

V-214

R C 梁の逐次疲労破断過程における曲げ挙動に関する一考察

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 松本 信之

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 山住 克巳

1. まえがき

多数本の引張鉄筋を配置したRC梁における引張鉄筋の疲労強度および梁の疲労寿命の分布特性に関する検討は、筆者らにより文献[1]で示したところであるが、本論は、この引張鉄筋が逐次疲労破断していく過程での梁の最大たわみおよび最大ひびわれ幅の変化が、Balaguru and Shah[2]により提案されている手法を応用することにより精度良く推定可能であるかどうかを検討した。

2. 試験概要と結果

疲労試験には、図1に示す寸法諸元を有する幅広の梁供試体を4体用いた。引張鉄筋は横一列に配置した。また、引張鉄筋と等量の圧縮鉄筋も配置している。供試体のスパン中央下面には曲げひびわれ誘発のためのスリット(深さ10mm)をつけた。使用材料を表1に示す。荷重は初めに静的荷重を3回繰返して行い、その後直ちに動的荷重に移行した。荷重波形は正弦波を用い、加振周波数は3 Hzとした。荷重荷重の振幅は終始一定としているが、各供試体毎には違っている。測定は、一定荷重回数毎に動的に自動計測した。ただし、各鉄筋の破断回数は鉄筋に微弱な検知電流を流し、その導通状態を常時監視して求めた。

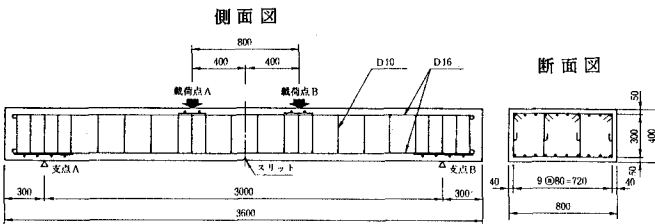


表1 使用材料

鉄筋の材料特性						
種類	寸法	降伏点 (kgf/cm ²)	引張強さ (kgf/cm ²)			
S D 3 4 5	D 1 6	4, 1 5 9	6, 1 4 3			
コンクリートの配合						
水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
6 1. 5	4 7. 7	1 6 8	2 7 4	8 8 1	9 8 1	3

図1 疲労試験用供試体 (単位: mm)

試験結果の概要を表2に示す。鉄筋応力度は鉄筋に貼付したひずみゲージより得られた値と鉄筋の弾性係数 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ を用いて算定した。また、スパン中央たわみは支点変位を控除したものである。

表2 試験結果の概要

供試体番号	載荷荷重(片側) (tf)		鉄筋応力度 (kgf/cm ²)		梁の疲労寿命 Nf (×1000回)	最大たわみ (mm)		最大ひびわれ幅 (mm)	
	Pmax	Pmin	σ_{max}	σ_{min}		初期値	終了値	初期値	終了値
	1	17.5	1.5	3156					
2	14.0	1.5	2842	794	1, 394	4.36	6.45	0.102	0.153
3	13.5	1.5	2433	632	2, 344	4.06	22.16	0.067	0.528
4	12.5	1.5	2274	752	8, 710	4.28	22.42	0.091	0.160

3. 鉄筋の逐次破断過程における最大たわみおよび最大ひびわれ幅の変化に関する考察

鉄筋の疲労破断に伴う梁中の応力の再配分を考慮し、この疲労過程における梁の最大たわみと最大ひびわれ幅について、Balaguruらによる「サイクリック・クリープ」式を適用してこれらの評価を試みた。

(1) 最大たわみ: スパン中央の最大たわみ δ_c は、各供試体に生じる曲げモーメントの分布 M_x に応じて、式(1)より求まる有効曲率 ϕ_x の分布を、部材軸 x に沿って二階積分して求めた。また、引張域における疲労ひびわれの影響は、各断面のひびわれ発生モーメント M_{cr} に対する M_x の等価繰返し回数 N_{eq} に基づきコンクリートの曲げ強度 f_c を式(6)により低減することで考慮した。

$$\phi_x = M_x / (E_{cN_x} \cdot I_e) \quad \dots (1) \quad E_{cN_x} = E_{c_i} - (E_{c_i} - E_{cN}) \cdot M_x / M_{max} \quad \dots (2)$$

$$E_{cN} = \sigma_{max} / (\sigma_{max} / E_{c_i} + \varepsilon_{cr}) \quad \dots (3) \quad I_e = (M_{cr} / M_x)^4 \cdot I_g + \{1 - (M_{cr} / M_x)^4\} \cdot I_{cr} \leq I_g \quad \dots (4)$$

$$\varepsilon_{cr} = 129 \cdot S_m \cdot t^{1/3} + 17.8 \cdot S_m \cdot S_r \cdot N^{1/3} \quad \dots (5) \quad f_{rN} = f_r \cdot (1 - \log_{10} N_{eq} / 10.954) \quad \dots (6)$$

ここに、 M_{max} : 梁に生じる最大モーメント、 E_{cN} : コンクリートの有効弾性係数、 E_{c_i} : 初期割線弾性係数、 I_e : 梁の有効断面二次モーメント、 I_g : 全断面の断面二次モーメント、 I_{cr} : 引張応力を受けるコンクリートを除いた断面二次モーメント、 M_x : 梁に生じる曲げモーメント、 $M_{cr} = (I_g \cdot f_r / y_t)$: ひびわれ発生モーメント、 f_r : コンクリートの曲げ強度、 y_t : 中立軸から引張縁までの距離、 ε_{cr} : サイクリック・クリープ ($\times 10^{-6}$)、 $S_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2 f_c$: 平均応力比、 $S_r = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) / f_c$: 平均振幅比、 N : 載荷回数、 $t = N / 10,800$: 時間(h) (\therefore 加振周波数 3 Hz)、 f_{rN} : N回目の載荷時の曲げ強度

図2に最大たわみの計算値と実験値の比較の例を破断鉄筋本数を横軸に採り示す。これよりサイクリック・クリープを利用した計算値は、破断鉄筋本数が配置本数の4割程度に至るまで(梁の疲労寿命の約9割時点)比較的良好に実験値をトレースすることができると考えられる。

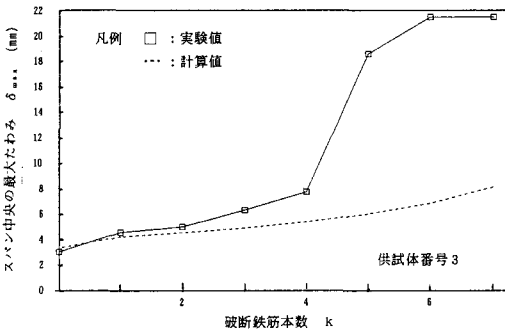


図2 最大たわみの計算値と実験値の比較

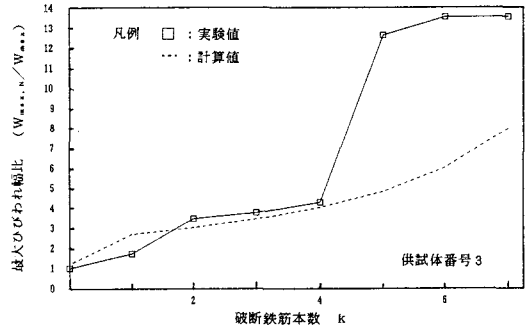


図3 最大ひびわれ幅比の計算値と実験値の比較

(2) 最大ひびわれ幅 : 最大たわみの計算と同様に文献[2]により、式(7)に示される最大ひびわれ幅の推定式を用いて算定した。

$$W_{max,N} = \frac{1.2 \cdot (h_2/h_1)_N \cdot \varepsilon_{sN} \cdot \{1 + 1.22 \cdot (\log_{10} N / 7)^2\}}{(h_2/h_1) \cdot \varepsilon_s} W_{max} \quad \dots (7)$$

ここに、 $W_{max,N}$ 、 W_{max} : それぞれN回目の載荷時および初期載荷時の最大ひびわれ幅、 $(h_2/h_1)_N$ 、 (h_2/h_1) : それぞれN回目の載荷時および初期載荷時の中立軸～引張縁間距離と中立軸～鉄筋位置間距離の比、 ε_{sN} 、 ε_s : それぞれN回目の載荷時および初期載荷時の鉄筋ひずみ

鉄筋の疲労破断位置がスパン中央に設けたひびわれ測定位置に集中した供試体について、最大ひびわれ幅比 ($W_{max,N} / W_{max}$) の計算値と実験値の比較の例を図3に示す。最大たわみの場合と同様に、計算結果は破断鉄筋本数が配置本数の4割程度に至るまでは比較的良好に実験をトレースすることができると考えられる。

4. まとめ

多数本の引張鉄筋を配置したRC梁の疲労破断過程における最大たわみおよび最大ひびわれ幅の変化を評価するために、Balaguruらによる推定式を利用し、これに鉄筋破断による応力の再配分を考慮して検討を行った。これより、疲労破断過程にあるRC梁の最大たわみおよび最大ひびわれ幅の変化は、Balaguruらによるサイクリック・クリープを考慮することにより、比較的精度よく評価できることが得られた。ただし、最大ひびわれ幅については、鉄筋の疲労破断位置の集中度にも影響されると考えられる。

参考文献

- [1] 松本信之、山住克巳、宮本征夫 : 多数本の引張鉄筋を配置したRC梁の疲労寿命, コンクリート工学年次論文報告集, 第13巻, 第2号, pp. 321~326, 1991.6.
- [2] Balaguru, P. and Shah, S.P. : A Method of Predicting Crack Widths and Deflections for Fatigue Loading, ACI Publication SP-75, pp. 153~175, 1982.