

[162] 鉄筋コンクリート外部柱はり接合部におけるはり主筋の 定着機構におよぼす補強筋の効果

正会員○西村 泰志（大阪工業大学工学部）

正会員 南 宏一（大阪工業大学工学部）

1 序

既報¹⁾では 90° 折り曲げ定着されたはり主筋の垂直定着部の定着位置が柱材の材軸よりも手前に配置されると上端筋および下端筋とも鉄筋コンクリート構造計算規準で規定される定着長さを有する場合でもはり主筋の定着性能は発揮されず部材の曲げ耐力を発揮できないことが示された。しかしながら、実際の構造物では主筋は立体的に配筋され、非常にふくそうするので、上述の配筋状態がしばしば生ずることが予測される。このような観点から、本研究ははり主筋の定着性能を向上させるために、定着機構に関する力学モデルに基づいて合理的な補強法を提案するものである。

2 定着機構に関する一考察

図1に上端筋および下端筋の定着機構を示す。はり主筋の定着機構は柱はり接合部のせん断抵抗機構と密接な関係がある。はり主筋を柱材軸を超えた点Oに定着した場合、柱はり接合部および柱材のコンクリート束に生じる圧縮力 C_1 、 C_2 とはり主筋の引張力 T によって釣合系を構成することが可能であるが、はり主筋を柱材軸よりも手前に定着すると C_1 、 C_2 および T によって釣合系を構成することができず、主筋の定着性能を発揮させることができないと考えられる。しかしながら、はり主筋を柱材軸よりも手前に定着した場合でも図1の $O'-Q$ に横補強筋および Q 点に縦補強筋を配置すればはり主筋の引張力 T は折曲げ部に生じる圧縮力 P_w として Q 点に伝達され、 Q 点において、圧縮力 P_w の鉛直成分 $P_w \sin \theta$ は縦補強筋に、一方、圧縮力 P_w の水平成分 $P_w \cos \theta$ は横補強筋によって O' 点に伝達され、 O' 点において圧縮力 C_1' 、 C_2' および $P_w \cos \theta$ によって釣合系を構成することができるので定着性能を向上させることが可能であると推察される。いま、折り曲げ部のコンクリートの支圧強度が十分あるものとし、また、 θ が 45° と仮定すれば、 $P_w \sin \theta$ および $P_w \cos \theta$ ははり主筋の引張力 T と同じとなり、横補強筋および縦補強筋量ははり主筋の引張力に相当する量が必要となる。なお、この機構のもとでは柱はり接合部のせん断抵抗面積を $B \times l_{dh}$ （ B ：柱幅、 l_{dh} ：はり主筋の水平投影長さ）とする森田、藤井らの提案²⁾は不合理であると考えられる。

3 実験計画

図2に試験体の形状寸法および断面を示す。計画された各試験体とも、断面および形状寸法、全主筋量主筋径、はり主筋の定着長さ（ $30d$ 、 d ：はり主筋の公称直径）および折り曲げ半径（ $3d$ ）は一定である。はり各試験体とも単筋ばりである。試験体は上端筋のみ有するAシリーズ3体、下端筋のみ有するUシリーズ6体の計9体である。Aシリーズの水平定着長さ l_1 は50mmである。また、Uシリーズの水平定着長さは50mmと125mmの2種類である。なお、各試験体とも垂直定着部の長さは $12d$ 以上確保されている。図3に補強筋の配筋詳細を示す。補強法は図に示すようにcase 1とcase 2の2種類である。case 2ははり主筋の引張力を接合部内部を通して柱外面に伝達する方法で上述の抵抗機構を直接応用した補強法である。一方、case 1は施工性の観点からはり主筋の引張力を折り曲げ部を介して柱内側主筋位置に伝達し、柱外周を介して柱外面に伝達する方法である。なお、この補強法では、 P_w に対する水平分力 P_{wx} 、 P_{wy} は垂直定着部の定着位置によって規定されるので、垂直定着部の定着位置によって P_{wx} 、 P_{wy} に

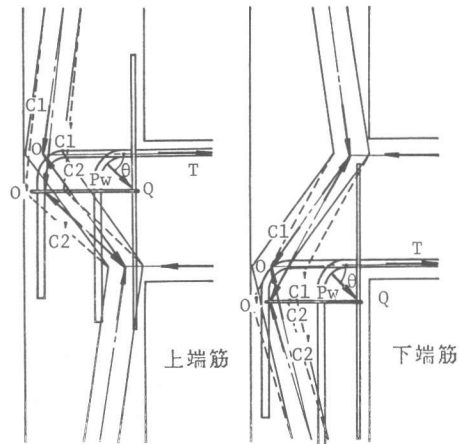


図1 定着機構

対する横補強筋の量を変化させることは可能である。本実験では、これらの各補強法とも上述の考察に基づいて、ほぼはり主筋の引張強度に相当する横および縦補強筋の量が配置されている。なお各シリーズとも比較のために補強筋が配筋されていない試験体も計画されている。実験は、図 2 に示すように柱材の一端を回転支点、他端を移動支点としてはり端部に繰返し荷重を負荷するものである。はり端部の変形、柱はり接合部中心からの部材接合端、折り曲げ起点、折り曲げ終点および定着垂直筋端部のはりの抜け出し量が測定された。また、柱はり接合部周囲の鉄筋のひずみが W.S.G. によって測定された。表 - 1 に使用材料の力学的特性を示す。

4 実験結果

4.1 ひび割れ状況

図 4 に各試験体の実験終了後のひび割れ状況の数列を示す。A シリーズでは、無補強の場合水平定着部と折り曲げ部にそうひび割れが発生し、垂直定着部および折り曲げ部とはり圧縮領域を結ぶひび割れが生じ、柱内側主筋にそうひび割れが顕著で引張主筋の抜け出し現象がみられるが、補強された試験体は補強法にかかわらず、垂直定着部および柱内側主筋にそうひび割れはほとんど観察されずはり部材の曲げ破壊の様相を呈する。一方 U シリーズの場合も A シリーズの場合とその破壊

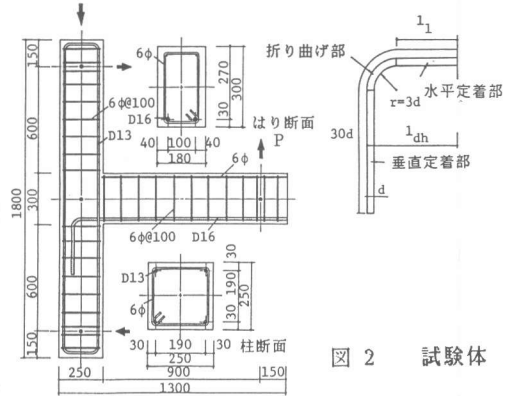


図 2 試験体

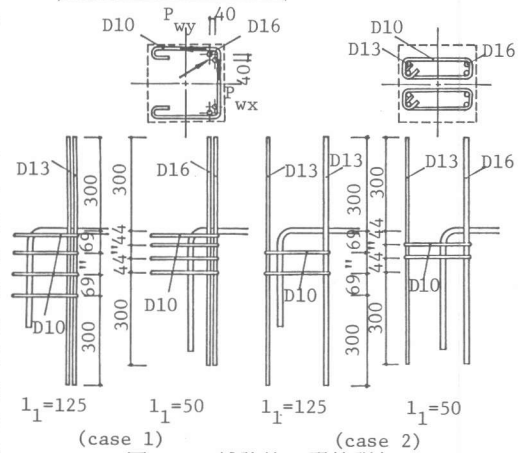


図 3 補強筋の配筋詳細

表 1 材料の力学的特性および実験結果

試験体名	実験変数 l_1 (mm)	補強法	材料の力学的特性				実験結果							
			コンクリート		鉄筋		水平定着部		折り曲げ部		垂直定着部		斜張力	
			F_c (kg/cm ²)	F_t (kg/cm ²)	ϕ	σ_y (kg/cm ²)	σ_u	ϵ_u	P	R	P	R	P	R
									(tf)	(rad.)	(tf)	(rad.)	(tf)	(rad.)
U2	50	-	349	23.1	D16	3357	5015	19.5	0.30	0.0049	2.02	0.0041	2.00	0.0066
					D13	3843	5709	19.0						
					6 ϕ	2347	3544	40.9						
U2-1	50	case 1	291	23.2	D16	3779	5047	21.6	1.68	0.0011	2.85	0.0041	-	-
U2-2	50	case 2	305	32.2	D13	3717	5213	19.3	3.40	0.0020	3.86	0.0060	4.66	0.0110
					D10	3817	5669	15.3						
					6 ϕ	2347	3544	40.9						
U4	125	-	349	23.1	D16	3357	5015	19.5	2.67	0.0034	2.85	0.0055	2.72	0.0100
					D13	3772	5606	18.0						
					6 ϕ	2347	3544	40.9						
U4-1	125	case 1	310	34.5	D16	3779	5047	21.6	2.31	0.0028	2.68	0.0040	-	-
U4-2	125	case 2	334	35.6	D13	3717	5213	19.3	2.40	0.0026	3.54	0.0064	-	-
					D10	3817	5669	15.3						
					6 ϕ	2347	3544	40.9						
A2	50	-	362	33.8	D16	3779	5017	21.6	1.62	0.0100	1.50	0.0030	1.43	0.0170
					D13	3717	5213	19.3						
					6 ϕ	2347	3544	40.9						
A2-1	50	case 1	291	23.2	D16	3779	5017	21.6	1.80	0.0022	2.67	0.0049	-	-
A2-2	50	case 2	310	34.5	D13	3717	5213	19.3	1.94	0.0018	2.93	0.0040	-	-
					D10	3817	5669	15.3						
					6 ϕ	2347	3544	40.9						

1 : case 1 補強法 2 : case 2 補強法
 2 : $l_1 = 50$ mm 4 : $l_1 = 125$ mm
 A : 上端筋を有する試験体 (Aシリーズ) U : 下端筋を有する試験体 (Uシリーズ)

状況はほぼ同じで、無補強の場合は引張主筋の抜け出し現象がみられる破壊様相であるのに対し補強された試験体は補強方法にかかわらず、垂直定着部および柱はり接合部の柱内側主筋にそったひび割れはほとんど観察されず、はり部材の曲げ破壊の様相を呈する。なお、U4-1の試験体では折り曲げ部とはり圧縮域とを結ぶ斜めひび割れは柱外側主筋にまで進展し、最大耐力発揮後柱材を2分する破壊状況を呈した。表1に各ひび割れ発生時の荷重 P および部材角 R を示す。

4.2 履歴曲線

図5に各試験体の履歴曲線の包絡線を示す。縦軸ははり端部に負荷された荷重 P 、横軸ははり端部の変形より求められた骨組としての部材角 R である。図中の実線ははりの曲げ強度から求められた荷重 P_u である。補強された試験体は無補強の試験体に較べて飛躍的に耐力の増大が認められ、

各試験体ともはり部材の曲げ耐力を発揮している。各シリーズともcase 2の補強法を用いた試験体の方がcase 1の補強法を用いた試験体に較べて10%程度耐力が増大している。また、補強された試験体のうちU2シリーズが他のシリーズの試験体に較べて補強効果が顕著である。最大耐力発揮後、case 1の補強法を有する試験体は若干耐力の低下がみられる。特に、U4-1の低下は顕著である。なお、無補強の試験体でもはりの曲げ耐力に対してA2およびU2は25%程度、U4は75%程度の耐力を発揮している。本実験計画でははり主筋の引張力と同程度の補強筋の量を配置したことから、過補強の状態になっているものと考えられる。すなわち、はり部材の曲げ耐力から無補強の試験体の耐力を差し引いた残りの耐力に対して補強量

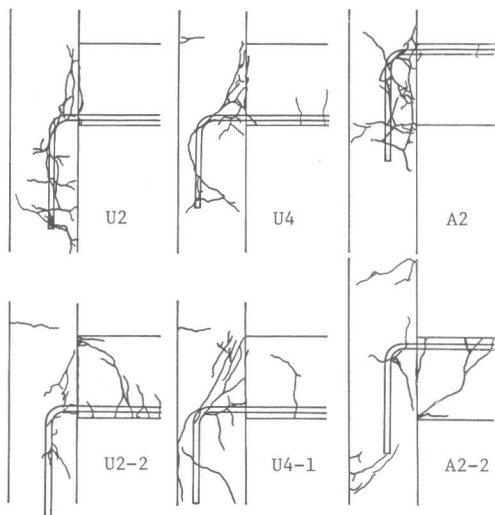


図4 ひび割れ状況

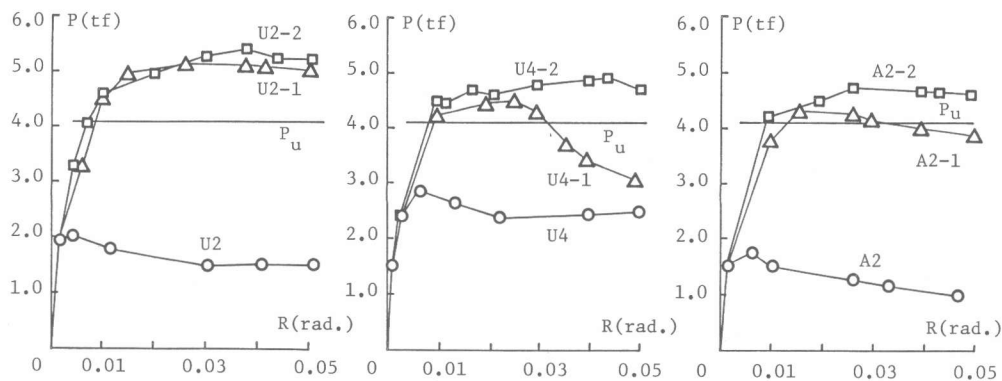


図5 履歴曲線の包絡線

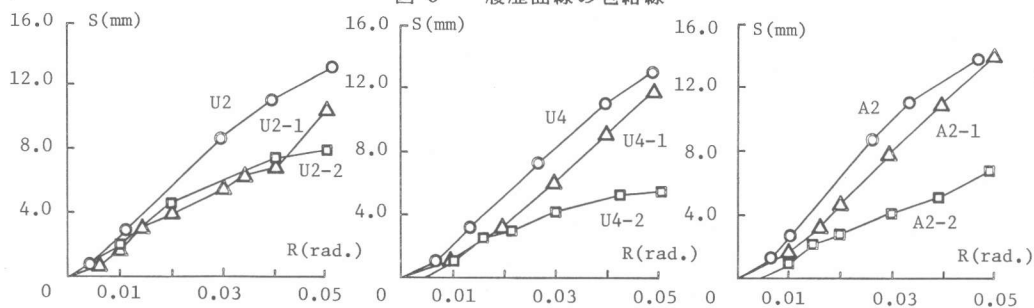


図6 はり主筋の抜け出し状況

を決定すれば良いものと考えられる。

4.3 部材接合端におけるはり主筋の抜け出し状況

図 6 に部材接合端のはり主筋の抜け出し量 S と部材角 R の関係を示す。無補強の試験体に較べて補強された試験体は大変形時の抜け出し量が少ない。case 1 の補強法の試験体と比較して case 2 の補強法の試験体の抜け出し量は非常に小さく、無補強の試験体の抜け出し量に較べてほぼ 1/2 程度である。しかしながら、case 1 の場合でも、補強効果の顕著であった U シリーズでは補強法による差はほとんどみられない。これ

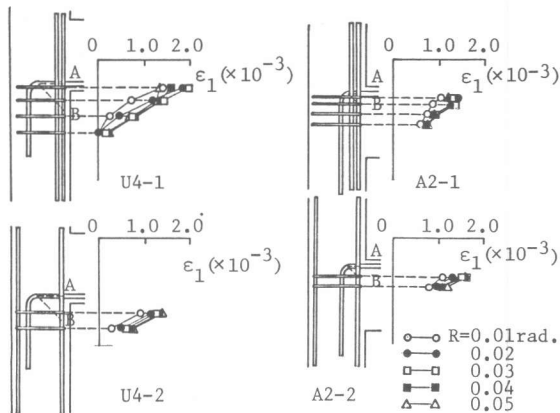


図 7 補強筋のひずみ分布

らの履歴性状、ひび割れおよび主筋の抜け出し状況から、case 1 の場合でも case 2 の場合と同様、横補強筋を閉鎖形にし、柱外面にも縦補強筋を配置する方がより有効な補強効果が得られるものと推察される。

4.4 補強筋のひずみ状況

図 7 は各振幅段階の横補強筋のひずみ分布を示す。各試験体ともひずみは折り曲げ部で最も大きく、折り曲げ部から遠くなるにつれて小さくなっている。はり主筋の位置から柱内側主筋と折り曲げ起点までの距離に相当する領域 (A から B の範囲) に配置されている補強筋はほぼ降伏ひずみに達していることから、この領域にのみ横補強筋を配置することが耐力の増大に対して最も効果的であると考えられる。なお、このことから、コンクリートの圧縮力 P_w と水平とのなす角度 θ は前述の 45° よりも小さい値ではないかと推察される。図 8 は case 1 の補強法について、折り曲げ部における横補強筋の正面と側面のひずみの関係を示したものである実線は引張力の合力が折り曲げ部を介して柱内側主筋に伝達されるものとして、幾何学的な関係から求められる勾配で、 P_w の水平分力の作用方向に対応している。各試験体の実験値はほぼ実線上にあり case 1 の補強法の計画で想定された通りの応力伝達の状態を示している。

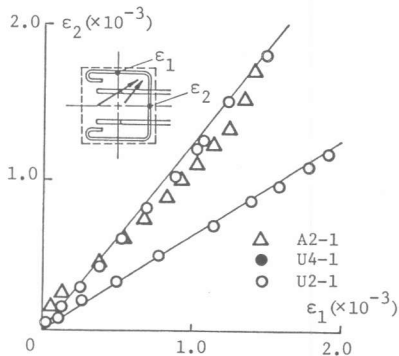


図 8 補強筋のひずみ状況

5 結論

ト字形柱はり接合部に 90° 折り曲げ定着されたはり主筋の定着機構と柱はり接合部のせん断抵抗機構を関連づけた力学モデルに基づいた補強法を提案し、その補強法に基づいて 9 体の試験体について実験を行った結果、上端筋および下端筋にかかわらず、垂直定着筋の位置が柱材の材軸より手前にある場合でも本補強法によって定着性能を改善することができはり部材の曲げ耐力を発揮させることが可能である。なお、本補強法について、はり部材の耐力を発揮させるための補強筋量を定量的に把握することが今後の課題である。

謝辞 本研究は昭和60年度文部省科学研究補助金奨励研究 A (課題番号60750578) によって行なわれたものである。

参考文献

- 1) 若林実、南宏一、西村泰志、今仲伸郎 : ト字形柱はり接合部の梁主筋の定着機構、第 5 回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1983、p.p.417 - 420.
- 2) 金田和浩、藤井栄、森田司郎 : 交番荷重下の RC 外部柱梁接合部の挙動に与える接合部補強の効果、第 7 回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1985、p.p.613 - 616.
- 3) 若林実、南宏一、西村泰志、今仲伸郎 : 鉄筋コンクリート造柱梁接合部における梁主筋の定着機構に関する実験的研究 (その 5)、日本建築学会学術講演梗概集 (関東)、昭和59年10月、p.p.1889 - 1890.