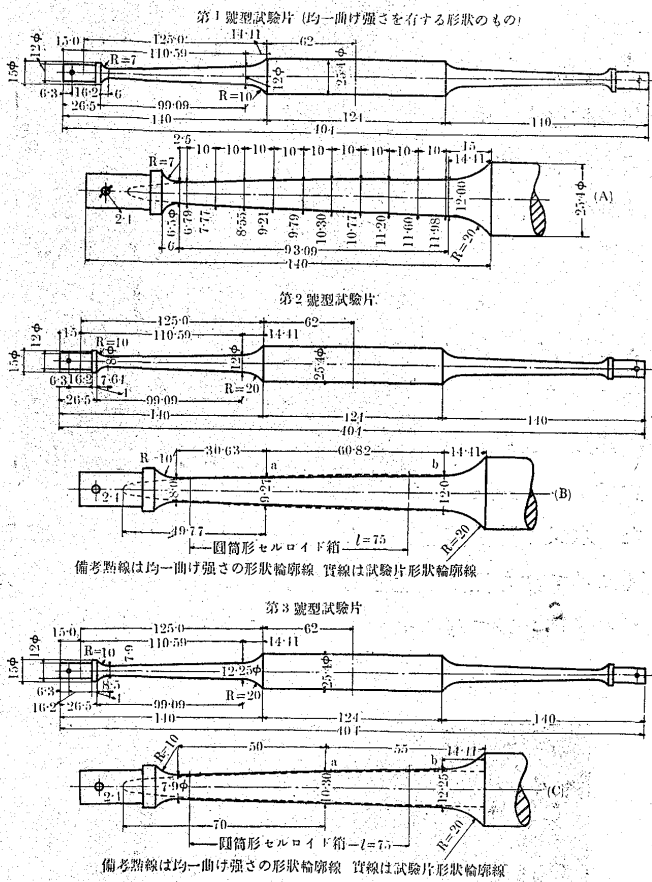


を絶えず循環する液が試験片とすする部分に眞上より一樣に注ぎかけられ而してそれが落下して圓筒形箱内に溜りたる後に循環する様にした 液が圓筒形セルロイド箱より飛び出るのを防ぐために試験片のセルロイド製圓筒箱より離れる部分に薄きゴムの嵌輪を固着せしめた 而して注液の

流速は常に 25 cc/sec であった

5 試験片の形状及寸法 本実験に使用した彎曲疲労試験片の形状及寸法は第8圖に示す通りであつて仕上げは000 エメリー研磨紙によつた 試験片の測定部分はその各断面に惹起される最大曲應力をして出来る丈均一なる様にした 第1號型試験片(第8圖A圖)は計算通その均一曲げ應力を有するときの形状であつて 試験片符號 A I A II に之を使用した 然し之によると破壊はフィレットの部分に起り易く 且つ試験片の製作に際し 仕上げが困難且時間

第 8 圖



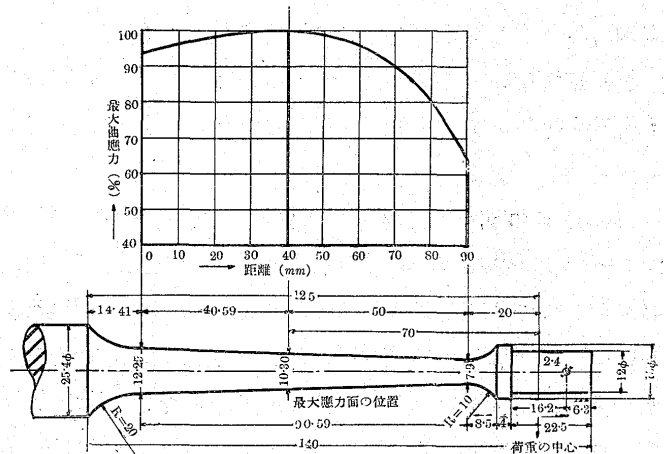
を要するので第8圖Bに示す如く此の試験片(A圖)の形状輪廓線上の一點aと締付部に近き點bとを直線にて結び之を他端に延長したのが第2號型試験片である 之は試験片符號 A IX A X A XI A XII A XV 及 A XVI に使用した 此の試験片では破壊は原則として a, b の二點間に起り 空气中の疲労試験では差支へないが 注液による腐蝕疲労試験では注液用圓筒形セルロイド箱をB圖に示す位置に於て試験片を覆ふ關係上試験片の a, b 2點間の圓筒形箱の外に出で注液されない部分で破壊する事もあり得るを以て 第8圖Cに示す如く第1號型試験片の形状輪廓線の中央部附近のa點に於てそれに切線を引き 直線型

形状の試験片としたものが第3號型試験片である

前記の試験片符號以外のすべての試験片には全部此型を使用した 此試験片では破壊は原則として試験片の中央部附近に起り 腐蝕疲労試験に於て注液の効果を見るに安全である この第3號型試験片に於ける表面最大曲應力分布状態は第9圖に示す如くである

第 9 圖 彎曲耐久試験片(第3號型)

の最大曲應力分布圖(%)



6 實驗方法及防蝕劑並に防蝕試料の製作 實驗に於ては普通の疲労試験方法を用ひた 即ち荷重を種々に變へて試験片が破壊せしときの所要廻轉數 即ち繰返回數を測定し試験片が繰返回數 10^7 に達しても尙ほ破壊せざるときは

第 1 表 遠賀川給水の水質試験成績(水10萬分中)

昭和 11 年 10 月 22 日

| 全浮游夾雜物 | | 全溶解性物質 | | 溶解成分の推定化合物 | |
|----------------------------------|------|----------------------------------|-------|------------------------------------|--------------|
| 全浮游物 (Total Suspended Matter) | 3.96 | 全溶解物 (Total Dissolved Matter) | 23.48 | NaCl | 1.62 |
| 有機物 (Organic Matter) | 0.94 | Na_2O | 5.94 | K_2SO_4 | 0.22 |
| SiO_2 | 2.26 | K_2O | 0.12 | $MgSO_4$ | 1.28 |
| Fe_2O_3 | 0.40 | CaO | 3.34 | $CaSO_4$ | 5.49 |
| Al_2O_3 | 0.16 | MgO | 0.65 | Na_2SO_4 | 3.78 |
| CaO | 0.05 | SO_3 | 6.31 | $CaCO_3$ | 1.92 |
| MgO | 0.03 | Cl_2 | 0.98 | $MgCO_3$ | 0.44 |
| MnO | 0.07 | SiO_2 | 1.68 | Na_2CO_3 | 4.68 |
| | | $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ | 0.16 | SiO_2 | 1.68 |
| | | CO_2 | 3.00 | 有機物 (Organic Matter) | 1.40 |
| | | 有機物 (Organic Matter) | 1.40 | 曹達鹽類 及 鐵 礬 土 鹽 類 | 0.81 0.16 |
| 硬 | | 度 | | | |
| 總硬 | 度 | 永久硬 | 度 | 一時硬 | 度 |
| 4.34 | | 2.86 | | 1.48 | |

試験を中止した 而してこの試験は晝夜連続して之を行た 液體を注ぎつつ行た疲勞試験に於ける液及表面保護法は次の通りである

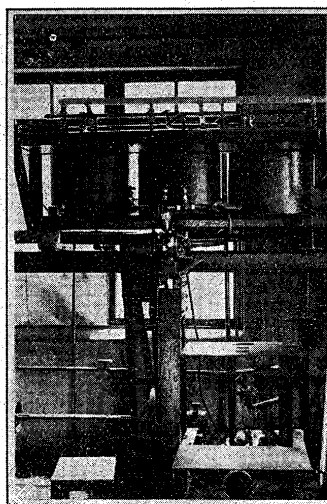
(1) 注水の場合 この際の実験用水には送風機ピストン棒の冷却用水である遠賀川より來る淡水を使用した その水質の分析成分は第1表に示す如くである 即ち水 10 萬分中に於ける全浮游物は 3.96 全溶解性物質は 23.48 で鹽分は極く少量で 1.62 であり總硬度 4.34 の軟水である

(2) 重クロム酸ソーダ溶液(0.02%)を注げる場合 此の場合も遠賀川の淡水に 0.02% の重クロム酸ソーダを溶かした液を使用した

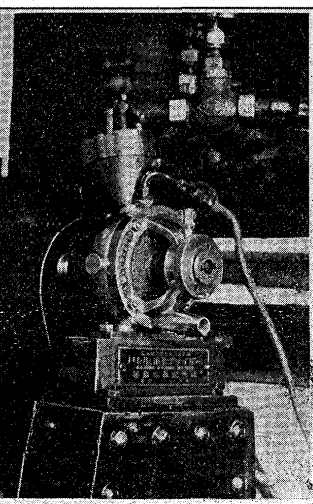
(3) クロム酸カリ溶液(0.02%)を注げる場合 此の場合も遠賀川原水に 0.02% のクロム酸カリを溶かした液を用ひた

(4) 乳化油(1%)を注げる場合 此の試験には鑛油を使用した 即ち日石 2 號車軸油 1% を遠賀川の水に加へて乳化油を作た 乳化油製造設備及ハレルホモデナイザーの概略は第 10 圖及第 11 圖に示す如くである

第 10 圖
乳化油製造設備



第 11 圖
ハレルホモデナイザー



此の装置は 1 分間回轉數 780 で 10 馬力電動機により運轉され ベルトによりホモデナイザーのロートルは 1 分間回轉數 11,210 の速さで廻轉する 先づ遠賀川淡水に對し 鋸板工場廢油から製作した椰子油石鹼の 0.2% 溶かしたる後それを 60°C に熱し その溶液をよく攪拌して第 10 圖に示すタンク内に入れ これをハレルホモデナイザーのロートル上の漏斗(第 11 圖)に導き 其の際二號車軸油の 1% を同時に注入せしめた 石鹼水と油とが混和しつゝホ

モデナイザーのロートルの上部間隙(0.325mm)を通過する際 油は非常に細かき粒子となつて混和せしめられた 乳化油は其の後 2 回ホモデナイザーを通過せしむる事により 乳化度の安全を期した その際乳化をよくするために用ひた椰子油石鹼の分析は第 2 表の通りであつた

第 2 表 椰子油石鹼分析試験成績

| キシロール法 水分(重量%) | NaOHとして 游離アルカリ (重量%) | 不 鹼 化 脂 肪 (重量%) | 灰 分 重 量 |
|-------------------|----------------------------|-----------------------|------------|
| 8.33 | 痕 跡 | 0.423 | 14.31 |

(5) クロム鍍金せる試料に注水せる場合 ピストン棒より採取せる試料へのクロム鍍金は 當所中央工具工場に於て電解装置により之を行た

(6) 窒化せる試料に注水せる場合 ピストン棒試料の窒化は研究所電氣化學實驗室で行ひ 温度 520°C にてアンモニア瓦斯の流速を 600 cc/min に保定し 20 時間 25 時間 30 時間夫々窒化せる試料に遠賀川の淡水を注いで試験した

7 疲勞限界の決定方法 空氣中の疲勞試験に於ては抗張力以下の應力を試験片に與へて運轉し 最大曲應力 σ と破壊する迄の繰返回数 N との關係を見出し その $\sigma-N$ 曲線の水平となるときの値を疲勞限界として決定するのであるが實際には無限に繰返す事は不可能であるから普通繰返回数 10^7 を限度とし 此以上堪へ得る應力中の最大値を以て疲勞限界と定めて居る 本實驗に於ける空氣中試験では $\sigma-N$ 曲線が繰返回数 10^7 を切る點の應力値を以て疲勞限界と決めた 又腐蝕疲勞試験に於ては その $\sigma-N$ 線圖には水平部分は現れず 従て其 $\sigma-N$ 曲線の繰返回数 10^7 を切る點の應力値を以て腐蝕疲勞限界と見做した 而して最大曲應力 σ の値は次式より求めた

$$\sigma = \frac{32 Pl}{\pi d^3}$$

但し σ ($\pm kg/mm^2$) = 表面最大曲應力

$P(kg)$ = 荷重

$d(mm)$ = 試験片の最大曲應力を受ける部分の直径

$l(mm)$ = 荷重線より梁の破壊せる點までの距離

尙各實驗に於ける $\sigma-N$ の關係は 之を兩對數方眼紙上に線圖で表はした 圖中空氣中 注水 乳化油その他に對し試料の採取場所がピストン棒の外周部なるか 又は内周部なるかによつて夫々符號にて區別し 又繰返回数 10^7 を越ゆるも破壊せざりし試料に對しては矢を附した

III 外國製 Ni-Cr 鋼ピストン

棒の腐蝕疲労試験

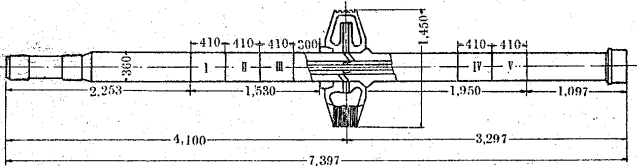
8 実験項目 前述の I の 3 に記載せる一般方針に従ひ次の場合の疲労試験を行た

- (1) 空气中 (2) 注水 (3) 乳化油(1%)使用 (4) クロム鍍金せる試料に注水 (5) 重クロム酸ソーダ溶液(0.02%)使用 (6) クロム酸カリ溶液(0.02%)使用 (7) 窒化せる試料に注水

9 実験材料

(a) 試験片の採取位置 本実験に於ては第 12 圖に示す如く Ni-Cr 合金鋼ピストン棒の I III IV 及 V 部より其外周部試料を採取し I II III IV 及 V 部より内周部試料を其内面より適當な距離を置いてとり III の部分の外周部からは主として窒化すべき試料をとつた

第 12 圖 外國製 Ni-Cr 鋼ピストン棒の試料採取位置



(b) 試験片の機械的性質 化学成分及組織 ピストン棒の III の個所の内外周部試料(第 13 圖参照)の静的試験結果及化学成分は第 3 表及第 4 表に其の組織寫眞は第 14 圖にある 即ち抗張力は平均に於て外周部は 84.9 kg/mm^2 内周部は 80.9 kg/mm^2 でその間に 4 kg/mm^2 の差を示した 組織に於ては外周部は内周部より粒子が小であつた又ピストン棒の他の部分 例へば V の部分の内外周部(第 15 圖参照)の静的試験結果及化学成分は第 5 表及第 6 表に其組織寫眞は第 16 圖に示す如くであつて其抗張力は平均に於て外周部では 80.9 kg/mm^2 内周部で 78.6 kg/mm^2 を示し其差は 2.3 kg/mm^2 であつた 其組織に於ては外周部は矢張り内周部より細かであつた

斯くの如くピストン棒の内周部により著しき抗張力及組織の差を示した

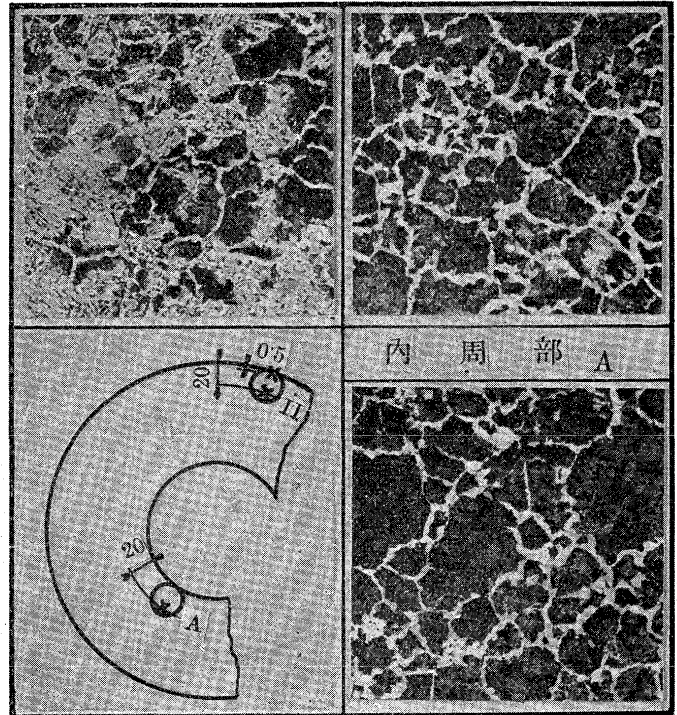
第 13 圖 Ni-Cr 鋼ピストン棒の試料採取位置

| III | 試料位置 | |
|-----|------------------------|----------------------|
| | 採取試料 | 試料位置 |
| | 疲労試験片 | 外周部 1~10 内周部 C~L |
| | 機械試験片 化学分析試料及組織寫眞試料 | 外周部 11 12 内周部 A B |

第 14 圖 Ni-Cr 鋼ピストン棒の顯微鏡組織

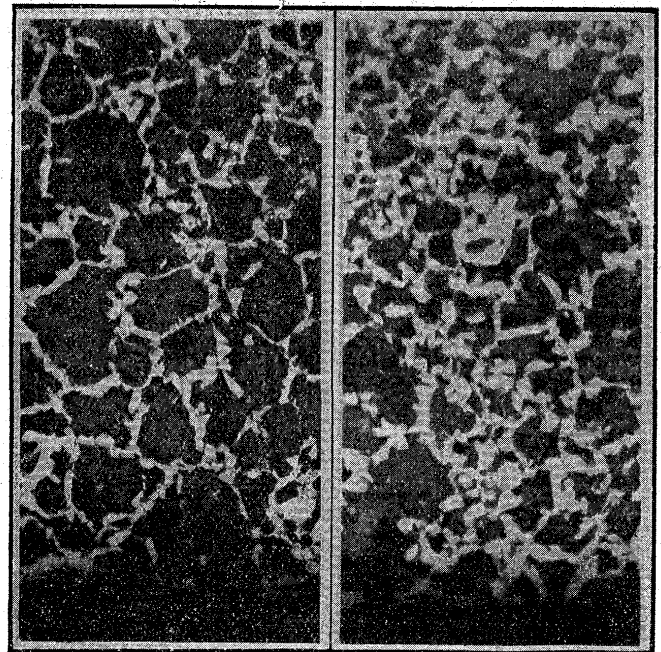
(ピストン棒 II の部分の横断面)

外周部 II 外周部表面附近 II ($\times 100$ を縮寫)

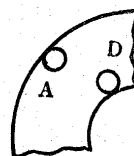


第 16 圖 Ni-Cr 鋼ピストン棒の顯微鏡組織

外周部 A ($\times 150$ を縮寫) 内周部 D

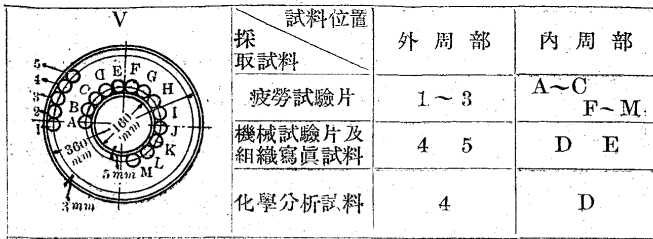


ピストン棒V部の個所横断面



10 実験結果 外國製 Ni-Cr 鋼ピストン棒試料に對する疲労試験の結果は第 7 表より第 18 表に示す如くでそれ等の場合の繰返應力 σ 及繰返回数 N の關係を線圖に示したものが第 17

第 15 圖 N-Cr 鋼ピストン棒 V 部の試料採取位置



第 3 表 静的試験成績

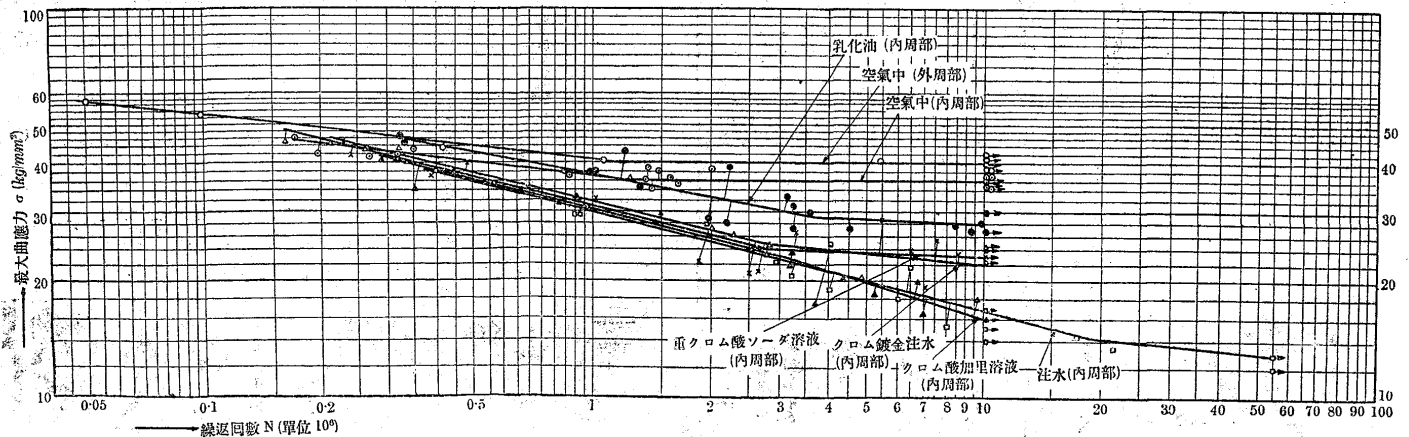
| 試料位置 | 抗張力 (kg/mm ²) | 破断界 (kg/mm ²) | 降伏点 (kg/mm ²) | 延伸率 (GL=100mm)(%) | 断面収縮率 (%) | 弾性係数 (kg/mm ²) |
|------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|-----------|----------------------------|
| 外周部 | 11 | 86.2 | 141.5 | 63.0 | 16.0 | 21,080 |
| | 12 | 83.5 | 143.2 | 62.0 | 16.0 | 20,960 |
| | 平均 | 84.9 | 143.9 | 62.5 | 16.0 | 21,020 |
| 内周部 | A | 81.3 | 136.8 | 56.3 | 18.0 | 20,920 |
| | B | 80.4 | 134.6 | 54.7 | 16.0 | 20,940 |
| | 平均 | 80.9 | 133.7 | 55.5 | 17.0 | 20,930 |

第 4 表 化学成分%

| 試料位置 | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | |
|------|----|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|
| 外周部 | 11 | 0.37 | 0.222 | 0.63 | 0.027 | 0.031 | 0.09 | 1.70 | 0.42 |
| | 12 | 0.37 | 0.251 | 0.64 | 0.028 | 0.030 | 0.10 | 1.71 | 0.44 |
| | 平均 | 0.37 | 0.237 | 0.64 | 0.028 | 0.031 | 0.10 | 1.71 | 0.43 |
| 内周部 | A | 0.37 | 0.230 | 0.57 | 0.028 | 0.033 | 0.09 | 1.70 | 0.43 |
| | B | 0.36 | 0.249 | 0.66 | 0.026 | 0.030 | 0.10 | 1.69 | 0.43 |
| | 平均 | 0.37 | 0.240 | 0.62 | 0.024 | 0.032 | 0.10 | 1.70 | 0.43 |

圖及第 18 圖である それによると各種の場合の試験結果は次の如くである

第 17 圖 外國製 N-Cr 鋼ピストン棒材料の σ-N 線圖



| 試験片符号 | 破壊せるもの | 破壊せざるもの | 試験状況 | ピストン棒試料採取位置 | 疲労限界 kg/mm ² | |
|--|--------|---------|------------------------|-------------|-------------------------|----------------------------|
| | | | | | 繰返回数 10 ⁷ | 繰返回数 5.5 × 10 ⁷ |
| A | ○ | ○ | 空気中 | 外周部 | 40 | |
| A | ● | ● | 空気中 | 内周部 | 36 | |
| W | □ | □ | 注水 | 同 | 17 | 13 |
| E | ⊙ | ⊙ | 乳化油 (1%) を注ぐ | 同 | 28 | |
| Cr | × | × | クロム鍍金せるものに注水 | 同 | 22 | |
| Na ₂ Cr ₂ O ₇ | △ | △ | 重クロム酸ソーダ (0.02%) 溶液を注ぐ | 同 | 23 | |
| K ₂ C ₂ O ₄ | ▲ | ▲ | クロム酸カリ (0.02%) 溶液を注ぐ | 同 | 16 | |

繰返回数 5.5 × 10⁷ に於ける疲労限界は 13 kg/mm² であった 試験の進むにつれて試験片の表面には著しき腐蝕を示し赤錆を生じてゐた 注水に於ける腐蝕疲労試験中材料は腐蝕を受け其爲め切欠を表面に起し遂に破壊に到る状態は第 19 圖に明示される如くであつて

第 5 表 静的試験成績

| 試料位置 | 抗張力 (kg/mm ²) | 降伏点 (kg/mm ²) | 延伸率 (GL=50mm)(%) | 断面収縮率 (%) | 弾性係数 (kg/mm ²) |
|------|---------------------------|---------------------------|------------------|-----------|----------------------------|
| 外周部 | 4 | 80.2 | 53.0 | 24.0 | 58.3 |
| | 5 | 81.5 | 58.0 | 23.0 | 60.0 |
| | 平均 | 80.9 | 57.0 | 23.5 | 59.2 |
| 内周部 | D | 82.7 | 58.8 | 23.5 | 51.2 |
| | E | 74.5 | 52.9 | 24.0 | 61.4 |
| | 平均 | 78.6 | 55.9 | 23.8 | 56.3 |

第 6 表 化学成分%

| 試料位置 | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | |
|------|---|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|
| 外周部 | 4 | 0.34 | 0.238 | 0.58 | 0.023 | 0.022 | 0.10 | 1.77 | 0.56 |
| 内周部 | D | 0.37 | 0.223 | 0.63 | 0.021 | 0.024 | 0.10 | 1.77 | 0.57 |

(1) 空気中に於ける疲労試験結果

- 疲労限界 1. 外周部 40 kg/mm²
- 2. 内周部 36 kg/mm²

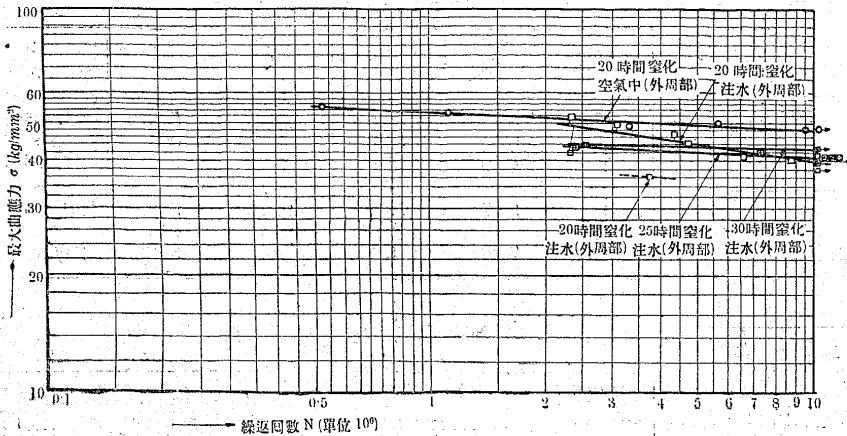
即ち外周部及内周部に於て 4 kg/mm² の差を示した

(2) 注水に於ける腐蝕疲労試験結果

- 疲労限界 内周部 17 kg/mm²

此の場合の σ-N 線は空気中に於けるものより著しく急傾斜を示し繰返回数 10⁷ に於ても尚ほ著しき傾きを示した 而して上記の値は空気中に於けるもの、1/2 以下に當る 尚ほピストン棒が破壊した迄の 實際の廻轉數に相當す

第 18 圖 外國製 Ni-Cr 鋼ピストン棒材料の窒化試料の σ -N 線圖



| 試験片符號 | 破壊せるもの | 破壊せざるもの | 試験状況 | 窒化状況 | ピストン棒試験料採取位置 | 疲労限界繰返回数 10^7 kg/mm^2 |
|-------|--------|---------|------|---------------|--------------|---------------------------|
| NA 20 | ○ | ○ | 空气中 | 520°Cにて20時間窒化 | 外周部 | 48 |
| NW 20 | □ | □ | 注水 | 同 | 同 | 40 |
| NW 25 | ■ | ■ | 注水 | 520°Cにて25時間窒化 | 同 | 41 |
| NW 30 | ⊗ | ⊗ | 注水 | 520°Cにて30時間窒化 | 同 | 43 |
| NW 20 | □ | □ | 注水 | 520°Cにて20時間窒化 | 内周部 | |

其龜裂はフェーライト粒子を横断してゐた 此際試験片の水の注がれる部分と注がれざる部分との境界に於て破壊が起つた場合が相當あつた

(3) 乳化油 (1%) 注液による腐蝕疲労試験結果

疲労限界 内周部 $28 kg/mm^2$

此の數値は空气中に於けるものより $8 kg/mm^2$ 低く注水に於けるものより $11 kg/mm^2$ の上昇を示した 其 σ -N 線の進行は空气中のものより降下するが注水の場合より著しく傾斜が緩かであつて 腐蝕疲労の著しき減少を示した 其腐蝕状態を見る爲めに最大曲應力 $33.0 kg/mm^2$ 繰返回数

(4) クロム鍍金せる試料の腐蝕疲労試験結果

疲労限界 内周部 $22 kg/mm^2$

クロム鍍金を施した試料に注水しつゝ疲労試験を行つたときの σ -N 線の傾斜は空气中に於けるものよりも著しく降下するが (第 17 圖) 鍍金せざるものよりも緩かである即ちクロム鍍金によつて或る程度の防蝕作用が得られる事を示した 各試験片の注水による腐蝕状況を見るため試験後試料の表面を検鏡せるに鍍金のはげず錆びてゐない部分では別に異状なく唯スラッグのある部分には鍍金が着いてゐないのみであつたが其破壊部附近では鍍金層は 腐蝕孔に

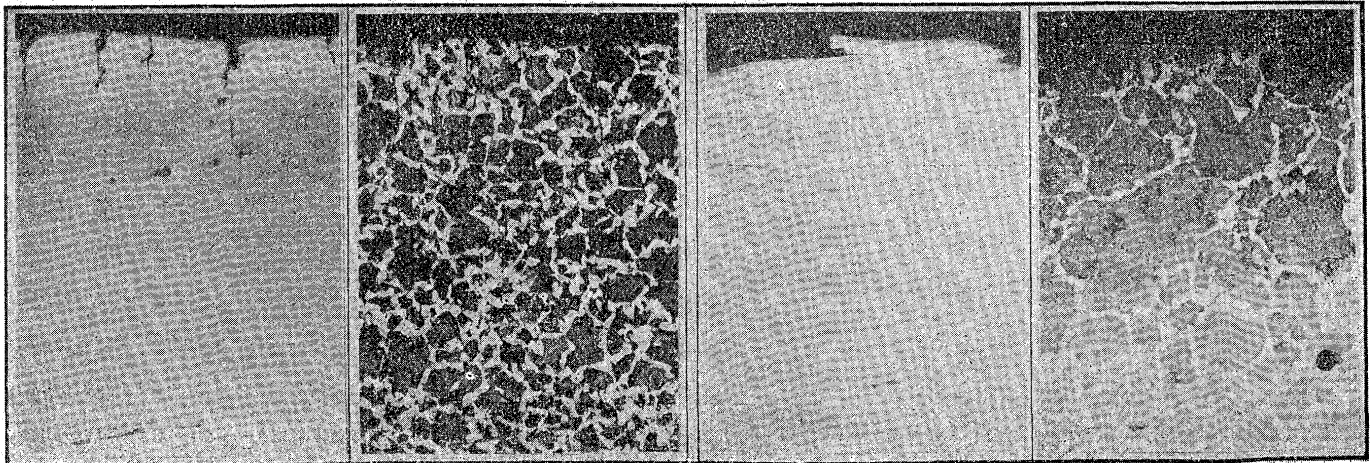
外國製 Ni-Cr 鋼ピストン棒試料の腐蝕疲労試験後に於ける試験片中央部縦断面状態

第 19 圖 注水せるとき 試験片符號 W IX

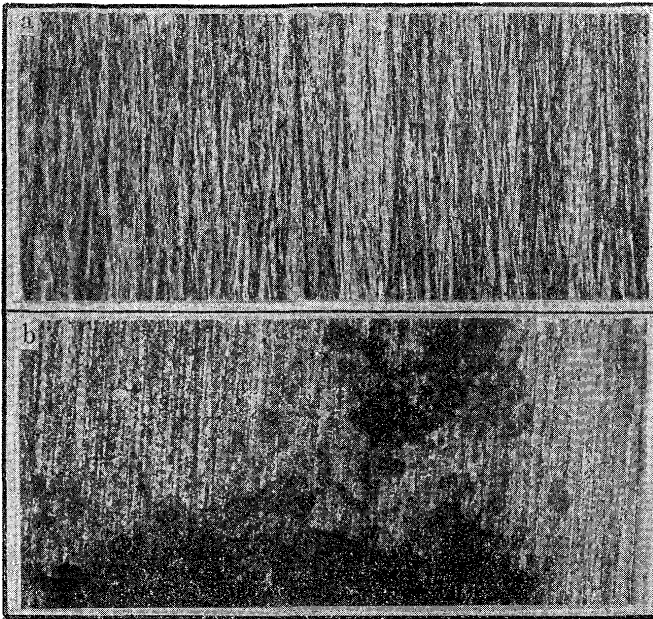
($\sigma = 20.66 kg/mm^2$ N = 3,202,000)

第 21 圖 乳化油 (1%) を注げるとき 試験片符號 EX

($\sigma = 31.11 kg/mm^2$ N = 3,297,200)



第 20 圖 Ni-Cr 鋼試料に乳化油(1%)を注げるときの疲
勞試験後の試験片表面の腐蝕状況 試験片符號 E IX
($\sigma = 33.0 \text{ kg/mm}^2$ $N = 3,153,700$)



a 乳化油を注げる中央表面少しも銹なし
b 乳化油を注げる縁部表面特に銹を生ず

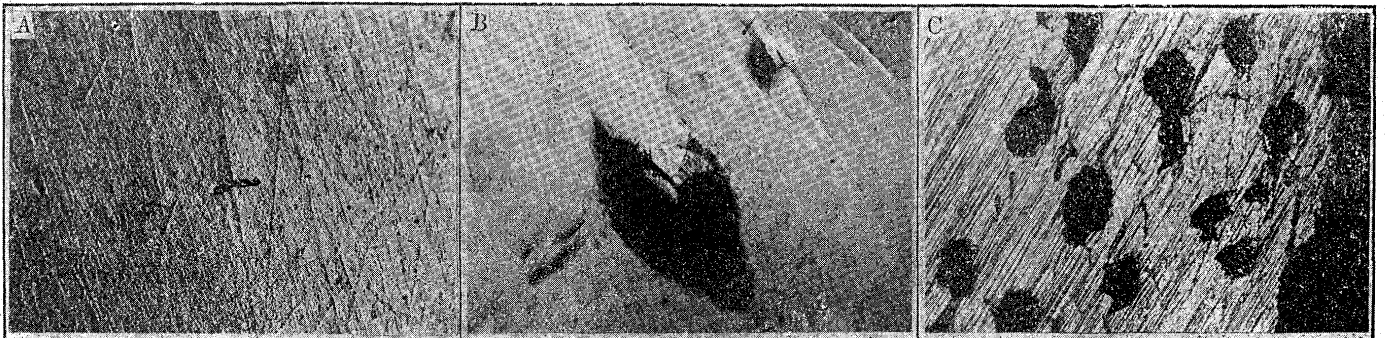
よる著しき龜裂を生じてゐた(第 22 圖 A B C) 而して
試験後の試料の縦断面を見るに注水に於ての如く龜裂を生
じてゐた(第 23 圖) :

(5) 重クロム酸ソーダ溶液(0.02%)を注げるときの腐
蝕疲勞試験結果

疲勞限界 内周部 23 kg/mm^2

其 $\sigma-N$ 線の傾きは空気中のものより著しく降下するが
注水に於けるものより緩かである 而してクロム鍍金せる
試料と比較すると大體に於て同程度の傾斜を示し其耐久力
は繰返回数初めは幾分低いが繰返回数 10^7 に於てはクロ
ム鍍金試料の腐蝕疲勞強さより大となり其點に於ける傾斜
はクロム鍍金試料のそれよりも緩かとなった 而して注水
に於ける疲勞限と比較すると 6 kg/mm^2 の増加を示した
重クロム酸ソーダ溶液の注液試験では試料は常に輝いてゐ
た試験後の試料の縦断面を見るに試験片符號 VII の材料
($\sigma = 24.72 \text{ kg/mm}^2$, $N = 2,909,000$) では龜裂は餘り無かつ

第 22 圖 Ni-Cr 鋼試料のクロム鍍金せる試料に注水せるときの腐蝕疲勞試験後の試験片の表面状況



試験片符號 Cr XII 試験片中央部
($\sigma = 24.21 \text{ kg/mm}^2$ $N = 2,638,000$) ス
ラッグの部分には鍍金着かず

破壊部附近鍍金層に大なる龜裂を生ず

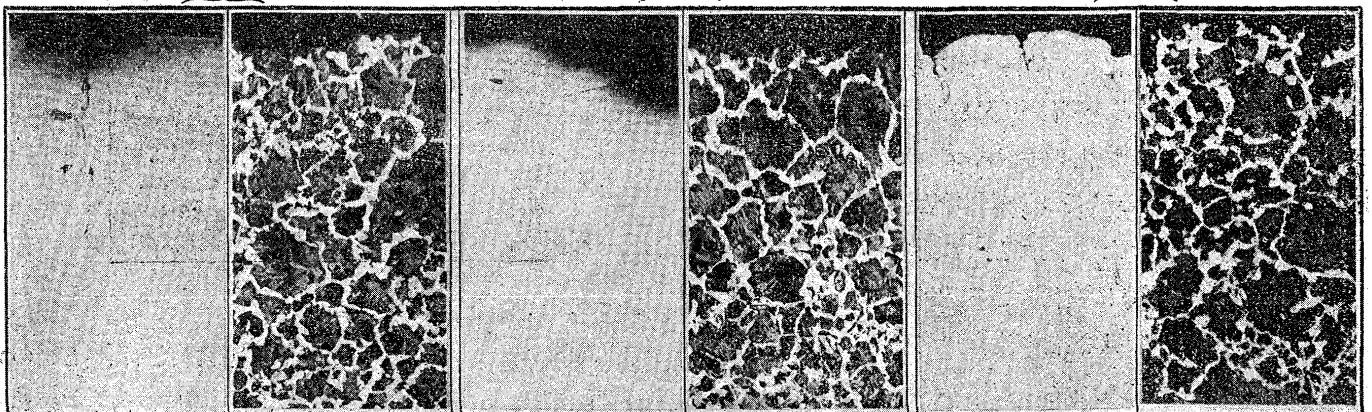
試験片符號 Cr VIII 破壊部附近
($\sigma = 30.84 \text{ kg/mm}^2$ $N = 980,500$)
鍍金層に多くの龜裂を生ず

外國製 Ni-Cr 鋼ピストン棒試料の腐蝕疲勞試験後に於ける試験片中央部縦断面状態 約 $\times 90$

第 23 圖

第 24 圖

第 25 圖



クロム鍍金試料に注水せるとき
試験片符號 Cr XI
($\sigma = 26.30 \text{ kg/mm}^2$ $N = 3,336,000$)

重クロム酸ソーダ溶液(0.02%)を注
げるとき
試験片符號 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ VII
($\sigma = 24.72 \text{ kg/mm}^2$ $N = 2,909,000$)

クロム酸カリ溶液(0.02%)を注げる
とき
試験片符號 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ II
($\sigma = 23.47 \text{ kg/mm}^2$ $N = 31,917,700$)

た(第24圖)之によつて見ると重クロム酸ソーダ溶液(0.02%)は或る程度の防蝕作用を有するが強さの點に於ては保護作用を與へない事がわかつた

(6) クロム酸カリ溶液(0.02%)を注げるときの腐蝕疲勞試驗結果

疲勞限界 内周部 16 kg/mm^2

其 σ - N 線によると其耐久力は注水の場合に比して初めは幾分よくより緩かな傾斜を示すが繰返回数 325 萬回より急に傾斜が下る 而して腐蝕疲勞限は注水の場合より 1 kg/mm^2 小で耐蝕保護効果の全くなき事を示した 此試驗では試験片表面は蓬模様の黒褐色の錆を處々に呈してゐた
クロム酸カリ溶液を注げるときの試験片の腐蝕疲勞による破壊状態は各種の場合のそれと比較するに第25圖に示す如く著しく腐蝕する事がわかつた

(7) 窒化試料に注水せるときの腐蝕疲勞試驗結果

| | | | | |
|------|---------|-----|-----|----------------------|
| 疲勞限界 | 20 時間窒化 | 外周部 | 空气中 | 48 kg/mm^2 |
| | 同 | 同 | 注水 | 40 kg/mm^2 |
| | 25 時間窒化 | 同 | 同 | 41 kg/mm^2 |
| | 30 時間窒化 | 同 | 同 | 43 kg/mm^2 |

外周部試料の σ - N 線(第18圖)によると 520°C で 20 時間窒化せる試料の空气中試験では其傾斜頗る緩かであつて水平に近く其疲勞限界は窒化されざる外周部試料の空气中に於けるものに比し 8 kg/mm^2 の上昇を示した 然るに注水試験に於ける窒化試料の σ - N 線傾斜は急勾配で降下し其腐蝕疲勞強さは 40 kg/mm^2 を示し窒化せざる試料の空气中に於ける疲勞限と同じであつた 内周部試料に 20 時間窒化せる試験片は試験の都合上一點を求めたのみであつた

次に外周部試料を 520°C で 25 時間窒化せる試料に注水腐蝕疲勞試験を行ったときの σ - N 線の進行を見るに 520°C で 20 時間窒化せる試料の空气中試験に於ける σ - N 線に平行した形をとり腐蝕疲勞限は 41 kg/mm^2 であつた 又 520°C で 30 時間窒化せる試料に注水せるときの σ - N 線は 25 時間窒化せる試料の σ - N 線と稍平行し其疲勞限は 43 kg/mm^2 であつた 之によつて見ると窒化を適當に施せば腐蝕疲勞の強さは窒化せざる試料の空气中の強さ以上にある事が判た 但し適當な窒化時間 窒化温度に關しては尙ほ研究を要するであらう

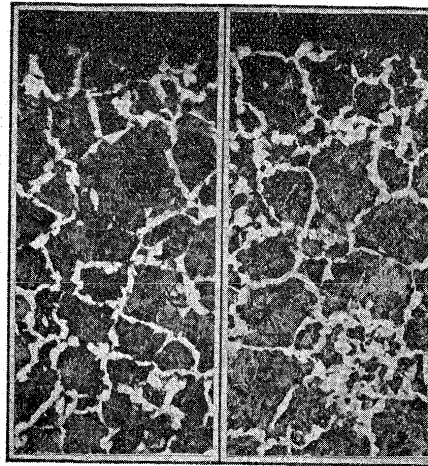
520°C 20 時間窒化材料に注水腐蝕疲勞試験を行った場合に耐久性を著しく異にした二つの試料即ち試験片符號 N W XI ($\sigma=42.45 \text{ kg/mm}^2$, $N=2,313,800$) N W XIV ($\sigma=$

41.33 kg/mm^2 , $N=6,506,400$) につき組織をしらべた處 第26圖に示す如く窒化の影響を組織の上に表はす事は出

第26圖 Ni-Cr 鋼ピストン棒材料の 20 時間窒化試料の注水疲勞試験後に於ける試験片の顯微鏡組織 約 $\times 75$

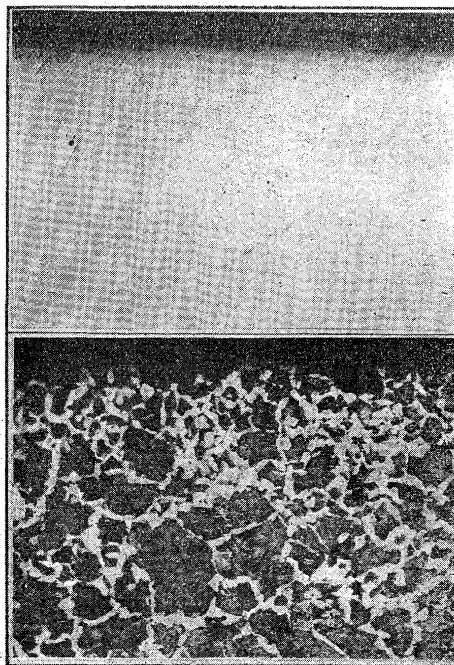
試験片符號 N W XI 試験片符號 N W XIV

($\sigma=42.45 \text{ kg/mm}^2$, $N=2,313,800$) ($\sigma=41.33 \text{ kg/mm}^2$, $N=6,506,000$)



第27圖 Ni-Cr 鋼ピストン棒材料の 30 時間窒化試料の注水疲勞試験後の縦断面状況 試験片符號 N W VII

($\sigma=43.83 \text{ kg/mm}^2$, $N=2,524,800$) 約 $\times 100$



來なかつた

30 時間窒化せる試料に注水腐蝕疲勞試験を行ったときの縦断面を見るに第27圖に示す如く其表面には何等龜裂がなく窒化により表面が硬化され水の腐蝕による切欠作用が防止される事を明示した

以上の各種の場合の實驗の主なる結果を摘録すると第

19 表の如くである

第 19 表 外國製 Ni-Cr 鋼ピストン棒の腐蝕疲労試験結果

| 試験状況 | 疲労限界 (kg/mm ²) | | | 比率 | |
|--------------------------|----------------------------|-----|-----------------------|--------|------|
| | 10 ⁷ | | 5.5 × 10 ⁷ | 腐蝕疲労限界 | |
| | 外周部 | 内周部 | | 外周部 | 内周部 |
| 空 氣 中 | 40 | 36 | | 1.00 | 1.00 |
| 注 水 | | 17 | | | 0.47 |
| | | | 13 | | 0.36 |
| 乳化油 (1%) を注ぐ | | 28 | | | 0.78 |
| 重クロム酸ソーダ溶液 (0.02%) を注ぐ | | 23 | | | 0.64 |
| クロム酸カリ溶液 (0.02%) を注ぐ | | 16 | | | 0.44 |
| クロム鍍金せる試料に注水 | | 22 | | | 0.61 |
| 窒化 (520°C 試料 20時間窒化) 空气中 | 48 | | | 1.20 | |
| 窒化 (520°C 試料 20時間窒化) に注水 | 40 | | | 1.00 | |
| 窒化 (520°C 試料 25時間窒化) に注水 | 41 | | | 1.03 | |
| 窒化 (520°C 試料 30時間窒化) に注水 | 43 | | | 1.08 | |

11 總括 本實驗結果を總括すると次の如くである

(1) 低 Ni-Cr 鋼ピストン棒の空气中疲労限界は棒の内周部に於て相當著しい差がある

(2) 注水により腐蝕作用を受ける場合の疲労強さは著しく弱まり繰返回数 10⁷ に於ける内周部のそれは空气中のもの、0.47 に低下し繰返回数 5.5 × 10⁷ に於ては其 36% となり尙且降下の傾向を示す

(3) クロム鍍金試料に注水するとき及重クロム酸ソーダ (0.02%) 溶液を注ぐときの腐蝕疲労限界は鍍金を施さざる材料の空气中疲労限界に比し著しく低きも注水の場合のものよりは高く注水による腐蝕作用を或る程度まで保護する

(4) クロム酸カリ溶液 (0.02%) を注ぐときの疲労強さは注水の場合よりも低下し保護作用は全くない

(5) 乳化油 (1%) を注ぎしときの腐蝕疲労限界は空气中の場合より低きも注水の場合に比すると著しき上昇を示し乳化油は水に依る腐蝕作用を最も効果よく防止する

(6) 窒化試料に注水するときの腐蝕疲労限界は窒化せざる試料の空气中疲労限以上を保持し窒化に依り腐蝕疲労は完全に防止される

(7) 以上の事實よりピストン棒材料の低合金 Ni-Cr 鋼に對し水による腐蝕疲労の破壊を防止するには窒化を施すことが實施上困難なるを思へば乳化油を冷媒として使用することが比較的效果ある方法と信ぜられる

IV. 當所製炭素鋼ピストン棒の 壓延材及鍛鍊材の腐蝕疲労試験

12 實驗項目 前述の I の 3 に記載せる方針に従て次の場合につき疲労試験を行た

(1) 壓延材の疲労試験

(a) 空气中 (b) 注水

(2) 鍛鍊材の疲労試験

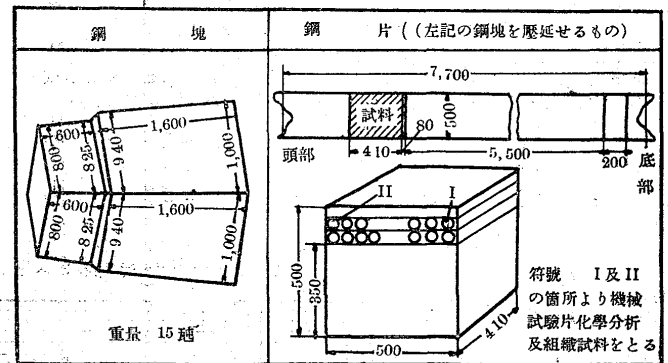
(a) 空气中 (b) 注水

第 1 回試験ではピストン棒の原鋼片である壓延したまゝの材料から採取した試験片につき疲労限界を見出し第 2 回試験では其の壓延材を 33% 鍛鍊せる儘の材料から採た試料につき疲労限を見出し鍛鍊度が疲労強さに及ぼす影響を研究する事とした

13 實驗材料

(a) 試験片の採取位置 第 1 回試験に於ける炭素鋼試料は當所鑄造工場酸性平爐にて抗張力 60 kg/mm² を目標に製作されたピストン棒の壓延材からとつた 即ち第 28 圖に示す如く 15 匁鋼塊が分塊工場にて壓延され長さ 7,700 mm の 500 mm 角鋼片に製作された 其の中央部分の長さ 5,500 mm の部分は其後鍛鍊され焼鈍されてピストン棒に製作された 而して残れる 500 mm 角鋼片壓延材の

第 28 圖 當所製炭素鋼ピストン棒壓延材の試料採取方法



第 20 表 靜的試驗成績

| 試験片符號 | 抗張力 (kg/mm ²) | 降伏點 (kg/mm ²) | 延伸率 (G.L.=50mm) (%) | 斷面收縮率 (%) | 彈性係數 (kg/mm ²) |
|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------|-----------|----------------------------|
| 1 | 64.2 | 44.5 | 22.0 | 31.6 | 21,150 |
| 2 | 61.7 | 42.3 | 24.0 | 37.7 | 22,150 |
| 平均 | 63.0 | 43.4 | 23.0 | 34.7 | 21,650 |

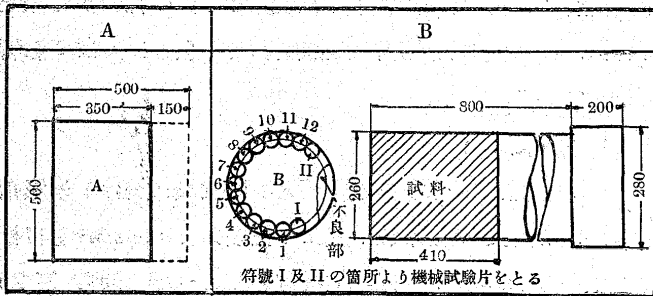
第 21 表 化學成分 (%)

| 試料符號 | C | Si | Mn | P | S | Cu |
|------|------|-------|------|-------|-------|------|
| 1 | 0.46 | 0.172 | 0.64 | 0.021 | 0.013 | 0.20 |
| 2 | 0.49 | 0.176 | 0.69 | 0.021 | 0.012 | 0.19 |
| 平均 | 0.48 | 0.174 | 0.67 | 0.021 | 0.012 | 0.20 |

鋼塊の頭部にあたる部分から圖示せる如く鋼片の長さに沿ひ 試験片が採取された

第2回試験の炭素鋼試料の採取方法は第29圖に示す如く 第1回試験の試験片が採取された500mm角壓延鋼片から第1回試験試料をとり去た残りの500×350mm角鋼片を鍛冶工場にて鍛錬度33%にて直徑260mmの丸形材料を鍛造しそれから試験片を採取した 此際鋼塊の頭部に相當する部分は材質不均一の恐れあるを以て不良部分と認められる處は切り捨て良質と思はるゝ部分の外周部より試料をとつた

第29圖 當所製炭素鋼ピストン棒鍛錬材試料の採取方法

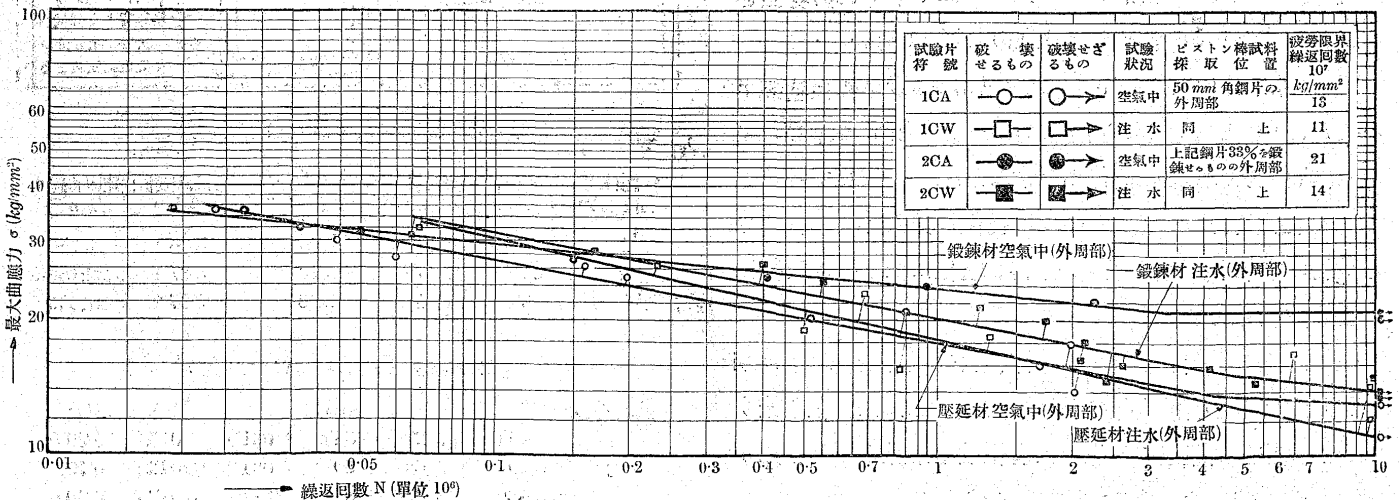


| 鍛 錬 度 | | | | |
|-------|----------|------------------------|-----------|---------------------------|
| 材 料 | 寸 法 (mm) | 面 積 (mm ²) | 斷面減少率 (%) | 備 考 |
| A | 350×500 | 17,500 | 100 | AをBの寸法に鍛錬し試料を採取す(不良部分除去す) |
| B | 徑 260 | 53,036 | 33 | |

第22表 靜 的 試 験 成 績

| 試験片符 號 | 抗張力 (kg/mm ²) | 降伏點 (kg/mm ²) | 延 伸 率 (G.L.=50mm) (%) | 斷面收縮率 (%) | 彈性係數 (kg/mm ²) |
|--------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------|----------------------------|
| I | 60.0 | 40.8 | 22.0 | 36.4 | 21,590 |
| II | 58.9 | 40.2 | 26.0 | 38.0 | 21,830 |
| 平 均 | 59.4 | 40.5 | 24.0 | 37.2 | 21,685 |

第31圖 當所製炭素鋼ピストン棒の壓延材及鍛錬材のσ-N線圖



(b) 試験片の機械的性質 化學成分及組織, 第1回試験の壓延材よりとれる試験片の機械的性質及化學成分は第

第23表 化 學 成 分 (%)

| 試料符號 | C | Si | Mn | P | S | Cu |
|------|------|-------|------|-------|-------|------|
| I | 0.47 | 0.169 | 0.63 | 0.022 | 0.012 | 0.20 |
| II | 0.46 | 0.175 | 0.69 | 0.012 | 0.012 | 0.19 |
| 平 均 | 0.47 | 0.172 | 0.66 | 0.012 | 0.012 | 0.20 |

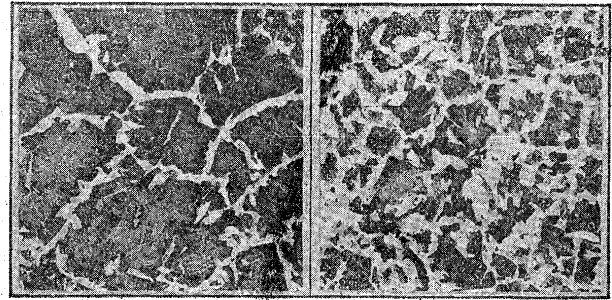
20表及第21表に示され其の組織は第30圖に示す如くで鋼塊の組織に近く粒子大であつた

第2回試験の鍛錬材から採た試料の機械的性質及化學成分は第22表及第23表に示され 其組織は第30圖に示す如くで鍛錬されたために細かくなつてゐた

第 30 圖 (約×36)

當所製炭素鋼ピストン棒壓延材及鍛錬材の顯微鏡組織

壓延材 試料符號 2 鍛錬材 試料符號 II



14 實驗結果 當所製炭素鋼ピストン棒 (抗張力 60 kg/mm² 程度) の壓延材及鍛錬材の試料に對する空氣中及注水に於ける疲労試験結果は第24表より第27表までに示す如くであつて其σ-N線の關係は第31圖に示されるそれによると各種の場合の結果は次の如くである

(1) 炭素鋼壓延材の疲労試験結果

(a) 空氣中の試験結果 疲労限界 外周部 13 kg/mm²

其 $\sigma-N$ 線の進行は絶えず降下した

(b) 注水に於ける試験結果 疲労限界 外周部 11 kg/mm^2
 其 $\sigma-N$ 線の進行は常に降下し 繰返回数 10^7 に於ても尙傾斜する 其腐蝕疲労限界は空気中のものより 2 kg/mm^2 低く注水による腐蝕疲労限の低下率は比較的僅かであった

(2) 炭素鋼の鍛錬材の試験結果

(a) 空気中の試験結果 疲労限界 外周部 21 kg/mm^2
 其 $\sigma-N$ 線によると材料が鍛錬された爲に圧延材試料に比し耐久力を増し疲労限界に於て 8 kg/mm^2 の増加を示した

(b) 注水による試験結果 疲労限界 外周部 14 kg/mm^2
 其 $\sigma-N$ 線の進行過程は空気中のものより著しく降下し 疲労限界に於て 7 kg/mm^2 の減少を示した 之を前試験試料の腐蝕疲労限界の 11 kg/mm^2 に比すれば 3 kg/mm^2 の増加であつて之が

第 32 圖 炭素鋼ピストン棒鍛錬材の注水による腐蝕疲労試験後の試験片の縦断面状況
 試験符號 2CW V 約 150×35
 $(\sigma = 21.56 \text{ kg/mm}^2 \quad N = 1,248,700)$
 (A) (B)



試験片が注水により腐蝕疲労を受けるときの状態は第 32 圖に示す如く水の腐蝕作用によつて試験中材料の表面に龜裂を起し其尖端が細長くなつて遂に破壊を起す事が明かである 而して其龜裂は(B)圖に示す

破壊を起す事が明かである 而して其龜裂は(B)圖に示す

第 28 表 當所製炭素鋼ピストン棒の壓延材及鍛錬材の腐蝕疲労試験結果

| 試料 | 試験状況 | 疲労限界 (kg/mm^2) | | 比率 腐蝕疲労限界 空気中疲労限界 |
|-----|------|---------------------------|-----|-------------------------|
| | | 繰返回数 10^7 | 外周部 | |
| 壓延材 | 空 氣 | 13 | — | 0.85 |
| | 中 水 | 11 | — | |
| 鍛錬材 | 空 氣 | 21 | — | 0.67 |
| | 中 水 | 14 | — | |

白色部であるフェーライトを横断してゐた

以上の各種の實驗の主なる結果を明かにするため彎曲疲労強さを摘録すると 第 28 表に示す如くである

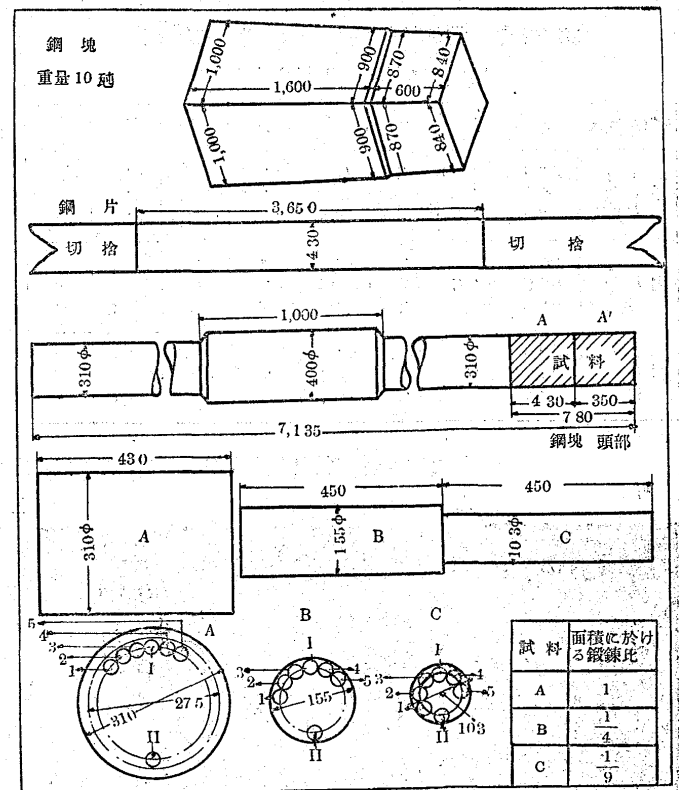
15 總括 本實驗結果を總括すると次の如くである

- (1) 炭素鋼ピストン棒の壓延のままの試料では注水の際の疲労限界は空気中のものより僅かに 15% の減少を示した
- (2) 此壓延鋼片を 33% 鍛錬したものでは壓延材のそれに比し空気中の疲労限界は 62% の増加を示し注水に於ける腐蝕疲労限界は 27% の増加を示した 即ち鍛錬によつて疲労の強さは増加し且腐蝕疲労が防止される

IV. 當所製炭素鋼ピストン棒の鍛錬度を異にせる材料の疲労試験

16 實驗項目 本試験に使用した當所製炭素鋼ピストン棒材料は當所發電所 3,000 馬力瓦斯機關用の新製品材料であるが送風機瓦斯機關用のものと同じ状態で使用されるので此材料につき實驗することにした 而して前述の I の 3 に記載せる方針に従て次の場合につき空気中疲労試験を行った

第 33 圖 當所製炭素鋼ピストン棒の鍛錬度を異にせる材料の試料採取方法



| 試料位置 | A | B | C | 備 考 |
|-----------|--------|--------|--------|-------------|
| 採取試料 | | | | |
| 疲労試験片 | 1~5 | 1~5 | 1~5 | 試料は A, B, C |
| 機械試験片 | I, II, | I, II, | I, II, | 材料の外周部より採取す |
| 分析及組織寫眞試料 | I, II, | I, II, | I, II, | |

第 30 表 當所製炭素鋼ピストン棒の鍛鍊度を異にせる材料の靜的試験成績

| 試料位置 | 抗張力 (kg/mm ²) | 降伏點 (kg/mm ²) | | 破斷界 (kg/mm ²) | 延伸率 G.L=50 mm(%) | 斷面收縮 (%) | 彈性係數 (kg/mm ²) |
|----------------------|------------------------------|------------------------------|------|------------------------------|------------------------|-------------|-------------------------------|
| | | 上 | 下 | | | | |
| A { I II 平均 | 63.0 | 33.8 | 30.5 | 96.8 | 31.0 | 44.3 | 20,600 |
| | 63.1 | 34.9 | 31.0 | 97.2 | 27.5 | 44.3 | 20,800 |
| | 63.1 | 34.4 | 30.8 | 97.0 | 29.3 | 44.3 | 20,700 |
| B { I II 平均 | 64.7 | 36.6 | 32.7 | 101.8 | 30.0 | 46.3 | 20,650 |
| | 63.5 | 35.1 | 32.0 | 99.6 | 29.0 | 45.8 | 20,800 |
| | 64.1 | 35.9 | 32.4 | 100.7 | 29.5 | 46.1 | 20,705 |
| C { I II 平均 | 64.2 | 33.8 | 31.8 | 103.4 | 28.5 | 46.9 | 20,600 |
| | 64.3 | 34.1 | 32.6 | 102.0 | 28.0 | 45.8 | 20,600 |
| | 64.3 | 34.0 | 32.2 | 102.7 | 28.3 | 46.4 | 20,600 |

- (1) 面積に於ける鍛鍊比 1 の場合
- (2) 面積に於ける鍛鍊比 1/4 の場合
- (3) 面積に於ける鍛鍊比 1/9 の場合

即ち鍛鍊比が異なるときの疲勞限界の變化状態を見出さんとした

17 實驗材料

(a) 試験片の採取位置 第 33 圖に示す如く當所鑄造工場製 10 砲鋼塊を壓延して鋼片を作り 之を鍛鍊して圖示の如き直徑 310mm の材料を製作した 此材料より使用さるべきピストン棒材料の所要寸法を取り去り残れる部分の鋼塊の頭部に相當する部分から A 及 A' なる 2 個の材料を切り取た A 材料は其儘とし A' 材料は更に A 材の面積の 1/4 及 1/9 に鍛鍊して B 及 C 材料を製作した 之等の材料を何れも 820~840°C に焼鈍し 其斷面寸法により 2~6 時間に於て夫々適當に保定した後其外周部から圖示せる如く試験片を採取した

(b) 試験片の機械的性質 化學成分及組織 之等の試料

第 29 表 當所製炭素鋼ピストン棒の鍛鍊度を異にせる材料の化學成分(%)

| 試料位置 | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| A { I II 平均 | 0.57 | 0.17 | 0.76 | 0.04 | 0.02 | 0.14 | 0.13 | 痕跡 |
| | 0.58 | 0.16 | 0.75 | 0.03 | 0.02 | 0.13 | 0.13 | 〃 |
| | 0.58 | 0.17 | 0.76 | 0.04 | 0.02 | 0.14 | 0.13 | 〃 |
| B { I II 平均 | 0.58 | 0.17 | 0.76 | 0.03 | 0.02 | 0.14 | 0.13 | 〃 |
| | 0.58 | 0.16 | 0.74 | 0.03 | 0.02 | 0.14 | 0.12 | 〃 |
| | 0.58 | 0.17 | 0.75 | 0.03 | 0.02 | 0.14 | 0.13 | 〃 |
| C { I II 平均 | 0.59 | 0.17 | 0.75 | 0.03 | 0.02 | 0.14 | 0.14 | 〃 |
| | 0.57 | 0.16 | 0.76 | 0.03 | 0.02 | 0.15 | 0.13 | 〃 |
| | 0.58 | 0.17 | 0.76 | 0.03 | 0.02 | 0.15 | 0.14 | 〃 |

より採取した試験片の化學成分及機械的性質は第 29 表及第 30 表に示す如くであつて化學成分に於ては A B C 材料の間には大差なく抗張力に於ては A 材料は 63.1 kg/mm² であつて B 及 C の材料は之より僅に 1 kg/mm² の増加を示した 又其組織は第 34 圖に示す如くで此等材料の間には粒子に於て大なる差異がなかつた

18 實驗結果 當所製炭素鋼ピストン棒の鍛鍊度を異にせる試料の空氣中疲勞試験結果は第 31 表より第 33 表までに示す如くであつて其 $\sigma-N$ の關係は第 35 圖に示される それによると各種の場合の結果は次の如くである

(1) 鍛鍊比が面積に於て 1 なるときの材料の疲勞試験結果

疲勞限界 23 kg/mm²

其 $\sigma-N$ 線の進行は繰返數 350 萬邊より水平になつた

(2) 鍛鍊比が面積に於て 1/4 なるときの材料の疲勞試験結果

疲勞限界 26 kg/mm²

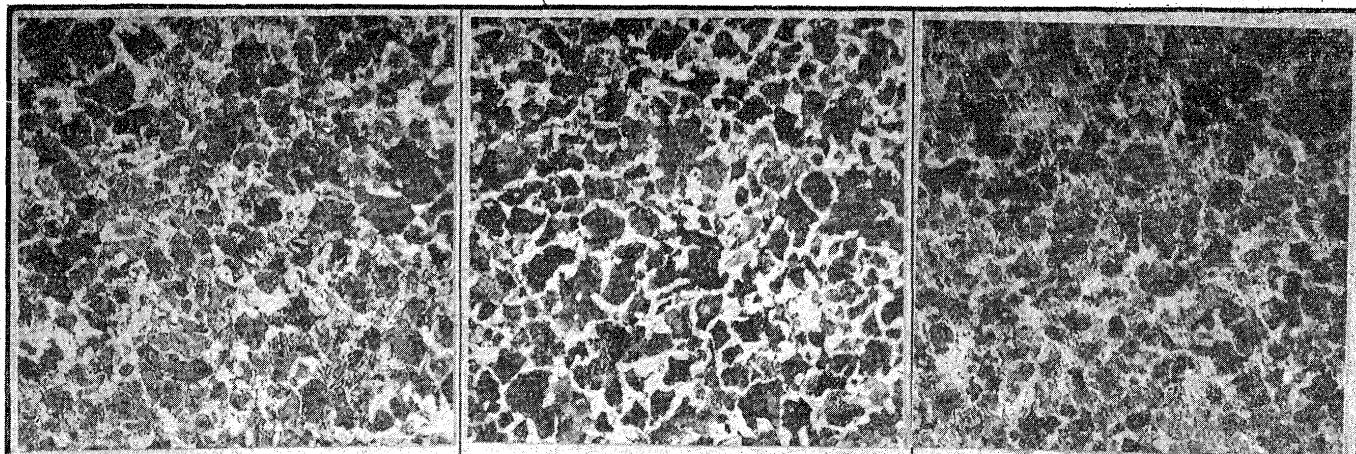
即ち鍛鍊比 1 の場合に比し耐久限の上昇は 3 kg/mm² で

第 34 圖 當所製炭素鋼ピストン棒の鍛鍊度を異にせる材料の顯微鏡組織 (×150を縮寫)

A I

B I

C I

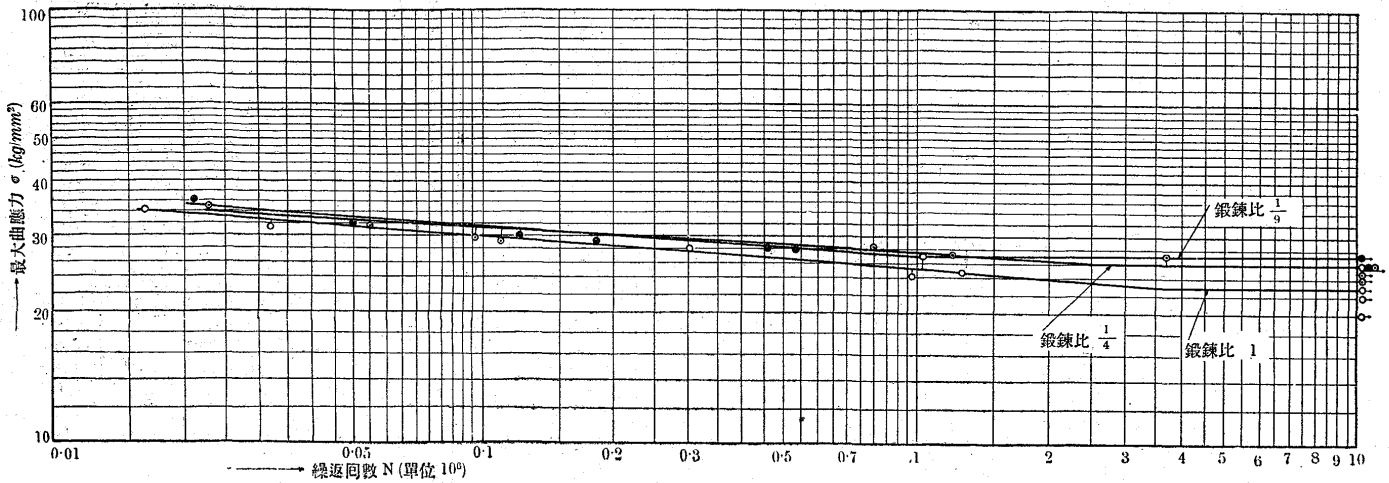


徑 310mm に鍛鍊. 徑 275mm に仕上せるもの外周部

徑 310mm を面積に於て 1/4 に鍛鍊せる材料の外周部

徑 310mm を面積に於て 1/9 に鍛鍊せる材料の外周部

第 35 圖 當所製炭素鋼ピストン棒の鍛鍊度を異にせる材料の σ -N 線圖



| 試験片 符 號 | 破 壊 せるもの | 破 壊 せざるもの | 試 験 状 況 | ピストン 棒試料採 取位置 | 面積に於 ける鍛鍊 比 | 疲労限界 繰返回数 10^6 kg/mm ² |
|------------|-------------|--------------|------------|---------------------|-------------------|---|
| A | | | 空气中 | 外周部 | 1 | 23 |
| B | | | 空气中 | 同 | 1/4 | 26 |
| C | | | 空气中 | 同 | 1/9 | 27 |

13%の増加である 其 σ -N 線の進行は繰返數 250 萬遍より水平となった

(3) 鍛鍊比が面積に於て 1/9 なるときの材料の疲労試験結果

疲労限界 27 kg/mm²

此耐久限は鍛鍊比 1 の材料のそれに比すると 4 kg/mm² の上昇で 17.4% の増加を示した 其 σ -N 線の進行に於ては繰返數 100 萬遍より水平となり 鍛鍊の増すにつれて σ -N 線の直線部分の接點は左に移動する事を示した

19 總 括

本実験結果を總括すると次の如くなる

(1) 鍛鍊比を異にせる各試料の化学成分及其抗張力には大した變化がない

(2) 然るに鍛鍊比を増すにつれて試料の疲労限界は著しく高まる

V 當所製炭素鋼ピストン棒の腐蝕疲労試験

20 実験項目 前述の I の 3 に記載せる一般方針に従

て 次の場合に就き疲労試験を行った

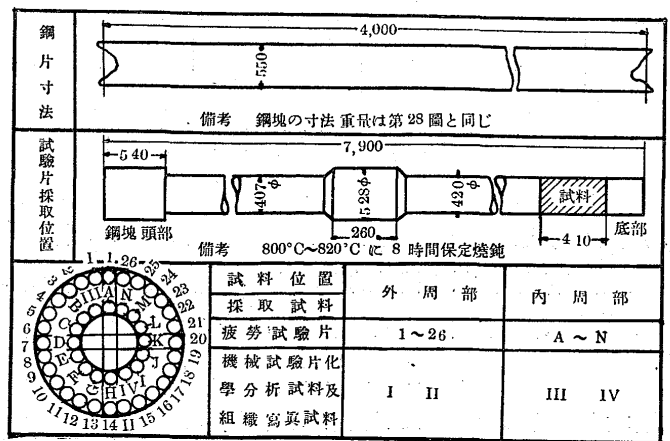
- (1) 空气中
- (2) 注 水
- (3) 乳化油 (1%) を注ぐ
- (4) 重クロム酸ソーダ溶液 (0.02%) を注ぐ
- (5) クロム酸カリ溶液 (0.02%) を注ぐ

以上の場合に於けるピストン棒の内外周部試料につき疲労強さを見出さんとした

21 実験材料

(a) 試験片の採取位置 當所鑄造工場製 15 匁鋼塊 (第 28 圖) を 550mm 角×4,000mm 長さの鋼片に壓延し外輪工場ハンマーにて第 36 圖に示す如き寸法形状にまで鍛鍊し 800~820°C にて 8 時間保定焼鈍した後 規定寸法のピストン棒を製作しその鋼塊の底部に相當する部分の端に近き位置より試験片を採取した 而して横断面に圖示せる如くピストン棒の内外周部より疲労試験片 機械試験片及化学成分並に組織寫眞試料を採た

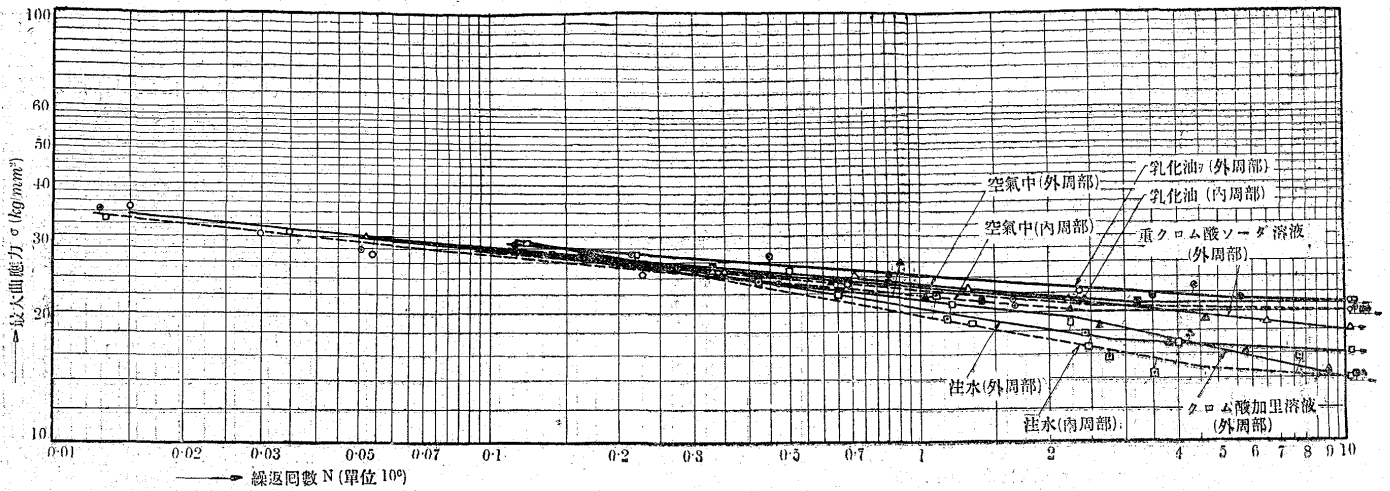
第 36 圖 當所製炭素鋼ピストン棒試料採取方法



第 34 表 静的試験成績

| 試料位置 | 抗張力 (kg/mm ²) | 降伏點 (kg/mm ²) | 延伸率 GL=50mm (%) | 断面收縮率 (%) | 弾性係數 (k/mm ²) |
|------|---------------------------|---------------------------|-----------------|-----------|---------------------------|
| 外周部 | I | 54.6 | 16.1 | 32.8 | 53.9 |
| | II | 54.6 | 26.4 | 32.0 | 21,50 |
| | 平均 | 54.6 | 16.3 | 32.4 | 20,738 |
| 内周部 | III | 52.6 | 38.7 | 13.3 | 51.7 |
| | IV | 54.6 | 34.5 | 31.0 | 20,850 |
| | 平均 | 53.6 | 36.6 | 32.1 | 51.1 |

第 38 圖 當所製炭素鋼ピストン棒材料の σ -N 線圖



| 試験片 符 號 | 破 せる もの | 破 壊 せ ざ る もの | 試 験 状 況 | ピストン 棒試料採 取位置 | 疲勞限界 |
|---------------------|---------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|
| | | | | | 線回数 10^7 (kg/mm^2) |
| 3CA | ○ | ○ | 空 氣 中 | 外周部 | 21 |
| 3CA | ⊙ | ⊙ | 空 氣 中 | 内周部 | 20 |
| 3CW | □ | □ | 注 水 | 外周部 | 16 |
| 3CW | ⊠ | ⊠ | 注 水 | 内周部 | 14 |
| 3CE | ● | ● | 乳化油(1%)を 注ぐ | 外周部 | 21 |
| 3CE | ⊠ | ⊠ | 乳化油(1%)を 注ぐ | 内周部 | 20 |
| 3C $Na_2Cr_2O_7$ | △ | △ | 重クロム酸ソーダ 1.0% 溶液を注ぐ | 外周部 | 18 |
| 3C K_2CrO_4 | ▲ | ▲ | クロム酸加里 1.0% 溶液を注ぐ | 外周部 | 19 |

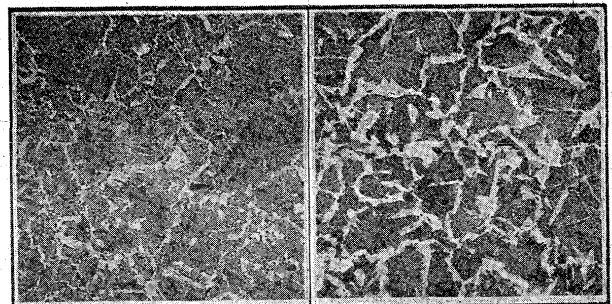
第 35 表 化 学 成 分 (%)

| 試料位置 | | C | Si | Mn | P | S | Cu |
|------|-----|------|-------|------|-------|-------|------|
| 外周部 | I | 0.52 | 0.159 | 0.63 | 0.032 | 0.017 | 0.16 |
| | II | 0.50 | 0.156 | 0.67 | 0.031 | 0.022 | 0.16 |
| | 平均 | 0.51 | 0.158 | 0.65 | 0.033 | 0.020 | 0.16 |
| 内周部 | III | 0.46 | 0.160 | 0.66 | 0.033 | 0.019 | 0.15 |
| | IV | 0.47 | 0.167 | 0.66 | 0.04 | 0.016 | 0.16 |
| | 平均 | 0.47 | 0.164 | 0.66 | 0.027 | 0.018 | 0.16 |

(b) 機械的性質・化学成分及組織 炭素鋼ピストン棒から取った内外周部試料の機械的性質及化学成分は第 34 表及第 35 表に示され其の組織は第 37 圖に示す如くである。それによるとピストン棒は抗張力 $60 kg/mm^2$ を目標として製作されたものであったが実際には稍低い抗張力を示した。又分析成分によるとピストン棒の外周部は内周部よりも炭素含有量稍大であつて、組織寫真によると外周部は内周部よりも粒子小さくパーライトを多く含んでゐた。

22 實驗結果 當所製炭素鋼ピストン棒の内外周部試料の空气中及び腐蝕疲勞試驗結果は第 36 表より第 43 表までに示され其 σ -N 線圖は第 38 圖に示される。而して各種の場合の試驗結果は次の如くである。

第 37 圖 炭素鋼ピストン棒の内外周部試料の顯微鏡組織
外周部 I ($\times 50 \times$) 内周部 II



(1) 空气中に於ける試驗結果

疲勞限界 外周部 $21 kg/mm^2$ 内周部 $20 kg/mm^2$

外周部と内周部とに於けるその差は $1 kg/mm^2$ であつた。

(2) 注水せるときの試驗結果

疲勞限界 外周部 $16 kg/mm^2$ 内周部 $14 kg/mm^2$

その數値の内周部による差は $2 kg/mm^2$ であつた。内外試料共その σ -N 線の進行は空气中のものに比し著しく降下し、腐蝕疲勞限は空气中のものに比し 5 及 $6 kg/mm^2$ の降下を示した。腐蝕疲勞試驗後の試料を見るに表面は著しく赤錆を呈しその縦断面には切欠作用による腐蝕龜裂を生じて居りその龜裂は粒子を横斷してゐた(第 39 圖)。

(3) 乳化油(1%)注液による試驗結果

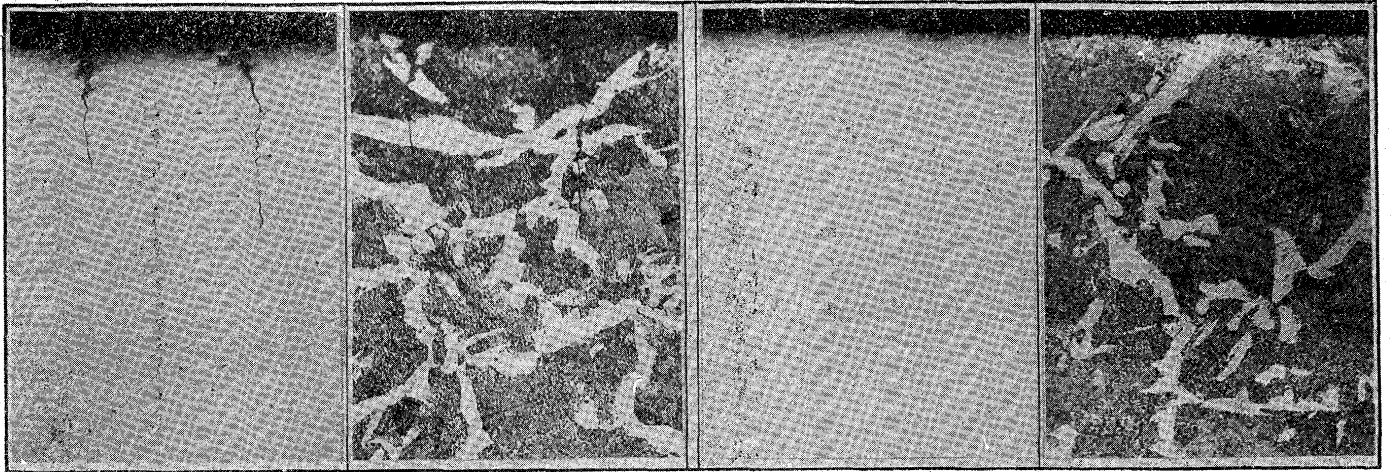
疲勞限界 外周部 $21 kg/mm^2$ 内周部 $20 kg/mm^2$

その内、外周部に依る限界値の差は $1 kg/mm^2$ であつた。内外周部試料ともその σ -N 線の進行は空气中のそれに對し常に上位を保ち線回数 10^7 に於て初めて一致した。即ち乳化油により線回数 10^7 以内では腐蝕疲勞は完全に防止される事を示した。而してその σ -N 線の傾斜の水平に近き事は乳化油により腐蝕疲勞限の高さが長く支持される事を示す。此等の場合に於ける試験片は常に輝いた表面

炭素鋼ピストン棒試料の腐蝕疲労試験後の縦断面状態

第 39 圖 注水せるとき試験片 3CWX
($\sigma=18.40 \text{ kg/mm}^2$ N=2,232,500)

第 40 圖 乳化油(1%)を注ぎしとき試験片 3CEVI
($\sigma=21.71 \text{ kg/mm}^2$ N=3,503,400)



炭素鋼ピストン棒試料の腐蝕疲労試験後の縦断面状態

第 41 表 重クロム酸ソーダ溶液(0.02%)を注ぎしとき
試験片 3C $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
($\sigma=21.12 \text{ kg/mm}^2$ N=2,216,600)

第 42 圖 クロム酸カリ(0.02%)溶液を注ぎしとき
試験片 3C K_2CrO_4 II
($\sigma=19.94 \text{ kg/mm}^2$ N=2,224,200)



を呈してゐた。その試験後のものゝ縦断面を見るに全く亀裂がなかつた(第 40 圖)この保護効果は乳化油により表面に油膜が着き水の浸入を防ぐ爲であると思はれる
(4) 重クロム酸ソーダ溶液(0.02%)を注ぎしときの試験結果

疲労限界 外周部 18 kg/mm^2

その σ -N 線によると応力範囲が空気中疲労限以上にあるときはその耐久性は空気中試験に於けるものと殆ど一致するがそれが空気中疲労限以下になると耐久性が著しく減じ急激に降下した。而して腐蝕疲労強さは注水によるものより 2 kg/mm^2 の上昇を示した。この場合も試料表面は常に輝いてゐた。試験後の試料の縦断面状況は第 41 圖に示される

第 44 表 當所製炭素鋼ピストン棒の腐蝕疲労試験結果

| 試験状況 | 疲労限界 (kg/mm^2) 繰返回数 10^7 | | 比率 腐蝕疲労限界 空気中疲労限界 | |
|---------------------------|--|-----|-------------------------|------|
| | 外周部 | 内周部 | 外周部 | 内周部 |
| 空 氣 中 | 21 | 20 | | |
| 注 水 | 16 | 14 | 0.76 | 0.70 |
| 重クロム酸ソーダ溶液 (0.02%) を注ぐ | 18 | | 0.86 | |
| クロム酸カリ溶液(0.02%) を注ぐ | 14 | | 0.67 | |
| 乳化油(1%)を注ぐ | 21 | 20 | 1.00 | 1.00 |

(5) クロム酸カリ溶液(0.02%)を注ぎしときの試験結果

疲労限界 外周部 14 kg/mm^2

その σ -N 線によると繰返回数 225 萬遍より急に降下し遂に注水の場合より 2 kg/mm^2 低い疲労限界に到達した

從てこの溶液使用は何等の保護作用なきことを示した 試験後の試料を見るにその縦断面には著しき龜裂を生じてゐた(第42圖)以上の主なる實驗結果を明らかにするため疲勞限界を摘録すると次の第44表の如くなる

23 總括 本實驗結果を總括すると次の如くである

- (1) 炭素鋼ピストン棒の空氣中疲勞限界は外周部では内周部より大であるがその差は 1 kg/mm^2 であつた
- (2) 注水による腐蝕疲勞限界は空氣中に於けるものより外周部で 24% の低下を内周部で 30% の低下を示す
- (3) 乳化油(1%)注液のときは内外周部試料共空氣中に於けるもの以上に耐久性を保持し繰返回数 10^7 の實驗範圍内に於ては腐蝕疲勞は完全に防止された
- (4) 重クロム酸ソーダ溶液(0.02%)を注ぐときは注水による腐蝕作用を或程度迄保護する
- (5) クロム酸カリ溶液(0.02%)を注ぐときは注水の場合よりもその耐久性は降下し全く保護効果はない

VI 結 論

以上の各種鋼のピストン棒の試験結果を綜合すると次の如くである

1. Ni-Cr 鋼及抗張力 60 kg/mm^2 の炭素鋼ピストン棒材料が水により腐蝕作用を受けると其疲勞強さは兩者共著

しく低下するが炭素鋼に於ける降下率は合金鋼に於けるものよりも著しく小である

2. その σ -N 曲線の傾斜によると繰返回数を更に著しく大にするとこの2種の鋼の注水による腐蝕疲勞強さは大差なくなるものと見られ從てかかる場合高價なる Ni-Cr 鋼を使用することは炭素鋼に比して何等利益がない

3. 窒化鋼は實際使用困難であるが腐蝕疲勞を完全に防止する

4. 乳化油の使用は各種防蝕法中で最も効果を示し殊に炭素鋼の實驗範圍内では腐蝕疲勞は完全に防止された

5. ピストン棒をよく鍛鍊する事は空氣中の疲勞限を高むるのみならず腐蝕疲勞の防止に効果がある

6. 以上の事實よりピストン棒材料の鋼の水による腐蝕疲勞を防止するには炭素鋼の鍛鍊度高き材料を用ひ冷媒として乳化油を使用する事が最も効果ある對策である

終りに臨み御高庇を辱ふしたる景山常務取締役 鶴瀨技師長並に金子恭輔博士 多くの試験片の製作等につき甚大なる御援助を賜はりたる第一工作課長松原正良技師に深甚なる感謝の意を表し 尙ほ研究に多大なる御援助を與へられたる吉田清三郎氏 末藤作次氏 奥隆富氏 森寺技師並に窒化試料を供せられたる田澤技師に厚く感謝の意を表するものである

第7表~第13表 外國製 Ni-Cr 鋼ピストン棒材料の疲勞試験成績

第7表 空氣中試験 外周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg. | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重點と 破 壊 面 との 距離 l(mm) | 最大 曲應力 $\sigma(\text{kg/mm}^2)$ | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 室温 °C | 備考 |
|------------|-----------|-------------------------|--|---------------------------------------|------------|-----------------------|----------|--------------|
| A I | 70.88 | 7.40 | 32.00 | 57.56 | 50,600 | -28 21 | 21.5 | 室温は破壊時の温度を示す |
| A II | 67.47 | 6.45 | 21.52 | 53.38 | 59,400 | -58 21 | 21.5 | |
| A III | 64.43 | 10.44 | 76.04 | 43.86 | 429,200 | 3-42 | 24 | |
| A XXIII | 65.87 | 10.34 | 69.20 | 42.00 | 10,125,000 | 90-40 | 25 | 破壊せず |
| A XXIV | 64.26 | 10.37 | 69.91 | 41.00 | 10,125,000 | 90-40 | 25 | " |
| A XXIII | 62.89 | 9.37 | 52.26 | 40.73 | 5,469,400 | 49-49 | 27 | |
| A XVII | 61.36 | 11.32 | 93.57 | 40.32 | 1,082,000 | 9-36 | 27 | |
| A XX I | 62.70 | 10.32 | 68.84 | 40.00 | 10,175,500 | 91-5 | 27 | 破壊せず |
| A XX II | 60.64 | 10.26 | 68.20 | 39.00 | 10,175,500 | 91-5 | 27 | " |
| A IV | 61.36 | 10.86 | 79.04 | 38.57 | 10,442,100 | 88-46 | 26 | " |

第8表 空氣中試験 内周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重點と 破 壊 面 との 距離 l(mm) | 最大 曲應力 $\sigma(\text{kg/mm}^2)$ | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 室温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|--|---------------------------------------|------------|-----------------------|----------|------|
| A XI | 70.56 | 9.94 | 63.53 | 46.49 | 170,700 | 1-28 | 24.5 | |
| A XII | 64.49 | 9.87 | 60.56 | 43.30 | 360,700 | 3-0 | 24.5 | |
| A XV | 64.43 | 10.16 | 67.49 | 42.23 | 196,700 | 1-39 | 24.5 | |
| A VI | 63.89 | 10.09 | 65.33 | 41.70 | 320,500 | 2-46 | 19 | |
| A V | 63.89 | 10.14 | 66.59 | 41.56 | 270,100 | 2-20 | 19 | |
| A XIV | 58.29 | 10.42 | 74.65 | 39.18 | 1,387,300 | 11-46 | 20.5 | |
| A XIII | 59.83 | 11.18 | 89.19 | 38.90 | 2,051,200 | 18-36 | 20.5 | |
| A XVI | 56.76 | 10.71 | 81.86 | 38.52 | 1,488,300 | 11-43 | 24.5 | |
| A VII | 61.36 | 11.82 | 101.03 | 38.24 | 850,100 | 7-11 | 25.5 | |
| A XX | 56.76 | 10.0 | 64.97 | 37.34 | 877,200 | 7-47 | 27 | |
| A XXVII | 57.15 | 10.45 | 72.53 | 37.00 | 10,163,900 | 90-50 | 27 | 破壊せず |
| A IX | 55.22 | 10.42 | 74.24 | 36.91 | 10,114,100 | 86-7 | 27 | " |
| A XX V | 57.82 | 11.15 | 86.66 | 36.81 | 1,601,900 | 14-20 | 23 | |
| A XXVI | 55.34 | 10.91 | 84.43 | 36.65 | 1,375,200 | 12-15 | 25 | |
| A XXVIII | 55.37 | 10.41 | 72.01 | 35.00 | 10,163,900 | 90-50 | 27 | 破壊せず |
| A X | 52.16 | 10.29 | 72.04 | 35.13 | 10,114,100 | 86-7 | 27 | " |
| A VIII | 58.29 | 9.15 | 44.54 | 34.52 | 1,430,600 | 11-54 | 25 | |
| A XIX | 53.6 | 10.39 | 70.7 | 34.50 | 10,127,700 | 90-8 | 27 | 破壊せず |

第9表 注水試験 内周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直径 d(mm) | 荷重點より 破 壊 ま た い し の 距 離 l(mm) | 最 大 曲 應 力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 水温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|----------------------|
| W VII | 61.36 | 10.88 | 62.08 | 37.73 | 400,000 | 3-28 | 22 | 水温は破 壊時の温 度を示す |
| W VIII | 55.22 | 11.23 | 85.70 | 34.98 | 563,900 | 4-53 | 23 | |
| W II | 46.02 | 11.06 | 87.15 | 29.32 | 900,600 | 7-45 | 24 | |
| W I | 49.09 | 10.59 | 69.49 | 29.26 | 926,900 | 7-59 | 24 | |
| W III | 42.95 | 10.86 | 81.09 | 27.70 | 1,966,200 | 16-40 | 24.5 | |
| W IV | 39.88 | 11.34 | 88.87 | 24.76 | 4,041,300 | 34-13 | 22 | |
| W V | 36.82 | 10.62 | 75.84 | 23.75 | 10,100,400 | 84-55 | 19 | 破壊せず |
| W X | 35.28 | 10.20 | 65.49 | 22.18 | 2,924,100 | 26-07 | 29 | |
| W VI | 33.75 | 11.43 | 82.92 | 21.35 | 6,463,700 | 54-13 | 21 | |
| W IX | 32.21 | 9.59 | 69.61 | 20.66 | 3,202,000 | 29-0 | 29 | |
| W XII | 30.68 | 11.57 | 93.65 | 18.90 | 4,019,000 | 35-29 | 29 | |
| W XI | 29.15 | 9.98 | 60.53 | 18.07 | 6,015,400 | 53-30 | 31 | |
| W XIV | 26.08 | 10.55 | 75.27 | 17.02 | 10,206,400 | 90-15 | 30 | 破壊せず |
| W XIII | 24.54 | 11.55 | 95.30 | 15.47 | 8,055,500 | 71-35 | 30 | |
| W XVI | 23.01 | 10.46 | 73.24 | 15.00 | 10,155,100 | 90-0 | 34 | 破壊せず |
| W XVII | 23.01 | 9.50 | 53.56 | 14.64 | 17,473,500 | 163-52 | 35 | |
| W XV | 21.48 | 10.41 | 72.31 | 14.03 | 10,155,100 | 90-0 | 34 | 破壊せず |
| W XVIII | 21.48 | 11.2 | 87.85 | 13.43 | 21,399,300 | 198-58 | 33 | |
| W XIX | 19.94 | 10.23 | 69.28 | 13.00 | 55,005,100 | 477-05 | 30 | 破壊せず |
| W XX | 18.41 | 10.37 | 71.36 | 12.00 | 55,005,100 | 477-05 | 30 | 破壊せず |

第11表 クロム鍍金せる試料に注水せる試験 内周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直径 d(mm) | 荷重點より 破 壊 ま た い し の 距 離 l(mm) | 最 大 曲 應 力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 水温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| Cr I | 70.56 | 11.03 | 83.46 | 44.70 | 230,300 | 2-05 | 20 | |
| Cr II | 67.49 | 11.82 | 99.73 | 41.52 | 243,900 | 4-15 | 20 | |
| Cr III | 64.43 | 11.51 | 94.26 | 40.57 | 314,100 | 2-44 | 21 | |
| Cr IV | 61.36 | 11.43 | 95.71 | 40.06 | 480,900 | 4-09 | 21 | |
| Cr V | 58.29 | 11.88 | 104.79 | 37.11 | 390,600 | 4-37 | 21 | |
| Cr VI | 55.22 | 11.92 | 104.05 | 34.55 | 658,900 | 5-54 | 22 | |
| Cr VII | 52.16 | 11.79 | 100.62 | 32.62 | 1,021,200 | 8-59 | 22.5 | |
| Cr VIII | 49.09 | 11.55 | 95.03 | 30.84 | 930,500 | 8-37 | 22.5 | |
| Cr IX | 46.02 | 11.25 | 89.54 | 29.49 | 1,497,800 | 13-12 | 20 | |
| Cr X | 42.95 | 10.91 | 62.92 | 23.65 | 5,563,600 | 48-32 | 20 | |
| Cr XI | 41.42 | 11.32 | 90.41 | 26.30 | 3,336,000 | 28-45 | 26 | |
| Cr XIII | 39.88 | 11.41 | 93.00 | 25.43 | 7,640,300 | 65-56 | 17 | |
| Cr XII | 38.35 | 11.39 | 91.57 | 24.21 | 2,668,000 | 22-59 | 25.5 | |
| Cr XV | 36.82 | 11.43 | 94.89 | 23.83 | 6,535,000 | 60-14 | 17 | |
| Cr XIV | 36.82 | 11.31 | 89.95 | 23.32 | 8,549,800 | 74-04 | 17 | |
| Cr XVI | 33.75 | 10.18 | 70.73 | 23.05 | 10,233,500 | 92-24 | 12 | 破壊せず |
| Cr XIX | 34.14 | 9.79 | 60.52 | 22.42 | 1,874,900 | 16-29 | 25 | 振動あり |
| Cr XVIII | 35.28 | 8.96 | 43.00 | 21.45 | 2,672,800 | 24-22 | 26 | |
| Cr XX | 32.03 | 10.14 | 68.51 | 21.43 | 2,516,900 | 22-34 | 26 | 振動あり |
| Cr XVII | 32.21 | 9.56 | 51.62 | 19.40 | 7,132,500 | 64-05 | 34 | |

第10表 乳化油(1%)を注げる試験 内周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直径 d(mm) | 荷重點より 破 壊 ま た い し の 距 離 l(mm) | 最 大 曲 應 力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 液温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| E I | 70.56 | 11.59 | 100.96 | 46.61 | 328,700 | 2-51 | 25 | |
| E II | 67.49 | 11.90 | 109.42 | 44.64 | 338,400 | 2-56 | 25 | |
| E III | 64.43 | 11.34 | 85.08 | 41.89 | 1,228,800 | 10-12 | 26 | |
| E IV | 61.36 | 11.29 | 90.93 | 39.49 | 2,315,000 | 19-27 | 26 | |
| E VII | 55.22 | 11.82 | 105.75 | 38.02 | 1,033,000 | 9-14 | 23 | |
| E V | 58.29 | 11.51 | 96.06 | 37.40 | 995,400 | 8-46 | 26 | |
| E VIII | 55.22 | 11.60 | 93.06 | 35.34 | 1,686,600 | 14-55 | 24 | |
| E VI | 55.22 | 11.54 | 95.44 | 34.93 | 1,324,900 | 11-33 | 21 | |
| E IX | 52.16 | 11.55 | 95.95 | 33.09 | 2,153,700 | 23-34 | 25 | |
| E X | 49.01 | 11.78 | 101.71 | 31.11 | 3,297,200 | 27-43 | 24 | |
| E XXI | 48.39 | 10.00 | 60.55 | 29.85 | 3,600,400 | 32-6 | 30 | |
| E XX | 46.02 | 10.42 | 71.03 | 29.43 | 10,041,500 | 85-6 | 21 | 破壊せず |
| E XVI | 43.62 | 9.80 | 61.45 | 29.01 | 1,980,700 | 17-15 | 37.5 | 振動あり |
| E XIII | 42.95 | 9.60 | 56.75 | 28.06 | 9,985,000 | 88-21 | 36 | |
| E XIV | 44.49 | 9.11 | 46.24 | 27.72 | 8,437,200 | 74-39 | 37 | |
| E XV | 42.95 | 11.18 | 87.56 | 27.41 | 3,287,400 | 28-53 | 37.5 | |
| E XII | 42.95 | 11.61 | 97.80 | 27.34 | 4,529,400 | 38-0 | 31 | |
| E XXII | 43.99 | 11.42 | 93.08 | 27.29 | 2,202,300 | 19-21 | 31 | |
| E XIX | 41.42 | 9.31 | 49.25 | 26.66 | 9,306,700 | 82-25 | 33 | |
| E XX | 39.88 | 9.74 | 59.83 | 26.30 | 10,104,600 | 81-10 | 34 | 破壊せず |

第12表 重クロム酸ソーダ(0.02%)溶液を注げる試験 内周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直径 d(mm) | 荷重點より 破 壊 ま た い し の 距 離 l(mm) | 最 大 曲 應 力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 液温 °C | 備考 |
|--|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| Na ₂ Cr ₂ O ₇ | | | | | | | | |
| III | 70.56 | 11.07 | 85.82 | 45.12 | 159,000 | 1-31 | 21.5 | |
| I | 70.56 | 11.81 | 102.49 | 44.72 | 210,200 | 1-50 | 22 | |
| XIV | 67.49 | 11.19 | 88.6 | 43.50 | 324,700 | 3-4 | 21 | |
| II | 74.49 | 11.21 | 88.98 | 43.18 | 265,100 | 2-19 | 24 | |
| III | 61.36 | 11.04 | 86.05 | 39.97 | 336,300 | 2-59 | 24 | |
| IV | 55.22 | 11.03 | 86.61 | 36.30 | 1,256,500 | 11-9 | 27 | |
| V | 52.16 | 11.04 | 85.64 | 33.83 | 735,000 | 7-1 | 27.5 | |
| VI | 49.09 | 11.33 | 89.47 | 30.76 | 91,900 | 9-3 | 28 | |
| VIII | 42.95 | 11.08 | 85.63 | 27.35 | 2,011,200 | 18-5 | 25 | |
| XI | 39.88 | 11.75 | 57.80 | 25.11 | 8,577,800 | 74-26 | 8 | |
| VII | 46.02 | 8.16 | 28.67 | 24.73 | 2,909,000 | 26-43 | 26.5 | 破壊せず |
| XII | 36.82 | 10.68 | 79.97 | 24.62 | 10,149,000 | 87-34 | 25 | |
| X | 36.82 | 11.08 | 87.14 | 24.03 | 2,548,100 | 22-10 | 30 | |
| XVI | 35.28 | 11.28 | 93.78 | 23.44 | 2,346,100 | 25-7 | 31 | |
| XIII | 33.75 | 10.45 | 74.16 | 22.34 | 10,149,000 | 87-34 | 25 | |
| XV | 32.21 | 10.25 | 67.19 | 20.64 | 4,836,000 | 42-40 | 30 | |

第13表 クロム酸カリ溶液(0.02%)を注げる試験 内周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直径 d(mm) | 荷重點より 破 壊 ま た い し の 距 離 l(mm) | 最 大 曲 應 力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 室温 °C | 備考 |
|---|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| K ₂ Cr ₂ O ₇ | | | | | | | | |
| XIV | 62.71 | 11.25 | 90.21 | 40.47 | 287,700 | 2-47 | 27 | |
| XIII | 61.00 | 9.27 | 48.42 | 37.82 | 440,500 | 6-02 | 26 | |
| XV | 55.17 | 10.59 | 72.52 | 34.31 | 350,900 | 3-11 | 26 | 振動あり |
| XVI | 51.78 | 10.49 | 71.52 | 32.67 | 907,600 | 8-30 | 31 | |
| XI | 48.32 | 9.59 | 56.25 | 31.39 | 816,400 | 7-13 | 27 | |
| XII | 42.57 | 10.45 | 73.54 | 27.94 | 1,430,600 | 12-45 | 27 | |
| I | 40.31 | 10.48 | 72.52 | 25.87 | 2,254,900 | 19-49 | 33 | |
| II | 37.30 | 10.95 | 81.10 | 23.47 | 3,197,700 | 27-46 | 33 | |
| III | 33.29 | 10.39 | 72.73 | 21.99 | 3,171,000 | 27-55 | 30 | |
| V | 32.22 | 11.34 | 90.52 | 20.37 | 4,371,700 | 38-25 | 30 | |
| IV | 30.92 | 10.25 | 67.70 | 19.80 | 6,776,800 | 59-35 | 31 | |
| VI | 29.31 | 10.90 | 80.38 | 18.53 | 5,231,300 | 45-50 | 30 | |
| VII | 27.80 | 10.75 | 77.86 | 17.75 | 9,649,000 | 85-03 | 30 | |
| IX | 26.73 | 11.18 | 89.29 | 17.40 | 3,709,600 | 33-21 | 34 | 振動多し |
| VIII | 25.80 | 10.32 | 69.51 | 16.62 | 6,969,600 | 61-3 | 31 | |
| X | 24.22 | 10.41 | 73.16 | 16.00 | 10,152,900 | 89-20 | 34 | 破壊せず |

第14表~第18表 外國製 Ni-Cr ピストン棒の窒化試料の疲勞試験成績

第16表 52時間窒化せる試料の注水試験 外周部試料

Table with 9 columns: 試験片符號, 荷重 kg, 破壊面の直徑 d(mm), 荷重點より破壊面までの距離 l(mm), 最大曲應力 σ(kg/mm²), 繰返回数 N, 試験所要時間 h-m, 水温 °C, 備考. Rows include NW III, NW IV, NW VI, NW XV.

第14表 20時間窒化せる試料の空气中試験 外周部試料

Table with 9 columns: 試験片符號, 荷重 kg, 破壊面の直徑 d(mm), 荷重點より破壊面までの距離 l(mm), 最大曲應力 σ(kg/mm²), 繰返回数 N, 試験所要時間 h-m, 室温 °C, 備考. Rows include NA I, NA II, NA IV, NA III, NA V, NA VI.

第17表 30時間窒化せる試料の注水試験 外周部試料

Table with 9 columns: 試験片符號, 荷重 kg, 破壊面の直徑 d(mm), 荷重點より破壊面までの距離 l(mm), 最大曲應力 σ(kg/mm²), 繰返回数 N, 試験所要時間 h-m, 水温 °C, 備考. Rows include NW VII, NW XVIII, NW XVII, NW VIII.

第15表 20時間窒化せる試料の注水試験 外周部試料

Table with 9 columns: 試験片符號, 荷重 kg, 破壊面の直徑 d(mm), 荷重點より破壊面までの距離 l(mm), 最大曲應力 σ(kg/mm²), 繰返回数 N, 試験所要時間 h-m, 水温 °C, 備考. Rows include NW IX, NW Y, NW X, NW VI, NW XII, NW XI, NW I, NW XIV, NW XIII, NW II.

第18表 20時間窒化せる試料の注水試験 内周部試料

Table with 9 columns: 試験片符號, 荷重 kg, 破壊面の直徑 d(mm), 荷重點より破壊面までの距離 l(mm), 最大曲應力 σ(kg/mm²), 繰返回数 N, 試験所要時間 h-m, 水温 °C, 備考. Rows include NW I, NW II.

第24表~第25表 當所製炭素鋼ピストン棒の壓延材の疲勞試験成績

第24表 空气中試験

Table with 9 columns: 試験片符號, 荷重 kg, 破壊面の直徑 d(mm), 荷重點より破壊面までの距離 l(mm), 最大曲應力 σ(kg/mm²), 繰返回数 N, 試験所要時間 h-m, 室温 °C, 備考. Rows include ICA I, ICA II, ICA III, ICA IV, ICA V, ICA VI, ICA VII, ICA VIII, ICA IX, ICA X, ICA XI, ICA XII, ICA XIII, ICA XIV.

第25表 注水試験

Table with 9 columns: 試験片符號, 荷重 kg, 破壊面の直徑 d(mm), 荷重點より破壊面までの距離 l(mm), 最大曲應力 σ(kg/mm²), 繰返回数 N, 試験所要時間 h-m, 水温 °C, 備考. Rows include ICW V, ICW VI, ICW I, ICW VII, ICW II, ICW VIII, ICW III, ICW IV.

第26表~第27表 當所製炭素鋼ピストン棒の鍛鍊材の疲労試験成績

第26表 空氣中試験 外周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 點より 破 壊 ま での 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 室温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| 2CA I | 55.22 | 12.01 | 109.27 | 35.45 | 18,900 | -12 | 20 | |
| 2CA V | 49.09 | 11.77 | 102.51 | 31.43 | 49,800 | -28 | 23 | |
| 2CA VI | 42.95 | 10.61 | 75.55 | 27.29 | 148,400 | 1-21 | 25 | |
| 2CA II | 39.88 | 10.84 | 78.78 | 25.06 | 410,300 | 3-53 | 24 | |
| 2CA VII | 36.82 | 10.45 | 72.51 | 23.83 | 940,100 | 8-35 | 22 | |
| 2CA III | 33.75 | 11.62 | 100.97 | 22.12 | 2,252,000 | 19-58 | 24 | |
| 2CA VIII | 32.21 | 10.19 | 68.13 | 21.13 | 10,124,200 | 91-49 | 22 | 破棄せず |
| 2CA IV | 30.68 | 10.24 | 69.65 | 20.27 | 10,124,200 | 91-49 | 22 | 破棄せず |

第27表 注水試験 外周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 點より 破 壊 ま での 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 水温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| 2CW I | 49.09 | 10.73 | 76.55 | 30.98 | 64,500 | -33 | 25 | |
| 2CW II | 42.95 | 10.12 | 61.39 | 28.45 | 164,000 | 1-25 | 25 | |
| 2CW III | 39.88 | 10.25 | 70.52 | 26.60 | 401,600 | 3-50 | 25 | |
| 2CW IV | 36.82 | 10.31 | 71.53 | 24.39 | 547,800 | 5-06 | 26 | |
| 2CW V | 33.75 | 9.96 | 61.97 | 21.56 | 1,248,700 | 11-06 | 27 | |
| 2CW VI | 30.68 | 9.43 | 53.44 | 19.92 | 1,774,000 | 16-19 | 24 | |
| 2CW VII | 27.61 | 11.18 | 89.41 | 18.07 | 2,130,000 | 19-57 | 23 | 振動多し |
| 2CW VIII | 26.08 | 9.76 | 53.96 | 16.85 | 6,529,000 | 58-27 | 25 | |
| 2CW IX | 26.08 | 10.19 | 65.59 | 16.47 | 2,091,500 | 19-2 | 22 | |
| 2CW X | 24.54 | 10.23 | 69.11 | 16.14 | 2,630,400 | 24-33 | 23 | 振動多し |
| 2CW XI | 24.54 | 9.99 | 62.57 | 15.69 | 4,134,800 | 38-0 | 26 | |
| 2CW XII | 23.01 | 10.95 | 82.61 | 14.84 | 2,419,900 | 22-53 | 22 | 振動多し |
| 2CW XIII | 23.01 | 11.26 | 90.10 | 14.79 | 9,942,400 | 90-02 | 21 | |
| 2CW XIV | 3.01 | 11.37 | 91.22 | 14.75 | 5,313,500 | 47-53 | 27 | |
| 2CW XV | 21.48 | 10.42 | 72.92 | 14.10 | 10,101,000 | 90-27 | 25 | 破棄せず |
| 2CW XVI | 19.94 | 10.03 | 66.90 | 13.47 | 10,101,000 | 90-7 | 25 | 破棄せず |

第31表~第33表 當所製炭素鋼ピストン棒の鍛鍊度を異にせる材料の疲労試験成績

第31表 棒徑 310mm の鍛鍊材の空氣中試験

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 點より 破 壊 ま での 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 室温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| A I | 57.58 | 12.13 | 104.70 | 34.40 | 16,300 | -10 | 26 | |
| A II | 49.92 | 11.61 | 96.30 | 31.30 | 31,800 | -19 | 29 | |
| A III | 44.97 | 10.78 | 76.30 | 27.90 | 303,100 | 2-41 | 31 | |
| A IX | 42.87 | 10.94 | 80.30 | 26.78 | 1,044,500 | 9-19 | 30 | |
| A XII | 41.67 | 10.62 | 73.36 | 26.00 | 10,106,600 | 92-16 | 23 | 破棄せず |
| A X | 39.55 | 11.08 | 83.70 | 24.79 | 1,298,800 | 11-25 | 23 | |
| A IV | 37.50 | 10.73 | 77.45 | 23.95 | 973,600 | 8-53 | 30 | |
| A VIII | 26.70 | 10.45 | 70.22 | 23.00 | 10,106,600 | 92-16 | 23 | 破棄せず |
| A V | 34.97 | 10.49 | 71.27 | 22.00 | 10,106,200 | 90-35 | 28 | 破棄せず |
| A VI | 31.90 | 10.54 | 72.07 | 20.00 | 10,106,200 | 90-35 | 28 | 破棄せず |

第32表 棒の面積に於て 1/4 に鍛鍊せる材料の空氣中試験

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 點より 破 壊 ま での 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 室温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| B I | 55.82 | 11.96 | 104.30 | 34.40 | 25,200 | -13 | 26 | |
| B II | 50.33 | 11.51 | 93.90 | 31.57 | 54,900 | -29 | 26 | |
| B III | 46.72 | 11.30 | 89.50 | 29.52 | 93,700 | -50 | 28 | |
| B IX | 42.77 | 10.47 | 72.80 | 29.05 | 110,000 | 1-5 | 30 | |
| B IV | 43.63 | 10.29 | 68.65 | 28.00 | 796,300 | 7-7 | 28 | |
| B VII | 42.19 | 11.07 | 84.55 | 26.78 | 1,224,700 | 11-7 | 23 | |
| B X | 42.34 | 9.95 | 61.10 | 26.77 | 3,705,800 | 33-58 | 30 | |
| B V | 39.86 | 10.40 | 72.04 | 26.00 | 10,125,100 | 90-02 | 26 | 破棄せず |
| B VIII | 38.97 | 10.42 | 71.26 | 25.00 | 10,110,400 | 89-42 | 27 | 破棄せず |
| B VI | 37.01 | 10.44 | 72.45 | 24.00 | 10,125,100 | 90-02 | 26 | 破棄せず |

第33表 棒の面積に於て 1/9 に鍛鍊せる材料の空氣中試験

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 點より 破 壊 ま での 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 室温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|-----------|-----------------------|----------|----|
| C I | 56.79 | 12.22 | 108.40 | 34.39 | 21,100 | -10 | 27.5 | |
| C II | 50.34 | 11.80 | 98.90 | 30.89 | 48,300 | -27 | 30 | |
| C VII | 45.59 | 10.02 | 62.30 | 28.75 | 192,800 | 1-55 | 28 | |
| C III | 46.69 | 10.20 | 63.10 | 28.28 | 121,400 | 1-05 | 32 | |

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 點より 破 壊 ま での 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 室温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| C VIII | 43.95 | 10.29 | 68.00 | 27.94 | 466,100 | 4-30 | 29 | |
| C IV | 44.12 | 10.23 | 66.50 | 27.91 | 544,200 | 4-45 | 33 | |
| C V | 42.51 | 10.31 | 68.34 | 27.00 | 10,104,700 | 89-34 | 29 | 破棄せず |
| C VI | 41.44 | 10.56 | 72.54 | 26.00 | 10,104,700 | 89-34 | 29 | 破棄せず |

第36表~第43表 當所製炭素鋼ピストン棒試料の疲労試験成績

第36表 空氣中試験 外周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 點より 破 壊 ま での 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 室温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| 3CA X | 55.22 | 11.74 | 100.33 | 34.88 | 15,000 | -8 | 22 | |
| 3CA IX | 49.09 | 11.73 | 98.78 | 30.60 | 35,000 | -20 | 22 | |
| 3CA XII | 42.95 | 10.77 | 77.05 | 26.98 | 54,100 | -39 | 25 | |
| 3CA IX | 39.88 | 9.80 | 56.44 | 24.36 | 229,000 | 1-52 | 26 | |
| 3CA I | 36.82 | 10.24 | 65.69 | 22.94 | 693,000 | 6-7 | 25 | |
| 3CA II | 33.75 | 10.31 | 70.93 | 22.25 | 2,373,800 | 21-35 | 21 | |
| 3CA III | 32.21 | 10.10 | 66.22 | 21.09 | 10,120,400 | 90-48 | 22 | 破棄せず |
| 3CA IV | 30.68 | 10.29 | 68.72 | 19.71 | 10,120,400 | 90-48 | 22 | 破棄せず |

第37表 空氣中試験 内周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 點より 破 壊 ま での 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 室温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| 3CA VII | 55.02 | 11.95 | 104.16 | 34.33 | 12,700 | -17 | 19.5 | |
| 3CA VIII | 49.09 | 11.86 | 102.00 | 30.53 | 29,900 | -20 | 19.5 | |
| 3CA V | 42.95 | 10.38 | 70.72 | 27.67 | 50,900 | -25 | 19.5 | |
| 3CA VI | 39.88 | 10.82 | 77.66 | 27.24 | 215,000 | 1-52 | 19.5 | |
| 3CA XVI | 36.82 | 9.59 | 54.44 | 23.15 | 476,000 | 4-30 | 24 | |
| 3CA XV | 33.75 | 10.66 | 74.54 | 21.15 | 1,655,900 | 14-0 | 25 | |
| 3CA XII | 32.21 | 11.13 | 84.70 | 20.16 | 1,670,800 | 15-20 | 24 | |
| 3CA XIII | 30.68 | 10.12 | 66.46 | 20.04 | 10,126,700 | 91-20 | 24 | 破棄せず |

第38表 注水試験 外周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 破 壊 面 に 至 る 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 液温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| 3CW XII | 53.69 | 11.54 | 92.73 | 33.01 | 13,200 | - 7 | 26 | |
| 3CW XI | 46.02 | 10.79 | 78.06 | 29.13 | 122,500 | 1- 4 | 26 | |
| 3CW VIII | 42.95 | 10.17 | 65.48 | 27.23 | 217,000 | 2- 3 | 27 | |
| 3CW VII | 39.88 | 10.88 | 78.56 | 24.78 | 500,700 | 4-37 | 27 | |
| 3CW VI | 36.82 | 9.56 | 50.62 | 21.73 | 645,500 | 5-40 | 28 | |
| 3CW V | 33.75 | 10.38 | 67.89 | 20.87 | 1,189,900 | 11-20 | 28 | |
| 3CW III | 30.68 | 11.60 | 94.15 | 18.85 | 1,326,500 | 12-2 | 8 | |
| 3CW X | 29.15 | 10.96 | 81.59 | 18.40 | 2,232,500 | 20-12 | 24 | |
| 3CW IV | 27.61 | 11.46 | 89.77 | 16.73 | 3,960,500 | 37-22 | 28 | |
| 3CW I | 26.08 | 11.04 | 83.20 | 16.43 | 2,464,000 | 22-14 | 26 | 振動あり |
| 3CW I | 24.54 | 10.45 | 73.03 | 16.00 | 10,150,000 | 90-50 | 26 | 破壊せず |
| 3CW II | 21.48 | 10.30 | 68.99 | 13.81 | 10,150,000 | 90-50 | 26 | " |

第41表 乳化油(1%)を注げる試験 内周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 破 壊 面 に 至 る 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 液温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| 3CE VIII | 46.02 | 11.56 | 91.99 | 27.92 | 96,500 | -5.5 | 28 | |
| 3CE VI | 42.95 | 11.42 | 92.33 | 27.12 | 140,000 | 1-20 | 28 | |
| 3CE V | 39.88 | 11.63 | 94.41 | 25.67 | 328,000 | 3-11 | 29 | |
| 3CE VII | 38.35 | 12.11 | 106.66 | 23.46 | 630,600 | 5-40 | 27 | |
| 3CE IV | 36.82 | 11.13 | 85.03 | 23.13 | 1,544,000 | 7-31 | 29.5 | |
| 3CE II | 33.75 | 10.23 | 65.88 | 21.34 | 1,474,700 | 12-55 | 26 | |
| 3CE III | 32.21 | 11.6 | 76.56 | 20.91 | 3,207,400 | 29- 7 | 31 | |
| 3CE I | 30.68 | 10.36 | 71.17 | 20.00 | 10,119,600 | 90-35 | 26 | 破壊せず |

第42表 重クロム酸ソーダ(0.02%)溶液を注げる試験

外周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 破 壊 面 に 至 る 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 液温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| 3C X | 46.02 | 11.23 | 89.80 | 29.72 | 52,600 | 27 | 21 | |
| " VIII | 42.95 | 10.91 | 79.98 | 27.02 | 134,900 | 1-48 | 27 | |
| " VI | 39.88 | 11.87 | 102.39 | 24.87 | 329,600 | 2-50 | 29 | |
| " VII | 39.88 | 11.82 | 100.94 | 21.83 | 354,500 | 3-24 | 27 | |
| " IX | 38.35 | 10.36 | 68.90 | 24.21 | 715,300 | 6-19 | 25 | |
| " II | 36.82 | 11.18 | 84.82 | 22.77 | 1,293,900 | 11-25 | 28 | |
| " I | 33.75 | 9.90 | 60.47 | 21.42 | 2,216,600 | 20- 4 | 27 | |
| " IV | 30.68 | 10.39 | 68.60 | 18.95 | 4,029,000 | 42- 4 | 28 | |
| " V | 29.15 | 10.35 | 69.10 | 18.52 | 6,471,300 | 58-41 | 29 | |
| " III | 27.61 | 10.12 | 66.35 | 18.01 | 10,139,900 | 91-10 | 28 | 破壊せず |

第43表 クロム酸カリ溶液(0.02%)を注げる試験

外周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 破 壊 面 に 至 る 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 液温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| 3C XI | 44.14 | 10.30 | 67.19 | 27.65 | 112,600 | 1- 5 | 25 | |
| " IX | 40.44 | 10.35 | 69.44 | 25.80 | 910,600 | 8-14 | 31 | |
| " XII | 39.95 | 10.56 | 71.51 | 24.71 | 2,800,000 | 2-50 | 27 | |
| " X | 37.19 | 11.23 | 87.57 | 23.42 | 624,200 | 5-33 | 30 | |
| " I | 34.00 | 11.25 | 88.59 | 21.54 | 1,303,300 | 9- 5 | 30 | |
| " II | 31.13 | 10.62 | 75.3 | 19.94 | 2,224,200 | 20-18 | 30 | |
| " III | 29.43 | 11.28 | 87.66 | 18.31 | 2,637,500 | 23- 5 | 30 | 振動あり |
| " IV | 28.14 | 10.56 | 72.72 | 17.71 | 4,251,600 | 39-22 | 30 | |
| " V | 26.60 | 11.12 | 85.40 | 16.84 | 3,784,600 | 32-50 | 30 | |
| " VI | 24.29 | 10.42 | 73.05 | 16.00 | 5,749,600 | 51-20 | 31 | |
| " VII | 23.77 | 11.63 | 95.28 | 14.67 | 9,067,000 | 79-37 | 31 | |
| " VIII | 22.21 | 10.53 | 72.27 | 14.00 | 10,147,400 | 89- 0 | 31 | 破壊せず |

第40表 乳化油(1%)を注げる試験 外周部試料

| 試験片 符 號 | 荷重 kg | 破壊 面の 直徑 d(mm) | 荷重 破 壊 面 に 至 る 距 離 l(mm) | 最 大 曲應力 σ (kg/mm ²) | 繰返回数 N | 試験 所要 時間 h-m | 液温 °C | 備考 |
|------------|----------|-------------------------|---|--|------------|-----------------------|----------|------|
| 3CE II | 46.02 | 11.31 | 88.67 | 28.53 | 116,000 | 1- 2 | 26 | |
| 3CE I | 42.95 | 10.68 | 75.04 | 26.95 | 455,400 | 4- 4 | 26 | |
| 3CE IV | 39.88 | 11.05 | 82.60 | 24.25 | 868,800 | 7-39 | 27 | |
| 3CE III | 36.82 | 10.62 | 72.42 | 22.68 | 4,306,000 | 38-58 | 26 | |
| 3CE VI | 35.28 | 11.83 | 100.00 | 21.71 | 3,503,400 | 31-37 | 26 | |
| 3CE V | 33.75 | 11.69 | 99.50 | 21.41 | 5,591,100 | 50- 1 | 26 | |
| 3CE VIII | 32.21 | 10.26 | 69.22 | 21.06 | 10,153,000 | 91-40 | 27 | 破壊せず |
| 3CE VII | 30.68 | 10.35 | 71.73 | 20.22 | 10,153,000 | 91-40 | 27 | " |