繰返材料試験に於ける歪力-歪圖に就いて

樋 口 盛 一*

Higuchi Seiichi:—On a Stress-Strain Diagram of Repeated Load Test. On a stress-strain diagram obtained by repeated load tests, the following conclusions were drawn:— (1). Mechanical properties of test materials, such as yielding point, breaking stress, etc. can not directly be determined by load-deformation diagram or an outer moment-angle diagram as in the case of statical test. (2). A stress at any point in the test piece for repeated loading can be determined from the following three factors: (i) a load or an outer moment including its acceleration, (ii) the frequency of load or the outer moment above mentioned, and (iii) characteristic properties with respect to the natural vibration of the test piece.

(Received March 20, 1937)

I. 緒 言

疲労試験に關聯した一般の繰返試験に於て荷重, 變位圖又は外モーメント, 變位圖を以て歪力, 歪圖 又は 内モーメント, 變位圖に代用せしむるには注意を要する。即ち前者は材料内部の歪力-歪の關係を直接指示するものでない。若し此種の試験結果の整理を誤れば影響する所は甚大であらねばならない。之本稿の内容が簡單で且自明の事柄であるにも係らず茲に取立てゝ論ずる所以である。

引例として單純引張り及び振りの場合に於て先づ計算を示し後に要綱を列挙する。言ふ迄もなく繰返試験の種類は極めて多いから一々の場合に對し細部に亘つては本稿の内容に補筆を要するも大綱に於て異なる所はない。

II. 計 算

最初に片持梁の先端に繰返荷重を掛けた場合を論ずる。運動方程式は

$$\rho \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = E \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}, \quad (1)$$

茲に ρ, E は夫々梁材の密度及びヤング率にて x は梁の長さの方向を示す坐標, ξ は x 方向の變位を表はす。附帶條件は

$$\left. \begin{array}{l} \text{(i) } x=0 \text{ (固着端) ならば } \xi=0, \\ \text{(ii) } x=l \text{ (自由端) ならば } P_m e^{ipt} = -E \omega \frac{\partial \xi}{\partial x}, \end{array} \right\}$$

茲に p は荷重の $2\pi \times$ 振動數, $P_m e^{ipt}$ は外力を表はす。 ω, l は夫々梁の切口の面積及び其長さとする。

扱て振動が定常状態に達した場合に於ては次の解が得られる。

$$\xi = -\frac{P_m}{E \omega \alpha \cos \alpha l} \sin \alpha x e^{ipt}, \quad (2)$$

$$\text{茲に } \alpha l = p \sqrt{\frac{\rho}{E}} l. \quad (2_1)$$

従つて動的歪力は

$$E \frac{\partial \xi}{\partial x} = -P_m \frac{\cos \alpha x}{\omega \cos \alpha l} e^{ipt}. \quad (3)$$

又最大歪力は $x=0$ に起り其大きさは

$$E \frac{\partial \xi}{\partial x} = -\frac{P_m}{\omega \cos \alpha l}.$$

静的荷重と動的荷重とを等しとすれば静的歪力は次式によつて與へられる。

$$E \frac{\partial \xi}{\partial x} = -\frac{P_m}{\omega}. \quad (4)$$

今 (外力/切口), 歪圖をかけば固着端に於ては

$$\left. \begin{array}{l} \text{静的;} \quad \frac{P_m}{\omega} = E \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right), \\ \text{動的;} \quad \frac{P_m}{\omega} = E \cos \alpha l \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right). \end{array} \right\} \quad (5)$$

即ち静的傾斜 E に對し動的傾斜は $E \cos \alpha l$ となり動的見掛けのヤング率が常に静的ヤング率よりも小なることを示す。

(2) 式より明かなる如く此場合の共鳴振動數は $(\alpha l) = \kappa \times \frac{\pi}{2}$ (κ は奇數) に相當する。従つて (2₁) 式に於て $\sigma = 2\pi \times$ 自由振動數を導入せば

$$\alpha l = \kappa \frac{\pi}{2} \frac{p}{\sigma}$$

となる。第 1 圖は繰返荷重の振動數が増大せば $\frac{p}{\sigma}$ のコ

* 東北帝國大學工學部機械工學科

(1) 簡單の爲め抵抗を無視す。次の例も同様。

サインに比例して傾斜が減少する模様を示してゐる。⁽²⁾但し便宜上 $E=1$ と取つた。

次に第二の例として弾性棒の繰返振りの場合に就て論ぜん。

一端固着の弾性棒の他端にある重錘に繰返外モーメントが働き次の運動方程式が成立するものとす。

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + c^2 \theta = M (=M_m e^{ipt}), \quad (6)$$

茲に I = 棒の端に於ける重錘の慣性能率,

$$c^2 = \frac{\pi n r^4}{2l}, \quad n \text{ は剛性率, } r \text{ は半径, } l \text{ は全長, } M \text{ は外モーメント, } \theta \text{ は振り角, } \frac{p}{2\pi} \text{ は其振動数である。}$$

又 $M = M_m e^{ipt}$ と置くことが出来る。

振動が定常状態に達した時の解は

$$\theta = \frac{M_m}{c^2 - I p^2} e^{ipt} = \frac{M_m}{c^2 \left(1 - \frac{p^2}{\sigma^2}\right)} e^{ipt}, \quad (7)$$

茲に $\sigma = 2\pi \times$ 自由振動数である。従つて内モーメントは

$$c^2 \theta = \frac{M_m}{1 - \frac{p^2}{\sigma^2}} e^{ipt}. \quad (7_1)^{(3)}$$

外モーメント M_m なる静的の振り角は

$$\theta = \frac{M_m}{c^2}. \quad (8)$$

今 M_m, θ 線圖

を作り之に静的及び動的の値を取れば第二圖を得。圖に於ては便宜上 $c^2=1$ に取つた。此場合の外モーメント, 振り角の關係は次式で與へられる。

第 2 圖

(2) $\frac{p}{2\pi} < (\text{第一共鳴振動数})$ の範圍を論ずる。次の例も同様とす。

(3) 此ものは勿論次のものに等しい。 $c^2 \theta = -I \theta'' + M_m e^{ipt}$ 。

$$\left. \begin{aligned} \text{静的, } M_m &= c^2 \theta, \\ \text{動的, } M_m &= c^2 \left(1 - \frac{p^2}{\sigma^2}\right) \theta. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

前と同様、動的の見掛けの弾性率は静的弾性率より常に小で振動数の増加するに従つて愈々小となる。

本例は繰返荷重による傾斜が荷重の外其振動数と試験片の振動特性によることを殊に明瞭に表はしたものである。

III. 要 綱

上記計算によつて得られた主要なる部分を摘録する。

(i) 繰返試験による材料内部の歪力は荷重による外その振動数と該試験片の振動に對する特性によつて定まるものである。荷重は歪力の主要なる因子であるが一般に之のみによつて内歪力は決定されない。同様に外モーメントのみによつて内モーメントは決定されない。

(ii) 従つて $\frac{(\text{荷重の質量}) \times (\text{同加速度})}{(\text{試験片の切口面積})}$ は單に着力點の歪力を與ふるのみで是は必ずしも材料内部の最大歪力と一致しない。

(iii) 荷重, その振動数及び試験片の振動特性を以つて内部歪力を算出することは一般には複雑であるが實驗的に變位より歪を知り弾性限内として之に弾性率等をして直接に歪力の求められることは静的試験の場合と同様である。

(iv) 上記 $\left(\frac{\text{荷重}}{\text{切口}}\right)$, 歪曲線を静的及び動的試験につき同一圖上に表はせるものは實用上便利であるが次の諸點に注意するを要する。

(a) 此線圖では原點に近き直線部分と雖も静的と動的試験の結果は互に重り合はない。動的試験の結果は常に静的試験の結果よりも傾斜角が小さい。且此傾斜角は荷重の振動数の増大するに従つて小となる。

(b) 故に上の圖より其まゝ静、動的降伏點、破斷界等を決定し比較することは誤謬である。之より得たる動的の降伏點、破斷界は常に過小に見積もられてゐる。

(c) 此圖から正しい降伏點、破斷界等を得るには之を歪力、歪圖に改めることが必要である。この計算は梁の種類、繰返負荷の方法によつて其趣を異にし既に述べたる如く一般には複雑である。⁽⁴⁾

(4) 筆者は各種の梁及負荷條件に對する繰返曲げ振動の計算を或制限出版物に投稿した。

結 論

材料の靜的及び動的機械性質の比較に普通行はれてゐるやうに外力又は外モーメント、變位線圖を以つてすることは誤謬に陥り易きことを指摘し之を單なる張力及び

戻りの場合について説明し上記の圖を歪力-歪圖に改むる爲必要なる計算の例を示した。

本稿は本多先生の指導のもとに行つたものである。茲に感謝の意を表する。

固溶體に於ける溶解度變化を有する合金の熱處理による性質の變化、特に鋼の焼戻脆性の原因に關する理論に就て (I)

工 學 士 横 山 均 次*

Kinji Yokoyama:— On the Cause of Temper-Brittleness in Steels and Analogous Phenomena in Some Age-Hardening Alloys. According to the theory on the cause of temper-brittleness in steels introduced by Profs. Honda and Yamada, the phenomenon is due to the presence of the carbides separated on the grain boundaries along the solubility line below the A_1 point. Several observed facts connected with the temper-brittleness can satisfactorily be explained by the above theory although there is no definite microscopic evidence for the boundary carbides in brittle specimens. The age-hardening in alloys by heat treatment is also closely connected with the change in solubility in solid solution. The two phenomena, therefore, are related to each other with respect to the solubility change in solid solution; hence steels susceptible to temper-brittleness should show the ageing phenomenon and age-hardening alloys should have a property similar to the temper-brittleness in steels. In this view, the temper-brittleness in steels can be dealt with as a property common to all metallic alloys with varying solubility in solid solution. In some of these age-hardening alloys, the mechanism of temper-brittleness in steels can favourably be studied by the reasons that (1) microscopic observations of the existence of compounds on the grain boundaries are possible, (2) the physical properties of such solid solutions are comparatively well known. In the first part of this investigation, the existence of both temper-brittleness and age-hardening was first confirmed in 3 carbon steels, 7 nickel-chromium steels, chromium steels, nickel steel, Duralumin, aluminium-copper alloy containing 5.5 per cent. copper, 18-8 stainless steel and Corson alloy containing 4 per cent. Ni_2Si by means of impact and hardness tests. The effect of the boundary compounds on the impact values of these alloys was then examined microscopically as well as mechanically on these non-ferrous alloys and also on 18-8 stainless steel subjected to several kinds of heat treatments. It was concluded that the cause of the brittleness in these materials is due to the presence of the compounds on the grain boundaries. Thus the carbide theory on the temper-brittleness in steels was experimentally confirmed. In the second part of the investigation, the effect of the presence of solid solution-phases separated out on the boundaries of the crystal grains on the mechanical properties of the alloys was examined also microscopically as well as mechanically on the age-hardening alloys, such as copper-iron alloy containing 1.31 per cent. iron, copper-silver alloy containing 4.81 per cent. silver and iron-copper alloys containing about 2 per cent. copper. It was found by the experiments that there are two kinds of age-hardening alloys with or without the properties similar to the temper-brittleness in steels, depending on the relation between the hardness of a phase separated out on the grain boundaries and that of the ground mass of the alloys; i. e. the copper iron alloy with harder phase on grain boundaries is the former case, while the copper-silver or iron-copper alloy with softer phase on grain boundaries the latter. From these results, the general elucidation on the change of the properties in the age-hardening alloys caused by heat treatments was given.

(Received March 29, 1937)

* 東京工業大學機械科