

|         | YT-1 | YT-2 | YT-3 |
|---------|------|------|------|
| a. b    | P00  | 125  | 125  |
| s. h    | 100  | 100  | 100  |
| r. H    | 300  | 350  | 325  |
| J. B    | 184  | 234  | 206  |
| n. t. f | 16   | 16   | 19   |

接合部寸法(単位はmm)

図-2.2 接合部詳細図

2.2 加力及び測定方法

加力装置を図-2.4に示す。加力は、柱に0.1Fcの定軸力を与え、梁端部に100tfアクチュエータで行った。載荷履歴は、層間部材角  $R_s = 1/200, 1/100, 1/50, 1/33$ 、で正負2回(1/200のみ1回)の逆対称繰返し載荷を行い、最後に1/20の正加力を1回行った。各部材の変形及び層間変形は、十字型測定フレームに取り付けた変位計で測定し、接合部せん断変形角は、十字型フレームと一文字測定フレームの相対変位として測定する。鉄筋、鉄骨の歪は、歪ゲージを貼付して測定を行い、接合部コンクリートパネルには6個のモールドゲージを埋め込み、圧縮ストラットの歪を測定した。直交方向エンドプレートのせん断変形は、その中央に三方向ゲージを貼付し、測定した。

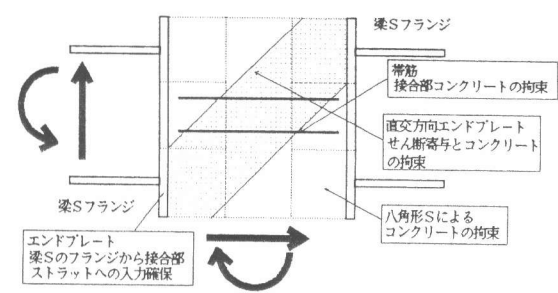


図-2.3 応力伝達機構

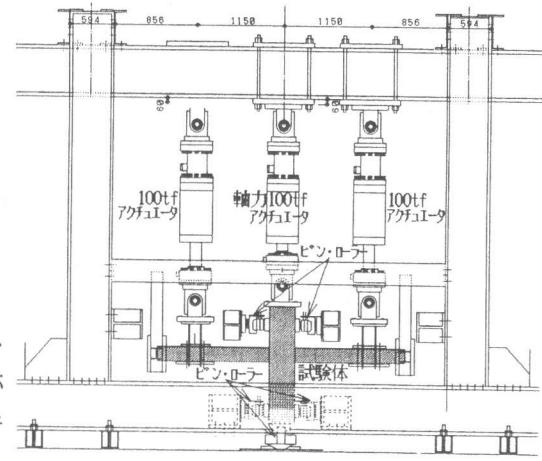


図-2.4 加力装置図

3. 実験結果

3.1 破壊状況

図-3.1にYT-1, 2, 3の最終ひび割れ状況図を示す。YT-1, 2, 3ともに、柱の隅筋に沿ってひび割れが入り、変位を増すごとに広がりを見せた。最終的には、接合部四隅のコンクリートの劣化が顕著に見られ、YT-2においてはコンクリートの剥落も見られた。また、接合部梁端エンドプレートとコンクリートの接触面で支圧的な圧壊が見られた。

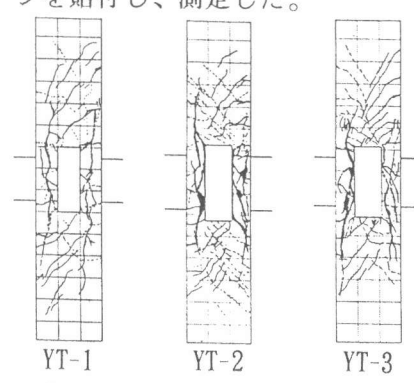


図-3.1 最終ひび割れ状況図

表-3.1 実験結果一覧表

| 試験体名 | 実験値 | 最大耐力              |      |                   |      |                    |      |                    |      |        |       |
|------|-----|-------------------|------|-------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|--------|-------|
|      |     | 梁曲げ <sup>1)</sup> |      | 柱曲げ <sup>2)</sup> |      | 柱せん断 <sup>3)</sup> |      | 柱せん断 <sup>4)</sup> |      | パネルせん断 |       |
|      |     | 計算値               | 実/計  | 計算値               | 実/計  | 計算値                | 実/計  | 計算値                | 実/計  | 実験値    |       |
| YT-1 | +   | 26.9              | 19.3 | 1.40              | 33.2 | 0.81               | 53.9 | 0.50               | 24.8 | 1.09   | 160.2 |
| YT-2 | +   | 35.7              | 28.9 | 1.23              | 40.1 | 0.89               | 64.3 | 0.55               | 30.8 | 1.16   | 159.2 |
| YT-3 | +   | 37.8              | 28.5 | 1.33              | 42.5 | 0.89               | 78.9 | 0.48               | 42.4 | 0.89   | 197.1 |

(注) 1)~4)のみ各耐力は柱せん断力に換算した  
 1)  $bMu = Mp = \sigma_y \times Z_{px}$   
 2)  $cMu = 0.8 \times at \times \sigma_y \times D + 0.5 \times N \times D \times (1 - N / (b \times D \times Fc))$   
 3) 上段はA法による計算値  
 4) 修正片式による計算値  
 $r_p = Q_p / \text{有効断面積}$   
 $Q_p = (MB1 + MB2) / d_B - Q_c$   
 $Q_c = (P1 + P2) / 2 \times L / H$   
 $P1$ : 南梁のせん断力  
 $P2$ : 北梁のせん断力  
 $d_B$ : (柱幅+はり幅)/2  
 $Q_p$ : パネルのせん断力  
 $Q_c$ : 柱のせん断力  
 $MB1$ : 南梁フェースモーメント  
 $MB2$ : 北梁フェースモーメント  
 $P1$ : 南梁のせん断力  
 $P2$ : 北梁のせん断力  
 $D$ : 柱全せい  
 $d_B$ : 有効梁せい

3.2 履歴特性

表-3.1に実験結果一覧を示す。また、図-3.2に昨年行った梁降伏型のUYN-2、YT-2の層せん断力-層間変形関係、図-3.3にYT-2,3の正載荷時の各部材の全体変形に占める割合を示す。図-3.2

の点線は梁の全塑性耐力である。3体ともに耐力の低下は観測されなかった。図-3.2に見られるように、梁降伏型の履歴はかなり安定しているが、入力が大きくなることより、RC部材のせん断特有の逆S字形の特性が濃くなってくる。YT-2,3ともに梁の全塑性耐力に達しているが、S梁のひずみ硬化による耐力上昇により接合部せん断変形が大きく進展した。接合部せん断変形は全体変形の約40%、30%も占めており、破壊モードを梁降伏後接合部せん断降伏と判断した。

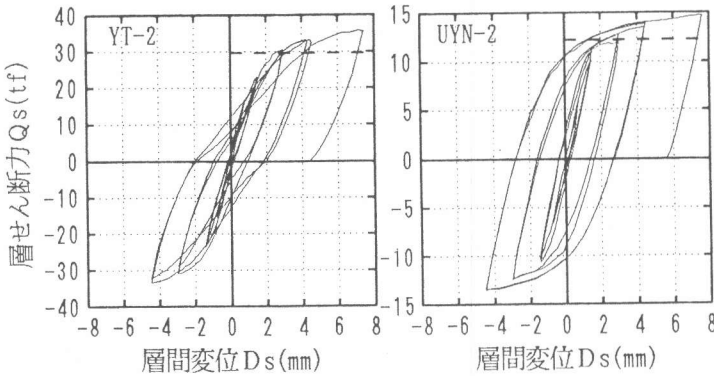


図-3.2 層せん断力-層間変位関係

### 3.3 接合部せん断力-せん断変形関係

図-3.4にYT-2,3の接合部せん断力 ( $Q_P$ ) - せん断変形 ( $\gamma_P$ ) 関係を示す。図中の○点は、直交方向エンドプレートのせん断降伏を示す。直交方向エンドプレートは、YT-2,3ともに接合部せん断変形が  $11.4 \times 10^{-3}$ 、 $7.1 \times 10^{-3}$  RADでせん断降伏しており、接合部のせん断抵抗要素であることが分かった。また、直交方向エンドプレートが降伏してから剛性が顕著に低下しているのが分かる。図-3.5に層間部材角  $1/50$  RADまでの接合部コンクリートの負担せん断力 ( $Q_{PC}$ ) -  $\gamma_P$  関係の包絡線を示す (YT-1は  $1/100$  RADまで)。  $Q_{PC}$  は、 $Q_{PC} = Q_P - Q_{PS}$  ( $Q_P$ : 接合部せん断力実験値、 $Q_{PS}$ : 直交方向エンドプレート負担せん断力) として求めた。ここで  $Q_{PS}$  は、直交方向エンドプレートに貼付した三方向ゲージより求めたせん断ひずみ  $\gamma_s$  を用い、図-3.6のように仮定した  $Q_{PS} - \gamma_s$  関係より算出した。図-3.5から分かるように、YT-1,2の初期剛性及び第二剛性に関してはほぼ一致しており、有効体積及び梁幅の違いによる影響は見られなかった。超高強度コンクリートを用いたYT-3は、普通強度YT-1,2に比べ高い剛性を示している。

### 3.4 接合部コンクリート有効断面積

接合部コンクリートのひび割れせん断力 ( $E Q_{CR}$ ) の実験値から有効断面積について検討を行った。接合部内部のひび割れは接合部が鉄板で覆われているため、実験中の観測は不可能であるが、接合部内部に埋め込

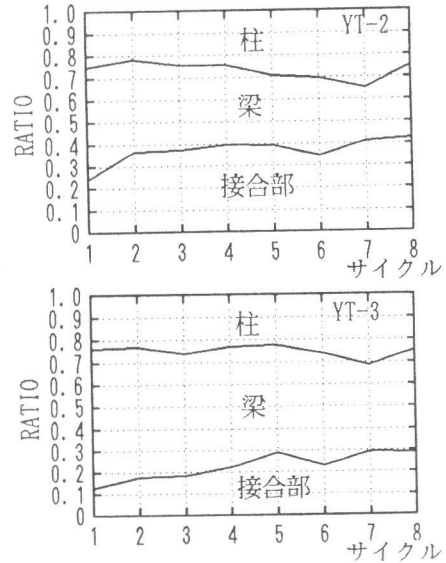


図-3.3 柱・梁・接合部変形割合図

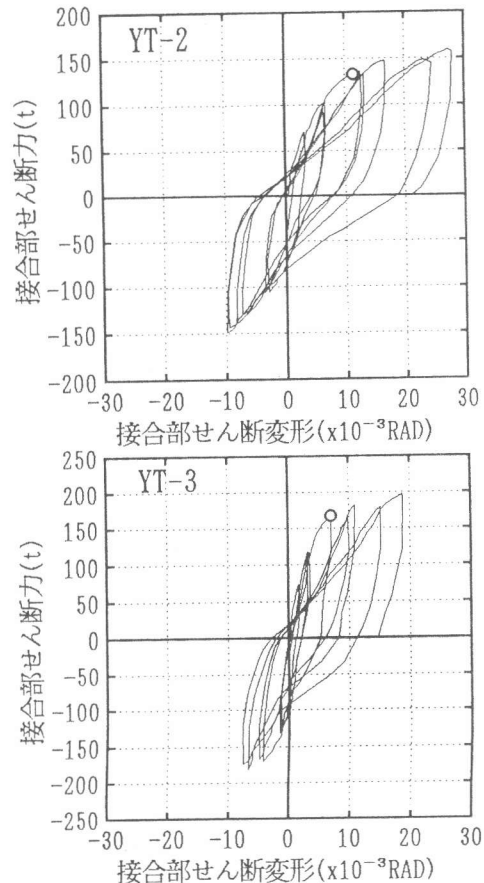


図-3.4 接合部せん断力-せん断変形角関係

まれたモールドゲージのひずみデータを参考にし、図-3.5の $Q_{PC}-\gamma_P$ 関係において、初期剛性から第2剛性になる折点を初期せん断ひび割れ点と考えた(図中の矢印)。また、せん断ひび割れ時の接合部コンクリートの有効断面積( $E A_c$ )は、主応力度式\*1からひび割れせん断強度( $c \tau_{CR}$ )を求め、 $E A_c = E Q_{CR} / c \tau_{CR}$ として算出した。それらの計算結果を表-3.2に示す。YT-1,2の $E A_c$ は、梁幅の異なることの影響は見られず、柱幅/2×柱せいとした時と良い対応を示した。超高強度コンクリートを用いたYT-3においては小さな値となった。本論のディテールにおいては、接合部コンクリートをかなり拘束するので、せん断ひび割れ時の有効断面積を終局時まで保持するものと考え、指標としてコンクリートの有効断面積  $A_c = \text{柱幅} / 2 \times \text{柱せい}$  として検討を進めた。

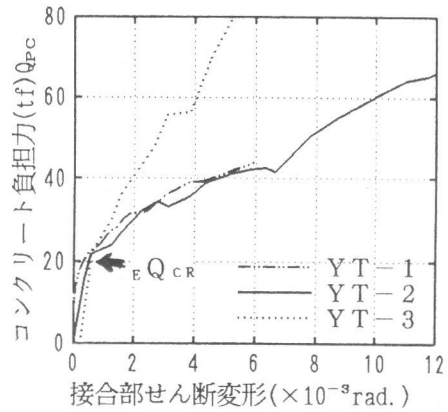


図-3.5  $Q_{PC}-\gamma_P$ 関係

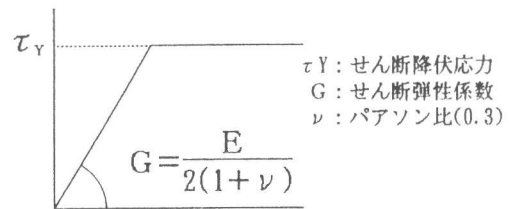


図-3.6 鉄骨せん断応力-せん断ひずみ関係モデル

表-3.2 ひび割れ発生時せん断力及び有効断面積

|      | ひび割れ発生時<br>せん断力 $E Q_{CR}$<br>(t) | ひび割れせん断*1<br>強度(計算値)<br>$c \tau_{CR}$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $E Q_{CR} / c \tau_{CR}$<br>$E A_c$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_c$<br>(cm <sup>2</sup> ) *2 | $\frac{E A_c}{A_c}$ |
|------|-----------------------------------|--|---|--------------------------------|---------------------|
| YT-1 | 22.3                              | 46.8   | 476   | 450                            | 1.06                |
| YT-2 | 21.7                              | 46.8   | 463   | 450                            | 1.03                |
| YT-3 | 21.9                              | 76.0   | 288   | 450                            | 0.64                |

\*1)  $c \tau_{CR} = \sqrt{(ft \cdot \sigma_0 + ft^2)}$   
 $F_c$ : コンクリート強度  
 $ft = 1.6 \sqrt{F_c}$   
 $\sigma_0$ : 軸応力度

\*2)  $A_c = \text{柱幅} / 2 \times \text{柱せい}$

### 3.4 圧縮ストラットのひずみ

図-3.7に層せん断力とYT-2試験体の接合部中央のコンクリートの中に埋め込んだモールドゲージによる圧縮ストラットのひずみとの関係を示す。実験終了時には、約7000 $\mu$ 程度の値を示した。コンクリートシリンダー最大耐力時ひずみに比べかなり大きなひずみを示しているが、耐力の低下は見られなかった。このことから、接合部コンクリートがかなり拘束され、強度、靱性ともに上昇したことが考えられる。

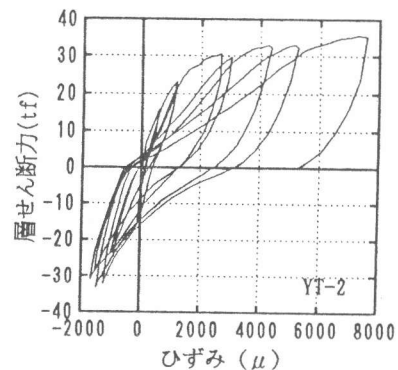


図-3.7 ストラットのひずみ

## 4. 接合部せん断耐力の評価

4.1 接合部のせん断抵抗要素として、コンクリート圧縮ストラットと直交方向エンドプレートを考えると、接合部せん断耐力評価式として(1)式があげられる。

$$Q_P = k_c \cdot 6 \cdot \sqrt{\sigma_B} \cdot A_c + 2 \cdot \frac{s \sigma_y}{\sqrt{3}} \cdot A_s \quad (1)$$

$k_c$ : コンクリートの拘束効果有効係数

$A_s$ : 鉄骨部断面積(直交エンドプレートの断面積)

$A_c$ : コンクリートの有効断面積 ( $\frac{\text{柱幅}}{2} \times \text{柱せい}$ )

ここで右辺第1項は、コンクリートの負担力を表し、 $6\sqrt{\sigma_B}$ は、同研究室の柏崎等による高強度材料を用いたRC柱梁接合部実験<sup>8)</sup>から得られた最大せん断応力値で、第2項は直交エンドプレートの最大せん断力である。ここで実験結果から(1)式により $K_c$ を逆算すると右のようになり、試験体により多少のばらつきがあるが約1.8程度であった。

YT-1 → 1.93  
 YT-2 → 1.71  
 YT-3 → 1.63

#### 4.2 既往の研究との比較

既往の研究<sup>5)</sup>において、柱RC・梁Sの接合部ディテールを4形式に分類し、柱RC・梁Sの接合部の統一的なせん断耐力評価法の一案が挙げられている。この評価法に従い、既往の実験試験体とYT-1,2 試験体について、(2)式により接合部せん断耐力を評価し、接合部コンクリートの拘束度に応じた有効係数 ( $k_{SRC}$ ) についての比較を行った。ここで、(2)式のコンクリートの最大せん断応力  $0.3\sigma_B$  は、普通強度 ( $\leq F_c=360$ ) に対するせん断応力値であり、超高強度コンクリートに対しては適用されないため、YT-3の比較は除いた。また、この評価方法ではふさぎ板及び、エンドプレートはコンクリートの拘束に効くものとして、コンクリートの負担量に入れて評価することにしてあるが、YT-1,2の直交方向エンドプレートは、かなり厚く、主要なせん断抵抗要素であるので、(2)式の  $A_w$  に直交方向エンドプレートの断面積を代入し計算した。

横軸を各試験体に関して4形式のディテールの形状に分け、縦軸に  $k_{SRC}$  の値を取ったグラフに各データをプロットしたものを図-4.1 に示す。

$$Q_p = k_{SRC} \times 0.3\sigma_B \times A_{c1} + w\sigma_y / \sqrt{3} \times A_w \quad (2)$$

$k_{SRC}$  : 接合部コンクリートの拘束度に応じた有効係数

$\sigma_B$  : コンクリート圧縮強度

$A_{c1} = \frac{\text{柱幅}}{2} \times \text{柱せい}$

$w\sigma_y$  : ウェブ鉄骨の引張降伏応力

$A_w$  : ウェブ鉄骨の水平断面積

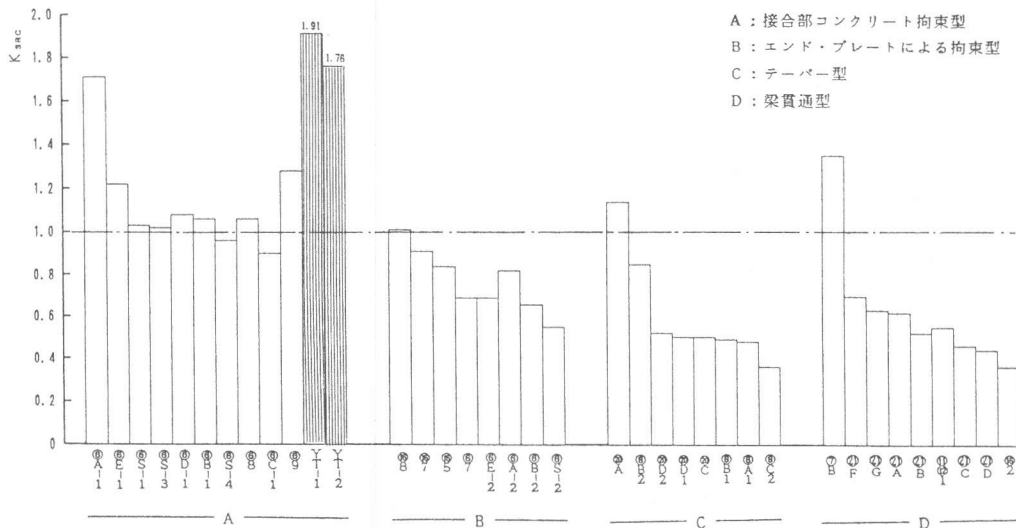


図-4.1 既往の実験試験体における拘束度有効係数 ( $K_{SRC}$ )

YT-1,2は、 $K_{SRC}$ が1.91、1.76となり、他の試験体と比較しても最も大きな値を示している。直交方向エンドプレートおよび八角形スチフナで接合部コンクリートを効果的に拘束していると推察される。ディテールを工夫することにより、SRCもしくはRCの接合部のせん断耐力( $k_{SRC}=1$ )以上の耐力が得られることがわかった。

A形式において、 $K_{SRC}$ が1.0を下回る試験体もみられるが、これらは、坂口等[3]が行った柱せい(Dc)/梁せい(Db)、柱幅(BC)/梁幅(Bb)を大きく変え、部材断面寸法比の接合部せん断耐力に対する影響を見るための試験体である。ここで、Dc/Dbの増加とともに、Bc/Bbの減少に伴い、コンクリートの有効断面積が増加することを指摘している。ここでは、断面の寸法効果等が考慮されていないことが、 $K_{SRC}$ が低めの値となった原因と考えられる。

## 5. まとめ

- (1) 柱RC・梁Sの柱梁接合部において、本研究における接合部ディテールは、コンクリートを拘束することにより、良好な応力伝達機構を示し、十分な変形性能および耐力を示す事が分かった。
- (2) 接合部コンクリートの初期及び第二せん断剛性には、接合部有効体積及び梁幅の違い(YT-1, 2)による影響は見られなかった。
- (4) ひび割れ時せん断力の実験値をひび割れせん断強度の計算値で除することにより求めた接合部コンクリートの有効断面積は、普通強度コンクリート(YT1,2)については、仮定した  $A_c = \text{柱幅} / 2 \times \text{柱せい}$  と良い対応を示した。
- (3) 接合部直交方向エンドプレートがせん断抵抗要素であった。また、上記のように、コンクリート有効断面積を仮定した場合、コンクリートの拘束係数は、約1.8程度であった。  
また今後の課題として、あらゆるディテールを統一的に評価するため、接合部の形状及び鉄骨量がコンクリートの拘束がどの程度影響するか定量的に把握する事が必要である。

## 【参考文献】

- [1] 森田耕次、横山幸夫、平田秀章、石井 匠：鉛直スチフナ形式・SRC柱-Sはり接合部の力学的挙動に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、No413、1990年7月、pp. 53-64
- [2] 森田耕次、石井 匠、藤澤一善：鉛直スチフナ形式・SRC柱-Sはり接合部の力学的挙動に関する研究、鉄骨要素の断面形と接合部耐力、日本建築学会構造系論文報告集、No423、1991年5月、pp. 69-78
- [3] 坂口 昇：鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁で構成される柱梁接合部パネルの耐力、日本建築学会構造系論文報告集、No428、1991年10月、pp. 69-78
- [4] 坂口 昇：鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁で構成される柱梁接合部パネルのせん断力-変形関係、日本建築学会構造系論文報告集、No429、1991年11月、pp. 55-64
- [5] 日本コンクリート工学協会：混合構造研究委員会報告集、1991年12月
- [6] Steel - Concrete Composite Structures. September 26-29 1991 Fukuoka Japan
- [7] 西村泰志、南 宏一：はりS・柱RCで構成される内部柱はり接合部の応力伝達機構、日本建築学会構造系論文報告集、No41、1987年7月、pp. 77-85
- [8] 柏崎隆志、野口 博、超高強度鉄筋コンクリート造内柱・梁接合部のせん断性能に関する実験的研究、日本建築学会学術講演梗概集(東北)、1991年9月、pp. 577-578
- [9] 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説、1987年6月
- [10] 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針(案)・同解説、1988