

AIJ 靱性保証型耐震設計指針 6.8.3 項による 2 段筋 RC 梁の付着信頼強度の問題点と対策

1. はじめに

当機構では、HP (<https://sabtec.or.jp/method.php>) に掲載しているように、技術支援業務として、岸和田製鋼(株)・岸和田金属(株)開発の785N/mm²級高強度せん断補強筋スーパーフープの設計指針(改定版)を作成した。スーパーフープ設計指針では、日本建築学会(AIJ)「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説(以下、靱性保証型指針と略記する)」に準拠した終局強度設計を行うことにしている。

靱性保証型指針を準拠するに当たり、同指針6.8.3項による付着信頼強度に関して、ケーススタディーによって適用性について検討した。その結果、同指針6.8.3項によると、2段筋RC梁の付着信頼強度が過大評価される恐れがあることが判明した。

本稿では、この問題点とその対策について説明する。

2. AIJ 靱性保証型耐震設計指針 6.8.3 項に準拠した RC 柱、梁の付着割裂耐力

付着割裂耐力 Q_{bu} は、式(1)によって算定できる。

$$Q_{bu} = \Sigma (\tau_{bu} \cdot \phi) \cdot j_e + \{ \nu \cdot F_c - 2.5 \Sigma (\tau_{bu} \cdot \phi) / (\lambda \cdot b_e) \} \cdot b \cdot D \cdot \tan \theta / 2 \quad (1)$$

ここに、 τ_{bu} : 付着信頼強度、 ϕ : 主筋周長、 b, D : 部材断面の幅およびせい

b_e, j_e : トラス機構に關与する断面の有効幅および有効せい

λ : トラス機構の有効係数、 $\tan \theta = \sqrt{(L/D)^2 + 1} - L/D$

L : 部材の内法長さ

付着信頼強度と主筋周長の積の総和 $\Sigma (\tau_{bu} \cdot \phi)$ は、式(2)によって算定できる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{降伏ヒンジを計画しない部材 : } \Sigma (\tau_{bu} \cdot \phi) = \tau_{bu1} \cdot \Sigma \phi_1 + \tau_{bu2} \cdot \Sigma \phi_2 \\ \text{降伏ヒンジを計画する部材 : } \Sigma (\tau_{bu} \cdot \phi) = (1 - 10R_p) \cdot (\tau_{bu1} \cdot \Sigma \phi_1 + \tau_{bu2} \cdot \Sigma \phi_2) \end{array} \right\} \quad (2)$$

式(2)右辺中の τ_{bu1} と ϕ_1 は 1 段筋目の付着信頼強度と周長、 τ_{bu2} と ϕ_2 は 2 段筋目の付着信頼強度と周長であり、 R_p は保証回転角である。

1 段筋目の付着信頼強度 τ_{bu1} は、式(3)によって算定できる。

$$\tau_{bu1} = \alpha_t \cdot \{ (0.085b_i + 0.10) \cdot \sqrt{F_c} + k_{st} \} \quad (3)$$

(梁上端筋) $\alpha_t = 0.75 + F_c/400$ 、(上記以外の主筋) $\alpha_t = 1$

$b_i = \min(b_{si}, b_{ci})$: 1 段目主筋の割裂線長さ比

$b_{si} = (b - N_1 \cdot d_b) / (N_1 \cdot d_b)$: サイドスプリットの場合

$b_{ci} = \{ \sqrt{2} (d_{cs} + d_{ct}) - d_b \} / d_b$: コーナースプリットの場合

($b_{ci} \geq b_{si}$ の時) $k_{st} = (54 + 45N_w/N_1) \cdot (b_{si} + 1) \cdot p_w$

($b_{ci} < b_{si}$ の時) $k_{st} = 140A_w / (d_b \cdot s)$

ここに、 α_t : 上端筋に対する付着強度低減係数

d_{cs} : 主筋中心からの側面かぶり厚さ、 d_{ct} : 主筋中心からの底面かぶり厚さ
 d_b : 主筋直径、 k_{st} : 横補強筋の効果、 $N_w (=N_s+2)$: 1組の横補強筋の足の本数
 N_s : 中子筋の本数、 N_1 : 1段目主筋の本数
 A_w : 横補強筋1本の断面積、 s : 横補強筋の間隔、 p_w : 横補強筋比
 F_c : コンクリートの設計基準強度

2段筋目の付着信頼強度 τ_{bu2} は、式(4)によって算定できる。

$$\tau_{bu2} = \alpha_2 \cdot \alpha_t \cdot \{(0.085 b_{si2} + 0.10) \cdot \sqrt{F_c} + k_{st2}\} \quad (4)$$

$$b_{si2} = (b - N_2 \cdot d_b) / (N_2 \cdot d_b), \quad k_{st2} = 99 (b_{si2} + 1) \cdot p_w, \quad \alpha_2 = 0.6$$

ここに、 b_{si2} : 2段目主筋の割裂線長さ比、 k_{st2} : 2段目主筋に対する横補強筋の効果

α_2 : 2段目主筋の付着強度低減係数、 N_2 : 2段目主筋の本数

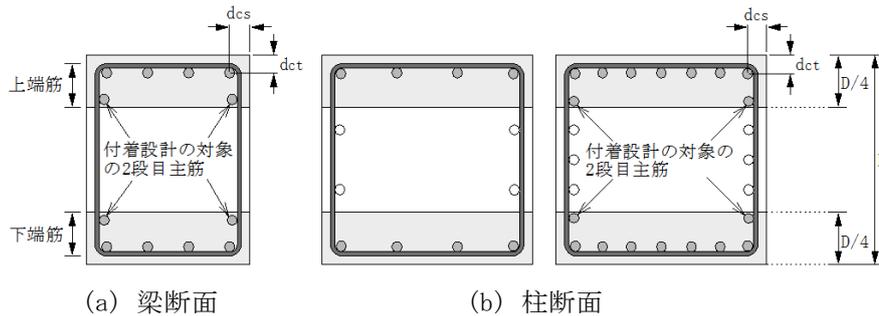


図1 付着設計の対象となる主筋

3. 2段筋 RC 梁の付着割裂耐力の問題点

靱性保証型指針 6.8.3 項では、2段目主筋の付着信頼強度 τ_{bu2} は、2段目主筋の割裂線長さ比 b_{si2} 、横補強筋の効果 k_{st2} および付着強度低減係数 α_2 を考慮して算定することになっている。

また、付着強度低減係数 α_2 は、実験に基づく2段目主筋の付着応力の検討結果より、1段目主筋と2段目主筋の本数等に係わらず、「0.6」とし、2段目主筋の割裂線長さ比 b_{si2} は、1段目主筋と同様、 $b_{si2} = (b - N_2 \cdot d_b) / (N_2 \cdot d_b)$ として算定することになっている。

この算定式によると、2段目主筋本数 N_2 が1段目主筋本数 N_1 よりも少ない場合、2段目主筋の割裂線長さ比 b_{si2} は、1段目主筋の割裂線長さ比 b_{si} よりも大きくなる。

実務設計では、梁の2段目主筋本数 N_2 と1段目主筋本数 N_1 は同程度であるとは限らず、梁の曲げ耐力の不足分を補うために、1本だけ2段目主筋とすることもある。そのような場合、2段目主筋の割裂線長さ比 b_{si2} が過度に大きくなり、その結果、2段目主筋の付着信頼強度 τ_{bu2} が過大評価される恐れがある。

4. 2段筋 RC 梁の付着割裂耐力算定の対策

上記の問題点に対する対策として、スーパーフープ設計指針では、「 $\tau_{bu2} \leq \tau_{bu}$ 」とし、 τ_{bu2} の上限を設けた修正式によって付着割裂耐力 Q_{bu} を算定することになっている。次に、下記の検討対象梁について、靱性保証型指針式(原式)と修正式によって算定した付着割裂耐力 Q_{bu} を比較検討する。

(梁断面) $b \times D = 600\text{mm} \times 900\text{mm}$ 、 (内法スパン長) 5000mm

(主筋) 呼び名 : D32、 1 段目主筋の本数 N_1 : 6 本

2 段目主筋の本数 N_2 : 0 本、1 本、2 本、3 本、4 本、5 本、6 本

(横補強筋) 2-K13@100mm ($p_w=0.42\%$)

(コンクリート設計基準強度 F_c) 36 N/mm^2

本検討では、靱性保証型指針式による付着割裂耐力は、トラス機構に関与する有効幅 b_e は、両側スラブ付きの梁を想定し、梁幅 b と等しいと仮定して算定する。

なお、梁隅筋の中心間隔 b_o を $0.8b$ とすると、1 段目主筋の平均間隔 $p_{ave}=b_o/(N_1-1)$ は、3.0 となる。また、梁の引張鉄筋比 p_t は、 $N_2=0$ 本の場合 $p_t=0.98\%$ 、 $N_2=6$ 本の場合 $p_t=1.96\%$ となる。

表 1 に、検討対象梁の付着割裂耐力の算定結果を示す。

同表によると、2 段目主筋本数 N_2 が 1 本～4 本の場合、2 段目主筋の付着信頼強度 τ_{bu2} は、1 段目主筋の付着信頼強度 τ_{bu} よりも大きい。特に、2 段目主筋本数 N_2 が 1 本の場合、2 段目主筋の付着信頼強度 τ_{bu2} (8.83N/mm^2) は、1 段目主筋の付着信頼強度 τ_{bu} (2.18N/mm^2) の 4 倍程度になるので、付着割裂耐力 Q_{bu} が過大評価される恐れがある。

表 1 2 段筋梁の付着割裂耐力の算定結果

主筋 本数	1段目主筋			原式			修正式	
	b_i	k_{st}	τ_{bu} (N/mm^2)	2段目主筋			Q_{bu} (kN)	
				b_{si2}	k_{st2}	τ_{bu2} (N/mm^2)		Q_{bu} (kN)
6+0	2.13	0.91	2.18	—	—	—	941	941
6+1				17.8	7.86	8.83	1409	1056
6+2				8.4	3.93	4.44	1412	1172
6+3				5.3	2.62	2.97	1414	1288
6+4				3.7	1.96	2.24	1416	1404
6+5				2.8	1.57	1.80	1419	1419
6+6				2.1	1.31	1.51	1421	1421

(注) b_i, k_{st}, τ_{bu} : 1段目主筋の割裂線長さ比、横補強筋の効果、付着信頼強度
 $b_{si2}, k_{st2}, \tau_{bu2}$: 2段目主筋の割裂線長さ比、横補強筋の効果、付着信頼強度
 Q_{bu} 付着割裂耐力、原式：靱性指針式、修正式：本設計指針式

5. まとめ

本資料では、靱性保証型指針 6.8.3 項によると、2 段筋 RC 梁の付着信頼強度が過大評価される恐れがあることを明確にし、その対策として、「 $\tau_{bu2} \leq \tau_{bu}$ 」とし、 τ_{bu2} の上限を設けた修正式によって付着割裂耐力 Q_{bu} を算定することを提案した。

【注記】本資料では、2011 年 6 月 22 日に日本建築学会より公表された「靱性保障型設計指針」の正誤表に従い、柱および梁の 1 段目主筋および 2 段目主筋の付着信頼強度の設計式中の諸係数の値を修正した。