

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の付着劣化、の3つの機構の独立ないしは組合わせの結果生じるとした。

① コンクリートのサイクリッククリープ (ϵ_{cr})…Balaguruら¹⁾によって提案された式(2)を採用する。ここに、 t : 荷重開始時からの経過時間 (hour)、 σ_{min} : 下限荷重比 ($P_s=10\%$) 作用時のコンクリート上縁応力、 S_m : 平均応力比、 Δ : 応力振幅比、 f_c : コンクリートの圧縮強度

② 曲げ剛性 (式(3)の $E_{c,n} \cdot I_{e,n}$) の低下…繰返し数 n 回後の有効弾性係数 ($E_{c,n}$) は、初期弾性係数 (E_c : ここでは割線弾性係数を用いる) とすれば式(4)で、有効断面二次モーメント $I_{e,n}$ は式(5)で与えられる。 f_b はコンクリートの静的曲げ強度で、 $f_{b,n}$ は n 回載荷後の低下した曲げ強度を表わし、 $n=10^7$ 回疲労強度を f_b の55%であるとして決定したものである。また、 X_n は n 回載荷後の中立軸高さで、式(1)の n^* に $n^* = E_s / E_{c,n}$ を代入することによって求まる。 I_g は断面二次モーメント、 y_t は中立軸から引張縁までの距離 ($h - X$, h : はり高)

③ 鉄筋応力の増加と付着劣化…式(1)中の初載荷時 ($n=0$) および n 回載荷後の鉄筋ひずみ (ϵ_s と $\epsilon_{s,n}$) は、それぞれ X , X_n を用いて式(7)より求められる。一方、付着の劣化は Balaguru ら¹⁾の提案式(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、一般形で表わした式(3)によって求まる。ここで、 K_s は例えば高荷重の場合の線形性のずれなどを含む計算過程の適合性に関する係数で、実験値との適合性を考慮して $K_s = 1.2$ とした。また、鉄筋位置のひびわれ幅 ($W_{max,n}$) は初載荷時のそれ (W_{max}) との比で表わした式(6)で算定される。ここでは W_{max} として CEB-FIP 式による平均ひびわれ幅の算定値を用いた。

つぎに、変動荷重下の変形特性の解析法について述べる。いま、図-3に示すような上・下限荷重比作用のコンクリート応力比 ($S_{max} = \sigma_{max}/f_c$, $S_{min} = \sigma_{min}/f_c$) が (S_1, S'_1) $\rightarrow$ (S_2, S'_2) $\rightarrow$ (S_3, S'_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。各上・下限応力比の組合せに対して、式(2)より3つのクリープ曲線が得られ、繰返し回数 $n=0$ から $n=n_3$ までのサイクリッククリープ (図中の太線) は、(S_1, S'_1) における曲線部 $\widehat{OA}$, (S_2, S'_2) における $\widehat{BC}$, および (S_3, S'_3) の $\widehat{DE}$ 部の和によって表わされる。このようにして求めたサイクリッククリープを式(2)の ϵ_{cr} 代わりに用いることによって、 n 回載荷後のたわみやひびわれ幅を一定荷重の場合と同様に算定できる。

4. 結果と考察

4.1 変形特性

図-4～9に一定および変動荷重試験の各上限荷重比作用時の上縁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、スパン中央たわみの一例を示す。図中の実線は計算値であり、実線が階段状となっている位置は荷重を変化させた点で、階段の高さは弾性変形量を表わしている。これらの図より、一定荷重下の全ひずみの実験値と計算値は荷重比 $P_s=85\sim 80\%$ の範囲で良く一致し、 $P_s \geq 85\%$ では実験値が計算値よりも大きくなる。また、全ひずみの実験と計算値が一致する荷重比範囲においては、たわみ、ひびわれ幅の計算値と実験値は良く一致

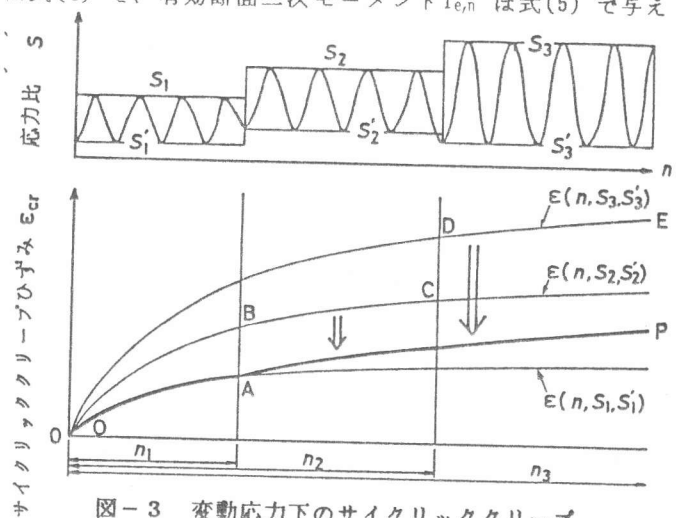


図-3 変動応力下のサイクリッククリープ

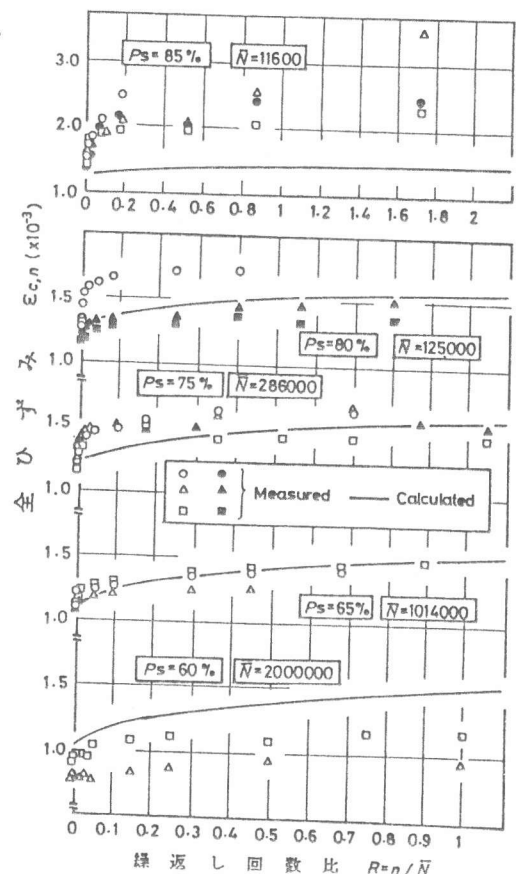


図-4 全ひずみの変化 (一定荷重: A はり)

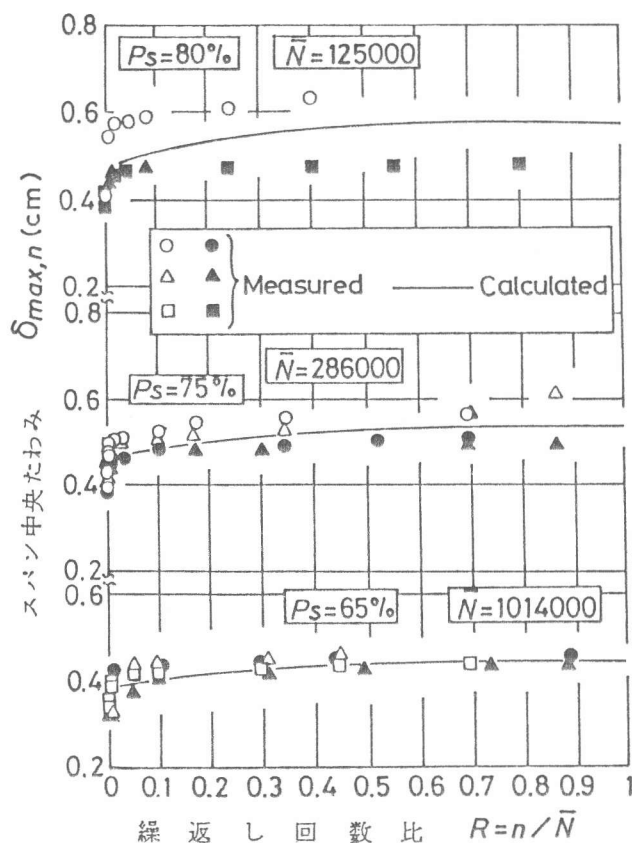


図-5 たわみの変化 (一定荷重: A はり)

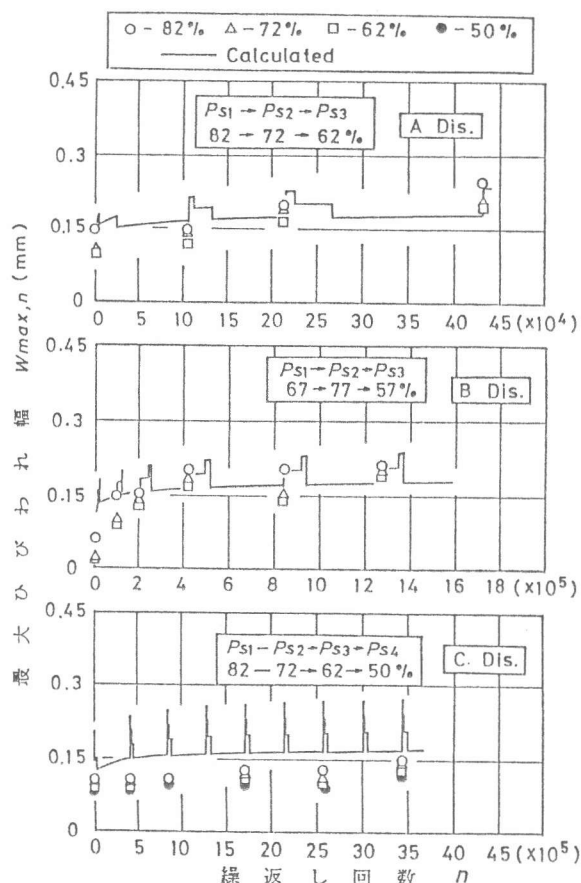


図-9 ひびわれ幅の変化 (変動荷重: A はり)

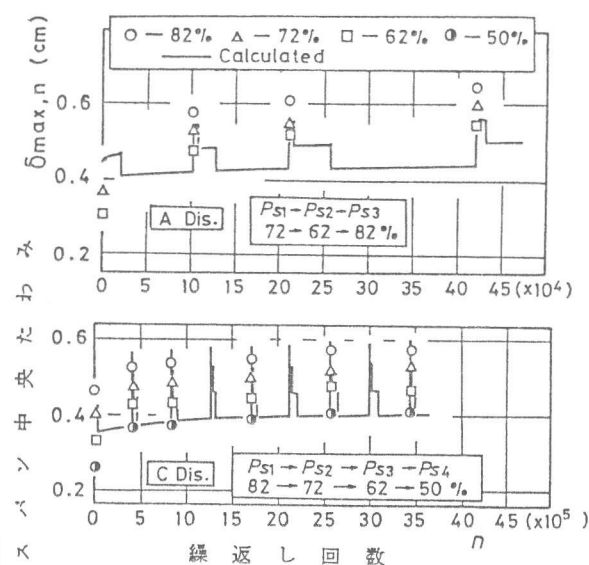


図-6 たわみの変化 (変動荷重: A はり)

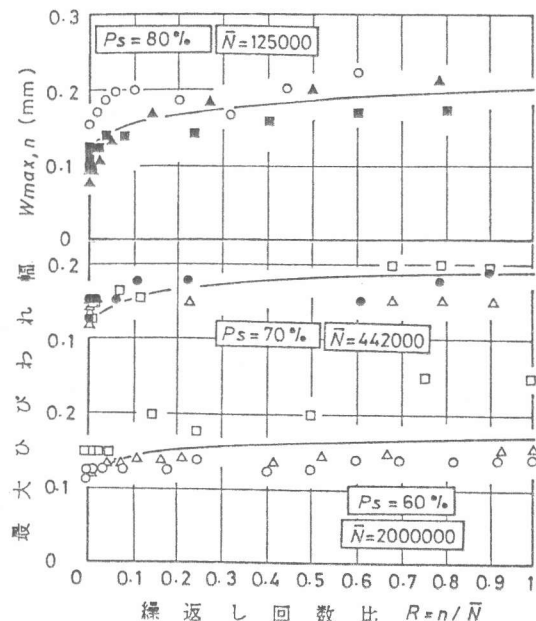


図-7 ひびわれ幅の変化 (一定荷重: A はり)

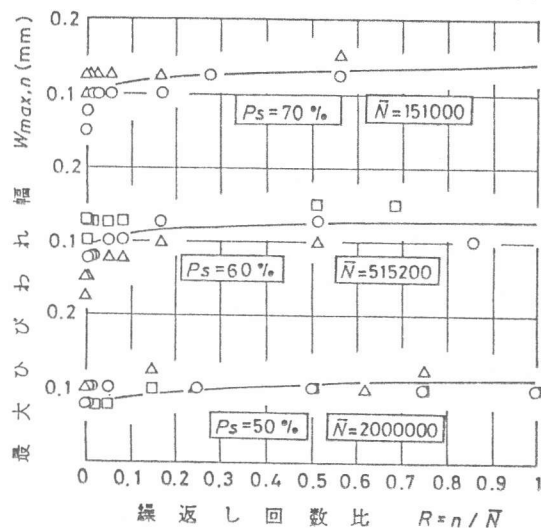


図-8 ひびわれ幅の変化 (一定荷重: B はり)

しているといえる。変動荷重下においても一定荷重下での計算と実験の両値が一致するような荷重比では、両者はかなり一致し、低荷重比 $P_s < 60\%$ を設定した場合には、計算値は実験値よりもやや大きくなっている。図-10は、藤田²⁾の試験結果を、コンクリートの弾性係数 $E_c = 3 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ として解析したものである。計算と実験の良好な一致が見られる。以上の結果より、本解析法は、一定および変動荷重下の変形量をかなりの程度で推定できるといえる。

4.2 たわみ、ひびわれ幅の限界状態設計法への検討

図-11, 12 は多くの研究者の 10^6 回以上の繰返し載荷に耐えた RC はりに対し、繰返し回数 $n = 10^5, 10^6, 2 \times 10^6$ 回におけるたわみと初載荷時のたわみの比 (δ_r : 相対たわみ (実験値)) および相対ひびわれ幅 (W_r) を示したものである。ACI 規準では、長期たわみとして、短期たわみに

$[2 - 1.2 \cdot A_s' / A_s] \geq 0.8$ の係数を乗じることが規定している。本研究においては δ_r は 2×10^6 回においても $A_s' = 0$ とした係数 2 よりも小さく、設計において ACI 規準のような設計法を導入する限りにおいては繰返し荷重下でのたわみは考慮する必要がないものと考えられる。一方、ひびわれ幅の W_r の実験値は $n = 10^6$ で $W_r = 1.25$, $n = 2 \times 10^6$ で $W_r = 1.30$ 程度値を示している。CEB-FIP によれば、繰返し荷重を考慮した場合としない場合のひびわれ幅比は式(8)で与えられる。本研究で、200 万回疲労強度に注目して、A はり ($P_s = 60\%$)、B はり ($P_s = 50\%$) の試験条件に対して求めた W_r^* はそれぞれ $W_r^* = 1.03$, $W_r^* = 1.02$ となり、この値は W_r よりもかなり小さい。

5. 結論 変動荷重下における変形挙動は一定荷重下のそれとかなり密接に関係する。変形量は本解析法によってかなりの精度で推定できる。また、繰返し荷重下におけるひびわれ増加は耐久性との関連において考慮する必要がある。

参考文献

- 1) P. Balaguru and S. P. Shah, A Method of Predicting Crack Width and Deflections for Fatigue Loading, ACI, SP-75, 1982.
- 2) 藤田・西堀, 繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリートげたの変形に関する研究, コンクリートジャーナル, Vol. 9, No. 5, 1971.
- 3) 国分・岡村, 高強度異形鉄筋を用いた鉄筋コンクリートはりの疲労に関する研究, 土木

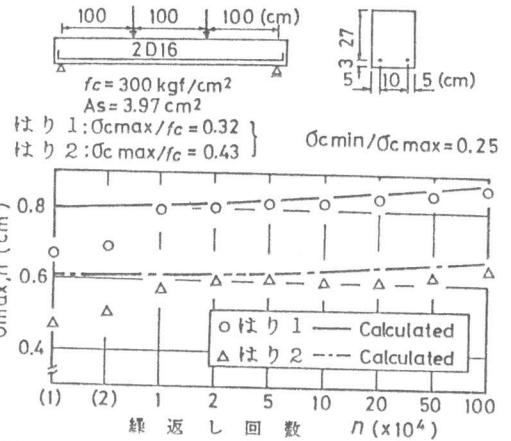


図-10 たわみの変化 ((1): $n=1$, (2): $n=2$, $\sigma_{cmax}, \sigma_{cmin}$ は $n^*=15$ で算定した $\sigma_{max}, \sigma_{min}$ の値)

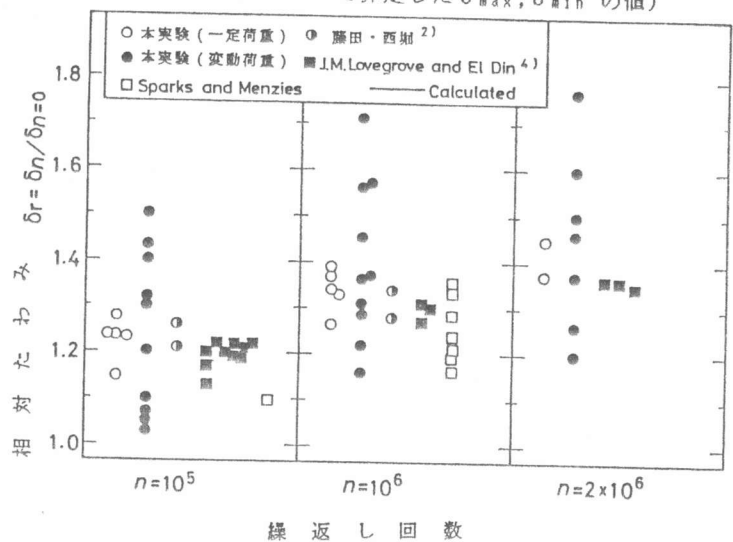


図-11 相対たわみの変化

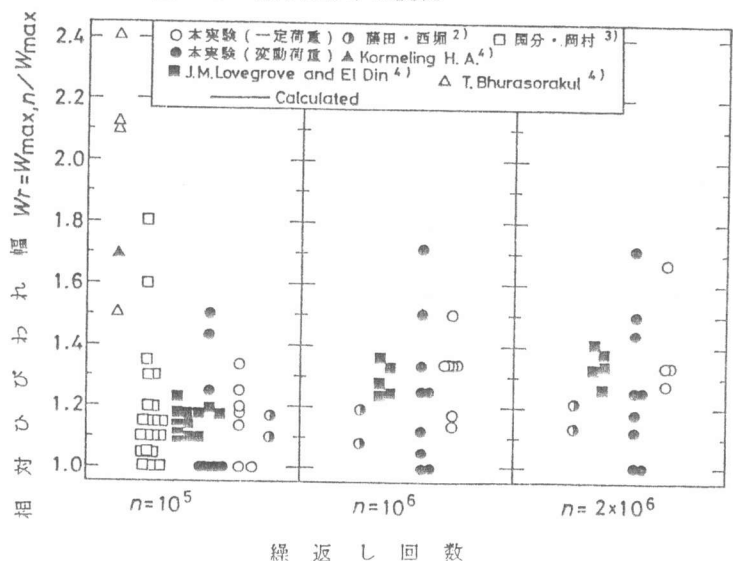


図-12 相対ひびわれ幅の変化

学会論文集, 第122号, 1985.

- 4) J. M. Lovegrove and S. E. Din, Deflection and Cracking of Reinforced Concrete under Repeated Loading and Fatigue, ACI, SP-75, 1982.