

高耐久性レジンコンクリートパネルにより曲げ補強された RC 部材の静的および疲労特性

九州大学大学院 正会員 ○畠山 繁忠
九州大学大学院 学生会員 岡本 拓也 九州大学大学院 フェロー会員 日野 伸一
麻生商事(株) 本松 崇 麻生商事(株) 大久保 正人

1. はじめに

高度経済成長期に建設されたコンクリート橋は、供用期間が 50 年を超えるものが増加し、RC 部材の劣化が進んでいる。そのため、施工性、耐久性および経済性がより優れた補強工法の開発が急務である。本研究で使用した補強部材は、レジンコンクリートを構成原料とし、プレス成形された高耐久性埋設型枠材である。また、パネル裏面に均一に配列された複数の球状突起が、打設されたコンクリートおよび無機系グラウト材に対してアンカー効果を発揮するため、パネル全面がほぼ均一な接着性を発現する。本パネルを用いた RC 部材の曲げ補強効果に関する既往研究¹⁾では、補強筋量およびパネル間の目地の有無をパラメータとした試験体を作製し、静的曲げ載荷試験が実施された。その結果を踏まえ、本研究では、RC 部材の新たな曲げ補強工法としての実構造物への適用性を評価することを目的とし、静的載荷試験および繰返し載荷試験を行い、疲労特性および疲労を受けたはりの残存耐力を明らかにした。

2. 試験概要

図-1 に試験体概略図、表-1 に試験体一覧、表-2 に使用材料の特性値（実測値）を示す。試験体で、既設部の形状、補強筋比および目地位置は、既往の研究と同様とした。CASE1 は静的載荷試験のみ、CASE2, 3 および 4 については、それぞれ異なる振幅荷重で 200 万回の定点繰返し載荷試験を行った後、静的載荷試験を行い、疲労を受けたはりの残存耐力を確認した。繰返し載荷試験の上限荷重の決定は、補強部の曲げ補強筋が許容応力度に達したときの荷重を基準とした。CASE2 は、CASE1 の静的試験結果から、実際に補強筋が許容応力度に達した荷重である 100kN、CASE3 は、RC の曲げ理論に基づく設計値である 65kN、CASE4 は設計値の 1.3 倍の値である 85kN とし、下限荷重はいずれも 10kN とした。載荷は、いずれの試験も、支点間距離 1500mm、載荷スパン 200mm の 2 点線載荷とし、たわみ、各種ひずみ、ひび割れの幅および長さを測定した。

3. 結果および考察

図-2 に繰返し載荷試験結果を示す。スパン中央変位および補強部曲げ補強筋ひずみの、上限荷重時と下限荷重時の値を併記したものを縦軸に、横軸に載荷回数を示す。CASE2 について、変位・ひずみともに載荷回数を重ねるごとに増加しているが、100 万回までは大きな変化は見られなかった。しかし、載荷回数 130 万回時には、変位・ひずみともに大きく増加している。これは載荷回数 100 万回から 130 万回の間にパネルにひび割れが発生したことによる影響だと考えられる。目地からは、載荷 1 回目の 60kN 時にひび割れが発生したが、ひび割れ断面となっても、100 万回まではパネルが引張力を負担していたことがわかる。CASE3 および CASE4 については、変位・ひずみともに CASE2 よりも小さい値を示し、載荷回数 200 万回まで大きな変化は見られなかった。また、いずれも 200 万回載荷終了時にパネルにひび割れは確認されなかった。このことから、使用限界レベル相当での荷重による繰返し載荷では、本パネルに対する影響は小さいことがわかる。

疲労を受けたはりの残存耐力を確認するため、200 万回繰返し載荷を行った後、静的載荷試験を行い、CASE1 の静的耐力と CASE2~4 の残存耐力を比較した。表-3 に最大荷重およびパネルひび割れ発生時の荷重をまとめたも

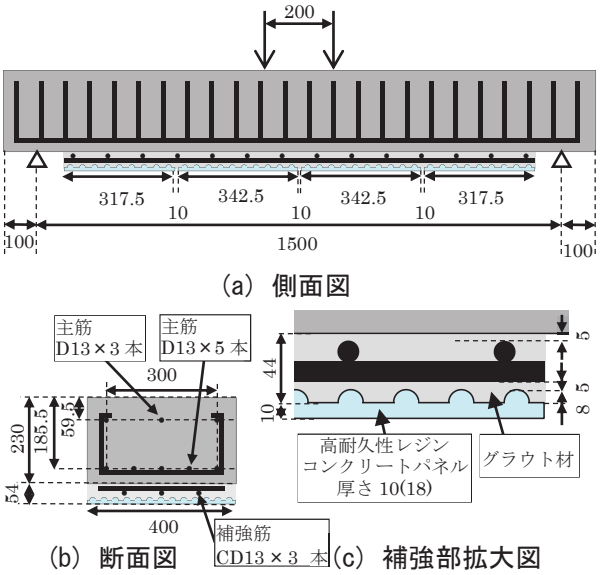


図-1 試験体概略図（単位：mm）

表-1 試験体一覧

CASE	試験	疲労試験		上限荷重備考
		上限荷重 (kN)	下限荷重 (kN)	
1	静的	-	-	-
2	疲労+静的	100	10	設計値の 1.5 倍*
3	疲労+静的	65	10	設計値
4	疲労+静的	85	10	設計値の 1.3 倍

*CASE1 の結果より決定

表-2 材料特性値

(a) コンクリート、グラウト材およびパネル

	CASE	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)
コンクリート	1, 2	36.5	3.21	2.67
	3, 4	32.1	2.90	2.42
グラウト	1, 2	62.1	2.75	2.42
	3, 4	55.6	-	2.44
パネル	1~4	100	30.0	2.45

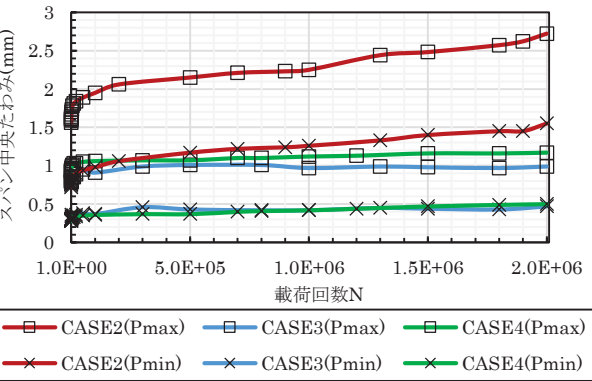


図-2 変位-載荷回数関係

のを、図-3に荷重-スパン中央変位関係を示す。CASE1は、疲労を受けていない試験体であるため他の試験体と比較して初期剛性が高く、最大荷重は最も大きい値が得られた。CASE2は、CASE1と比較すると最大荷重が27%減少した。これは、繰返し载荷試験終了後に除荷した状態において、各鉄筋に残留ひずみが生じ、早い段階で鉄筋の降伏を迎えたためだと考えられる。CASE3およびCASE4についても、CASE2と同様、残留ひずみの影響によりCASE1と比較すると、最大荷重が6%減少した。CASE2に比べ残留ひずみの影響が小さい理由としては、繰返し载荷試験中にパネルにひび割れが発生しておらず、鉄筋の負担を低減させることができたことが推察される。

図-4に荷重-補強部曲げ補強筋ひずみおよび上縁コンクリートひずみ関係を示す。CASE1のみ目地からのひび割れが発生していなかったため、初期剛性が高くなっているが、65kN以降はいずれの試験体も同等の剛性を示している。また、いずれの試験体も、残留ひずみを考慮すると、補強部の曲げ補強筋が降伏時まで有効に作用していることがわかる。また、上縁コンクリートは圧縮破壊ひずみ相当まで発生し、一般的な曲げ圧縮破壊の挙動であったことがわかる。

残留ひずみを考慮した場合の各鉄筋の降伏ひずみを算定し、その値を用いRCの曲げ理論に基づき設計値を求めた。繰返し载荷によって生じた残留ひずみ、および残留ひずみを考慮した各鉄筋の特性値を表-4に、設計値と実験値を併記したものを表-5に示す。残留ひずみを考慮した各鉄筋の強度は、ヤング係数は変化していないものと考え、元の降伏ひずみから残留ひずみを引いたものを降伏ひずみとし、強度を算定した。補強筋の残留ひずみは、繰返し载荷後の計測値を用い、また、既設筋は補強筋の残留ひずみを基準に平面保持側に従い、比で求めたものを用いて計算した。表-5、6より、CASE2は、CASE3およびCASE4と比較して残留ひずみが大きく生じていることがわかる。この影響により、CASE2は残留ひずみを考慮していない場合の設計値と実験値の比は小さくなっているが、残留ひずみを考慮することで、残存耐力を安全側に評価できていることがわかる。また、CASE3およびCASE4については、繰返し载荷後も現行のRCの曲げ理論で十分に評価し得ることが確認でき、残存耐力を保持し得ることが明らかとなった。

4. まとめ

- (1) 疲労試験結果から、使用限界レベルでの荷重下では、パネルにひび割れは発生しなかったため、RC部材の曲げ補強材としての適用性は明らかとなった。
- (2) 繰返し载荷でパネルにひび割れが発生しなかった設計値の1.3倍までのケースでは、その後の静的载荷試験においてもパネルが引張力を負担し、残存耐力を保持し得ることがわかった。

参考文献

- 1) 山口浩平, 本松崇, 大久保正人, 合田寛基, 高耐久性レジンコンクリートパネルによるRC部材の曲げ補強効果, コンクリート工学年次論文集, Vol37, No.2, pp.1279-1284, 2015.7

表-4 降伏強度設計値(残留ひずみ考慮)

鉄筋位置	CASE	残留ひずみ(μ)	降伏強度(N/mm ²)	
			(1)	(2)
既設部	2	484	366	269
	3	145	366	337
	4	153	348	317
補強部	2	777	354	199
	3	234	354	307
	4	247	350	301

- (1) 残留ひずみを考慮していない場合の強度
 - (2) 残留ひずみを考慮した場合の強度
- *鉄筋のヤング係数は2.0×10⁵N/mm²とする。

表-3 最大荷重およびパネルひび割れ発生時

CASE	疲労試験		最大荷重(kN)	パネルひび割れ発生
	上限荷重(kN)	下限荷重(kN)		
1	-		250	静的試験 160kN 時
2	100	10	182	疲労試験 130 万回時
3	65	10	235	疲労試験後 静的試験 135kN 時
4	85	10	235	疲労試験後 静的試験 135kN 時

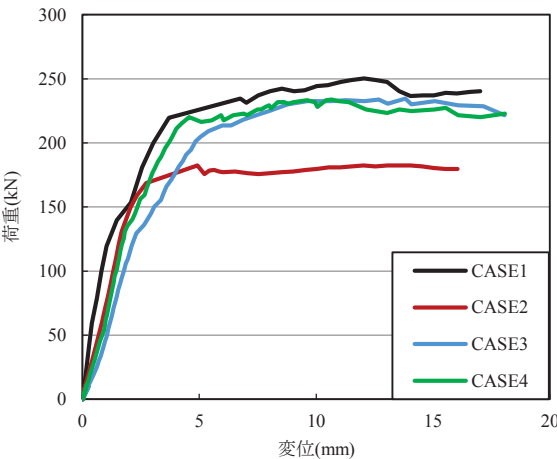


図-3 荷重-スパン中央たわみ関係

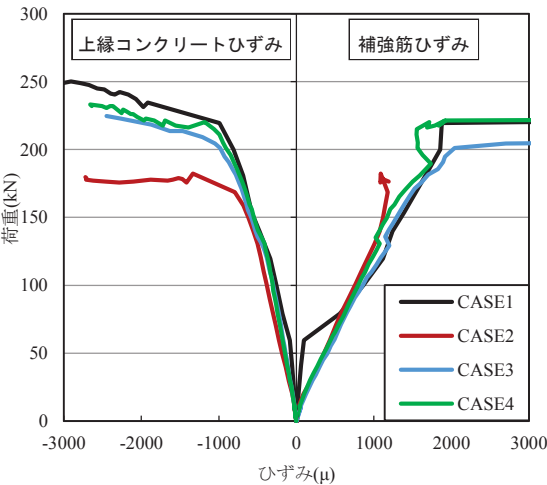


図-4 補強鉄筋の荷重-ひずみ関係

表-5 実験値および設計値比較一覧

CASE	補強筋降伏荷重			既設筋降伏荷重			最大荷重		
	設計値(kN)	実験値(kN)	実験値/設計値	設計値(kN)	実験値(kN)	実験値/設計値	設計値(kN)	実験値(kN)	実験値/設計値
1	165	181	1.10	212	235	1.11	228	250	1.10
2	(1) 165	131	0.79	212	169	0.80	228	182	0.80
	(2) 92		1.42	140		1.21	164		1.11
3	(1) 165	171	1.04	212	209	0.99	223	235	1.05
	(2) 141		1.21	189		1.11	204		1.15
4	(1) 160	176	1.10	204	220	1.08	218	235	1.08
	(2) 138		1.28	181		1.22	197		1.19

- (1) 残留ひずみを考慮していない場合の強度
- (2) 残留ひずみを考慮した場合の強度