

高強度鉄筋で RC 巻立て補強した低鉄筋比 RC 壁式橋脚の地震時破壊特性と耐力・変形能

(国研) 土木研究所 正会員 ○鬼木 浩二, 中尾 尚史, 岡田 太賀雄, 星隈 順一

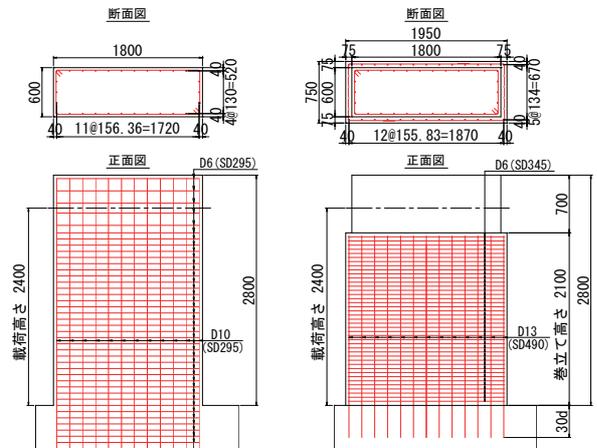
1. はじめに

設計年次の古い RC 壁式橋脚には軸方向鉄筋量が少ない構造となっている場合も多く、耐震補強においては地震時保有水平耐力を相応に向上させる対策が検討されることが多い。一方で、過密配筋の解消やフーチングへの削孔箇所数を減らし施工性を向上させる観点から、RC 巻立て補強への高強度鉄筋の適用が期待されている。壁式橋脚に対する RC 巻立て補強に関しては、これまでも補強効果や変形能についての検証が行われているが¹⁾²⁾、これらは軸方向鉄筋に SD295 を用いた場合であり、設計基準強度 21N/mm² のフーチングに高強度鉄筋を定着させた RC 巻立て補強に関して検証した研究は少ない³⁾。本稿では、低鉄筋比 RC 壁式橋脚に高強度鉄筋を用いて RC 巻立て補強した場合の補強効果や変形能の評価手法を構築していく一環として、模型供試体を用いた正負交番載荷試験を実施し、破壊特性や損傷の進展状況を確認した。

2. 供試体の構造諸元及び正負交番載荷試験の概要

図-1 に供試体の配筋図を、表-1 に供試体の構造諸元を示す。無補強供試体は既設 RC 壁式橋脚(支承条件:固定)を想定したもので、レベル 1 地震動で耐震設計された降伏震度が 0.22 の橋脚とした。壁式橋脚及びフーチングのコンクリート設計基準強度は 21N/mm² であり、軸方向鉄筋には SD295 を用い、軸方向鉄筋比を 0.2% とした。RC 巻立て補強供試体は、その無補強供試体を製作後、RC 巻立て工法にて補強を行った。RC 巻立て補強においては、基礎への負担を軽減することに配慮し、橋脚にある程度の塑性変形能が発揮されることを想定して、目標耐力を降伏震度で 0.56 相当にまで向上させる補強量を設定した。

その結果、巻立て補強の厚さは 75mm、コンクリート設計基準強度を 30N/mm² とした上で、軸方向鉄筋には高強度鉄筋の SD490 を用い、軸方向鉄筋比 0.37% とした。軸方向鉄筋に SD490 を用いることに伴い、SD345 を用いる場合と比較して、削孔箇所数を計算上 36 箇所から 26 箇所にまで減らすことができた。なお、別途実施した SD490 の群鉄筋を用いた引抜き試験⁴⁾及び SD490 を用いた RC 巻立て補強のアンカー定着特性試験³⁾の結果より、鉄筋の抜け出しが生じないようにするためには、定着ピッチを 5.3d 以上(d: 軸方向鉄筋の直径)、定着長を 30d 以上としておけば定着機能が確保できることが確認されているため、RC 巻立て補強供試体の軸方向鉄筋は、既設部の軸方向鉄筋ピッチを考慮して、定着ピッチを 12d 程度(156mm)、定着長を 30d (390mm)とし、エポキシ樹脂を充填することによりフーチングに定着させた。正負交番載荷試験は写真-1 に示すようなセットアップにより行い、基準変位 δ_y の整数倍の水平変位を各載荷ステップで 3 回繰り返す漸増載荷とした。基準変位 δ_y は柱基部の最外縁に位置する軸方向鉄筋が降伏ひずみ (引張試験より 2745 μ) に達する時とし、予備載荷より 8mm と設定した。



(a)無補強供試体(既設橋脚) (b)RC 巻立て補強供試体

図-1 供試体配筋図

表-1 供試体構造諸元

項目	無補強供試体(既設部)			RC巻立て補強供試体				
	実橋換算	供試体	比	実橋換算	供試体	比		
断面寸法(幅×奥行)	mm	7200×2400	1800×600	4.0	7800×3000	1950×750	4.0	
巻立て厚	mm	—	—	—	300	75	4.0	
橋脚(載荷)高さ	mm	9600	2400	4.0	9600	2400	4.0	
せん断スパン比	-	4.00	4.00	1.0	3.2	3.2	1.0	
軸方向鉄筋	種別	-	SD295	SD295	-	SD490	SD490	-
	径	mm	D29	D10	-	D38	D13	-
	ピッチ	mm	300	156.36	1.9	300	155.83	1.9
	鉄筋比	%	0.20	0.20	1.0	0.40	0.37	1.1
帯鉄筋	種別	-	SD295	SD295	-	SD345	SD345	-
	径	mm	D16	D6	-	D16	D6	-
	ピッチ	mm	300	75	4.0	150	50	3.0
	有効長	mm	2100	1720	1.2	2700	1870	1.4
体積比	%	0.13	0.10	1.3	0.20	0.14	1.4	
コンクリート設計基準強度	N/mm ²	21	21	1.0	30	30	1.0	
作用軸力	kN	13824	864	16.0	15144	884	17.1	
(基部) 軸方向応力度	N/mm ²	0.80	0.80	1.0	0.65	0.67	1.0	
降伏震度(P _v /W)	-	—	0.22	—	—	0.56	—	

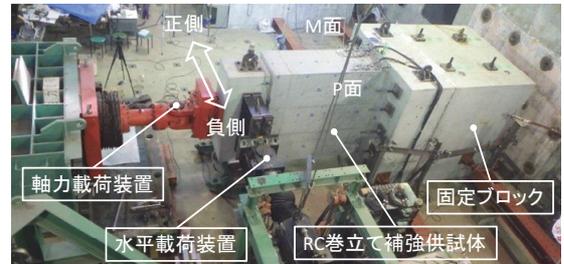


写真-1 セットアップ状況

キーワード 高強度鉄筋, RC 巻立て補強, 低鉄筋比, RC 壁式橋脚, 正負交番載荷試験, 地震時破壊特性

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL: 029-876-6773

3. 高強度鉄筋で RC 巻立て補強した低鉄筋比 RC 壁式橋脚の正負交番載荷試験結果

図-2 に RC 巻立て補強供試体の載荷終了後の損傷状況(9 δ_y)を、図-3 に水平荷重と水平変位の関係を示す。ここで、無補強供試体の荷重-変位関係は文献 5)より引用した。本補強供試体の正負交番載荷試験では、2 δ_y の正側の載荷時に最大荷重 515kN に達した。3 δ_y の載荷では耐力が概ね保持され、無補強供試体と同様、微細な横方向ひび割れとともに RC 巻立て基部のみ全周にひび割れが進展し、巻立て基部とフーチングの間に隙間が生じた。図-4 に1~3 δ_y 時における軸方向鉄筋(SD490)の引張ひずみ分布を示す。なお、4 δ_y 以降はゲージの破断により示していない。2 δ_y の載荷で巻立て基部付近のみにひずみが集中的に生じており、3 δ_y の載荷でも軸方向鉄筋の塑性化範囲が広がっていないことが確認でき、かぶりコンクリートの損傷状況と一致している。なお、図-4 に記載した最大荷重時に相当する 3 δ_y 時においてもフーチング埋込み部先端のひずみは大きく変化しておらず、アンカー部の定着機能が確保されていることが確認できる。4 δ_y ~6 δ_y の載荷時には、耐力が徐々に低下して、斜め方向や縦方向にもひび割れが増えたが、剥離・剥落の範囲は巻立て基部付近のみと変わらなかった。7 δ_y の載荷以降で断続的に鉄筋が破断し、最終的に 9 δ_y で最大耐力から 70%程度耐力が低下したところで載荷を終了した。本補強供試体の破壊の進展状況は、文献 6)に示される軸方向鉄筋比が 1%前後の一般的な RC 橋脚の破壊特性と異なる結果であった。すなわち、一般的な破壊特性は、塑性ヒンジ領域に軸方向鉄筋の座屈によるはらみ出しやコンクリートの剥離・剥落が生じることが知られているが、本補強供試体では、文献 2)に基づく塑性ヒンジ領域(基部から 300mm の範囲)と実際の損傷範囲(基部から 100mm 以下の範囲)は大きく異なっていた。また、鉄筋の破断前に耐力が低下していることから軸方向鉄筋の座屈は生じているものと考えられるが、かぶりコンクリートの剥落にまでは至っていない。これは、軸方向鉄筋比が 0.37%と小さく、軸方向鉄筋が座屈しはらみ出そうとする力が巻立て部のかぶりコンクリートの抵抗力に対して相対的に小さかったことが要因として考えられる。また、このような破壊特性は、鉄筋の破断に至る前に座屈が生じず、またそれまでは大きな耐力低下も生じないという低鉄筋比の無補強供試体とも異なる破壊性状である。

4. まとめ

本稿では、高強度鉄筋で RC 巻立て補強(軸方向鉄筋比 0.37%)を施した低鉄筋比壁式 RC 橋脚を対象に正負交番載荷試験を行い、破壊特性及び損傷の進展状況について確認した。本補強供試体は、RC 巻立て基部のごく僅かな範囲のみでかぶりコンクリートの剥落や軸方向鉄筋の座屈が生じており、最終的には軸方向の繰返し引張力と圧縮力の作用により破断に至った。これは、軸方向鉄筋の座屈やかぶりコンクリートの剥落を伴う軸方向鉄筋比が 1%前後の一般的な RC 橋脚の破壊特性や軸方向鉄筋の座屈やかぶりコンクリートの剥落を伴わない軸方向鉄筋比 0.2%の低鉄筋比 RC 壁式橋脚の破壊特性とも異なるものである。

参考文献

1) 長屋和宏ら：壁式 RC 橋脚の鉄筋コンクリート巻立て補強とその効果，土木学会第 51 回年次学術講演会，平成 8 年 9 月。2) 玉越隆史ら：既設橋の耐震補強設計に関する技術資料，国土技術政策総合研究時資料第 700 号，土木研究所資料第 4244 号，平成 24 年 11 月。3) 末崎将司ら：高強度鉄筋を用いた RC 巻立て補強のアンカー定着に関する実験的検討，土木学会第 70 回年次学術講演会，平成 27 年 9 月。4) 井上崇雅ら：RC 巻立て耐震補強において既設フーチングに定着させる SD490 群鉄筋の定着特性，第 18 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.15-20, 2015 年 7 月。5) 篠原聖二ら：低鉄筋比 RC 壁式橋脚の地震時破壊特性と耐力・変形能の評価，構造工学論文集，Vol.61A, 2015 年 3 月。6) 建設省土木研究所他：鉄筋コンクリート橋脚の耐震性に及ぼす寸法効果の影響に関する共同研究報告書，土木研究所共同研究報告書，第 234 号，1999.10

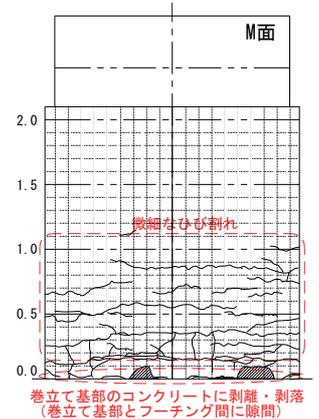


図-2 損傷状況 (9 δ_y 載荷終了後)

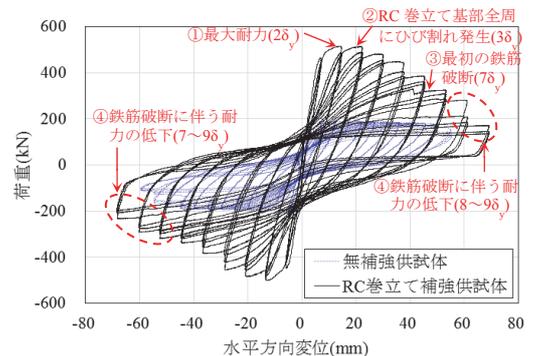


図-3 水平荷重-水平変位関係

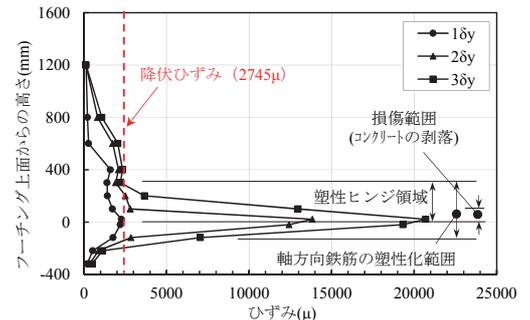


図-4 軸方向鉄筋(SD490)のひずみ分布