

論文

[2094] 2方向地震力を受ける立体柱梁接合部の弾塑性性状

正会員 ○ 藤原幹弘 (大阪工業大学大学院)
 正会員 西村泰志 (大阪工業大学工学部)
 正会員 南 宏一 (大阪工業大学工学部)

1. はじめに

既往¹⁾の鉄筋コンクリート造柱梁接合部の研究では、平面骨組を用いた研究が多数行われ、有益な資料が得られている。しかしながら、立体骨組の柱梁接合部の変形性能²⁾および柱梁接合部の挙動に影響を与えるスラブ³⁾や直交梁⁴⁾についての実験的研究⁵⁾が行われているが、十分な資料を得るに至っていない。特に、2方向外力を受ける柱梁接合部の耐力についての研究は少ない。このような観点から、本研究では、内柱に対応する鉄筋コンクリート立体十字形部分骨組に、任意の方向から地震荷重が作用した場合の耐力や破壊性状が、作用軸力の大きさと荷重の作用角度によって、どのような影響を受けるかを実験的に検討する。

2. 実験計画

図-1 に試験体の形状寸法および柱、梁断面を示す。試験体は、内柱のスラブのない立体十字形骨組で、交換可能な鉄骨の補助ビームを取り付けることによって、所定の形状寸法となるようにし、実大の1/3程度の模型を想定している。また、試験体は、x、y各方向について、接合部のせん断破壊が部材の破壊に先行するように計画した。なお、本研究は、コンクリートパネルの基本的な挙動を調べることに主眼をおいているので、柱梁接合部にせん断補強筋は設けていない。実験変数は、柱断面の主軸(x軸)に対する載荷角度 θ と作用軸力である。載荷角度 θ は、図-1に示すように0度、22.5度、45度の3種類、作用軸力は柱断面の中心圧縮強度 N_u の0%、20%の2種類である。これらの実験変数の組合せにより、立体十字形骨組を6体、さらに、比較のため平面十字形骨組2体の計8体を計画した。上および下柱でコンクリートの力学的性状が変わることをさけるために、コンクリートの打設は梁天端で打継がず一回打とし

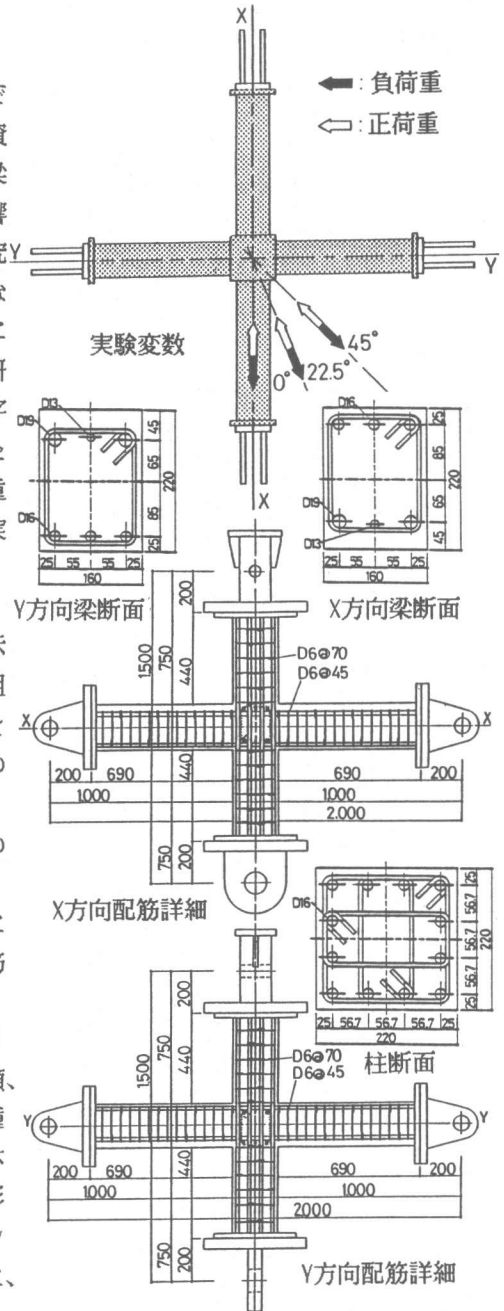


図-1 試験体の形状寸法及び実験変数

表-1 使用材料の力学的特性および各ひび割れの発生荷重

試験体*	コンクリート						鉄筋		曲げひび割れ		付着ひび割れ		コンクリート圧壊		最大荷重 P _{max} (tf)
	F _c (kgf/cm ²)	F _t (kgf/cm ²)	D ₁₃	σ _y (tf/cm ²)	σ _u (tf/cm ²)	ε _u	柱	梁	柱	梁	柱	梁	P _{oru} (tf)	P _{max} (tf)	
IJO-P	236	25.3	D13	3.64	5.37	0.191	1.94(1.77)*	1.02(0.78)	4.79(3.50)	3.69(4.55)	-	-	-	-	4.79(4.54)
IJO-1	256	22.2	D16	3.71	5.42	0.187	1.98(1.34)	1.64(1.86)	5.32(5.47)	4.85(4.74)	-	-	5.34(5.47)	5.39(5.47)	
IJO-2	242	20.7	D19	3.69	5.78	0.182	1.92(0.95)	1.92(0.95)	4.71(3.24)	5.82(5.11)	-	-	5.90(5.12)	5.90(5.51)	
IJO-3	235	18.7					2.67(1.76)	1.70(0.80)	5.15(4.64)	6.44(4.50)	-	-	5.29(6.32)	6.53(6.32)	
IJ2-P	235	21.8	D19	3.70	5.38	0.172	- (1.82)	2.60(1.64)	4.26(1.67)	5.13(1.69)	4.62(-)	4.11(3.58)	5.13(5.12)	5.13(5.12)	
IJ2-1	228	17.8	D16	4.07	5.76	0.179	-	3.05(2.09)	2.81(4.10)	4.84(4.67)	4.18(-)	-(4.10)	5.42(5.33)	5.42(5.33)	
IJ2-2	240	17.2	D13	4.63	6.28	0.174	-	1.61(2.04)	5.36(5.51)	5.08(4.61)	3.88(5.96)	5.27(5.36)	5.65(5.96)	5.65(5.96)	
IJ2-3	248	21.4					6.15(3.85)	2.71(2.88)	- (5.28)	6.00(4.72)	6.00(5.50)	6.00(5.28)	6.31(5.91)	6.31(5.91)	

*:()は負荷重

** : IJO□-□

形状 (P: 平面十字形, 1,2,3: 立体十字形), 載荷角度 (P: 0度, 1: 0度, 2: 22.5度, 3: 45度)
作用軸力 (0: N=0, 2: N=0.2Nu)

た。表-1に使用材料の力学的特性を示す。図-3に実験装置を示す。

実験は、試験体の柱脚を回転支点、梁端部を移動支点として、所定の軸力を負荷した後、柱頭に水平荷重を負荷するものである。この装置は、図-3に示すように、L字形骨組の上に設置した十字形の鉄骨骨組と試験体を同じ角度に回転させ、所定の位置に設置するが、柱頭および柱脚のピン軸はL字形骨組の構面に直交するよう取り付けられている。載荷法則は図-4に示す載荷プログラムに従った。なお、制御する変位振幅の値は、載荷角度の如何に関わらず同じ値を用いた。図-5に示す鳥居形の測定フレームによる測定装置によって、接合部のせん断変形を測定した。

3. 実験結果

3.1. ひび割れおよび破壊状況

図-6に実験終了時の破壊状況の写真を示す。表-1に各部材要素に観察された曲げひび割れ、付着ひび割れおよび部材接合端のコンクリートの圧壊荷重を示す。両シリーズとも平面十字形試験体では、接合部パネルには多数の斜張力ひび割れが観察された。変形の増大に伴って、こ

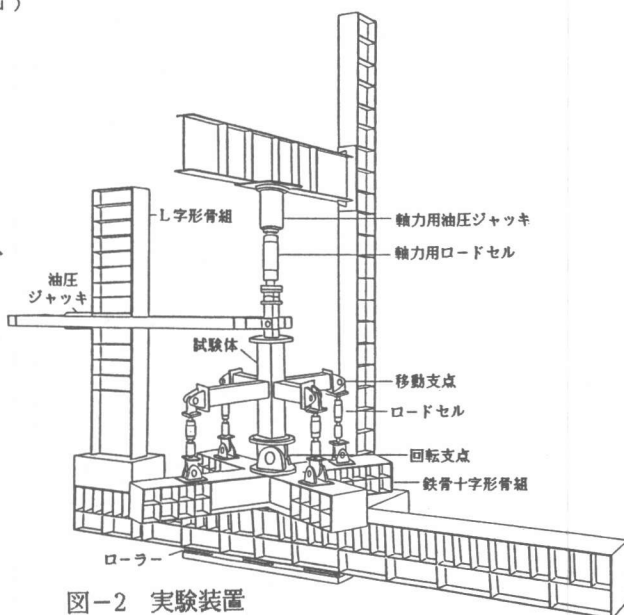


図-2 実験装置

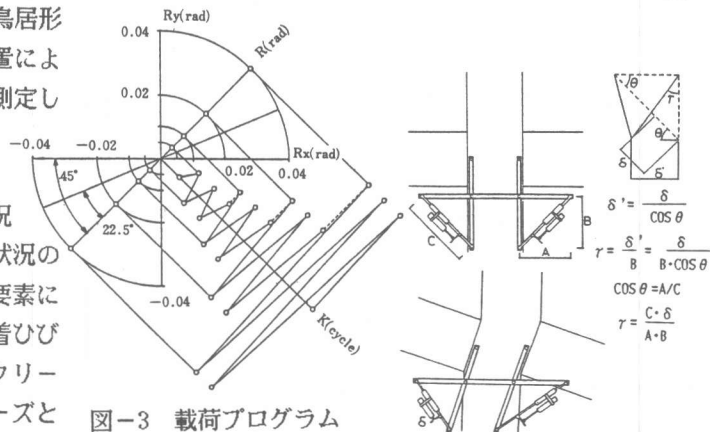


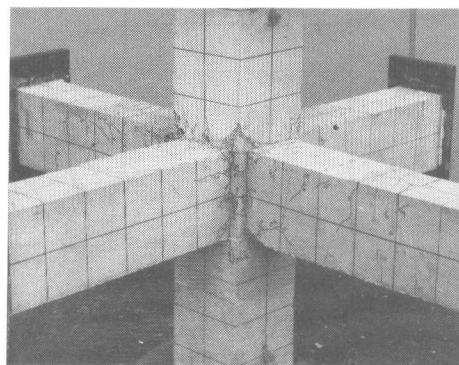
図-3 載荷プログラム

図-4 接合部の変形測定装置

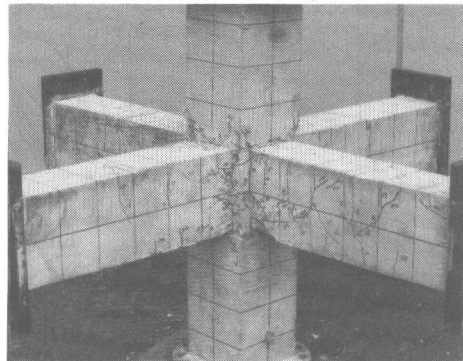
これらの斜張力ひび割れは柱材へと進展し、最終的には上下の柱材の部材接合端の4隅のコンクリートは剝落する。なお、1J2-Pは1J0-Pより接合部パネルの剝落が多数認められた。この様に、平面十字形試験体では、軸力の有無に関係なく接合部パネルのせん断破壊の様相を呈する。6体の立体十字形骨組では両シリーズとも、接合部周囲に梁が取り付けられているために、軸力の有無、荷重の作用角度による明確な差は認められにくい。各試験体について、以下の様な破壊状況が観察された。柱梁接合部には、接合部の斜張力ひび割れの進展によるものと推察される斜めひび割れが観察される。特に、載荷角度が0度、22.5度の場合では、直交梁には部材接合端の梁成を中心として繰り返し載荷にともなって、ハの字形の斜めひび割れが観察される。大変形時には、柱梁接合部の4隅のかぶりコンクリートの剝落や梁部材に、梁主筋に沿った付着ひび割れおよび部材接合端のコンクリートの圧壊が認められる。特に、1J0-3、1J2-3では、これらのひび割れは、わずかであるが柱梁接合部の4隅のかぶりコンクリートの剝落が認められた。

3.2. 変形状

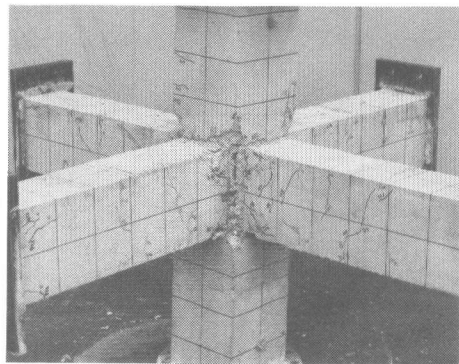
図-7に各試験体の履歴曲線を示す。縦軸は柱頭に加えられた水平荷重 P 、横軸は相対変位角 R である。図中の▽、◆は柱および梁に発生した曲げひび割れ、⊗、⊙は柱および梁主筋にそって発生した付着ひび割れ荷重を示す。▼、∨は梁および柱部材の部材接合端のコンクリートの圧壊する荷重を示す。 $1p$ および $111b$ は、後術のそれぞれ接合部のせん断耐力および梁の曲げ耐力によって決定された荷重である。点線は、転倒モーメントを示す。なお、柱梁接合部のせん断耐力は、 x, y の各方向に独立にせん断破壊するとして求めた。また、柱梁接合部のせん断耐力の算定では、柱梁接合部の有効幅を柱幅と梁幅の相加平均とし、コンクリートパネルの終局せん断応力度 σ_{cu} は、 $0.40F_c$ ⁵⁾とした。載荷角度が22.5度(1J0-2, 1J2-2)、45度(1J0-3, 1J2-3)では所定の載荷法則よりも大きい変形を与えているが、これは、比較のために載荷角度が0度の場合と同様の変形を x 軸構面に負荷したためである。両シリーズとも変位振幅値が小さい領域ではすべりの少ない履歴性状を呈するのに対し、変形の増大にともない各試験体ともすべりを伴った逆S字形の履歴性状を呈する。特に、1J2シリーズでは、すべり領域での耐力の増大が認められた。これは、軸力を負荷することによって、接合部内の梁主筋の付着耐力が増大したためと考えられる。図-8(a)および(b)は、1J0-3, 1J2-3



1J2-1



1J2-2



1J2-3

図-5 実験終了時の破壊状況

骨組

載荷角度

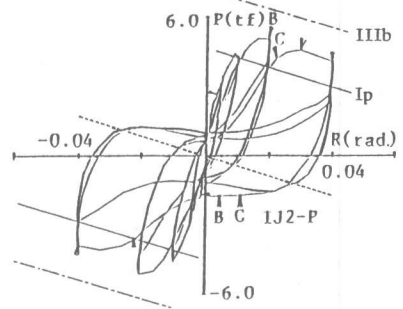
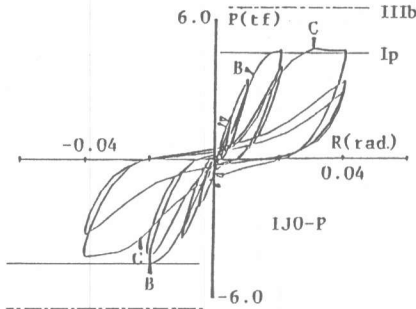
作用軸力

($N/N_u=0$)

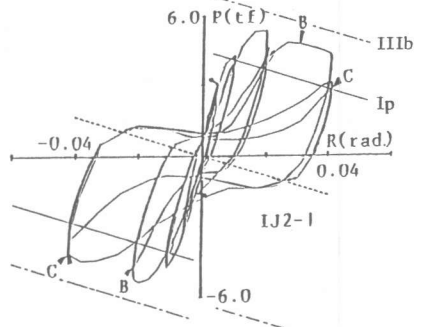
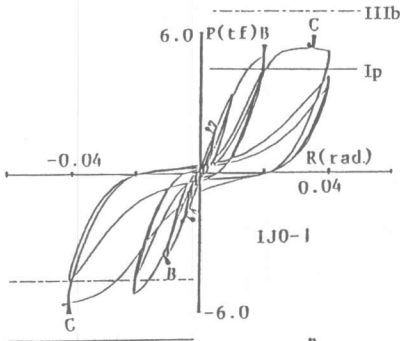
($N/N_u=0.2$)

平面十字形試験体

0度

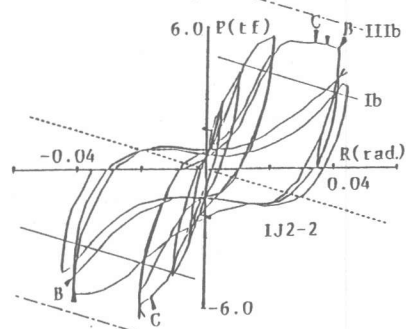
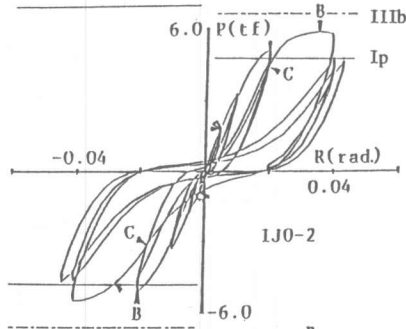


0度

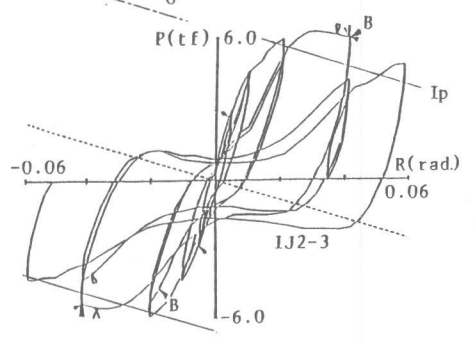
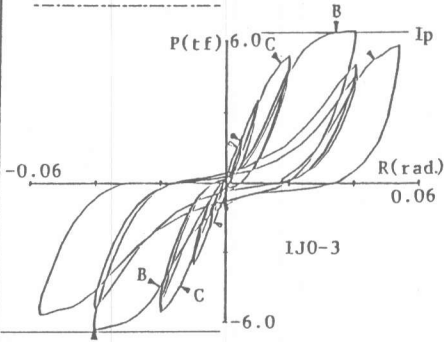


立体十字形試験体

22.5度



45度



- ▽: 柱曲げひび割れ
- ◆: 梁曲げひび割れ
- ⊗: 柱附着ひび割れ
- ⊕: 梁附着ひび割れ
- ∇: 柱部材接合端の圧壊
- ▼: 梁部材接合端の圧壊

図-6 履歴曲線

の $R=0.005(\text{rad.})$, $R=0.04(\text{rad.})$ の固有ループを示すものであり、上述の傾向が顕著に示されている。なお、縦軸は柱頭に負荷された各振幅の荷重 cP を、その振幅の最大荷重 cP_{max} で無次元化した値、横軸は柱頭の各振幅の変形量 cR を、その振幅の最大変形量 cR_{max} で無次元化した値を示す。図-9(a)および(b)に、各々IJ0シリーズ、IJ2シリーズの接合部のせん断変形角の推移状況を示す。縦軸は相対変位角 R に占める接合部のせん断変形によって生ずる相対変位角 R_p との割合 R_p/R 、横軸は、相対変位角 $R(\text{rad.})$ である。IJ0シリーズでは、せん断変形が直線的に増加する傾向があるのに対して、IJ2シリーズでは、 $R=0.02(\text{rad.})$ まで、ほぼ直線的に増加し $R=0.02(\text{rad.})$ 以降その増加は少ない。両シリーズを通して、大変形時には軸力の有無に関係なく平面十字形試験体の接合部のせん断変形量が最も大きい。立体十字形試験体では、載荷角度45度の場合のせん断変形量が他に比較して若干大きくなる傾向がある。

4. 耐力の検討

図-10(a)および(b)は、各々IJ0シリーズ、IJ2シリーズの実験から求められた耐力を検討したものである。横軸はY軸回りの抵抗モーメント m_x 、縦軸はX軸回りの抵抗モーメント m_y で、 $b d^2 F_c$ で無次元化されており、上柱の部材接合端の強さで表現されている。 Δ, \blacktriangle は平面骨組、 \square, \blacksquare は立体骨組の正負の実験値である。 l_b, l_{1b} および l_{11b} は、梁断面の耐力線、 l_c, l_{1c} および l_{11c} は柱断面の耐力線である。なお、 l は本来圧縮筋であったものが付着破壊によって引張筋に移行して圧縮、引張筋ともに降伏している場合、 l_{11} は、不完全な付着状態を想定したもので、引張筋は引張降伏し、圧縮筋は応力が0の状態を示している。一方、 l_{111} は、接合部内の付着が健全で圧縮筋は圧縮、引張筋は引張に抵抗している場合の耐力線である。柱断面の m_x と m_y の相関曲線は円弧と仮定した。なお、梁の耐力線は各梁が載荷方向に対して独立しているため m_x と m_y の相関曲線は矩形分布となる。一点鎖点で示した l_p は、柱梁接合部のせん断耐力を示す。IJ0シリーズにおいて、IJ0-P, IJ0-3は、 l_p の耐力線とほぼ一致していることから柱梁接合部のせん断破壊によって耐力が決定され、IJ0-1, IJ0-2では、破壊状況からも部材の曲げ耐力によって決定されていると考えられる。平面十字形試験体と載荷角度が0度、22.5度の立体十字形試験体を比較すると、耐力が増大しており、直交梁による柱梁接合部のせん断耐力が増大していることがわかる。一方、載荷角度が、45度の立体十字形試験体からは、柱梁接合部のせん断耐力はX, Yの各方向にそれぞれ独立していることが推察される。IJ2シリーズにおいては、IJ2-1, IJ2-2が部材の曲げ耐力によって決定されていると考えられる。一方、IJ2-Pの耐力はIJ2-1と

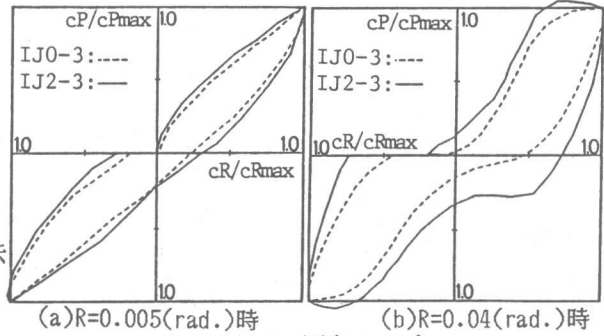


図-7 固有ループ

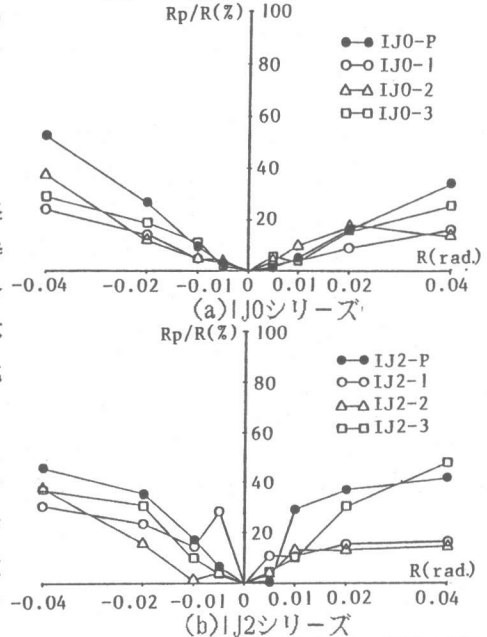


図-8 接合部のせん断変形量の推移状況

図-10(a)および(b)は、各々IJ0シリーズ、IJ2シリーズの実験から求められた耐力を検討したものである。横軸はY軸回りの抵抗モーメント m_x 、縦軸はX軸回りの抵抗モーメント m_y で、 $b d^2 F_c$ で無次元化されており、上柱の部材接合端の強さで表現されている。 Δ, \blacktriangle は平面骨組、 \square, \blacksquare は立体骨組の正負の実験値である。 l_b, l_{1b} および l_{11b} は、梁断面の耐力線、 l_c, l_{1c} および l_{11c} は柱断面の耐力線である。なお、 l は本来圧縮筋であったものが付着破壊によって引張筋に移行して圧縮、引張筋ともに降伏している場合、 l_{11} は、不完全な付着状態を想定したもので、引張筋は引張降伏し、圧縮筋は応力が0の状態を示している。一方、 l_{111} は、接合部内の付着が健全で圧縮筋は圧縮、引張筋は引張に抵抗している場合の耐力線である。柱断面の m_x と m_y の相関曲線は円弧と仮定した。なお、梁の耐力線は各梁が載荷方向に対して独立しているため m_x と m_y の相関曲線は矩形分布となる。一点鎖点で示した l_p は、柱梁接合部のせん断耐力を示す。IJ0シリーズにおいて、IJ0-P, IJ0-3は、 l_p の耐力線とほぼ一致していることから柱梁接合部のせん断破壊によって耐力が決定され、IJ0-1, IJ0-2では、破壊状況からも部材の曲げ耐力によって決定されていると考えられる。平面十字形試験体と載荷角度が0度、22.5度の立体十字形試験体を比較すると、耐力が増大しており、直交梁による柱梁接合部のせん断耐力が増大していることがわかる。一方、載荷角度が、45度の立体十字形試験体からは、柱梁接合部のせん断耐力はX, Yの各方向にそれぞれ独立していることが推察される。IJ2シリーズにおいては、IJ2-1, IJ2-2が部材の曲げ耐力によって決定されていると考えられる。一方、IJ2-Pの耐力はIJ2-1と

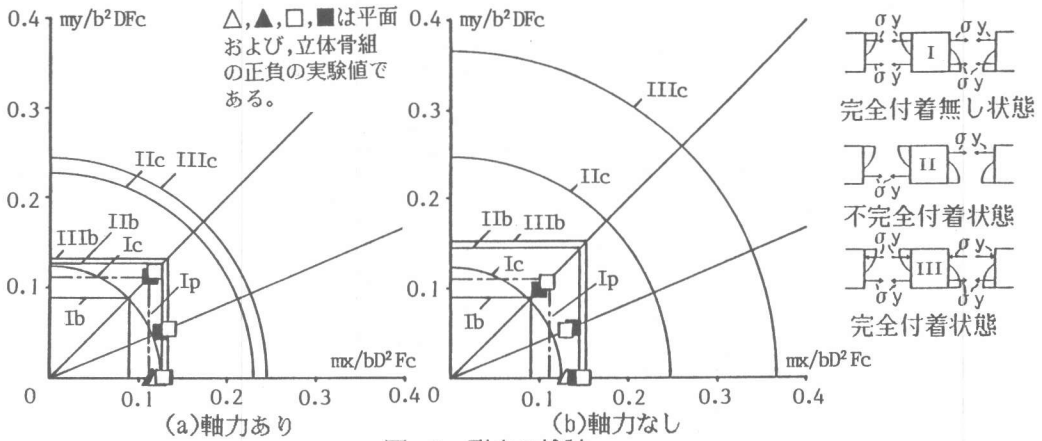


図-9 耐力の検討

ほぼ等しいが破壊状況から接合部のせん断耐力によって耐力が決定されたと考えられる。IJ2-3は、Ipにほぼ等しく、接合部のせん断変形量を考え合わせると接合部のせん断耐力によって耐力が決定されていると推察される。平面十字形骨組と立体十字形骨組を比較すると、IJ0シリーズのように、直交梁による接合部のせん断耐力の増大は見られず、作用軸力が小さい程、せん断耐力に及ぼす直交梁の効果は大きいことがわかる。平面十字形骨組において、軸力の有無を比較すると、作用軸力により、せん断耐力の増加がみられる。しかしながら、載荷角度45度の場合、作用軸力による耐力の影響は認められず、IJ0-3, IJ2-3の耐力はほぼ等しい。

5. 結論

8体の柱梁接合部を含む平面および立体の十字形部分骨組の載荷実験を行った結果、明らかになった事柄は次の通りである。

- 1) 両シリーズとも変位振幅値が小さい領域では、すべりの少ない履歴性状を呈するのに対し、変形の増大にともない、各試験体ともすべりを伴った逆S字形の履歴性状を呈するが、IJ2シリーズでは、作用軸力によって、すべり領域での耐力の増大が認められる。これは、作用軸力によって、接合部内の梁主筋の付着耐力が増大したことによるものと考えられる。なお、立体十字形試験体では、相対変位角が0.04(rad.)までは、ほとんど耐力が低下しない。
- 2) 載荷角度0度の場合の平面十字形試験体と立体十字形試験体を比較すると、直交梁によるせん断耐力の増大は、作用軸力が小さい時に顕著である。
- 3) 平面十字形試験体では軸力を受けることによって接合部のせん断耐力の増大が認められる。一方、立体十字形試験体では載荷角度45度の場合、作用軸力によるせん断耐力の増加は認められない。

【参考文献】

- [1] 構造標準委員会, 鉄筋コンクリート構造分科会・鉄筋コンクリート第3委員会, 鉄筋コンクリート終局強度に関する資料, シリーズ28, シリーズ29: はり柱接合部(1), 建築雑誌, Vol. 97, No. 1190, 1982年3月, pp. 55-59, はり柱接合部(2), 建築雑誌, Vol. 97, No. 1192, 1982年, 4月, pp. 53-56 [2] 藤井 栄, 森田司朗: 2方向載荷をうけるRC外部柱・梁接合部の挙動, 第9回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 1987年, pp. 181-186. [3] 鈴木 紀雄, 小谷 俊介, 青山 博之: 鉄筋コンクリート造スラブ付き柱はり接合部に関する実験的研究, 第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 1983年, pp. 425-428. [4] 大和田義正: 鉄筋コンクリート梁柱接合部における直交梁の効果に関する実験的研究(5), 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 昭和56年9月, pp. 1437-1438. [5] 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 昭和50年10月, pp. 1155-1156.