

# [155] 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

正会員 ○角 徹三 (豊橋技術科学大学建設工学系)

中田信治 (豊橋技術科学大学大学院)

大山 哲 (豊橋技術科学大学大学院)

## 1. 序論

RC架構の柱および、はり部材の耐震性が向上したことにより、柱はり接合部が地震時の架構の相対的弱点として注目されるようになり、この部分の合理的な設計法の確立が急がれている。

激震時の接合部設計の要点は、これに連なる

部材の曲げ降伏前はもちろんのこと降伏後の交番繰返し荷重下でも接合部のせん断破壊や主筋の過度の定着劣化が起らず、部材端ヒンジのエネルギー吸収能力を確保・維持させることにある。また、外部接合部は内部接合部に比べて作用せん断力が半減する反面、はり主筋の定着方法が多種・多様となり、その良否が接合部の耐力に大きく影響するため、独自の検討が必要である。上記のことをふまえ、本研究でははり主筋の定着方法を実験パラメータとしてRC柱・はり外部接合部の交番繰返し荷重試験を行い、定着性能を詳細に検討した。

## 2. 実験概要

試験体の形状・配筋を図-1,2および表-1に示す。8供試体のうち2体は直線定着とし、他は一定の曲げ径 ( $r = 3d$ ) で曲げ下げ定着した。その内訳は、余長を一定値 ( $T = 12d$ ) としてのみ込み長さ  $L$  を  $18d$ ,  $13.5d$ ,  $9d$  としたもの、のみ込み長さを一定値 ( $L = 9d$ ) として余長を  $6d$ ,  $0$  としたもの、さらに  $L = 9d$ ,  $T = 12d$  かつフープなしの各1体である。

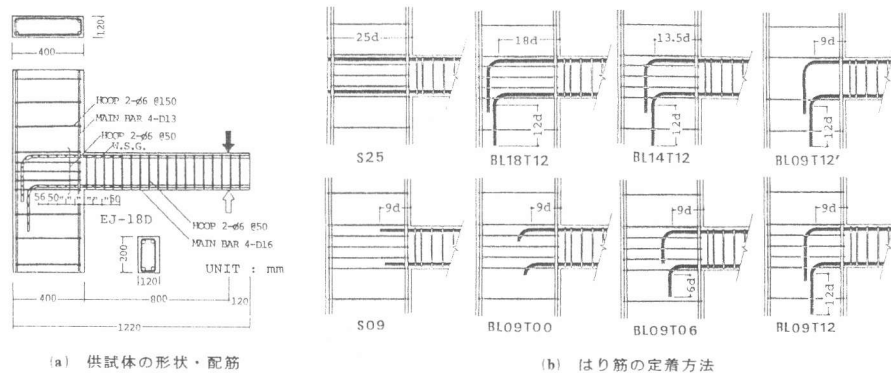


図-1 供試体の形状と配筋詳細

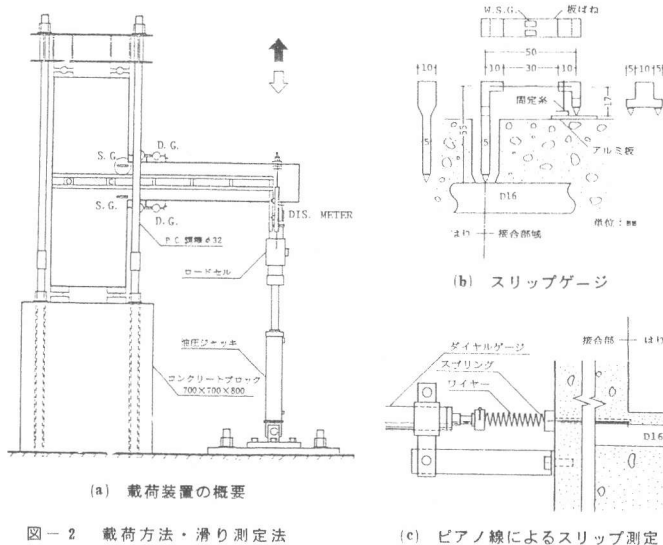


図-2 載荷方法・滑り測定法

表-1 供試体概要と実験パラメータ

No.	供試体	直線部分長さ	Bent 内径	余長	コンクリート 圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	接合部フープ筋	使用軸筋
1	S25	25d	—	—	380	5-φ6 $f_y = 3600 \text{ kg/cm}^2$ フープ筋比 面積比 0.93 % 体積比 1.28 %	—はり主筋— 上端, 下端とも 2-D16
2	S09	9d	—	—	329		
3	BL18T12	18d	3d	12d	380		—柱主筋— 4-D13 $f_y = 3530 \text{ kg/cm}^2$
4	BL14T12	13.5d	3d	12d	328		
5	BL09T12	9d	3d	12d	328		
6	BL09T06	9d	3d	6d	335		
7	BL09T00	9d	3d	0	329		
8	BL09T12*	9d	3d	12d	335		

柱部分にはPC鋼棒(4-φ32)によって軸力( $\sigma_{co} = 50 \text{ kg/cm}^2$ )を与え、これによって加力時の転倒モーメントの反力をとった。したがって柱部分に水平せん断力を与える従来の加力方法よりも、接合部の作用せん断力が過酷になる。

測定項目は、1) はりたわみ、2) 接合部境界位置でのはり筋の滑り、3) 境界位置からはり側へ10cmの区間および次の10cm区間でのはり回転量、4) 接合部内はり主筋のひずみ(5cmピッチ)、5) 接合部内フープ筋ひずみとした。

はり筋の滑りは図-2(b)に示すスリップゲージによって測定したが、S09供試体については藤井等の考案したピアノ線の移動量を測定する方法をも併用し両者の比較を試みた。(同図(c))

### 3. 実験結果と考察

#### 3・1 荷重-たわみ関係とひびわれ図

荷重履歴は、はり筋降伏時のたわみを $\delta_y$ として、 $\delta_y$ 時で1サイクル、以降 $2\delta_y$ 、 $3\delta_y$ 、 $4\delta_y$ および $6\delta_y$ 時で5サイクルの正負交番荷重を与えるものとした。荷重-たわみ関係を図-3に示す。定着長が極端に短いS09、BL09T00およびフープ筋のないBL09T12を除いた5体は、いずれもはりの曲げ破壊で耐力が決まり良好な復元力特性を示している。

特に、BL18T12、BL14T12は $10\delta_y$ ( $\approx 60 \text{ mm}$ )を過ぎても耐力が低下せず最も良好で、S25がこれらにつぐ。BL09T12、BL09T06は $6\delta_y$ を過ぎると耐力の低下がはじまる。余長のないBL09T00では、 $3\delta_y$ までの正載荷時の耐力低下はわずかだが負載荷時の劣化がはげしく、最終的に定着破壊を示した。S09はもっとも耐力低下がはげしく完全な定着破壊を示した。フープ筋のないBL09T12'の

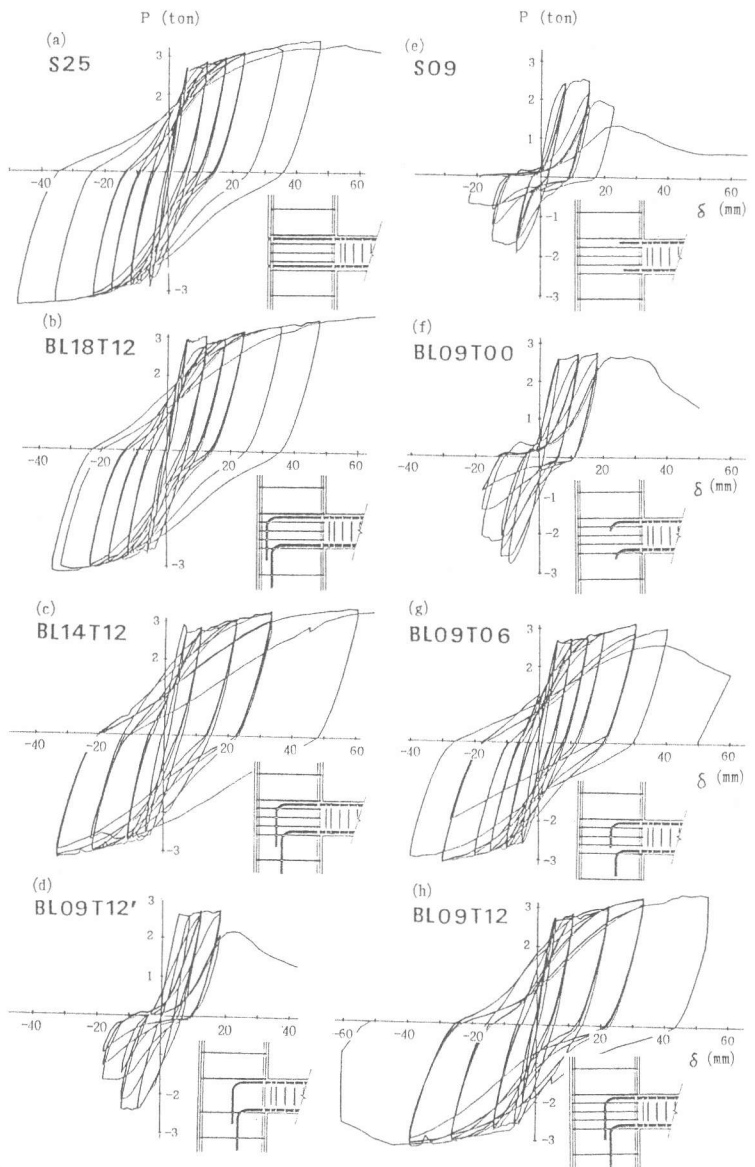


図-3 荷重-たわみ実験曲線

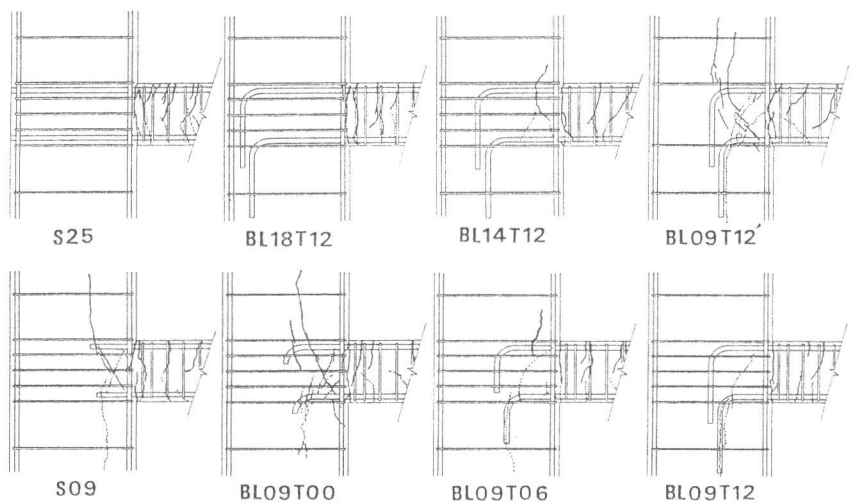


図-4  $\delta = 3\delta_y$  時のひびわれ図

復元力特性は BL09T00 と酷似しているが、接合部の主筋で囲まれた部分のコンクリートの圧壊により脆性破壊した。

図-4 は  $\pm 3\delta_y$  ピーク荷重時のひびわれ図を示したものである。S25, BL18T12 のひびわれははり部分にのみ集中し接合部域には生じていない。BL14T12 では接合部域にわずかに生じるが、その後の進展はみられない。BL09T12, BL09T06 では負荷時の接合部域斜ひびわれが下端筋余長に沿って進み接合部外柱域に及ぶのが特徴的である。したがって柱域のフープ筋も接合部の剛性確保に有効でありうることを示唆している。S09 でははり筋終端部に鉛直方向のひびわれが生じている。フープ筋のない BL09T12' では、接合部内の上端筋のみ込み長部と余長部で囲まれたコンクリート部分が交番繰返しとともに両側に膨らみ、この部分に形成されるコンクリート圧縮束の圧壊に至っている。

### 3・2 たわみ要因の構成比の推移

図-5 は、たわみの要因を、接合部からのはり主筋の抜け出し、はり領域1の回転、領域2の回転およびその他(領域1,2以外のはりの曲げ変形は極く小さいことから接合部の変形と推測されるが、直接測定したわけではない)に分解し、その構成比の推移を各たわみ振幅のピーク荷重時について示している。図-3 で復元力特性が良好な供試体(S25, B18T12, BL14T12)ほど領域1,2の回転の占める割合が高い。一方、S09, BL09T00 でははり筋の抜け出しによるたわみが卓越し、 $+3\delta_y$  時の S09 ではその比が60%にも達している。また、抜け出しによるたわみは定着の良好な供試体でも全たわみの10~20%を占め、架構解析上無視できないことを示している。フープ筋のない BL09T12' では当然のことながら接合部の変形によるたわみが卓越している。

### 3・3 折り曲げ筋の応力負担の詳細

図-6 は、折り曲げ定着を行った供試体のはり筋ひずみの測定値をもとに、直線部分(のみ込み長部分)、曲げ部分および余長部分で負担する応力比を各たわみ振幅のピーク荷重時について示している。余長一定( $T=12d$ )についてみると、 $L=18d, 13.5d$  では余長部分ではほとんど応力負担をしないが、 $L=9d$  では、曲げ部分の負担度が20%程で一定のまま、たわみの増大につれて余長部の負担率が増大し、その分だけ直線部の負担率が減少している。一方、直線部直を一定値( $L=9d$ )として余長を  $T=12d, 6d, 0$  と変化させたものについてみると、まず余長が0の場合、 $2\delta_y$  の時の曲げ部の応力負担は41%にも達する。次に  $T=6d$  についてみると、曲げ部の応力負担度は  $\delta_y$  時で33%であるが余長部の応力負担度はほとんどなく、この部分での応力負担は期待できないことがわかる。しかし、このことは余長部の存在意義を否定するものではなく、この部分が主筋の定着確保

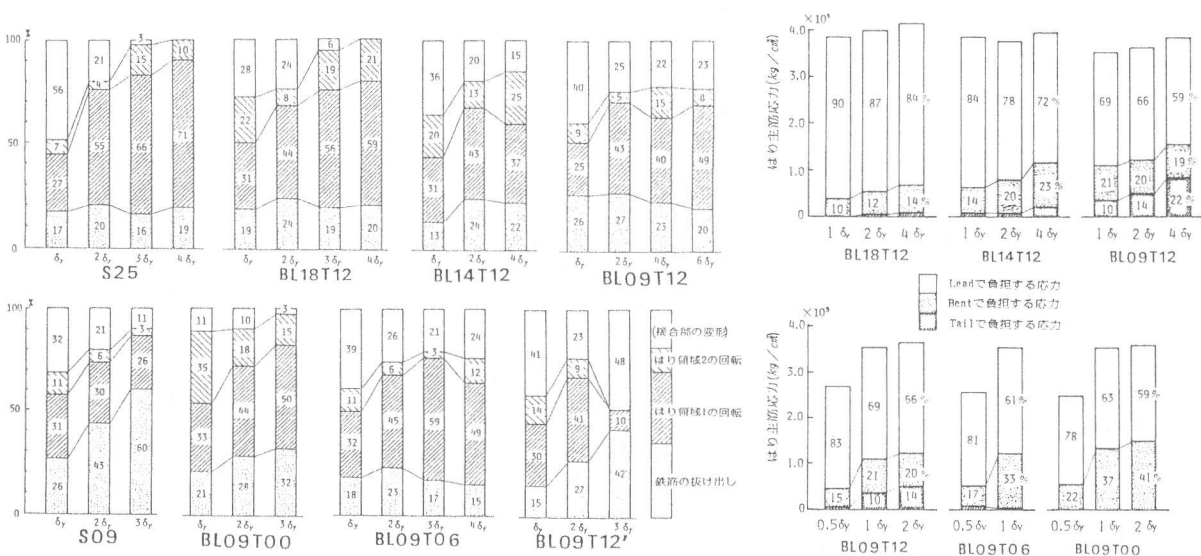


図-5 たわみの要因別構成比

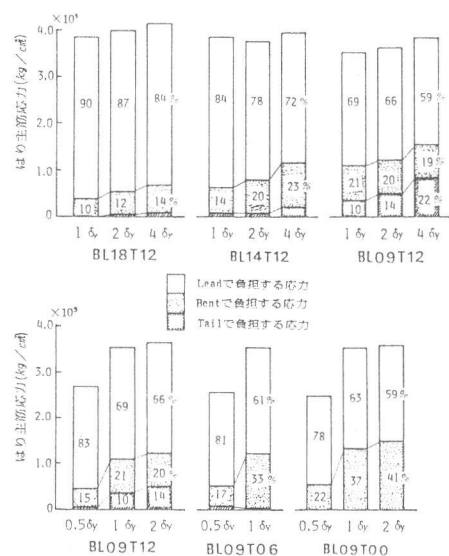


図-6 折り曲げ定着筋の応力負担分布

の役割を果たしていることは図-3のBL09T06とBL09T00との復元力特性の差異からも明らかである。

### 3・4 フープ筋の応力分布

図-7は接合部内フープ筋の応力分布を示している。左側の図は第1回目の $\pm\delta_y$ までの応力分布の推移を示し、右図は $\pm 2\delta_y$ 時の応力分布を繰返し回数をパラメータとして示している。いずれもフープ筋の応力は接合部全域に様に分布するのではなく、引張応力が作用するはり筋に近いところでは引張応力が卓越し、

圧縮応力が作用するはり主筋に近いところではわずかながら圧縮応力となっている。また、S09では正負の応力分布が上下対称となっているのに対して、折り曲げ定着では荷重の方向によってまったく異なった分布となっている。すなわち負載荷の方がフープの応力レベルが高くかつ一様分布に近いのに対して、正載荷の場合はフープ筋応力がはり引張筋位置に集中し、これからはなれるにしたがい急激に減少している。このことは、図-4のひびわれ状況とも関連しており、接合部外柱部のフープ筋をも含めて、はり上下端筋近くのフープ筋が最も応力を負担することを示している。

### 3・5 荷重・スリップ関係

図-8は直線定着とした供試体の上下はり筋の $\pm\delta_y$ までの荷重-スリップ関係を引張抜け出しの場合についてのみ示している。

S25の場合柱外端での鉄筋のスリップがゼロであることを確認しているため、鉄筋に沿ったコンクリートのひずみの分だけわずかながらスリップゲージの値が少ない。一方、S09の場合、接合部内のはり主筋端は定着不足のため滑動しており、はり筋のひずみ積分ではスリップを評価できない。スリップゲージとピアノ線による値との差は接合部内の主筋端の鉛直ひびわれ幅を含むかどうかによるもので、接合部端面でのスリップを対象とするには、スリップゲージによる測定が合理的であろう。

## 4. 結論

本実験より得られた知見を要約すると、1) 外部接合部のはり主筋の有効な定着のためには、総定着長とのみ込み長との両者を勘案する必要がある。2) のみ込み長さが比較的短い場合、接合部外側のフープ筋も接合部の剛性確保に有効である。3) 接合部のせん断力に抵抗するコンクリートの幅はり側柱筋から曲げ下げ定着筋の余長部までの距離を採るべきである。4) はり筋の接合部からの抜け出し量は定着の良否にかかわらず無視できない。最後にスリップ測定治具を心よく提供戴いた京大藤井栄助手に深謝の意を表明する。

〔参考文献〕 1) J. O. Jirsa, ACI Journal, Apr. 1975 pp141, 2) 森田, 藤井他 第4回JCI年次講演会論文集, 1982, pp273.

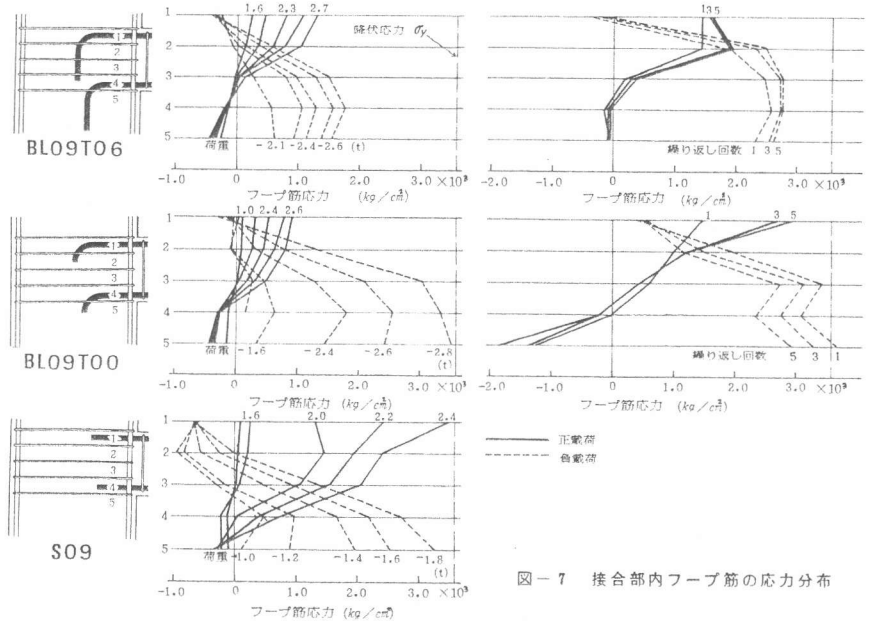


図-7 接合部内フープ筋の応力分布

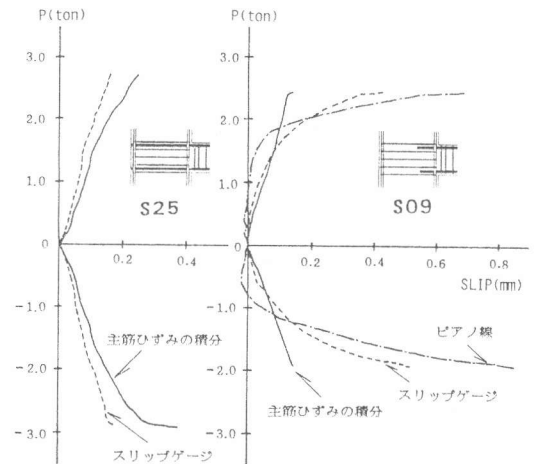


図-8 荷重-スリップ実験曲線