

ひび割れ注入補修した鉄筋コンクリート桁の疲労载荷試験

Fatigue Loading Test of RC Beam Repairing Crack by Epoxy Resin Injection

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 林 蓮 (Ren Hayashi)
 北海道大学大学院工学研究院 正 員 古内 仁 (Hitoshi Furuuchi)
 北武コンサルタント(株) 正 員 渡辺忠朋 (Tadatomo Watanabe)

1. はじめに

コンクリート構造物中に生じたひび割れは、部材の剛性低下をまねくだけでなく、炭酸ガス、塩化物イオンあるいは水等の浸透を促し鉄筋腐食の原因の一つになっている。

こうしたひび割れに対する補修工法の一つにひび割れ注入工法がある。一般にひび割れ注入は環境因子の侵入を防ぐことを目的に実施されているため、ひび割れ注入補修された部材に対して力学的な観点から行われた研究は少ないのが現状である。既往の研究¹⁾において、ひび割れ注入補修した場合の鉄筋の付着性状について報告があるが、除荷時に残留応力が生じることから疲労寿命が大きくなる可能性があることが示されている。しかし、疲労実験で実際に疲労寿命が大きくなることが確認されていないので、本研究で疲労実験により寿命の増加を確認することを目的として実験を行った。

2. 試験概要

2.1 供試体概要

図1に供試体の形状寸法を示す。本研究では、供試体は1体しか用意していないが、本実験のための予備実験という位置づけである。供試体は150mm×150mmの正方形断面で全長900mmの梁である。実験は、対称2点载荷とし、等曲げ区間を180mmに、せん断スパンを210mmとした。なお、等曲げ区間に発生する曲げひび割れを注入補修の対象とするため、等曲げ区間には引張

鉄筋としてD13を1本、せん断スパン内にはD13を1本のほかD16を2本配置した。また、組立鉄筋として圧縮域にはD10を2本、せん断破壊防止のためせん断スパン内にはD10スターラップを100mm間隔で配置した。D13鉄筋の等曲げ区間には7箇所の位置にひずみゲージを設置した(図1参照)。

D13鉄筋の実測の降伏強度は356N/mm²、引張強度は507N/mm²である。コンクリートはレディミクストコンクリート(早強、呼び強度24、スランプ15cm、最大骨材寸法20mm)を用いて作成した。コンクリートの圧縮強度は、材齢28日で27.5N/mm²である。

ひび割れ補修材は、エポキシ樹脂系補修材で低圧・低速で注入できるタイプのものを使用した。補修材の引張強さ15.0N/mm²以上、接着強さ3.0N/mm²以上の材料特性を有し、0.2mm程度のひび割れ幅を対象としている。

2.2 実験手順

以下に実験の手順を示す。

①初回载荷で上限荷重と下限荷重を決める。

上限荷重は、ひび割れ部の鉄筋応力が降伏応力の約90%(320 N/mm²)となる荷重とする。下限荷重は、2kNとする。

②疲労荷重の载荷速度5Hzを基本とし、初回、100、1000、1万、10万、100万回目についてはマニュアル操作による静的载荷を行い、ひずみの計測を行う。

③1万回载荷後に、ひび割れ部の鉄筋応力が150 N/mm²となるように荷重を保持した状態で、ひび割れ注入補

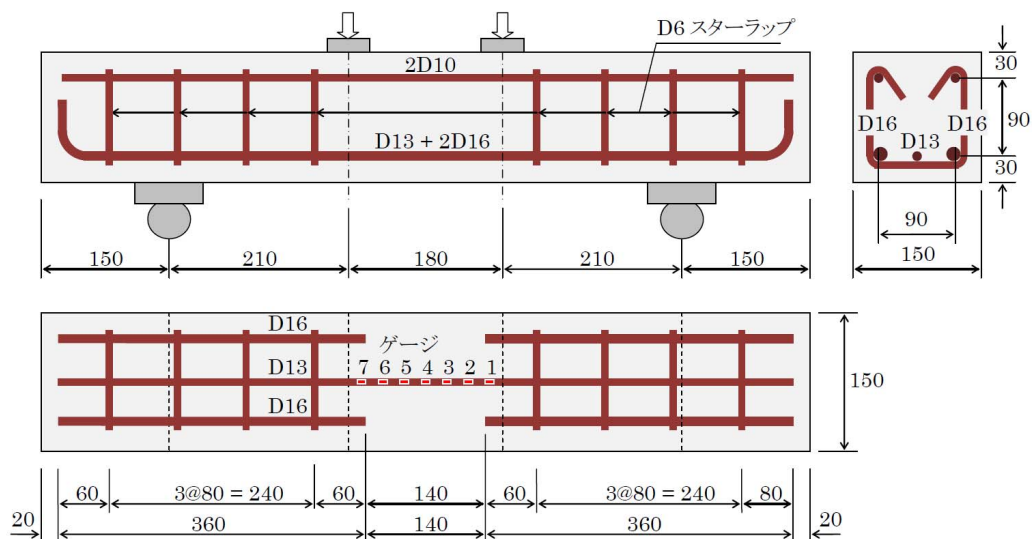


図1 供試体の形状寸法



写真1 ひび割れ注入補修の様子

修を行う（写真1参照）。

④ 1日間養生した後、実験を再開する。

3. 実験結果および考察

初回載荷時に発生したひび割れ A と 10 万回載荷時に確認されたひび割れ B の状況を図2に示す。ひび割れ B は、ひび割れ A を補修した（1 万回時）後に発生したものである。疲労荷重は最終的に 500 万回の載荷を行ったが、いずれのひび割れでも鉄筋が破断することがなかった。

図3は、最大荷重時における等曲げ区間のひずみ分布をしめたものである。初回載荷時には No.5 のひずみ

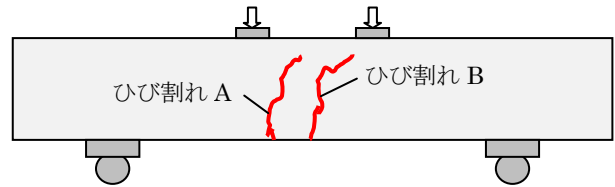


図2 ひび割れ状況

が周囲を大きくっており、ひび割れ A の位置に対応している。1000回および1万回載荷時では、ひずみ分布全体が定常状態になっている。

図4は、補修後における最大荷重時のひずみ分布である。補修直後（10001回目）に計測されたひずみ分布は全体的に値が小さくなり、なだらかな形状に移行したが、10万回および100万回載荷時には、概ね補修前のひずみに近い値となった。10万回時には、No.3のひずみが周囲より大きくなっているが、ひび割れ B の位置に対応している。

図5および図6は、最小荷重時における補修前と補修後のひずみ分布である。補修後のひずみ分布は、既往の研究で言及されているように全体的に残留ひずみが生じている。

次に、それぞれのひび割れ位置における鉄筋の疲労寿命について検討を行うために、No.5 と No.3 における鉄筋応力変化を調べることにする。図7および図8は、荷重と鉄筋応力の関係を示したものである。図では、初回、1万回、10万回の履歴のみを示した。No.5（ひび割れ

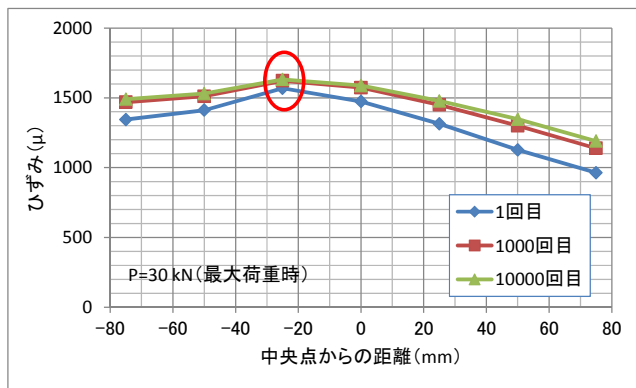


図3 鉄筋のひずみ分布（補修前・最大荷重時）

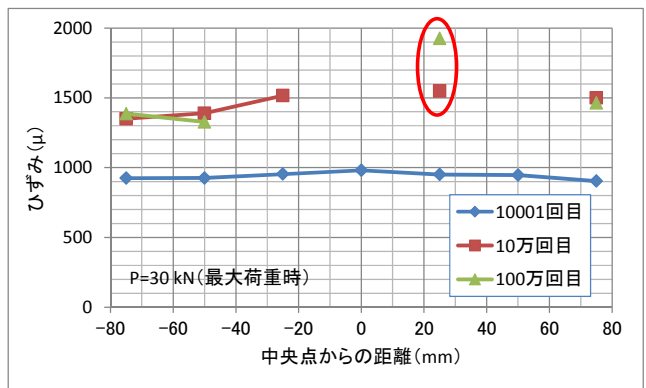


図4 鉄筋のひずみ分布（補修後・最大荷重時）

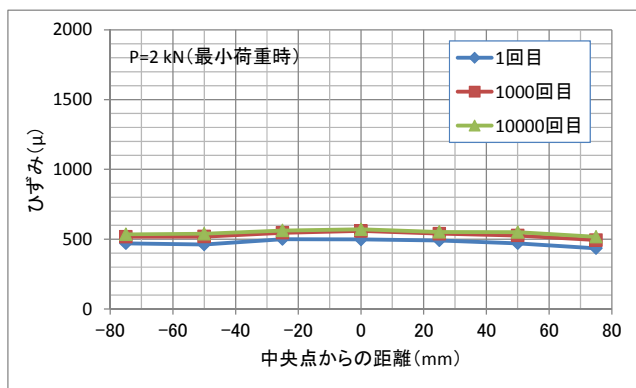


図5 鉄筋のひずみ分布（補修前・最小荷重時）

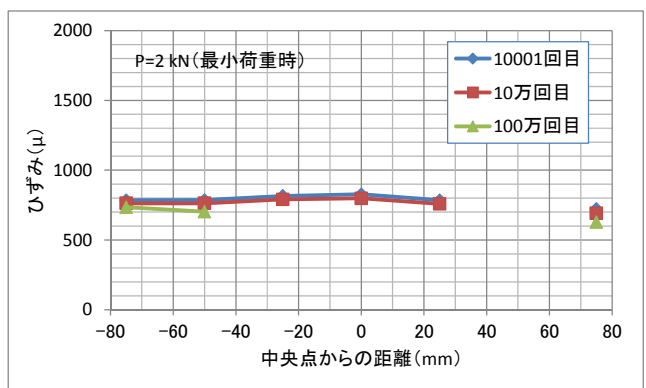


図6 鉄筋のひずみ分布（補修後・最小荷重時）

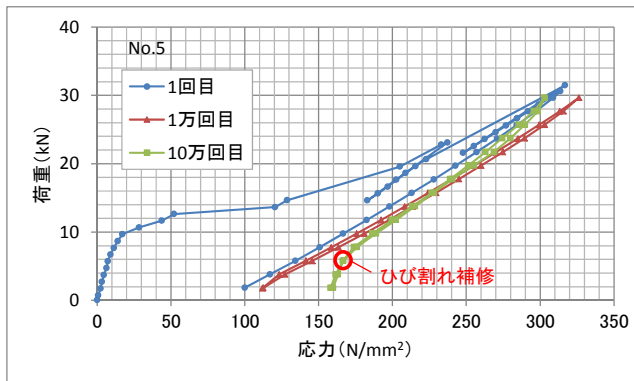


図7 鉄筋応力の履歴 (No.5 点)

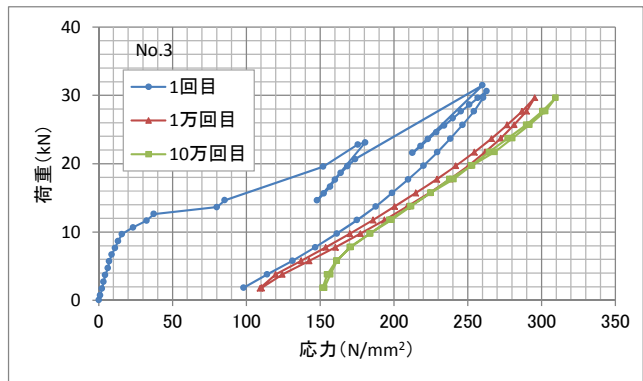


図8 鉄筋応力の履歴 (No.3 点)

A) については、補修した荷重からの除荷経路で応力の減少が鈍化することは予想されていたが、補修を行っていない No.3 (ひび割れ B) についても同様な傾向が示された。この結果から、曲げを受ける梁においては、1箇所のひび割れ補修が同時に近傍の位置におけるひび割れ部の鉄筋応力をも制御することが示された。

ひび割れ部における鉄筋の疲労寿命を検討するために、以下に示す二羽らの疲労強度予測式²⁾を用いる。

$$f_{sr} = (1 - \sigma_{\min} / f_{su}) \frac{10^{\alpha}}{N^k} \quad (1)$$

ここに、 f_{sr} : 疲労振幅強度 (MPa)

$\sigma_{\min}$: 最小応力 (MPa)

f_{su} : 引張強度 (MPa)

N : 疲労寿命

$$k_0 = 1.00$$

($N \leq 2 \times 10^6$ のとき)

$$k = 0.12$$

$$\alpha = k_0(3.17 - 0.003D)$$

($N > 2 \times 10^6$ のとき)

$$k = 0.06$$

$$\alpha = k_0\{3.17 - 0.003D - 0.06\log(2 \times 10^6)\}$$

1 本目のひび割れの対応する No.5 で、補修直前の 1 万回目および補修後の 10 万回目の最小応力と最大応力を用いて疲労寿命を計算する。2 本目のひび割れに対しても 1 万回目と 10 万回目の応力を用いて計算する。計算結果を表 1 に示す。

計算結果より、1 万回載荷時の疲労寿命が約 59 万回であることから、もしひび割れ補修していなければ、早々に鉄筋がきれていることになる。2 本目のひび割れでは、1 本目のひび割れ補修が行われなかったとすれば 208 万回程度の寿命を持つので、1 本目のひび割れにおいて鉄筋破断が先行する。

ひび割れ補修後応力 (10 万回時) を用いた計算では、No.5 の位置においては疲労寿命が 1440 万回に大きく増加した。これに対し、ひび割れ補修を行っていない No.3 における疲労寿命は 476 万回となった。No.3 はひ

表1 疲労寿命の計算結果

	測定	$\sigma_{\min}$	f_{sr}	N
No.5	1 万回	112.6	213.7	588,487
	10 万回	158.2	145.0	14,413,568
No.3	1 万回	110.4	185.1	2,082,448
	10 万回	151.8	157.8	4,760,911

び割れ補修をしていないにもかかわらず、疲労寿命が増加したが、このまま疲労荷重を与え続けければ、No.5 に先行して破断が生じると思われる。

現在のところ、500 万回を載荷したが、いずれの点でも破断が生じていない。今後、載荷を継続して疲労寿命を調査する予定である。また、今回の実験結果に基づいて、本実験の計画を策定するよていである。

4. まとめ

鉄筋コンクリート梁部材において、初期載荷で生じたひび割れに対してひび割れ注入補修を行い、疲労載荷実験を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 1 本目のひび割れ補修後、等曲げ区間に渡って最小荷重時の鉄筋の残留応力が増加し、応力振幅が小さくなった。
- 2) 実験から得られたひび割れ部の鉄筋の応力を用いて疲労寿命を計算したところ、ひび割れ補修を行わなかった場合は、1 本のひび割れ部で 59 万回で破断するという結果が得られた。ひび割れ補修後の応力を用いた場合の計算では、疲労寿命は 1440 万回に大幅に増加した。
- 2) 無補修の 2 本目のひび割れに対しては、476 万回という計算結果となったが、500 万回載荷で破断は生じていない。今後、実験を継続して調査を行う。

参考文献

- 1) 山本健太, 張 大偉, 古内 仁, 渡辺忠朋: エポキシ樹脂注入工法によるひび割れ補修が鉄筋の付着性状に与える影響について, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.1429-1434, 2011
- 2) 二羽淳一郎, 前田詔一, 岡村 甫: 異形鉄筋の疲労強度算定式, 土木学会論文集, V, 354/V-2, pp.73-79, 1985