

論文

[2174] 柱RC・梁Sで構成される2層1スパンの混合構造架構の弾塑性挙動

伊藤 英勝*1・黒澤 明*2・菊川 和俊*3・南 宏一*4

1. 実験目的

柱RC・梁Sで構成される混合構造の力学的挙動に関する研究は、主に柱梁接合部の応力伝達機構或いは耐力機構の解明¹⁾におかれ、今日においてもなお、架構としての力学的性状に関する基礎資料は、ほとんど整備されていない状況にある。本研究は、混合構造架構の弾塑性性状と、塑性変形能力評価法に関する基礎資料を整備することを目的として行うもので、本報では2層1スパン架構の実験計画及び結果と、弾塑性解析結果の概要を述べるものである。

2. 試験体

計画した試験体は1体で、図-1に試験体の形状寸法を、図-2に柱及び梁の断面構成を、図-3に柱梁接合部詳細をそれぞれ示す。試験体は、純ラーメン8階建建物の下層部の2層1スパンを対象とした縮尺1/3.5の模型であり、梁スパンは3000mm、階高は1000mmの柱RC・梁S形式の混合構造骨組である。柱断面は300×300mmで、主筋はD16を柱断面の片側に6本ずつ配筋した。せん断補強筋は、柱の曲げ降伏に先行してせん断破壊が起こらないように、高強度せん断補強筋(4-U6.4)を40mm間隔で設け、各階の柱頭部分は二重巻きとした。S梁には溶接H形鋼(BH-230×85×6×9)を使用し、第1種保有耐力横補剛となるように、横座屈防止装置をS梁中央に取りつけた。S梁の柱梁接合部内への定着は埋め込み方式とし、埋め込み長さはS梁せい分とした。S梁が全塑性モーメントに達した時に、柱梁接合部がせん断破壊を生じないようにするために、接合

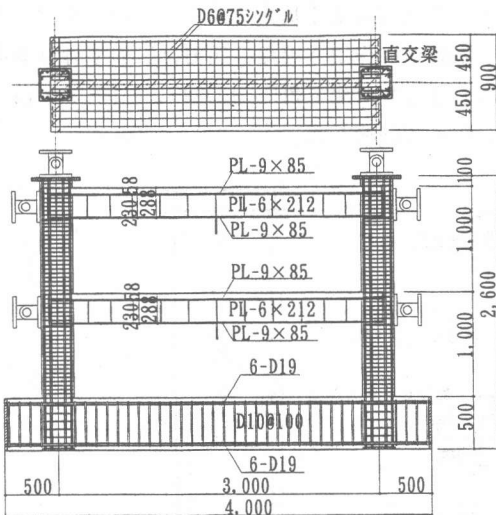


図-1 試験体の形状寸法 (単位: mm)

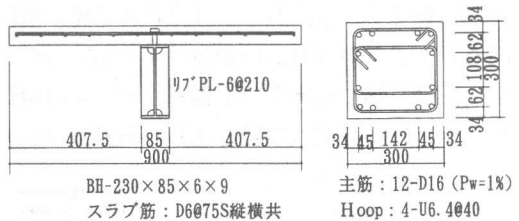


図-2 柱及び梁の断面構成 (単位: mm)

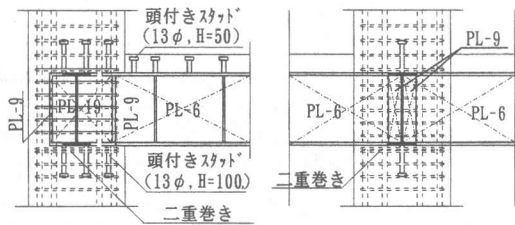


図-3 柱梁接合部詳細 (単位: mm)

- *1 三菱建設(株)建築設計部 部長 (正会員)
- *2 三菱建設(株)技術研究所主管研究員 (正会員)
- *3 三菱建設(株)技術研究所主任研究員 (正会員)
- *4 福山大学教授 工学部建築学科、工博 (正会員)

部内S梁ウェブにE-19を使用した。また、S梁の柱梁接合部からの抜け出しを防止するために、柱主筋位置には縦ステイフナE-9を設け、接合部内上下フランジに頭付きスタッド(13φ, H=100)を3本取り付けた。スラブ筋は、短辺・長辺方向ともD6を75mm間隔でシングル配筋し、完全合成梁として求めた頭付きスタッド(13φ, H=50)を105mm間隔で設けた。また試験体の設計においては、RC柱の降伏曲げモーメント

と、スラブとの合成効果を考慮したS梁の正曲げに対する全塑性モーメントの比率を、ほぼ同等(1:1.04)とした。なおコンクリートは、基礎梁スタブ、1階柱及び2階スラブ、2階柱及び3階スラブの3回に分けて縦打ちした。表-1に使用した材料の力学的特性を示す。

表-1 使用材料の力学的特性

材 料		σ_y (kg/cm ²)	ϵ_y ($\times 10^{-6}$)	σ_{max} (kg/cm ²)
鉄 骨	PL-6 (SS400)	3830	2370	4810
	PL-9 (SS400)	3150	1930	4820
鉄 筋	D16 (SD295A)	3500	2110	4990
	D6 (SD295A)	3930	2180	5390
	U6.4 (SBPD1275/1425)	14100	7250	14500
コンクリート	Fc240 $c\sigma_B=303\text{kg/cm}^2$ (1F材令37日) 295kg/cm^2 (2F材令32日)	$c\sigma_B$: 圧縮強度		

σ_y : 降伏応力度 ϵ_y : 降伏伸び σ_{max} : 引張強さ

3. 実験方法

3.1 加力方法

図-4に加力装置の概要を示す。試験体は反力ビームの上に設置し、全ネジボルトM22で固定した。柱に作用する長期軸力として、 $W=80\text{tf}$ ($N_L=40\text{tf}$)を2階の柱頭位置に、ピンによって取り付けた加力ビーム(B)を介して作用させた。1, 2階の水平力 H_1, H_2 は、1, 2階柱梁接合部側面にピンで結合された鋼製加力ビーム(A)を介して、1階柱頭部に $H_1=0.25P$ 、2階柱頭部に $H_2=0.75P$ になるように作用させた。水平力 H_1, H_2 の値は、地震力分布をAiモードとした試設計によって定めた。なお荷重Pは、油圧ジャッキ(A)による負荷荷重であるが、引張負荷荷重は、PC鋼棒および加力ビーム(A')を介し、試験体に作用させた。加力は、先ず弾性範囲で1回繰り返した後変位制御で行い、3階梁位置における相対変形角 $R=0.0025, 0.005, 0.01, 0.02\text{rad.}$ で各2回づつ繰り返し、最終は $R=0.04\text{rad.}$ まで載荷した。

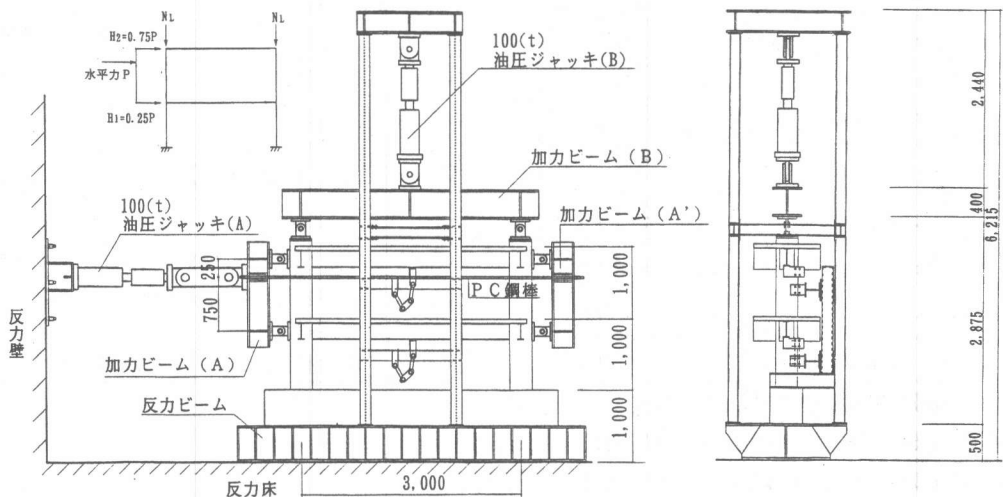


図-4 加力装置

3.2 測定方法

試験体に加わる荷重、歪、変形、曲率はジャッキに取り付けたロードセル、各ダイヤルゲージ、鉄筋及び鉄骨に貼付したストレインゲージによって測定した。図-5に変位測定計画を示す。梁の相対変形角の測定は、柱梁接合部に固定したアルミフレームに取り付けた変位計①により、

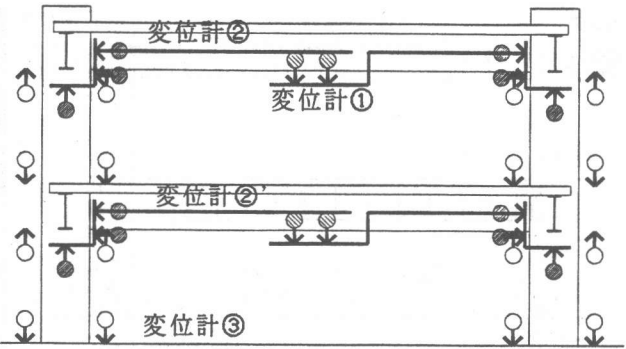


図-5 変位測定計画

架構の相対変形角の測定は、3階S梁の高さ方向中央部に取り付けた変位計②によった。柱の曲率は、柱危険断面位置から柱せい1/2離れた位置に埋め込んだ全ネジボルトに取り付けた変位計③によって測定した。

4. 予備荷重

本実験を行う前に、加力装置が正常に作動することを確認するために予備荷重を行った。軸力をA、B柱に40(tf)ずつ作用させ、荷重Pを正負6(tf)まで作用させた。図-6に荷重-相対変形角関係を示す。縦軸は荷重を、横軸は変位計②の測定値から求めた相対変形角を表す。実線は予備荷重値で、破線はたわみ角法による予備解析値を示す。また、図中にP=6(tf)時の予備解析の曲げモーメント分布を示す。予備荷重の実験挙動は、予備解析値とほぼ対応しており、加力装置が正常に作動することを確認した。

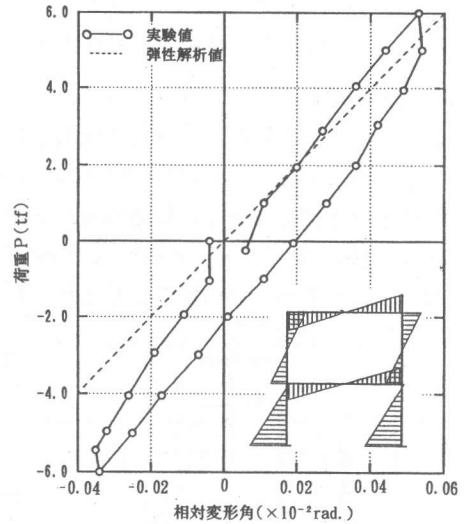


図-6 荷重-変形関係

5. 実験結果

5.1 破壊性状

図-7に最終ひび割れ状況を、写真-1にA柱及びB柱の最終破壊状況をそれぞれ示す。柱の曲げひび割れは7/2サイクルの $R=0.0032\text{rad.}$ でB柱の柱脚に発生し、A柱はB柱と同じサイクルの $R=0.0034\text{rad.}$ で発生した。その後A柱は、曲げひび割れが8/2サイクルの $R=0.0047\text{rad.}$ で曲げせん断ひび割れに移行し、12/2サイクルの $R=0.005\text{rad.}$ でせん断ひび割れが発生した。1階柱脚の圧壊による縦ひび割れは、19/2サイクルの $R=0.02\text{rad.}$ で見られた。B柱はA柱と同じ経過を辿るが、1階柱脚には圧壊による縦ひび割れの発生はなく、1階柱頭はA柱・B柱とも2階S梁フランジ下の部分に圧壊が見られた。2階の柱頭・柱脚には圧壊が生じなかった。スラブのひび割れは、1/2サイクルの $R=0.0008\text{rad.}$ で3階スラブに曲げひび割れが発生し、スラブを横断するひび割れは、5/2サイクルの $R=0.002\text{rad.}$ で生じた。スラブのひび割れの発生は、柱のフェースからS梁せいの4倍程度の範囲に集中した。なお梁フランジの局部座屈は、17/2サイクル時の $R=0.011\text{rad.}$ で2階B柱側で生じた。柱梁接合部のせん断ひび割れの発生は少なく、骨組の最終崩壊形は、1階柱脚と2・3階S梁両端部の曲げ降伏による全体崩壊形となった。

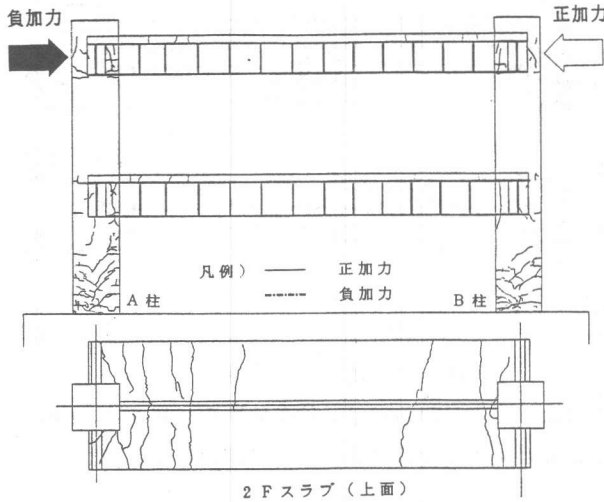


図-7 最終ひび割れ状況

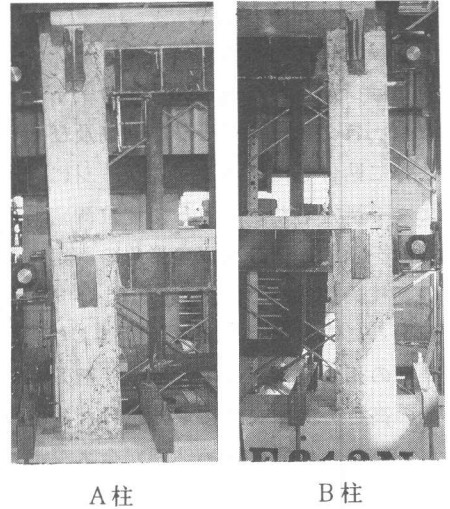


写真-1 A柱及びB柱の最終破壊状況

5.2 歪状況

図-8に正加力時のA柱主筋の歪度分布、図-9に正加力時の2階S梁のフランジの歪度分布を示す。柱主筋は、 $11/2$ サイクルの $R=0.01\text{rad.}$ で降伏した。柱主筋の降伏は1階柱脚のみで、1階柱頭の歪度は小さく、反曲点高比 y は、1階ではほぼ0.9、2階ではほぼ0.1であった。S梁フランジは、 $11/2$ サイクルの $R=0.005\text{rad.}$ で柱フェース位置で降伏し、 $R=0.02\text{rad.}$ までに、塑性化領域は、S梁せいの範囲まで広がった。

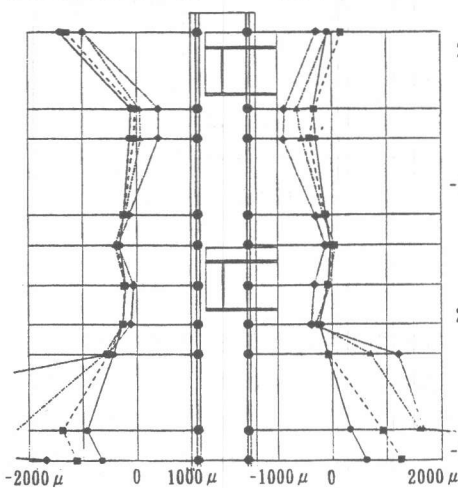


図-8 A柱主筋の歪度分布

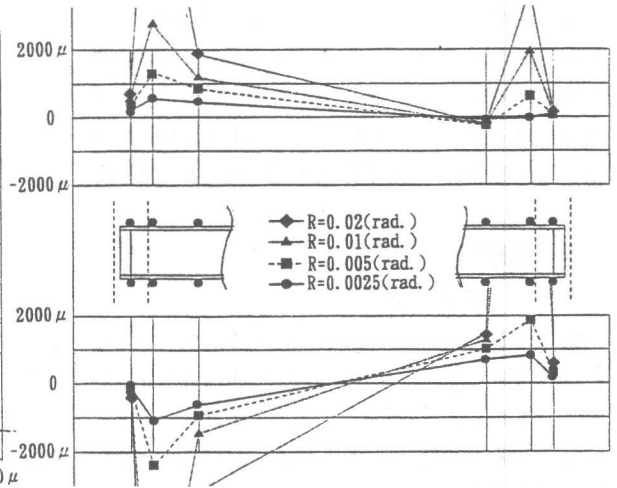


図-9 2階S梁のフランジの歪度分布

5.3 荷重-変形関係

図-10と図-11に、荷重-相対変形角関係をそれぞれ示す。縦軸は、試験体に載荷させた荷重、横軸は3階梁位置の水平変位から求めた架構の相対変形角を示す。図-10は $4/2$ サイクルの $R=0.0025\text{rad.}$ までを示し、図中○は実験値を、実線は後述する解析値を示す。解析では、荷重8tfで1階柱脚に曲げひび割れが発生するが、8tfまでの実験値の負荷および除荷勾配は、いずれも解析値と一致している。曲げひび割れ以降は、解析値の剛性は実験値を下回った。図-11は全サイクルを示す。図中○印は、部材の断面に生じる歪度が降伏歪度に達した時の荷重点

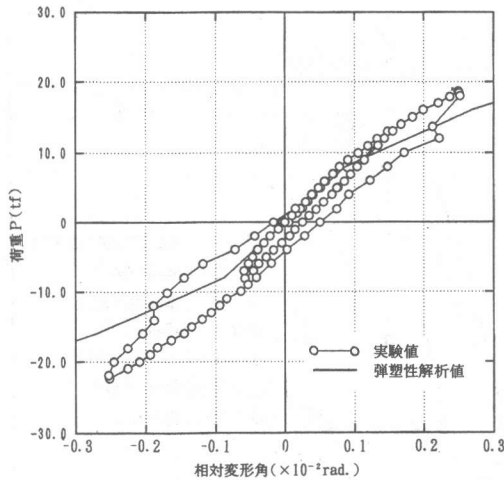


図-10 荷重-相対変形角関係(4/2サイクル)

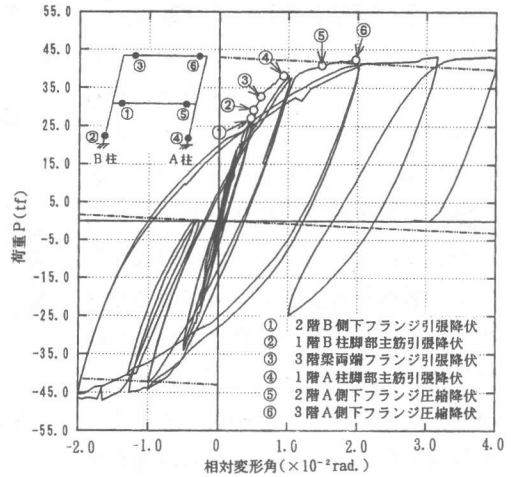


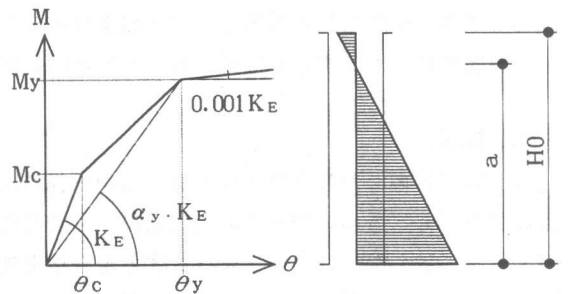
図-11 荷重-相対変形角関係(全サイクル)

を示し、一点鎖線は機構法による崩壊荷重($P_u=43\text{tf}$)を表す。 $R=0.005\text{rad.}$ では若干剛性は低下するものの、骨組はほぼ弾性的な挙動をしている。骨組の降伏は、S梁の端部の降伏時ではなく、B柱主筋が降伏したのちA柱主筋が降伏したほぼ $R=0.01\text{rad.}$ 前後で生じた。それ以降は、10%程度の耐力の増加を伴う紡錘形の履歴性状を示し、測定された最大耐力は正加力時では 43.2tf ($R=0.032\text{rad.}$)、負加力時では 45.6tf ($R=0.018\text{rad.}$)であった。

6. 考察

6.1 弾塑性解析

柱RC・梁Sとする混合構造の弾塑性解析を文献2)の方法により行い、実験結果との比較検討を行った。図-12にRC柱の非線形特性に関するモデル化を示す³⁾。降伏曲げモーメント M_y は、ACI規準に基づいて算定した。また、曲げ降伏時剛性低下率 α_y の算定は、前述の反曲点位置に基づき、1階については $y=0.9$ 、2階については $y=0.1$ とした。図-13に、S梁の合成梁としてのモデル化を示す。弾性剛性 K_E は、 $+K_E$ と $-K_E$ の平均値を採った。合成梁の正曲げおよび負曲げの全塑性モーメント M_{p1} 、 M_{p2} の算定においては、スラブとの合成効果を考慮した。接合部は鉄筋コンクリートのみせん断変形を考慮した。せん断剛性は、本実験では柱梁接合部にはせん断ひび割れが生じなかったため、弾性として扱った。



$$\alpha_y = (0.043 + 1.64n \cdot pt + 0.043a/D + 0.325 \eta_0) (d/D)^2$$

図-12 RC柱の非線形特性

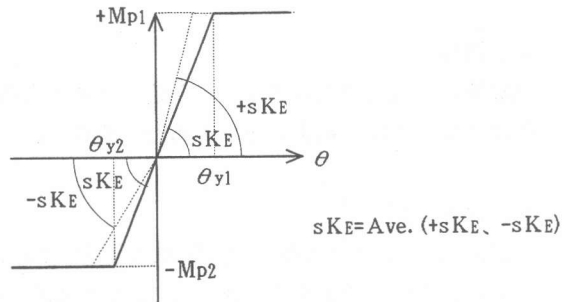


図-13 合成梁の非線形特性

6.2 弾塑性解析との比較検討

図-14に、荷重-相対変形角の正荷重に対する実験値の包絡線と、解析値の比較を示す。縦軸は荷重を、横軸は3階梁位置の相対変形角を示す。初期剛性の解析値は実験値と良く一致したが、1階柱脚部の曲げひび割れ発生荷重は解析値では8tf、実験値では20tfであった。曲げひび割れ後の剛性は、解析値は実験値より低いが、剛性低下の状況はほぼ実験性状を表している。解析および実験とも、最初の降伏が生じるのは2階S梁であり、その時の荷重はほぼ同一であるが、解析での降伏位置は負曲げに対し、実験では正曲げであった。また、その後の降伏順序も

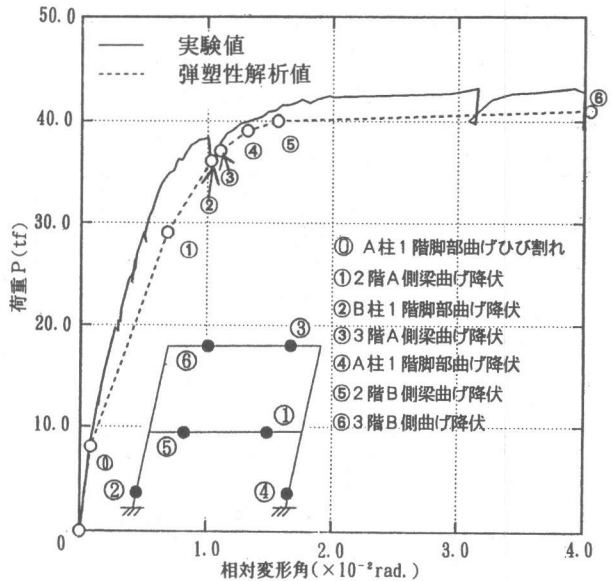


図-14 荷重-相対変形角の包絡線

解析値と実験値では異なる結果を示した。解析で骨組に明確な降伏が見られるのは、B柱1階柱脚が降伏するときであるが、そのときの耐力および相対変形角は、実験値の方が大きい。しかし、実験および解析ともA柱1階柱脚が曲げ降伏すると、架構としての剛性は著しく低下し、そのときの耐力はほぼ等しい。さらに解析では⑤から急激な塑性流れが生じ、その状況もほぼ実験結果と対応する。最終相対変形角は、実験および解析とも $R=0.04\text{rad.}$ であり、解析における最大耐力は崩壊機構を形成する⑥で示され、その値は41tfと実験値と良く一致している。

7. 結語

本実験で計画した柱RC・梁Sとする混合構造架構は、繰り返し水平力に対して、安定した履歴性状を示し、骨組の明確な降伏性状は、2階S梁の降伏では示されず、B柱1階柱脚部の降伏時とほぼ一致した。柱RC・梁Sとする混合構造架構の弾塑性性状を適切に仮定する事により、材端ばねモデルを用いた漸増弾塑性解析による曲げひび割れ後の剛性低下は、実験値に対して大きく、かつ降伏ヒンジの形成順序は、実験値と若干異なるが、初期剛性、降伏耐力、最大耐力は実験値と良く一致し、本解析手法は、混合構造架構の弾塑性解析手法として、ほぼ適応できる。

8. 謝辞

試験体の作成に当たっては、三菱建設(株)広島支店、市原 修一、渡辺 淳の両氏に、実験実施に当たっては、福山大卒論生永野 淳氏をはじめ南研究室の皆様にご尽力頂きました。

9. 参考文献

- 1)例えば、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^ハ部のせん断力-変形関係、日本建築学会構造系論文報告集、No. 429、pp55-64、1991. 11.
- 2)青山 博之・上村 智彦:マトリックス法による構造解析、培風館、1988
- 3)菅野 俊介:鉄筋コンクリート部材の復元力特性に関する研究、コンクリートジャーナル、pp1-9、Vol. 11、No. 2