

既設橋フーチングへの高強度鉄筋の定着特性

井上崇雅・篠原聖二・星隈順一

1. はじめに

平成24年に改定された道路橋示方書¹⁾では、従来の規定よりも降伏点の高い高強度鉄筋(SD390,SD490)をRC橋脚の軸方向鉄筋として使用することができるようになった。既設橋脚に対するRC巻立て耐震補強においても、フーチングに軸方向鉄筋を定着させる場合(図-1)があるため、このようなケースにも高強度鉄筋を用いることができれば、所定の補強に必要な軸方向鉄筋の本数を減らすことができる。このことは、フーチングに施工しなければならない削孔数を低減できることにもつながるため、現場での施工性の改善、削孔に伴うフーチング内の既存鉄筋を損傷させるリスクの回避の観点から、現場からのニーズも高い。

しかしながら、既設橋のフーチングのコンクリートは設計基準強度 21N/mm^2 の場合が多く、このような強度のフーチングに対して高強度鉄筋を定着させようとした場合、定着長をどのように確保しておくべきか、従来の定着に関する評価式がそのまま適用できるのかが明らかとなっていない²⁾。

そこで、本研究では、既設フーチングを模したコンクリートに複数本の高強度鉄筋SD490が近接してあと施工により定着させた状態(図-1の赤破線部)を要素的に供試体として作成し、その定着特性を正負交番定着試験により検証した。

2. 正負交番定着試験の概要

2.1 供試体と試験ケース

供試体は、RC巻立て補強工法においてフーチングに軸方向鉄筋を定着させる場合を想定し、あと施工により定着する方法とした。鉄筋の材質は高強度鉄筋SD490と従前から使用されているSD345の2種類とし、実橋への適用を想定した直径が35mmの異形鉄筋とした。また、本実験では、

表-1 試験ケース

Case	軸方向鉄筋			定着長
	呼び	強度	間隔 L(mm) (L/D)	
1	D35	SD345	125 (3.6D)	20D
2			250 (7.1D)	
3	D35	SD490	125 (3.6D)	20D
4			250 (7.1D)	
5	D35	SD490	125 (3.6D)	30D
6			250 (7.1D)	

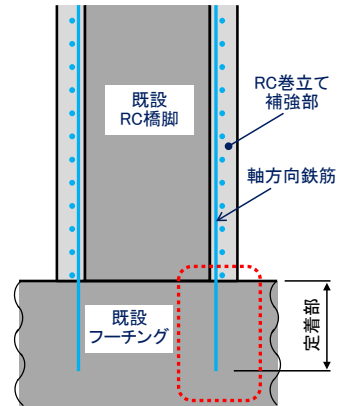


図-1 RC巻立てにおける軸方向鉄筋の定着部

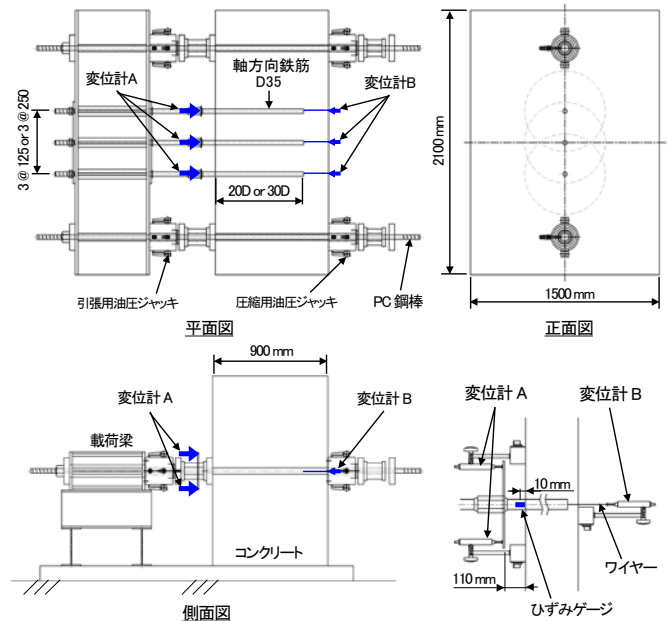


図-2 荷重セットアップ図

高強度の軸方向鉄筋が近接してあと施工されることを考慮し、鉄筋の設置間隔及びその定着長に着目した表-1に示す6ケースの検討を行った。軸方向鉄筋のあと施工による定着は、一般的に現場で実施されている施工手順と同様に行った。すなわち、コンクリートには鉄筋径+17mmの径で定着長+50mmの深さまでコアドリルを用いてコア削孔を施し、孔内の清掃を行ってからエポキシ樹脂系接着剤を充填し軸方向鉄筋を定着させた。フーチングのコンクリートの圧縮強度は、既設橋における実際の設計基準強度(21N/mm^2)を大幅に

上回ることがないように留意して製作した。実験に用いた鉄筋の引張強度及びコンクリートの圧縮強度は、それぞれ表-2及び表-3のとおりである。

2.2 荷重方法

図-2に荷重セットアップ図を示す。供試体は軸方向鉄筋が水平となる方向に設置し、荷重梁に3本の軸方向鉄筋を固定させた。また、図-2に示すように3本の軸方向鉄筋の両側にPC鋼棒を設置し、引張荷重と圧縮荷重を与えるための油圧ジャッキをそれぞれ取り付けられた。

RC巻立て補強された柱部材の軸方向鉄筋の定着部における正負交番荷重試験の状態により近づけるため、次の手順により試験を行った。

- ①鉄筋の引張強度試験結果から求められる軸方向鉄筋の降伏ひずみが計測された時点での変位計Aの変位量を基準変位 δ_0 とする。
- ②引張側の荷重では δ_0 の整数倍の変位を、圧縮側の荷重では δ_0 時の引張荷重と同じ絶対値の荷重となるように荷重する。
- ③②をそれぞれ3回ずつ正負交番に繰り返す漸増荷重を最大10 δ_0 の引張変位の荷重ステップまで行う。

ただし、圧縮荷重に対しては、荷重セットアップの構造上、実験を実施する上での安全性が確保できる範囲内で荷重を行った。このため、一部の荷重ステップにおいて目標とする圧縮荷重まで到達できていない場合がある。

2.3 計測方法

計測は軸方向鉄筋の変位及びひずみとし、変位計は図-2に示すようにセットした。すなわち、軸方向鉄筋3本にフーチング上面から高さ110mmの位置にそれぞれ設置した変位計Aにより、この110mmの区間の鉄筋のひずみによる変位、フーチング内での鉄筋の引張ひずみによる伸び出し変位及び定着不足の場合に生じる鉄筋の抜け出しによる移動量の和を計測した。また、定着先端部からフーチング裏面にワイヤーを通し、ワイヤーを変位計Bに取り付けることにより鉄筋の定着先端

部の移動量を計測した。ひずみはフーチング上面から10mmの位置に鉄筋に貼り付けたひずみゲージにより計測を行った。

3. 定着条件が定着特性に及ぼす影響

3.1 正負交番定着試験の結果

図-3は、Case-3、Case-4、Case-5の3ケースに対して、荷重と変位計Aで計測した変位関係を履歴曲線として示したものである。履歴曲線の変位は、軸方向鉄筋3本の平均値である。ここで、図中に示す降伏荷重は表-2の鉄筋の引張強度試験結果で得られた降伏荷重を3倍（本実験での鉄筋本数倍）したものである。なお、本稿では紙面の都合から、図-3に示す履歴曲線の結果はCase-3～5の3ケースのみ示しているが、その他のケースについては参考文献3)に報告しているので参照いただきたい。

また、各荷重ステップにおける変位と変位計Bで計測した定着先端部の軸方向鉄筋の移動量の関係を各試験ケース間で比較した。その結果を図-4に示す。

3.2 定着長の影響

定着長の影響を検証するため、SD490を同じ中心間隔(3.6D)で定着させているが、定着長が異なるCase-3(20D)及びCase-5(30D)を比較する。Case-3は図-3(a)に示すように初期荷重1 δ_0 の引張荷重が1200kN付近で変位が急激に伸び、その後、3.8mmまで到達したが、2 δ_0 での3回目の引張荷重途中で軸方向鉄筋がコンクリートから抜け出し、定着機能を喪失した状態となった。

表-2 鉄筋の引張強度試験結果

項目	単位	Case-1,2 SD345 (D35)	Case-3,4,5,6 SD490 (D35)
降伏荷重	kN	362	510
降伏強度	N/mm ²	378.1	533.0
降伏ひずみ	—	1904 μ	2692 μ
引張荷重	kN	550	668
引張強度	N/mm ²	575.0	698.0
弾性係数	kN/mm ²	198.6	198.0
破断伸び	—	26.0%	22.3%

表-3 コンクリートの圧縮強度試験結果

項目	単位	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6
		SD345 @125-20D	SD345 @250-20D	SD490 @125-20D	SD490 @250-20D	SD490 @125-30D	SD490 @250-30D
設計基準強度	N/mm ²	21	21	21	21	21	21
実験時圧縮強度	N/mm ²	23.1	21.3	23.7	23.0	22.6	23.0

一方、Case-5では図-4に示すように、定着先端部の移動量は $10\delta_0$ で0.26mmと小さく、図-3(c)に示す履歴曲線においてもエネルギー吸収ができていることから、定着機能は確保できていると評価できると考えられる。

3.3 定着する鉄筋の設置間隔の影響

定着する鉄筋の設置間隔の影響を検証するため、SD490を同じ定着長(20D)で定着させているが、設置間隔が異なるCase-3(3.6D)及びCase-4(7.1D)を比較する。Case-3は前述したように $2\delta_0$ で軸方向鉄筋がコンクリートから抜け出す結果となり、定着機能は確保できていない。

Case-4では $10\delta_0$ まで降伏荷重相当の引張荷重を保持することができたが、図-4に示すように載荷変位の増加に伴って定着先端部の移動量は大きくなっており、 $10\delta_0$ での定着先端部の移動量は3.06mmとなった。図-3(b)に示す履歴曲線においても、履歴曲線で囲まれる面積(吸収エネルギー)はCase-5と比較しても小さくなっていることがわかる。これは、図-4に示したように、定着先端部の移動による影響が要因となっていると考えられる。

以上のことから、SD490を軸方向鉄筋として用いる場合、定着長が20Dの長さではそもそも定着機能が確保できていないため、Case-3とCase-4の比較による中心間隔の影響について言及することはできない。また、SD490を30Dの定着長で定着させたCase-5(3.6D)及びCase-6(7.1D)についても比較したが、両ケースともに定着機能は確保できているものの、中心間隔の影響による有意な差はなかった³⁾。

3.4 フーチングに生じたひび割れ性状

試験終了後のフーチング上面のひび割れ状況を写真-1に示す。また、試験終了後に供試体を切断

し、軸方向鉄筋周りのコンクリートに発生した内部ひび割れの状況を確認した結果を写真-2に示す。

これより、定着機能が確保できなかったCase-3(写真-2(a))では、コンクリートの内部においても定着先端部からフーチング上面にかけてコーン状にコンクリートの破壊が生じていることがわかる。コンクリートから抜け出しはしなかったものの、定着機能が十分に確保できなかったCase-4(写真-2(b))についても、定着先端部からフーチング上面にかけてコーン状にひび割れが生じている。一方、定着機能が確保できたCase-5(写真-3(c))では、フーチング上面付近ではコーン状のひび割れが生じてはいる(写真-1(c))ものの、フーチング内部にまで進展しているものではなく、いわゆるコーン破壊に至っていないことが確認できる。

4. まとめ

本研究では、既設のRC橋脚に対してRC巻立て耐震補強を行う場合において、SD490を軸方向鉄筋として活用しようとする際に課題となる既設フーチングへの定着特性を正負交番定着試験により検証した。RC巻立て補強工法においてSD490

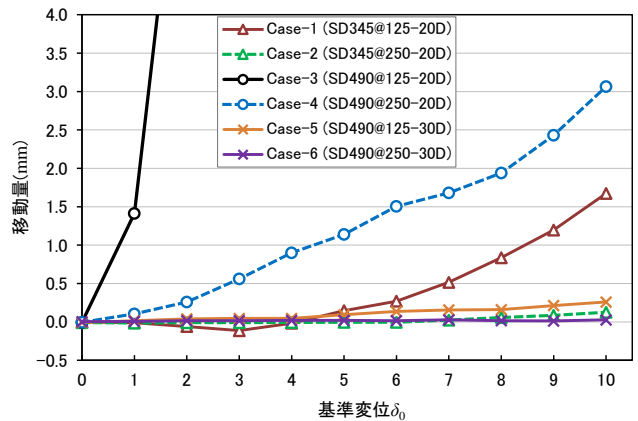


図-4 定着先端部の軸方向鉄筋の移動量

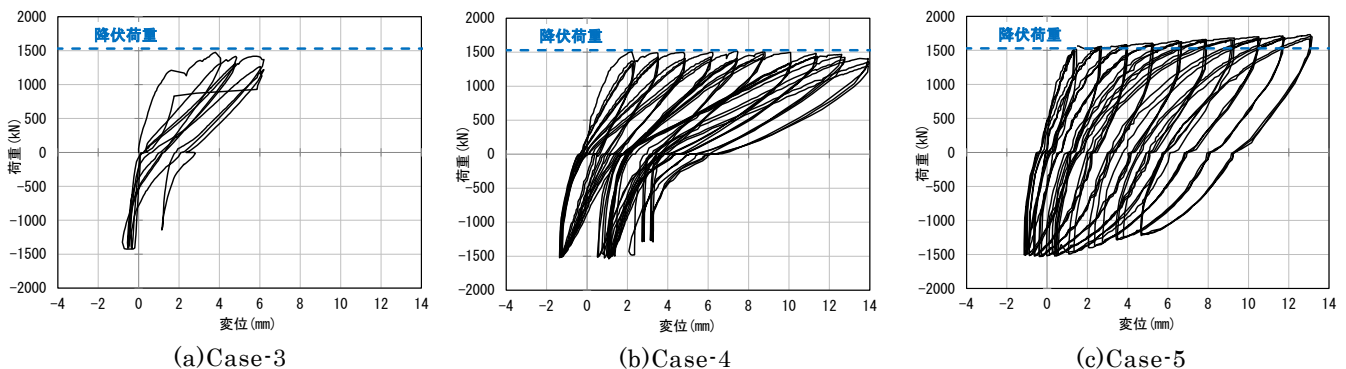


図-3 荷重-変位関係



(a)Case-3



(b)Case-4



(c)Case-5

写真-1 試験終了後のフーチング上面のひび割れ状況



(a)Case-3



(b)Case-4



(c)Case-5

写真-2 試験終了後の内部ひび割れの状況

を軸方向鉄筋に適用するにあたっては、フーチングも含めた橋脚模型供試体に対する正負交番荷重実験による検証が別途必要であるが、本文で示した要素的なSD490鉄筋の定着試験の範囲内から得られた知見をまとめると以下のとおりである。

(1) 設計基準強度 $21\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の既設フーチングに対してSD490を軸方向鉄筋として20Dの定着長により定着させた場合、その鉄筋の設置間隔が3.6Dのときは鉄筋が抜け出した。また、7.1Dの間隔とした場合には、抜け出しまでは生じなかったものの、定着先端部の移動量が大きな値となり、定着機能としては十分ではなかった。

(2) SD490を30Dの定着長で定着させた場合には、中心間隔を3.6D及び7.1Dとした場合の両ケースともに定着機能が確保できることを確認した。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編、2012
- 2) 既設橋の耐震補強設計に関する技術資料、国総研資料第700号、土研資料第4244号、2012
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0700.htm>
- 3) 井上崇雅、篠原聖二、星隈順一：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.269～276、2015

井上崇雅



土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ
交流研究員
Takamasa INOUE

篠原聖二



研究当時 土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ主任研究員、現 阪神高速道路(株)技術部技術推進室、博(工)
Dr.Masatsugu SHINOHARA

星隈順一



研究当時 土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員、現 国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部橋梁研究室長、博(工)
Dr.Jun-ichi HOSHIKUMA