

RC 構造物における丸鋼の定着強度に関する実験的検討

Experimental Study for Bond Strength of Round Steel Bar in RC Structure

(独)土木研究所寒地土木研究所 ○正 員 西 弘明(Hiroaki Nishi)
(独)土木研究所寒地土木研究所 正 員 岡田慎哉(Shin-ya Okada)
(独)土木研究所寒地土木研究所 正 員 澤松俊寿(Toshikazu Sawamatsu)
(独)土木研究所寒地土木研究所 正 員 角間 恒(Ko Kakuma)

1. はじめに

近年、日本国内では大きな地震が相次いでいる。世界的にも、地震は活動期に入ったと言われており、今後も比較的大きな地震は高い頻度で発生することが予想され、これに対して必要な対策を実施し、被害を最小限に留められるようにすることが肝要である。平成 24 年に新たに改定となった道路橋示方書・同解説¹⁾(以降 H24 道示)においても、耐震設計に用いられる入力地震動のレベルが引き上げられ、新橋建設において、より高い耐震性能を求めている。

また、既設橋梁の耐震補強も鋭意進められているが、特に建設年次の古い橋梁においては、既存の耐震性能が低いことにより、現状の設計基準まで性能を引き上げる場合には補強設計が肥大化し、補強にかかるコストが増大する傾向にある。しかしながら、昨今、国策として公共事業に関わる予算の縮減が進められており、道路橋に関わる予算についても大規模なコスト縮減が強く求められている。このような社会情勢のなかで、橋梁の耐震補強に関わる予算も例外ではなく、そのコストを縮減するためには、保有性能を適切に評価し、より合理的かつ最適な耐震設計を行う必要がある。

ここで、1970 年代までに建設された橋梁においては、鉄筋に丸鋼が用いられており、異形鉄筋を用いた場合と比較して、異なる性能を保有しているものと考えられる。著者らの既往検討^{2),3)}においては、床版や橋脚模型において丸鋼を用いたものと、異形鉄筋を用いたものとは、耐荷性状や破壊性状が異なることが明らかとなっている。

本研究では、丸鋼を用いた RC 構造物の保有性能を適切に評価する手法を確立することを目的として、RC 断面の終局評価のために必要である丸鋼鉄筋の付着特性について実験的に検討を行ったものである。

2. 丸鋼鉄筋の定着形状に関する設計基準の変遷

表-1 には、丸鋼鉄筋の定着形状に関する設計基準の変遷を示す。丸鋼の定着部形状は、昭和 24 年のコンクリート標準示方書により半円形フックと定められた以降、基本的な形状は変更されていない。しかしながら、フックの最小直径および直線部の長さについては変更を伴っている。最小直径については拡大、直線部については延長されており、これらはどちらも定着を強固にする方向への変更である。

本検討では定着性能を安全側で評価するため、最も定着性能が低いと考えられる基準に準ずるものとし、形状

表-1 丸鋼定着部の基準の変遷

基準	年次	定着部		
		形状	最小直径	直線部長さ
コンクリート標準示方書	S24	半円形フック	3φ以上	—
	S31	↓	↓	3φ以上
	S42	↓	SR235:4φ SR295:5φ	4φ or 60mm以上
	S49	↓	↓	↓
道路橋示方書	H14	↓	SR235:4φ	Ⅲ:上記と同 Ⅳ:8φ or 120mm以上

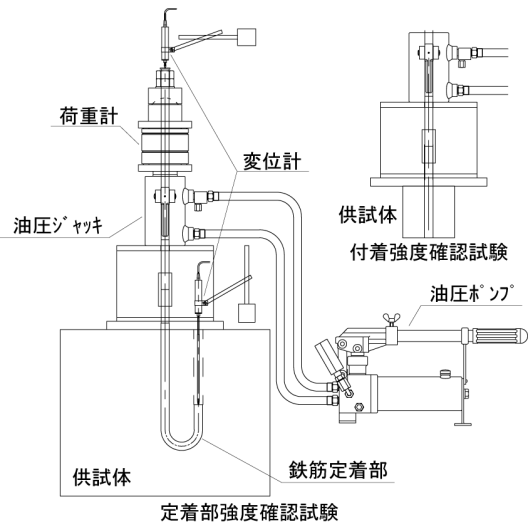


図-1 実験概要図

は半円形フック、その曲げ直径は 3φ、直線部の長さを 3φとして検討するものとした。

3. 実験概要

実験は、丸鋼とコンクリートとの付着強度を確認することを目的として実施した鉄筋引抜試験(以降、付着強度確認試験)と、鉄筋端の定着部の強度を確認することを目的とした鉄筋引抜試験(以降、定着部強度確認試験)の2種類を実施した。図-1には、本検討において実施した実験の概要を示す。また、写真-1には、実験の実施状況を示す。実験は、丸鋼鉄筋を用いた RC 構造物を模擬した要素試験体を作成し、その丸鋼に直接荷重を作用させることで実施した。表-2には、実験に用いた材料特性を示す。

3.1 付着強度確認実験

付着強度確認試験は、土木学会の鉄筋継手指針に準拠し実施することとした。具体には、 $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ のコンクリートブロック中央に $\phi 25$ の丸鋼が、片側が突出するように挿入された状態の試験体を作成し、この丸鋼を引き抜くように荷重を作用させることで実施した。なお、丸鋼の突出した側約 50 mm についてはコンクリートとの付着をあらかじめ切る加工を施している。

また、過去の知見⁴⁾より、コンクリート打設時の鉄筋の向きにより、付着性状が異なることが明らかとなっているため、その場合の性能差も併せて明らかにするため、鉄筋向きを鉛直の場合に加え、水平とした場合についても実験を行った。



写真-1 実験状況（付着強度確認試験）

3.2 定着部強度確認試験

定着部強度確認試験は、土木学会の鉄筋継手定着指針を参考として試験方法を設定した。試験は、実際のRC橋脚の設計事例に基づき、その使用実績から丸鋼の $\phi 25$ および $\phi 13$ の2種について実施することとした。試験体は、丸鋼が用いられた当時の基準に準拠した定着部を再現し、作成している。

具体には、前述のように曲げ直径 3ϕ 、直線部の長さ 3ϕ とした半円形フックを、引抜に伴うせん断破壊が生じないように十分な大きさのコンクリートブロックに埋め込み、引抜くことで試験を実施している。また、フックの部分のみの性能確認とするため、埋め込まれる丸鋼の直線部分については、付着の影響を排除するため、付着をあらかじめ切る加工を施している。

なお、どちらの試験においても、当時の設計に準じ、かつ設計上の安全側で検討するため、コンクリート強度を 18 N/mm^2 として試験体を作成している。

表-3には、本検討において実施した実験ケースの一覧を示す。実験は、付着強度確認試験では鉄筋向きを、定着強度確認試験では丸鋼の径をそれぞれパラメータとし、また試験結果の精度を高めるため、それぞれ3体ずつ実施することとした。

4. 実験結果および考察

4.1 付着強度確認試験結果

図-2には、付着強度確認試験結果を示す。結果は、縦軸を引抜荷重とし、横軸を載荷点変位として整理しており、 $\phi 25$ を太線、 $\phi 13$ を細線で示している。

図より、鉛直筋、水平筋に関わらず、引抜は荷重作用から最大荷重までは弾性的な応答を示している。また、最大荷重以降は急激な荷重の低下とともに変位が増大し、概ね一定の荷重に漸近する傾向を示している。

これは、荷重載荷から最大荷重までは、鉄筋がコンクリートとの付着により剛に支持されており、載荷点変位は主に鉄筋の弾性的な応答により生じているためと考えられる。最大荷重後に荷重が急激に低下する点については、鉄筋の付着の一部が切れたことにより、連鎖的に付着が切れ、急激な荷重低下を招いたものと判断される。さらに変位が増大し、一定荷重に漸近しているのは、付着が完全に切れたのち、鉄筋とコンクリート間の摩擦に

表-2 材料特性一覧

材料	材種	圧縮強度 (MPa)	降伏強度 (kN)	破断強度 (kN)
コンクリート	—	30.4	—	—
$\phi 25$ 丸鋼	SR235	—	153.2	220.9
$\phi 13$ 丸鋼		—	43.1	59.2

表-3 実験ケース一覧

実験	実験数	ケース	定着長	曲げ直径	丸鋼径	方向
付着強度確認試験	3	C-25-V	100mm	—	25 ϕ	鉛直
	3	C-25-H				水平
定着部強度確認試験	3	F-25	3 ϕ	3 ϕ	25 ϕ	鉛直
	3	F-13			13 ϕ	

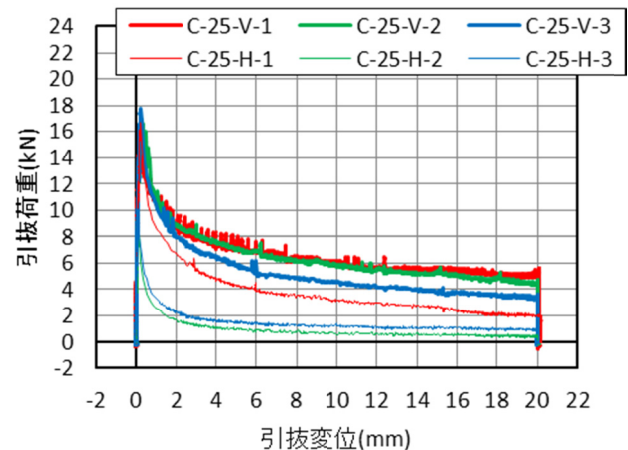


図-2 引抜荷重と引抜変位の関係(付着強度確認試験)

より鉄筋を支持しているためと考えられる。これより、漸近した荷重は、引抜における終局荷重と考えられる。

次に、鉛直筋と水平筋について比較すると、その荷重値に優位な差異が見られる。最大荷重については、鉛直筋の場合が $15 \sim 18 \text{ kN}$ 、鉄筋の降伏耐力の 15% 程度となっているのに対し、水平筋では鉛直筋より低い傾向を示し $8 \sim 17 \text{ kN}$ 、降伏耐力の $7 \sim 15\%$ となっている。また、終局荷重についても同様の傾向であり、鉛直筋の場合は $4 \sim 6 \text{ kN}$ 、降伏耐力の 4% 程度であるのに対し、水平筋では $1 \sim 3 \text{ kN}$ 、降伏耐力の 2% 程度である。

これは、コンクリートの打設において、鉛直筋は鉄筋の全周に均一にコンクリートが行き渡るのに対し、水平筋の場合には、鉄筋の下側において打設後のブリージングの影響などにより、付着強度が低下したものと考えられる。

4.2 定着部強度確認試験結果

図－3には、定着部強度試験実験の結果を示す。結果は、縦軸を引拔荷重とし、横軸を定着部端部の変位として整理しており、 $\phi 25$ を太線、 $\phi 13$ を細線で示している。なお、図中には、 $\phi 25$ 、 $\phi 13$ の規格値に基づく降伏荷重を黄色の破線、許容応力となる荷重を緑の破線にて、併せて示している。

図より、 $\phi 25$ 、 $\phi 13$ のどちらにおいても荷重がある一定の値となるまでは、定着部変位は発生しない。その後、荷重の増加とともに定着部変位が発生し始め、最大荷重となったのちに、急激な徐荷および変位の増加が生じる。その後、変位をほとんど伴わない荷重の増加から大きな変位の増大を伴う急激な徐荷を細かく繰り返し、概ね一定の荷重を保つ傾向が見られる。また、この際の荷重は、降伏耐力とほぼ同等からやや大きい程度となっている。

これは、定着部全域の付着が切れるまでは定着部端に変位は一切発生しないものと考えられる。また、付着が完全に切れたのちにおいては、その形状に伴う抵抗性と摩擦により、引拔荷重に抵抗しているものと考えられる。

最大荷重を迎えたのちの挙動については、付着が切れることにより、引抜きに対する抗力が減少することで、鉄筋が滑り出てくるものと考えられる。一度滑り出た鉄筋は、その後摩擦により引拔に抵抗し、限度を超えた段階で再び滑る状態を繰り返しているものと推察される。

次に、 $\phi 25$ と $\phi 13$ の結果について比較すると、両者の傾向は概ね類似している。最大荷重と降伏荷重および許容応力との関係に着目すると、 $\phi 25$ の場合には最大荷重が降伏荷重を20～30%程度超過しているが、 $\phi 13$ の場合には両者は概ね同等からやや超過する程度である。また、どちらの場合においても許容応力に対しては十分な余裕を有している。

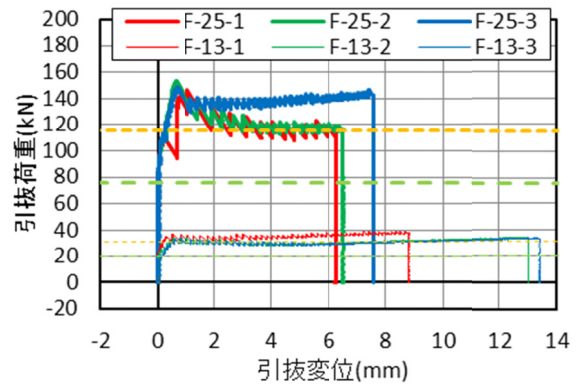
このようなことから、定着部に関しては、鉄筋径により若干の差異がみられるものの、同様の引拔抵抗性能を有しているものと推察される。

4.3 実験結果に伴う考察

これらの実験結果を基に、コンクリート中における丸鋼の挙動を考察することとする。

まず、付着強度確認試験結果より、丸鋼は降伏荷重の15%程度の荷重で付着が切れることが分かる。また、付着が切れたのちは降伏荷重の数%という非常に小さな荷重でコンクリート内を滑るものと推察される。これより、一度付着を失い、滑りを伴った鉄筋部分については、コンクリートとの一体性をほぼ消失すると考えられ、RC断面の平面保持が維持されないものと推察される。

さらに、定着部強度確認試験結果より、両丸鋼鉄筋端部の半円形フック部では、許容応力度を十分に上回り、



図－3 引拔荷重と引拔変位の関係(定着部強度確認試験)

ほぼ鉄筋の降伏強度程度まで定着が確保されていることが分かる。これより、許容応力度法で求められる耐力は十分に有しているものと判断され、鉄筋の降伏に至るような状態まで丸鋼は十分に対応可能であることが明らかとなった。

5. まとめ

本検討は、丸鋼を用いた RC 構造物の保有性能を適切に評価する手法を確立することを目的として、RC 断面の終局評価のために必要である鉄筋の付着特性について実験的に検討を行ったものである。

結果をまとめると、以下のようである。

- 1) 丸鋼の付着強度は鉄筋の降伏強度に比較して非常に小さい。
- 2) 鉛直筋と水平筋とで明確な付着性能の差異が生じている。
- 3) 丸鋼の定着部は、鉄筋の許容応力度を十分に上回り、降伏強度程度の定着性能が確保されている。
- 4) 許容応力度法に基づく設計の範囲においては、丸鋼は十分な性能を期待できる。

今後は、これらの知見を活かし、丸鋼を用いた RC 橋脚の耐震性能評価、さらに合理的な耐震補強方法について検討を進める予定である。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、2012.3
- 2) 赤代恵司、三田村 浩、渡辺忠朋、岸 徳光：丸鋼鉄筋を用いた RC 床版の疲労特性に関する実験的研究、構造工学論文集 Vol.57A、2011.3
- 3) 澤松俊寿、三田村 浩、西 弘明、松本高志、加保勇介：柱部の鉄筋に丸鋼を用いた鉄筋コンクリート橋脚の履歴特性、構造工学論文集 Vol.58A、2012.3
- 4) 荒木秀夫、吉田俊太郎、洪 成、加川順一：低強度コンクリートと丸鋼の付着強度とその補強効果、コンクリート工学年次論文集 Vol.32 No.2、2010