

高強度せん断補強筋を有する RC 梁のせん断耐力と付着性状

—その2 ひび割れ幅と付着性状—

鉄筋コンクリート梁 カットオフ筋 せん断補強筋比
 高強度せん断補強筋 ひび割れ幅 付着応力度

正会員 ○ 河合 諒*1 同 阪上太誠*1
 同 久保恒治*1 同 貝谷淳一*1

1. はじめに

本報では、使用性確保のための長期許容せん断力 Q_{AL} ¹⁾、及び損傷制御のための短期許容せん断力 Q_{AS} ¹⁾の目標性能に対する本実験結果の比較検討を行う。また、所定部材角における主筋応力の推移、及び付着応力についても検討を行い、その所見について述べる。

2. 各許容せん断力時における目標性能の確認

使用性確保のための長期許容せん断力 Q_{AL} 、及び損傷制御のための短期許容せん断力 Q_{AS} の目標性能に対する検討を行う。なお、 Q_{AL} はひび割れを許容する長期許容せん断力としている。表1に本実験におけるひび割れ幅の算出結果を示す。

表1 ひび割れ幅の算出結果

試験体名	長期			短期		
	Q_{AL}	R_{AL}	W_{AL}	Q_{AS}	W_{sL}	
	kN	$\times 10^3 \text{ rad}$	mm	kN	mm	
曲げ	No.1	100	2.3	0.00	—	—
	No.2	100	2.3	0.01	—	—
	No.3	100	2.4	0.02	—	—
	No.4	100	2.4	0.02	—	—
せん断	No.5	99	1.2	0.00	173	0.09
	No.6	110	1.5	0.02	298	0.16
	No.7	99	1.1	0.00	173	0.11
	No.8	131	1.5	0.00	205	0.13

W_{AL} は Q_{AL} 時付近のひび割れ幅であり、 R_{AL} は Q_{AL} 時の部材角を示す。 W_{sL} は Q_{AS} 経験後、 Q_{AL} までの除荷を仮定した残留ひび割れ幅の推定値である。同表より長期について、2段筋目のカットオフの有無を因子としたNo.1とNo.2の差異、及びNo.5とNo.7の差異について確認すると、No.2の W_{AL} が0.01mmに対して、No.1はせん断ひび割れの発生が確認できなかった。また、No.5とNo.7を比較すると、双方の試験体共に、せん断ひび割れの発生は確認できなかった。この結果から、2段目カットオフの有無は、 Q_{AL} 時のひび割れ幅に対して、あまり影響を及ぼさないと考えられる。試験体と実部材の縮尺比は1/2であるため、実験値に2倍の補正をかけて、目標性能との比較を行う。全試験体で W_{AL} の最大値は0.02mmで、縮尺効果の2倍を掛けても0.04mmとなる。これは文献2)における使用限界状態として示される基準値0.2mm程度と比較しても、十分に小さい値と言える。

短期については、試験体の最大耐力 Q_{max} が Q_{AS} を超えるNo.5～No.8試験体について検討する。No.7の W_{sL} が0.11mmに対して、No.5の W_{sL} は0.09mmとなっている。No.5の方が、若干小さいひび割れ幅となっているが、カットオフの有無による大差はあまりないと言える。また、縮尺効果を考慮した W_{sL} の最大値は、No.6で

0.32mmとなっており、RC規準³⁾で示される基準値0.3～0.4mm程度のひび割れ幅に留まっていることを確認した。

3. 主筋応力度の推移

主筋には各位置に2枚の歪ゲージを貼付け、そこから得られた歪度の平均値に材料試験から求まるヤング係数 E をかけて、実験値応力度 σ としている。図1にNo.1及びNo.2の部材角 $R=15 \times 10^3 \text{ rad}$ 時における主筋応力度の推移、No.5及びNo.7の Q_{max} 時における主筋応力度の推移を示す。同図にはRC規準³⁾16条における付着の検討で仮定している応力度も示しており、通し筋については、平面保持仮定による e 関数法を用いた応力度も示している。

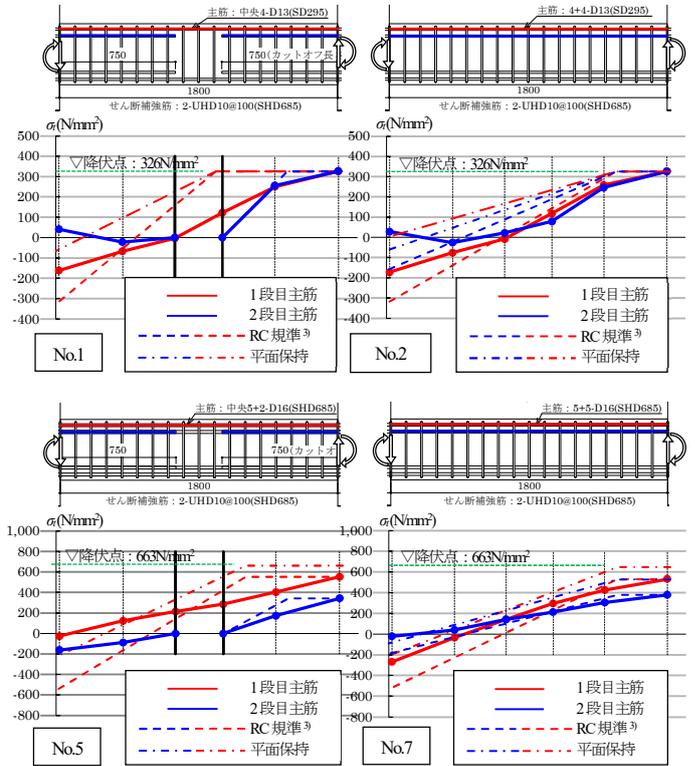


図1 No. 1, No. 2, No. 5, No. 7の主筋応力度の推移

図1より、No.1及びNo.2は端部主筋の降伏が確認できるが、RC規準³⁾で仮定している程、テンションシフトが中央に進展していない。また、2段筋目をカットオフとしているNo.1について、1段目通し筋の応力状態は、2段目通し筋としているNo.2とほとんど差異はない。No.5及びNo.7の端部主筋は、降伏しておらず、テンションシフトもほとんど発生していない。同図で示している試験体の傾向として、通し筋の圧縮応力度は、RC規準³⁾の計算値ほど

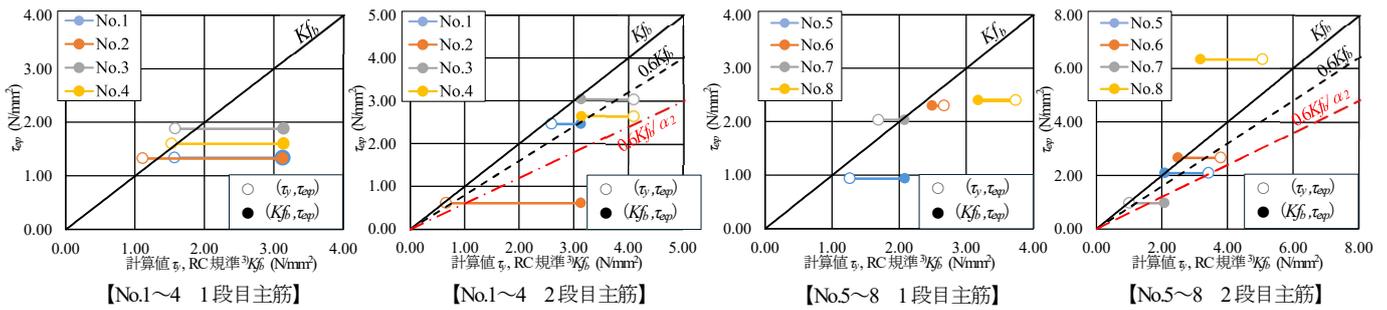


図2 実験結果とRC規準³⁾における付着強度式との比較

は発揮しておらず、 e 関数の計算値をやや上回る程度であった。前述までの傾向は、他の試験体についても、ほとんど同様の結果を示した。

4. 主筋の付着性状

各歪ゲージの測定値による主筋応力と測定間距離から、付着応力の実験値 τ_{exp} を算出し、比較検討を行う。付着応力の採用位置について、通し筋は部材中央の区間とし、カットオフ筋はカットオフ近傍区間とする。図2に本実験で発揮した付着応力度とRC規準³⁾の付着強度式との比較を示す。比較対象となる付着強度は付着割裂の基準となる強度 f_b に、その修正係数 K をかけた Kf_b とする。ただし、2段目通し筋については、付着強度の低下を考慮した $0.6Kf_b$ 、2段目カットオフ筋については応力状態を表す係数 α も考慮し、 $0.6Kf_b/\alpha$ に対して比較検討を行う。また、部材応力により通し筋が発揮する付着応力度の目安として、式(1)(2)により計算した τ_y についても同図に示す。

$$1\text{段目通し筋} : \tau_y = \frac{(\sigma_y + \sigma_c) \cdot d_b}{4(L' - d)} \quad (1)$$

$$2\text{段目通し筋} : \tau_y = \frac{\sigma_y \cdot d_b}{4(l_d - d)} \quad (2)$$

ここに、 σ_y ：主筋端部の引張応力度の実験値、 σ_c ：主筋端部の圧縮応力度の実験値、 d_b ：主筋径、 L' ：1段目主筋の付着長さ、 d ：有効せい、 l_d ：2段目主筋の付着長さ

同図より、No.1～No.4の1段目通し筋、及びNo.2の2段目通し筋は、いずれも Kf_b 及び $0.6Kf_b$ に達していない。これは、曲げ破壊による端部主筋の降伏により、付着応力が頭打ちとなったこと、通し筋となるため、付着長さが必要付着長さを超えていることが大きな要因であると考えられる。No.1の2段目カットオフ筋は $0.6Kf_b/\alpha$ を若干下回る程度であるのに対し、No.3、No.4は $0.6Kf_b/\alpha$ を1割から2割程度上回る付着応力が発揮された。これはNo.3、No.4のカットオフ長さが、No.1に対して短く、主筋が降伏する端部までの区間が短いため、比較的大きな付着応力が発揮されたものと考えられる。また、カットオフの有無が因子となるNo.1とNo.2の2段目主筋を比較すると、No.1の τ_{exp} がNo.2を大きく上回ることが確認できた。No.5～No.8の1段目通し筋及び、No.7の2段目通し筋は、いずれも Kf_b 及び $0.6Kf_b$ に達していない。No.5～No.8は主筋にも高強度鉄筋を用いたことで、主筋応力も大きくなり、高

い付着応力が発揮されているが、 Kf_b 及び $0.6Kf_b$ を上回る程ではなかった。カットオフの有無が因子となるNo.5とNo.7の2段目主筋を比較すると、No.1、No.2の比較と同様、カットオフ筋となるNo.5の τ_{exp} が、No.7を大きく上回る結果となった。また、図1より、通し筋における圧縮側の応力は、RC規準³⁾で仮定している応力に対して、5割以下程度しか発揮されていない。よって、実部材の通し筋の付着応力は、RC規準³⁾の仮定を下回る傾向にあると考えられる。

5. まとめ

高強度せん断補強筋685N/mm²級を用いたRC梁に対して、2段目主筋のカットオフの有無やカットオフ長、コンクリートの圧縮強度、せん断補強筋量、カットオフ先端に追加した付着補強筋の有無を因子とした実験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 本試験体において、使用性確保については、ひび割れ幅の目標性能を十分に満足し、損傷制御についても目標とする残留ひび割れ幅0.30mm～0.40mm以下に対して、実験による最大値が0.32mmと、目標性能を満足する結果となった。
- (2) 通し筋における圧縮側応力度の実験値は、RC規準³⁾で仮定している応力度よりも小さく、テンションシフトも顕著ではない。このことより、RC規準³⁾の付着の検討で仮定している応力状態は、本実験の試験結果を安全側に評価していることが確認できた。
- (3) 通し筋については、付着長さが長いこと、及び(2)で述べた応力の傾向から、 τ_{exp} はすべての試験体で Kf_b 及び $0.6Kf_b$ を下回る。また、必要付着長さを満足しない2段目カットオフ筋については、すべての試験体において $0.6Kf_b/\alpha$ を上回る。このことより、通し筋の付着応力は、部材全長で均され、比較的小さい値となるが、付着長さの短いカットオフ筋は、高い付着強度を発揮することが確認できた。

謝辞

本研究は株式会社能勢建築構造研究所と北越メタル株式会社との共同研究として実施したものである。

参考文献

- 1) 北越メタル株式会社・株式会社コーテックス：高強度せん断補強筋 UHY フープ一設計施工指針・同解説、GBRC性能証明第14-28号、2015
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説、2004
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2018