

論文 はり主筋を機械式定着した外柱・はり接合部の破壊性状

窪田 敏行^{*1}・村上 雅英^{*2}

要旨：はり主筋における機械式定着法確立のために、中間階の外部はり柱接合部を想定したト型試験体を、はり主筋の鉄筋径、使用本数、を実験変数として、4体製作し実験を行った。外側のはり主筋1本当たりの負担軸力が破壊モードへ及ぼす影響を調べた。

キーワード：機械式定着、はり柱接合部、定着破壊、せん断破壊

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物のはり柱接合部を対象としたはり主筋の機械式定着法の実用化の要求は高まっている。安全性確認の目的で開発実験も幾つか行われているが、設計法確立には定着耐力を求める実験結果が不足しており、その力学的性状は不明な点が多い。筆者らは一連の引き抜き試験 [1, 2] を行い、定着破壊の終局耐力の推定式を提案した [3]。ト型試験体による最小配筋間隔で配筋可能な円形定着板で定着したはり主筋を有する部分架構の繰り返し加力実験では、はりの曲げ降伏、接合部のせん断破壊の両破壊モードに対して、強度と靱性に関して折り曲げ定着と同等以上の力学的性能を有することを確認した [4]。本論文では、既往の耐力推定式による部分架構の推定破壊形式（接合部のせん断破壊とはり主筋の定着破壊）と実験で確認された破壊形式を照合することにより、定着耐力の推定式の精度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、はり主筋の径及び本数を変えた4体である。破壊形式が接合部のせん断破壊かはり主筋の定着破壊になるようにはり主筋には高強度の鉄筋（SD980相当）を、柱主筋は12-D19（SD490相当）を、また、はりおよび柱にはせん断補強筋を密に配筋した。

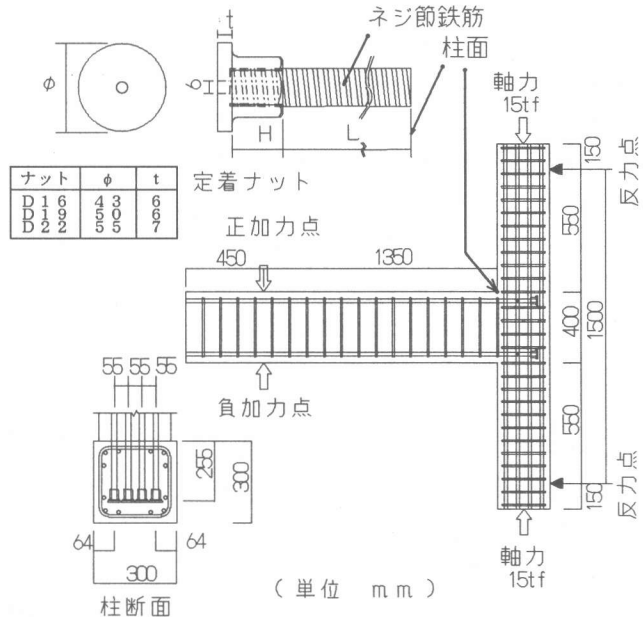


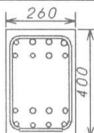
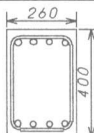
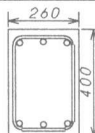
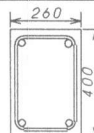
図-1 試験体の形状および寸法

*1 近畿大学教授 理工学部建築学科 工博（正会員）

*2 近畿大学講師 理工学部建築学科 工博（正会員）

柱はり接合部のせん断補強筋量は柱部分と同じD10@75とした。はり主筋にはネジ筋鉄筋を用い、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部品を使用した。定着部品のプレートにあけた穴から入れた注入材が硬化することにより鉄筋に固定される。表-1に試験体一覧を、表-2に使用材料の

表-1 試験体一覧表

破壊形状	せん断破壊 ← → 定着破壊			
試験体名	M8D16	M4D19	M3D19	M2D22
はり あばら筋 D10@100 (SD295A)				
定着筋 (はり主筋)	16-D16 (SD980)	8-D19 (SD980)	6-D19 (SD980)	4-D22 (SD980)
定着方法	機械式定着	機械式定着	機械式定着	機械式定着
直線部長さ(L)	187(11.7)	185(9.7)	185(9.7)	181(8.2)
定着部長さ(H)	38(2.3)	40(2)	40(2)	44(2)

*注 (単位mm、()内は鉄筋径の倍数)

表-2 使用材料の力学的性質

鉄筋仕様		ヤング率 (tonf/cm ²)	降伏強度 (kgf/cm ²)	最大強度 (tf/cm ²)
D10	SD295A	2000	3750	5300
D16	SD980	2030	10200	11700
D19	SD980	1990	10200	11700
D22	SD980	1920	9920	11400

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により、約15tonf($\sigma=16\text{kgf/cm}^2$)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100tonfの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、柱・はり・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、外側と内側の主要なはり主筋に対して、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

コンクリート	ヤング率 (tonf/cm ²)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)
	224	288	25.4

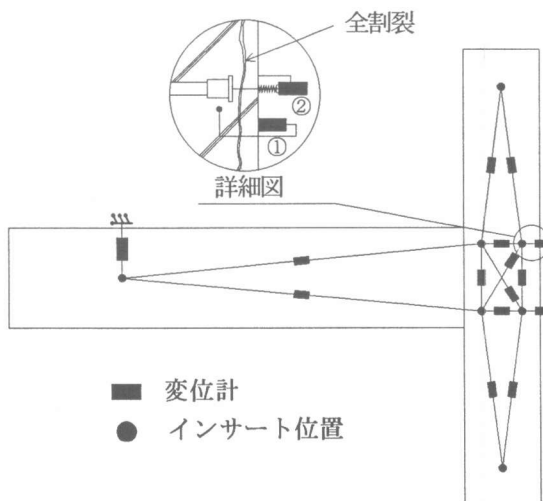


図-2 変位計測方法

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)。鉄筋の抜けだ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H00P、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。

3. 実験結果の検討

3. 1 破壊性状

図-3に、はりのせん断力 Q と部材角 R （=加力点変位／はりの長さ150cm）関係を、また、その正加力側包絡線を図-4に示す。何れの試験体も $R=1/50$ で最大耐力に達しており、その大きさはM8D16→M4D19→M3D19→M2D22の順になっている。部材角 $R=1/50$ 以降の大きな変形による最大耐力に対する耐力低下割合はほぼ同じである。各試験体ともに $R=1/50$ 以降の繰り返しでは逆S型の履歴ループをしているが、M2D22はスリップが他に比べて大きい。

図-5に最終ひび割れ図を示す。接合部の破壊は、ひび割れ図からだけでははっきりしないが、M2D22→M3D19→M4D19→M8D16の順に斜めひび割れによる損傷が大きく、また、それとは逆の順に側面のはらみだしが大きいのが観察された。また、図6にせん断補強筋のひずみ（1箇所にて2枚貼付した平均）と部材角の関係を示す。接合部内のせん断補強筋中央部に貼付したひずみゲージでは、部材角が $R=1/50$ の繰り返し時にいずれの試験体も降伏ひずみを越えている。

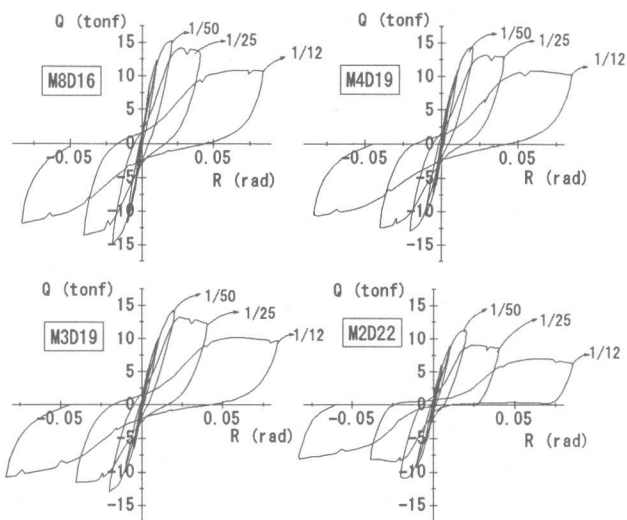


図-3 せん断一部材角関係

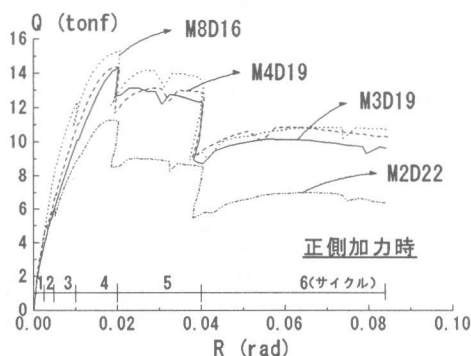


図-4 正加力包絡線

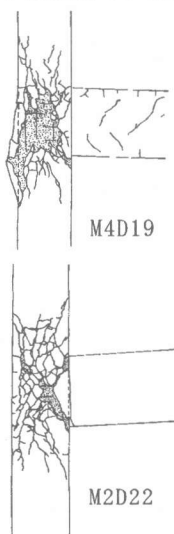


図-5 最終ひび割れ図

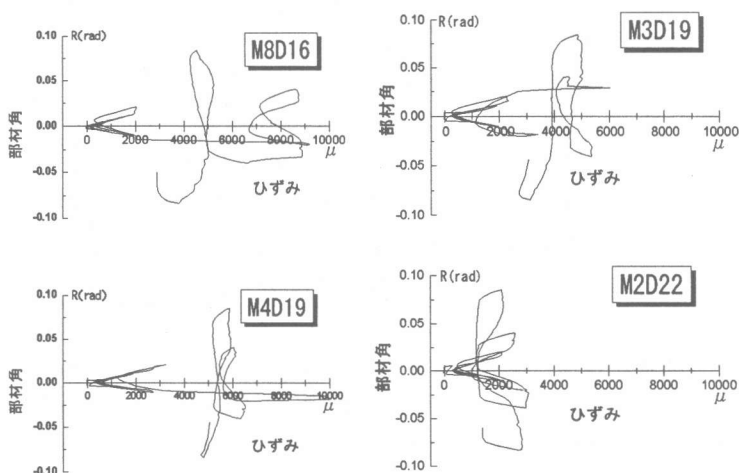


図-6 せん断補強筋ひずみ一部材角関係

3. 2 はり主筋の抜け出し

定着端部の抜け出し量の比較に関して、典型的なはりのせん断力と定着端部の抜け出し量の関係を図-7に示す。柱背面で直接計測された抜け出し量を点線で、接合部内の標点との相対抜け出し量を実線で図中に示した。同図より、柱背面で直接計測された抜け出し量は、定着端と柱背面との間の全割裂によるひび割れ幅も含んでおり、過大に評価されていることが確認された。そこで、定着端と標点の相対抜け出し量を、以下において定着部の抜け出し量として用いる。なお、M8D16については、測定装置の都合で図-2詳細図中の変位計①を取り付けることができなかったため、それらの抜け出し量は全割裂によるひび割れ幅も含む値となっており、

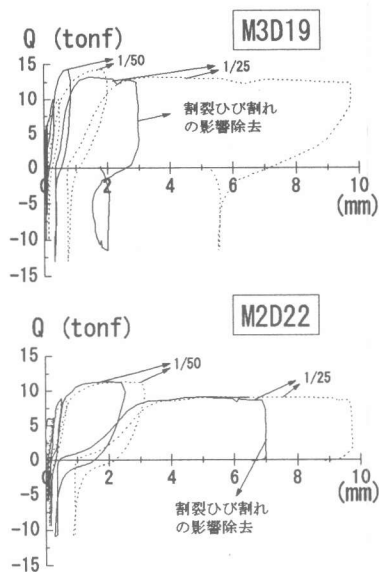


図-7 せん断力-抜け出し量の関係

他の試験体

との直接の比較は出来ない。表-3に示すように、最大耐力に達する以前より外側のはり

表-3 抜け出し量の比較

試験体名		M4D19		M3D19		M2D22
計測鉄筋配筋図						
記号		A	B	A	B	A
部材角	1/400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1/200	0.05	0.13	0.08	--	0.66
	1/100	0.21	0.29	0.30	0.15	0.50
	1/50	0.63	0.71	0.78	0.03	2.41
	1/25	0.99	1.72	2.92	--	6.88

主筋（被りに

*注（単位はmm）

近い方）の抜け出し量

は、M4D19→M3D19→

M2D22で大きい。M8D16

に関しては、R =

1/100以前では柱側の

鉄筋の方が作用軸力が

大きいため、やや抜け

出しが大きい。しかし、

R=1/50以降では、接合

部側の鉄筋が柱側の鉄筋

より抜け出し量が多い。その傾向は折り曲げ定着した2段配筋の場合と一致している[13]。

これは2段筋の場合、接合部のせん断破壊のために2段目の鉄筋の周囲コンクリートの方が1段目の周囲のものより損傷が激しく、1段目よりも2段目の方が定着部の拘束が低下したためと推測される。

試験体名		M8D16			
計測鉄筋配筋図					
位置		柱側		接合部側	
記号		A	B	C	D
部材角	1/400	0.04	0.04	--	0.07
	1/200	0.14	0.16	0.03	0.23
	1/100	0.61	0.71	0.67	0.94
	1/50	2.41	2.54	2.93	3.29
	1/25	4.71	5.63	9.51	10.69

*注（単位はmm）

3. 3 各試験体の破壊モードの推定

図-8に試験体表面で計測した各標点の伸縮量から最小自乗法を用いて得られた、加力点における各部の変形成分の割合の推移を示す。

M2D22では $R=1/100$ 以降で定着端部の抜け出しとそれに伴うかぶりののはらみ出しが顕著となった。また、 $R=1/50$ 時点の接合部の補強筋のひずみは 3000μ 程度と他の試験体よりも小さい。そのためM2D22では他の試験体と比べて、 $R=1/50$ 以降の接合部の変形の割合は余り増加していない。

図-6より $R=1/50$ 時点の接合部の補強筋のひずみは、M3D19で 6000μ 程度、M4D19で 10000μ 以上であった。また、表-3より、外側主筋の定着端部の抜け出し量はM3D19の方がM4D19よりやや大きい。従って、図-8に示すように、M3D19の $R=1/25$ までの接合部の変形の割合は、M4D19よりやや少なくなっている。

M8D16の接合部の変形量の割合は $R=1/25$ まではM4D19とほぼ同じ推移を示している。また、 $R=1/50$ 時点の補強筋のひずみも 9000μ 程度であった。従ってM8D16とM4D19の破壊形式は類似していると判断できる。

以上をまとめると、M8D16とM4D19の破壊モードは、接合部のせん断破壊が支配的であり、M2D22では定着破壊が支配的であった。M3D19では、接合部のせん断破壊と定着破壊がほぼ同時に現れていると考えられる。

4. 実験値と諸耐力計算値の比較

表-4に示した諸耐力計算値より、得られた破壊モードと実験結果の比較をする。なお、はりの曲げ降伏時耐力の計算値は、各試験体の最大耐力よりもはるかに大きいため、検討を省略する。ここで

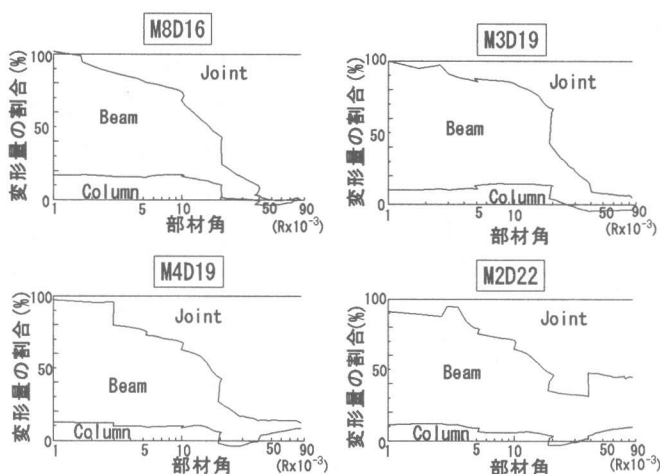


図-8 各試験体の変形成分

表-4 最大耐力の実験値と諸耐力の計算値

破壊モード		せん断破壊 ← → 定着破壊			
試験体名		M8D16	M4D19	M3D19	M2D22
実 験 値	Q_{max} (tonf)	正 15.3	14.4	14.3	11.3
	最大耐力	負 14.8	12.9	13.0	10.9
		平 15.1	13.7	13.7	11.1
	Q_j (tonf)	正 51.4	48.3	48.0	37.9
	接合部最大せん断力	負 49.6	43.3	43.5	36.6
		平 50.5	45.8	45.3	37.3
	τ_{j1}	正 81.6	76.7	76.2	60.2
	$(Q_j/b_e \cdot L_d)$ (kgf/cm ²)	負 78.7	68.7	69.0	58.1
		平 80.2	72.7	72.6	59.2
	τ_{j2}	正 80.7	75.8	75.4	59.5
	$(Q_j/b_e \cdot j_c)$ (kgf/cm ²)	負 77.9	68.0	68.3	57.5
		平 79.3	71.9	71.9	58.5
計 算 値	$P_{a_{max}}$ (tonf)	8.3	15.7	20.8	24.6
	Q_{by} (tonf)	37.9	27.3	20.5	17.9
	P_a (tonf) [3]	13.3	19.2	19.2	25.9
	接合部せん断強度	寺岡式* [6] 106.00 (kgf/cm ²)			
		木村式※ [7] 96.73			
		大塚式* [8] 79.92			
		NZS式* [9] 80.61			
		ACI式* [10] 53.97			
		上村式* [11] 71.66			
		是石式※ [12] 51.70			
		SRC式 ※ [12] 66.48			

$\tau_{j1,2}$: 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), b_b : はり幅, b_c : 柱幅, $b_e = (b_b + b_c)/2$, L_d : 柱面から支圧面までの距離, j_c : はり・柱応力中心間距離, $P_{a_{max}}$: 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一本あたり軸力の最大値, P_a : 文献 [3] による計算値、*は十字型接合部、※は十字及びびつ型接合部のせん断強度式

用いたはり主筋1本当たりの軸力の最大値は、はりのせん断力よりはり断面の平面保持を仮定して求めたものである。

M8D16、M4D19…最大耐力時のはり主筋一本当たりの軸力の最大値 $P_{a_{max}}$ が、機械式定着の定着耐力の計算値 P_a を下回っており、定着破壊が生じた可能性は少ない。

従って、接合部のせん断破壊型となり実験結果の破壊性状と一致する。

M2D22… $P_{a_{max}}$ と P_a がほぼ等しいため、定着破壊が生じた可能性があり、実験結果の破壊性状と一致する。接合部のせん断強度がM4D19の実験値と同等以上であることを考慮すると、特にM2D22では最大耐力が定着破壊のみによって支配されている可能性がある。

5. まとめ

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

- M8D16とM4D19の破壊モードは接合部せん断破壊型であり、M2D22の破壊モードは、定着破壊型であった。M3D19の破壊モードは接合部せん断破壊型と定着破壊型の複合型であった。
- 実験で得られた定着筋の1本当たりの作用軸力と機械式定着の定着耐力計算式[3]の比較より判定された破壊モードと実際の破壊モードは一致し、機械式定着の定着耐力計算式の妥当性が確かめられた。
- 2段筋の場合、最大耐力付近より接合部側の鉄筋が先に抜け出しており、その傾向は2段配筋された折り曲げ定着の場合[13]と一致した。

謝辞 本研究の一部は、平成6年度近畿大学学内助成金により行われたものである。なお、本実験に関して近畿大学大学院生 藤達也氏、平成6年度卒論生 中山泰造、梅本克己、柴原貴之、田中昭典氏の協力を得ました。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、門野、窪田：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年8月
- [2] 村上、宮崎、窪田：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
- [3] 村上、宮崎、窪田：RC外部梁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年9月
- [4] 宮崎、村上、窪田：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
- [5] 藤井、森田、川上、山田：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年11月
- [6] 寺岡、狩野、小林、藤原、林、佐藤：鉄筋コンクリート造十字型柱はり接合部の力学性状に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、115-120、1986年10月
- [7] 木村、菅野、長島、田村、原、沢村、山本：超高層鉄筋コンクリート造建物の柱及び架構に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、149-154、1986年10月
- [8] 大塚、斎藤、安田、小原：高層鉄筋コンクリート造建物の柱梁接合部に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、89-90、1986年10月
- [9] NZS 3101: Code of practice for the design of concrete structures, 1982, Standard association of New Zealand
- [10] ACI 352 R-85: Recommendation for design of beam-column joints in monolithic RC structures, ACI Journal, pp. 266-283, May-June 1985
- [11] 上村ら：RC構造物のはり柱接合部の終局せん断強度について、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和50年10月、pp. 1155-1156
- [12] 小倉、関根：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、3-15、昭和56年9月
- [13] 村上、窪田：2段配筋された90度折り曲げ定着耐力の推定方法及び耐力改善法、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14、No. 2、87-92、1992