

### XIII. 繰返應力.

#### 76. 繰返應力ノ古イ實驗.

構造物ノ各部ハ變形ノ大小又ハ工作上ノ難易等ニ關シテ種々ノ要求ヲ滿ス様ニ設計サレル可キ場合ガ多イケレドモ常ニ必要ナル條件ハ材料ノ安全デアル. 夫レ故材料ノ強サニ關シテ精確ナ智識ヲ要スルノデアルガ此事ハ一般ニ簡單ナ問題デナイ. 例ヘバ力ガ靜ニ作用スルトキノ強サハ比較的能ク研究サレテ居ルガ之レ丈ヶデハ素ヨリ足リナイ. 之ヲ補フ爲ニ行ハレル衝擊試験ノ結果ハ或ル程度迄注意ス可キ事柄デハアルガ之ヲ直ニ設計上ニ用キ難イ. 設計上直接必要ナルハ繰返應力ニ對スル強サデアツテ其試験ハ確ニ重要ナル問題デアル. 何トナレバ多クノ場合ニ應力ハ或ル範圍内デ絶エズ週期的ノ變化ヲ反覆スルノデアツテ斯ル繰返應力ノ作用ヲ受ケル材料ハ靜試験ニ於ケルヨリモ遙ニ小ナル荷重デ破壊ヲ生ズルカラデアル.

材料ノ種類ニ於テモ又應用ノ範圍ニ於テモ益々繁多トナリツツアル今日ノ狀態ニ於テ此種ノ試験ガ重要ナル研究ノ項目ナルハ論ヲ俟タヌ所デアツテ從テ時々此方面ニ關スル種々ノ實驗成績ガ發表サレテ居ル. 併シ此處ニ繰返應力ニ關スル試験ノ概要ヲ語ルニ當リテ先づ古クヨリ Wöhler<sup>1)</sup> 及 Bauschinger<sup>2)3)</sup> ノ殘シタ結果ヲ紹介シタイト思フ. 實ニ之等實驗家ガ努力ノ產物ハ永ク其歷史的價値ヲ失ハヌデアラウ.

倘耐久試験ニ於テ繰返サレル應力ノ大小ガ材料ノ壽命ニ及ボス影響ヲ知ルタメニ例ヘバ應力ノ上下兩限ノ比ヲ一定シ且之等應力ノ值ヲ加減シテ材料ガ破壊スル迄ノ繰返數ヲ實驗スレバ應力ノ減少ト共ニ繰返

1) Wöhler's Experiments on the Fatigue of Metals, Engineering, XI, 1871, 199 頁.

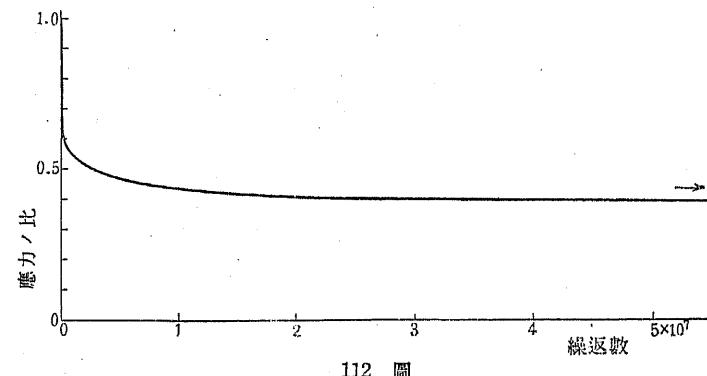
2) J. Bauschinger, Mitteilungen aus d. mech-techn. Laboratorium. d. T. II. München, XIII, 1886.

3) A. Föppl, Dauerversuche von Bauschinger, ausgeführt in den Jahren 1886-1893, Mitteilungen, München, XXV, 1897.

數次第ニ增加シテ遂ニハ數千萬又ハ夫レ以上ノ反覆ヲ重ネテモ尙破壊ヲ生ゼザル程度ノ應力ヲ見出スコトガ出來ル。其一例トシテ Wöhler

ノ或ル實驗ノ概要ヲ述ベレバ先ダ  
一端ヲ迴轉軸ニ固定セル試驗片ヲ

トリ(111圖)其他端ニ荷重ヲ與ヘ之ヲ一定ノ速サデ迴轉スル時ハ試驗片ノ斷面中ノ各點ハ中心ヲ除ク外凡テ正負等大ノ兩極限値ノ間ニ上下スル線返應力ヲ受ケル。112圖ハ1857年 Wöhler ガ Phönix 社ノ供給シタ



鐵材ニ就テ行ツタ此種ノ實驗ノ結果ヲ圖示スルモノデ縱ニ線返應力ノ最大値ト材料ノ引張ノ強サトノ比ヲトリ横ニ破壊ニ至ル迄ノ線返數ヲ測ル。斯ル方法デ點ヲ印シオキ引クニ曲線ヲ以テスレバ圖ノ如キ線圖ヲ得ル。此實驗ニ依レバ最初ハ曲線ノ傾キ甚ダ急デアルガ遂ニハ殆んど水平ニ近ヅキ縱座標ガ0.405ナル時ハ線返數  $1.9 \times 10^7$  以上ニ達シ更ニ應力ヲ減ジテ上ノ比ヲ0.360トスレバ圖ニ矢ヲ以テ示ス様ニ曲線ハ遙ニ延ビテ大ナル線返數ニ達シ即  $13.2 \times 10^7$  以上ノ線返ヲ受ケテモ尙破壊ヲ起スニ至ラナカツタ。斯様ニシテ應力ノ範圍ヲ此最後ノ値以下ニ止メル時ハ材料ハ極メテ多數ノ線返ニ堪ヘ即材料ハ餘程安全デアル。<sup>1)</sup>

1) 此處ニ112圖及次ノ表ニ於テ應力範圍ノ上限ノ引張ノ強サニ對スル比ヲ示シタノハ應力ノ單位ニ抱泥セズニ線返應力ノ強サチ示シ得ル便ガアルカラテアツテ他ニ格別意味ノアル譯テハナイコトヲ断ツテオク。

斯様ナ應力ノ範圍ニ關シテ Wöhler 及 Bauschinger ノ兩氏ガ殘シタ夫レ夫レノ研究ノ結果中カラ抄錄シタモノガ次ノ表デアル。

### I. Wöhler の實驗<sup>1)</sup>

材料 引張ノ強サ $kg/cm^2$	最大應力 $kg/cm^2$	最小應力 $kg/cm^2$	最大應力ト引張ノ強サトノ比
Phönix 社製鐵 3040	3010	1640	0.99
	2050	0	0.67
	1090	-1090	0.36
Krupp 社製鋼 7120	5470	2390	0.77
	3280	0	0.46
	1920	-1920	0.27
スプリング鋼(生ノ儘)	6160	4100	—
	5470	2740	—
	4790	1710	—
	3420	0	—

### II. Bauschinger の實驗

材料 引張ノ強サ $kg/cm^2$	最大應力 $kg/cm^2$	最小應力 $kg/cm^2$	最大應力ト引張ノ強サトノ比
鍊鐵 3840	2000	0	0.52
	1770	-1770	0.46
鋼 4360	2400	0	0.55
	1980	-1980	0.45
平鐵 4050	2200	0	0.54
	1980	-1980	0.49
同上 4020	2400	0	0.60
	2260	-2260	0.56
トーマス鋼 6120	3000	0	0.49
	3000	-3000	0.49
トーマス鋼 5940	2800	0	0.47
	2800	-2800	0.47

1) 此表中ノ數値ハミュンヘン報告第13冊ニ據リ且 Wöhler ノ用キタ單位ヲ  $1 \text{ Ctr. pro } \square \text{ Zoll} = 6.84 \text{ kg/cm}^2$  トシテ換算シタモノデアル。此換算法ノ相違ノタメニ異リタル數値ヲ與ヘテ居ル書物ガアルケレドモ何レニセヨ相對的ノ値ヲ見ル上ニ於テハ差支ガナイ。

材料 引張ノ強サ $kg/cm^2$	最大應力 $kg/cm^2$	最小應力 $kg/cm^2$	最大應力ト引張ノ強サトノ比
トーマス鋼 4050	2400	0	0.59
	1900	-1900	0.47
丸鐵 3350	2200	0	0.66
	1600	-1600	0.48

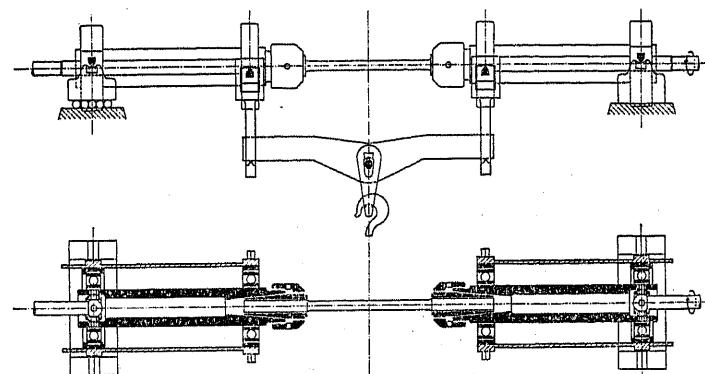
之等ノ表ニ於テ線返應力ノ範囲ヲ示スタメニ上限及下限ヲ夫レ夫レ第二欄(最大應力)及第三欄(最小應力)ニ記シ且應力ノ上限ノ引張ノ強サニ對スル比ヲ最後ノ欄ニ掲ゲテ置イタ。兩實驗者ノ成績ヲ見ルニ材料ノ種類ニヨリテ強サニ著シ相違ガアルノハ當然トシテモ尙最モ注意ヲ惹クノハ應力ガ正負等大ノ兩極限間ニ變ズル場合ニ對スル I 表ノ比ガ II 表ノソレヨリ稍小ナル事デアル。序ニ附言スペキハ Bauschinger ノ實驗ニ於ケル迴轉ノ最大數ガ  $10^7$  位ナリシニ對シ Wöhler ノ實驗ニ於テハ尙遙ニ大デ上ノ數倍若クハ十數倍ニ達シテ居ル點デアル。

今(a)應力ガ靜止ノ場合、(b)最大値ト零トノ間ニ變ズル場合、(c)正負等大ノ極限値ノ間ニ變ズル場合ニ對スル夫レ夫レ最大應力ノ比ヲ試ニ  $3:2:1$  トスレバ上ノ二表ノ凡テノ場合ニ一致スルコトハ勿論出來ナイケレドモ或ル結果(例ヘバ Wöhler ノ Phönix 社製造ノ鐵ニ於ケル場合)ニ稍近イ事實ヲ示ス故此考ヘニ基イテ材料ノ負擔スペキ應力ノ極限値ヲ定タル事ガ行ハレテ居タ。併シ此習慣ハ其後ノ實驗ノ結果ニヨリテ訂正サレルニ至ツタ。

### 77. 線返應力ノ其後ノ實驗。

線返應力試驗ハ其重要性ノ爲ニ次第ニ盛トナリテ近來各處ニ實驗ガ行ハレテ居ル。先づ試驗片ニ作用スル應力ノ種類ニヨリテ實驗ヲ區別スレバ引張及壓縮ヲ舉ゲネバナラヌ。此種ノ應力ヲ生ズル様ニ作ラレタ試驗機ニ Haigh ノモノガアル。之ハ交流ニヨリテ勵磁サレル二個ノ電磁石ノ力ヲ電動子ニ作用セシメテ之ニ取付ケラレタ試驗片ヲ交互ニ

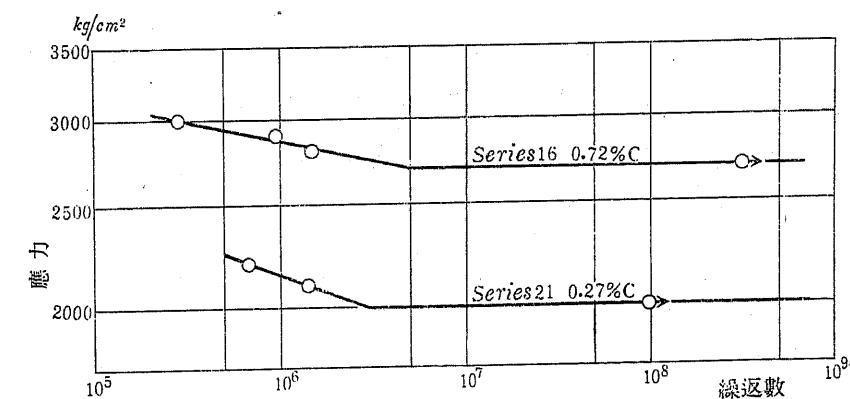
引キ又ハ壓ス様ニ作ラレテ居ル。次ニ曲ゲ應力ヲ線返ス試驗機トシテハ 111 圖ノ型ガ可ナリ廣ク用キラレテ居ルガ又一方ニ於テハ一様ノ曲ゲモーメントヲ試驗片ニ作用セシメナガラ之ヲ迴轉シテ一様ナル斷面ノ試驗片ノ各部ニ於ケル線返應力ヲ一様ニスル操作ラレタ機械ガアル。



113 圖

113 圖ハ此種ノ機械ノ略圖デ著者ハ從來主ニ之ニヨリテ實驗ヲ行ツタ。此場合ニハ應力ノ兩限ハ無論正負等大デアル。尙外ニ握り應力又ハ組合應力ヲ線返ス試驗機ガアル。

應力ト破壊迄ノ線返數トノ關係ヲ大ナル線返數ニ達スル様ナ應力ノ範圍ニ於テ實驗スル時ハ其結果ヲ示ス爲 112 圖ノ如キ表シ方ノ代リニ線返數ヲ對數ノ目盛ヲ有スル紙上ニ表スヲ便トスル。114 圖ハ縱横共



114 圖

ニ對數ノ目盛ヲ用キタ線圖ノ例デアツテ之ニ依レバ  $10^7$  ハ素ヨリ  $10^8$  程度ノ繰返數ニ達スル實驗ノ結果ヲ表ス事容易デアル。斯ル實驗ノ結果ヨリ非常ニ多數ノ繰返ニ堪ヘルベキ最大限度ノ應力ヲ定メテ材料ノ強サトスル。屢々用キラレル疲勞限度ト云フ言葉ハ此強サヲ表ス。多クノ材料ニ對シテ普通正負等大ノ極限値ノ間ニ變ズル繰返應力ノ疲勞限度が實驗サレテ居ル。併シ出來レバ種々ノ極限値ニ對スル疲勞限度ヲ實驗シ其結果ニヨリテ例ヘバ前節ノ終リニ述ベタ(a), (b), (c)ノ場合ニ於ケル強サヲ本當ニ定メル事ガ望マシイ。

一般ニ繰返應力ノ上限ト下限トハ互ニ或ル關係ヲ保チ即上限ハ下限ノ函數デアル。此關係ヲ式デ示サントスル試ミハ種々ノ著者ニヨリテナサレタ所デ上限ヲ或ハ單ニ下限ノ函數トシテ表シ或ハ兩者ノ比ノ函數トシテ示ス式ガ幾ツモアル。<sup>1)</sup> 併シ茲ニ之等ノ關係ヲ示ス一方法トシテ上下兩限ノ平均値ト此平均値ヨリ何レカノ極限値ニ至ル幅トノニツヲ取リテ兩者ノ關係ヲ式又ハ圖ニヨリテ示ス事ニスル。應力ノ上限ヲ $\sigma'$ トシ下限ヲ $\sigma''$ トスレバ平均値及幅ハ夫レ夫レ次ノ如クデアル。

$$\sigma_m = \frac{\sigma' + \sigma''}{2}, \quad \sigma_r = \frac{\sigma' - \sigma''}{2}.$$

今直交座標軸ヲトリテ  $\sigma_m$  ヲ横ニ  $\sigma_r$  ヲ縱ニ示セバ正負等大ノ極限値ノ間ニ變ズル場合ニハ  $\sigma_m = 0$  ナル故其強サハ  $\sigma_r$  軸上ノ點デ示サレル。之ヲ  $\sigma_a$  トシヤウ。  $\sigma_m$  ガ零デナイ場合ノ點ヲ實驗ニヨリテ求メレバ斯ル點ヲ通常曲線ヲ引イテ  $\sigma_m$  及  $\sigma_r$  の關係ヲ示ス事が出來ル。此曲線ヲ延長スル事が出來レバ之ハ  $\sigma_m$  軸上ノ一點ニ於テ之ヲ切ル筈デアル。此點ハ  $\sigma_r = 0$  ナル故材料ノ靜的ノ強サヲ示ス。引張應力ノ  $\sigma_a$  以外ニ繰返應力試驗ノ資料ナキ時ハ斯ル曲線ヲ引ク代リニ材料ノ引張試驗ニ於ケル眞ノ最大應力(破壊ノ時ノ荷重ヲ破面ノ面積ニテ除ス)ヲ求メテ其値ヲ  $\sigma_m$  軸上ニトリテ之ヲ  $\sigma_b$  トシヤウ。然ル時ハ  $\sigma_a$  及  $\sigma_b$  ノ兩點ヲ直線ニテ結ビ之ヲ求メ

1) J. J. Weyrauch, Die Festigkeitseigenschaften, 1889.

ル曲線ニ代用スルモ實驗ノ範圍内ニ於テ實際ヨリ餘り遠ハナイ結果ヲ得ル様デアル。<sup>1)</sup> 此曲線又ハ直線ヲ只今ノ線圖ノ限界線ト呼ンデオク。115 圖ニ於テ  $\sigma_b$  點ハ可ナリ遠イ故之ヲ省キ限界線ノ一部ヲ示スニ止メタ。又直線ト見做シタ限界線ノ方程式ハ

$$\sigma_r = \sigma_a - c \sigma_m. \quad (1)$$

115 圖

此直線ハ與ヘラレタ  $\sigma_m$  ニ對シテ材料ガ將ニ破壊ヲ生ゼントスル  $\sigma_r$  ヲ示スモノデアルガ同ジ線圖中ニ材料ノ降伏點  $\sigma_s$  ニ對スル線ヲ引ク事が出來ル。此線ハ  $\sigma' = \sigma_m + \sigma_r = \sigma_s$  ニテ與ヘラレル。此降伏線ハ前ノ限界線ト交リ此交點ノ  $\sigma_m$  ニヨリテ線圖ガニツニ大別サレル。即之ヨリ小ナル  $\sigma_m$  ニ對シテハ繰返應力ニ依リテ破壊シ又之ヨリ大ナル  $\sigma_m$  ニ對シテハ破壊ノ前ニ降伏現象ガ起ル。

次ニ座標軸ノ原點ヨリ軸 =  $45^\circ$  ヲナス直線  $\sigma_r = \sigma_m$  ヲ引ケバ之ハ降伏線及限界線ト交ル。之等ノ交點ノーツノ座標ヨリ繰返應力ノ下限ガ零ニ等シイ場合ノ上限ノ値ガ求メラレル。降伏線トノ交點ノ座標ハ明カニ  $\sigma_m = \sigma_r = \frac{\sigma_a}{2}$  トナリ應力ノ上限ハ  $\sigma_s$  ニ等シイ。又限界線トノ交點ノ座標ハ

$$\sigma_m = \sigma_r = \frac{\sigma_a}{1+c}.$$

從テ此場合ノ繰返應力ノ上限ハ

$$\sigma' = \frac{2\sigma_a}{1+c}.$$

$\sigma_r = \sigma_m$  トスレバ 115 圖ニ示ス線圖ノ場合ニハ明カニ先づ降伏ヲ起ス筈デアルガ一般ニハ降伏又ハ破壊ノニツノ內條件ノ容易ナ方ガ初メニ

1) 此作圖法ハ西原利夫博士ノ炭素鋼實驗結果ニ依ル。

起ル。夫レ故靜應力ノ場合ノ強サトシテ降伏點 $\sigma_s$ ヲ取レバ前節ニ述べタ(a), (b), (c)ニ對スル強サノ比ハ次ノ様ニナル。

$$\sigma_s : \left\{ \sigma_s \text{ 又ハ } \frac{2\sigma_a}{1+c} \right\} : \sigma_a$$

(b)ニ對スル括弧内ノ項ハニツノ内何レカ小ナルモノヲ取ラネバナラヌ。上ノ線圖ハ正ノ $\sigma_m$ ニ對スルモノナル故引張試験ノ $\sigma_s$ ト繰返試験ノ $\sigma_a$ ト $\sigma_s$ 比ベルニ燒鈍シタ炭素鋼ニ於テハ比 $\sigma_s/\sigma_a$ ハ1—1.2位デ $c$ ノ數値ヲ假定シテ計算スレバ(b)ニ對スル強サトシテ普通 $\sigma_s$ ヲ取ルベキ筈ニナル併シ特殊鋼輕合金等ニ於テハ比 $\sigma_s/\sigma_a$ ガ大トナル場合アリテ此時ニハ $2\sigma_a/(1+c)$ ヲ取ルヲ要スル。前ノ場合ニ於ケル(a), (b), (c)ノ割合ハ例ヘバ1.2:1.2:1トナリ又後ノ場合ニ於ケル割合ハ例ヘバ2:1.6:1トナル。之等ノ數字ハ素ヨリ例ニ過ギス故材料ノ種類及處理法ニヨリテ其繰返試験ノ結果ヨリ適當ナル數ヲ定メル事ガ望マシイ。何レニセヨ前節ニ述べタ比3:2:1ハ適當デナイ事ガ判ル。

尙簡單ノタメニ降伏線ト限界線トヲ別々ニ引ク代リニ $\sigma_a$ 及 $\sigma_s$ ヲ只一本ノ直線ニテ結ブ事ガアル。此方法ニ依レバ上ニ述べタ様ナ降伏及破壊ノ兩現象ヲ區別シ得ナイ缺點ガアル。併シ上ノ様ナ應力比ヲ求メル目的ヨリ言ヘバ與ヘラレタ $\sigma_a$ 及 $\sigma_s$ ニ對シテ中間ノ應力ガ稍小ニ見積ラレル點デ安全ト言ヘル。此時ニハ $\sigma_a$ ,  $\sigma_s$ ヲ結ブ直線ノ方程式ハ

$$\sigma_r = \sigma_m - \frac{\sigma_a}{\sigma_s} \sigma_m. \quad (2)$$

之ト直線 $\sigma_r = \sigma_m$ トノ交點ノ座標ハ

$$\sigma_r = \sigma_m = \frac{\sigma_a}{1 + \frac{\sigma_a}{\sigma_s}}.$$

從テ(b)ノ場合ノ上限ハ $\sigma' = 2\sigma_a / \left(1 + \frac{\sigma_a}{\sigma_s}\right)$ トナリ炭素鋼ニ對シテ $\sigma_s/\sigma_a = 1 - 1.2$ ト取レバ $2 / \left(1 + \frac{\sigma_a}{\sigma_s}\right) = 1 - 1.1$ 又其他ノ場合 $= \sigma_s/\sigma_a = 2$ ト取レバ $2 / \left(1 + \frac{\sigma_a}{\sigma_s}\right) = 1.3$ トナル。

### 78. 疲勞。

線返應力ニ對スル材料ノ抵抗ハ大要上ニ述べタヤウデアルガ元來材料ガ線返應力ヲ受ケレバ如何ナル材質ノ變化ヲ起スカ。換言スレバ線返應力ノタメニ生ズル所謂疲勞現象ハ如何ナルモノヲ云フカ。之ニ對シテ充分ナル説明ヲ與ヘルコトハ靜的ノ強サニ對スルト同様ニ今日尙困難デアルガ今迄ニ判ツテ居ル處ハ大要下ノ如クデアル。

先づ多數ノ應力繰返ヲ經テ破壊サレタ材料ニ靜荷重ノ試験ヲ施セバ已ニ線返應力ノタメニ一見脆イ物質ノ様ナ破面ヲ以テ壊レタ鋼モ依然トシテ略ボ舊ノ様ナ變形ヲ起シテ破壊スル。夫レ故線返應力ニ依リテ俗ニ疲勞スルト云フ事柄ハ其破面ノミヨリ簡單ニ想像サレル様ナ變化デハナイ。軟鐵ノ疲勞ニ關スル顯微鏡的研究ノ結果ニ據レバ<sup>1)</sup>繰返數ノ進ムニ連レテ試片ハ研磨面ニ迄リテ認メ得ル様ニナリ之ガ漸次發達シ擴大シ廳テハスル迄リ面ノ密集セル場所ニ裂傷ノ發生ヲ見ル様ニナリテ破壊ガ始ル。而シテ最初出來タ迄リ面ガ必シモ最モ危險ナ場所デハナク即其發達ガ途中デ止リ他ノ場所ニ破壊ヲ來ス裂ケ目ヲ生ズル事ガアル。斯様ニ線返應力ノタメニ矢張リ結晶粒子内ノ迄リテ生ズルモノデアルガ材料ガ著シイ變形ヲ起ス前ニ成長シタ裂傷ノタメ破壊スル故丁度鑄鐵ノ壞レ方ノ様ニ脆ク見エルノデアル。此實驗ハ殆シンド全部ガフアーライトカラ出來テ居ル様ナ軟イ鐵ニ就テデアツタガフアーライト及パーライトカラ出來テ居ル鋼ニ就テ實驗シタ結果ニヨレバ<sup>2)</sup>裂傷ガ多クハパーライトノ堅イ部分ヲ避ケテフアーライトノ軟イ處ニ起ル事ガ認メラレタ。

材料ノ疲勞ヲ彈性ノ實驗カラ研究スル事モ已ニ試ミラレテ居ル。即靜試験ニ於テ應力ヲ或ル範圍内ニ繰返ス時ハ材質ガ著シク變ジテ應力ガ零ト極大トノ間ニ又ハ正負兩極ノ間ニ變ズルニ從テ材料ノ始メ有ツ

1) J. A. Ewing and J. C. W. Humphrey, Phil. Trans. Roy. Soc., A, Vol. 200, 1903, 241頁。

2) T. E. Stanton and L. Bairstow, Proc. Inst. Civil Engineers, CLXVI, 1906, 78頁。

テ居タ比例界ハ變ジテ自ラ別個ノ比例界ヲ生ズル事前ニ述ベタ様デアル(67節). Bauschinger ハ線返應力ノ試験ニ於ケル應力範圍ガ此比例界以内ニ限ラレルナラバ材料ハ安全ニ荷ヲ負擔スルモ之以外ニ出ル時ハ或ル回數ヲ線返シタ後遂ニ破壊ヲ生ズルモノデアルト云フ考案ヲ立テ實驗ニヨリテ之ヲ證明セント試ミタ.<sup>1)</sup> 此目的ハ遂ニ達シ得ナカツタケレドモ爾來此問題ハ屢々研究者ノ注意ヲ惹キ殊ニBairstow<sup>2)</sup>ノ試ミタ鐵鋼ノ彈性履歷現象ニ關スル研究ハ注意ニ値スル. 此實驗ニ於テハ炭素量ノ極メテ少イ鐵及中位ノ炭素量ノ鋼ヨリ作レル試験片ニ線返應力ヲ與ヘ時々伸張ノ測定ヲ行ツテ應力及伸ビノ關係ヲ定メテ線返數ト共ニ彈性狀態ノ如何ニ變ズルヤヲ研究シタ. 併シ履歷曲線ノ幅ガ零トナル様ナ應力範圖ヲ假定シテ彈性範圖ト命名スレバ之ハ Wöhler ノ實驗ニ於ケル應力ノ安全ナル範圖ト能ク一致スルト言フケレドモ實際履歷曲線ガ一條ノ直線トナル事ハ本當ラシクナイ.<sup>3)</sup>

此點ニ關シテ此處ニ著者自身ノ實驗ニ就テ述ベル事ハ無益デナイト考ヘル. 著者ハ鋼ノ線返曲ゲ試験及振リ振動試験ニ於テ一回ノ應力線返ノ際試験片ノ一定容積ニ就テ要セラレル機械的仕事量ト發生スル熱量ノ仕事當量トヲ見出シテ之等ヲ比較シタ.<sup>4)</sup> 此種ノ實驗ハ尙別ノ實驗ニヨリテ確メル事ガ望マシイガ只今迄ノ結果ヨリ見テニツノ量ガ應力線返ノ初期ニ於テ多少相違シ即熱ノ機械當量ハ機械的仕事量ニ及バザル事並ニ線返數大トナレバ遂ニ兩者ガ略ボ一致スル事等ヲ知ルノデアル. 此結果ハ應力線返ノ初期ニ於テ材料組織ノ變化ノ爲勢力ヲ吸收スルモ線返數大トナレバ組織ノ變化止ミテ仕事ハ全部熱トナル. 斯ル狀

1) Mitteilungen, München, XIII, 50 頁及同報告 XXV, 5 頁參照.

2) L. Bairstow, Phil. Trans. Roy. Soc. A, Vol 210, 1910, 35 頁.

3) 205 頁脚註 3 及此頁脚註 4 參照.

4) Proc. of the 3rd, International Congress for Applied Mechanics, Stockholm, 1930, II, 305 頁. Zeitschrift f. angewandte Mathematik und Mechanik, Bd. 16, 1936, 23 頁.

態ニ於テ應力ハ無限ニ繰返サレル. 併シ此定常狀態ハ應力ガ過大ナラザル時ニノミ實現シ得ラレ若シ應力過大ナル時ハ定常狀態ニ達スル前ニ破壊ガ起ル. 之ハ應力繰返ニ伴フ組織ノ變化ニヨリテ與ヘラレタ應力ニ對シテ安定ヲ失フ爲デアル. 斯様ニシテ疲勞限度ハ遂ニ定常狀態ニ達シ得ベキ最大ノ線返應力ニヨリテ定メラレル. 此狀態ニ於テ彈性履歷現象存在シ熱ノ發生ヲ見ルモ夫レハ材料ガ容易ニ破壊スペキ象徵ト見ル事ハ出來ヌ. 尚X線ニヨル實驗ノ結果カラモ定常狀態が存在スルト言ハレル.<sup>1)</sup> 併シ上ノ論ハ實驗ノ範圍内ニ於テ左様デアツテ凡テノ材料ニ就テ定常狀態が存在スルカト云フ事ハ未ダ疑問デアル.

疲勞現象ハ大體上ニ述ベタ様デアルガ茲ニ疲勞限度ノ決定ニ關シテ尙一言シャウ. 與ヘラレタ試料ニ就テ實際線返應力ノ耐久試験ヲ行ツテ其結果ヲ示ス爲前ニ述ベタ様ニ對數ノ尺度デ目盛シタ紙上ニ應力及線返數ヲ座標トシタ線圖ヲ作レバ或ル線返數以上ニ於テ線ハ殆ンド水平ニ近イ故斯ル線返ニ堪ヘル應力ヲ以テ疲勞限度ト見做サレル. 併シ此種ノ線圖ノ形ハ材料ノ種類ニヨリテ大ニ趣チ異ニシ即線返數ガ  $10^7$  位ノ處デ已ニ殆ンド水平ニナルモノト  $10^8$  程度ニ於テモ尙完全ニ水平ニナラザルモノトガアル. 從テ若シ線圖中ノ水平ノ部分ガ知ラレテ居レバ問題ハナイガモシ多少デモ水平ナラザル場合ニハ本當ノ疲勞限度ヲ決定スル事不可能ナル故例ヘバ  $10^7, 10^8$  等ノ線返數ヲ與ヘテ之ニ對スル應力ノ限度ヲ定メルノガ普通デアル.

## 79. 雜論.

此標題ノ下デ先づ線返應力ノ抵抗ニ對スル二三ノ影響ヲ述ベヤウ.

先づ一定ノ材料ヲ種々ノ速サデ試験シタ場合ニ於ケル影響ノ有無ニ就テ文獻ヲ見ルニ甲ノ實驗<sup>2)</sup>ニヨレバ線返ノ速サガ一分間 250 乃至 1300

1) H. J. Gough and W. A. Wood, Proc. Roy. Soc., A, 154, 1936, 510 頁.

2) E. M. Eden, W. N. Rose and F. L. Cunningham, Proc. Inst. Mech. Engineers, 1911, 839 頁.

同ニ變ズルモ強サハ影響ヲ受ケナイトノ結論ヲ得テ居ルガ乙ノ<sup>1)</sup> 實驗ニヨレバ速サガ1300乃至1900以上ニ達スル間ニ著シイ變化ヲ表シ即速度ト共ニ強サガ減ズルモノト考ヘラレテ居ル。併シ斯ル速サデ材料ガ本當ニ影響ヲ受ケルカ否ヤヲ決スル前ニ考慮スベキ點ガアル様ニ思ハレル。何トナレバ前ノ實驗ハ曲ガ試驗片ヲ回轉スル方法ニヨリ後ノ者ハクランク及連接棒ヲ用キテ或ル質量ノ物體ニ往復運動ヲ與ヘ此際生ズル慣性ノ力ヲ試驗片ニ作用セシメル方法ニヨツタノデ即試驗機ノ相違ガ上ノ結果ニ影響ヲ有ツテ居ルカモ知レナイカラデアル。線返應力ノ試驗ニ於テ最モ注意スベキハ振動及衝擊ノ作用ガ實驗ヲ亂サヌ様注意スベキ點デアツテ慣性ノ力ヲ用キル試驗機ニ於テハ此注意ヲ殊ニ必要ト考ヘル。而シテ今日迄行ハレタ種々ノ實驗ヲ綜合スルニ一分間數千回ノ程度ニ達スル迄ノ間ニ於テ速サノ影響ハ無イト見做サレテ居ル。

次ニ試驗片ノ形が急激ナ段又ハ銑イ溝切缺ヲ有ツテ居ル時ハ徐々ニ断面ヲ變ジタ場合ニ比ベテ遙ニ抵抗ガ少イ。此事ハ古クカラ認メラレテ來タ所デアツテ機械ノ設計ニハ成ルベク断面ノ急變ヲ避ケ已ムヲ得ヌ場合ニハ大ナル丸味ヲ附ケテ應力ノ局所集中ヲ防グ事が必要デアル。同ジ意味ニ於テ試驗片ノ表面仕上グノ精粗ガ實驗ノ結果ニ影響ヲ與ヘ即精ナレバ丈夫デ粗ナレバ弱イ。一般ニ機械部分ニ於ケル應力ノ局所集中ハ最モ注意ヲ惹キツツアル問題デアツテ<sup>2)</sup> 之ニ關スル文献モ少クナイガ尙將來ノ研究ニ待ツベキモノガ多イ。

尙影響ノ他ノ種類トシテ茲ニ附加ヘテ置キタイト思フノハ材質ニ關係アル常溫加工及熱操作等カラ生ズル影響デアル。鋼材ハ常溫加工ニヨリテ普通其疲勞限度ヲ高メルト言ハレテ居ル。併シ凡テノ金屬ガ常ニ左様デアルトハ言ヘナイ。著者ハ衝擊ノ處デ(232頁)述べタ三種ノ銅

1) O. Reynolds and J. H. Smith, Phil. Trans. Roy. Soc., A, Vol. 199, 1902, 265頁, 又ハEngineering, LXXIII, 1902, 504頁。

2) E. Lehr, Spannungswerteilung in Konstruktionselementen, 1934. Zeitschrift d. V. D. I., 1933 附錄 Arbeitsblatt Nr. 1—5 參照。

線及其他種々ノ銅線ニ就テ零ト正ノ一定應力トノ間ニ變化スル線返應力ヲ與ヘテ實驗シタ結果靜的ノ強サ大ナル硬イ銅線ハ線返應力ニ對シテ同様ニ丈夫ナモノデナイ事ヲ確メタ。試ニ前ニ舉ゲタ住友ノ銅線三種ニ對スル實驗カラ 3500000 回ノ線返ニ堪ヘル荷重ヲ定メ之ヲ夫レ夫レノ靜的ノ破壊荷重デ除シテ次ノ比ヲ得タ。

種類	軟銅線	硬銅線	珪銅線
線返應力 $kg/cm^2$	1560	1720	1750
靜的ノ強サ $kg/cm^2$	2520	4560	6530
線返荷重ト靜荷重トノ比	0.62	0.38	0.27

即軟銅線ハ靜的ノ強サニ於テ他ノ二種ニ劣ルコト甚シキニ拘ラズ變化スル荷ニ對シテハ左程弱クナイ。

銅線ノ負擔スペキ荷ヲ定メルニ當リテ引張ノ強サニ對スル一定ノ割合ヲ取レバ珪銅線最モ大ナル應力ヲ負ヒ次ニ硬銅線及軟銅線ノ順序デ次第ニ小トナル筈デアルガ若シ荷ノ性質ガ靜止的デナク週期的ノ變化ヲナス場合ニハ最モ高イ負擔ヲ蒙ル珪銅線ハ最モ不安全デ軟銅線ハ負擔ノ小ナル故安全デアル。同様ノ事ガ衝擊ノ時ニモ言ヘル故珪銅線及硬銅線ニ大ナル應力ノ負擔ヲ與ヘ軟銅線ニ小ナル應力ヲ許ス習慣ハ一見妙ナ様デハアルガ之ハ使用ノ目的上線ノ永久變形ヲ制限スル必要ガアルカラ此點ニ於テ珪銅線最モ優レ軟銅線最モ劣ル。併シ線ノ安全ヲ靜的ノ強サデ判断スル考ヘノ不當ナル事ハ明カデアル。

燒入レ及再熱ヲ適當ニ施セバ之ニ依リテ線返應力ニ對スル強サガ増ス。此事ハ普通ノ炭素鋼ニ於テモ真デアルガ特殊鋼ニ於テハ殊ニ研究ニ値スル問題デアル<sup>1)</sup> 兹ニハ詳細ヲ略シテ只此簡單ナル注意ニ止メルケレドモ材質ノ調整ガ線返應力ノ抵抗ト云フ立場カラ見テ最モ重要ナル問題ノ一ツデアル事ハ之ガタメニ少シモ影響ヲ受ケスト思フ。

1) 九州帝國大學工學部紀要, III, 1923—1925, 51頁。

以上述ベタ諸實驗ハ銅線ヲ除ク外何レモ可鍛鐵ニ就テデアツテ一般ニ鐵鋼ニ關スル此方面ノ研究ニハ尙他ニモ參考ノ價値アル者ガ少クナシ。例へバ Smith,<sup>1)</sup> Turner,<sup>2)</sup> Mason<sup>3)</sup> 等ノ論文ガ是レデアル。併シ鑄鐵及鐵以外ノ金屬ニ關スル實驗ハ比較的少イ故此方面ニ於ケル將來ノ研究ハ他ノ諸問題ト共ニ尙必要デアル。<sup>4)</sup> 此項ニ附加ヘルベキ其後ノ文献ハ其數多キモ稍古イモノデハ Gough,<sup>5)</sup> Moore<sup>6)</sup> 等ノ著書ヲ舉グ又近年ノモノヨリハ VDI 編纂ノ疲勞線圖<sup>7)</sup> 等ヲ舉ゲルニ止メヤウ。

材料ノ靜組合應力ニ對スル強サノ研究ガ進メラレタノニ連レテ繰返組合應力ノ研究モ亦實驗者ノ注意ヲ惹ク問題トナツタ。之ニ關スル稍細密ナ事柄ハ材料破損ノ法則ヲ論ズル時ニ譲リテ (XVIII 章) 兹デハ只前記ノ Turner, Mason 等ノ實驗ガ此點ニ關シテモ参考資料トナル事並ニ National Physical Laboratory ノ實驗報告<sup>8) 9) 10)</sup> 及著者自身<sup>11)</sup> 並ニ Lea<sup>12)</sup> ノ實驗報告等二三ノ文獻ヲ紹介スルニ止メヤウ。

終リニ附加ヘルベキ事ハ腐蝕疲勞デアツテ試驗片ニ腐蝕ヲ起スベキ流體中ニテ繰返應力試驗ヲ行ヘバ疲勞限度ヲ低クスル。此現象ハ水ニ於テ著シイノミデナク空氣中ニ於ケル實驗自身が程度コソ小ナルモ已ニ或ル影響ヲ有スル事ハ面白い現象トシテ注意ニ值スル。<sup>13) 14)</sup>

- 
- 1) J. H. Smith, Journal of Iron and Steel Institute, 1910, No. II, 246 頁.
  - 2) L. B. Turner, Engineering, XCII, 1911, 115 頁.
  - 3) W. Mason, Engineering, CIII, 1917, 184, 187, 211 頁.
  - 4) 資料ノ一例ハ B. P. Haigh ノ著ニアル。Engineering, CIV, 1917, 315 頁.
  - 5) H. J. Gough, The Fatigue of Metals.
  - 6) H. F. Moore and J. B. Krommers, The Fatigue of Metals..
  - 7) 246 頁脚註 2.
  - 8) T. E. Stanton and R. G. Batson, Engineering, CII, 1916, 269 頁.
  - 9) The National Physical Laboratory in 1916—1917, Engineering, CIII, 1917, 599 頁.
  - 10) H. J. Gough and H. V. Pollard, Engineering, CXI, 1936, 511 頁, 565 頁. Proc. Inst. Mech. Engineers, 1935, Vol. 131, 3 頁; 1936, Vol. 132, 549 頁.
  - 11) 九州帝國大學工學部紀要, II, 2, 1921, 117 頁。機械學會誌, XXIII, 1921, 201 頁。
  - 12) F. C. Lea and H. P. Budgen, Engineering, CXXII, 1926, 242 頁。同 222 頁參照。
  - 13) H. J. Gough and D. G. Sopwith, Engineering, CXIV, 1932, 694 頁。
  - 14) 機械學會誌, XXXVII, 1934, 8 頁。