

繰返し荷重下におけるRCはりのたわみとひびわれ幅の予測に関する研究

鳥取大学 正員 西林 新蔵 学員 ○大谷 公行
鳥取大学 正員 井上 正一
日建設計(株) 正員 上田 靖彦

1. まえがき コンクリート構造物に繰返し荷重が作用す

ると、その部材に生ずるたわみやひびわれ幅が増大し、構造物の使用限界状態に影響を及ぼすことも考えられる。本研究は、RCはりについて一定および変動繰返し荷重下の曲げ疲労試験を行い、繰返し載荷回数に伴うたわみやひびわれ

幅などの変形特性の増加量を推定する方法を確立することを目的として行った。

2. 実験方法 はりの種類、載荷

方法、使用した材料の特性も図1に示す。

疲労試験は一定と変動の荷重状態でを行い、繰返し載荷速度は5Hz、荷重と時間との関係は正弦波形である。設定した上限荷

重比(P_s : 以下荷重比と称す)は、各はりの終局耐力(P_u : Aはり13.7トン、Bはり21.5トン)に対する百分率で数水準選定し、一方下限荷重比は P_u の10%と一定とした。変動荷重試験の概要を図2によ

て説明する。a) まず、設定荷重比(P_s)に対し、 i ($i=1, 2, 3$)番目に作用させる荷重順序を決める(例えば $P_{s1} \rightarrow P_{s2} \rightarrow P_{s3} \rightarrow P_2 \rightarrow P_2 \rightarrow 62\%$)。b) i 番目の荷重比(P_{si})の載荷回数 $M_{i1} = N_i \times P^*(P_{si})$ を算定する($i=1, 2, \dots$)。試験は $i=1$ なる M_{11}, M_{12}, M_{13} から $i=2$ なる M_{21}, M_{22}, M_{23} と順次 i を増加して行き、はりが破壊するまで行、た。なお、繰返し回数 $N=N_i$ で一時試験を中断し、上限最大荷重に至るまでの静的試験を行い、スパン中央たわみ、曲げスパン内コンクリート上縁ひずみと鉄筋位置の最大ひびわれ幅を測定した。

3. 解析方法 1) 断面の応力算定は常用のRCはりに対する弾

性計算によ、て行う。例えば、上限荷重比(P_u)作用時の最大モーメント(M_u)に対する中立軸高さ(C)、コンクリート応力(σ_{max})は表1の式(1)(以下式については同表参照)によ、て求まる。ここに、 M_u ははりの静的終局モーメント、 b : はり幅、 d : 有効高、 m : 弾性係数比

2) 繰返し回数 N の増加に伴う上縁ひずみ、たわみ、ひびわれ幅の増加は、①圧縮域コンクリートのサイクリッククリープ、②曲げ剛性の低下、③鉄筋応力の増加、コンクリートと鉄筋間の付着劣化、の3つの機構が独立ないしは組合せの結果生じると仮定した。

① コンクリートのサイクリッククリープ(ϵ_c): Balaguru と Shah¹⁾ の提案式(2)を採用する。ここに、 t : 載荷開始からの経過時間(hour)、 σ_{min} : 下限荷重比作用時のコンクリート応力、 S_m : 平均応力比、 Δ : 応力振幅比、 f_c :

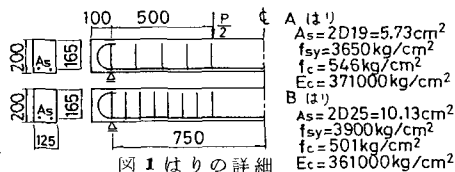
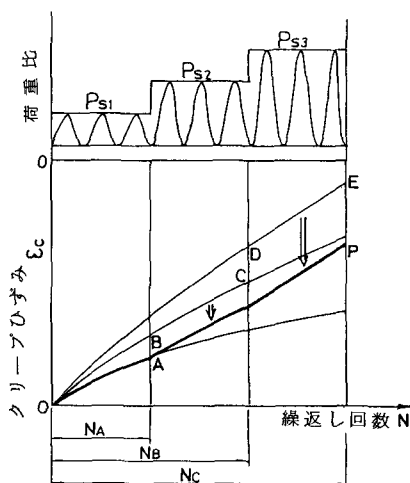


表1 計算式

(1) $C = \{-nAs + \sqrt{(nAs)^2 + 2bnAsd}\} / b$ $\sigma_{max} = \frac{2Ma}{bC(d-C/3)}, Ma = \frac{PsMu}{100}$
(2) $\epsilon_c = 129Sm t^{1/3} + 17.8Sm \Delta N^{1/3}$ $\Delta = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) / f_c$ $Sm = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2f_c$
(3) $\delta_N = \frac{F(\text{Loads, spans})}{E_c N I_{e,N}}$
(4) $E_{c,N} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{max}/E_c + \epsilon_c}$
(5) $I_{e,N} = I_{cr,N} + \left(\frac{M_{cr,N}}{Ma} \right)^3 (I_g - I_{cr,N})$ $f_{r,N} = f_r (1 - \log_{10} N / 12.7), f_r = 1.98 / \sqrt{f_c}$ $M_{cr,N} = I_g f_{r,N} / y_t$ $I_{cr,N} = \frac{b}{3} C_N^3 + nAs(d - C_N)^2$
(6) $\frac{W_{max,N}}{W_{max}} = \frac{E_{s,N} \{1 + 1.22(\log_{10} N / 7)^2\}}{E_s}$



コンクリートの平均圧縮強度。

② 曲げ剛性 (式 (3) の $E_{cN}I_{e,N}$) の低下: 繰返し回数 N 回後の有効弾性係数 (E_{cN}) は、初期弾性係数を E_c とすれば式 (4) で、 $I_{e,N}$ は式 (5) で与えられる。 f_{tr} は、コンクリートの静的曲げ強度で、 $f_{tr,N}$ は N 回載荷後の低下した曲げ強度を表している。また、 C_N は N 回載荷後中立軸高さで、式 (1) の m に $m = E_s/E_{cN}$ を用いて求められる。 I_g は総断面二次モーメント、 y_{tc} : 中立軸から引張縁までの距離 ($h - c$)。

③ 鉄筋応力増加と付着の劣化: 式 (6) 中の処女載荷 ($N=0$) および N 回載荷後の上限荷重作用時の鉄筋ひずみ (ϵ_s と $\epsilon_{s,N}$) はそれぞれ C 、 C_N を用い弾性計算によって求められる。一応、付着の劣化は Balaguru の提案した式 (6) の $\{ \}$ の項を採用した。以上より、一定荷重下の繰返し回数 N におけるたわみ (δ_N) は一般形で表した式 (3) に弾性荷重法を適用し、鉄筋位置のひびわれ幅 ($W_{max,N}$) は処女載荷時のそれ (W_{max}) との比で表した式 (6) で算定される。

つぎに、変動荷重下の解析法について述べる。いま、例として図3に示すように $P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$ と順次作用する場合のサイクリッククリープを考える。各荷重比に対して3つのクリープ曲線が得られ、回数 $N=0$ から $N=N_A$ までのサイクリッククリープの進行は、図中の太線で示すような経路をとる。すなわち、太線 OP の経路は $P_5 \rightarrow P_1$ における曲線部 OA 、 $P_5 \rightarrow P_2$ における BC 、および $P_5 \rightarrow P_3$ における DE 部の和によって表されるとする。このようにして求めたサイクリッククリープを式 (2) の代わりを用いることによって、 N 回載荷後のひびわれ幅やたわみを一定荷重の場合と同様に算定することを試みた。

4. 結果と考察 図4~6に一定および変動荷重下におけるはり上コンクリートの全ひずみ (サイクリッククリープ + 弾性ひずみ)、最大ひびわれ幅 (式 (6) の W_{max} に算定値を代入)、スパン中央たわみの一例をそれぞれ示す。図中の実線は計算値であり、実線が階段状になっている位置は荷重を変化させた点である。まず一定荷重下においては、全ひずみの実験値と計算値は荷重比 $P_5=60\sim 80\%$ の範囲では良く一致し、 $P_5<60\%$ では計算値が実験値よりも大きくなる。ひびわれ幅の計算値と実験値は、 $P_5=70\sim 80\%$ の範囲で良く一致し、 $P_5<60\%$ では前者が後者より大きくなる。たわみ実験値と計算値は $P_5=60\sim 50\%$ の範囲で一致し、 $P_5>60\%$ では実験値が計算値よりも大きくなる。変動荷重下における各変形量の計算値と実験値の傾向は、設定した荷重比により、上述の一定荷重比の挙動の影響を反映した結果が現れている。以上の結果より、現時点での本解析法は、適用できる荷重比の範囲は限定されているが、表1の各式を一定荷重下の変形特性に合わせるように修正できれば、より広範囲なランダム荷重に適用できるようになると考えられる。なお、本研究は筆者の一人を研究代表者とする58年度文部省科学研究費 (総研A) で行った研究の一部である。

参考文献 1) P. Balaguru and S.P. Shah "A Method of Predicting Crack Widths and Deflections for Fatigue Loading" Fatigue of Concrete Structures 1982 sp-75 ACI pp. 153-175

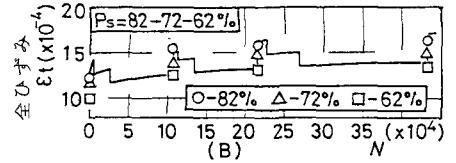
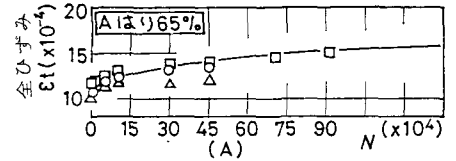


図4 一定(A) 変動(B) 荷重下の全ひずみ

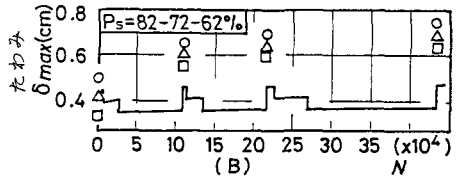
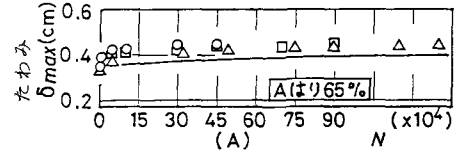


図5 一定(A) 変動(B) 荷重下のスパン中央たわみ

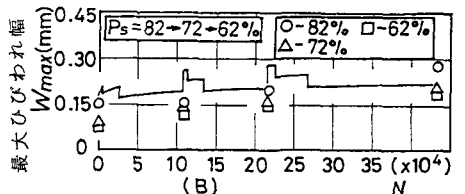
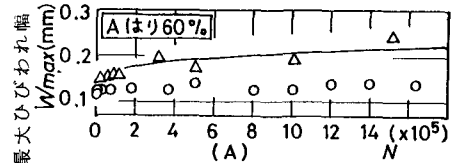


図6 一定(A) 変動(B) 荷重下の最大ひびわれ幅