

論文 RC 造柱梁接合部内に機械式定着した梁主筋の定着耐力の評価

加藤 慎士*1・清原 俊彦*2・田才 晃*3・長田 正至*4

要旨：RC 造柱梁接合部内での梁主筋機械式定着には様々な影響因子があるが、既往の定着耐力算定式では考慮されていない影響因子もある。そこで、本研究では既往の実験データを収集することによって、機械式定着耐力の中でも側方割裂耐力を対象にして影響因子を再検討し、より適合性の高い側方割裂耐力算定式を提案した。

キーワード：RC 造柱梁接合部，梁主筋機械式定着，影響因子，側方割裂耐力算定式

1. はじめに

近年，RC 造建築物の高層化に伴い，ト型柱・梁接合部における梁主筋定着に対して，機械式定着が盛んに使用されるようになったが，機械式定着における側方割裂耐力の算定式としては NewRC 式¹⁾が用いられる事が多い。NewRC 式はト型柱・梁接合部を模した定着筋の引抜き実験結果において，定着耐力に影響を及ぼしていると考えられる変動因子に対して，その影響を回帰することにより導出されたものである。しかし，その試験体数は限られたものであり，定着長の変動による定着耐力への影響は考慮できないなどの制限がある。

そこで，本論では，より一般性のある，機械式定着における側方割裂耐力算定式を構築することを目的とし，既発表文献より機械式定着耐力に関する実験データを収集し，90°折り曲げ定着耐力算定法として提案されている森田藤井式²⁾も参考としながら，梁主筋の機械式定着耐力に影響を及ぼす因子について検討を行う。

2. 研究対象データ

2.1 既往の実験の収集

1992 年から 2001 年の間に発表された国内の学術論文^{1),4),5),6),7),8),9)}から 148 体の引き抜き試験体を収集した。収集した引き抜き試験体は，柱

反曲点に相当する部分をピンローラーで支持し，梁圧縮領域と想定される部分に圧縮力を与えつつ，梁型のない梁主筋を引き抜くものである。

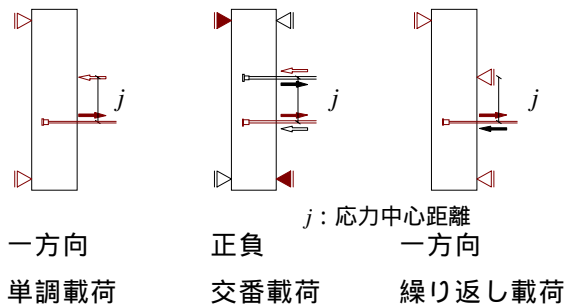


図 - 1 引き抜き実験

なお，定着長 l_d は柱面から定着板までの長さとし，側面かぶり厚さ C_0 は定着筋芯から柱面までの長さとした。また，接合部横補強筋比 p_{jw} は靱性保証型設計指針・同解説³⁾に基づいて算定した。

2.2 破壊形式の分類

既発表文献の記述により破壊形式を分類した結果，側方割裂破壊 85 体，コーン状破壊 20 体，接合部破壊 14 体，定着筋破断 15 体が確認できた。本論では側方割裂破壊が確認できた試験体 85 体のデータを用いて，機械式定着法における側方割裂耐力に影響を与える因子を検討し，側方割裂破壊を対象とした機械式定着耐力算定式

*1 鹿島建設(株) (正会員)

*2 堀江建築工学研究所 (正会員)

*3 横浜国立大学 工学研究院 建築学コース 助教授 博士(工学) (正会員)

*4 横浜国立大学 工学研究院 建築学コース 教授 博士(工学) (正会員)

を構築する。なお，本論では，実験データを整理する際に，文献中に記されている最大荷重を定着耐力とみなしている。

3. 定着耐力算定式の導出

3.1 定着耐力算定式の構成

側方割裂破壊が確認できた試験体 85 体のデータを整理することにより，側方割裂破壊耐力に影響を及ぼす因子として，本論では，コンクリート強度，及び，下記に示す 5 項目の計 6 項目に着目した。

- k_1 ：定着板(支圧面積)の影響を表す因子
- k_2 ：側方かぶり厚さの影響を表す因子
- k_3 ：応力中心距離の影響を表す因子
- k_4 ：定着長の影響を表す因子
- k_5 ：接合部内横補強筋の影響を表す因子

コンクリート強度が耐力に及ぼす影響は，上記 $k_1 \sim k_5$ の 5 項目が全て等しくコンクリート強度のみが異なる試験体の耐力を比較し，これらの試験体の耐力をコンクリート強度の関数として近似曲線により表現する。上記 $k_1 \sim k_5$ の 5 項目が耐力に及ぼす影響は，検討する因子以外が全て等しい試験体の組を取り出し，その中で基準となる試験体を定義し，その基準試験体の耐力に対する上昇率，低下率で評価することとする。本論で提案する側方割裂耐力算定式は定着筋軸方向応力度の形で表すこととし，コンクリート強度の関数として表した基準軸応力度 σ_{std} に上記 $k_1 \sim k_5$ の 5 項目の影響因子を乗ずることによって構成される。

$$=k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot \sigma_{std} \quad (1)$$

3.2 各影響因子の効果

以下に式(1)中の各種の影響因子についてその特徴を検討するとともに定量的に評価する。

表 - 1 に収集した実験データの変動因子の範囲を示す。

表 - 1 収集した実験における変動因子の範囲

影響因子	変動範囲
コンクリート圧縮強度 B	19.3 ~ 76.0 (N/mm ²)
支圧面積比	2.70 ~ 5.84
側方かぶり厚さ C_0/d_b	2.57 ~ 6.58
応力中心距離 j/l_d	0.85 ~ 2.00
定着長 l_d/d_b	7.89 ~ 18.67
l_d/D_c	0.50 ~ 0.84
接合部補強筋比 p_{jw}	0.00 ~ 1.10 (%)
外周筋補強筋比	0.00 ~ 0.63 (%)
中子筋補強筋比	0.00 ~ 0.47 (%)
柱幅 b_c	180 ~ 650(mm)
柱せい D_c	300 ~ 700(mm)

d_b ：鉄筋径

(1) σ_{std} ：コンクリート強度の影響を考慮した基準軸応力度

本論で検討対象としたデータにおいて，コンクリート強度 (B) のみ異なり他はすべて等しい試験体が 6 組計 19 体 (うち 1 体定着筋破断) ある。これらの定着耐力(軸応力度)とコンクリート強度の関係を図 - 2 に表す。

コンクリート強度が 50N/mm² より低い範囲ではコンクリート強度の増大に伴い定着耐力が増大しているが， $B > 50$ N/mm² になると，コンクリート強度の増大に伴う定着耐力の増大率は小さくなる傾向が見られる。

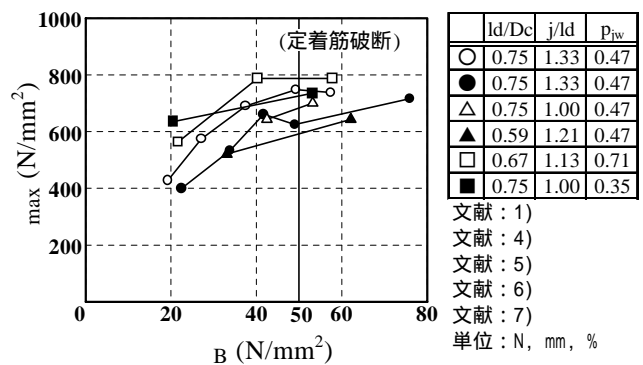


図 - 2 コンクリート強度の影響

ここで，文献 1)と 4)の試験体は横補強筋の配置(文献 1)は中子筋のみ，文献 4)は外周筋のみ)に差異があるが，本論では後述するように，横補強筋の効果を p_{jw} で評価することとし，横補強筋の配置の差異は考慮しないこととした。こ

れに加え，後述する影響因子の基準となる試験体として，図 - 2 の 19 体のうち文献 1)()及び 4)()の試験体計 10 体を選ぶことができる。そこで，これら 10 体の試験体について耐力とコンクリート強度の関係を示す近似曲線を求める。図 - 2 より， $\sigma_B > 50\text{N/mm}^2$ の範囲においてコンクリート強度の増大に対する耐力の上昇率が小さくなることを考慮し， $\sigma_B \leq 50\text{N/mm}^2$ では耐力は σ_B の平方根に， $\sigma_B > 50\text{N/mm}^2$ では σ_B の 3 乗根に比例すると仮定する。図 - 3 に近似曲線を示す。

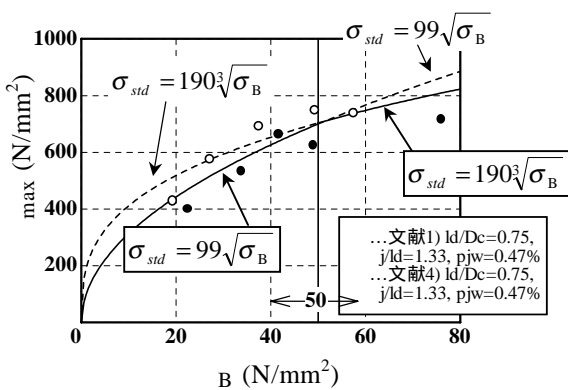


図 - 3 基準軸応力度 σ_{std}

これにより、基準軸応力度 σ_{std} を次式により表すこととする。

$$\begin{aligned} \sigma_B \leq 50\text{N/mm}^2 \\ \sigma_{std} &= 99 \sqrt{\sigma_B} \\ 50\text{N/mm}^2 < \sigma_B \leq 76\text{N/mm}^2 \\ \sigma_{std} &= 190 \sqrt[3]{\sigma_B} \end{aligned} \quad (2)$$

(2) k_1 ：定着板(支圧面積)の影響を表す因子
本論で検討対象としたデータにおいて，側方割裂破壊した試験体のうち，支圧面積比を変動因子としているものは，文献 1)に公表されている NewRC 式のバックデータのみであったため，NewRC 式における影響因子をそのまま適用して k_1 とした。

$$2.7 \text{ 支圧面積比 } 6.0 \quad k_1=1 \quad (3)$$

(3) k_2 ：側方かぶり厚さの影響を表す因子
本論で検討対象としたデータにおいて，側方割裂破壊した試験体のうち，側方かぶり厚さを變動因子としているものは，文献 1)に公表されている NewRC 式のバックデータのみであったため，NewRC 式における影響因子をそのまま適用して k_2 とした。

$$k_2=0.96+0.01(C_0/d_b) \quad (4)$$

(4) k_3 ：応力中心距離の影響を表す因子
文献 2)では，反力点位置を変えた折り曲げ定着筋の引抜き実験の結果から，定着筋と反力点との距離(応力中心距離)が定着耐力に及ぼす影響を検討している。機械式定着の場合でも文献 2)の検討結果と同様に応力中心距離(j)が小さいほど定着耐力が高くなると予想し，検討を行った。ここで，応力中心距離の影響は j/l_d によって評価し，文献 4)で代表的に用いられている $j/l_d=4/3=1.33$ の試験体耐力を基準とする。

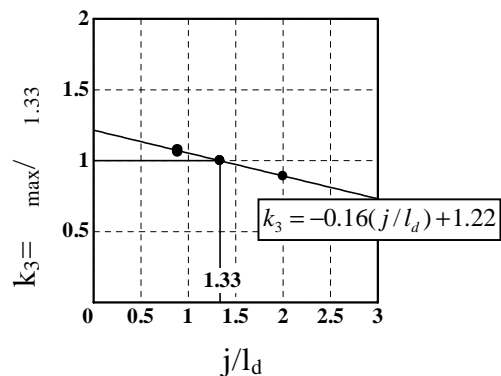


図 - 4 応力中心距離の影響

($j/l_d=4/3=1.33$ を基準とした耐力評価)

本論で検討対象としたデータのうち，定着長が一定で，応力中心距離を変動因子とした実験は文献 4)に 3 組(各 2 体)が報告されているのみだが，図 - 4 に示すように応力中心距離が小さいほど定着耐力は高くなる傾向が見られた。

$$k_3= - 0.16(j/l_d)+1.22 \quad (5)$$

(5) k_4 ：定着長の影響を表す因子

本論で検討対象としたデータにおいて、定着長を変動因数とした試験体が10組(各2体)あり、定着長の影響は主筋径に対する比によって評価する。しかし、ほとんどの試験体が l_d/d_b と連動して j/l_d も変動してしまうため、式(5)によって、 $j/l_d=4/3$ の耐力に換算して、両者を独立に評価する。式(5)を決定する際に基準とした $j/l_d=4/3$ の試験体が $j/d_b=11.8$ であったため、これを基準として定着長の影響を $l_d/d_b=11.8$ に対する耐力比で表したのが、図-5である。なお、定着長に比例して耐力が上昇する傾向にあるので、試験体の組の中に $l_d/d_b=11.8$ の試験体がない場合は、線形補間により仮定の基準試験体の耐力を求め、それに対する耐力評価を行った。

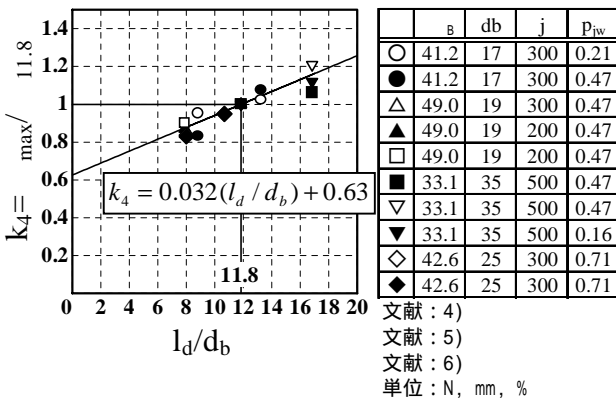


図-5 定着長の影響

($l_d/d_b=11.8$ を基準とした耐力評価)

図-5より定着長に比例して定着耐力が上昇する傾向にあるのがわかる。したがって定着長の影響は次式のように表す。

$$k_4=0.032(l_d/d_b)+0.63 \quad (6)$$

(6) k_5 ：接合部補横強筋の影響を表す因子

NewRC式では、接合部補横強筋の効果として外周筋のみを考慮し、中子筋は考慮しないことになっている。しかしながら、本論で検討対象とした実験データを整理し、 p_{jw} が等しく、中子筋のみを配した試験体と外周筋のみを配した試

験体の定着耐力を比較した結果、中子筋のみを配した試験体の定着耐力は外周筋のみを配した試験体の定着耐力と同等であったため、接合部補横強筋の効果は、中子筋も含めて考慮することとして再検討した。収集した実験データのうち p_{jw} が変動因数となっている試験体が13組、計36体ある。

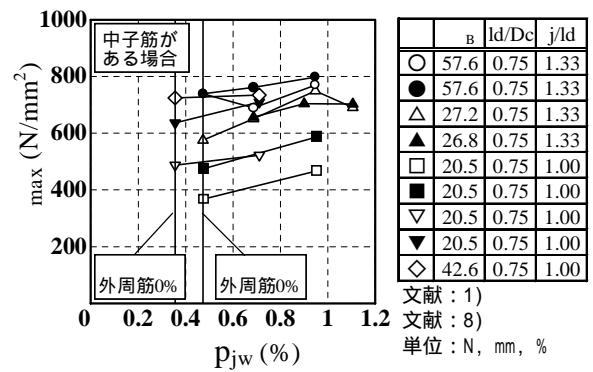
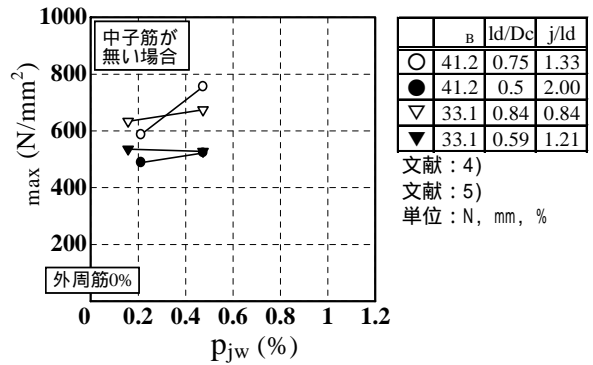


図-6 接合部補横強筋の影響

図-6より p_{jw} に比例して定着耐力が上昇しているが、 $p_{jw}=0.9\%$ 程度でその効果が低下する傾向にあるのがわかる。また、文献1),10)において、コンクリート強度が高くなると、補横強筋による影響が低下する傾向にあると報告されている。そこで、文献1),10)を参考にして、NewRC式における補横強筋の影響を p_{jw} によって再評価することとする。したがって、コンクリート強度が 27.2N/mm^2 と 57.6N/mm^2 の場合において、 $p_{jw}=0.47\%$ (中子筋のみ 0.47% 配筋)の耐力を基準にした影響因子を決定し、それらを直線補間することによって任意のコンクリート強度に対する影響因子 k_5 を算出する。

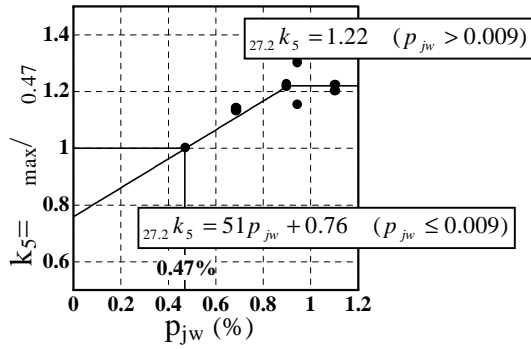


図 - 7-1 $\beta=27.2\text{N/mm}^2$ の場合の
横補強筋の影響

($p_{jw}=0.47\%$ を基準とした耐力評価)

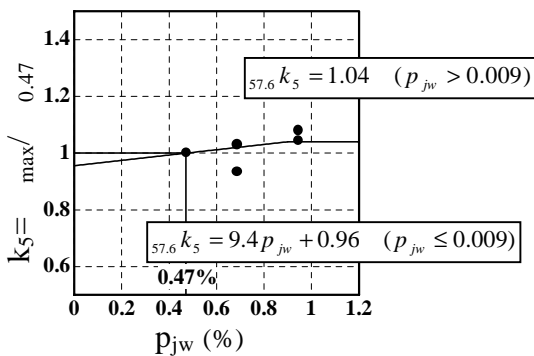


図 - 7-2 $\beta=57.6\text{N/mm}^2$ の場合の
横補強筋の影響

($p_{jw}=0.47\%$ を基準とした耐力評価)

上図の影響因子を直線補間すると下のようになる。

$$p_{jw} \leq 0.009$$

$$k_5 = 51p_{jw} - (1.37p_{jw} - 0.0065)(\beta - 27.2) + 0.76$$

$$p_{jw} > 0.009$$

$$k_5 = 1.22 - 0.0059(\beta - 27.2) \quad (7)$$

以上より、式(1)～式(7)により、機械式定着における側方割裂耐力を算定する。

3.3 計算値と実験値の比較

本研究で収集した引き抜き実験データのうち側方割裂破壊した 85 体において、本提案式と NewRC 式の計算値と実験値の比較を図 - 8-1, 8-2 に表す。同時に、定着長(柱せいに対する割合)

の比較を行う。なお、NewRC 式は $l_d=3/4D_c$ で一定の実験結果から導出された式である。

また、参考として靱性指針式を機械式定着に適用させた場合($l_{dh}=l_d$)の実験値と計算値の比較も図 - 8-3 に表す。

下図より、本提案式($m=1.012$, $\sigma=0.117$)が NewRC 式($m=0.942$, $\sigma=0.139$)にくらべてより適合性が高いといえる。

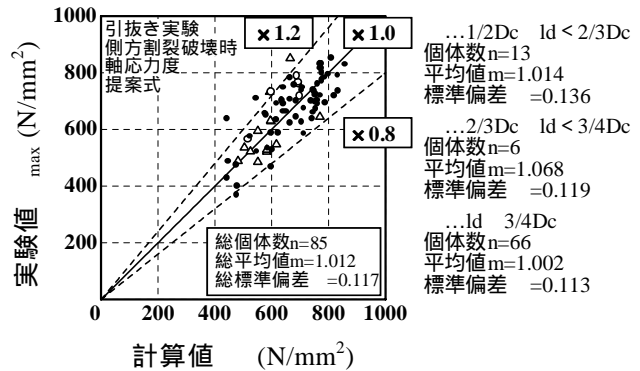


図 - 8-1 本提案式の計算値と実験値の比較

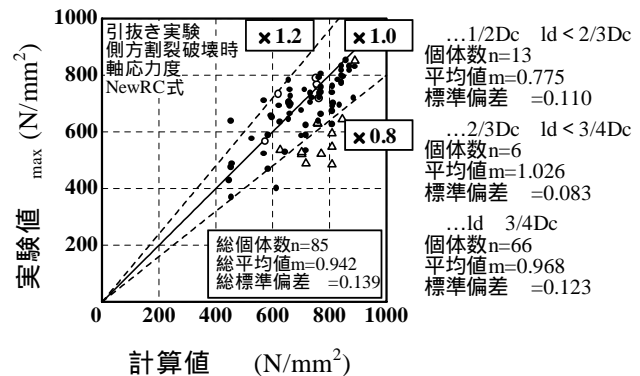


図 - 8-2 NewRC 式の計算値と実験値の比較

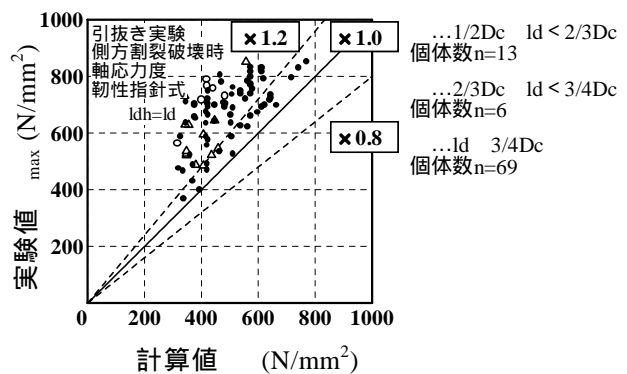


図 - 8-3 靱性指針式の計算値と実験値の比較

3.4 未考慮の影響因子の検討と今後の課題

既往の研究において、 l_d と l_d/D_c を独立に変動させた実験が無いため、 l_d/D_c の影響は直接的には考慮していない。

定着筋の群効果、補強筋強度、梁の圧縮領域幅、二段配筋、直交梁、上端筋と下端筋の差異、柱軸力、スケール効果などの影響については、既往の研究ではデータ不足のため、今回は考慮しなかった。

k_5 において、コンクリート強度の上昇と接合部横補強筋効果の低下の関係を線形として仮定しているため、横補強筋だけでなくコンクリート強度の変動数を増やした実験が必要である。

4. まとめ

NewRC 式、森田藤井式における定着耐力の影響因子を参考に、既往の機械式定着引抜き実験の結果を検討した結果、以下の知見を得た。

(1) 機械式定着における側方割裂耐力に影響を与える因子を再検討し、提案式に取り入れた。

(2) 本研究における提案式は、定着長が柱せいの $3/4$ 以上の場合に限っても、NewRC 式と比較して実験値と比較的よい対応を示した。したがって、側方割裂破壊を想定して設計する場合、より信頼性の高い定着耐力算定式が得られた。

(3) 本提案式は側方割裂を対象としたものであり、コーン状破壊などは想定していない。特に定着長が柱せいに対して浅い場合にはコーン状破壊に対する検討を別途行う必要がある。

【参考文献】

- 1) 村上雅英・宮崎 史・窪田敏行：RC 外部はり柱接合部のはり主筋の機械式定着強度実験式の提案，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.125-128，1993.9
- 2) 藤井 栄・森田司郎・川上修司：90°折り曲げ鉄筋の定着耐力の再評価，日本建築学会構造系論文報告集，第 429 号，pp65-75，1991.11

構造系論文報告集，第 429 号，pp65-75，1991.11

- 3) 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，1998
- 4) 村上雅英・門野 陽・窪田敏行：高強度材料を用いた RC 構造物のはり主筋の機械定着に関する実験（その 1，その 2），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.909-912，1992.8
- 5) 小西 覚・加藤友康・別所佐登志：特殊定着金物を用いた RC 造梁主筋定着法に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.2，pp.1195-1200，1995.6
- 6) 村井和雄・岡本晴彦・菅野俊介：端部にコブを設けた梁主筋の柱・梁接合部内における定着性能に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.259-262，1993.9
- 7) 村井和雄・吉田啓喜・岡本晴彦：端部にコブを設けた梁主筋の柱・梁接合部内における定着性能に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.683-684，1994.9
- 8) 村上雅英・太田 勤・窪田敏行：機械式定着の引抜き実験による耐力（その 1，その 2），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.527-530，1999.9
- 9) 中村一彦・市川昌和・早川邦夫：円形定着板を用いた機械式定着工法の開発（その 1，その 2），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.107-110，2001.9
- 10) 村上雅英・藤達 也・窪田敏行：引き抜き試験によるはり主筋の機械式定着耐力の評価，コンクリート工学論文集，Vol.8，No.2，pp.1-10，1997.7