

報告 曲げ降伏型ト型骨組みにおけるはり主筋の機械式定着性状

藤 達也*1・村上 雅英*2・窪田 敏行*3

要旨：はり曲げ降伏時の接合部せん断応力度を、接合部せん断耐力の70%と80%とし、それぞれについてはり主筋を機械式定着と折り曲げ定着とした試験体を製作し実験を行った。全試験体で部材角が $R=1/25\text{rad.}$ までは、良好な曲げ降伏型の力学的性質を示した。 $R=1/25\text{rad.}$ 以降の大変形時には、両シリーズとも機械式定着の方が、耐力と、抜け出し量ともやや大きくなった。しかしながら、機械式定着と折り曲げ定着の優劣の差は殆ど見られなかった。

キーワード：機械式定着、折り曲げ定着、はり柱接合部、定着長さ

1. はじめに

在来工法である折り曲げ定着の代わりに機械式定着を用いるためには、定着板は最小配筋間隔(鉄筋径の2.7倍)で配筋可能な大きさでなければならず、その時の支圧面積比(A_b :支圧面の面積/ A_s :鉄筋断面積)が6.0前後となる。このことより、機械式定着の実用化を目的として、筆者らは、一連の引抜き試験[1, 2]から、かぶりコンクリートの剥離により定着破壊した場合の機械式定着の終局耐力算定式[3]を提案すると共に、部分架構試験を行い、機械式定着の力学的性質を明らかにしてきた[4, 5]。本論文では、筆者らの行った一連の実験結果と既往の実験結果に基づき、外柱の中間階はり柱接合部を対象としたはり主筋の機械式定着と折り曲げ定着の定着耐力が同等であることを確認することを主たる目的とする。

2. 実験概要

試験体は、図-1に示すように中間階の外部はり柱接合部を想定したト型試験体である。試験体の断面寸法、はりと柱のせん断補強筋量、柱主筋量は全て同じとし、機械式定着における支圧面までの距離(225mm)と曲げ内法までの距離(水平投影長さ $-d_b$)が等しいU字型定着の試験体2体である。なお、文献[5]の接合部がせん断破壊した試験体M4D19(はり主筋に4-D19(SD980相当)を配筋)の接合部せん断力を基準として、接合部せん断耐力の70%を設定したものでは、はり主筋に

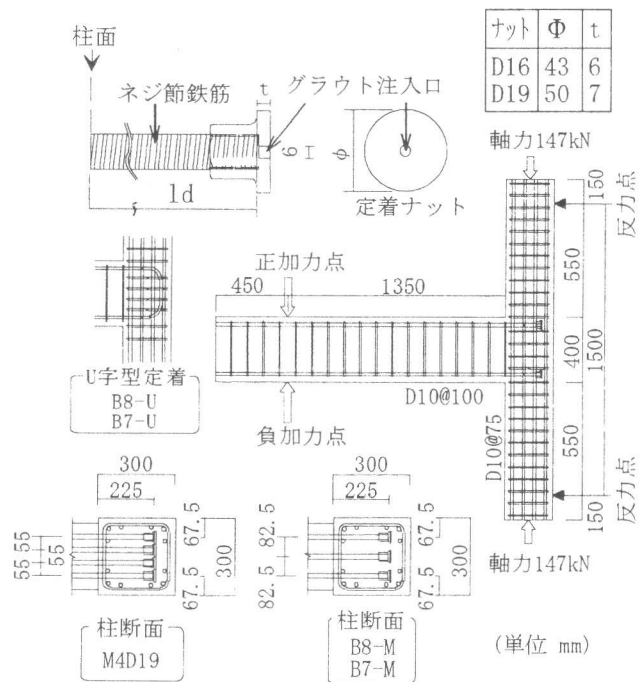


図-1 試験体の形状および寸法

- * 1 大成プレハブ株式会社 工修 (正会員)
- * 2 近畿大学講師 理工学部建築学科 工博 (正会員)
- * 3 近畿大学教授 理工学部建築学科 工博 (正会員)

2-D19 (SD490相当)と1-D16 (SD345相当)を配筋し、80%に設定したものは、3-D19 (SD490相当)を配筋した。はり柱接合部のせん断補強筋量

表-2 使用材料の力学的性質

試験体	はり主筋			補強筋			コンクリート	定着部の形状	支圧面積比
	引張り鉄筋の種類	σ_y MPa	σ_{max} MPa	接合部 P_{wj} %	σ_y MPa	σ_{max} MPa			
M4D19	4-D19	1000	1147	0.73	368	519	28.2	定着ナット	6.0
B8-M	3-D19	511	687	0.73	368	519	29.5	定着ナット	6.0
B8-U								折り曲げ	---
B7-M	2-D19	511	687	0.73	368	519	29.5	定着ナット	6.0
B7-U	1-D16	374	545					折り曲げ	---

は、柱部分と同じD10@75 ($P_{wj}=0.73\%$)とした。はり主筋にはネジ節鉄筋を用い、定着端には図-1に示すナットと円形プレートが一体となった定着ナットを定着金物として使用した。そして、定着ナットのプレートにあけた穴から入れたグラウト材(無収縮モルタル)により鉄筋に固定される。表-2に使用材料の力学的性質を示す。加力方法は、図-1に示すように柱の反曲点位置をローラー支持とし、柱両端にサーボバルブを有する高圧油圧源システムに接続された油圧ジャッキを用いて、約147kN ($\sigma=1.6\text{MPa}$)の軸力を加え、柱が材軸方向に移動しないようにし、はり先端をアクチュエータで変位制御する方法とした。

測定方法に関しては、全体変形として柱の支点に渡したゲージホルダーに対するはりの加力点の変位を、はり、柱、接合部の各変形成分を定量的に分離するために、試験体の両面で図-2に示すように接合部コア内部と各部材端の標点間の伸縮量を測定した。また、同図に示すように、はり主筋の上端と下端、外側と内側のはり主筋に対して、定着端よりピアノ線を介して柱背面に対するはり主筋の抜け出し量を計測した。大変形時では、定着端と柱背面の間で定着金物の押し引きにより柱主筋にそった全割裂ひび割れが生じるので、全割裂によるコア内部の定着端近傍の標点と柱背面とのひび割れ幅も計測した(変位計①)。鉄筋の抜け出し量としてこのひび割れ幅を差し引いたものを以下の検討の対象とした。鉄筋のひずみは、接合部のせん断補強筋とはり主筋の降伏の有無などを調べるために、接合部内のHOOP、柱主筋及びはり主筋の主要ヶ所に表裏2枚ずつ貼付して計測した。

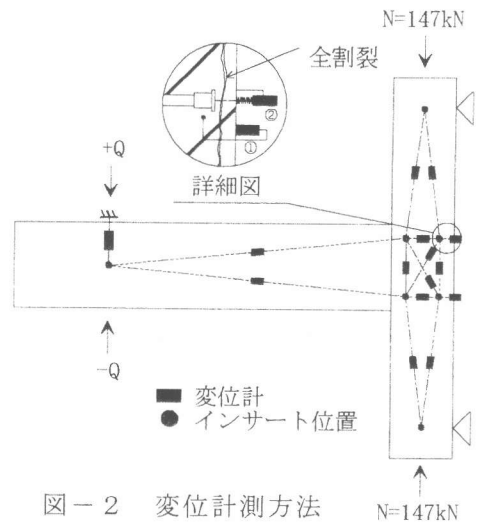


図-2 変位計測方法

3. 実験結果の検討

3.1 破壊性状

機械式定着のB8-M、B7-Mの荷重-変形関係を図-3に示す。R=1/25rad.までは、はりの曲げ降伏特有の紡錘型のエネルギー吸収量の大きな復元力特性を示しており、実際の

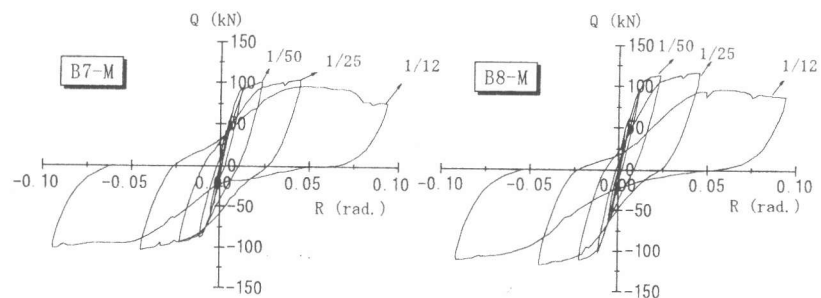


図-3 機械式定着試験体荷重-変形関係

設計の範囲では、はりの曲げ降伏型が保証されているものと判断できる。表-3に示すように $R=1/50\text{rad.}$ 以降、定着端部の抜け出しが徐々に増加し定着付近のコンクリートが損傷して $R=1/25\text{rad.}$ 以降の大変形で接合部のせん断破壊を誘発した。

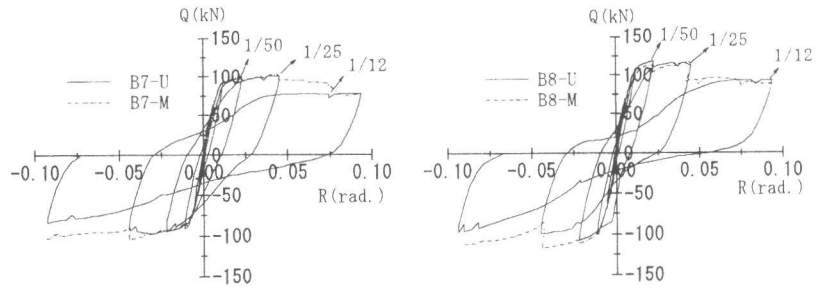


図-4 機械式及び折り曲げ定着試験体荷重-変形関係

B8-U、B7-Uの荷重-変形関係を図-4に示し、それぞれ、図中に対応する機械式定着の包絡線も同時に示す。折り曲げ定着でも機械式定着の場合と同様に、 $R=1/25\text{rad.}$ において接合部のせん断破壊に伴う定着破壊で耐力低下が見られた。機械式定着よりも折り曲げ定着の方が、 $R=1/25\text{rad.}$ の繰り返し加力時の耐力低下の割合は大きかった。また、表-3に示すように最大耐力時 ($R=1/50\text{rad.}$ 時)のはり主筋の抜け出し量の比較でも、機械式定着の方が折り曲げ定着よりもやや抜け出しは大きかった。しかし、 $R=1/50\text{rad.}$ までの範囲では、その絶対量は少なく、機械式定着と折り曲げ定着の定着性能は同じと見ることができる。

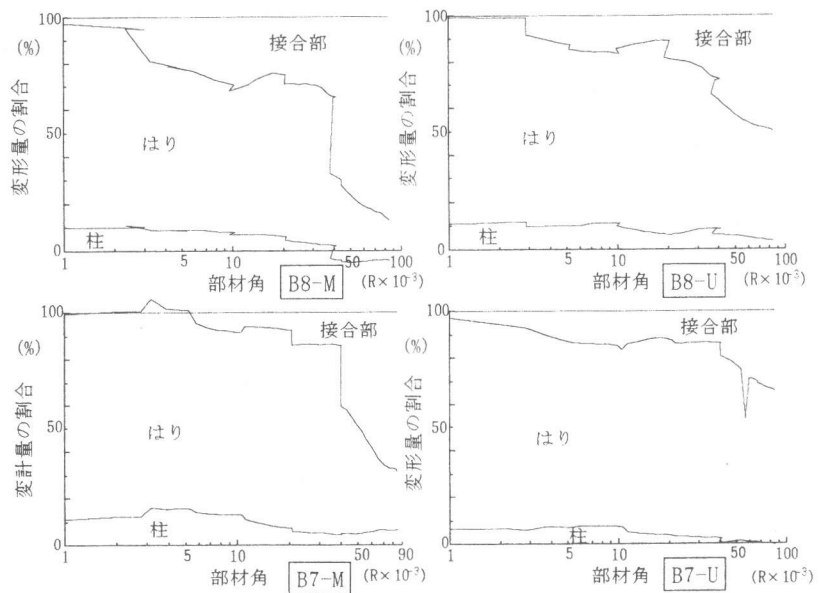
表-3 抜け出し量の比較 単位(mm)

計測鉄筋配筋図		A B		A B	
試験体名		B7-M		B8-M	
記号		A	B	A	B
部材角	1/400	---	---	---	---
	1/200	0.26	---	0.24	0.21
	1/100	0.65	0.43	0.72	0.57
	1/50	1.06	0.68	1.18	1.24
	1/25	1.80	1.52	1.96	3.31
試験体名		B7-U		B8-U	
記号		A	B	A	B
部材角	1/400	0.00	0.00	0.00	0.00
	1/200	0.03	---	0.01	---
	1/100	0.18	0.14	0.34	0.16
	1/50	0.28	0.21	0.61	0.38
	1/25	0.38	1.21	1.08	4.31

測定値は定着近傍のコアコンクリートとの相対抜け出し量。(黒丸はD19) (白丸はD16)

3.2 変形成分の比較

図-2に示す各標点間の伸縮量より、以下の方法ではり、柱、接合部の変形成分を算出し変形成分の割合の推移を図-5に示す。接合部の各標点間の伸縮量については、幾何学的な条件に対して、計算値が1つ余剰となる。そこで、各計測値に誤差が含まれているものと仮定し、幾何学的条件を満足し、かつ各測定値の誤差の2乗和が最小となるよ



(a) 機械式定着

(b) 折り曲げ定着

図-5 変形成分の割合

うにそれぞれの誤差を決定した。そして、微小変形を仮定することによって各標点の座標を決定した。両試験体とも $R=1/25\text{rad}$. 以前では、はりの変形成分が卓越している。ここで、 $R=1/50\text{rad}$. 以降定着端部の抜け出しが徐々に増加し、定着付近のコンクリートが損傷して $R=1/25\text{rad}$. 以降の大変形で接合部のせん断破壊を誘発したため、接合部の変形成分が急増したと考えられる。

3. 3 定着方法の違いによる耐力比較

既往の実験結果[1, 7, 8]を含めた両定着方法における3種類の定着長さの関係について、図-6に示すように耐力比較を行った。実験値には最大耐力時に、はりの曲げ降伏したもの、接合部がせん断破壊したもの、定着筋が破断したもの、定着破壊したものとすべての破壊モードが含まれている。計算値とは、機械式定着耐力計算値[3]と折り曲げ定着耐力計算値[6]による耐力比較である。定着耐力に関しては、折り曲げ定着の方が定着長さが長くなる文献[8]の試験体を除いて、それぞれの定着長さについても機械式定着の方が折り曲げ定着よりも計算値ではやや上回っている、また、各種破壊モードにおける実験値でも1.0を大幅に下回るものはなかった。

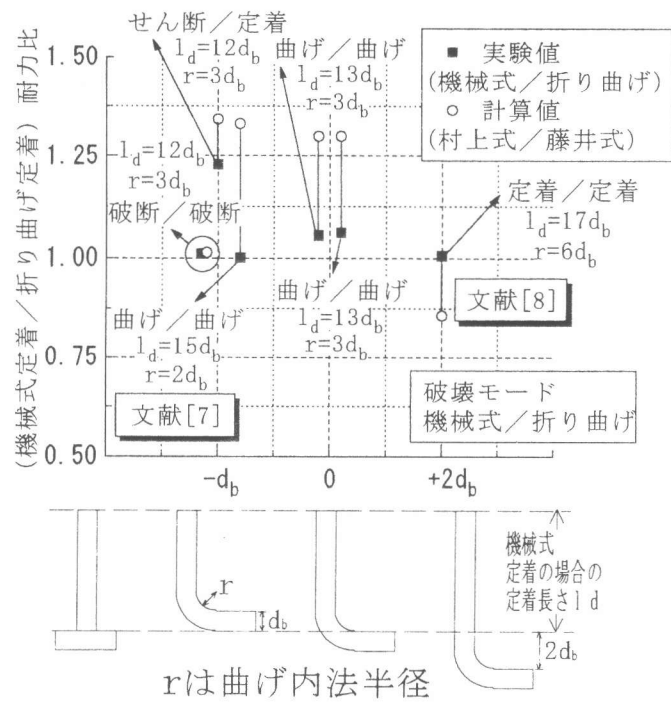


図-6 定着長さによる耐力比較

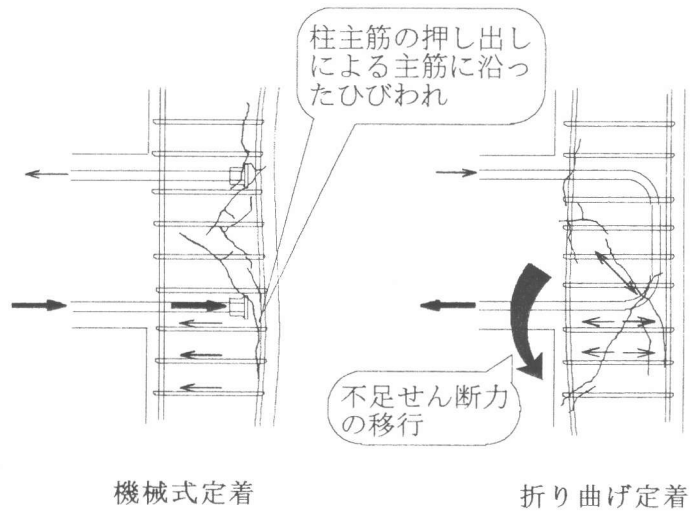


図-7 典型的なひび割れ状況と応力伝達機構

3. 4 ひび割れ状況と応力伝達機構

機械式定着と折り曲げのそれぞれの場合の典型的なひび割れ状況とそれらのひび割れ発生の原因となる応力伝達機構を図-7に示す。機械式定着において、文献[7]で検討されている様な、はり主筋が圧縮力を受けた柱背面の被りコンクリートの押抜破壊に関しては、柱主筋が密に配筋された状態では認められなかった。しかしながら、機械式定着の場合では、大変形時に柱背面側の柱主筋に沿ったひび割れが柱背面側に生じる。このひび割れは柱主筋の付着割裂によるものではなく、はり主筋の定着端部が圧縮側に転じた際に、柱主筋を柱の背面の方向に押し出したため生じたものであり、柱主筋の存在によって、かぶりコンクリートの局所的な押し抜き破壊が防止されたものと考えられる。図-4を見る限りにおいては、大変形時でも機械式定着の方が折り曲げ定着の場合よりも耐力が高く、柱主筋に沿ったひび割れが大変形時の復元

力特性に悪影響は与えなかつたと判断できる。

折り曲げ定着の場合では、はり側の柱主筋に沿ったひび割れが柱側に生じる。この場合は、はり主筋の折り曲げ部分内側の支圧力で定着耐力の大部分を負担しており、その一部を接合部側から柱側へ伝達する必要がある。それらのひび割れは、はり側の柱主筋のダボ作用とその部分のせん断補強筋によって接合部から柱側へ不足するせん断力が伝達される過程において、柱主筋に沿って生じたものと考えられる。

4. はり主筋のひずみおよび、実験値と諸耐力計算値の比較

各試験体のはり主筋のひずみ-部材角関係を図-8に示す。また、各試験体の最大耐力の実験値と諸耐力の計算値の比較を表-4に示す。全試験体ともはり主筋は、部材角 $R=1/50\text{rad.}$ 以降で降伏しているのが確認された。

このことより全試験体とも $R=1/25\text{rad.}$ (最大耐力時)までは、良好な曲げ降伏型の力学的性質を示しているが、はり主筋が降伏した $R=1/25\text{rad.}$ 以降の大変形時には、両シリーズとも耐力は機械式定着の方がやや高くなったが、抜け出し

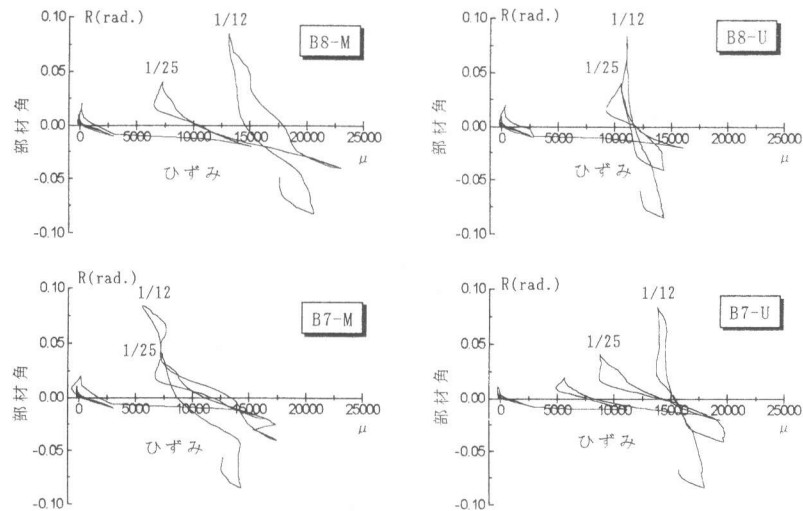


図-8 はり主筋のひずみ-部材角関係

表-4 最大耐力の実験値と諸耐力の計算値の比較

試験体(No.)		M4D19	B8-M	B8-U	B7-M	B7-U
破壊モード	最大耐力時	せん断	曲げ	曲げ	曲げ	曲げ
	大変形時	せん断	せん断	定着	せん断	定着
実験値	Q_{\max} (kN)	正 141.1	116.6	118.6	103.9	100.9
	最大耐力	負 126.4	116.6	107.8	103.9	97.0
		平 134.3	116.6	113.7	103.9	99.0
実験値	Q_j (kN)	正 473.3	391.0	397.9	348.9	339.1
	接合部最大せん断力	負 424.3	391.0	361.6	348.9	325.4
		平 448.8	391.0	380.2	348.9	332.2
実験値	τ_{j1} ($Q_j/be \cdot ld$) (MPa)	正 7.5	6.2	6.3	5.5	5.4
		負 6.7	6.2	5.7	5.5	5.2
	平 7.1	6.2	6.0	5.5	5.3	
実験値	寺岡式 τ_{j2} ($Q_j/be \cdot Ld1$) (MPa)	正 8.7	7.1	7.3	6.4	6.2
		負 7.8	7.1	6.6	6.4	5.9
	平 8.2	7.1	6.9	6.4	6.1	
計算値	Pa_{\max} (kN)	153.8	159.7	159.7	150.9	150.9
	Q_{by} (kN)	267.5	101.9	101.9	85.3	85.3
	Pa (kN)	188.2	197.0	※145.0	197.0	※145.0
計算値	接合部せん断強度 MPa	寺岡式 [9]	6.50	5.61	5.29	
		是石式 [10]	7.27	7.16		
		SRC式 [10]	5.42	5.48		
		終局式 [11]	4.49	4.69		
		New RC式 [12]	7.10	7.31		

$\tau_{j1,2}$: 接合部の最大せん断応力度, Q_{by} : はり曲げ降伏時耐力(計算値), $be=(b_B+b_C)/2$, b_B : はり幅, b_C : 柱幅, ld : 柱面から支圧面までの距離, $Ld1$: 寺岡式の有効定着長さ, Pa_{\max} : 外力のつり合いより平面保持を仮定して算出したはり主筋1本あたりの軸力の最大値, Pa 欄中の※: 藤井式による折り曲げ定着耐力[6]

量の方は逆に若干大きくなった。しかしながら、機械式定着と折り曲げ定着の優劣の差は殆ど見られなかった。

5. まとめ

以上、荷重変形関係、定着筋の抜け出し性状、変形性状、ひび割れ性状などから総合的に判断して、以下の知見を得た。

○はりの曲げ降伏時の接合部せん断応力度が接合部せん断強度の80%となる試験体においては、 $R=1/25$ rad. までははり曲げ降伏特有の紡錘型のエネルギー吸収量の大きな復元力特性を示しており、実際の設計の範囲では、はり曲げ降伏型が保証されているものと判断できる。

○全試験体で部材角が $R=1/25$ rad. までは、良好な曲げ降伏型の力学的性質を示した。 $R=1/25$ rad. 以降の大変形時には、両シリーズとも機械式定着の方が、耐力と抜け出し量ともやや大きくなった。しかしながら、機械式定着と折り曲げ定着の優劣の差は殆ど見られなかった。○既往の実験結果[1, 4, 5, 7, 8]と本実験結果における、機械式定着と折り曲げ定着の比較では、両者はほぼ同等の定着性能を有することが確認できた。

謝辞 本研究の一部は、平成7年度文部省科学研究費（奨励A07750670）により行われたものである。なお、本実験に関して、平成7年度卒論生の金城一博、鈴江哲也、福田勲君の協力を得ました。また、東京鉄鋼株式会社より鉄筋を提供して頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 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式定着に関する実験（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
- [2] 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に関する実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15, No. 2, pp. 153-158, 1993, 6
- [3] 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
- [4] 宮崎史、村上雅英、窪田敏行：接合部にはり主筋を機械式定着した部分架構の強度と靱性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16, No. 2, pp. 717-722, 1994, 6
- [5] 窪田敏行、村上雅英：はり主筋を機械式定着した外柱・はり接合部の破壊性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 17, No. 2, pp. 1189-1194, 1995, 6
- [6] 藤井栄、森田司郎、川上修司、山田稔明：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、pp. 65-75, 1991, 11
- [7] 村井和雄、吉田啓喜、岡本晴彦、菅野俊介、宮下昭宏、太田道彦、宮内靖昌：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（その3 ト型骨組実験）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 683-684, 1994, 9
- [8] 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
- [9] 寺岡勝、佐々木聡、林和也、：RC造外柱・はり接合部の終局強度に関する調査及び検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 205-206, 1992, 8
- [10] 小倉弘一郎、関根正孝：RC柱・梁接合部に関する研究の動向、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 26, No. 10, pp. 3-15, 1981, 9
- [11] 日本建築学会・鉄筋コンクリート構造運営委員会、靱性設計小委員会：終局強度型耐震設計法に関連する最新の研究成果、改定案、1992, 8
- [12] (財)国土開発技術研究センター：平成4年New RC 研究開発概要度報告書、3.3分科会、第4章架構・接合部WG、3.2接合部せん断強度、pp. 3-3-26, 1993, 3