

を満足してゐる。驗算の爲めに之を上式に代入すれば

左邊第1項=0

$$\begin{aligned} \text{左邊第2項} &= \lim_{\varepsilon_1 \rightarrow +0} \frac{p}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1-t_1^2}{1+t_1^2} Q(s_1, t_1) dt_1 = \lim_{\varepsilon_1 \rightarrow +0} \frac{p}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left(-1 + \frac{2}{1+t_1^2} \right) Q(s_1, t_1) dt_1 \\ &= p \frac{1-s_1^2}{(1+s_1^2)^2} + \lim_{\varepsilon_1 \rightarrow +0} \frac{p}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{1+t_1^2} Q(s_1, t_1) dt_1 \end{aligned}$$

となるが

$$\begin{aligned} \lim_{\varepsilon_1 \rightarrow +0} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{1+t_1^2} \frac{(s_1-t_1)^2 - \varepsilon_1^2}{\{(s_1-t_1)^2 + \varepsilon_1^2\}^2} dt_1 &= \pi \frac{s_1^2 - 1}{(1+s_1^2)^2} \\ \lim_{\varepsilon_1 \rightarrow +0} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{1+t_1^2} \frac{\varepsilon_1}{(s_1-t_1)^2 + \varepsilon_1^2} dt_1 &= \frac{\pi}{1+s_1^2} \end{aligned}$$

であるから

$$\text{左邊} = p \frac{1-s}{(1+s^2)^2} - p \frac{(1-s^2)^2}{(1+s^2)^3} - 2p \frac{1-s^2}{(1+s^2)^3} = -2p \frac{(1-s^2)^2}{(1+s^2)^3} = \text{右邊}$$

となる。即ち、正しい事が驗算された。尚ほ、 γ は任意の常數であるから、

$$\gamma = 0$$

とすれば、 U_1 及 V_1 の境界條件は

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ V_1 \end{bmatrix}_{s_1} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{p}{2} \frac{1-s_1^2}{1+s_1^2} \end{bmatrix}$$

である。故に、其の解は

$$U_1 = 0 \quad V_1 = \frac{p}{2} \left\{ \frac{2(Y+1)}{X^2 + (Y+1)^2} - 1 \right\}$$

である。之を元の變數に戻せば、 ϕ の所要の解として

$$\phi = \frac{p}{2} y^2$$

を得る。尚ほ、 α 及 β の値を計算すれば

$$\alpha = 0 \quad \beta = p \quad \text{なる事が再確認される。 (昭 23. 4. 13. 受付)}$$

繰返應力による構造物の疲労強度とその壽命について

正員, 工博 小西 一郎*

Fatigue Strength and Life of Structure receiving the Repeated Stress.

By Dr. Ichiro Konishi, C. E. Member

要旨。本文は極限状態の1場合として、金属材料を用いた構造物が繰返變動應力を受けた場合の疲労強度並にその壽命に就き實驗並に基礎的考察を行つたものである。

Summary.

This article explains the experiments and fundamental studies made on the fatigue strength and the life of a metal structure receiving repeated stress.

* 京都大學教授 工學部土木工學教室勤務

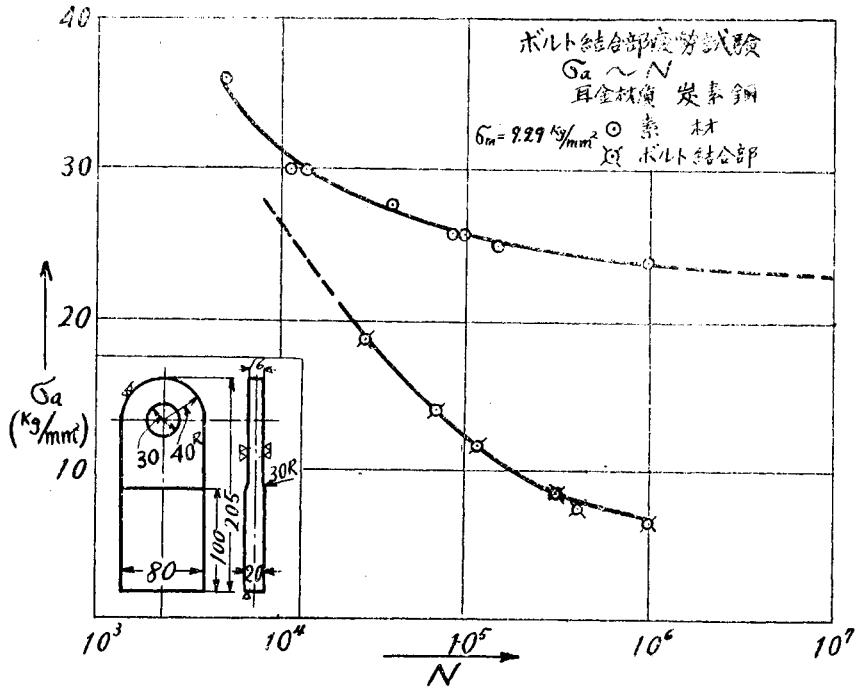
目 次	
1. 緒 言	5. 繰返変動應力を受ける構造部材の疲労強度
2. 構造物の時間強度	6. 重復應力を受ける構造部材の疲労強度に関する 実験的研究
3. 構造結合部の時間強度	7. 寿命の推算
4. 繰返荷重の性質並に頻度	8. 結言

1. 緒言 構造物がその目的に對し最も合理的に設計せられてあつたか否かは、單にその構造物が現在充分實用されているとか、又何等の異常なく作用しているとか言う點だけでは簡単に判斷出来ない。その問題の本質に遡つてその構造物の實狀を最もよく反映した状態にて考察すべきであり、又その保有する終極強度についての明確な解答を基礎とすべきである。茲に構造物の極限状態附近を考察する意義が存在するが、その極限状態なるものには種々の相がある。即ち靜荷重の作用を受ける構造物では弾性破損、破壊、弾性不安定等があり、又動的荷重の作用を受ける構造物では繰返應力及衝撃應力による破損、振動應力による弾性不安定等がある。實際の構造物はその性質によつて靜的荷重、繰返荷重、衝撃荷重が作用するから、これ等の作用状態は忠實に反映する必要があり、而もこれ等の荷重状態によつて夫々上記の如き極限状態が考えられ、それ等の極限状態の内最小値がその構造物の極限荷重となるのである。本文は極限状態の 1 場合として金屬材料で構成した構造物が繰返應力の作用を受ける場合の疲労強度と寿命に關する研究であつて、昭和 17~20 年に行つたものである。

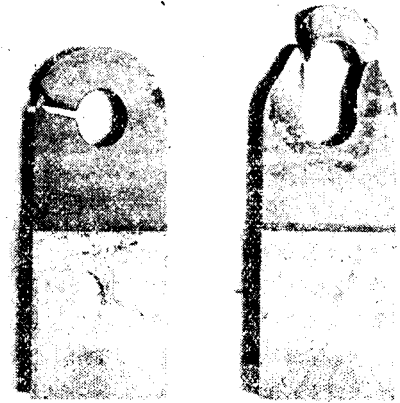
2. 構造物の時間強度 構造物の疲労強度は、その構成各要素の疲労強度の最低値にて與えられる。而して構造物を構成する材料については、單純應力を受けた場合の耐久限疲労強度は古くから實驗的に研究され、又組合應力による耐久限疲労強度も實驗的並に假設論的に研究されている⁽¹⁾。然しこれ等は材料的な疲労強度の問題であり、これを一般構造物に應用するには相當の困難がある。即ち(i)構造物では材料の性質以外に鉚孔、ボルト孔切欠き、鉚の弛緩及面壓等の種々の因子が混合するので、材料の疲労現象のみでは解決されない。(ii)構造物は繰返荷重を受け一定振幅の繰返應力を生ずる場合もあるが、一般には種々不規則に變化する變動荷重を受ける。(iii)構造物は實用上永久的耐久性質を要求されるので、その寿命は作用する荷重については ∞ であることを要求する。又或場合には寿命を限定して一定時間安全を保證する如く要求されることもあるが、この場合には作用荷重の大きさのみならず荷重の大きさ種類に應じた夫々の繰返回数を指定する必要がある。(i)の問題については O. Grat,⁽²⁾ F. Bollnath,⁽³⁾ H. Cornelius, B. P. Haigh⁽⁴⁾, T. S. Robertson, E. Hottenrott⁽⁵⁾, H. Bürnheim⁽⁶⁾ 諸氏の研究並に萬國橋梁構造物學會第 2 回國際會議提出論文中に鉚接、熔接部材についての實驗的研究がある。又(ii)及(iii)の變動外力の確認とこれを機械部分設計に應用しようとする試みは、W. Kloth,^{(7),(8)} Th. Stroppe⁽⁸⁾, W. Kaul,⁽⁹⁾ H. Krumbholz⁽¹⁰⁾ などの諸氏によつて發表せられている。以上(i)(ii)(iii)を併せ考えると、繰返應力の影響を單に材料に關する在來の耐久限及切欠き係數 β を基にして考察しただけでは不十分であり、又構造部材について行われた上記諸氏の時間強度に關する研究は何れも一定振幅の繰返應力によるものであつて、變動應力を受ける場合の時間強度と直接結びつけることは困難である。そこで著者は繰返應力を受ける場合の構造物の疲労強度とその寿命を確認するため、綜合的に次の 5 項目について實驗的に假設論的研究を進めた。

3. 構造結合部の時間強度 構造物の結合部は諸因子によつて靜的荷重に對してと同様に繰返應力に對しても弱點を形成するので、構造物の疲労強度は結合部の疲労強度によつて左右される。而して變動荷重を受ける場合は、一定振幅應力による耐久限疲労強度と異なり、有限回繰返に對する強度即ち時間強度によつて吟味すべきである。斯様な觀點から供試體として採用した構造例式は次の 3 種である。(1)有孔鉚(材質超デユラルミン)。(2)桁フランジ結合部(超デユラルミン)。(3)ボルト結合部(超デユラルミン、炭素鋼、Cr Mo 鋼)。使用試験機は Lo enhau en 60 t 繰返荷重試験機であつて、1 例としてボルト結合部について説明すれば次の通りである。即ち試験片は「ありばー」の兩端結合部の如き構造として且寸法を可及的實物に近くして疲労強度に及ぼす寸度影響を少くした。これに繰返速度 500 回分を以て一定振幅應力を破斷に至る迄連続負荷した結果は、圖一に示す通りである。靜及繰返荷重試験ともに耳金にて破斷し、ボルトは破斷しなかつた。なお耳金の破斷は寫眞の如く靜荷重では何れの材質でも剪斷によるが、繰返荷重では何れも限もに對する最小斷面に於ける引張破壞で、その破斷面は引張方向と直角をなす平滑な疲労破面である。今構造物に於ける時間強度が素材のそれより遞減する状態を知

圖一



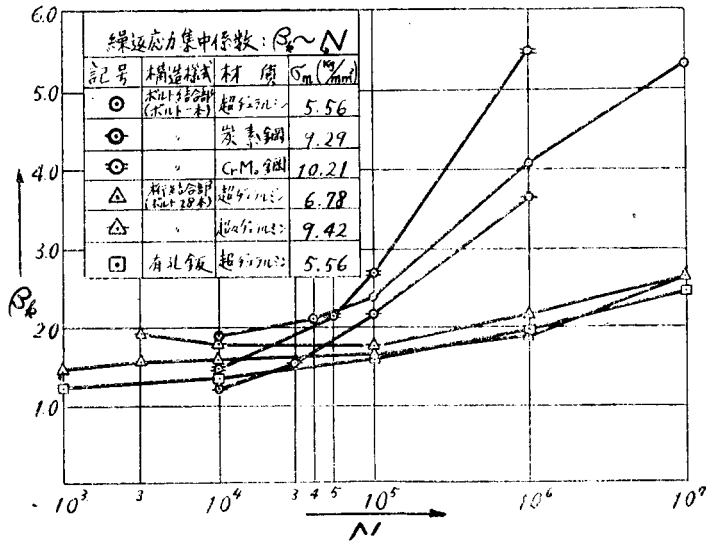
写真一



る値として、同一平均應力 σ_m のもとで同一指定繰返數で破壊する素材の應力振幅 σ_a と構造物の應力振幅 σ_{ak} との比 $\beta_k = \sigma_a / \sigma_{ak}$ を用い、これを繰返應力集中係数と呼ぶことにする。この β_k は各指定繰返數に對して夫々求められるが、本研究で行つた各種構造様式の供試體の試験結果から β_k を求めて圖示すれば圖一の如くである。従つて素材の時間強度曲線さえ既知ならば、時間と費用のかかる構造物の實驗を行わなくても、此等の資料を基にして構造物の時間強度を推算し得るわけである。

4. 繰返荷重の性質並に頻度 構造物に作用する繰返應力は構造物の性質によつて (1)平均應力 σ_m と應力振幅 σ_a とが何れも一定、(2)一定の σ_m と σ_a とを持つた繰返應力の數種が重複する、(3) σ_m 並に σ_a が種々不規則に變化する(變動應力)、の何れかである。この繰返應力の性質とその荷重頻度については、機械 航空關係では相當の研究があるが、土木關係では今迄統計的に調査せられたものがない。土木構造物に働く繰返外力としては運行並に轉行荷重、風荷重、地震荷重等があり、之等の現況と將來の趨勢とを考へて荷重の大きさ、頻度を調査する必要がある。今部材の繰返應力の變化する大きさの關係を示すため、應力の大きさの基準値としてその構造物の自重による應力をとり之を 1g による應力と表す。然らば上の(3)の場合には圖一(1)に示す如く σ_m σ_a が共に不規則に變化し、繰返應力の最も一般的な變化狀態である。この様な變動應力とその變化狀態を變化することなく、そのまま實驗又は計算で追跡することは不可能であるから、この場合の構造物の強度は次の順序によつて研究することを提案する。(i)變動荷重を分析して、その繰返強度の性質を變化せしめずに單一又は單調なる繰返荷重に變換する。(ii)かゝる單一又は單調變化の重複繰返荷重を受ける構造體の強度

圖-2



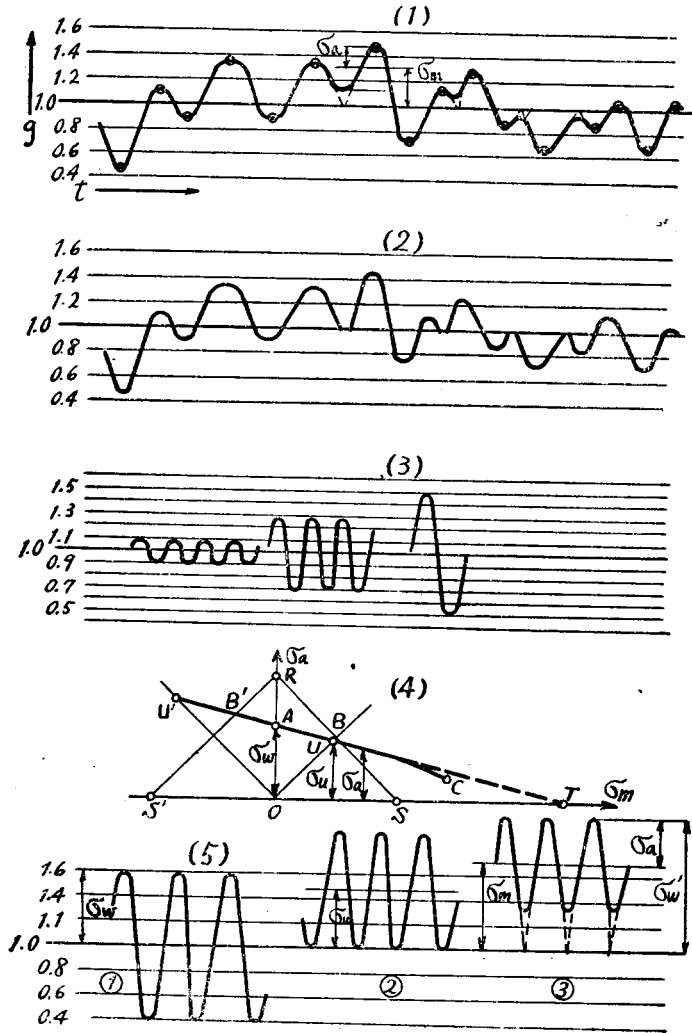
について研究する。この種の變動荷重に對する構造體の強度に關しては影響する因子が極めて多いから、在來の研究結果の單なる利用のみでは解決することが困難である。そこで(1)については負荷の順序の變換が繰返強度に影響を與えないものと假定して荷重頻度を整理した著者の方法は次の如くである。即ち變動應力が圖-3(1)の如く、1g 應力を中心とし上下に作用する荷重頻度が殆ど相等しい場合を考えて、(1)1g を中心とし適當な距離 Δg にて應力曲線を斷ち、1g より大なる應力側は極大點の數を、又 1g より小なる應力側は極小點の數を計算する。なお 1g に復歸しない部分については圖-3(1)に點線で示す如く 1g に復歸したものと強度上等しいものとする。かくすれば圖-3(1)に示す變動應力は圖-3(2)の如く 1g の兩側に於ける山及谷の連続したものになる。而して 1g の兩側に於て現われる山形の頻度は殆ど相等しいから、各 Δg の區劃内に入る山又は谷をその區劃の中央の高さで代表させ、且繰返の順序を適宜變更することによつて、圖-3(2)は更に圖-3(3)の如くなるはずである。(2)圖-3(1)にて對稱軸 1g と交らない山又は谷については、圖に示す如く或平均應力 σ_m と繰返應力振幅 σ_a とを有する繰返應力の $1/2$ 振動又はその倍數と考えることが出来る。かくして求めた σ_m 及 σ_a を或一定の區分により各區分の σ_m 及 σ_a で代表せしめると、圖-3(1)に示す繰返變動應力は各階の σ_m につき各階の σ_a を有する系列の一定繰返應力振幅の應力の總和と看做すことが出来る。以上(1)及(2)に示す方法を比較すると次の様である即ち材料の疲労試験結果によれば、 σ_m と σ_a との關係は或指定繰返數につき圖-3(4)の如く $\sigma_m \sim \sigma_a$ 座標面内で同一直線上に乗り、而もこの直線は σ_m 軸上の眞の破斷應力 σ_r に相當する點を通過する⁽¹⁾。従つて一定指定繰返數に對し同一繰返強度を有する繰返應力は圖-3(5)の通りになるから、(2)の方法によると圖-3(5)③が同圖①と同一強度を有するものなるに拘らず、(1)の方法では同圖③の點線で示す σ'_m を以て代表せしめることになり、明かに(1)の方法は(2)の方法に比べて安全側になる。なお(1)及(2)の何れの方法でも繰返應力の順序を無視して整理したが、嚴密に言えばこれが強度に及ぼす影響についての 検討を 必要とする。以上の點を考慮して茲では安全側の(1)の方法を用いることにする。次に繰返應力を整理した上述の觀點からその生起頻度の整理方法を考えよう。或應力の起る絶対頻度 H_i は測定時間その他に關係するから、之に無關係な相對頻度 h_i を用いる。即ち、

$$h_i = H_i / \sum H_i = H_i / N \quad \text{但し} \quad N = \sum H_i \dots \dots \dots (1)$$

今或構造物がその運用に際し安全を保證さるべき應力として十側は $n_1 g$ 應力、一側は $n_2 g$ 應力が極限として與えられ、之等の間で種々各様に變動する應力を受けるものとする。

この構造物の應力の變動狀況を實測し、變動應力が $n - \Delta n/2$ と $n + \Delta n/2$ との間となる回數を h_i とすれば、これを圖上 (n, h_i) の座標點にとる。斯様な應力實測結果は n_1 と n_2 との間分布し、大負荷の生ずる頻度は小

圖一三 變動應力分析圖



應力の生ずる頻度より小であるから、長期間の運用に際しては n_1 と $-n_3$ との中心を中點として、その左右に運用される頻度は大體等しいものと考えられる。かくすれば長時間の應力頻度は $(n_1 + 1n_3)/2 + n_3$ を中心とする Gauss の正規函數と看做して差支ない。今運用中の兩極限應力状態を夫々 $x=1, -1$ とし、その間の應力階を總べて x で整理すれば、

$$h_i = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} \cdot \Delta x = \varphi(x) \cdot \Delta x \dots \dots \dots (2)$$

茲に
$$h^2 = \frac{1}{2\sigma^2} \dots \dots \dots (3)$$

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 \frac{k}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} \cdot dx = \sum_{-\infty}^{\infty} x^2 \cdot \frac{k}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} \cdot \Delta x = \sum_{-\infty}^{\infty} x^2 \cdot h_i^2 \dots \dots \dots (4)$$

従つて實測値 h_i を用いて(4)式より σ^2 , (3)式から h を求めると正規函數の形が決定され、相對頻度は(2)式から計算されるわけである。又或應力 x より大なる應力の生ずる頻度を S とすれば、

$$S = \int_x^{\infty} \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} dx \dots \dots \dots (5)$$

となり、この値を應力 x に對してとつた曲線を加算相對頻度曲線と言う。次に變動應力の生起回数は單位時間に生起する荷重の回数、 ν で表わすことが出來、この ν は各種條件下に於ける測定結果より統計的に決定せられるものである。この値が判れば T 時間についての荷重頻度 N は

$$N = \nu \cdot T \dots \dots \dots (6)$$

かくして相對頻度 h_i と ν とが判れば、絶對頻度 H_i は(1)及(6)式より

$$H_i = h_i \cdot N = h_i \cdot \nu \cdot T \dots \dots \dots (7)$$

5. 繰返變動應力を受ける構造部材の疲労強度 前節の方法によつて繰返變動應力を圖—5(3) の如く整理すると、一定振幅の繰返應力群が得られるが、これによる強度は多段繰返應力試験によつて求められるものである。今2段繰返應力の場合を考えるに、繰返應力 σ_1, σ_2 に於ける時間強度が夫々 N_1, N_2 なる時、 σ_1 を n_1 回負荷してから應力 σ_2 に變換して n_2 回負荷し破斷したものとすれば、

$$n_1/N_1 + n_2/N_2 = 1 \dots \dots \dots (8)$$

なる關係が成立することが認められている⁽¹²⁾。この場合を擴張して一般に m 段の繰返應力を考えると

$$\sum_{i=1}^m (n_i/N_i) = 1 \dots \dots \dots (9)$$

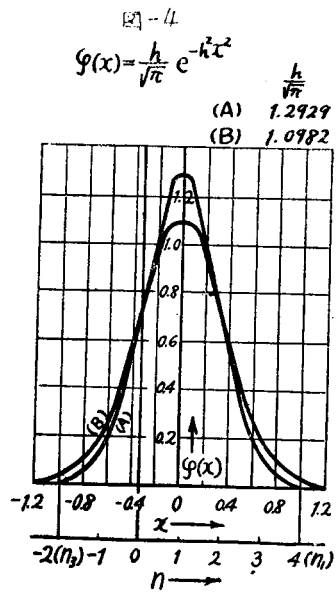
なる關係が成立する⁽¹²⁾。茲に N_i は構造部材の單一振幅の繰返應力に對する時間強度を表し、素材について行つた疲労試験結果と繰返應力集中係數 β_k とから求め得るものである。次に n_i は應力の繰返頻度であつて、(7)式より

$$n_i = h_i \nu T \dots \dots \dots (10)$$

これを(9)式に代入し、 m 段の繰返應力によつて破壞に至る迄の繰返數 N 及時間 T 即ち壽命を求めると、

$$\sum_{i=1}^m (h_i \nu T / N_i) = 1 \quad \therefore N = \nu T = 1 / \sum_{i=1}^m (h_i / N_i) \dots \dots \dots (11)$$

$$T = 1 / \{ \nu \sum_{i=1}^m (h_i / N_i) \} \dots \dots \dots (12)$$



6. 重複應力を受ける構造部材の疲労強度に関する實驗的研究 前節(12)式の實用性を確認するため、實驗操作の可能な範圍内で重複荷重により構造結合部の疲労強度を實驗的に研究した。供試體としては3節で述べたと同一構造のボルト結合部(耳金材質 CrMo 鋼)を使用した。(i) 静荷重試験: 極限應力を耳金最小擴張斷面部の公稱引張應力で示せば、3 試験片の平均値として $\sigma_B = 58.63 \text{ kg/mm}^2$ を得た。(ii) 負荷頻度: 各種大きさの負荷の繰返數の割合は4節で述べた負荷頻度の統計的整理法によつて得た2種の相對頻度曲線 A 及 B を採用した。圖—4 はこれを圖示したもので、 $\varphi(x)$ に於ける $h/\sqrt{\pi}$ の値は A, B に對し夫々 1.2929, 1.0982 である。今この構造結合部の使用上の兩極限應力を夫々、 $n_1 = 4g$ 應力、 $n_3 = -2g$ 應力とすれば、圖—4 に於て $x=0$ に相當する點は $(n_1 + n_3) \cdot 2 + n_3 = 1$ 、即ち $1g$ 應力を平均應力として $n_1 = (1+3)g$ 、 $n_3 = (1-3)g$ の範圍内で各種各様に變動する繰返應力を受けることになる。而して x と $x + \Delta x$ との間の負荷の相對頻度 h_i は(2)式より

$$h_i = \int_x^{x+\Delta x} \varphi(x) dx \approx \varphi(x) \cdot \Delta x$$

圖—5 は $\Delta x = 0.1$ として負荷の大きさ x 或 n とこの負荷の生ずる相對頻度 h_i との關係を示したものであり、重複應力試験ではこれに示した相對頻度 h_i の割合で負荷するわけである。なお繰返變動應力の最大値即ち $n_1 = 4g$ 應力を受けた時、この結合部がその靜的極限應力に對して安全率、

$s=1.5$ を有するものとすれば、極限応力 $\sigma_B=1. \times 4g=6g$ 応力

$$\therefore 1g \text{ 応力} = 1/6 \cdot \sigma_B = 1/6 \cdot 58.63 = 9.77 \text{ kg/mm}^2$$

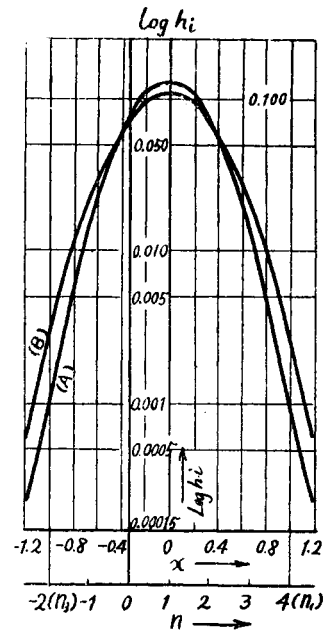
然るに $\sigma_m=1g$ 応力であるから、 $\sigma_m=9.77 \text{ kg/mm}^2$ とする。

(iii) 一定振幅繰返応力試験： $\sigma_m=9.77 \text{ kg/mm}^2$ を以て一定振幅 σ_i を繰返した場合の時間強度は圖一六 右側曲線で示したものである。

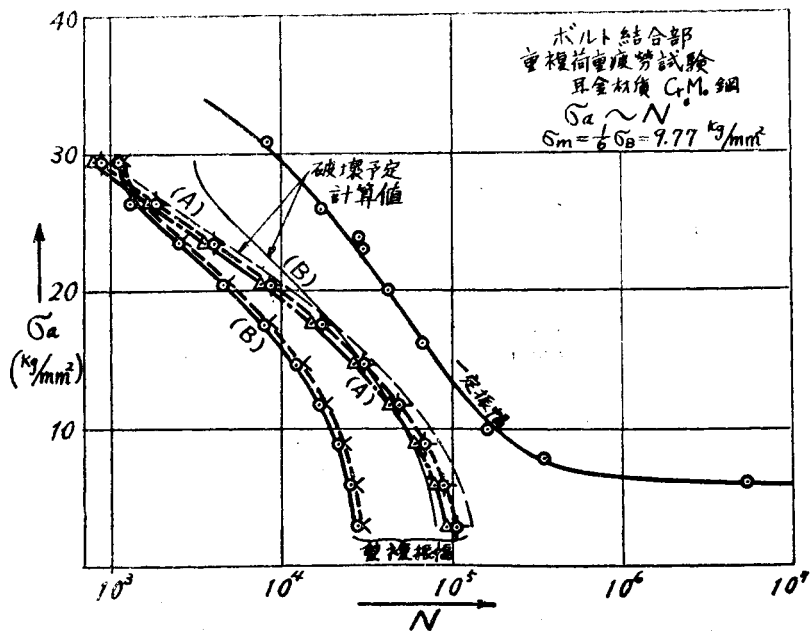
(iv) 重複繰返応力試験：圖一五 に示した相対頻度 h_i の割合で各階の応力を繰返し重複負荷して破壊に至らしめるがその負荷の順序は圖一七 に示す如くである。即ち小応力より順次階段状に負荷し最大応力に達すれば前と逆に次第に応力を減減し、斯様な組合せを繰返して破壊する迄実験を續行する。大応力部の負荷は試験機の構造性能に制約せられ自動的に負荷することが出来ず止むを得ず圖一七 右側に示す如く大応力部は取り出し別に負荷用ハンドルを手動で操作して負荷することにした。A, B 各負荷状態について夫々 2 回の実験を行った結果は圖一六 左側で重複振幅と註記した 4 本の曲線である。この曲線は重複繰返応力試験の結果得られた破壊時の各応力階の積算繰返数と之に應ずる繰返応力振幅 σ_a とを $\sigma_a \sim N$ 面にとつたものであつて 1 回の重複繰返応力試験から 1 本の曲線が得られるわけである。

7. 寿命の推算. 圖一六 に示す一定振幅繰返応力試験結果を用いて $\Delta x=0.1$ とした各応力階の時間強度 N_i を求め次に各応力階に於て與えられた相対頻度 h_i から h_i/N_i を求め $\sum h_i/N_i$ を計算すると疲労破壊に至る繰返数 N は(11)式より求めることが出来る。今假りに $\nu=150$ 回/時と

圖一五 相対頻度曲線



圖一六



すれば構造物の寿命 T (時)は(11)式より $T=N/\nu=1/\{150 \sum_{i=1}^m (h_i/N_i)\}$ として求められる。前節で取扱つたボルト結合部が A 及 B の応力頻度分布を受けた場合につき以上の計算を行いこの結果を圖一六 上に示せば破壊豫定計

算値と註記した細線の如くであり又前節で行つた重複應力試験結果と比較すると表 1, 2 の通りである。

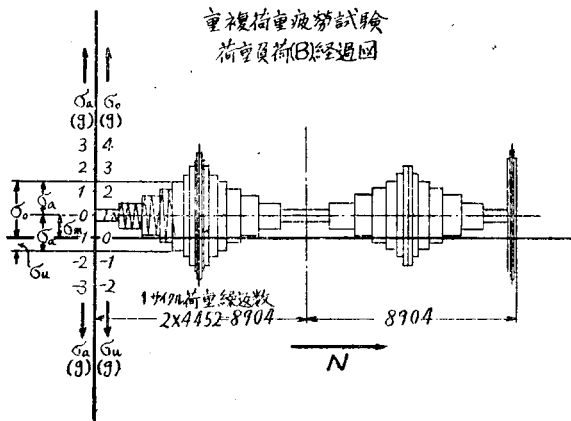
表—1

	計 算 値	實 験 値		(實驗値/計算値)×100%		平 均
		No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	
A	4.33×10^5	3.14×10^5	3.67×10^5	72.5	84.6	78.6
B	2.99×10^5	1.21×10^5	1.29×10^5	40.4	43.1	41.8

表—2

	静的保有安全率	破壊に至る積算繰返數 N	破壊に至る時間 T
A	1.5	4.33×10^5	2885時間
B	1.5	2.99×10^5	1'95 "

圖—7



(i)破壊に至る積算繰返數 N を見るに表—1 の如く實驗値は計算値の概ね(0.85~0.4)倍である。

(ii)本ボルト結合部は静的引張應力に對して安全率 $s=1.5$ を有するが、變動應力の分布状態の異なる A 及 B の2つの負荷状態については破壊に至る繰返數 N は表—2 の如く異なり、従つて又繰返荷重頻度 $\nu=150$ 回時とした時の壽命も A, B によつて表—2 の如く異つてゐる。

(iii)重複繰返應力強度と一定振幅繰返應力強度との比較：重複應力試験によつて求めた N と同じ繰返數で破壊に至る一定振幅繰返應力の

應力振幅 σ_{ar} を 圖—6 より求め、之を重複應力中の最大振幅(±3 σ 應力)と比較し更に換算繰返應力の上限應力 $\sigma_{or} = \sigma_m + \sigma_{ar}$ を靜荷重による極限應力 σ_B と比較すれば表—3 の如くである。これは繰返變動應力中の最大

表—3

	換算一定振幅繰返應力		換算應力振幅 σ_{ar} の重複應力中の最大應力振幅に對する%	換算上限應力 σ_{or} の σ_B に對する%
	σ_m (kg/mm ²)	σ_a (kg/mm ²)		
A	9.77	7.5	25.6	29.5
B	9.77	8.3	28.3	30.8

應力即ち n_y 應力=4 σ 應力=4×1.6 $\cdot\sigma_B$ (66.7%) σ_B と比較することによつて、繰返變動應力による影響を或程度把握出来るわけである。

8. 結言 繰返應力の最も一般的な性質を持つてゐる變動應力が構造物に作用した場合の疲労強度については、實驗的にはその變動應力状態を忠實に追従することが不可能であるばかりでなく、又構造物を對象とする大仕掛な疲労試験を必要とし、その實行は容易でない。そこで著者は構造物構成素材の時間強度曲線を基準とし、次の順序によつて構造物が變動繰返應力を受ける場合の疲労強度及壽命の推算を行うことを提案した。(i)一定振幅の繰

返應力による構造物の時間強度を、素材の時間強度と繰返應力集中係数 β_c (圖一2) とを用いて求める。(ii) 變動繰返應力を分析して、繰返強度に出来るだけ影響を與えないように一定の σ_m と σ_a とを有する繰返應力の重複したものに變換する(圖一3)。この整理法によつて、變動應力の有限個の測定結果を統計的に整理して相對頻度 h_i の分析即ち相對頻度曲線及加算頻度曲線を求める((I)~(5)式)(iii) 構造物の時間強度(i)と相對頻度曲線(ii)とより、構造物が變動繰返應力を受けた場合の疲労強度を(11)式により求める。

又(12)式を用いると(12)式より壽命を推算することが出来る。なお(11)式による計算値は表一1に示す如く、6節で求めた實驗値の(0.85~0.4)倍となつた。本實驗では圖一7に示す如く負荷の途中で正負繰返應力の作用する部分があり、ボルトとボルト孔との間筧の存在のため衝擊的繰返應力が500回/分の速度で負荷されているが、これらの衝擊作用は(11)式には考慮されていない。一般に衝擊作用が多い程計算値と實驗値の差違は著しくなる筈であるが、このことは表一1に示された2種の試験中衝擊作用の多い負荷頻度Bによる實驗値がこれよりも衝擊作用の少い負荷頻度Aによるものよりも計算値との差違の大きいことによつても明である。従つて衝擊作用を伴わない變動應力に對しては(11)式による計算値は概ね實驗値と一致するものと認めても差支はないものと思う。なお本文で荷重頻度の取扱方について述べたものは變動應力中の最も一般的な場合を對象としているから、繰返應力の波形が單純な場合は、上述したものゝ特別な場合として取扱得ることは言を俟たない。又本文では3節構造結合部の時間強度の實驗的研究は極めて簡単に説明したがその詳細は土木研究に發表の豫定である。【以上】

引用文献

- (1) T. Nishihara and M. Kawamoto: Memoirs of College of Eng., Kyoto Imp. Univ., Vol. XI, NO. 4, 1944 and No. 5, 1945.
- (2) O. Graf: V. D. I. Bd. 80, 1936, s. 920.
- (3) F. Bollenrath und H. Cornelius: Stahl und Eisen, 58 Jahrg., Nr. 9, 1938, s. 241.
- (4) B. P. Haigh and T. S. Robertson: Engineering, Vol. CXLVII, 1939, p. 451, 513.
- (5) E. Hottenrott: Luftfahrtforschung. Bd. 17, 1940, s. 247.
- (6) H. Bürrnheim: Luftfahrtforschung. Bd. 18, 1941, s. 192.
- (7) W. Kloth: V. D. I. Bd. 78, Nr. 21, 1934, s. 629.
- (8) W. Kloth und Th. Stoppel: V. D. I. Bd. 80, Nr. 4, 1936, s. 85.
- (9) W. Kaul: Jahrbuch d. Deutschen Luftfahrtforschung, Teil I, 1938 s. 274.
- (10) H. Krumbholz: Luftfahrtforschung, Bd. 18, 1941, s. 82.
- (11) 西原利夫: 日本學術振興會編金屬材料 I, 應力論 p. 68 及機械學會論文集 Vol. 6, No. 24, I, 1940, p. 36.
- (12) 佐藤忠雄: 日本金屬學會誌 Vol. 6, No. 12, 1942, p. 617.
小西一郎: 日本航空學會誌 Vol. 10, No. 94, 1943, p. 126.
西原利夫外: 日本機械學會誌 Vol. 47, No. 323, 1944, p. 73. (昭 23. 6. 1 受付)

拱及拱重力堰堤の理論的解法 (I)

正員 村 幸 雄*

Theoretical Solutions of Arch and Arch Gravity Dam (I)

By Yukio Mura, C. E. Member

1. 緒 論

我國に於ける堰堤工學の現状を見るに重力堰堤に於ては、諸先輩の研究特に物部博士の基本三角形の理論に於て

* 建設省河川局勤務