

# 梁主筋を機械式定着としたト形接合部の形状が構造性能に与える影響に関する実験的研究

リハビリテーション工学研究室 三浦耕太

## 1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の柱梁接合部の配筋簡素化を目的として、ト形接合部における梁主筋の定着に機械式定着工法が用いられている。既往の研究では、柱・梁せいのほぼ等しい(以下正方形接合部の構造性能が明らかになっているが、柱せいと梁せいの大きく異なる(以下長方形接合部に関する研究例は少ない。また、靱性指針<sup>1)</sup>における現行の接合部せん断耐力式は、図1のように正方形接合部を想定して抵抗機構の角度を仮定しているため、長方形接合部に関しては適切な評価ができないと推測される。そこで、本研究では、正方形及び長方形接合部を持つ試験体の静的加力実験を行い、接合部形状が破壊性状や耐力に及ぼす影響について検討した。

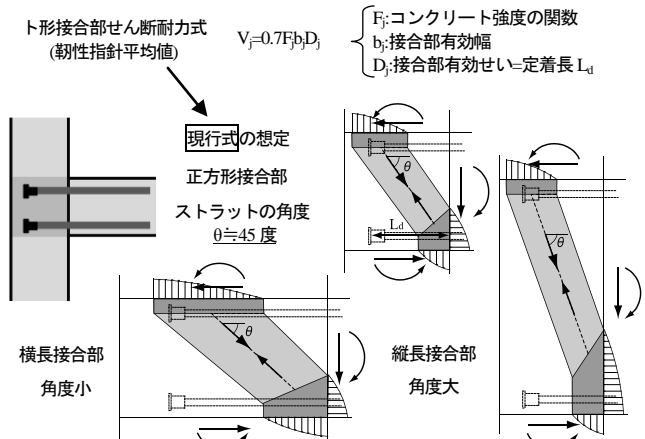


図1 機械式定着とせん断抵抗機構(ストラット)の角度

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体概要

試験体は1/2スケールのRC造建物のト形部分架構5体とした。代表的な3体の諸元を表1に示す。No.3は正方形接合部のせん断破壊型とし、コンクリート強度を21N/mm<sup>2</sup>とした。No.4, No.5試験体はNo.3に対して柱せいあるいは梁せいを2倍とした横長及び縦長接合部の試験体である。No.4は定着破壊型とした。

### 2.2 実験方法

梁反曲点位置に取り付けた油圧ジャッキにより正負交番繰り返し漸増載荷した。柱には装置安定用軸力10kNを加えた。但し、No.5試験体のみ、一定軸力336kN(軸力比0.1)を加えた。

## 3. 実験結果

荷重変形角関係を図2に、破壊状況を図3に示す。

### 3.1 破壊経過

いずれの試験体においても、層間変形角±1/400rad. ~ 1/200rad.において、引張側梁主筋の定着部を基点とした接合部せん断ひび割れが発生した。No.3試験体では、±1/50rad.時に最大耐力に達した後、接合部のひび割れが柱背面にまで貫通し、最終破壊に到った。No.4試験体では、±1/33rad.時に最大耐力に達した後、接合部のひび割れに代わって梁危険断面のひび割れが開き、定着破壊に到った。No.5試験体では、-1/100, +1/67rad.時に最大耐力に達し、最終的には接合部の被りコンクリートが完全に剥離してせん断破壊した。他の試験体と比べるとひび割れ本数が多く、角度が縦方向に傾いていた。

### 3.2 最大耐力

No.3試験体では、正側負側共に接合部せん断耐力計算値とほぼ等しい耐力を示したが、No.5では計算値を大きく下回り、靱性指針が危険側の評価を与える結果となった。No.4は定着耐力破壊したものの、接合部せん断耐力計算値に対して正側で1.1倍の値を示した。

## 4. 接合部せん断耐力の評価

### 4.1 ストラット機構のモデルと耐力算定式

図3に示すように、柱、梁危険断面のコンクリート圧縮領域

表1 試験体一覧

試験体名	No.3	No.4	No.5	
破壊形式	接合部せん断	定着	接合部せん断	
コンクリート強度	21N/mm <sup>2</sup>			
梁	スパン(mm)	3800		
	断面(mm)	350×450	350×900	
	引張主筋	4-D25(SD980)		
	横補強筋(比)	2-D10@60(SPR785)(0.68%)		
	定着長(mm)	300	600	300
柱	スパン(mm)	2200		
	断面(mm)	400×400	400×800	400×400
	全主筋	12-D22(SD490)		
横補強筋(比)	4-D10@100(SPR785)(0.71%)			
接合部	横補強筋(比)	2-D10@100(3組)(SD295)(0.31%)	2-D10@100(7組)(SD295)(0.31%)	

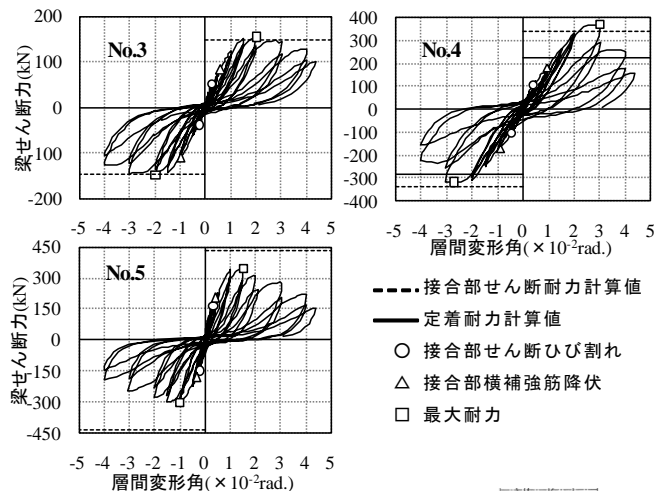


図2 荷重変形角関係

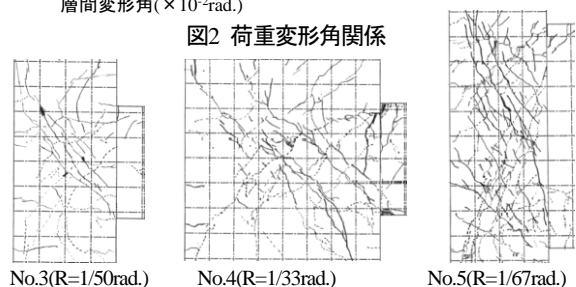


図3 破壊状況(正側最大耐力時)

で囲まれた部分（圧縮ストラット）により、せん断力が伝達されると考えると、接合部せん断耐力  $V_{jsu}$  は式(1)で表される。

$$V_{jsu} = \tau_h w_s b_j = (v_j \sigma_B / 2) \sin 2\theta w_s b_j \quad (1)$$

- (1) 接合部中央を破壊面とし、ストラット幅  $w_s$  を取る。
- (2) 図3の線分  $ab$  の中点  $a'$  と  $cd$  の中点  $c'$  を結んだ直線の水平方向からの傾きをストラット角度  $\theta$  とし、圧縮ストラット内において、角度  $\theta$  で一様な主応力  $\sigma_1$  が生じていると考える。
- (3) 最大耐力時には  $\sigma_1$  が有効圧縮強度  $v_j \sigma_B$  に達している。接合部の有効係数  $v_j$  は、柱のせん断耐力算定に用いる有効係数  $v$  を基にして式(2)により求める。

$$v_j = \alpha(0.7 - \sigma_B / 200)(1 - 20\gamma_p) \quad (2)$$

- $\gamma_p$  は接合部せん断変形角であり、 $\alpha$  は接合部では柱よりも有効圧縮強度が高くなることを考慮する補正係数である。
- (4) モーメントの応力円の理論より、 $\sigma_1$  を水平方向のせん断応力度  $\tau_h$  に換算する。接合部せん断耐力  $V_{jsu}$  は、 $\tau_h$  に  $w_s$  及び接合部有効幅  $b_j$  からなるストラット面積をかけたものとなる。

#### 4.2 実験データを用いた圧縮領域の算定方法

柱・梁危険断面における軸力とモーメントの釣り合い式(3)(4)から、コンクリート合力  $C_{cc}$  の作用位置  $d_5$  を求める。

$$\text{軸力} \quad C_{cc} = \sum_{i=1}^4 T_i + N_t \quad (3)$$

$$\text{モーメント} \quad Q_c H_0 = \sum_{i=1}^4 T_i d_i + C_{cc} d_5 \quad (4)$$

$T_i$  は鉄筋力、 $N, Q_c$  は軸力とせん断力であり、歪ゲージ及びロードセルの実験計測値から求める。 $H_0$  は反曲点から危険断面までの距離、 $d_i, d_5$  は材軸から力の作用位置までの距離である。

圧縮応力は三角形分布と終局状態の中間として図3のような分布を想定し、最大点から合力  $C_{cc}$  作用位置までの距離の2.5倍を圧縮領域の幅とする。

#### 4.3 ストラット幅と角度の算定

4.2 で求めた圧縮領域から算定したストラット幅と角度を図4に示す。ストラット幅の梁主筋定着長に対する比 ( $w_s/L_d$ ) については、大きな差は見られなかった。一方、接合部形状により決定される角度  $\theta_0$  ( $\tan \theta_0 = d/L_d$ ) が大きくなるにつれ、ストラット角度  $\theta$  も大きくなるという傾向が確認できた。縦長接合部では  $\theta$  が大きくなることでせん断耐力が低下し、横長接合部では  $\theta$  が小さくなることで耐力が上昇すると考えられる。

また参考として、曲げ解析により求めた圧縮領域から算定した結果を示した。実験データを用いたものよりも幅、角度共に小さくなっている。これは、曲げ解析では、接合部のひび割れに抵抗する形で鉄筋の歪が引張側へシフトすること等、接合部の損傷が柱梁危険断面の応力状態に与える影響を評価できないためである。以上を踏まえ、本論文では、実験データから求めた各パラメータ値を耐力算定に用いることとした。

#### 4.4 接合部せん断耐力の算定結果

式(1)によって接合部せん断耐力を評価した結果を表3に、接合部形状と耐力の関係を図5に示す。ここで  $\alpha$  は、No.3 において実験値と計算値が等しくなるよう、 $\alpha=1.74$  とした。また、ストラット機構による接合部最大せん断応力度計算値は、 $\tau_{jsu} = V_{jsu} / b_j L_d$  により求めた。

$d/L_d$  が大きくなる、つまり接合部形状が縦長になるに従って耐力が低くなるという実験結果の傾向を捉えられており、

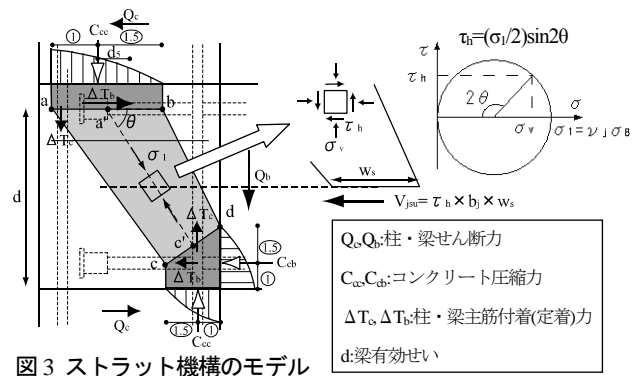


図3 ストラット機構のモデル

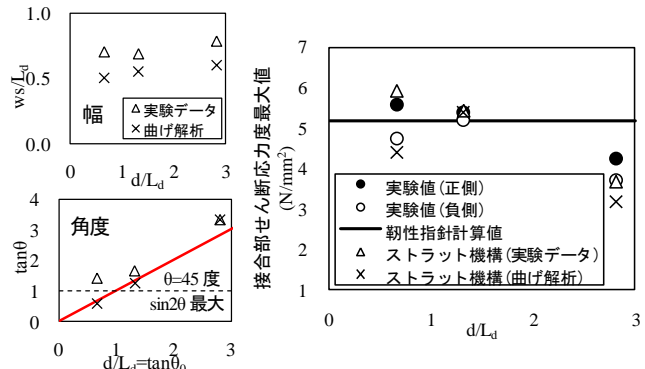


図4 接合部形状とストラット形状の関係

図5 接合部形状と耐力の関係

表3 ストラット機構による接合部せん断耐力計算結果

試験体名	No.3	No.4	No.5
コンクリート圧縮強度 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	23.8	23.5	24.7
接合部せん断変形角 $\gamma_p$ ( $\times 10^{-2}$ rad.)	1.30	1.25	1.56
有効係数 $v_j$	0.75	0.76	0.69
有効圧縮強度 $v_j \sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	17.8	17.8	17.0
ストラット角度 $\theta$ (度)	58.6	54.4	73.2
$\sin 2\theta$	0.89	0.95	0.55
ストラット幅 $w_s$ (mm)	205	420	235
接合部有効せい $b_j$ (mm)	375	375	375
ストラット機構計算値 $\tau_{jsu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	5.42	5.91	3.68
靱性指針計算値 $\tau_{ju(av.)}$ (N/mm <sup>2</sup> )	5.15	5.10	5.28
実験値 $\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	5.40	5.56	4.23

ストラット機構による耐力算定の有効性が確認できた。

#### 5. まとめ

- (1) 正方形接合部の No.3 及び縦長接合部の No.5 は接合部せん断破壊したが、横長接合部の No.4 は定着破壊した。縦長接合部では、他の試験体に比べて、ひび割れの角度が立っていた。
- (2) 正方形接合部では靱性指針による接合部せん断耐力計算値とほぼ等しい耐力を示したが、縦長接合部では計算値の 0.8 倍程度であり、危険側の評価となった。一方横長接合部では定着破壊したものの、接合部耐力計算値の 1.1 倍の値を示した。
- (3) ストラット機構を接合部せん断抵抗機構と考え、コンクリート有効圧縮強度及びストラット角度、幅をパラメータとする接合部せん断耐力式を提案した。
- (4) 実験データから各パラメータの値を算出し、接合部耐力を算定した結果、形状が縦長になる程ストラットの角度が立ち、耐力が下がるという傾向を捉えることができた。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説、2001.9
- 2) 東京鐵鋼株式会社：プレートナット工法設計施工指針、2008
- 3) 田中信也ら：鉄筋コンクリート造内部梁・柱接合部の破壊性状への接合部アスペクト比の影響、コンクリート工学年次論文集、vol.26、No.2、pp.433-438、2004