

論文

[2090] 幅広梁・柱部分架構の復元力特性に関する実験研究

正会員 松崎 育弘 (東京理科大学工学部)
 正会員 ○福山 洋 (東京理科大学大学院)
 正会員 別所佐登志 (鹿島建設技術研究所)
 島本 齊 (鹿島建設技術研究所)

1. 序

RCラーメン構造に於いて、建物階高の有効利用、地下室等に於ける階高の低減要求を満たし、かつ、耐震性能も兼ね備える為の一構法として、従来のフラットスラブの支圧板程度のせいで、せん断補強筋を有する偏平な幅広梁の採用が考えられる。この構法は、柱・梁接合部での梁のパンチング破壊を防ぎ、靱性型の耐震性能を持ち合わせる可能性を含んでいる。しかし幅広梁の場合、柱・梁間でのねじりによる応力伝達、接合部の外側に配する梁主筋の曲げモーメント分担等、一般のRC柱・梁接合部に比べて、その応力伝達機構が複雑である。また、梁せいが小さい為、柱主筋の付着劣化も懸念される。そこで、本研究では、繰返し水平力を受ける幅広梁・柱部分架構の復元力特性を調べることで、梁の有効幅、部分架構の剛性、幅広梁・柱間でのモーメントの伝達及びその分担等、幅広梁構造の耐震性能に関する基礎資料を得ることを目的とする。

2. 実験内容

表-1に試験体一覧、表-2に材料試験結果、図-1に試験体形状を示す。試験体8体に与えた要因は、梁幅(柱幅の約1,2,3,4倍:以下、梁幅1~4で表わす)、直交梁の有無、プレストレス力(全断面積あたり 0,10,20 kgf/cm²)の3種類とした。試験体は実際の1/4 縮小モデルで、梁の引張鉄筋比、圧縮鉄筋比、あばら筋比、及び柱の配筋は全試験体同一とした。尚、直交梁付きのものには、接合部内にせん断補強筋は配筋していない。また、プレストレスはアンボンドタイプとし、その配筋は、プレストレス導入後、コンクリートの引張側縁応力度がほぼ0 kgf/cm²となる位置に直線に設けた。

加力は図-2に示すように、梁の両端をユニバーサルジョイントにより、また、柱下端はピン

表-1 試験体及び実験結果一覧

No.	試験体名	梁幅 柱幅	直交梁の有無	σ _{ps}	正負	実験値(tf)						計算値 cP(tf)						
						P _{Bc}	P _{By}	P _{Pac}	P _{Pmax}	C _{P_y}	C _{P_{Pac}}		C _{P_{Psu}}					
											大和田	遠藤	上村	是石	SRC	ACI	吉岡	
1	VFB-1	1	無	+	0.8 0.6	3.4 3.1	1.2 1.0	3.4 3.6	3.1			5.2	3.7	4.7				
2	VFB-2	2	無	0	+	2.0 0.8	5.9 6.2	4.0 4.5	6.3 6.3	6.2								
3	VFB-2C	2	有	+	1.0 1.0	6.4 6.3	— —	6.7 6.4	6.7									
4	VFB-2-P10	2	無	1.0	+	1.2 1.5	6.6 6.6	2.4 2.0	7.1 6.7	6.2	1.4	1.5	5.6	3.9	5.0			
5	VFB-2-P20	2	無	2.0	+	2.0 1.6	7.2 6.6	2.4 2.4	7.3 7.4	6.2								
6	VFB-3	3	無	+	1.8 1.3	8.2 —	3.0 3.0	8.4 7.9	9.4									
7	VFB-3C	3	有	0	+	1.6 1.4	9.5 —	— —	9.6 8.9	12.1					7.4	10.4		
8	VFB-4	4	無	+	0.8 1.2	8.8 6.1	5.9 2.6	8.9 8.1	12.5									

表-2 材料試験結果

鉄 筋			
	D4	D10	D10*
降伏点 (kgf/cm ²)	3580	3510	4440
引張強度 (kgf/cm ²)	5450	5030	5630
ヤング係数 (×10 ⁴ kgf/cm ²)	1.86	1.88	1.85

* 焼き入れ鉄筋(柱主筋)

コンクリート	
圧縮強度 (kgf/cm ²)	23.4
引張強度 (kgf/cm ²)	25.4
ヤング係数 (×10 ⁴ kgf/cm ²)	2.27

梁主筋 P_t=1.54%, あばら筋 P_w=0.31%, 柱主筋 P_t=1.07%, 帯筋 P_w=0.93%
 σ_{ps}:平均プレストレス力(kgf/cm²), P_{Bc}:梁曲げひび割れ発生荷重, P_{By}:梁曲げ降伏荷重, P_{Pac}:接合部せん断ひび割れ発生荷重,
 cP_y:梁曲げ終局計算値, P_{max}:最大荷重, cP_{Pac}:接合部せん断ひび割れ計算値, cP_{Psu}:接合部せん断終局計算値,
 cP_p=(u·v·l·tp)/(1-u·v)·τ, tp={ (梁幅+柱幅)/2 ---- [梁幅1]
 柱幅 ---- [梁幅2, 3, 4] } τ:接合部せん断応力度

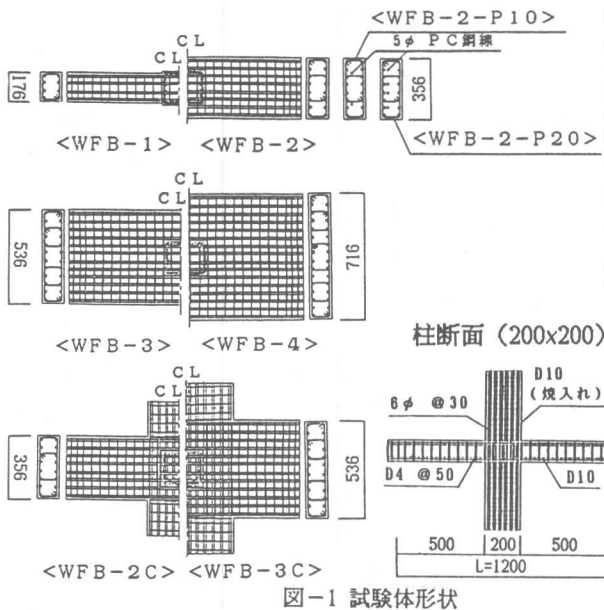


図-1 試験体形状

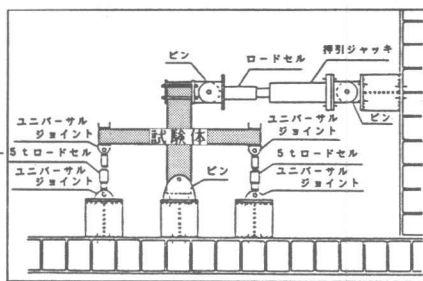


図-2 載荷装置

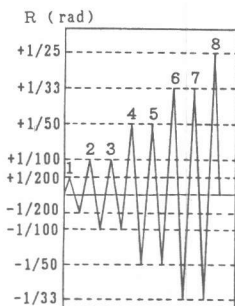


図-3 載荷履歴

により支持し、押し引きジャッキを用いて、柱の上部に正負繰り返し水平力を加えた。図-3にその載荷履歴を示す。尚、柱軸力は作用させていない。

柱・梁部分架構の変形は、梁両端で支持した測定用治具に取り付けた変位計により、主筋のひずみ度はひずみゲージにより、また梁のせん断力及び柱に加える水平力はロードセルによりそれぞれ検出した。

3. 結果及び検討

(1) ひびわれ性状

図-4に実験終了時のひびわれ図を示す。梁幅2までの試験体では、梁上面の曲げひびわれは梁主筋と直角に発生しているが、梁幅3以上では、ひびわれは柱を中心に放射状に伸びる傾向を示す。直交梁付きの試験体は、梁の初曲げひびわれが柱との接合面に入った後、柱隅角部から45度方向へ進展する。また、プレストレスを導入した試験体は、曲げひびわれが減少する傾向を

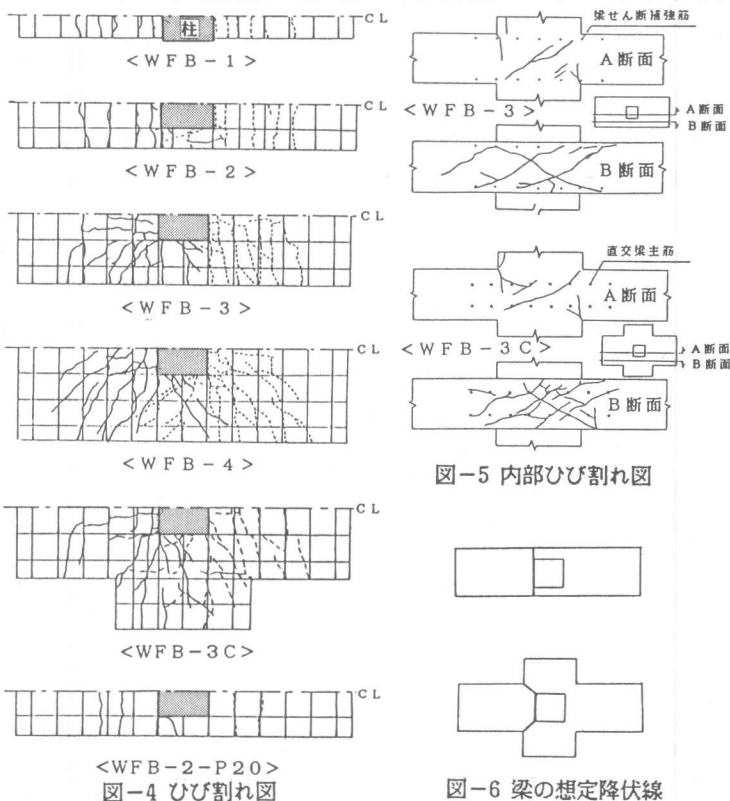


図-5 内部ひび割れ図

図-4 ひび割れ図

図-6 梁の想定降伏線

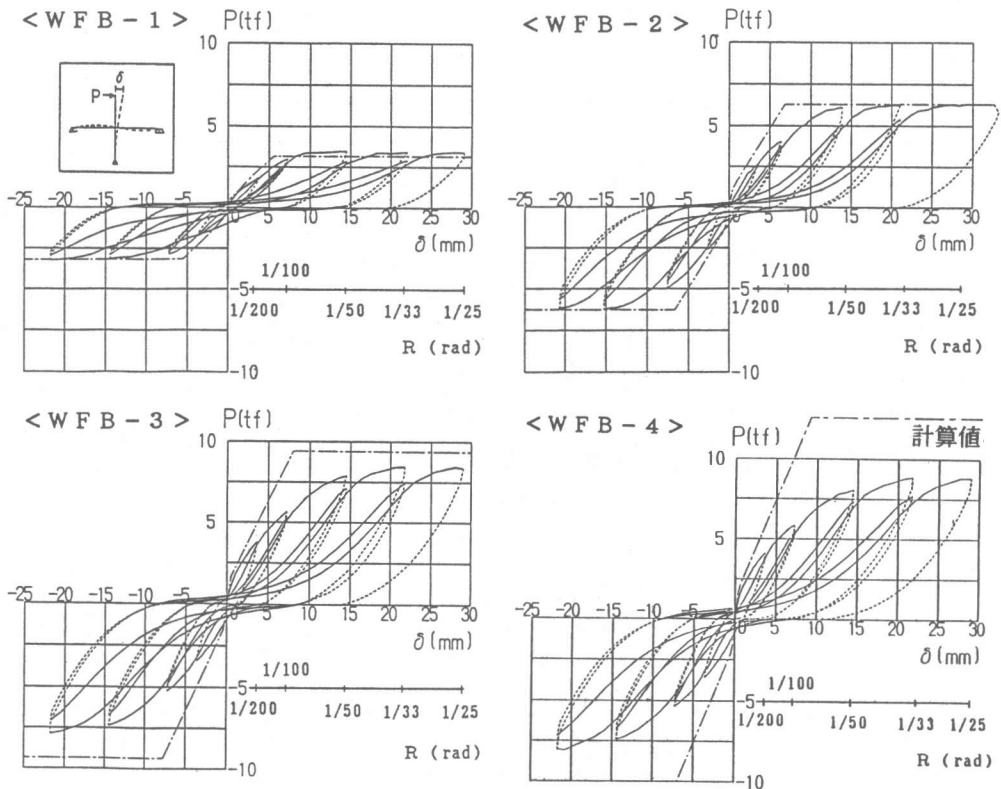


図-7 P- δ 関係

示す。図-5に試験体をカッティングして観察した内部のひびわれ図を示す。B断面の方がA断面よりも多くのせん断ひびわれが、広い範囲にわたって見られた。即ち、接合部の内側よりも外側の方が、ねじりの影響で著しく破壊されていることがわかる。

(2) 諸耐力の計算値との比較

表-1に実験結果一覧を示す。表中の、接合部せん断ひびわれ発生荷重 (P_{psc}) は、接合部せん断補強筋のひずみが増した点とした。また、曲げ終局耐力計算値 (cP_y) は、梁の降伏線を図-6に示すように仮定して求めた。梁の曲げひびわれ発生荷重 (P_{bc}) は、梁幅の影響は見られず、発生位置も全て柱との接合面であった。接合部せん断ひびわれ発生荷重 (P_{psc}) は、大和田式¹⁾及び遠藤式²⁾の計算値 (cP_{psc}) よりも大きな値を示す。今回の試験体は、どれも接合部の破壊で最大耐力を決定してはいないが、従来の接合部せん断耐力式と比較すると、梁幅2以上の耐力は上村式³⁾、是石式⁴⁾、SRC規準式⁵⁾の計算値を大きく上回っている。また、梁幅3、4の耐力は、フラットプレート構造のパンチング破壊を対象とした吉崎式⁷⁾よりは低い耐力を示したが、ACI式⁸⁾は上回っている。

(3) 復元力特性 (梁幅による影響)

図-7に荷重 (P) - 変形 (δ) 関係を示す。繰り返し性状は、各試験体とも部材角で $1/200$ rad程度の変形では紡錘型、 $1/100$ radを過ぎると逆S字型の傾向を示す。梁幅3までは梁幅が増

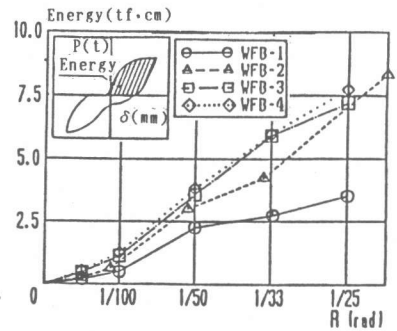


図-8 エネルギー消費量

す程初期剛性、耐力とも上昇する傾向が見られるが、梁幅3、4の間では殆ど差が見られない。図中の一点鎖線は計算値で、柱、梁の変形は、曲げひびわれ後の剛性低下及び主筋降伏を考慮したトリリニア型を、接合部パネルのせん断変形は完全弾性を仮定して求めた。梁幅1は剛性、耐力とも計算値と実験値はほぼ適合しているが、梁幅2、3、4は剛性が計算値よりもかなり低くなった。耐力は、梁幅2のものは、変形が1/50rad程度で計算値と同等の値を示すが、梁幅3は、1/25radの変形時で計算耐力を約1割、梁幅4は約3割下回った。即ち、梁幅2以上のものは梁の全主筋が曲げに対して有効には働いていないことが考えられる。尚、全試験体とも大変形時まで耐力低下は認められず、靱性に富んだ性状を示した。

図-8に、P- δ 曲線のループ面積より求めたエネルギー消費量の梁幅による比較を示す。梁幅が増すに従いエネルギー消費量は増加するが、その増加の割合は小さくなる傾向にあり、梁幅3と4では殆ど差が見られない。

(4) 応力伝達機構

図-9に、梁の想定降伏線に於ける梁主筋のひずみ分布を示す。これによると、接合部内と接合部外の梁主筋は様には効いておらず、接合部から離れるに従ってひずみは小さくなる。

図-10に、梁の想定降伏線に於ける、梁主筋の実際の応力(σ)から算出した曲げモーメント(M_o : $M_o = \sigma \cdot A_s \cdot 7/8 \cdot d$)を、全ての梁主筋が、柱を貫通する梁主筋と同一のひずみであると仮定し算出した曲げモーメント(M_o')で除した値(M_o/M_o')に、梁幅/柱幅の値を掛けた、見かけ上の梁の有効幅を示す。梁幅1のものは初期から、2は1/50rad、3は1/33rad程度の変形角を過ぎると、ほぼ全主筋が曲げに対して一様に効いているが、梁幅4の試験体は1/25radまで見かけ上の有効幅は、実際の梁幅よりもかなり小さく、2.6~3.6程度であった。

図-11に、柱を貫通する梁主筋のみが負担する曲げモーメント(M_f)の、外力による全モーメント(M)に対する比を示す。梁幅1が75%、2が40%、3、4が30%程度であった。この値は、ACI規準の13章(二方向スラブシステム)の γ_f (13-1式)を表している。今回の γ_f の計算値は0.6であり、梁幅2以上のものはこの値を下回っている。即ち、ACI規準を幅広梁構造に適用した場合には、曲げ伝達モーメントの比率を高めに評価す

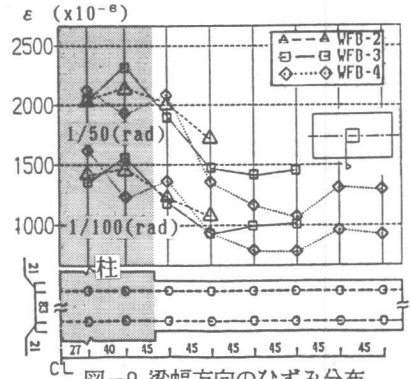


図-9 梁幅方向のひずみ分布

見かけ上の梁の有効幅

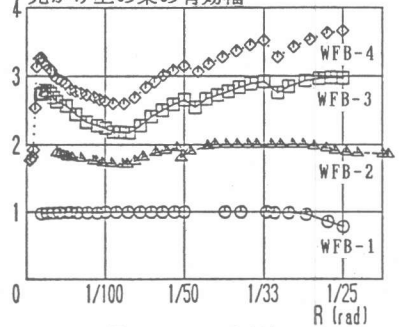


図-10 梁の有効幅

M_f/M (%)

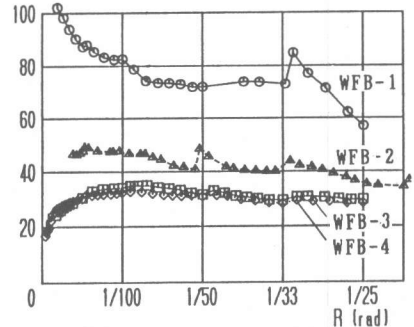


図-11 $M_f/M-R$ 関係

分担率 (%)

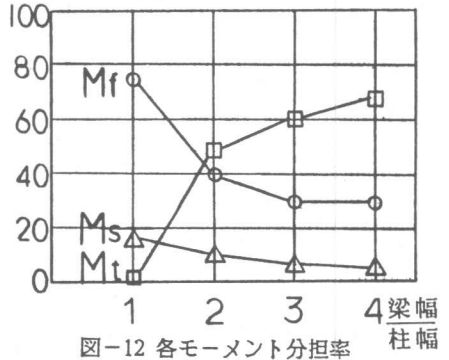


図-12 各モーメント分担率

ることになる。

次に、はり断面内でせん断応力度が一定であると仮定し、柱幅分の梁断面が負担する最大せん断力を求め、これに柱中心からの距離(10cm)を乗じたものを、せん断力の偏心によって片側の梁から柱に伝達されるモーメント(M_s)とした。また、 $M_t = M - M_f - M_s$ として、ねじりによる伝達モーメント(M_t)を求めた。図-12にこれら、 M_f 、 M_s 、 M_t のMに対する割合を梁幅を要因として示す。梁幅の増加により、 M_f 、 M_s は減少し、 M_t は増加する傾向が見られる。

図-13に、梁幅4の、降伏線に挟まれた部分のあばら筋が負担する平均せん断応力度($P_w \cdot w \sigma_y$)を、あばら筋の位置を要因として示す。接合部外の $P_w \cdot w \sigma_y$ は、接合部内の2~3倍の値を示し、大きなねじりせん断力が働くことを表している。

(5) 付着性状

図-14に、梁幅4の、降伏線に挟まれた梁主筋の平均付着応力度(τ_{av})を主筋の位置を要因として示す。 τ_{av} は接合部内が最も大きく、接合部外の梁主筋はその約1/2程度となっている。この傾向は、梁幅2、3についても同様であった。

図-15に、梁幅を要因とした柱貫通梁主筋の接合部内平均付着応力度を示す。梁主筋の付着力は、各変形時で見ると、梁幅による影響は顕著でなく、また付着劣化も認められない。

図-16に、接合部内に於ける柱主筋の平均付着応力度(τ_{av})を、梁幅を要因として示す。同一変形時の柱の τ_{av} は、各梁幅で、柱のせん断力が異なることによる差は認められるが、付着劣化の傾向は見られない。

(6) 直交梁の有無、及びプレストレスの影響

直交梁の有無、及び導入プレストレス力を要因としたP- δ 関係を図-17、18に、同エネルギー消費量を図-19に示す。

直交梁のあるものは、無いものに比べて、耐力が若干上昇する傾向が見られ、そのためにエネルギー消費量も僅かであるが上昇する。

プレストレス力を全断面平均で10kgf/cm²導入すると、剛性、耐力ともに僅かであるが上昇が認められる。また、20kgf/cm²導入したものとの間には殆ど差が見られなかった。また、エネルギー消費量にも差は見られなかった。

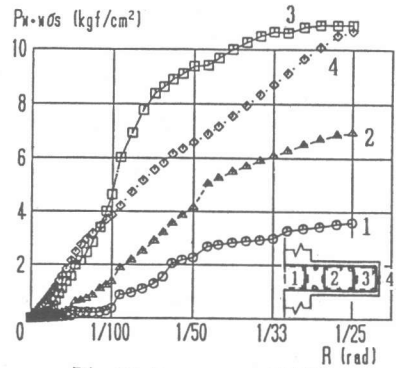


図-13 $P_w \cdot w \sigma_y - R$ 関係

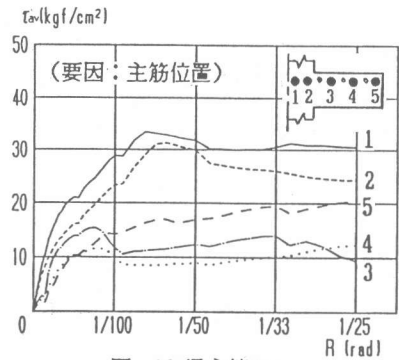


図-14 梁主筋の τ_{av}

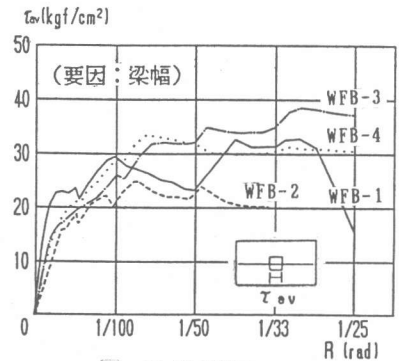


図-15 梁主筋の τ_{av}

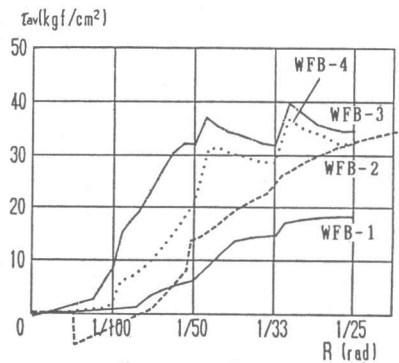


図-16 柱主筋の τ_{av}

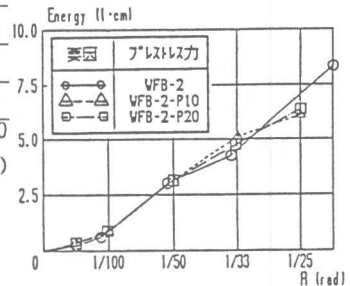
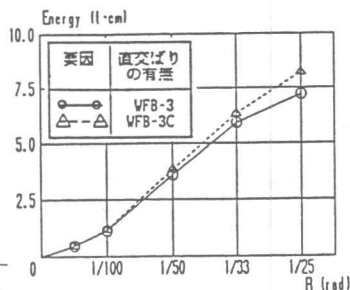
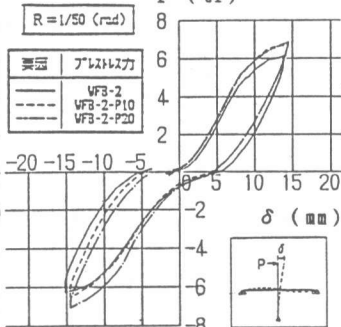
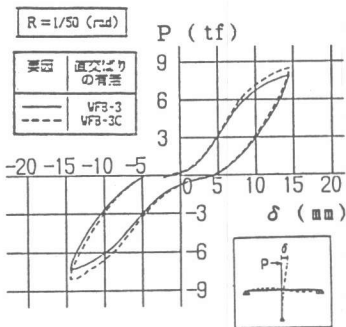
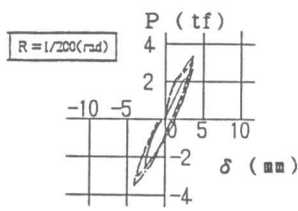
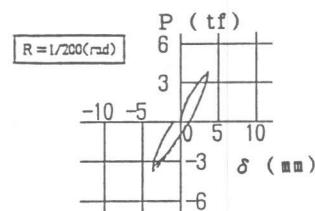


図-17 P-δ関係

図-18 P-δ関係

図-19 エネルギー消費量

4. 結論

幅広梁部分架構の正負繰り返し加力実験により次の結果が得られた。

- 1) ひびわれは、梁幅2までは梁主筋と直角方向に、3以上は柱を中心として放射状に伸びる傾向を示す。
- 2) 復元力特性は韌性に富む性状を示すが、スリップの大きな逆S字型でありエネルギー消費量は小さい。また、梁幅の増加とともに耐力、剛性及びエネルギー消費量は大きくなる傾向を示すが、その明らかな上昇が見られる梁幅は、柱幅の3倍程度までであった。
- 3) 梁幅の増加により、ねじりによるモーメントの全モーメントに対する割合は増し、曲げ、及びせん断力の偏心によるモーメントの分担率は減少する傾向が見られた。
- 4) 直交梁、及び導入プレストレス力による耐力、剛性の増加は認められたが、その量は僅かであった。

【謝辞】 本研究をまとめるにあたり御協力頂いた昭和62年度東京理科大学大学院生高橋亘君、並びに卒研究生関口智文、高見信嗣両君に感謝致します。

【参考文献】

- 1) 大和田義正：水平力を受ける鉄筋コンクリート梁・柱接合部に関する研究（7報 接合部パネル斜めきれつ発生時の平均せん断応力度）、建築学会大会 pp919-920 昭和44年
- 2) 遠藤利根穂、他：鉄筋コンクリート接合部パネルの耐力と剛性（ラーメンの弾塑性変形略算）、建築学会論文報告集号外 pp206 昭和40年
- 3) 上村智彦：鉄筋コンクリート構造物の梁・柱接合部の終局せん断強度について、建築学会大会 pp1155-1156 昭和50年
- 4) 是石逸二：鉄筋コンクリート柱梁接合部の実験的研究、日本建築学会関東支部研究報告集 pp89-92 昭和45年
- 5) 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- 6) ACI 318-83: Building Code Requirements for Reinforced Concrete
- 7) 吉崎征二、他：フラットプレート構造の柱-スラブ接合部に関する研究（その4 終局剪断強度算定方法とその確認実験）、建築学会論文報告集309号 pp29-40 昭和56年