

疲労荷重を受ける鉄筋コンクリート部材のひび割れ幅増加と耐久性

横浜国立大学大学院 正会員 ○林 和彦
 横浜国立大学大学院 正会員 椿 龍哉
 横浜国立大学大学院 森竹 巧

1. 概要

鉄筋コンクリート部材の耐久性評価において、ひび割れ幅の精度の良い算定が望まれているものの、繰返し載荷の影響を含めた曲げひび割れ幅の算定式はない。そこで鉄筋コンクリート梁に疲労荷重を与えてひび割れ成長を実験的に調べた。その結果、ひび割れ幅およびひび割れ深さは繰返し回数に応じて増加し、載荷開始直後に比べて200万回載荷後にはひび割れ幅が最大で1.7倍に増加した。また、繰返し回数の影響を考慮したひび割れ幅算定の実験式を提案し、腐食環境において繰返し載荷によるひび割れ幅の増大が鉄筋コンクリート梁の耐用年数に及ぼす影響を、塩化物イオンの拡散を通して検討した。

2. 実験概要

鉄筋コンクリート梁の繰返し載荷における載荷回数とひび割れ成長との関係を把握するために、鉄筋コンクリート梁供試体を作製し、ひび割れ幅および深さを計測した。水セメント比、骨材径、かぶり、寸法比をパラメータとし、それぞれに3段階の載荷荷重レベル（鉄筋応力度:100, 150, 200 MPa）を設定して繰返し載荷を行った。繰返し回数は200万回とした。鉄筋コンクリート梁の中央とその近傍のひび割れ幅、側面に発生した曲げひび割れの長さ、およびリード圧縮側のひずみを計測した。供試体の一覧を表1に、供試体の配筋の一例を図1に示す。

表1 供試体一覧

シリーズ	パラメータ	断面[mm]	水セメント比	骨材の最大寸法[mm]	かぶり[mm]	鉄筋
A	標準供試体	100×100	0.65	20	20	D10
B	水セメント比小	100×100	0.40	20	20	D10
C	モルタル	100×100	0.65	5	20	D10
D	かぶり小	100×90	0.65	20	10	D10
E	相似1.33倍	133×133	0.65	20	27	D13

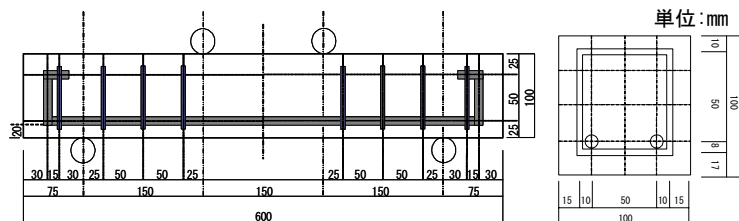


図1 供試体形状

3. 実験結果

実験結果を表2に示す。ひび割れ幅は供試体中央のひび割れ幅である。

表2 実験結果

	ひび割れ深さ[mm]			ひび割れ幅[mm]		
	初期載荷時	200万回時	増加率	初期載荷時	200万回時	増加率
A-100	65	79	1.22	0.091	0.105	1.15
A-150	55	70	1.27	0.089	0.106	1.19
A-200	65	72	1.11	0.137	0.177	1.29
B-100	48	64	1.33	0.090	0.110	1.22
B-150	65	64	1.18	0.130	0.170	1.31
B-200	72	82	1.28	0.140	0.170	1.21
C-100	62	72	1.16	0.062	0.069	1.11
C-150	64	68	1.06	0.145	0.155	1.07
C-200	64	74	1.16	0.193	0.221	1.15
D-100	56	61	1.09	0.046	0.053	1.15
D-150	52	52	1.00	0.079	0.092	1.16
D-200	48	50	1.04	0.104	0.129	1.24
E-100	75	84	1.12	0.086	0.114	1.33
E-150	81	94	1.16	0.134	0.161	1.20
E-200	78	96	1.23	0.140	0.153	1.09

3.1 標準供試体（シリーズA）

ひび割れ幅は返し載荷回数に応じて増大した。この原因の1つとして、鉄筋のふしとその周辺のコンクリートとの付着領域が繰返し載荷により段階的に破壊され、鉄筋が抜け出すことが理由と考えられる。載荷荷重レベルに応じてその付着領域での破壊の程度は増加しひび割れ幅増加率が大きくなった。

3.2 水セメント比の影響（シリーズB）

標準供試体に比べコンクリートの圧縮強度を上げた結果、初期ひび割れ幅、ひび割れ幅増加率はともに大きくなった。これは曲げひび割れ間隔が増加しひ

キーワード ひび割れ幅、疲労荷重、塩化物イオン濃度、耐久性

連絡先 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 横浜国立大学土木工学棟 TEL:045-339-4045

び割れ本数が減少したことによる。ひび割れ本数が減少したことで、個々のひび割れ幅の増加が大きくなった。中央近傍のひび割れ幅は1.7倍に増大した。

3.3 粗骨材の影響（シリーズC）

モルタル供試体ではひび割れ幅増加率は小さいが、初期ひび割れ幅は大きい。これは粗骨材が無く鉄筋の節との噛み合わせ作用が小さいため、鉄筋周辺の付着破壊が早期に終了したと考えられる。

3.4 かぶりの大きさの影響（シリーズD）

標準供試体に比べかぶりを小さくした結果、初期ひび割れ幅とその増加率はともに小さくなった。

3.5 寸法の影響（シリーズE）

寸法を相似に大きくした結果、初期ひび割れ幅、ひび割れ幅増加率がともに大きい。鉄筋をD10からD13に変え鉄筋の径とふしが増大したことで鉄筋周辺の付着応力度は増大する。ふしの形状の増大と付着応力度の増大が、繰返し載荷で生じる付着破壊の程度を増大させたと考えられる。

4. 繰返しの影響を含めたひび割れ幅の算定式

コンクリート標準示方書では式(1)によってひび割れ幅 $w_{(JSCE)}$ が評価されている。

$$w_{(JSCE)} = 1.1 k_1 k_2 k_3 \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right] \quad (1)$$

ここに、 k_1 ：鋼材の表面形状による影響、 k_2 ：コンクリート強度の影響、 k_3 ：鋼材段数の影響、 c ：かぶり[mm]、 c_s ：鋼材の中心間隔[mm]、 ϕ ：鋼材径、 σ_{se} ：鋼材応力度の増加量[MPa]、 E_s ：鋼材の弾性係数[MPa]、 ε'_{csd} ：収縮・クリープ等の影響である。

本研究では、繰返し載荷を受ける場合のひび割れ幅 w として、繰返しの影響項 k_4 を含む次式を提案する。

$$w = 1.1 k_1 k_2 k_3 k_4 \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right] \quad ; \quad k_4 = \alpha \log_{10}(N) + \beta \quad (2)$$

ここに、 k_4 ：繰返しの影響、 N ：繰返し回数[回]、 α, β ：定数である。

α, β は、 $N=1$ の時に回帰式によるひび割れ幅に一致するように定めた。供試体中央で得られたひび割れ幅について、15ケース分の k_4 の値を図2に示す。

式(3)には、モルタルを除くA、B、D、Eシリーズに対する k_4 の値の上限を与える式である。

$$k_4 = 0.205 \log_{10}(N) + 1.520$$

5. 耐用年数

ひび割れ幅の増大が1.7倍と大きかったB-150の中央部近傍のひび割れについて、海岸に近い環境の下で繰返し載荷の影響により鉄筋コンクリート梁部材のひび割れ幅が1.7倍に増大した場合の耐用年数を試算した。耐用年数は鋼材位置の塩

化物イオン濃度が1.2kg/m³に達する時間とし、コンクリート標準示方書におけるコンクリート表面の塩化物イオン濃度値を用いた。その結果、耐用年数12年の構造物は耐用年数8年となった。表3に計算結果を示す。これらの検討により既存の構造物の維持管理では、繰返し荷重の影響を考慮する必要があることがわかる。

6. 結論

- 1) 鉄筋コンクリート梁の中央付近の曲げひび割れ幅は繰返し載荷により最大1.7倍に増加する。
- 2) 梁の繰返し載荷の影響を含めた曲げひび割れ幅の算定の実験式を提案した。
- 3) 鉄筋コンクリート梁の耐用年数に及ぼす繰返し載荷の影響を検討した。

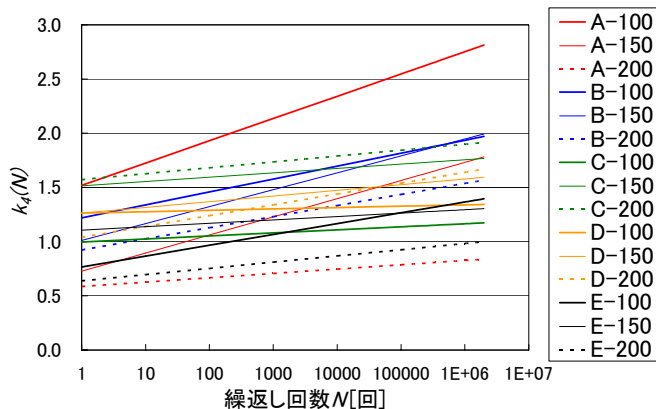


図2 k_4 の提案式

表3 耐用年数

海岸からの 距離[km]	耐用年数[年]		
	ひび割れが 無い場合	ひび割れ 発生直後	繰返し 載荷後
1.00	63	54	35
0.50	15	12	8
0.25	6	5	4