

論文

[2081] 高強度材料を用いた外柱・梁接合部に定着された梁主筋の抜け出し挙動

正会員○津村 浩三 (東京都立大学建築学科)

中島 俊光 (東京都立大学建築学科)

正会員 芳村 学 (東京都立大学建築学科)

1. はじめに

超高層RC建物の実現には高強度材料の使用が有力視されているが、高強度の梁主筋を用いた場合、外柱・梁接合部における梁主筋の定着が耐震上の弱点となる可能性がある。設計では梁主筋の降伏で決まり、定着部は破壊しないことが求められるので、①定着耐力を把握しておく必要があるが、また、定着部からの梁主筋の抜け出しが架構全体の挙動に大きな影響を及ぼす可能性があるため、②定着部から主筋を引き抜く力と抜け出し量の関係(荷重P～拔出量S曲線)を定量的に評価できることが望ましい。この分野では定着耐力を主眼とした研究は少数あるが、②のモデル化については手をつけられていない[1][2]。

本研究では、SD80クラスの高強度鉄筋を用いた場合のRC外柱・梁接合部における梁主筋折り曲げ定着部の性状に関して実験を行い、かぶり厚、横筋(hoop)量、コンクリート強度等が定着耐力及び荷重～拔出量関係に及ぼす影響について調べた。また、実験を基に、接合部内フック部分(折り曲げ起点以降)における荷重～拔出量関係のモデル化を試みた。

2. 試験体及び実験方法

試験体の形状、加力方法等を図1に示す。加力装置は100tfアムスラーを利用した比較的単純なもので、柱型供試体内に定着された2本の試験鉄筋(梁筋)端に引張力を加え、梁からの圧縮力作用位置と柱上部の反曲点相当位置をピン支持するものとした。柱の軸力に関しては厳しい条件と考えられるゼロの状態で行った。軸力のある場合については別に検討する必要がある。

試験体諸元を表1に、使用した材料の性質を表2に示す。実験因子は、かぶり厚 C_0 。(梁筋中心から柱型側面までの距離、これに伴って柱幅が試験体によって変わる)、外柱・梁接合部相当部分の横筋間隔、及びコンクリート強度である。基本供試体は図1に示すP-1で、コンクリート強度 472kgf/cm^2 、かぶり厚 C_0 5cm、横筋間隔20cmである。フックの内り半径は $3d_b$ 。(d_b :鉄筋径2.2cm)、余長部の長さは $10d_b$ で全試験体(P-8を除く)共通である。フック部分の特性を主に知ることを主目的としたため、原則として直線部(折り曲げ起点までののみ込み部)の定着がな

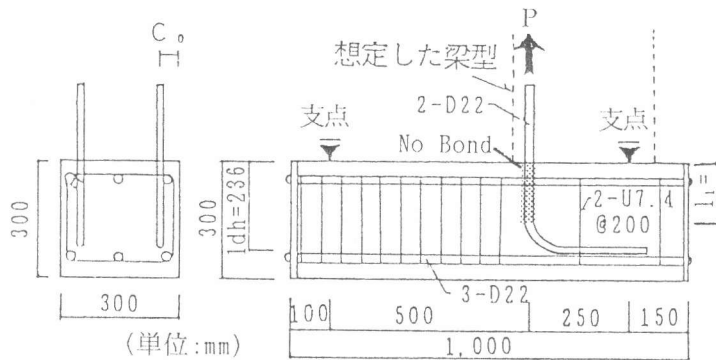


図1 加力方法および試験体配筋図 (P-1)

表1 試験体諸元

試験体	F_c (kgf/cm^2)	C_0 (cm)	横筋 ヒッチ (cm)	実験因子
P-1	472	5	20	標準
P-2	472	7	20	かぶり厚
P-3	472	9	20	かぶり厚
P-4	472	5	5	横筋間隔密
P-5	330	5	20	普通 F_c
P-6	330	7	20	普通 F_c
P-7	472	5	20	直線部定着有
P-8	472	5	20	直線部のみ

表2 材料の性質

鉄筋	降伏強度 (tf/cm ²)	降伏歪み (%)	最大強度 (tf/cm ²)	最大時 歪み(%)	破断時 歪み(%)	ヤング係数 (tf/cm ²)	コンクリ ート	割裂強度 (kgf/cm ²)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 (tf/cm ²)
D22	8.28	0.428	9.11	6.26	8.12	1940	普通Fc	14.7	330	260
U7.4	13.79	0.711	14.44	3.43	9.74	1940	高Fc	18.4	472	315

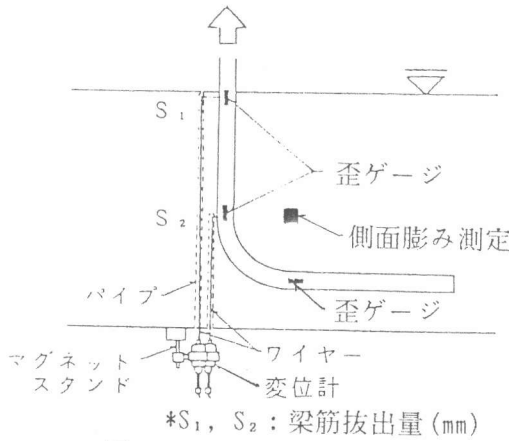


図2 歪・変位測定位置

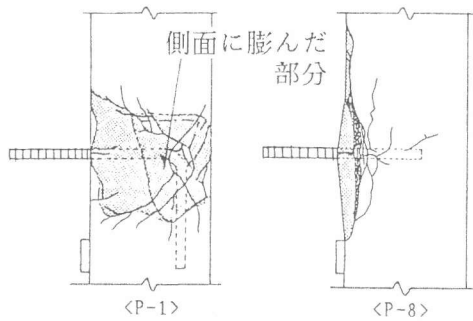


図3 実験終了時ひび割れ状況

表3 実験結果一覧

試験体	最大荷重	最大荷重時	パラメーター
	maxP (ton)	引抜量 maxS (mm)	
P-1	15.1	1.95	標準
P-2	17.5	2.19	かぶり厚
P-3	18.6	2.86	かぶり厚
P-4	18.3	2.80	横筋間隔密
P-5	11.4	2.94	普通Fc
P-6	12.0	2.80	普通Fc
P-7	21.2	1.82	直線部付着有
P-8	4.9	0.66	直線部のみ

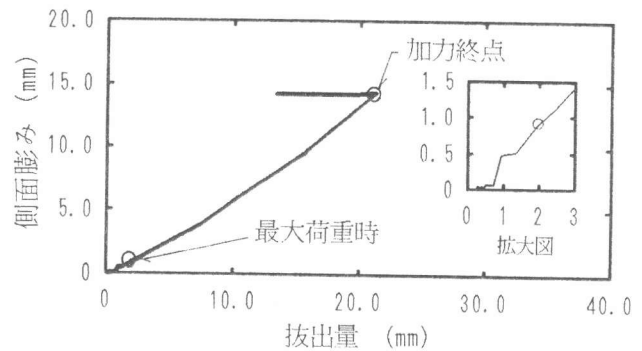


図4 フック付近柱側面の膨みと梁筋拔出量Sの関係 (P-1)

いものとした。ただし、直線部の影響に関する資料も得たいので、埋め込み部全域に定着のあるもの(P-7)、及び直線部のみでフック部の無いもの(P-8)を作製した。

コンクリートの打ち込みは、想定している架構において通常行われるものと同じ方向(図1の長手方向配筋図においては左から右方向)となるように型枠を立てて行った。

計測事項は、試験梁筋の載荷端、折り曲げ起点、折り曲げ終点での鉄筋ひずみ、梁筋の拔出量、及び柱側面部分の膨みである。柱側面部分の膨みは、柱下端の鉄板に立てたマグネットスタンドからはねだした鉄棒に変位計を取り付け、フック付近の柱側面に張り付けたガラス面との距離を計ることにより計測した。梁筋の拔出量(S₁, S₂)は図2のように梁筋の載荷端と折り曲げ起点の2点で、柱背面に対する相対移動量として計測した。

3. 実験結果

主な実験結果を表3に示す。荷重Pはアムスラーにより加えた引張力の1/2であり、1本の梁筋に加えられた引き抜き力に相当する。全ての試験体は、梁筋が降伏する前に最大荷重(maxP)に達したので、その値を定着耐力とみなす。最大荷重時拔出量maxSは、破壊側梁筋S₂(図2参照)の値である。以後、拔出量Sは破壊側のS₂を指すこととする。

3. 1 破壊状況

載荷終了後の典型的なひび割れ状況を図3に示す。P-8は直線部定着のみであるため、載荷端の柱面部分が梁筋を中心として引き抜く方向へコーン状に剥離する破壊モードとなった。定着をフック部に限ったP-1は、柱側面のかぶり部分が膨み、フック部分を中心として柱側面方向へコーン状に剥離する破壊モードとなった。フック部及び直線部に定着のあるP-7は、引き抜く方向への剥離と柱側面の剥離の両方を含む破壊モードとなった。その他の試験体はP-1と似た性状を示したが、かぶりのより厚いP-2及びP-3は柱側面の膨む範囲がより広範囲となり、梁筋を中心に観音開きの戸を開けるような状況でかぶり部分のコンクリートが剥離した。図4にはP-1における梁筋の拔出量と側面の膨みとの関係を示したが、両者はほぼ線形の関係となっている。これらのことから類推すると、梁筋の抜け出し挙動は柱側面のかぶり部分の性質に支配されている可能性がある。

3. 2 かぶり厚 C_0 の影響

実験から得られた荷重～拔出量曲線を実験因子別に比較して図5に示す。同図a)によると、かぶり厚 C_0 が増加するにつれて定着耐力が大きくなり、最大荷重時の拔出量及び初期の剛性も増大していることがわかる。ただし、後に図9で示すように定着耐力の増加はかぶり厚 C_0 の増加に対して比例的ではなく、頭打ちの傾向が認められる。

3. 3 横筋量の影響

図5b)でP-1とP-4の履歴を比較すると、P-4の方が定着耐力が大きく最大荷重時以降

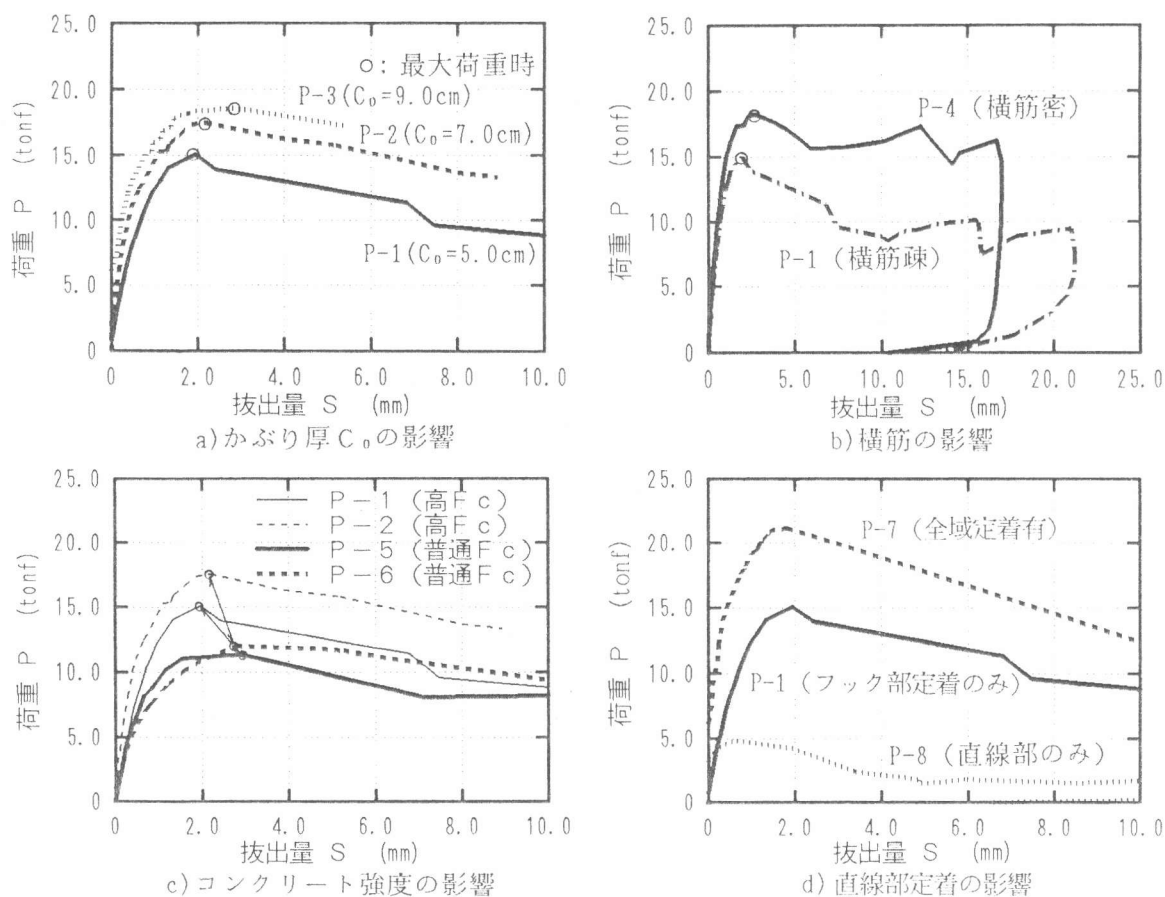


図5 荷重～拔出量曲線の実験因子別の比較

の荷重の落ち方が小さい。また、P-4の方が最大荷重時の拔出量Sが大きい(表3参照)。横筋を密に配置することによって定着耐力が増加し、最大荷重時以降の荷重低下が小さくなり靱性に富むようになったと言える。

3.4 コンクリート強度その他の影響

図5c)でコンクリート強度を変数にとるP-1とP-5, 及びP-2とP-6をそれぞれ比較すると、コンクリート強度が増加することにより定着耐力が増加し、最大荷重時の拔出量は減少している。定着耐力の増大の割合は、コンクリート強度の平方根が20%増大しているのに対し、3%及び46%と、大きな値を示した。

図5d)に示したP-7は、フック部分のみに定着のあるP-1と直線部のみのP-8の定着部分をいわば足し合わせたような定着領域を持つ試験体である。P-8とP-7直線部の荷重状態は多少異なる(両引き、片引きの違い)が、直線部、フック部の作用を単純に柱背面から梁筋折り曲げ起点に取り付いたバネと考えれば、P-1とP-8の曲線を足し合わせた曲線はP-7の曲線と等しくなると考えられる。図上で検討すると、足し合わせた曲線はP-7曲線に比べて、多少低めではあるが近似した曲線となるようである。

4. 荷重～拔出量曲線(P-S曲線)のモデル化

4.1 基準化されたP-S曲線のモデル化

本実験における荷重P, 拔出量Sを、それぞれ最大荷重maxP, 最大荷重時拔出量maxSで基準化した値を基に、図6に示すモデルを考案した。同図で、最大荷重時までは、図7に示す基準化された実験値を参考に、モデルの曲線を3次曲線に決定した。また、横筋の影響により最大荷重時以降の荷重低下の様子が異なる結果が得られたため(図5b)), 最大荷重以降については図6のように場合分けをした。横筋量の指標としては、さしあたり藤井式(後述の式(1))を参考に、図6に示す式を用いた。

4.2 最大荷重時拔出量maxS

本実験の結果から、最大荷重時拔出量maxSは横補強筋の影響を強く受けることが分かった(表3における $A_s/(l_t \cdot x) = 1.16\%$ のP-4および同 0.29% のP-1参照)。影響の度合いについては十分な資料がないので、文献[1][2]も参考に、さしあたり下記のようにmaxSを求めることとする。

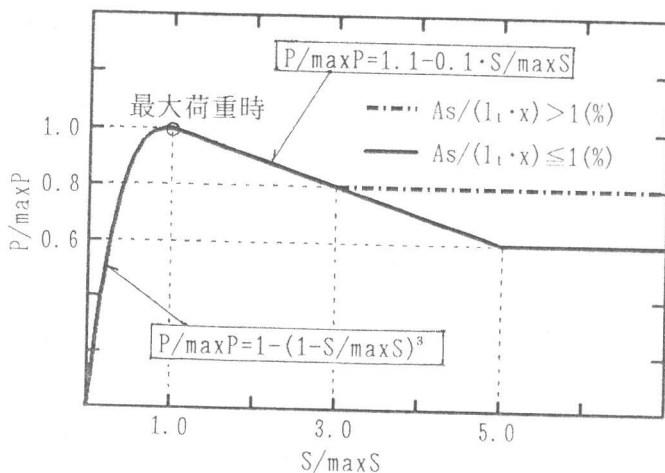


図6 基準化された荷重～拔出量モデル

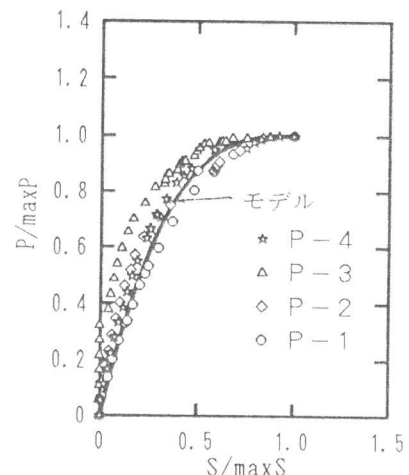


図7 各試験体の基準化された荷重～拔出量関係(最大荷重時まで)

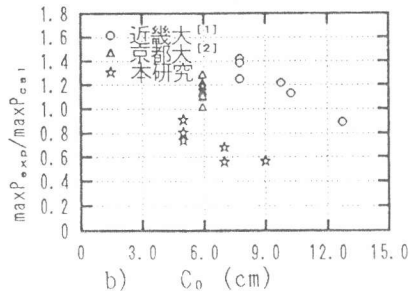
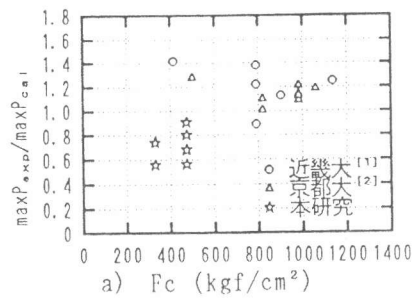


図8 藤井式の適合性

$As/(l_1 \cdot x) \leq 1(\%)$ のとき $\max S = 2.0(\text{mm})$

$As/(l_1 \cdot x) > 1(\%)$ のとき $\max S = 3.0(\text{mm})$

4.3 定着耐力 $\max P$

外柱・梁接合部における定着に関しては、直線部の付着抵抗を無視して定着耐力 ($\max P_{cal}$) を評価した、藤井ら[3]の提案した次式(1)がある。

$$\max P_{cal} = w \cdot d_b \cdot f_{bear} \cdot \sin \theta \cdot \kappa \quad (1)$$

ただし $w = \beta \sqrt{2} \cdot r \cdot \cos(\pi/4 - \theta)$

$\beta = (r/3d_b)^{-0.84}$: フックの曲げ内法半径 r による w の補正係数

$f_{bear} = \alpha \cdot \gamma \cdot \sqrt{F_c}$

$\alpha = 16.1 C_o / d_b$

$\gamma = 1 + 30 \cdot As / (l_1 \cdot x)$: 横筋に関する係数

As : 1組の横筋断面積

l_1 : 梁筋ののみこみ長さ (図9 参照)

x : 横筋間隔 (hoopピッチ)

κ : 接合部のせん断力と梁筋にかかる荷重の比 (本実験では $3/2$)

注) 記号についての詳細は図9及び文献[3]を参照されたい。

高強度材料を主な対象とした近畿大[1]、京都大[2]及び本研究の実験結果に対するこの藤井式の適合性を見るため、図8に実験値/計算値(縦軸)とかぶり厚 C_o 及びコンクリート強度 F_c の関係をプロットした。なお、本研究の試験体には直線部に定着がない (P-7, P-8は図から除いた) のに対し、[1][2]の試験体は直線部に定着がある。したがって、これらの実験結果を混在させるには多少無理があるが、実験シリーズごとに見ると C_o に関しては右下がりの傾向が認められる。つまり、 C_o の効果を藤井式が過大評価していることが分かる。 F_c に関しては明確な傾向は見いだせない。ここでは、本研究の実験結果を基に、 C_o に関して藤井式に簡単な修正を施

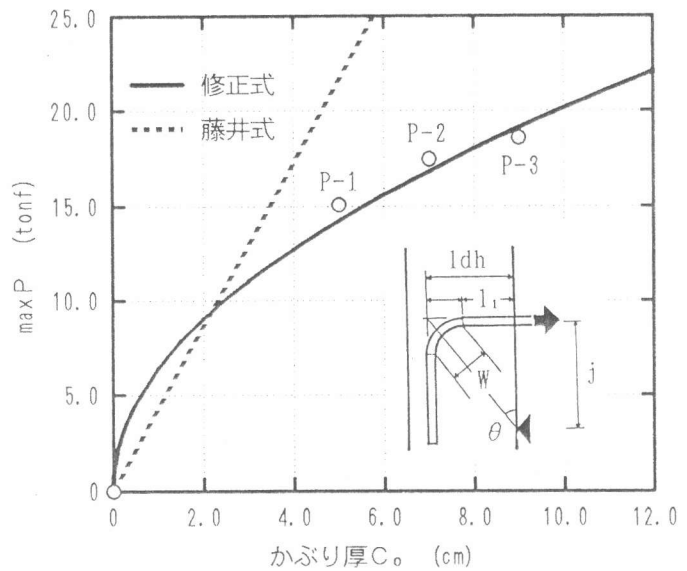


図9 定着耐力とかぶり厚 C_o の関係

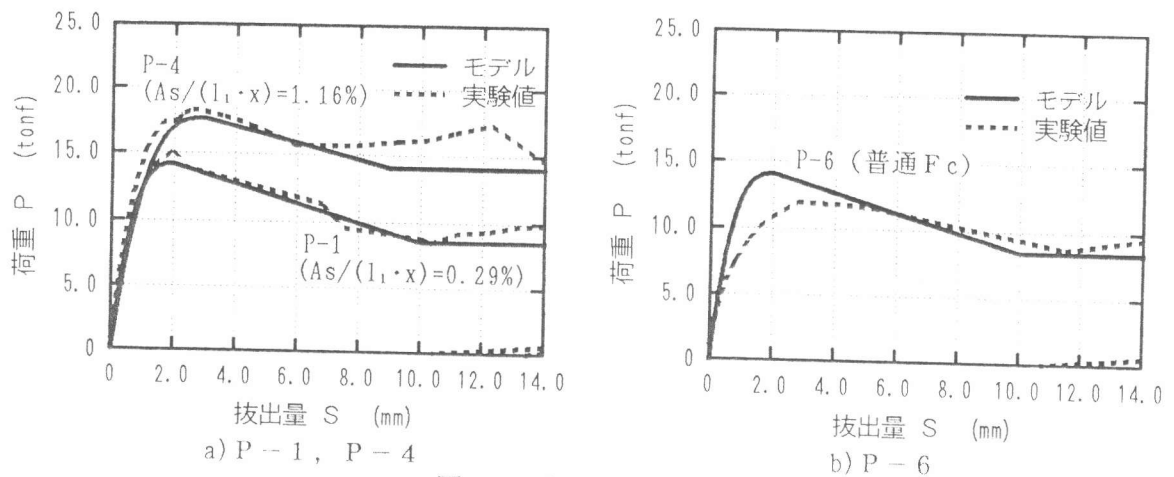


図10 提案モデルの適合性

すこととする。図9に C_0 のみを変えた試験体について C_0 と定着耐力の関係を示した。この結果に合わせ、藤井式のかぶり厚 C_0 に関する係数を $16.1 \cdot C_0$ から $28\sqrt{C_0}$ に置き換える(図中の実線)。

4.4 実験結果とモデルの比較

横筋の密なP-4と疎なP-1について実験結果とモデルによる解析結果を比較して図10a)に示す。いずれの場合も実験結果と解析結果はよく一致している。この他の試験体についても同様の傾向が見られた。ただし、P-6(普通Fc)については図10b)に示すように実験結果と解析結果は大きく異なった。この点は今後の検討課題である。

5. まとめ

高強度材料を用いた場合の折り曲げ定着に関する実験をおこない、定着におけるフック部の挙動を定量的に評価するために荷重～拔出量曲線のモデル化を試みた。最大荷重時拔出量 $\max S$ に関しては大まかな算定方法を示し、定着耐力に関しては、かぶり厚 C_0 の影響に頭打ちが認められたことから既往の算定式の修正をおこなった。

本稿のモデルによってフック部における荷重～拔出量関係をおおむね捉えることができた。今後モデルの精度を上げるため、より多くの実験データ、特に最大荷重時拔出量に関するデータの蓄積が望まれる。

<謝辞> 試験体製作にあたり(株)大林組の永原克己氏に、実験実施に都立大学生の川村文雄、山本勝義、大井英之、星野麗子、楊辞冬の諸氏に御協力頂きました。ここに御礼申し上げます。なお、本研究は文部省科研費・総合研究(A):01302048(代表:青山博之東京大学教授)により行った。

参考文献

- 1)川上修司, 村上雅英, 窪田敏行: 高強度材料を用いたRC外柱・梁接合部の折曲げ定着耐力に及ぼす諸要因の影響, コンクリート工学年次論文報告集, pp. 497~502, 1990
- 2)山田稔明, 川上修司, 藤井栄, 森田司郎: 高強度材料を用いたRC外柱・梁接合部の梁主筋折り曲げ定着の基本特性, コンクリート工学年次論文報告集, pp. 503~508, 1990
- 3)藤井栄, 後藤定己, 森田司郎, 近藤吾郎: 外端柱・梁接合部の折り曲げ定着耐力に関する研究(その2・異形鉄筋の折り曲げ定着耐力の評価), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1823~1824, 1983.9