

論文 多段配筋部材における主筋段数と横補強筋が付着強度へ与える影響に関する実験研究

太刀川 毅^{*1}・林 静雄^{*2}・篠原 保二^{*3}・佐々木 聡^{*4}

要旨：2段配筋された鉄筋コンクリート（以下RC）梁の付着割裂実験は過去に多く行われており、内側主筋段数における付着破壊が報告されている。しかし、主筋を複数段配筋した際の付着性状は明らかになっていない。そこで主に3段配筋梁部材による実験を行うことで、主筋段数の増加と横補強筋が付着強度へ及ぼす影響について検討する。本研究では、応力伝達の簡易モデルを提案し、多段配筋部材における付着性状を明らかにすると共に、付着耐力の適切な評価方法を示した。

キーワード：多段配筋, 付着割裂, 単純梁, 強度低減係数

1. 背景・目的

近年のRC造の超高層化, スパンの拡大に伴い, 基礎梁の大断面化・過密配筋の傾向が高まっている。しかし, 現行の付着割裂の評価方法¹⁾は, 2段配筋までを対象としており, その評価方法も曖昧なところを残している。

そこで本研究は多段配筋部材における付着割裂実験を行い, 付着性状を把握すると共に, 適切な評価方法を提案することを目的としている。

これに先立ち, 本研究室では昨年度, 主筋段数を主な変動要因とする片持ち梁形式の実験²⁾を試みた。しかしながら, 片持ち梁形式では実際の梁において各段に作用する引張力を再現できないことから, 適切な付着性状を得ることができなかった。これより今年度は梁型の試験

体で実験を試みる。

2. 実験概要

2.1 試験体設定

表-1に試験体要因一覧, 図-1に試験体図を示す。

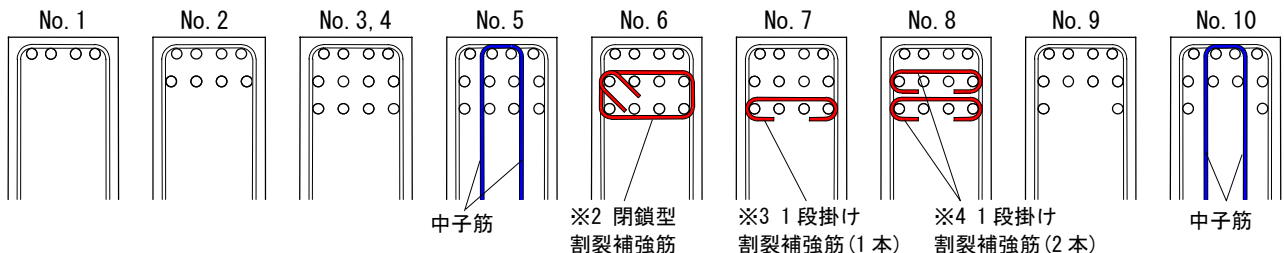
まず共通要因について記す。断面寸法 $b \times D = 200 \times 650\text{mm}$, コンクリートの圧縮強度 $\sigma_B = 27.5\text{N/mm}^2$, 主筋はD19 (SD390 焼き入れ, 降伏強度 $\sigma_y = 1105\text{N/mm}^2$) を用いた。シアースパン $a = 1275\text{mm}$, 試験区間を500mmとし, 試験区間において加力端部に幅50mmのスリットを設けた。これに伴いスリット部に折り曲げ筋を配筋することで, せん断耐力の補強を行った。また, 自由端部には付着を絶縁する加工を施した。打設方向は, 試験体側面から平打ちとした。

表-1 試験体要因一覧

No.	試験体名	断面寸法 $b \times D$	コンクリート			主筋 (SD390焼き入れ)				せん断補強筋		備考		
			圧縮強度 σ_B [N/mm ²]	降伏強度 σ_y [N/mm ²]	ヤング係数 E_s [N/mm ²]	pt [%]	配筋	主筋段数	配筋(※1) パターン	pw [%]	配筋			
1	1-30-100	200×650	27.5	1105	1.85×10^5	0.92	4-D19	1段	4	0.30	2-U6.4@100	3段配筋部材 基準		
2	2-30-100					1.92	8-D19	2段	4-4					
3	3A-30-100													
4	3A-60-50									0.60	2-U6.4@50		4-U6.4@100	補強筋間隔1/2
5	3A-60-100N													
6	3A-60-100Ka									0.30	2-U6.4@100			中子筋を配筋
7	3A-60-100Kb													
8	3A-60-100Kc													
9	3B-60-50									0.60	2-U6.4@50		4-U6.4@100	補強筋間隔1/2
10	3B-60-100N					2.46	10-D19	4-4-2						

※1 M-N-L:M...1段目主筋本数, N...2段目主筋本数, L...3段目主筋本数

U6.4の降伏強度: $\sigma_y = 1353\text{N/mm}^2$



*1 東京工業大学大学院 総合理工学研究科環境理工学創造専攻 工修 (正会員)

*2 東京工業大学大学院 セキュアマテリアル研究センター 教授 工博 (正会員)

*3 東京工業大学大学院 建築物理研究センター 准教授 工博 (正会員)

*4 (株)フジタ 技術センター 生産技術開発部 博士 (工学)

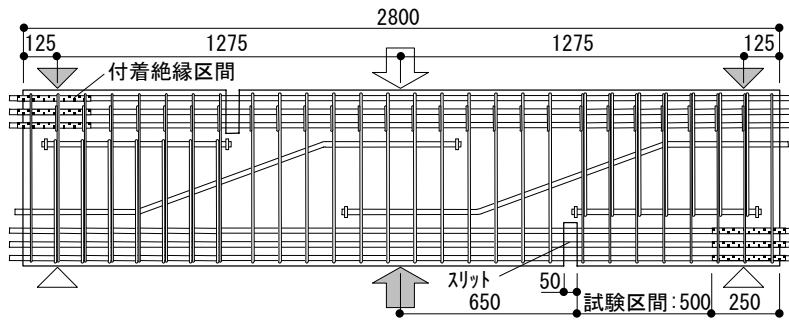


図-1 試験体図

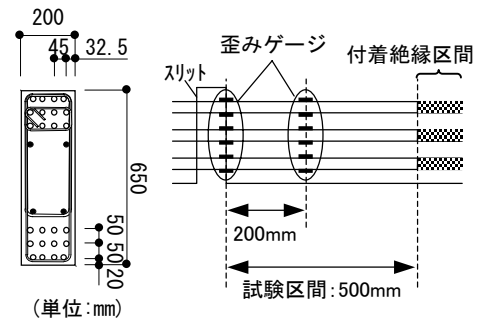


図-2 歪みゲージ貼付位置図 (試験区間拡大図)

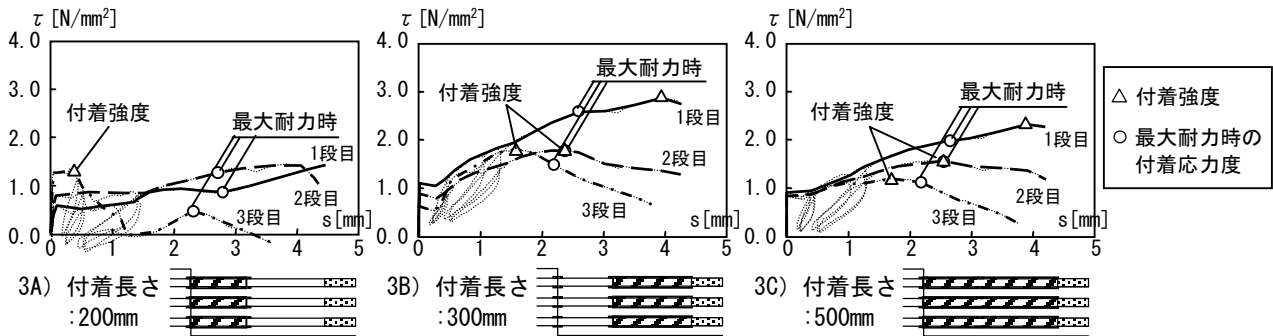


図-3 τ - s 関係

次に変動要因について記す。主筋については、主筋段数を1段 ($p_r=0.92\%$)、2段 ($p_r=1.92\%$)、3段の3水準とし、3段配筋部材においては、3段目における主筋本数を4本 ($p_r=3.00\%$) のものと、2本 ($p_r=2.46\%$) のものを設定し、合計4水準とした。横補強筋については、せん断補強筋比を $p_w=0.30\%$ と 0.60% の2水準とした。また、No.3の3段配筋部材における基準試験体に対して、補強筋間隔を1/2にしたNo.4、中子筋を配筋したNo.5の他に、内側主筋段数における付着割裂を抑制することを期待して、ディテールの異なる割裂補強筋を配筋したNo.6,7,8を計画した。

2.2 歪みゲージ貼付位置

図-2に歪みゲージの貼付位置を示す。試験区間において加力端部、およびテンションシフトを考慮して、自由端側へ200 mmの箇所に歪みゲージを貼付した。なお、全主筋に対して裏表に貼付した。

2.3 荷重方法

荷重方法は単純梁形式の一方向片振り荷重とした。今回用いた試験体は1つの試験体で加力を行った後、上下を反転させることで2回加力を行えるように計画した。最大耐力後も加力を続け、2回目の試験体に配慮しつつ、4 mmほど自由端の抜け出し量を認めた時点で加力を終了した。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

破壊状況は全試験体で共通の破壊性状を示した。

まずスリット部から加力点の方向へ斜めのせん断ひび割れが発生し、まもなく曲げひびわれ、せん断ひび割れがほぼ同時に発生した。その後せん断ひび割れが伸展すると共にひび割れの数も増えていき、内側主筋段において、隣り合うせん断ひび割れがつながり、付着ひび割れへと派生していくことが確認できた。これらの付着ひび割れ幅が次第に開き、付着破壊に至った。

3.2 τ - s 関係

図-3に全試験体を代表してNo.3試験体における付着応力度 (τ) - 自由端抜け出し量 (s) 関係を示す。なお歪みゲージの貼付位置から、試験区間を3パターン (図-3中3A) ~ 3C)に分けることができ、各付着長さにおける両端部の歪み量の差から、主筋段数ごとの平均付着応力度を求めた。ここで、主筋径を d_b としたとき、スリット部近傍の $2d_b$ 区間はコーン状破壊による著しい付着劣化が起こると報告されていること³⁾から、計算にあたっては、加力端部の $2d_b$ 区間を考慮しないものとした。図中には、付着強度 (最大付着応力度) と最大耐力時の付着応力度をそれぞれ記した。

加力開始後しばらく抜け出し量はほとんど確認できないが、せん断ひび割れが発生すると同時に各主筋が抜け出し始めた。まず、3A)において3段目主筋が付着強度となっており、加力端近傍で付着割裂が発生していることがわかる。その後、3B)においても3段目主筋が最大となり減少していることから、付着割裂が自由端側へ広がっていることを確認できる。最終的には、2段目主筋が付着強度に達することで、部材の最大耐力となった。

表-2 実験結果一覧

No.	主な変動要因		最大耐力 Q _{max} [kN]	付着強度			低減倍率	
	pw [%]	配筋方法		1段目	2段目	3段目	2段目	3段目
				$\tau_{1,max}$	$\tau_{2,max}$	$\tau_{3,max}$	α_2	α_3
1			207	2.45	****	****	****	****
2	0.30		269	2.04	1.30	****	0.64	****
3		(3段配筋 基準)	316	2.35	1.59	1.21	0.68	0.51
4	0.60	補強筋間隔 1/2	421	2.52	1.92	1.30	0.76	0.52
5		中子筋	389	2.82	1.63	1.26	0.58	0.45
6	0.30	割裂補強筋	322	2.66	1.56	0.99	0.59	0.37
7			322	2.42	1.54	1.02	0.64	0.42
8			309	2.39	1.52	1.15	0.64	0.48
9	0.60	補強筋間隔 1/2	426	3.01	2.26	2.04	0.75	0.68
10		中子筋	390	****	****	****	****	****

この履歴を3C)のグラフで追うと、加力開始後しばらくは3つのグラフが同じ履歴を示しているが、まず3段目主筋における付着力が頭打ちとなり、横ばいになっている。その後の部材の耐力上昇に対しては、1段目と2段目の主筋によって負担していることが確認できる。そして、2段目主筋も付着強度となった点で最大耐力を迎えると共に、2段目および3段目において付着劣化が始まるということが認められる。

3.3 横補強筋の効果

表-2に実験結果一覧を示す。付着強度については、付着長さは500mmで算出した。また、No.10試験体については、加力を一部失敗したため、最大耐力のみの結果となっている。

(1) pwと最大耐力の関係

pw=0.30%のNo.3に比べて、pw=0.60%としたNo.4,5は最大耐力の上昇が認められる。なお、中子筋を配筋するよりも、外周のせん断補強筋間隔を狭める方が最大耐力の上昇が見込めることがわかる。

(2) pwと付着強度の関係

補強筋間隔を1/2としたNo.4は、前項同様に各段における付着強度が上昇している。一方、中子筋を配筋したNo.5は、付着強度が上昇したのは1段目主筋のみで、2,3段目についてはNo.3の基準試験体と同等であった。

(3) 割裂補強筋の効果

割裂補強筋を配筋したNo.6,7,8は、基準試験体No.3と比較して、割裂補強筋のディテールに関わらず最大耐力の上昇は認められない。また付着強度に関しても、どの主筋段数においてもNo.3と同等となった。これより、局所的に配筋した割裂補強筋は、最大耐力および付着強度に影響を及ぼさないことがわかる。

3.4 主筋段数による付着強度への影響

ここではpw=0.30%のNo.2,3に加え、前節で割裂補強筋に補強効果が無いことが予想されたことから、No.6,7,8についても併せて注目する。1段目の付着強度に対する2段目の付着強度の低減率(α_2)は、0.59~0.68で平均0.64となり、また3段目の低減率(α_3)は、0.37~0.51

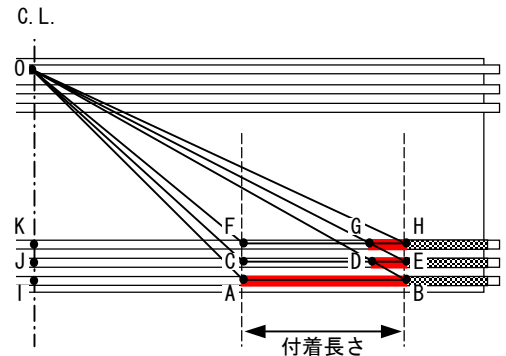


図-4 各段の付着力の流れ

で平均0.45となった。これより、主筋段数の増加に伴う付着強度低下の割合は、反比例の関係にはならないことがわかる。

3.5 主筋本数と最大耐力の関係

pw=0.60%とした試験体には、3段目主筋本数が4本のNo.4,5に対して、2本のNo.9,10を設けてある。それぞれ比較すると、補強筋間隔を1/2にしたもの、中子筋を配筋したもの共に最大耐力が同等であった。これより、主筋本数が減少しても、同じ横補強筋の配筋を行った場合、最大耐力に影響を及ぼさないことがわかる。

4. 検討・考察

この章では、主に付着強度の低下について検討する。まず、梁部材内における付着力の流れのメカニズムを提案し、そこから付着強度を低減させる提案式を示す。その後、実験値との適合性を検討する。

4.1 付着強度低下メカニズムの提案

3段配筋部材の付着力の流れの模式図を図-4に示す。これは、各段の主筋に生じる付着力がトラス機構を形成して、応力が流れているとしたものである。本来であれば、加力点の下は圧縮域となっているので、ある幅を持っているが、ここでは簡略化させるために、すべて点Oに向かうものとする。なお、この考え方は平均付着応力度を与えるもので、局所的な付着強度には適さない。

図-4において、2段目主筋で考えると、本来ならば、区間CEによる付着力が生じるはずであるが、1段目主筋のトラス機構に区間CDが組み込まれるため、実際は、2段目主筋は区間DEによって生じる付着力のみとなると仮定する。3段目主筋においても同様に考えると、3段目の付着力は区間GHによってのみ生じる。なお、各主筋段数における、付着力が伝達すると仮定したトラス内においては、付着劣化を考慮しないものとする。

4.2 低減係数を与える提案式

区間AB,DE,GHの長さをそれぞれ x_1, x_2, x_3 とし、前節の考え方をもとに、付着応力度が作用する周面積の割合によって強度低下の式を与える。1段目付着強度に対する

2 段目付着強度の割合 (2 段目主筋における強度低減係数 α_2), および 1 段目付着強度に対する 3 段目付着強度の割合 (3 段目主筋における強度低減係数 α_3) はそれぞれ次のように表せる。

$$\alpha_2 = \frac{AB+DE}{AB+CE} = \frac{x_1+x_2}{2x_1} \quad (1)$$

$$\alpha_3 = \frac{AB+DE+GH}{AB+CE+FH} = \frac{x_1+x_2+x_3}{3x_1} \quad (2)$$

ここで, 式(1),(2)は各段に配筋される主筋の本数が同数であることが前提となるので, 1~3 段目に配筋される主筋の本数をそれぞれ u, v, w とおく。このとき, 式(1),(2)は下記ようになる。

$$\alpha_2 = \frac{u \cdot AB + v \cdot DE}{u \cdot AB + v \cdot CE} = \frac{ux_1 + vx_2}{(u+v)x_1} \quad (3)$$

$$\alpha_3 = \frac{u \cdot AB + v \cdot DE + w \cdot GH}{u \cdot AB + v \cdot CE + w \cdot FH} = \frac{ux_1 + vx_2 + wx_3}{(u+v+w)x_1} \quad (4)$$

図-3 より, x_1, x_2, x_3 を求める。△OIB と △OJD において, 相似条件を用いれば区間 DE つまり x_2 を求めることができる。同様に △OJE と △OKG において解くことで, 区間 GH つまり x_3 を求めることができる。それぞれ下記のようになる。

$$x_1 = l \quad (5)$$

$$x_2 = \left(1 - \frac{d_2}{d_1}\right) \cdot a \quad (6)$$

$$x_3 = \left(1 - \frac{d_3}{d_2}\right) \cdot a \quad (7)$$

ここで, l : 付着長さ, d_1 : OI 間の距離, d_2 : OJ 間の距離, d_3 : OK 間の距離, a : シアースパン
(5),(6),(7)を式(3),(4)に代入する。ここでは α_3 に代入する。

$$\alpha_3 = \frac{u}{u+v+w} + \frac{v}{u+v+w} \cdot (d_1 - d_2) \frac{a}{ld_1} + \frac{w}{u+v+w} \cdot (d_2 - d_3) \frac{a}{ld_2} \quad (8)$$

式(8)において, $d_1 - d_2$ および $d_2 - d_3$ は部材せい方向の主筋間距離なので c とおく。また, 分母にある d_1, d_2 を有効せい d で近似すると,

$$\alpha_3 = \frac{u}{u+v+w} + \frac{v+w}{u+v+w} \cdot \frac{ca}{ld} \quad (9)$$

α_2 についても示すと,

$$\alpha_2 = \frac{u}{u+v} + \frac{v}{u+v} \cdot \frac{ca}{ld} \quad (10)$$

最後に式(9),(10)を一般化させる。 n 段目主筋位置における強度低減係数を α_n とすると,

$$\alpha_n = \frac{N_1}{N} + \frac{(N - N_1)ca}{Nld} \quad (11)$$

ここで, N_1 : 1 段目の主筋本数, N : n 段目を含めて, そ

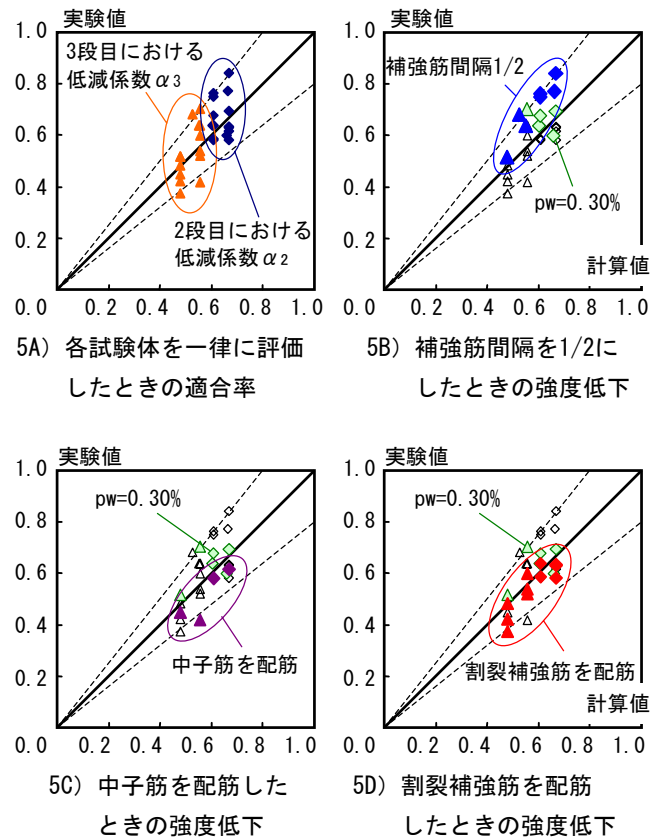


図-5 提案式の適合率

れより外側に配筋した主筋の総本数, c : 部材せい方向の主筋間距離, a : シアースパン, l : 付着長さ ($=a-d$), d : 有効せい

4.2 実験値との適合性

図-5 に実験結果から求めた低減倍率と, 提案式によって求めた低減係数の適合率を示す。なお, 実験値と計算値は, それぞれ付着長さを 300mm と 500mm の両方における付着強度から算出した。グラフ中には適合率 1.0 の直線を実線で, 0.8, 1.2 の直線を破線で示している。グラフは4つとも同じグラフであるが, 場合分けをして示している。以下にそれぞれの考察を述べる。

(1) 全試験体の適合性

5A) より, 主筋段数, 主筋本数および付着長さによらず全試験体を概ね評価できている。

(2) せん断補強筋間隔と低減係数の関係

5B) より, せん断補強筋間隔を 1/2 にしたとき, 適合率 1.0 の直線よりもやや上に分布する傾向がある。これより, 外周に配筋される補強筋間隔を狭めることで, 主筋段数の増加に伴う付着強度の低下を軽減させることができることがわかる。

(3) 中子筋と低減係数の関係

5C) より, 中子筋を配筋したときの付着強度の低減率は 1.0 の直線よりもやや下に分布している。ここで, 表-2 における, No.3 と No.5 との比較から, 中子筋を配筋した試験体は, 1 段目の付着強度のみ上昇する分だけ強

度低下が大きくなるということがわかる。

(4) 割裂補強筋と低減係数の関係

5D) より、割裂補強筋を配筋した試験体の付着強度の低減率は $p_w=0.30\%$ の試験体と同じ傾向を示していることから、割裂補強筋は付着強度低下に対しても影響を及ぼさないことがわかる。

4.3 付着耐力と最大耐力との適合性

最後に、提案した低減係数を用いて求めた付着耐力の計算値と、実験によって得られた最大耐力との適合性について検討する。図-6 に付着耐力の比較値を示す。

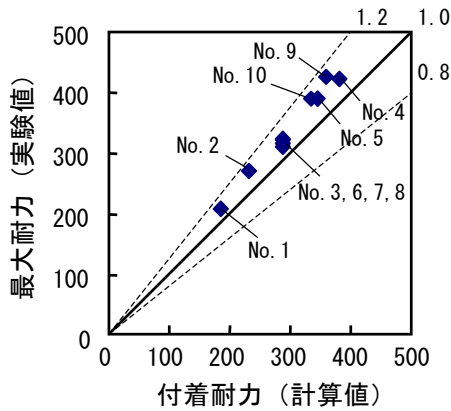


図-6 付着耐力の比較値

これより、提案式を用いることによって、全試験体において安全側かつ精度良く評価することができることが確認できる。なお、計算方法の詳細について次節に示す。

4.4 付着耐力の計算方法

ここでは、付着耐力の評価方法を提案する。下記に付着耐力を算出するまでの基本手順、中子筋を配筋した場合、主筋本数が変わる場合の3つに分けて述べる。

(1) 付着耐力を算出するまでの基本手順

1 段目主筋位置における付着信頼強度 τ_{bu1} を求める。計算方法は靱性保証型耐震設計指針による。

次に、低減係数を乗じて、2 段目および3 段目の付着信頼強度、それぞれ τ_{bu2}, τ_{bu3} を求める。

$$\tau_{bu2} = \alpha_2 \cdot \tau_{bu1} \quad (12)$$

$$\tau_{bu3} = \alpha_3 \cdot \tau_{bu1} \quad (13)$$

ここで、何段目の主筋位置で付着破壊が生じるかを仮定し、その主筋段数における引張力を求める。

2 段目で付着破壊を仮定すると、

$$T_2 = \phi \ell N_2 \cdot \tau_{bu2} \quad (14)$$

3 段目で付着破壊を仮定すると、

$$T_3 = \phi \ell N_3 \cdot \tau_{bu3} \quad (15)$$

ϕ : 主筋周長, ℓ : 付着長さ, N_x : x 段目の主筋本数

(14) または (15) で得た引張力から、他の主筋に生じる引張力を求める。なお、平面保持を仮定し、断面解析によって求まる引張力比を用いるものとする。ここでは、1 ~ 3 段目に生じる引張力の比を $t_1:t_2:t_3$ とする。また、付

着破壊が生じる主筋段数よりも内側に主筋が配筋されている場合、その内側の主筋は付着強度に達しているものとする。

2 段目で付着破壊を仮定すると、(14), (15) より、

$$T_1 = \left(\frac{t_1}{t_2} \right) \cdot T_2 = \left(\frac{t_1}{t_2} \right) \cdot \phi \ell N_2 \cdot \tau_{bu2} \quad (16)$$

$$T_2 = \phi \ell N_2 \cdot \tau_{bu2} \quad (17)$$

$$T_3 = \phi \ell N_3 \cdot \tau_{bu3} \quad (18)$$

3 段目で付着破壊を仮定すると、(15) より、

$$T_1 = \left(\frac{t_1}{t_3} \right) \cdot T_3 = \left(\frac{t_1}{t_3} \right) \cdot \phi \ell N_3 \cdot \tau_{bu3} \quad (16)'$$

$$T_2 = \left(\frac{t_2}{t_3} \right) \cdot T_3 = \left(\frac{t_2}{t_3} \right) \cdot \phi \ell N_3 \cdot \tau_{bu3} \quad (17)'$$

$$T_3 = \phi \ell N_3 \cdot \tau_{bu3} \quad (18)'$$

(16), (17), (18) または (16)', (17)', (18)' より、1 ~ 3 段目に生じる引張力を合計し、総引張力 T を求める。

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad (19)$$

応力中心間距離を j とすると、加力端に作用するモーメント M は、

$$M = T \cdot j \quad (20)$$

反力支点から加力端までの距離を $a-d$ で与え、付着耐力 Q を求める。

$$Q = \frac{M}{a-d} \quad (21)$$

ここで、 a : シアースパン, d : 有効せい

(2) 中子筋を配筋した場合

中子筋を配筋した場合、1 段目のみ付着強度が上昇するので、それを考慮する必要がある。

1 段目付着信頼強度を求める際に、中子筋を配筋した場合の信頼強度 τ_{bu1} と、中子筋を取り除いた場合の信頼強度 τ_{bu1}' を求める。 τ_{bu1} については前項によるものとし、 τ_{bu1}' については算出する際に用いる p_w を p_w' とする。なお、 p_w' は次式によるものとする。

$$p_w' = \frac{2d_w}{bs} \quad (22)$$

d_w : 横補強筋の径, b : 部材の幅, s : 横補強筋間隔

τ_{bu1}' に低減係数を乗じ、2, 3 段目の信頼強度を求める

$$\tau_{bu2} = \alpha_2 \cdot \tau_{bu1}' \quad (23)$$

$$\tau_{bu3} = \alpha_3 \cdot \tau_{bu1}' \quad (24)$$

各主筋段数に生じる引張力は前項同様に求める。

総引張力を求める際に、1 段目に生じる引張力に割り増し係数 A を乗じる。係数 A は次のように与える。

$$A = \frac{\tau_{bu1}}{\tau_{bu1}'} \quad (25)$$

これより、総引張力 T は、

$$T = A \cdot T_1 + T_2 + T_3 \quad (26)$$

以下、前項と同様に求める。

(3) 主筋本数が減少した場合

式(3),(4)により、主筋本数の変化は低減係数を導く際に考慮している。ただし、今回の試験体のうち、No.9,10の付着耐力を求める際に、3段目で付着破壊を仮定すると適切な値を得ることができない。このことから、何段目の主筋位置で付着破壊を仮定すれば良いとわかる指標が必要になる。

2段目以降の主筋段数においては、コーナースプリット型の付着破壊は起こらないことが予想されることから、靱性指針に記されているサイドスプリット型の割裂線長さ比 b_{si} を運用する。

x 段目の主筋段数における割裂線長さ比 b_{si-x} は、

$$b_{si-x} = \frac{b - N_x \cdot d_b}{N_x \cdot d_b} \quad (27)$$

ここで、 b : 部材幅、 d_b : 主筋径、 N_x : x 段目の主筋本数この b_{si-x} が最小となる主筋段数で付着破壊を仮定するものとする。なお、同値の場合は内側主筋段数とする。

(4) 既往の研究との適合性

最後に既往の研究^{4),5),6),7),8),9)}における付着耐力の計算値と最大耐力の関係を今回の実験と併せて示す。

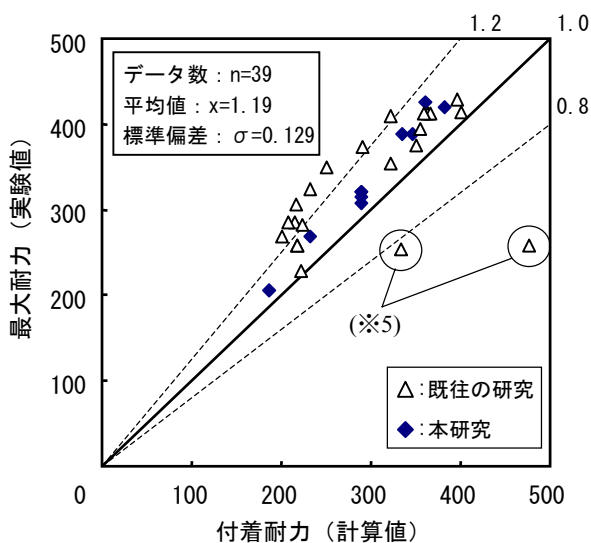


図-7 既往の研究を含めた付着耐力の比較値

図-7より、安全側かつ精度良く評価できている。なお、図中の既往の研究におけるデータはすべて2段配筋のものであるが、3段配筋以上で行った研究データ⁹⁾に対しても妥当な値を得ている。ただし、(※5)とした2つのデータ⁶⁾については、2段配筋部材において、1段目主筋に比べて、2段目主筋の本数を増やした試験体である。これより、提案した付着耐力の計算式は、外側に配筋された主筋ほど本数が多いことを前提とする。

5. まとめ

本研究より、以下の知見が得られた。

- ・内側主筋段数における付着強度を上昇させるためには、外周のせん断補強筋を増加させればよい。
- ・中子筋による付着強度の上昇は、1段目主筋にしか効果が無い。
- ・局所的に配筋した割裂補強筋は付着強度に影響を及ぼさない。
- ・トラス機構に基づく付着力の流れの簡易モデルを提案した。
- ・主筋段数の増加に伴う付着強度低下を与える低減係数の提案式を示した。
- ・付着耐力の計算値を求める際に提案式を用いることで、安全かつ精度の良い評価が行えることを示した。

謝辞

本実験の実施にあたって、高周波熱錬(株)、鄭州大学趙軍博士の協力を得ました。ここに深く感謝します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：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，1999.8
- 2) 太刀川毅ほか：鉄筋コンクリート梁主筋の付着性状に及ぼす高強度コンクリート強度と多段配筋の影響—その2—，日本建築学会大会学術講演梗概集，2008.9
- 3) 林静雄，吉田弘行，黒正清治：ひびわれ近傍における異形鉄筋とコンクリートの付着性状に関する実験研究，日本建築学会構造系論文報告集，No.348，pp.86-97，1985.2
- 4) 松原洋志，高木仁之，狩野芳一：二段配筋されたRC梁の付着割裂破壊，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.13，No.2，pp.151-156，1991.6
- 5) 古川淳ほか：高強度鉄筋コンクリート梁の付着割裂破壊，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.2，pp.547-552，1992.6
- 6) 大屋戸理明ほか：2段配筋を有する鉄筋コンクリート梁の付着性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.2，pp.187-192，1993.6
- 7) 永井覚，加藤友康，別所佐登志：高強度材料を使用した高層RC造短スパン梁の実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.2，pp.583-588，1995.6
- 8) 對比地健一ほか：二段配筋された梁部材の付着割裂破壊，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.2，pp.615-620，1997.6
- 9) 高見信嗣，江戸宏彰：多段配筋梁の付着割裂破壊に関する実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.22，No.3，pp.1255-1260，2000.6