

論文

[2113] 鉄筋コンクリート内部梁・柱接合部のせん断耐力の検討

正会員○上村智彦（芝浦工業大学工学部）

柏崎隆志（千葉大学大学院）

§ 1. 目的

本研究の目的は、内部接合部の終局耐力時の接合部応力伝達機構について、既往実験データにおける接合部終局耐力に関する特徴を抽出し、検討資料を得ることである。そこで、既往の提案せん断抵抗機構から考えて、内部接合部せん断耐力に影響すると思われる以下に示す主たる因子と、接合部の耐力（破壊モード）及び変形状との関連について検討した。

① 接合部へのせん断入力量 ② 接合部域の梁主筋の付着性状 ③ 最大耐力以前の繰り返し数（最大耐力以降の繰り返しも影響すると思われるが、比較方法が難しく省略） ④ 柱軸力 ⑤ 接合部補強筋量 ⑥ コンクリート強度 ⑦ 接合部の形状寸法 ⑧ 上記因子間の比較検討に際して、最大耐力時の耐力と変形曲線からの抽出点の採り方

§ 2. 影響因子等の取扱い方法

2. 1 せん断入力量と形状寸法及びコンクリート強度（ F_c ）の取扱い（因子：①,⑥,⑦）

1) 接合部へのせん断入力量 比較は梁理論曲げ降伏時の接合部せん断入力量 $t \tau_{py} / F_c$ または、実験に於ける最大耐力時の接合部せん断入力量 $o \tau_{pu} / F_c$ で行う。

$$\left\{ \begin{array}{l} o \tau_{pu} \\ t \tau_{py} \end{array} \right\} = \frac{(1-u-v)}{u v H t_p} \cdot \left\{ \begin{array}{l} P_{max} \\ b P_y \end{array} \right\}$$

$$\left[\begin{array}{l} u : j_c / L \quad (j_c = (7/8) d_c) \quad v : j_b / H \quad (j_b = (7/8) d_b) \\ t_p : \text{パネル有効幅} \quad P_{max} : \text{最大耐力時の梁せん断力} \\ b P_y : \text{梁理論曲げ耐力時の梁せん断力 (梁面位置が降伏)} \\ L : \text{スパン} \quad H : \text{階高} \quad d_c : \text{柱の有効成} \quad d_b : \text{梁の有効成} \end{array} \right.$$

2) 形状寸法 パネル有効幅の取扱いが問題で、梁幅と柱幅の平均値とする。

2. 2 接合部域の梁主筋の付着指標（因子：②,⑤）

次式の付着応力度 τ_{bs} をコンクリート強度 F_c で除した値 τ_{bs} / F_c で評価。接合部内の付着性状を表す指標として、接合部内梁通し筋が接合部内引張側で引張降伏、圧縮側で圧縮降伏したと仮定した時の接合部内に生じる平均付着応力度 τ_{bs} を考える。

$$\tau_{bs} = \frac{d_b}{2 D_c} \cdot \sigma_y, \quad (\sigma_y : \text{梁主筋降伏応力度} \quad d_b : \text{鉄筋の直径} \quad D_c : \text{柱成})$$

多種鉄筋の場合は平均して求める。

$$\tau_{bs} = \frac{n \sigma_y d_b^2 + m \sigma_y'^2 d_b'^2}{2 D_c (n d_b + m d_b')} \left[\begin{array}{l} m, n : \text{異種鉄筋の本数} \\ d_b, d_b' : \text{異種鉄筋の直径} \\ \sigma_y, \sigma_y' : \text{異種鉄筋の降伏応力度} \end{array} \right.$$

本来、接合部域の主筋の付着性状は、上述の τ_{bs} / F_c の値のみではなく、接合部せん断入力即ち、接合部の破壊状況によっても影響を受けると思われる。

2. 3 最大耐力以前の繰り返し数（因子：③,⑥）

最大耐力となる以前の繰り返し数の影響によって、接合部斜めひび割れに伴うコンクリートの

劣化が生じる。この繰り返し数の表現として、最大耐力経験前までの各正サイクルの最大荷重時の接合部せん断応力度の累積 $\sum_i \tau_p / F_c$ または、 $\sum_i \tau_p / \theta \tau_{pu}$ で評価。

($i \tau_p$: i サイクルの最大荷重時の接合部せん断応力度、 i サイクル < 最大荷重サイクル)

2. 4 接合部補強筋量 (因子: ⑤)

補強筋が多いと、機構が接合部コンクリートの剛性劣化による場合は、接合部変形が抑制されると思われる。また、接合部終局強度には、その効果が明確ではない。ここでは、補強筋比 ρP_w によって評価する。

$$a_w \text{ 使用の場合: } \rho P_w = \frac{a_w}{b_c x} \quad \text{又は、} \sum a_w \text{ 使用の場合: } \rho P_w = \frac{\sum a_w}{b_c j_b}$$

a_w : 一組のフープ筋の断面積 $\sum a_w$: 梁応力中心間距離区間のフープ筋の全断面積
 x : フープ筋の間隔 b_c : 柱幅

2. 5 最大耐力時等、耐力と変形曲線からの採り方 (因子: ⑥)

最大耐力時等の荷重と変形の採用時点の曲線が、図-1の曲線上のA点(降伏以前の点、以下A TYPEと呼ぶ)、B点(降伏していると判断できる点、B TYPE)、C点(降伏棚部分で変形進行している状態、C TYPE)のどの時点の状態であるかで、評価が異なってくる。

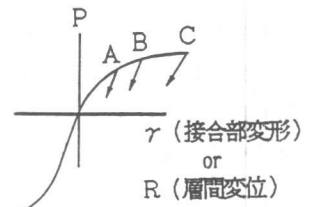


図-1 抽出点の採り方

2. 6 柱軸力 (因子: ④)

柱軸力の評価は、現在までの統計的処理などによる検討(文献[1])からは、本研究で使用している軸応力度の範囲(0.1 F_c ~0.3 F_c)では、接合部の最大耐力には影響ないと判断できる。

§ 3. 対象とする接合部試験体

ここで対象とする試験体は、過去に我国で実験され、論文中に必要データが明示されたもの(総数54体、文献[2])で、①形状は直交梁を持たない十字型、②主筋は、接合部域で通し配筋されたもの、③接合部は、フープ筋で補強されたもの、④コンクリートは、原則として普通コンクリート(4体は軽量コンクリート)を使用したもの、⑤梁、柱の断面寸法は原則として15cm×15cm以上のものとした。(但し、梁幅が10cmのもの1体、12cmのもの2体が含まれている。)

§ 4. 影響因子に関する検討結果

4. 1 付着性状と最大耐力及び破壊モードとの関連

接合部域の梁主筋の付着性状は、付着指標 τ_{bs} / F_c と接合部へのせん断入力量に影響されると思われる。接合部域の梁主筋の付着性状について検討す

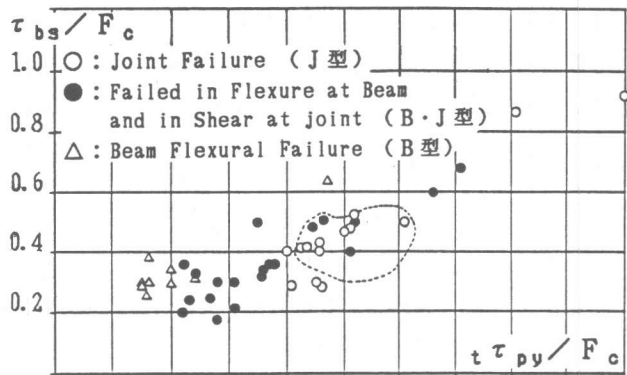


図-2 付着指標-梁理論曲げ耐力時接合部せん断入力

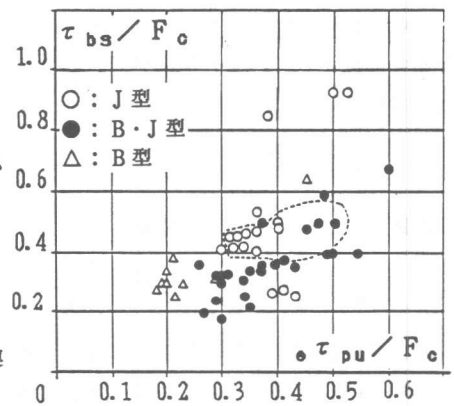


図-3 付着指標-最大耐力時接合部せん断入力

るため、図-2と図-3に、縦軸は同じ τ_{bs}/F_c を、横軸に $t\tau_{py}/F_c$ と、 $e\tau_{pu}/F_c$ をとり示した。

1) 試験体の傾向として、図-2に見られるように、梁理論曲げ耐力($t\tau_{py}/F_c$)が増加すると、 τ_{bs}/F_c も増し、付着性 $\Sigma_i \tau_p / e\tau_{pu}$ が比例的に悪くなる。又、梁理論曲げ耐力と τ_{bs}/F_c が増加するにつれて、破壊モードが、梁曲げ降伏型(以下、B型と呼ぶ)→梁曲げ降伏後に接合部破壊型(B・J型)→接合部破壊型(J型)と変化する傾向がある。

2) 破壊時の $e\tau_{pu}/F_c$ と $t\tau_{py}/F_c$ の比較を行ってみると、B型、B・J型は $t\tau_{py}/F_c < 0.35$ の時、破壊時の $e\tau_{pu}/F_c$ の値が、 $t\tau_{py}/F_c$ 以上である場合が多くある。

3) τ_{bs}/F_c と $t\tau_{py}/F_c$ の値が同じ程度の試験体でもB・J型がJ型より $e\tau_{pu}/F_c$ が大きい場合がある。(両図の○の部分)

4.2 繰返し数と最大耐力及び、破壊モードとの関連

1) 図-4で、 $\Sigma_i \tau_p / e\tau_{pu}$ 縦軸の値は、およそ最大荷重までの繰返し数

(3.0で4サイクル, 2.0で3サイクル, 5.0で7サイクル)に対応する。既往の試験体は、B・J型(13, 15, 16, 17)とB型を除き $\Sigma_i \tau_p / e\tau_{pu} \leq 3.0$ で、接合部斜めひび割れ発生程度の荷重を3~4回位受けて、最大荷重を経験するに到っている。

2) $\Sigma_i \tau_p / F_c - e\tau_{pu}/F_c$ の図-5で、破壊モードに剛性劣化、繰返しによる影響があるとすれば、任意の $e\tau_{pu}/F_c$ の値に対し、 $\Sigma_i \tau_p / F_c$ の大きい値の部分に接合部破壊モードが分布するはずである。しかしながら、この図には、繰返し数による破壊モードの特徴はない。

3) R_{pmax} は最大耐力時の層間部材角、 R_p は最大耐力

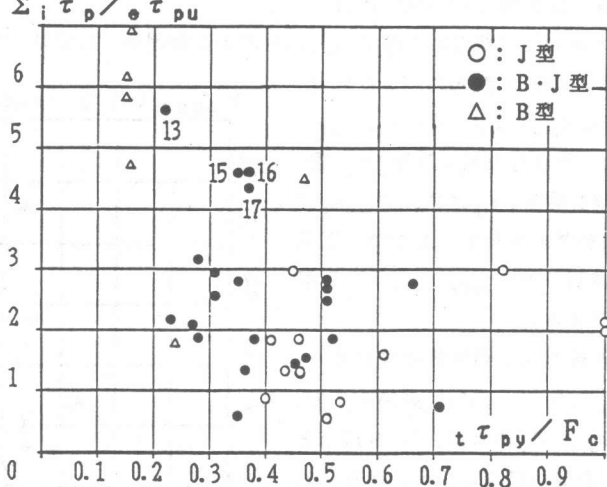


図-4 繰返し数-梁理論曲げ耐力時接合部せん断入力

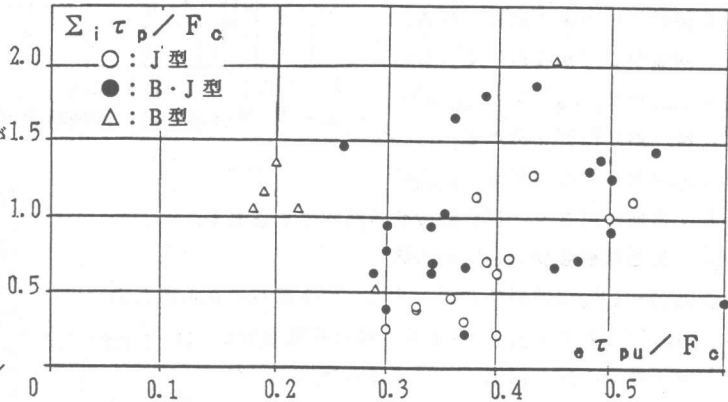


図-5 繰返し数-最大耐力時接合部せん断入力

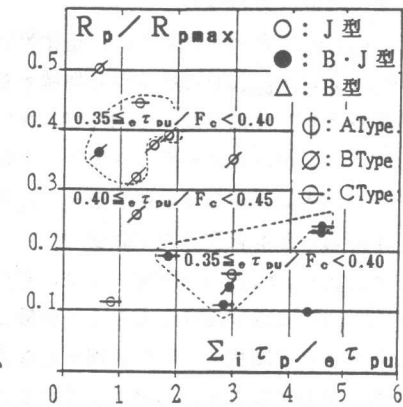


図-6 接合部変形割合-繰返し数

時の接合部変形による層間部材角である。 $0.35 \leq \sigma \tau_{pu} / F_c \leq 0.40$ の範囲の試験体に対し、図-6を作成してみると、 $\Sigma_i \tau_p / \sigma \tau_{pu}$ の値、即ち繰り返し数に関係なくJ型は R_p / R_{pmax} がB・J型より大きい。また、その他の試験体についても同様であった。

4.3 最大耐力時の接合部変形

最大耐力時の接合部変形 γ_{pmax} に対する影響因子としては、① γ_{pmax} の採取(荷重)時点、②接合部へのせん断入力レベルに対応する $t \tau_{py} / F_c$ 、又は、 $\sigma \tau_{pu} / F_c$ 、③接合部補強筋比 $p P_w$ 、④繰り返し数 $\Sigma_i \tau_p / F_c$ 、 $\Sigma_i \tau_p / \sigma \tau_{pu}$ が考えられる。そこで、以下には各因子の γ_{pmax} に対する影響を検討する。

1) 繰り返しの影響について

$\gamma_{pmax} - t \tau_{py} / F_c$ の図-7で、 $\Sigma_i \tau_p / F_c$ の値が、0.8以上と0.8未満の場合に分け、繰り返しの影響をみると、繰り返しによる特徴はないように思われる。又、同様のことが掲載していないが $\gamma_{pmax} - \Sigma_i \tau_p / \sigma \tau_{pu}$ の図で、繰り返し指標である $\Sigma_i \tau_p / \sigma \tau_{pu}$ が大きくなっても γ_{pmax} は増加する傾向になく、逆に減少する傾向にすらある。

2) 接合部補強筋比 $p P_w$ の影響

$\gamma_{pmax} - p P_w$ の関係を、図-8に、接合部へのせん断入力レベル($\sigma \tau_{pu} / F_c$)と γ_{pmax} の採り方による区別をして示してある。尚、同図についてせん断入力レベル($t \tau_{py} / F_c$)についても行ったが同様な傾向であったので省略した。

$\sigma \tau_{pu} / F_c$ の大きさ別及び、全体的にみて、 $p P_w$ と共に γ_{pmax} がどのように増減するかを検討してみると、分散が激しく $p P_w$ が大きいからと言って γ_{pmax} が小さく抑えられるという特徴はない。

3) 最大耐力時の接合部変形 γ_{pmax} と接合部変形 γ_{pmax} の採取荷重時点の影響

$\gamma_{pmax} - \sigma \tau_{pu} / F_c$ の図-9で、変形採取時点A点、B点、C点で採取した場合が分散して分布しており、充分降伏し、降伏棚部分となる点、C点の場合が必ずしも γ_{pmax} が大きくなるとは限らない。

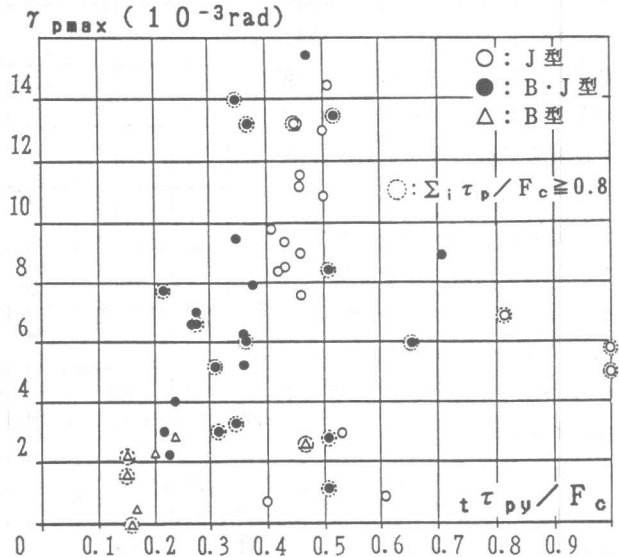


図-7 接合部変形-梁理論曲げ耐力時接合部せん断入力

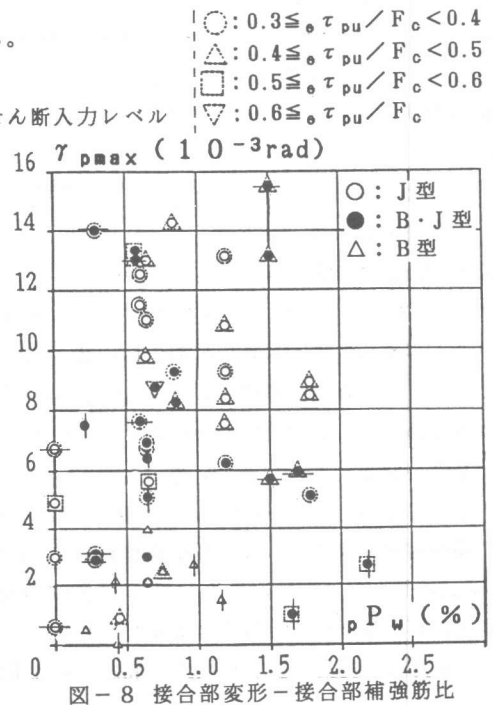


図-8 接合部変形-接合部補強筋比

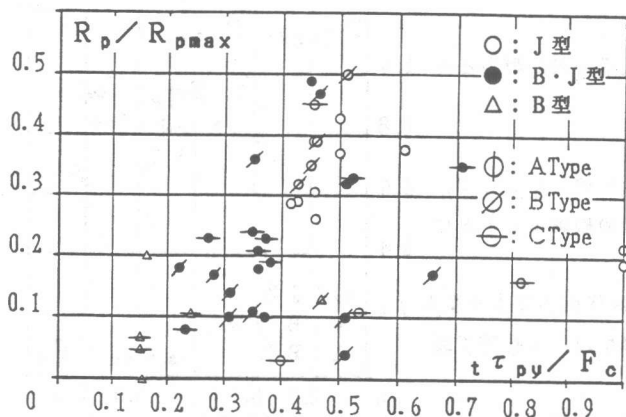


図-10 接合部変形割合 - 梁理論曲げ耐力時接合部せん断入力

$\gamma_{pmax} - t\tau_{pu}/F_c$ の図-7で、 $t\tau_{pu}/F_c$ が増加するに従って、 γ_{pmax} は増加する。一方、 $e\tau_{pu}/F_c$ は、 $e\tau_{pu}/F_c = 0.4$ 前後で γ_{pmax} が上下に分散し、 γ_{pmax} の上部は $t\tau_{pu}/F_c$ が大きい。

以上より接合部せん断入力量で限界が生ずるが、梁主筋量が多いほど接合部変形は進行する。

4.4 最大耐力時の層間変位に占める接合部変形の割合

ここでは、最大耐力時での接合部へのせん断入力量によって、最大耐力時の層間変位に占める接合部変形の割合が、どのような影響を受けるかを検討するものである。

1) $t\tau_{pu}/F_c$ が0.5の値までは、 R_p/R_{pmax} が徐々に増加する。($R_p/R_{pmax} - t\tau_{pu}/F_c$ の図-10参照) $t\tau_{pu}/F_c$ が0.5以上では、 R_p/R_{pmax} の値は減少傾向となる。又、J型はB・J型より R_p/R_{pmax} の値が大きい。

2) $R_p/R_{pmax} - e\tau_{pu}/F_c$ の図-11で、 $e\tau_{pu}/F_c$ が0.4の値までは、 R_p/R_{pmax} は徐々に増加するが、それ以降 R_p/R_{pmax} は増加しない。

4.5 最大耐力時の2倍の層間変位時の耐力低下

最大耐力時以降の耐力低下の度合をみるために、変形曲線上、最初に最大耐力時の2倍の層間変位となった場合の荷重(P_{2max})と最大荷重(P_{max})の比をとり、その耐力低下を検討してみた。その特徴としては、

1) P_{2max}/P_{max} の値は、B・J型、J型の順に小さく、耐力低下が明確となる。(図-12参照)

2) B・J型では、図-12に見られるように、2割程度の耐力低下しか示さない。

4.6 最大耐力時の層間変位の大きさ

1) 図-13の試験体は、最大荷重点として降伏棚となったB点又は、それ以降のC点を採用している。 $R_{pmax} > 3.0 \times 10^{-2} \text{rad}$ の試験体は、降伏棚部分で変形の進行したC点の場合であり、降伏現象開始点は、 $2.0 \times 10^{-2} \text{rad} \leq R_{pmax} \leq 2.5 \times 10^{-2} \text{rad}$ 程度である。

2) J型の方がB・J型より R_{pmax} が若干小さい。

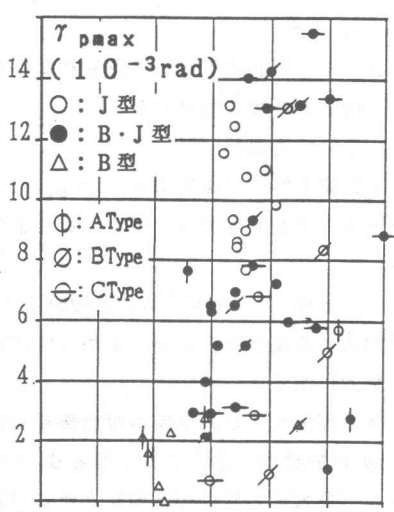


図-9 接合部変形 - e*tau_pu/Fc 最大耐力時接合部せん断入力

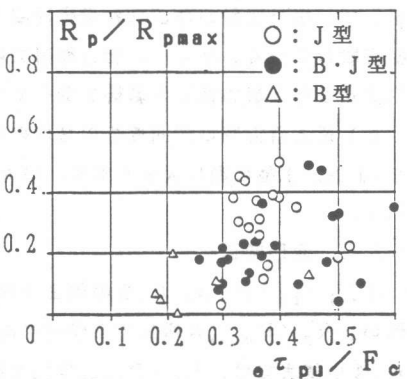


図-11 接合部変形割合 - 最大耐力時接合部せん断入力

§ 5. 結論

以下に、前述の検討より得られた最大耐力時の耐力と変形に関する特徴を列挙する。

5. 1 耐力関係

1) 梁主筋量（正確には、 $t\tau_{py}/F_c$ の値）によって、破壊モードが分類でき、多くなるとJ型の破壊モードとなる。

2) B型、B・J型では、梁理論曲げ降伏耐力以上で最大耐力となる場合が多いが、J型は曲げ降伏以下の荷重で最大耐力に至る。

3) 理論梁曲げ降伏時の接合部せん断入力量（ $t\tau_{py}/F_c$ ）が同程度の場合に、J型とB・J型の破壊モードが存在し、最大耐力時の接合部せん断入力量（ $e\tau_{pu}/F_c$ ）がB・J型の方がJ型より大きくなる。

4) B型を除く大部分の試験体は、最大耐力以前の繰り返して、接合部斜めひび割れ発生程度の荷重を3～4回程度経験している。従って、接合部耐力は繰り返しによる剛性劣化を伴う耐力低下の影響を受けていない。

5) 最大耐力時の層間変位の2倍の時の耐力低下は、B・J型、J型の順に大きくなり、最大2割程度の低下を示す。

5. 2 変形関係

1) $t\tau_{py}/F_c$ が、0.5の値までは、その値の増加に伴い、 R_p/R_{pmax} は増加する傾向にある。 $e\tau_{pu}/F_c$ は0.4の値までは、 R_p/R_{pmax} は徐々に増加するが、それ以降は増加しない。

2) $t\tau_{py}/F_c$ が増加するに従って、最大耐力時の接合部変形角 γ_{pmax} は増加する。一方、 $e\tau_{pu}/F_c$ は、 $e\tau_{pu}/F_c = 0.4$ 程度で、 γ_{pmax} が大きい部分、小さい部分に分散し、 γ_{pmax} の値が大きい部分は、 $t\tau_{py}/F_c$ が大きい場合に対応する。

3) 最大耐力時の接合部変形角 γ_{pmax} は、 pP_w の増加に伴って、 γ_{pmax} が小さく抑制されない。

4) B型、B・J型、J型の試験体の層間変位曲線において、降伏現象開始点の層間部材角（ R_{pmax} ）は、 $2.0 \times 10^{-2} \text{rad} \leq R_{pmax} \leq 2.5 \times 10^{-2} \text{rad}$ 程度である。

【謝辞】

本研究を行うに当たり、芝浦工業大学卒論生（1989年度）矢萩大作君、山泉光君の両君の御協力を得ました。ここに厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- [1] James O. Jirsa et al. : 「STUDY OF REINFORCED CONCRETE BEAM-COLUMN JOINTS UNDER UNIAXIAL AND BIAXIAL LOADING」 RMFSEL REPORT No88-2 1988
 [2] 引用した文献の年度と主な執筆者は、次の通りである。'73 大和田 大会；'75 石橋他 関東；'76 上村他 関東；'76 多田他 関東；'76 大和田 大会；'77 中村他 大会；'77 多田他 関東；'78 上村他 大会；'83 城他 大会；'84 大和田 関東；'84 小林他 JCI；'85 野口他 大会；'86 寺岡他 大会；'87 後藤他 大会；'88 寺岡他 大会；'88 上村他 大会；'88 渡辺他 大会 （大会：建築学会大会、関東：建築学会関東支部、JCI：コンクリート工学年次論文）

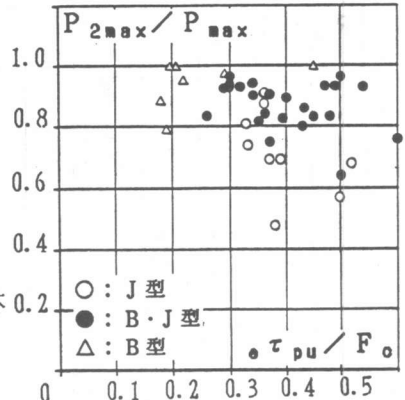


図-12 耐力低下率-
最大耐力時接合部せん断入力

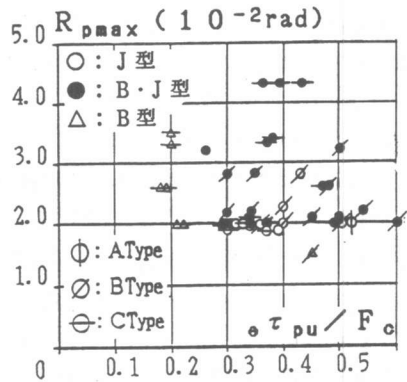


図-13 層間部材角-
最大耐力時接合部せん断入力