

# [161] RC柱・はり外部接合部におけるはり主筋の定着性能に関する 実験的研究

正会員 ○角 徹三（豊橋技術科学大学建設工学系）  
 大山 哲（東陶 設計部）  
 牧村幸二（名工建設 工務部）  
 八代宗明（戸田建設 工務部）

## 1. 序論

RC柱・はり外部接合部におけるはり主筋の定着の仕様は、地震時の接合部の定着性能やせん断抵抗性  
 状に大いに影響するため、合理的な配筋詳細の原則の提示が求められている。著者等<sup>1)</sup>は8体の外部接合  
 部試験体についての実験結果を昨年度の年次講演会に発表したが、その後、水平投影長さ(L<sub>b</sub>)や余長  
 部長さ(T)の数を増し、かつ、新たに柱せいおよび曲げ内法半径を実験変数として加え、計20体につ  
 いての外部接合部を含む単位架構の耐力・変形状に影響する諸因子について詳細な検討を行った。それ  
 らのうち、ここでは、水平投影長さ、余長部長さおよび柱せいの影響について得られた知見を示す。

## 2. 実験概要

載荷方法を図-1に示す。PC鋼棒(4-φ32)によって柱部に初期軸力(σ<sub>00</sub>=50 kgf/cm<sup>2</sup>≐fc/6)を導入した。柱せいが30cmおよび20cmの試験体では、柱部上下端に鋼製キャップを配し、柱反  
 力のアーム長を図-1の柱せいが40cmのものと同じにした。

試験体の詳細を表-1に、接合部の配筋例を図-2に示す。全試  
 験体中No. 1~No. 17まではわが国で慣用されているはり上  
 下端とも曲げ下げ定着(記号L)とし、残りの3体は直線定着(記  
 号S)とした。試験体名称の2・3桁目の数字は上端筋の水平投影  
 長さをはり主筋径(d=16mm)の倍数で示したものである。下端  
 筋の水平投影長さは、上端筋のそれより2dだけ短くなっている。  
 余長部長さT=12d、曲げ内法半径3d、接合部フープ筋量ρ<sub>w</sub>  
 =0.93%、柱せい40cmを基本としており、これらの値を変化  
 させたもののみ試験体名称にその仕様を付記している。

柱せい30cmおよび20cmの試験体では、はり降伏時の柱曲げ強  
 度に余裕をもたせるため、2-D19を柱主筋として追加した。そ  
 の結果、はり降伏荷重時の柱曲げモーメントと柱の曲げ強度との比  
 は柱せい40cmで0.31、30cmで0.33および20cmで0.

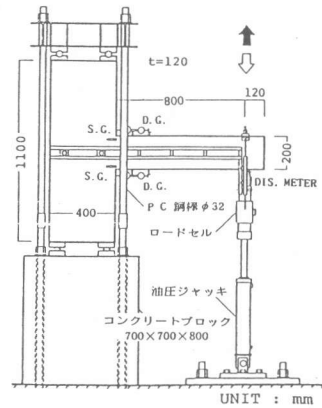


図-1 載荷方法

表-1 供試体の概要と破壊形式

62となり、柱  
 曲げ破壊先行を  
 避ける設計とな  
 っている。No.  
 17試験体(L  
 10C20H)  
 では、下端筋曲  
 げ下げ定着部の  
 拘束の効果を見  
 るため、接合部  
 と同量のフープ  
 筋をこの部分に  
 配し、このよう  
 な配慮をしない  
 No. 16試験

No.	供試体	Lead 長さ (d)	曲げ 内径 (d)	投影 長さ (d)	Tail 長さ (d)	総定 音長 (d)	コンクリート 圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊タイプ		柱断面 (cm)	柱主筋	柱部 フープ筋	はり 断面 (cm)	はり主筋	はり部 おほら 筋
								上端筋	下端筋						
1	L22	18.0	3.0	22.0	12.0	35.5	380	Y-F	S	12×40	4-D13	φ6-@50	12×20	上端 2-D16 下端 2-D16	fy=3600 kgf/cm <sup>2</sup>
2	L18	13.5	3.0	17.5	12.0	31.0	328	Y-F	S						
3	L18R1.5N	13.5	1.5	16.0	12.0	28.5	296	Y-S	S						
4	L13	9.0	3.0	13.0	12.0	26.5	328	Y-F	S						
5	L13N*	9.0	3.0	13.0	12.0	26.5	335	Y-S	S						
6	L10	6.0	3.0	10.0	12.0	23.5	333	Y-S	S						
7	L09R1.5	6.0	1.5	8.5	12.0	21.0	296	Y-S	S						
8	L09	4.5	3.0	8.5	12.0	22.0	345	Y-S	S						
9	L13T6	9.0	3.0	13.0	6.0	20.5	335	Y-F	S						
10	L13T3	9.0	3.0	13.0	3.0	17.5	333	Y-S	S						
11	L12T3R1.5	9.0	1.5	11.5	3.0	15.0	296	Y-S	S						
12	L12T3	7.5	3.0	11.5	3.0	16.0	345	Y-S	S						
13	L13T0	9.0	3.0	13.0	0.0	14.5	329	Y-A	S						
14	L18C30	13.5	3.0	17.5	12.0	31.0	294	Y-F	S						
15	L13C30	9.0	3.0	13.0	12.0	26.5	294	Y-S	S						
16	L10C20	6.0	3.0	10.0	12.0	23.5	314	Y-S	S						
17	L10C20H**	6.0	3.0	10.0	12.0	23.5	314	Y-S	S						
18	S25	25.0		25.0		25.0	380	Y-S	S						
19	S14	14.0		14.0		14.0	321	Y-F	S						
20	S09	9.0		9.0		9.0	329	Y-F	S						

※接合部内フープ筋なし ※接合部下側のフープ筋φ6-@50(図-2参照)

※※Y-F: はり降伏確認後はりの曲げ破壊 Y-S: はり降伏確認後接合部のせん断破壊

Y-A: はり降伏確認後はり主筋の定着破壊 A: はり降伏前にはり主筋の定着破壊 S: はり降伏前に接合部のせん断破壊

体との比較を試みた。

測定項目は、① はり筋の鉛直変位として測定された架構の全変位、② 接合部からのはり主筋の抜け出し、③ 接合部・はり境界位置からはり側へ10cmの区間(はり領域1)および次の10cm区間(はり領域2)でのはり回転量、④ 接合部内はり主筋のひずみ(5cmピッチ)、⑤ 接合部内のフープ筋のひずみ、である。接合部域の変形は直接測定せず、全変位からはりの変形によるものと抜け出しによるものとを差し引いた量を接合部の変形とした。

はり降伏先行の試験体では、はり降伏時の変位 $\delta y$ で1サイクル、以降 $2\delta y$ 、 $3\delta y$ 、 $4\delta y$ および $6\delta y$ で各5サイクルの正負交番荷重を与え、耐力劣化の激しいものは適宜繰返し回数を減らした。はり降伏に至らない試験体についても上記の $\delta y$ を基準に同様の繰返し载荷を行った。

### 3. 実験結果と考察

ここでは実験結果を測定項目毎に示すことをせず、荷重-変位関係を中心に、変位の要因別構成比、接合部内はり主筋の応力負担分布、フープ筋のひずみ分布あるいはひび割れ図等を適宜おりませながら実験変数毎の結果の考察を行うことにする。

#### 3.1 水平投影長さの影響

図-3に水平投影長さ $L_b$ のみを変化させ他は同じ条件( $T = 12d$ ,  $r = 3d$ ,  $\rho_w = 0.93\%$ )の試験体の実験結果を示す。 $L_b \geq 13d$ の場合、はり降伏以降も良好な靱性を示すが、 $L_b \leq 10d$ 以下では接合部コアのせん断破壊が先行し、降伏耐力の維持が不能となる。特に負荷荷時の耐力低下が著しい。接合部内のはり主筋の応力負担分布を見ると $L_b \geq 18d$ の場合には余長部の負担はほとんどみられないが、 $L_b \leq 13d$ の場合では正負ともこの部分での応力負担度が增大する。また、曲げ部での応力負担には一定の限界(20~30%)があるようで、リード部の負担度の減少分だけ余長部の負担度が增大している。変位の要因別構成比を見ると $L_b \geq 13d$ では大きな相違は見られないが、 $L_b = 10d$ でははり主筋の抜け出しによる変位の割合が増大する。

#### 3.2 余長部長さの影響

図-4に余長部長さのみを変化させ他は同じ条件( $L_b = 13d$ ,  $r = 3d$ ,  $\rho_w = 0.93\%$ )の試験体の実験結果を示す。 $T \geq 6d$ であれば耐力・靱性とも良好であるが、 $T \leq 3d$ となると、降伏近くまでの耐力は発揮するものの靱性が維持されず、特に負荷荷時の耐力劣化が激しい。従って、余長部 $T \geq 6d$ 以上は必要であり、その役割は靱性の確保

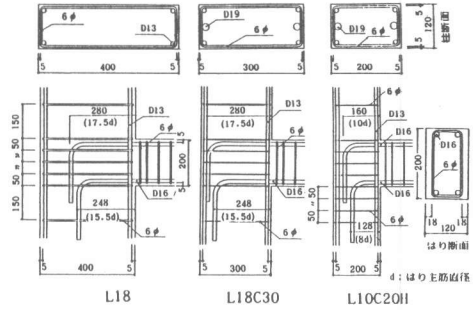
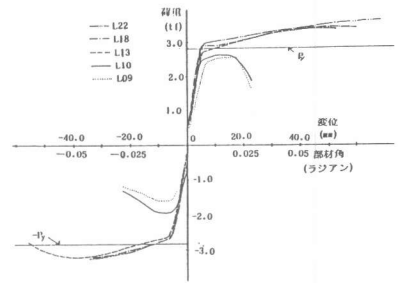
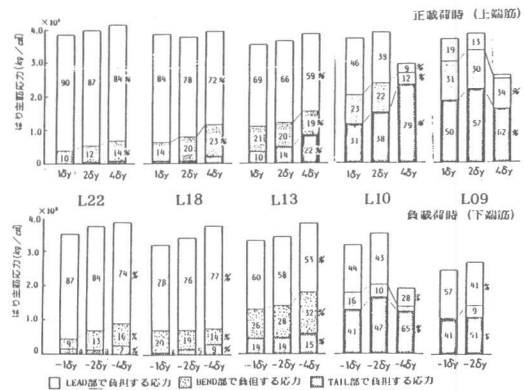


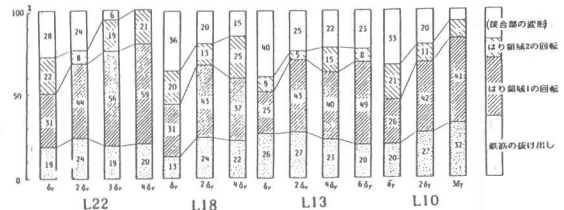
図-2 接合部配筋詳細例



(a) 荷重-全変位包絡線



(b) 接合部内はり主筋の応力負担率



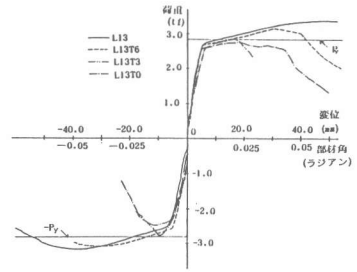
(c) 全変位の要因別構成比(正載荷時)

図-3 水平投影長さの影響

にある。

### 3.3 総定着長さの検討

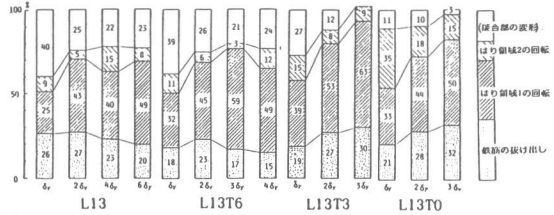
図-5は総定着長さがほぼ等しく(L10で23.5d、L13T6で20.5d)リード部と余長部の長さが異なる試験体の荷重-変形関係を示している。図中のハッチ部分は繰り返しによる荷重低下を表している。総定着長ではむしろ3dだけ長いL10試験体の方が耐力・靱性とも極端に低い。総定着長さよりも、まずは水平投影長さを一定以上確保することが如何に重要であることを明確に示している。



(a) 荷重-全変位包絡線

### 3.4 柱せいの影響

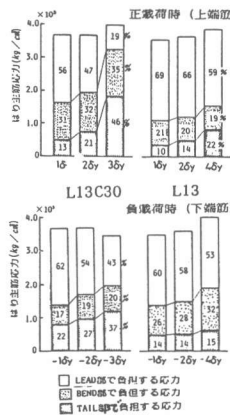
図-6は同じ定着仕様で柱せいが40cmと30cmの試験結果の比較である。30cmの試験体では、降伏以後、繰り返しの影響を大きく受けて耐力が劣化する。-3δy時のひび割れ図をみると柱せい30cmの正載荷時の接合部ひび割れが顕著である。余長部の外側のコンクリート部分の面積の大小が降伏以後の耐力維持ににがしかの寄与をしていることがうかがえる。さらに、接合部内の応力負担分布をみると、柱せい30cmの試験体は、40cmのそれよりリード部での応力負担分が変形の増加とともに急速に減少している。これは、柱部軸圧縮応力によるはり主筋に沿った横拘束の度合いが柱せいを小さくするほど弱まるためと判断され、このことも降伏以後の耐力劣化を促進しているのではないかと推測される。



(b) 全変位の要因別構成比 (正載荷時)

図-4 余長部長さの影響

図-7は図-6と同様、定着の仕様を共通にして柱せい40cmと20cmの試験結果を比較したものである。接合部下部の柱部分を意図的に拘束したL10C20Hの結果も併記している。ここでは柱せいの耐力・靱性に与える影響は図-6ほど顕著でなく、むしろ柱せいを小さくした方が耐力が僅かながら上昇している。水平投影長さが極端に短くなると、この影響が卓越して余長部の外側のコンクリート部分の大小は問題とならないということであろうか。いずれにせよ、この点については今後もっと深く掘り下げた検討が必要であろう。同図(b)には接合部を含む柱部分のフープ筋の応力分布を示している。接合部内のフープ筋の応力分布は決して一様ではなく、引張応力を受けるはり主筋近傍のフープ筋に最大応力が発生する。さらに、塑性変形の増加とともに下端筋が引張応力となる負載荷時の下端鉄筋近傍のフープ筋の応力増大が顕著になる。なお、接合部下の柱部にフープ筋を付加した効果は図-7(a)に示されるように負載荷時の耐力上昇としてある程度認められた。



(b) 接合部内はり主筋の応力分担率

図-6 柱せいの影響 (C30とC40の比較)

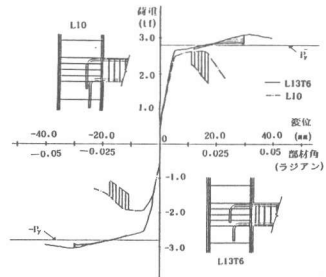
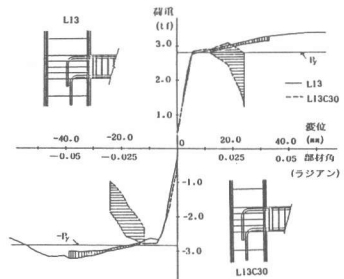
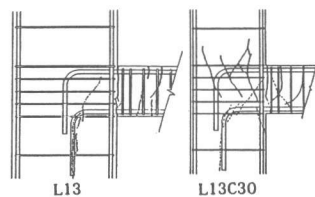


図-5 総定着長さの影響 (荷重-全変位包絡線について)



(a) 荷重-全変位包絡線



(c) ±3δy時のひび割れ状況

#### 4. 水平投影長さによる実験結果の整理

図-8は、接合部の耐力を水平投影長さを尺度にとり、正・負荷荷毎に総合的に示したものである。縦軸は、接合部内の水平投影長さの内側にあるコンクリートのみが耐力保持に有効であるとしてせん断応力を求め、これを $\sqrt{f_c}$ で除して無次元化している。図中の双曲線はコンクリート強度を300 kgf/cm<sup>2</sup>としてはり降伏時のせん断応力とLbの関係を示したものである。したがって、実験結果の各点がこの線を上回っていれば、はりの降伏が保証されることになる。図中の○印は各試験体の最大耐力を表し、●印は塑性変形および繰り返しの影響を考慮して森田・藤井<sup>2)</sup>が提案した、塑性率3以上、部材角1/50以上、累積塑性率20以上後の各試験体のピーク荷重である。○印は塑性・繰り返し後も耐力低下がみられなかったことを意味している。各試験体のコンクリート強度は、300 kgf/cm<sup>2</sup>の場合に補正している。本図より、接合部の補強が十分であるとすれば、 $L_b \geq 1.4d$ であれば接合部の耐力・靱性は確保されること、 $1.1d \leq L_b \leq 1.3d$ であれば柱せい・余長部長さ等によって耐力・靱性は微妙に変化すること、 $L_b \leq 1.0d$ 以下であれば、はり降伏の確保ができず、耐力・靱性ともに極端に低下すること、この傾向は負荷荷時ほど顕著であることが明らかとなった。今後、他の研究者の実験結果との相互比較を行う必要があろう。

#### 5. 結論

計20体のRC外部接合部を含む単位架構の正負交番繰り返し実験より、1) 接合部の耐力・靱性確保の点から水平投影長さは極めて重要な因子であり、これが、1.1d~1.3dの範囲にあれば余長部長さが重要な意味を持つ。2) 定着仕様が同一であっても柱せいの寸法が耐力・靱性に微妙に影響する場合がある。3) 慣用の下端筋の曲げ下げ定着は上端筋に比べて耐力・靱性とも低下する傾向があり、そのための対策が不可欠である；等の知見を得た。

#### 【参考文献】

- 1) 角・中田他「RC柱・はり外部接合部におけるはり主筋の定着性能に関する実験的考察」第7回JCI年次講演会論文集、1985、pp617~620
- 2) 金田・藤井・森田「交番荷重下のRC外部柱・はり接合部の挙動に与える接合部補強効果」第7回JCI年次講演会論文集、1985、pp613~616

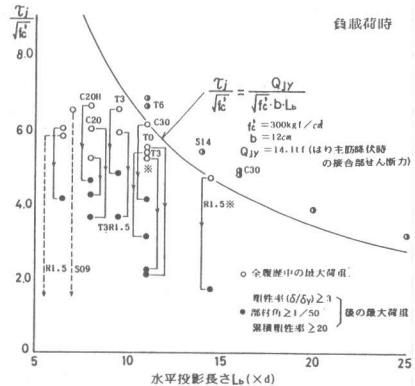
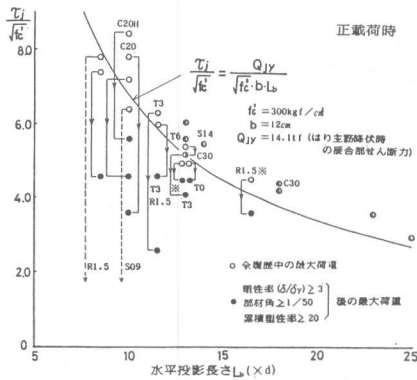
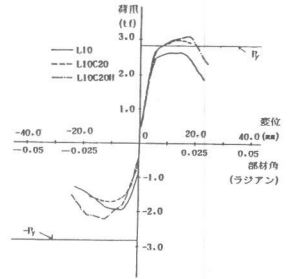
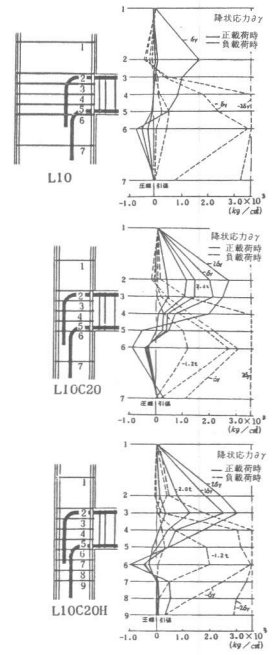


図-8 耐力と水平投影長さとの関係



(a) 荷重-全変位包絡線



(b) フープ筋の応力状態

図-7 柱せいの影響 (C20とC40の比較)