

論文

[2099] 梁下端主筋を折曲げ定着した壁柱-梁接合部に関する実験研究

渡辺正人^{*1}・松崎育弘^{*2}・中野克彦^{*3}・沢井布兆^{*4}

1. はじめに

壁式ラーメン鉄筋コンクリート構造は、中高層集合住宅に多く採用される構造形式であり、そのほとんどは場所打ちコンクリート構造である。この構造の偏平な壁柱は、通常のラーメン構造に比べて柱丈が大きいため、接合する梁主筋の定着長さの確保ができることから、壁柱中心線の手前で梁主筋を折曲げ定着する工法も検討対象となる。壁柱-梁接合部での梁主筋定着形式としては、一般的には通し配筋とする工法がとられているが、梁主筋を接合部内で折曲げ定着する手法が得られれば、PCa化による構工法の展開に対し広がりが出てくる。

本研究は、高層壁式ラーメン構造桁行き方向の内部壁柱-梁部分架構を対象とし、PCa化するにあたって、接合部内での梁下端主筋定着形式として左右の梁下端主筋が重ならない手前折曲げ定着に注目し、通し配筋形式と対応させ、その構造特性について一体打ち架構との比較を含めて実験により明かにすることを目的とした。

2. 実験概要

2.1 試験体

図1に試験体概要、図2に試験体要因比較を示す。試験体は、実大の1/2縮尺モデルを想定した。

共通要因を梁 $b \times D_b = 30.0 \times 33.8$ (cm) 及び壁柱 $b_c \times D_c = 30.0 \times 90.0$ (cm) の断面寸法、コンクリート設計基準強度 $F_c = 330$ (kgf/cm²)、階高 $H = 136.25$ (cm)、スパン $L = 310$ (cm) とした。

変動要因は、施工方法 (一体打ち・PCa)、梁下端主筋の定着形式 (通し配筋・折曲げ定着・水平直線定着)、接合部せん断

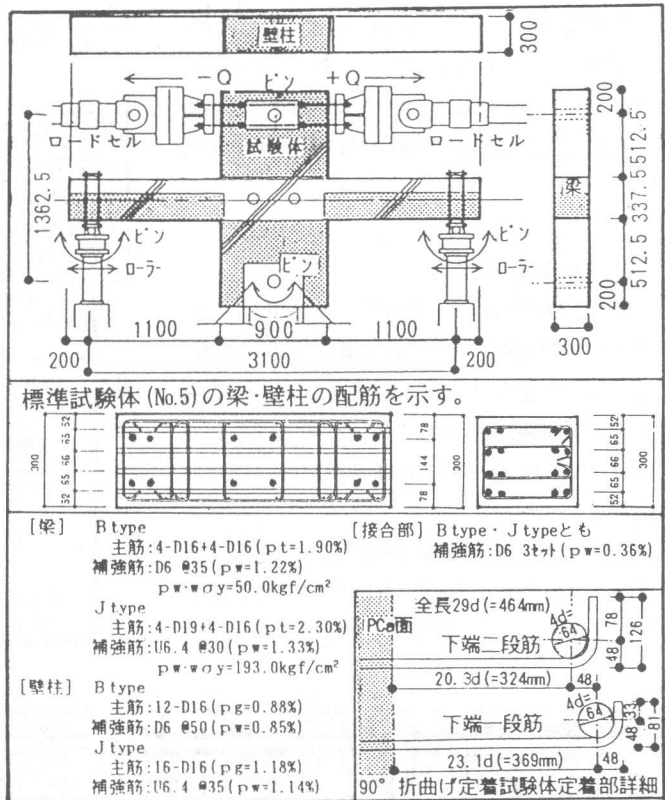


図1 試験体概要

- *1 東京理科大学大学院 工学研究科 建築学専攻 (正会員)
- *2 東京理科大学 教授 工学部 建築学科、工博 (正会員)
- *3 東京理科大学 助手 工学部 建築学科、(正会員)
- *4 住宅・都市整備公団 本社建築部 設計課

入力量（梁曲げ降伏先行型：B type、接合部破壊型：J type）、冠筋（接合部内の梁主筋付着性状を検討するための壁柱軸方向拘束筋）の有無とし、合計8体（B type 6体、J type 2体）を計画した。

折曲げ定着では、定着全長を29d、直線長さを1段筋では23.1d、2段筋では20.3d、折曲げ内法直径を4dとし、水平直線定着では1段筋を26.1d、2段筋を23.3dとした。なお、PCa化するにあたり壁柱主筋をスライスリーフ継手するため梁主筋は壁柱主筋の外側に配した。

また、全試験体とも、接合部に設備用配管の貫通を考慮し、開口部（開口径 $\phi=100$ (mm)、壁柱丈の3等分、接合部下面より160 (mm) 位置）を2箇所設けた。接合部せん断応力度の算定は、（接合部幅 $b_j=30$ (cm)）と（壁柱丈から開口部を差引いた値 $D_c-2\phi=70$ (cm)）の積を接合部せん断抵抗面積として検討することとした。

PCa試験体の製作では、壁柱を7RPCa、梁をH-7PCa部材（梁下部22.5 (cm) をPCa化）とし、接合部及び梁上部11.25 (cm) に場所打ちコンクリートを打設し、一体化させた。なお、H-7PCa梁の水平打ち継ぎ部は、B type試験体では平滑仕上げとし、J type試験体では粗面仕上げとした。

2. 2 加力・測定

加力は柱頭のピンを介して左右に引くことにより、内部壁柱-梁部分架構の応力状態を実現し、正負交番繰返し载荷とした。加力履歴は、層間変形角 $R=1/200, 1/100, 1/67, 1/33$ (rad) で繰返し、最終的に $R=1/22$ (rad) 程度まで変形させた。

図3に変位測定位置図を示す。測定は、梁支持点位置から取り出した治具により電気式変位計を用いて、層間変形、接合部変形、H-7

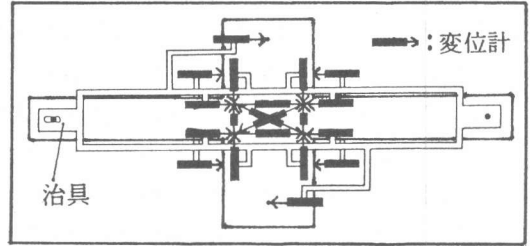


図3 変位測定位置図
表1 鉄筋材料試験結果

鉄筋材質	σ_y kg/cm ²	σ_u kg/cm ²	E s kg/cm ²
D16 (SD390)	4170	5760	2.05×10^6
D16 (SD685)	7000	8900	1.99×10^6
D19 (SD685)	6750	8640	1.93×10^6
D6 (SD295A)	4070	5510	1.89×10^6
U6.4 (ウルボーン)	14500	15300	2.01×10^6

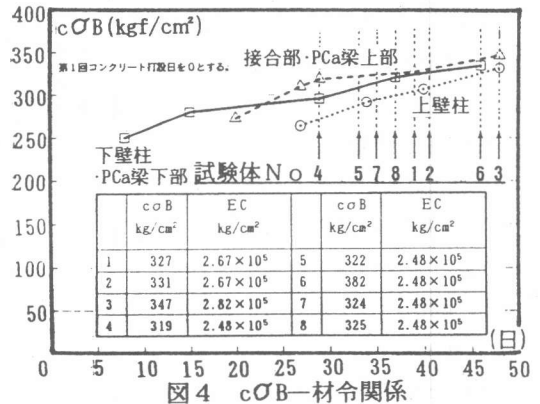


図4 cσB-材令関係

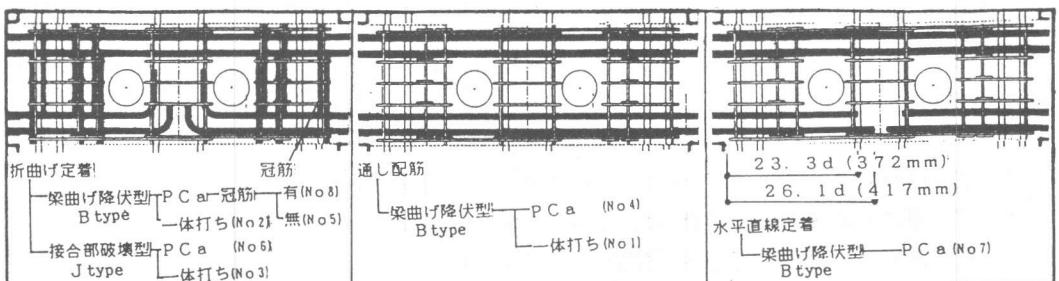


図2 試験体要因比較

PCa梁の水平打ち継ぎ部のずれ量、目開き量及び梁主筋の抜け出し量を測定した。抜け出しは、変位計を梁上下面から壁柱面に垂直に当てることにより計測した。また、鉄筋に貼付した歪ゲージにより各点の歪をそれぞれ測定し、接合部表面に貼付したコンタクトゲージにより接合部の変形状況も観察した。

3. 実験結果

3.1 材料特性

図4に実験時のコンクリート圧縮強度、表1に鉄筋の材料試験結果を示す。梁及び壁柱部も接合部とほぼ同強度であった。なお、図中の破線及び表中の値は接合部コンクリート圧縮強度である。

3.2 耐力及び変形性状

表2に実験結果一覧を示す。接合部せん断ひび割れ発生耐力は、実験値が主応力度式の計算値 ($cTc=21.1\sim 22.0$ (kgf/cm²)) の0.53~0.79となった。計算値に比べて全体的に低い値になったのは、接合部に開口を有することが影響していると思われる。B

type試験体の1断筋梁曲げ降伏耐力は、実験値と計算値 ($cQy=30.4$ (tf)・ $cTy=42.4$ (kgf/cm²)) がよく対応している。最大耐力に関しては、2断筋降伏時の梁曲げ終局耐力計算値 ($cQBu=34.7$ (tf)・ $cTBu=48.0$ (kgf/cm²)) の1.1倍程度であった。J type試験体では梁1段筋のみの降伏が確認でき、1断筋梁曲げ降伏耐力計算値 ($cQy=62.6$ (tf)・ $cTy=86.6$ (kgf/cm²)) の82%程度であった。最大耐力は、終局強度型耐震設計指針 (以下指針) に提案されている接合部せん断強度式による計算値 ($cTu=109.4$ (kgf/cm²)) の80%程度であった。

図5に標準試験体N05 (B type: PCa・折曲げ定着・冠筋無し) の層せん断力 (Q) - 層間変形角 (R) 関係、図6に全試験体のQ - R関係包絡線を示す。B typeでは剛性、耐力、復元力特性に

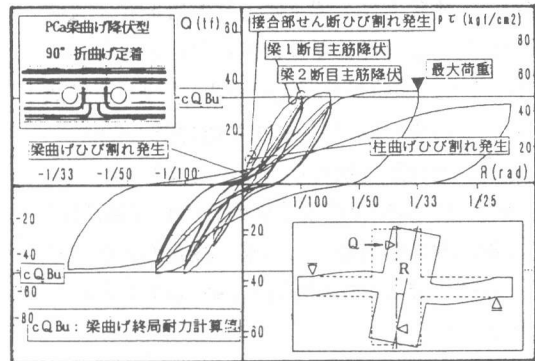


図5 層せん断力 (Q) - 層間変形角 (R) 関係

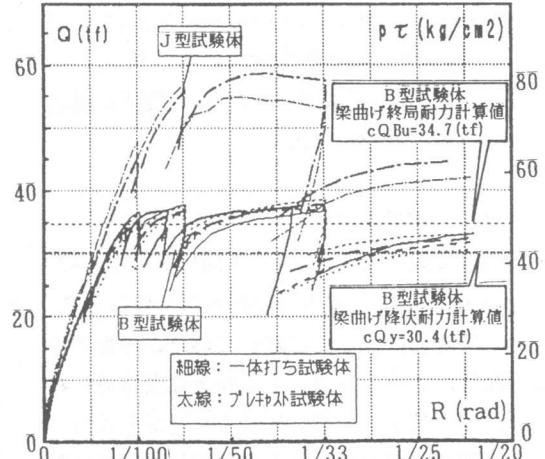


図6 層せん断力 (Q) - 層間変形角 (R) 関係包絡線

表2 実験結果一覧

試験体番号	NO1	NO2	NO3	NO4	NO5	NO6	NO7	NO8
破壊モード	B・J	B・J	J	B・J	B・J	J	B・J	B・J
cOB (kgf/cm ²) [接合部]	327	331	347	319	322	313	324	325
接合部せん断ひび割れ発生時								
pTc (kgf/cm ²)	13.9	11.4	13.7	20.1	16.7	12.7	13.9	14.5
pTc/cOB	0.04	0.03	0.04	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04
梁主筋(1段筋)降伏時								
pTy (kgf/cm ²)	43.8	42.2	72.5	49.3	46.3	80.0	44.9	43.5
pTy/cOB	0.13	0.13	0.21	0.15	0.14	0.23	0.14	0.13
最大耐力時								
pTu (kgf/cm ²)	53.2	54.0	79.1	52.9	51.9	81.5	52.3	53.2
pTu/cOB	0.16	0.16	0.23	0.17	0.16	0.24	0.16	0.16
pT (接合部入力せん断応力度 (kg/cm ²)) = $(\sum Mb / j b - Q) / (bj (Dc - 2\phi))$ cOB コンクリート圧縮強度 (kg/cm ²)								

において施工方法・梁下端主筋定着形式・冠筋の有無による顕著な差は見られなかった。N05は、 $R=1/100\text{rad}$ で梁主筋が1、2段とも降伏し、その後も $R=1/33\text{rad}$ まで耐力低下の無い安定した履歴性状を示した。[1]

最大耐力は梁主筋初降伏耐力の1.12倍、梁曲げ終局耐力略算値の1.07倍、接合部の最大せん断応力度は $p\tau u=52(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ [=0.16c σ B]であった。

また、J typeではB typeの1.7倍程度の層せん断力が作用し、 $p\tau u=82(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ [=0.24c σ B]程度で、ほぼ最大耐力に達した。なお、一体打ちとPCaで諸耐力及びQ-R関係に顕著な差はみられなかった。

3. 3 破壊性状

図7に破壊状況 ($R=1/67\text{rad}$) を示す。標準試験体N05では梁のひび割れは全体に分散し、梁端部は大きく口開いていた。接合部の破壊状況は施工方法による顕著な差は見られず、梁下端主筋定着形式により差が生じた。通し配筋及び水平直線定着試験体では接合部主対角線方向のひび割れ(図上左)が顕著であり、折曲げ定着試験体では接合部主対角線方向及び梁引張主筋折曲げ部と隅角部圧縮域を結ぶひび割れ(図上右)が顕著であった。

また、折曲げ定着試験体では下壁柱へのひび割れの伸展が見られた。梁主筋を壁柱主筋の外側に配したことによる付着割裂などの影響はみられなかった。 $R=1/67\text{rad}$ における接合部せん断入力量は、J typeがB typeの1.6倍程度になっており、接合部の破壊がB typeに比べ進んでいる。しかし、全試験体とも $R=1/67\text{rad}$ まで接合部は健全であり、その後に開口部間を結ぶひび割れが顕著となり開口部が楕円状に変形して破壊が進んだ。以上より、梁曲げ降伏先行型であるB typeは梁曲げ降伏後 $R=1/33\text{rad}$ 程度まで梁曲げ降伏破壊モード(B破壊)であったが $R=1/22\text{rad}$ に梁主筋降伏後の接合部破壊モード(B・J破壊)に至っており、接合部破壊型であるJ typeは1断筋しか降伏しておらず、接合部破壊モード(J破壊)であったと判断される。[2] [3]

3. 4 梁主筋の挙動

図8に通し配筋(N04)、折曲げ定着(N05)と水平直線定着(N07)1段筋の歪分布を示す。梁危険断面位置の1段筋は層間変形角 $R=1/120\text{rad}$ 程度で、2段筋は $R=1/100\text{rad}$ で降伏歪に達した。

折曲げ定着筋では折曲げ始点であり歪が生じておらず、最大耐力時においても直線部分の付着力により十分な定着が確保できていることが分かる。

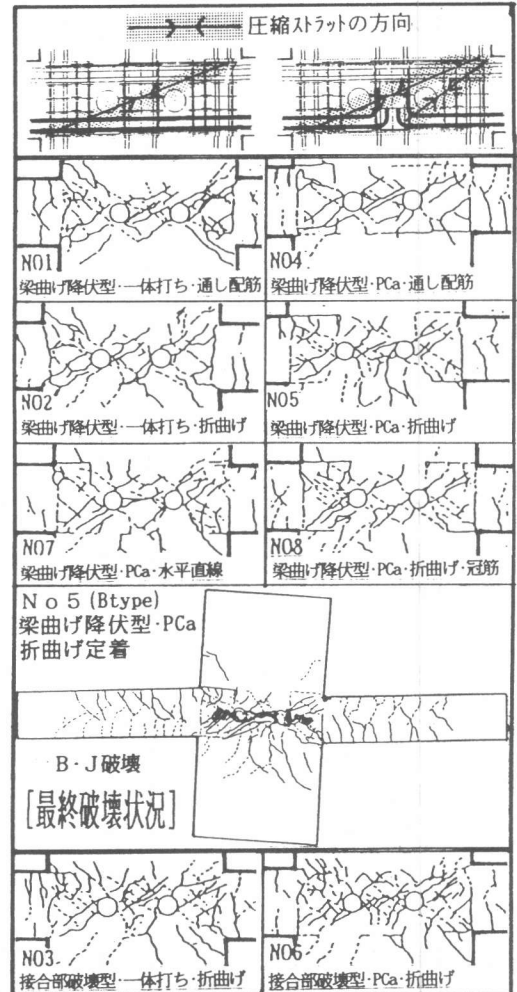


図7 破壊状況図 ($R=1/67\text{rad}$)

歪勾配を壁柱中心線で二分して比較してみると、折曲げ定着筋の直線部分で最も大きな値を示している。水平直線定着筋では通し配筋とほぼ同様な勾配を示している。平均付着応力度は折曲げ筋の定着全長で比較してみると、通し配筋とほぼ同じ値であった。

3. 5 変形分離

図9に $R=1/67\text{rad}$ の各部材の変形の割合を示す。治具より梁及び壁柱変形を求め、全体変形からそれらを引いたものを接合部の変形角とした。施工方法による比較では、通し配筋試験体でやや差があるものの、PCa試験体は一体打ちと顕著な差はなく同様な性状を示した。B typeでは、梁変形角の割合が60%以上であり、そのほとんどは梁端部が口開くことによる主筋抜け出しが占めていた。接合部変形角は20%程度であった。J typeでは、梁変形角は50%程度であり、そのうち80%程度は主筋抜け出しにより、接合部変形角は25%とB typeに比べて大きな値を示している。冠筋による差は顕著ではなかった。梁主筋定着形式による比較では、水平直線定着で壁柱変形がやや大きいものの接合部変形は同程度であった。

PCa試験体において、梁打継ぎ部のずれ量及び目開き量、梁と接合部、接合部と壁柱のずれ量はほとんど無く、架構全体の復元力特性にほとんど影響を与えていない。

3. 6 接合部せん断変形状況

図10に接合部のせん断変形角 (γ) と、接合部せん断応力度をコンクリート強度で無次元化した値 ($pT/c\sigma_B$) の関係について示す。

$R=1/67\text{rad}$ までは、接合部は健全でありB typeもJ typeも相似な挙動を示している。B typeでは繰返しにより徐々にせん断変形が大きくなり、逆S字形の履歴ループを示すようになる。梁降伏後 $R=1/33\text{rad}$ 以降で、およそ $\gamma=0.011$ (rad)を超えると急激にせん断変形が大きくなる。破壊状況と合わせてみるとせん断破壊が進行したことがうかがえる。また、J typeについてもおよそ $\gamma=0.013$ (rad)を超えると同様な性状を示した。コクテージによる観察では、通し配筋試験体では、接合部は全体的に一樣なせん断変形をするのに対して、折曲げ定着した場合は、折曲げ筋が引張側となる場合に部分的にせん断変形がわずかではあるが大きくなる傾向がみられた。

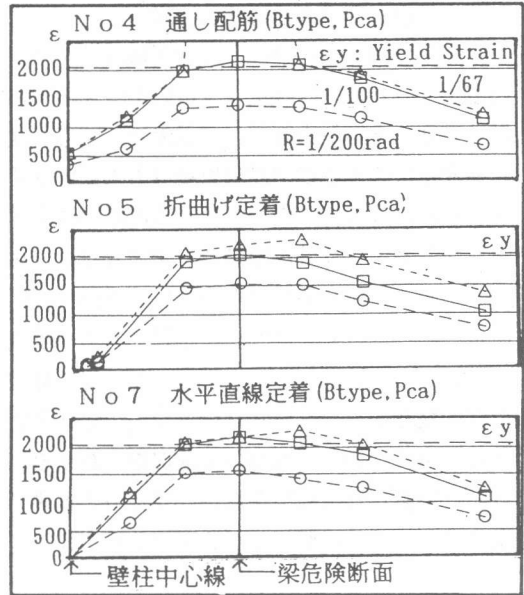


図8 1段筋歪分布図

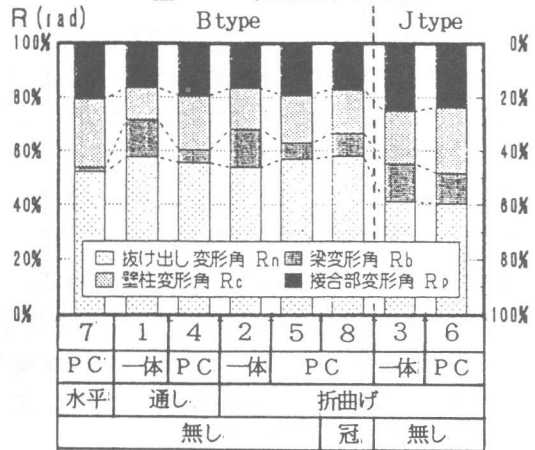


図9 変形分離 ($R=1/67\text{rad}$)

3. 7 接合部最大せん断応力度

図11(指針から抜粋)に接合部最大せん断応力度($p\tau u$)とコンクリート強度($c\sigma B$)の関係を示す。指針では、十字型内部接合部最大せん断応力度に対する接合部横補強筋の影響はあまり大きくないため、コンクリートに作用するせん断応力度を制限することによりせん断破壊を防ぐ方法を採用している。本研究のデータを図中にプロットしてあるが、 $p\tau u=0.23c\sigma B$ であり、指針による下限値 $0.3c\sigma B$ を下回っている。しかし、指針では通常の柱梁接合部で通し配筋を扱ったものであるために、本実験のような偏平で開口部を有する折曲げ定着した壁柱梁接合部にはそのまま適用できない可能性があるためと思われる。

4. 結論

1) PCa試験体は、一体打ちと同等な構造特性を示す。また、梁下端主筋定着形式による顕著な差はみられず、折曲げ定着によっても十分な構造特性が得られる。

2) 接合部最大せん断応力度は、接合部破壊型(J type)で $0.23c\sigma B$ であり、通常の柱-梁

接合部と同等の評価ができない可能性がある。また、梁曲げ降伏先行型のように $0.16c\sigma B$ 程度の入力量であれば $R=1/33$ radまで十分な復元力特性が得られることが分かった。

3) 梁主筋を折曲げ定着した偏平な壁柱-梁接合部のせん断変形は、部分的に異なった性状を示す傾向がみられるがそれほど顕著ではない。接合部破壊時のせん断変形角は、破壊モードによらず $\gamma=0.010$ (rad)程度であった。

【参考文献】

- [1] 松崎育弘ほか：高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート造内柱・梁部分架構に関する実験研究
日本建築学会大会学術講演梗概集、pp275～pp278、1992.8
- [2] 和泉信之ほか：梁主筋の定着形式が異なる壁柱・梁接合部のせん断強度に関する研究
日本建築学会大会学術講演梗概集、pp243～pp250、1992.8
- [3] 和泉信之：梁下端筋が折曲げ定着されたRC壁柱・梁接合部に関する解析的研究
コンクリート工学年次論文報告集 1992 14-2 pp413～418

【謝辞】 本研究は、住宅都市整備公団とアリア建築協会により開発された高層WR-PC造に関してアリア建築協会に設けられた[WR-PC工法実験委員会(委員長：望月重 武蔵工業大学教授)]の指導協力のもとに行われたものである。本論文をまとめるにあたり、東京理科大学卒研究生 廣田祐史、安永努両君、戸田建設(株) 稲永英治氏、実験実施時には安藤建設(株) 鈴木英之氏をはじめ技術研究所の関係各位には御指導・御協力頂きました。ここに、深く感謝致します。

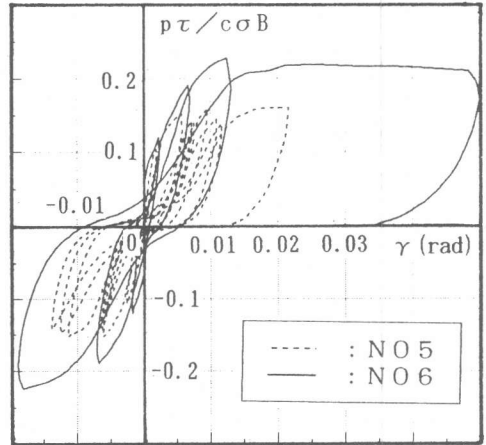


図10 $p\tau/c\sigma B$ -せん断変形角(γ)関係

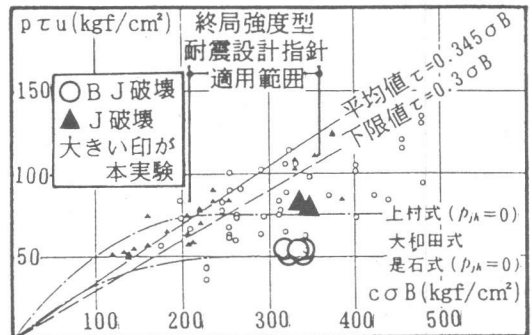


図11 接合部せん断応力度($p\tau u$)- $c\sigma B$ 関係