

繰返し荷重を受ける RC 梁の曲げひび割れ幅に関する検討

Investigation of Crack Width of RC Beam under Cyclic Loading

北海道大学大学院工学院 ○学生員 橋田歩武 (Ayumu Hashida)
 北海道大学工学部環境社会工学科 鯨岡大地 (Daichi Kujiraoka)
 北海道大学大学院工学研究院 正員 古内 仁 (Hitoshi Furuuchi)

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物 (RC) に生じる曲げひび割れは、設計においては耐久性や使用性の観点から開口幅に許容値 (もしくは応力度の許容値) が設けられている。しかしながら、構造物が長期間供用される中では、ひび割れ幅が許容値を超えるケースがある。その原因は構造物の立地や作用の種類によって異なるが、設計時の想定を上回る荷重作用による場合が少なくないと考えられる。具体的には、繰返し荷重下で鉄筋の節とコンクリートとの付着領域が破壊されて鉄筋が抜け出すことや、コンクリート圧縮部でのクリープ変形によって梁の曲げ変形が増加すること²⁾が理由として挙げられる。これらのメカニズムによる曲げひび割れ幅の変化に対する定量的な予測モデルは見出されていない。本研究では、RC 梁の繰返し載荷試験および持続載荷試験を行い、付着劣化やクリープによる圧縮ひずみの増加を調査し、ひび割れ幅の増加に与える影響について考察した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

図-1 に供試体の形状寸法を示す。供試体は 200mm×150mm の矩形断面で全長 1200mm の梁を 6 体用意した。梁の支間長を 950mm として、等モーメント区間を 250mm とした対称 2 点荷重で載荷を行った。

曲げひび割れ位置を制御するため、供試体には L 字の金属板を下部中央に 1 枚、中央から 120mm 離れた位置に 2 枚の計 3 枚を埋め込んだ。

また、実験中には以下の項目を測定した。

① 鉄筋の軸ひずみ

等モーメント区間で鉄筋の中心から、25mm 間隔で 9 か所にひずみゲージを設置した。

② 梁のたわみ

供試体中央の下部および支点上の計 3 か所に変位計を

設置した。

③ ひび割れ幅

供試体下部中央のひび割れをまたぐようにεゲージを設置した。

④ コンクリート圧縮領域の軸ひずみ

等モーメント区間において、供試体両側面に上端から 15mm と 30mm、45mm の位置の計 6 か所にひずみゲージを設置した。

供試体の作製には生コン (普通 33 12 20 H) を用いた。コンクリートの配合を表-1 に示す。コンクリート圧縮強度の実測値は、材齢 28 日で 32.5 N/mm² であった。引張鉄筋として D16 (実降伏強度: 390 N/mm²、引張強さ: 582 N/mm²) を 1 本使用した。

2.2 実験変数

表-2 に示した条件で 2 種類の載荷試験を行った。繰返し載荷を行った供試体 C-1、C-2、C-3 の 3 本については下限荷重を 7.3kN に固定し、上限荷重を変数とした。各供試体で載荷回数が 1、10、100、1,000、1 万、10 万、

表-1 コンクリートの配合

粗骨材 最大寸法	単体量 (kg/m ³)				
	W	C	S	G	A
20mm	165	348	776	1026	0

表-2 実験変数

供試体名	載荷方法	荷重の大きさ
C-1	繰返し	Pmax=14.6kN/Pmin=7.3kN
S-1	持続	10.95kN
C-2	繰返し	Pmax=21.9kN/Pmin=7.3kN
S-2	持続	14.6kN
C-3	繰返し	Pmax=36.5kN/Pmin=7.3kN
S-3	持続	21.9kN

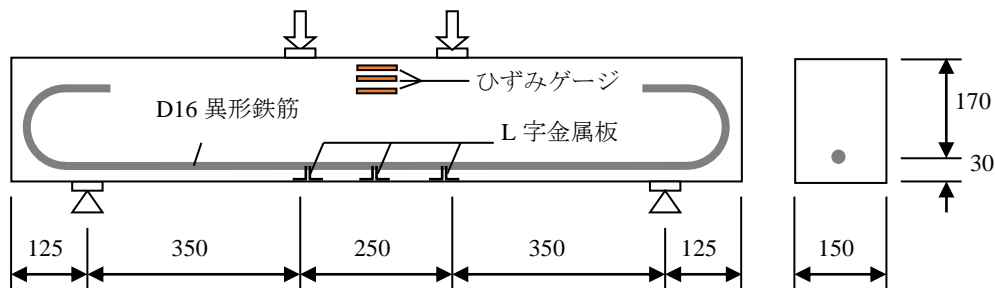


図-1 鉄筋コンクリート供試体

20万、30万、40万回に到達した際に各データの測定を行った。持続荷重を行った供試体 S-1、S-2、S-3 については、C-1、C-2、C-3 の上限荷重と下限荷重の平均に当たる大きさの荷重を作用させ、各繰返し荷重試験の 1、10、100、1,000、1万、10万、20万、30万、40万回に相当する時間に各データを測定した。

繰返し荷重試験に加え持続荷重試験を行った背景には、繰返し荷重によるクリープ変形は繰返し荷重の上限・下限荷重の平均荷重を静的に持続荷重した場合のクリープ変形と等しくなるという考えがある²⁾。この考え方に基づくと、持続荷重試験においては曲げひび割れはクリープ変形の影響のみを受けてその幅が増加する。一方で繰返し荷重試験においては、曲げひび割れはクリープ変形

に加え繰返し荷重の影響を受けてその幅が増加する。したがって、繰返し荷重試験によるひび割れ幅の変化から持続荷重試験によるひび割れ幅の変化を差し引けば、クリープ変形の影響を排除した繰返し荷重のみの影響によるひび割れ幅の挙動について考察できると考えられる。

3. 実験結果と考察

3.1 π ゲージで計測されたひび割れ幅

ここでは、10万(10の5乗)回までの値について述べる。 π ゲージで観測されたひび割れ幅について、繰返し荷重試験の結果を図-2に、持続荷重試験の結果を図-3に示す。なお縦軸はひび割れ幅の大きさ(mm)、横軸は繰返し荷重回数を常用対数でとった値を示している。い

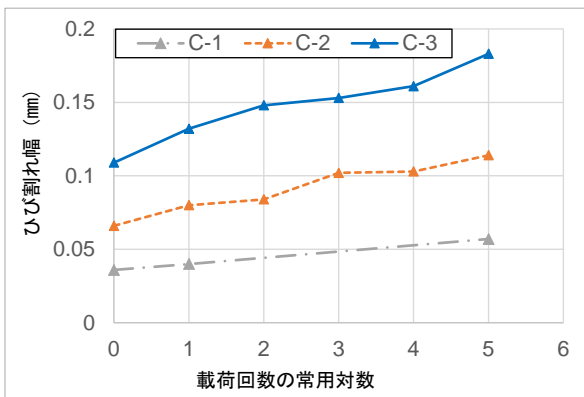


図-2 繰返し荷重試験におけるひび割れ幅の変化

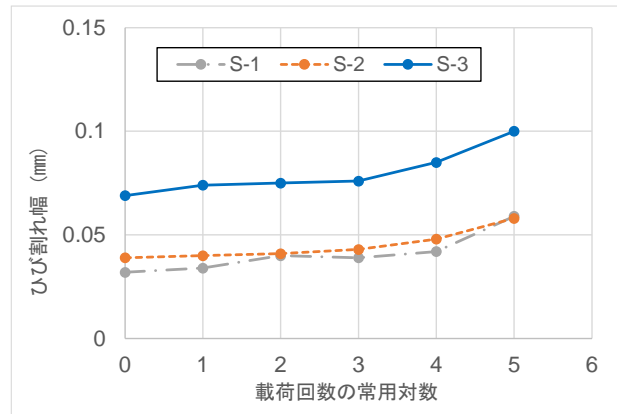


図-3 持続荷重試験におけるひび割れ幅の変化

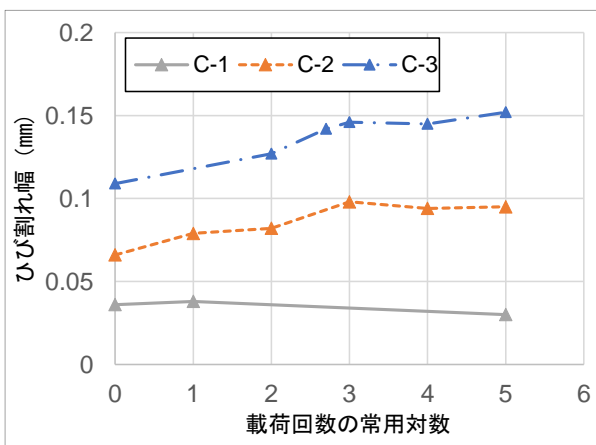


図-4 クリープ成分を差引いたひび割れ幅

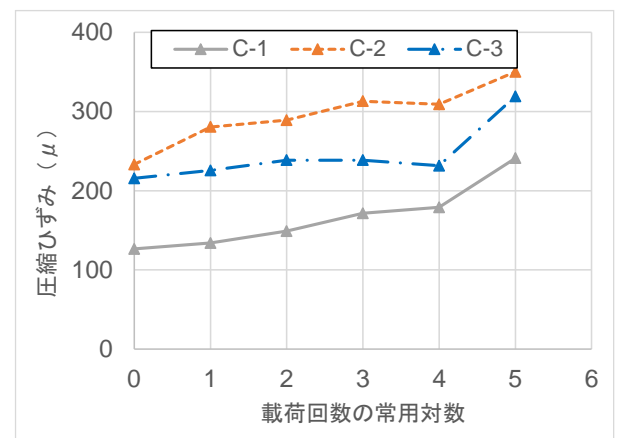


図-5 繰返し荷重試験における圧縮ひずみの変化

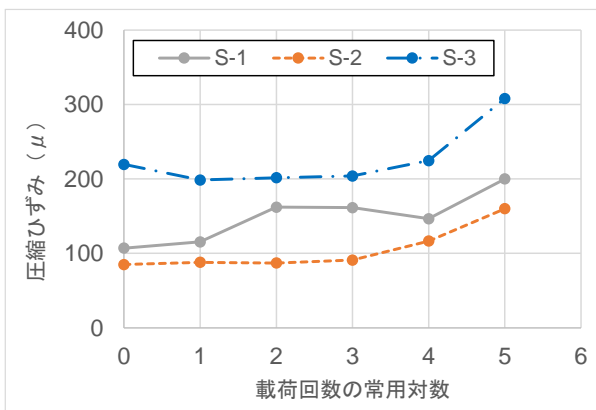


図-6 持続荷重試験における圧縮ひずみの変化

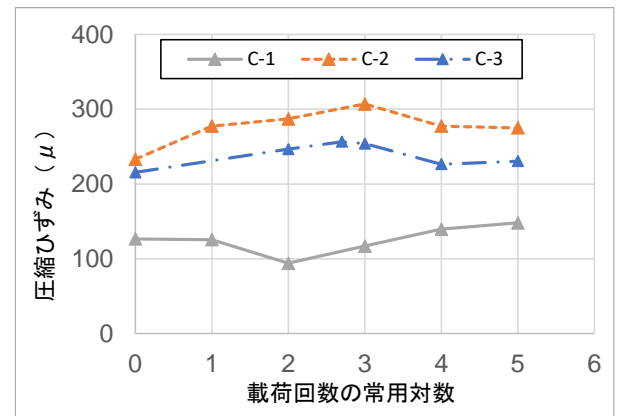


図-7 クリープ成分を差引いた圧縮ひずみ

ずれの供試体でも、載荷回数の増加とともにひび割れ幅が増加していることがわかる。繰返し荷重下のひび割れ幅の増加において、クリープ変形の影響と繰返し荷重のみの影響について調べるために図-4のようなグラフを作成した。図-4では、繰返し載荷試験における上限荷重時のひび割れ幅の値より、持続載荷試験におけるひび割れ幅の増加分（持続載荷試験において、載荷時とくらべどれだけひび割れ幅が増加したか）を差し引いた値を

示している。この持続載荷試験におけるひび割れ幅の増加分が、クリープ変形による影響を示している。図-4から、供試体 C-2、C-3 において、グラフは増加傾向にあった。これはクリープの影響を排除した繰返し荷重のみの影響によるひび割れ幅の増加を示している。このことから、一定以上の大きさの繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート梁の曲げひび割れは、クリープ変形の外、荷重の繰返し作用によってその幅が増加することが確かめ

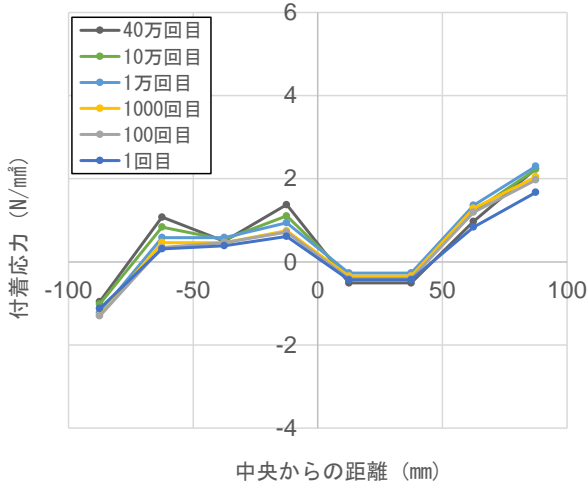


図8 C-1 付着応力分布

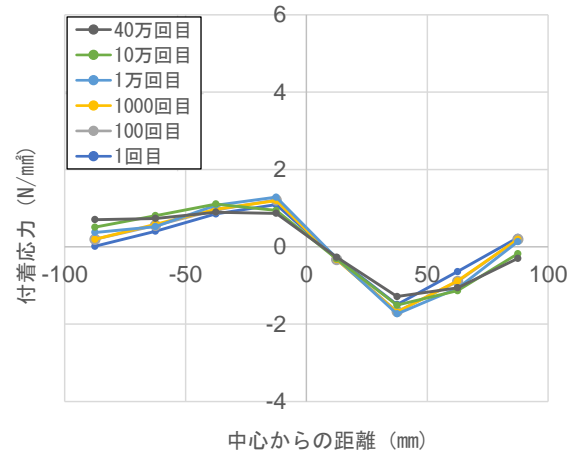


図9 S-1 付着応力分布

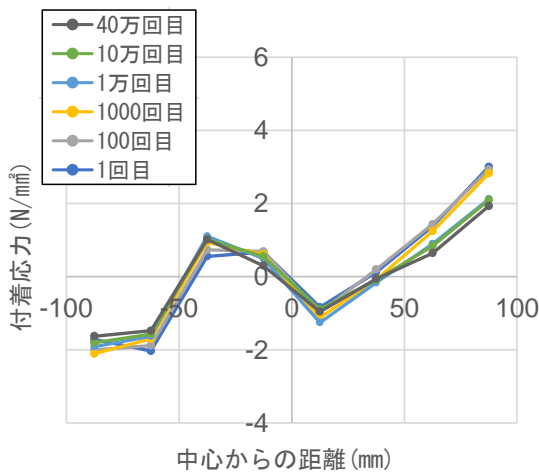


図10 C-2 付着応力分布

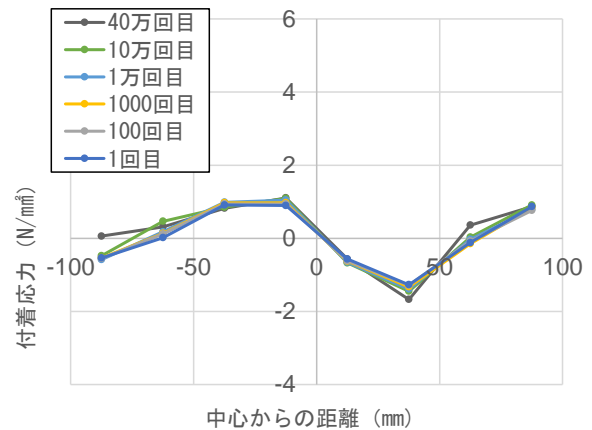


図11 S-2 付着応力分布

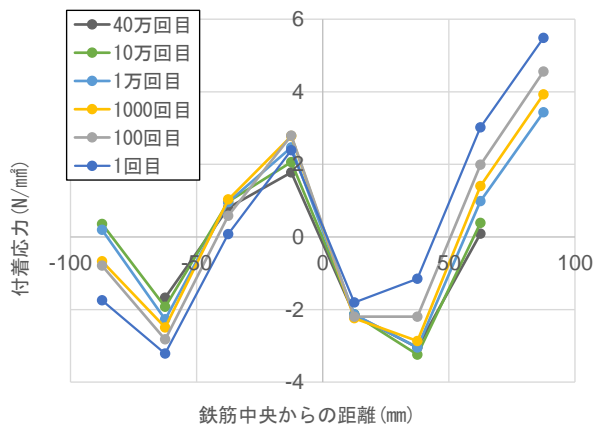


図12 C-3 付着応力分布

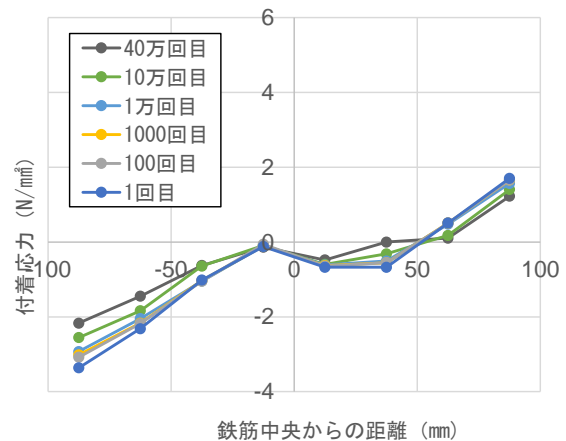


図13 S-3 付着応力分布

られた。

3.2 コンクリート圧縮部のひずみ

圧縮ひずみについて、繰返し載荷試験の結果を図-5に、持続載荷試験の結果を図-6に示す。いずれの供試体でも、載荷回数の増加とともに圧縮ひずみが増加していることがわかる。図-7は、ひび割れ幅と同様に、繰返し載荷試験における上限荷重時の圧縮ひずみの値より、持続載荷試験における圧縮ひずみの増加分（載荷回数1回目を基準とした）を差し引いたものである。なお、供試体両側面に設置した6つのひずみゲージのうち、上端から15mmの位置に貼った2つのひずみゲージの値を平均した値を用いて図を作成した。図-7から、繰返し載荷回数10万回目までは各供試体とも概ね横ばいとなっている。すなわち持続載荷試験の増加幅（クリープ変形による増加）と繰返し載荷試験による増加幅が等しい。このことから、繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート梁の圧縮ひずみについて、載荷回数10万回までは荷重の繰返し作用の影響は小さく、クリープ変形の影響が非常に大きいことが考えられる。

3.3 鉄筋の付着応力

繰返し載荷試験および持続載荷試験における各供試体の載荷回数ごとの鉄筋の付着応力について、鉄筋の実測のひずみを用いて算出した。付着応力の分布を図8から図13に示す。各図の縦軸は付着応力の値、横軸は鉄筋中央からの距離を示している。繰返し載荷回数については1、100、1000、1万、10万、40万回目の値を抜粋した。付着応力の分布は中央部のひび割れを挟んでその近傍では山形の形状をしており、左側が正で右側が負となっている。持続載荷を行った供試体S-1（図-9参照）、S-2（図-11参照）、S-3（図-13参照）では、持続載荷の時間経過ともなう付着応力に大きな変化がない。したがって、持続荷重下では、鉄筋の節とコンクリートとの付着領域の破壊（付着劣化）が生じていないと思われる。一方で、繰返し載荷試験においては、持続載荷試験に比べて、若干付着応力分布に変化がみられる。その中でも、

図-12が示す供試体C-3については、C-1とC-2に比べて繰返し載荷回数の増加に伴い付着応力の分布が変化している様子を見ることができ、中央のひび割れのすぐ左側の付着応力分布のピークは載荷初期（1回目や100回目）には大きく、その後載荷回数が増加するごとに徐々にピークの値が減少している。ひび割れのすぐ右側では、載荷初期の付着応力が小さかったが、その右側の山では逆にピークが大きく、荷重の繰返しによって減少している。これは、荷重の繰返しにより鉄筋の節に接しているコンクリートに微細な破壊が生じていくことで、付着応力が低下しているものと考えられる。このことから、一定以上の大きさの繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート梁では、荷重の繰返し作用によって付着応力が徐々に低下することが考えられる。

4. まとめ

本研究から、繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート梁の曲げひび割れ幅について、以下の知見を得た。

- (1) クリープ変形その他、荷重の繰返し作用によってひび割れ幅が増加する。
- (2) 圧縮ひずみについて、載荷回数10万回までは荷重の繰返し作用の影響は小さく、クリープ変形の影響が非常に大きいことが示された。
- (3) 持続荷重下では鉄筋の節とコンクリートの付着劣化は生じていない。
- (4) 一定以上の大きさの繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート梁では、荷重の繰返し作用によって付着応力が徐々に低下している可能性が示された。

参考文献

- 1) 林 和彦、椿 龍哉、森竹 巧：疲労荷重を受けるRC部材のひび割れ成長、コンクリート工学年次論文集、vol.27、pp.877-882、2005。
- 2) 藤田嘉夫、西堀忠信：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、pp.1-8、1971。