

論文

[2011] プレストレスト鉄骨鉄筋コンクリート梁部材の力学的特性

正会員 中野 清司 (東京電機大学工学部)  
 正会員 立花 正彦 (東京電機大学工学部)  
 正会員 ○栗田 康平 (東京電機大学大学院)

1. はじめに

プレストレストコンクリート (以下PC部材と略記) 部材の耐力及び靱性を向上させ、PC部材の高性能化によって建物の高層化をはかするには、一般に高強度コンクリートを使用し、鋼材量を増やして大きなプレストレストを利用すること、さらにPC鋼材をアンボンド化することなどが有効であると考えられている。一方、コンクリートは一般に高強度になるほど、また、鋼材量が多くなるほど脆性的な傾向を示し、この改善方法としてコンクリートの圧縮域にコンファインド筋を用いて靱性を高める方法や、鉄骨部材を内蔵させて鉄骨部材の利点 (特に粘りとエネルギーの吸収等) を積極的に取り入れる方法などが考えられている。

PC部材に鉄骨を内蔵させるプレストレスト鉄骨鉄筋コンクリート (以下PSRCと略記) 構造では、プレキャスト工法を用いると純鉄骨構法の継手方法が利用でき施工が合理的となり、また柱梁の接合部にはプレストレスによる圧着接合を併用することにより、高耐力、高靱性が期待できる構法であると考えられている。しかし、PC部材に鉄骨を内蔵したPSRC部材に関する研究は少なく、その力学的特性およびPC部材と鉄骨の合理的な組合せ方法等が不明確な点が多い。本研究は鉄骨耐力の負担が比較的少ないPSRC部梁部材の累加特性、鋼材量の影響などの力学的挙動について検討し、さらに解析を試みたものである。

2. 実験計画および試験体

2.1 実験計画 本実験は表1(a), (b)に示す2シリーズよりなる。各シリーズの目的は以下の通りである。[シリーズI] PSRCばりの累加特性を検討する (表1(a)参照)。[シリーズII] PC要素を一定にして、鉄骨要素の耐力負担率 $sMp/Mu$ を10%、20%、30%と変化させ鉄骨量の影響を検討する (表1(b)参照)。

2.2 試験体 試験体は実大の1/2程度スケールを想定し、その断面形状及び寸法を図1(a), (b)に示す。標準試験体B-30を中心に形状および寸法の詳細について以下に示す。コンクリート断面は $b \times D = 300 \times 450$ 、PC鋼材は鉄骨フランジ内に4本配置し、その径は23φである。主筋は4-D10、スターラップはD10@50とし、プレキャスト梁想定のため梁の主筋は柱スタブ内に定着されていない。鉄骨要素はすべて溶接組立てH形断面とし、その断面はBH-300x100x6x12であり、スタブ内の柱の鉄骨断面は□-250x250x16とし、梁フランジ部分にはダイヤフラム (E-16) を設けた。スターラップの形状は図1(b)に示す通りである。

プレストレッシングはポストテンション・ボンド方式とし、PC鋼棒一本当たりで25tonf、 $\sigma_g = \Sigma P / bD = 74.1 \text{ kg/cm}^2$  [ΣP: 全プレストレス力]

表1(a) 実験計画 [シリーズI]			表1(b) 実験計画 [シリーズII]		
PC要素	4-23φ (B-1)	なし	PC要素	4-23φ (B-1)	
S要素			S要素		
BH-300x100x6x12	B-30 <sup>1)</sup>	0-100A <sup>2)</sup> 0-100B	なし	B-0A	BH-195x 65x6x 6
なし	B-0A	—		B-10	BH-300x100x6x 6
				B-20	BH-300x100x6x12
				B-30 <sup>1)</sup>	

1) 本実験の標準試験体  
 2) 鉄骨の変形性状の把握—コンクリートとの関係

(但し、実験時の測定では平均 $\sigma_g=56.3\text{kg/cm}^2$ )のプレストレス力を導入した。鉄骨部材の試験体は2体作成し、その内の1体については柱スタブから1D(=35cm)以外をRCで補強(0-100B)したものである。使用材料はコンクリートは $F_c=600\text{kg/cm}^2$ (設計値)、鋼材はSS41、PC鋼棒はB種-1号とし、これら使用材料の機械的性質を表2に示す。

2.3 載荷方法 実験方法は片持ちばり形式とし、梁端に設置したアクチュエータによりせん断力を作用させた。載荷条件は加力点における全体変形により制御し、部材角 $R=\pm 0.25\%$ で1サイクル繰り返した後、 $R=\pm 0.5\% \sim \pm 5.0\%$ まで、0.5%おきに各3サイクルずつ繰り返す、その後正加力で $R=8.0\%$ まで一方向載荷する。

### 3. 実験結果と考察

3.1 履歴曲線 各試験体の履歴曲線を図2に示す。PC部材の履歴曲線は残留変形の小さなエネルギー消費量の少ないS字形のループを描く。一方、鉄骨部材の履歴曲線は、エネルギー消費量の大きい安定した紡錘形のループを描く。0-100Aでは $R=4.0\%$ の繰り返し時にねじれ座屈により耐力低下を、0-100Bでは部分的にコンクリートにより補強したためねじれ座屈は生ぜず、 $R=4.0\%$ の繰り返し時に鉄骨フランジの破断によって耐力が大きく低下した。P SRC部材の履歴曲線は一般に中央部に若干のくびれをもつ安定したループを描く。

しかし、大変形時に鉄骨フランジの破断が認められ、この時点で履歴曲線は急激な耐力低下を生じ、その後はPC部材と同様の履歴曲線を示す。実験終了後コンクリートをはつり観測したところ、ウェブのスカーラップからフープ穴貫通孔にそっての破断が確認された。

3.2 鉄骨要素の破断部材角 各試験体の鉄骨要素の破断部材角 $R_b(\%)$ を鉄骨要素の耐力比 $sMu'/sMp$ 、( $sMu'$ :スカーラップ及びスタラーラップ用孔の断面欠損を考慮した塑性断面係数 $Zp'$ による素材の最大引張応力度 $\sigma_b$ をかけた破

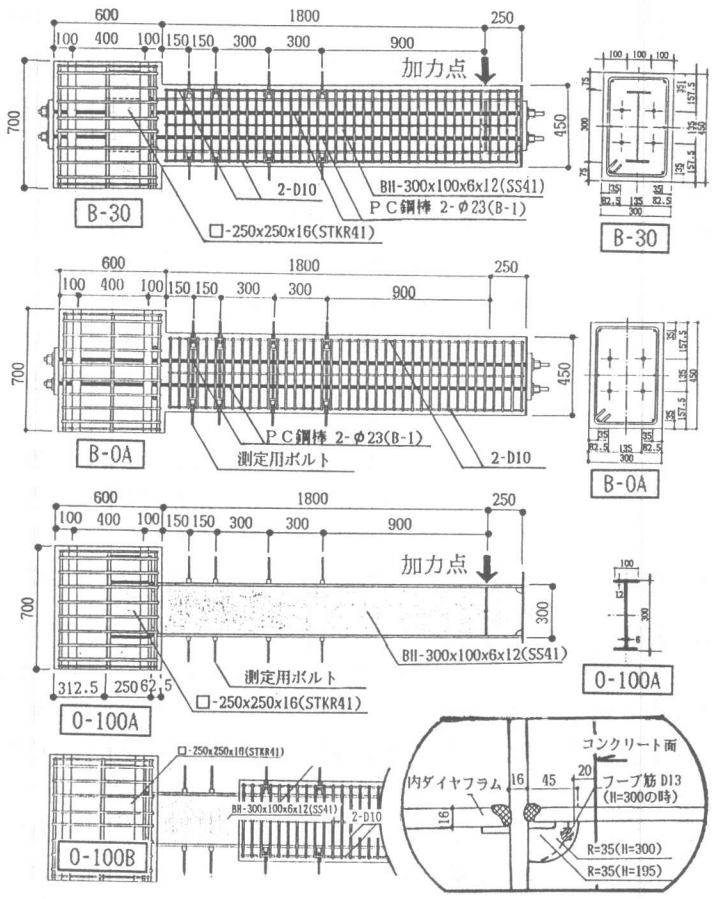


図1(a) 試験体の形状及び寸法 図1(b) スカーラップの詳細

表2 素材の機械的性質

	$F_c$ kg/cm <sup>2</sup>	$F_t$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_c$ t/cm <sup>2</sup>
コンクリート	646	45.2	293
	$\sigma_y$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_b$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_s$ t/cm <sup>2</sup>
D-10(SD35)	3790	5230	2100
PL-6(SS41)	3130	4690	2300
PL-9(SS41)	2820	4340	2280
PL-12(SS41)	2820	4610	2220
PL-16(SS41)	2940	4710	2200
23φ(B-1種)	10500	12000	2050

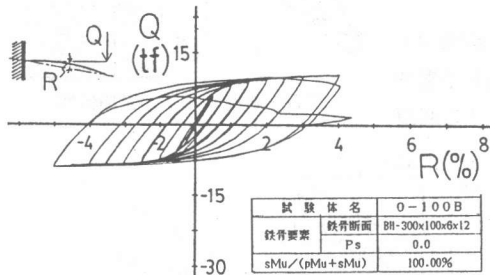
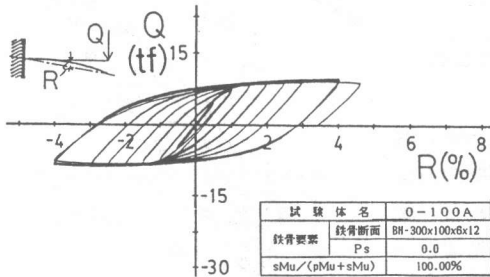
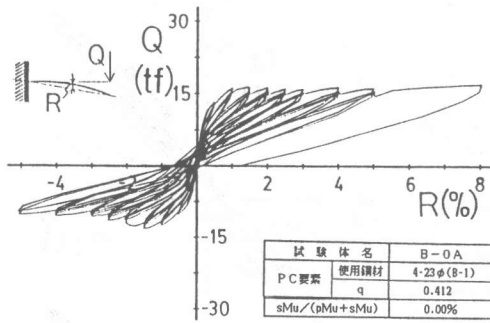


図2(a) PC及び鉄骨部材の履歴曲線

断面げモーメント,  $sMp$ : 鉄骨断面の全塑性モーメント)との関係を図3に示す。この図より  $sMu'/sMp$ の比が大きくなるほど  $Rb$ は大きくなる傾向があることが解る。本実験では模型実験であるためスターラップ断面欠損率のしめる割合が多くなり、また、鉄骨要素の耐力が小さくなるほど断面欠損率の割合が多くなり、このような傾向を示すものと考えられる。なお、B-30と0-100Bとは同一鉄骨断面を有している試験体であり、鉄骨フランジの破断部材角を比較すると両試験体でほぼ同じ ( $R = \pm 4.0\%$ )であり、鉄骨部材の破断はPSRC部材としたための影響とは考えにくい。

3.3 累加特性 履歴曲線の包絡線の概形を示すスルトカーブの累加特性を図4に示す。同図中の●-●印がPC部材と鉄骨部材の各スルトカーブを同一変形上で累加したスルトカーブである。

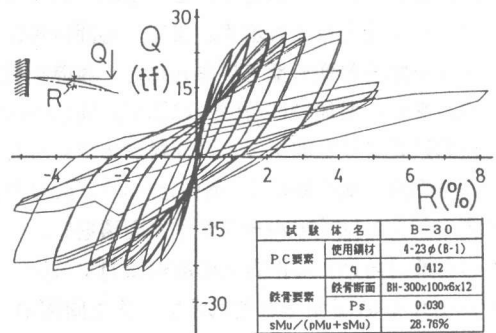
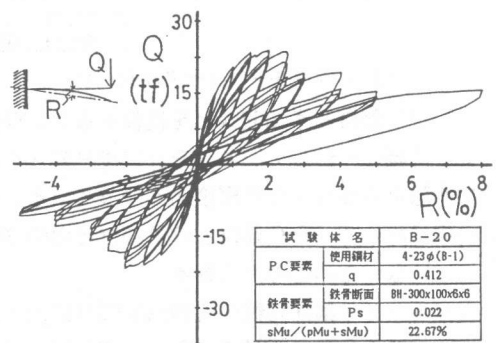
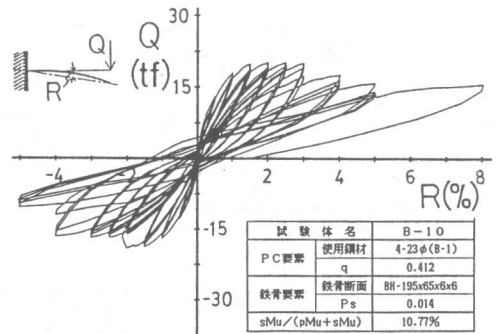


図2(b) PSRC部材の履歴曲線

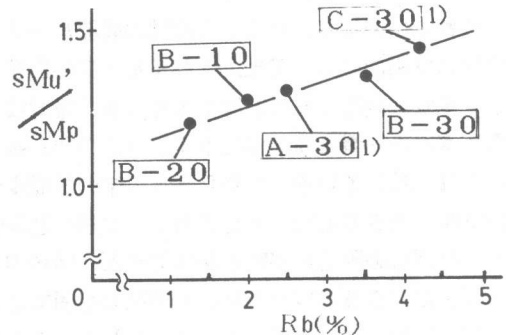


図3 鉄骨要素の破断部材角

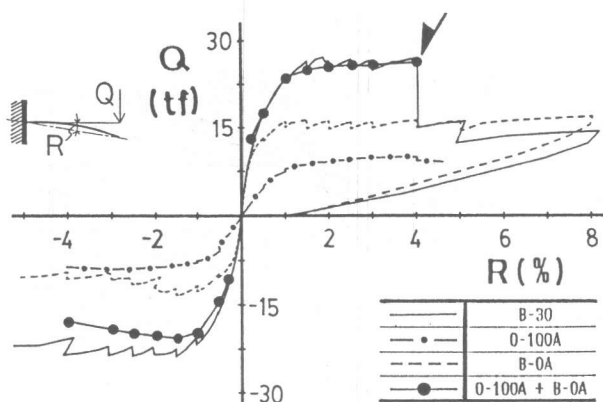


図4 スケルトンカーブの累加特性

PSRC部材と累加曲線とを比較すると、部材角 $R=1.0\%$ 位まではほぼ一致している。それ以後PSRC部材の方が累加曲線より5~10%程度高くなっている。これは、累加曲線において、PC部材と鉄骨部材との中立軸位置が一致していないためと考えられる。

履歴ループの累加特性の代表例を図5に示す。同図中の網掛部分がPSRC部材を、●-●印が同一変形上で累加したループをそれぞれ示す。また、各部材角における履歴

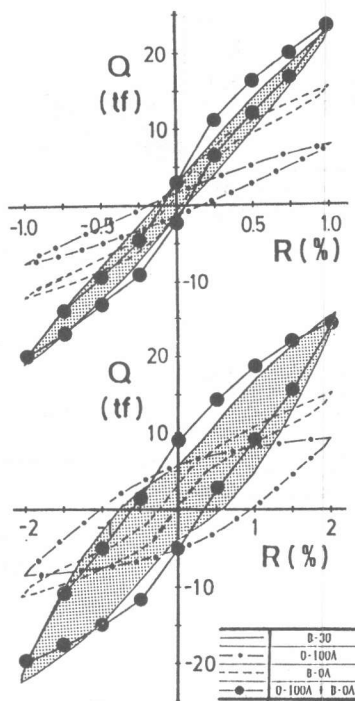


図5 履歴ループの累加特性

ループを耐力と変形量で無次元化した履歴吸収エネルギーの累加特性を図6に示す。同図中の右側のレンズは鉄骨部材・PC部材およびPSRC部材の同一変形量による耐力比  $sQ/pcQ$  を、左側のレンズはそのループが示す面積をループの長辺を部材角とする正方形の面積に対する比  $pc\beta \cdot s\beta \cdot psrc\beta$  をそれぞれ示す。また同図中に示す●...●印は図中の式によってPC部材と鉄骨部材を累加したものである。

これらの図より、PSRC部材の履歴ループの形状は累加によって推定されるループの形状と完全な一致を見ることはできないが、履歴吸収エネルギー量は同図中に示すように○印と●

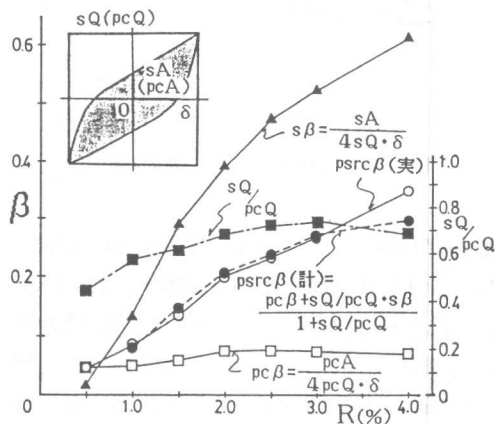


図6 履歴吸収エネルギーの累加特性

印とは一致している。またPSRC梁の履歴ループは、PC部材と鉄骨部材との累加によってほぼ推定できるものと考えられ、PC部材と鉄骨部材の無次元化した履歴吸収エネルギーとそれぞれ部材の耐力比が明らかになれば、図6中に示す式にてPSRC部材の履歴吸収エネルギーが推定できる。以上より、本実験の範囲では、PSRC部材のスケルトンカーブ及び履歴ループを累加によって概ね推定することができるものと考えられる。

3.4 鋼材量の影響 シリーズIIにおける鋼材量による履歴ループの比較の代表例( $R=1.0$ 及び $2.0\%$ 時の第34カ目)を図7に示す。同図中の網掛部分はPC部材の試験体である。また、PSRC部材の各部材角における履歴吸収エネルギー量をPC部材のそれで無次元化したものを図8に示す。

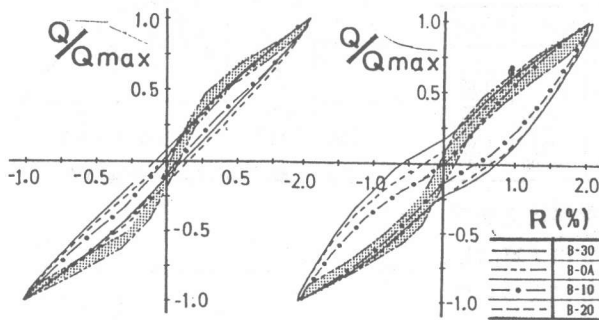


図7 履歴ループの鋼材量による影響

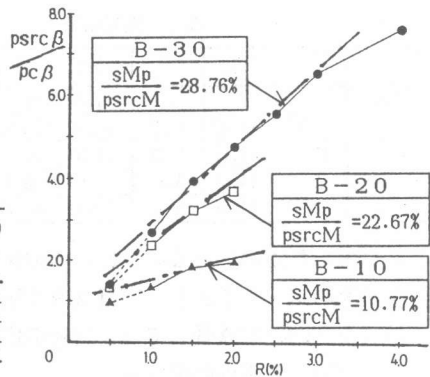


図8 履歴吸収エネルギーの鋼材量による影響

部材角 $R=0.5\%$ では鉄骨の歪値は降伏直後であり、鋼材量の相違による履歴吸収エネルギーに大きな相違はみとめられない。しかし、鉄骨の降伏が大きく進行した $R=2.0\sim 4.0\%$ では、B-10およびB-30でPC部材の2~6倍の履歴吸収エネルギー量を示すようになる。以上より、PSRC部材の履歴吸収エネルギー量は、鉄骨の降伏以前はPC部材と大きな相違はないものの、鉄骨が降伏した後は変形が進行すると共にほぼ直線的に増大し、その傾向は鋼材量の増大とともに顕著になる。

3.5 各部変形の負担状況 試験体の加力点端部にて測定した全体変形量 ( $\delta a$ ) と試験体各部の曲率 (試験体の曲率変形はスタブ固定端より5つの区間  $\phi 1 \sim \phi 5$ に分けて測定され、それぞれの測定長は  $1/3 \cdot D, 1/3 \cdot D, 2/3 \cdot D, 2/3 \cdot D, 2 \cdot D$ とした) より算出した部材の全体変形量 ( $\delta c$ ) との関係を図9に示す。また、各部の変形量が全体変形に及ぼす負担状況の代表例を図10に示す。この図9より  $\delta c$ は  $\delta a$ の9割の範囲内にあり、部材の挙動はほぼ曲げ変形にて推定できる。また図10よりスタブ固定端部における負担変形は各試験体ともに部材角が大きくなる程増加する傾向を示す。

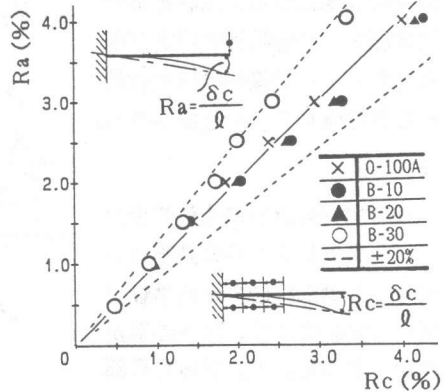


図9 全体変形と曲率変形との比較

#### 4. 計算値との比較検討

各試験体の曲げび割れ発生荷重 ( $eMc_r$ )、正及び負加力の最大曲げモーメント ( $+eMu$ 及び $-eMu$ )の実験値及び計算値 ( $cMc_r, cMu$ )を表3に示す。また曲げモーメントと曲率関係の実験値と計算値の比較を図12及び図13に示す。本計算値は平面保持の仮定及び各素材の応力度~歪度 (図11参照)を用いて曲げモーメント-曲率 (以下M- $\phi$ と略) 関係

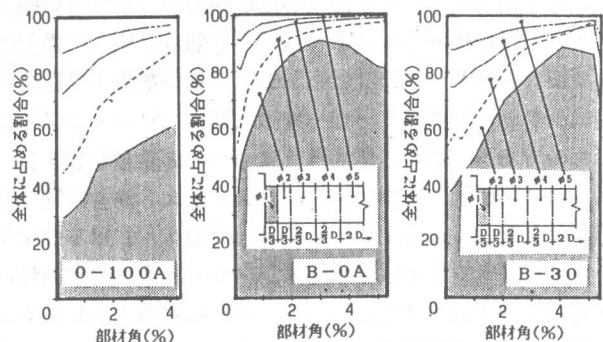


図10 各部変形の負担率

表3 実験結果

	$eM_{cr}$ (tf·m)	$cM_{cr}$ (tf·m)	$e/c$	$teM_u$ (tf·m)	$-eM_u$ (tf·m)	$cM_u$ (tf·m)	$e^* \mu_u / c$
0-100A	-	-	-	17.96	-15.79	-	-
B-0A	14.42	13.47	1.07	30.71	-23.63	31.22	0.87
B-10	10.80	13.17	0.82	36.52	-34.02	36.36	0.97
B-20	12.42	14.61	0.85	43.09	-39.17	41.13	1.00
B-30	13.50	14.51	0.93	49.19	-42.59	44.99	1.02

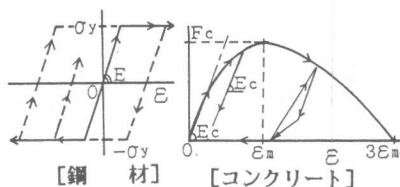


図11 素材の応力度-歪度関係

より算出したものである。また、この実験値はスタブ固定端部のM-φであり、Mはスタブ固定端で算出し、φはスタブ内柱型鉄骨までが、付着の影響によるものとして算出した平均曲率である。

これら図及び表より本計算値は曲げひび割れ発生耐力、最大曲げ耐力及びこれら スケルトンカーブの実験値を良く説明しているものと考えられる。また、M-φ関係のμ-φは曲率の小さい時、例えば φ=0~0.00025cm<sup>-1</sup>の範囲では本計算値で履歴μ-φ

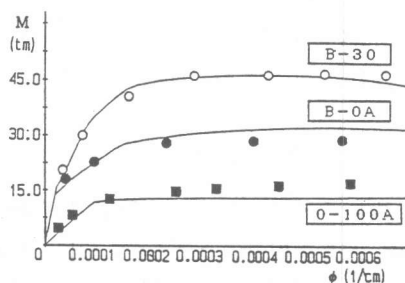


図12 スケルトンカーブの実験値と計算値の比較

の形及び等価剛性等を比較的良く説明している。しかし、それ以後の曲率になると本計算値では履歴μ-φの形状等の推定が困難となり、P C鋼棒の付着性状などを考慮していく必要がある。

### 5. まとめ

鉄骨耐力の負担が比較的小ないプレストレスト鉄骨鉄筋コンクリート梁部材の力学的挙動に関する実験により、以下の事が明かとなった。1) PSRC部

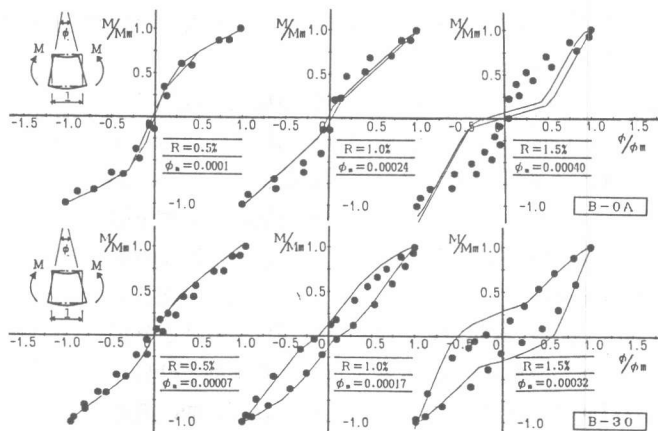


図13 履歴ループの実験値と計算値の比較

材のスケルトンカーブおよび履歴ループは、P C部材と鉄骨部材の累加によってほぼ把握できる。2) 部材の耐力および履歴吸収エネルギー量は鉄骨量を増大することによって増大することが出来る。3) P C部材の曲げ耐力の3割程度の耐力を有する鉄骨部材を内蔵させることにより、履歴吸収エネルギー量はP C部材に比べて数倍の量となる。

【謝 辞】 本研究は昭和63年度東京電機大学総合研究所の研究補助金およびオリエンタルコンクリート(株)、ドービー建設工業(株)、ビー・エス・コンクリート(株)3社の委託研究費によるものである。これら関係各位に心からの謝意を表す。

【参考文献】 1) 中野他「プレストレスト鉄骨鉄筋コンクリート梁の履歴特性に関する実験的研究(その1、その2、その3、その4)」日本建築学会大会・1989. 10、2) 青木他「プレストレスト鉄骨鉄筋コンクリート梁の力学的特性に関する実験的研究(その1)」日本建築学会大会・1986. 8、3) 青木他「プレストレスト鉄骨鉄筋コンクリート梁の力学的特性に関する実験的研究(その2)」日本建築学会大会・1987. 10