

# [2124] RC 内柱-はり接合部の二方向加力による実験的研究

深澤 協三\*<sup>1</sup> 中野 清司\*<sup>2</sup> 松井 邦人\*<sup>3</sup> 吉村 鉄也\*<sup>4</sup>

## 1. はじめに

既往の鉄筋コンクリート造の柱梁接合部の研究では、平面架構を対象とした1方向加力のものがほとんどである。立体架構に対して2方向から加力した実験は限られており、 $F_c=360\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下の普通コンクリートを使用したもの、また柱軸力は $\eta \leq 0.2$  ( $\eta$ : 軸力比)の比較的低軸力を対象としたものである[文献1~5]。

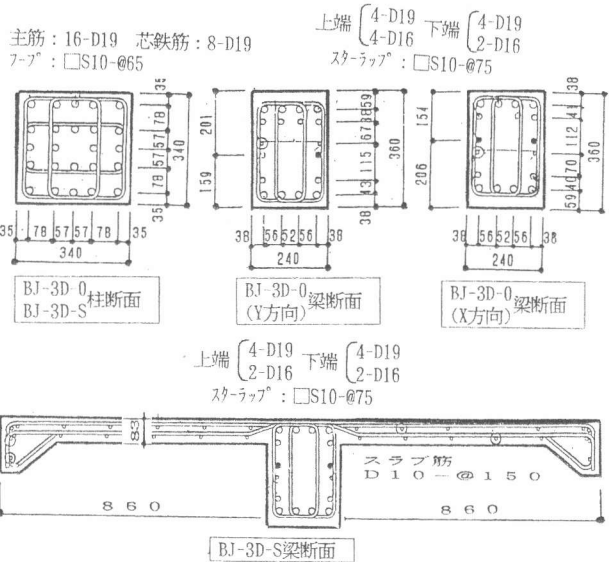
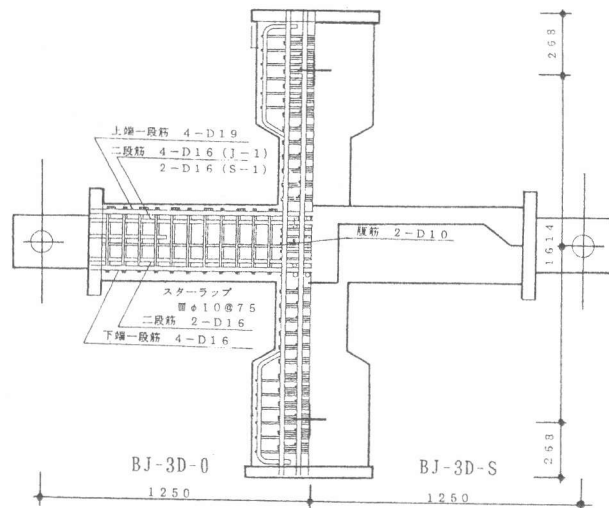
本研究では比較的資料の少ない高強度コンクリート( $F_c=420\text{kg}/\text{cm}^2$ )を使用した高層RC建物の内柱梁接合部部分骨組にスラブの有無を実験変数として、高軸力( $\eta \geq 0.3$ )を作用させた状態で二方向から加力を行い、二方向からの加力による接合部周辺の応力状態などを実験的に考察するものである。

## 2. 実験計画

### 2.1 試験体概要

試験体は、図1に示す二方向に梁を有する立体内柱梁接合部部分骨組である。これら試験体は、25階程度の高層RC建物の下層部分を想定した部材を約40%縮小したものである。BJ-3D-0試験体はスラブ無し、BJ-3D-S試験体はスラブ付き(スラブの厚さ $t=83\text{mm}$ )である。柱スパンは $\phi_c=1614\text{mm}$ 、梁スパンは $\phi_b=2500\text{mm}$ である。試験体のコンクリートの設計基準強度は $F_c=420\text{kg}/\text{cm}^2$ である。接合部の補強筋には溶接閉鎖型PC鋼棒を用い、補強筋量は0.82%である。

試験体はX、Y各方向で梁の曲げ降伏先行型である。一方向加力耐力比(略算値)は、両試験体(スラブ有効幅片



BJ-3D-0 BJ-3D-S 断面図及び立面図

図1. 試験体の形状及び寸法

\*1東京電機大学大学院 理工学部研究科応用システム工学専攻(正会員)  
 \*2東京電機大学教授 工学部建築学科、工博(正会員)  
 \*3東京電機大学教授 理工学部建設工学科、Ph.D(正会員)  
 \*4駒井鉄工株式会社

側25cm)とも約2.1である。

なお、BJ-3D-S試験体のスラブ筋の曲げ耐力への寄与を考慮して、BJ-3D-0試験体ではスラブ筋相当の上端筋(2段目)に4-D16(BJ-3D-S試験体では2-D16)を配筋する。

また、パネルの入力せん断力は約 $0.25F_c (=5.0\sqrt{F_c})$ 、接合部のせん断抵抗面積は(柱幅)×{(柱幅)+(梁幅)/2}である。また、梁の曲げ耐力算定に当たっては梁主筋の降伏応力度を $1.1 \times 3500 \text{ kg/cm}^2$ とした。)である。

これら使用材料の機械的性質は表1に示す通りである。

## 2. 2 加力方法および測定方法

加力装置を図2に示す。柱頭および柱脚はユニバーサルピン支持である。加力は定軸力 $N=290 \text{ t}$ (BJ-3D-0試験体: $\eta=0.59$ 、BJ-3D-S試験体: $\eta=0.41$ 、 $\eta$ :軸力比)の載荷後、各方向の梁端に逆対称の荷重の載荷を行った。

水平力は図3に示す載荷パターンにより、2方向から変位制御による正負交番繰り返し載荷を行った。変形制御の層間変形角は $R=1/250$ 、 $1/100$ 、 $1/50$ 、 $1/25 \text{ rad}$ とした。

全体変形の測定は、柱頭部分をピン、柱脚部分をローラーとする測定フレームにより、梁端部分で全体変形を測定した。なお、直交方向加力時に柱頭・柱脚部分の直行方向の柱の回転成分をキャンセルするため、ピンを柱頭・柱脚部に設けた。また、接合部のせん断変形は鳥居型のフレーム〔文献2〕を用いて行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 ひび割れ状況

BJ-3D-0試験体の最終ひび割れ状況を図4に示す。 $R=1/100 \text{ rad}$ 。加力時に、梁の上端および下端のコンクリートに圧壊が発生し、以降梁のひび割れは接合部端に集中した。

また、柱のコーナー部分では $R=1/100 \text{ rad}$ の2方向加力時(図3中の①→②サイクル)に圧壊が発生した。 $R=1/100 \text{ rad}$ 以降の繰り返し載荷により柱梁接合部のコーナーにも圧壊が進展し、 $R=1/25 \text{ rad}$ 載荷時には接合部四隅のカバーコンクリートが剥落した。

BJ-3D-S試験体の最終ひび割れ状況を図5に示す。梁のコンクリートの圧壊は下端側が $R=1/100 \text{ rad}$ 。加力時に

表1. 材料の機械的性質

種類	降伏点強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (t/cm <sup>2</sup> )
D19(SD345)	4735	7392	2418
D16(SD345)	4972	7814	2355
D10(SD345)	4182	5754	2098
S10(KSS80)	9478	10728	2001
コンクリート	BJ-3D-0試験体 $\sigma_b = 428 \text{ kg/cm}^2$		
圧縮強度	BJ-3D-S試験体 $\sigma_b = 616 \text{ kg/cm}^2$		

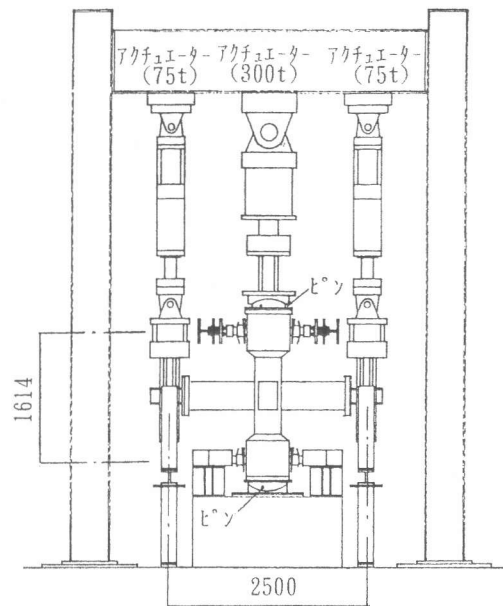


図2. 加力装置(X方向)

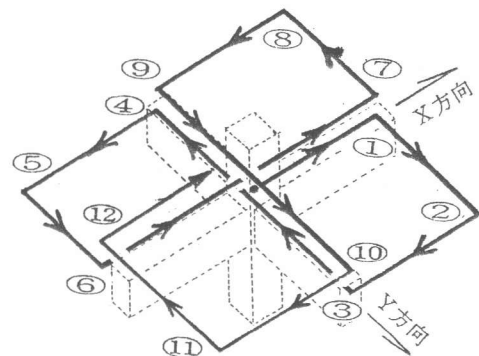


図3. 載荷パターン

上端側では $R=1/50\text{rad}$ . 加力時に発生した。なお、梁上端側の圧壊の発生は柱幅の範囲内にとどまり、スラブには生じていない。また、ひび割れの接合部端への集中はBJ-3D-0試験体ほど顕著でなく、特に下端引張側ではひび割れ幅の増大が梁全体に分散した。柱はBJ-3D-0試験体と同様に $R=1/100\text{rad}$ . の2方向加力時にコーナー部分に圧壊が発生し、 $R=1/25\text{rad}$ . 載荷時には接合部四隅のカーブコンクリートが剥落した。また、スラブ上面では $R=1/250\text{rad}$ . から曲げひび割れが発生した。一方、下面では曲げひび割れの他に、スラブを囲むX・Y方向の梁が共に上端引張側になるときにスラブの端部から柱へ向けて45度方向のひび割れが生じた。さらに $R=1/25\text{rad}$ . 載荷時には柱近傍のスラブ下面のコンクリートが約 $10 \times 10\text{cm}$ の範囲で剥落した。

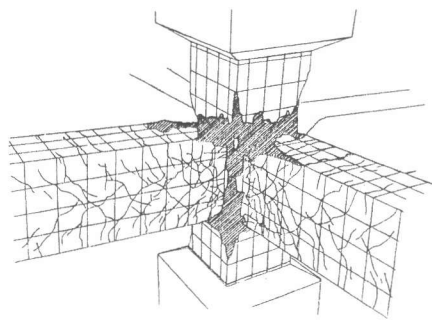
### 3. 2 復元力特性

両試験体の梁端荷重-変位曲線を図6に示す。両試験体とも、片方向のピーク変位を保持した状態で直交方向に載荷または除荷を行うと、保持側の層せん断力が低下し、見かけの履歴面積が大きくなる。なお、せん断力の低下の度合いは、直交方向に載荷する場合の方が大きくなる。

また、図6中に両試験体の梁主筋の降伏荷重の実験値および計算値(平面保持仮定による断面曲げ解析)を示す。BJ-3D-0試験体では、実験値と計算値はほぼ一致している。BJ-3D-S試験体では、実験値はスラブの有効幅を片側各々25cmとした場合の計算値と、スラブ全幅有効とした場合の計算値の間である。

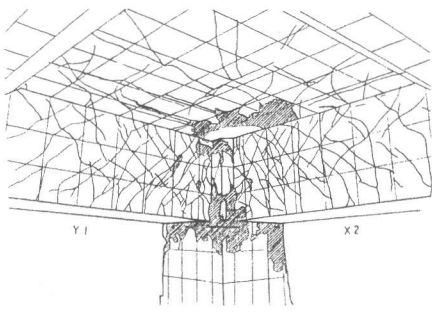
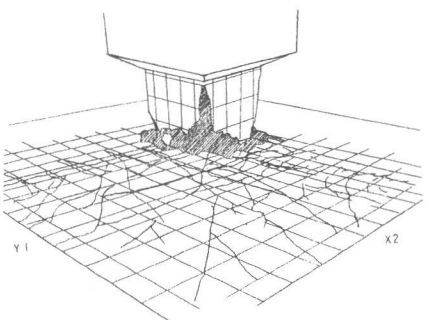
二方向加力時の接合部の最大せん断応力度 $\tau_0$  (X・Y両方向のせん断応力度の二乗の和の平方根)を表2に示す。

BJ-3D-0試験体では $\tau_0 = 7.20\sqrt{\sigma_b}$ 、BJ-3D-S試験体では $\tau_0 = 7.35\sqrt{\sigma_b}$  ( $\sigma_b$ : コンクリート圧縮強度)であり、二方向加力時の接合部のせん断耐力は、文献4と同様、ACI規準式の円補間により評価が可能である。



(BJ-3D-0)

図4 最終ひび割れ図



(BJ-3D-S)

図5 最終ひび割れ図

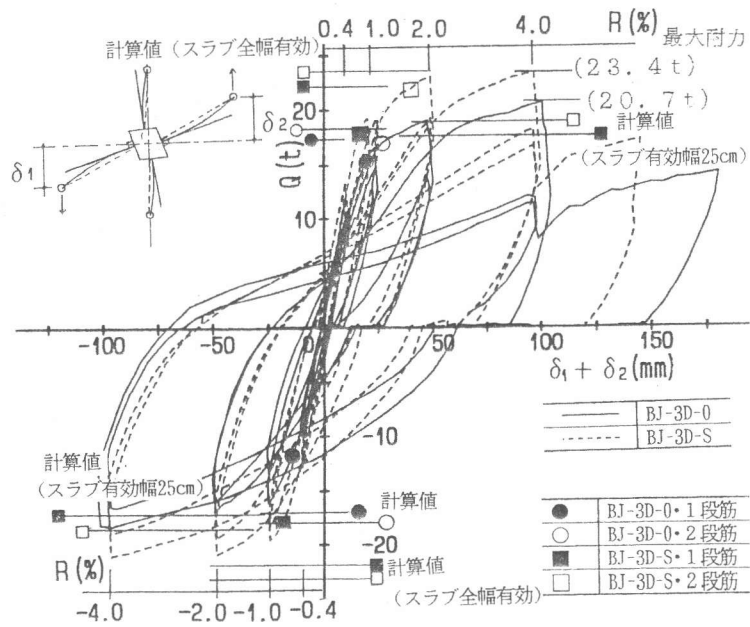


図6 荷重～変形曲線 (X方向)

### 3.3 接合部の挙動

図7に梁端荷重-接合部せん断変形角曲線を示す。なお、 $R=1/25\text{rad}$ .以降は接合部のコンクリートの剥落が著しく測定不能であったので、図は $R=1/50\text{rad}$ .までとする。両試験体ともに $R=1/100\text{rad}$ .の第2サイクル以降で、変形が増大するとともにループが大きくピンチした形状を示すようになる。従って、両試験体とも梁の曲げ降伏の後、接合部のせん断破壊が生じたものと判断される。また、変形の増大する  $R=1/100\text{rad}$ .の第2サイクル以降では、片方向のピーク変位を保持した状態で直交方向に加力を行うと、保持側の変形の増大が著しくなっている。

### 3.4 二方向加力の影響

一方向加力後直交方向の加力時の梁の引張鉄筋の歪性状の代表例を図8に示す。また、梁圧縮断面のコンクリート表面の歪性状の代表例を図9に示す。同図(a)は一方向加力後直交方向の加力時の梁上端圧縮断面のコンクリート表面の歪性状を、同図(b)は二方向加力後直交方向の除荷時の梁上端圧縮断面のコンクリート表面の歪性状をそれぞれ示す。

図8に示す引張鉄筋の歪性状はスラブの有無によらず、両試験体とも直交方向の加力より梁端での荷重が低下するにもかかわらず、梁主筋の引張主筋の歪値はほとんど変化していない。

梁断面のコンクリートの圧縮歪性状は図9(a)に示すように、一方向のみ加力した場合、梁上端では梁幅内で均等な歪分布を示す。直交方向を加力すると梁断面の左右で圧縮歪に差が生じる。直交梁上端が圧縮側となるC1では圧縮歪が増え、直交梁上端が引張側となるC2では圧縮歪が減る傾向を示す。

また、図9(b)に示すように一方向加力後直交方向加力の直交側の梁断面のコンクリートの歪値は梁の左右で相違し、一方向の除荷により、これら左右の歪値の差が小さくなるような挙動を示す。

表2. 実験結果概要

試験体	方向	最大耐力 (t)	最大耐力時 側面変形角 (rad)	接合部 最大せん断 応力度 ( $\tau_u$ ) ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	$\frac{\tau_u}{\sigma_s}$	$\frac{\tau_u}{\sqrt{\sigma_s}}$
BJ-3D-0	X	12.40	1/25	80.28	0.19	3.88
	Y	19.38	1/25	125.47	0.29	6.06
	$\sqrt{X^2+Y^2}$	23.01	—	148.96	0.85	7.20
BJ-3D-S	X	17.53	1/50	107.74	0.17	4.34
	Y	23.14	1/50	147.27	0.24	5.93
	$\sqrt{X^2+Y^2}$	29.03	—	182.47	0.30	7.35

$$\tau_u = V_u / (h_c \times t_e) \quad t_e = (b_c + b_s) / 2$$

$V_u$ : パネルせん断力       $h_c$ : 柱せい       $b_c$ : 柱幅       $b_s$ : 梁幅

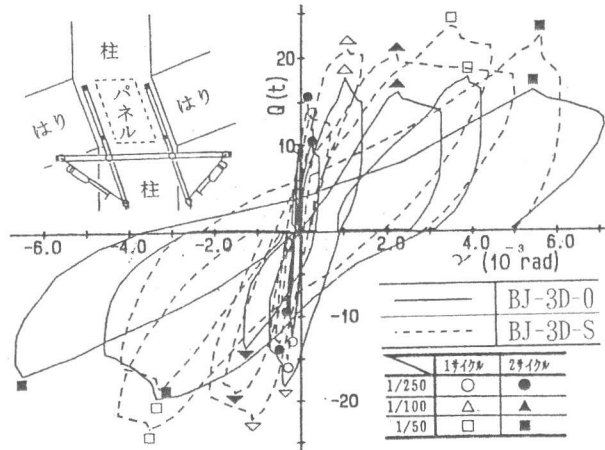


図7. 梁端荷重-接合部せん断変形角曲線

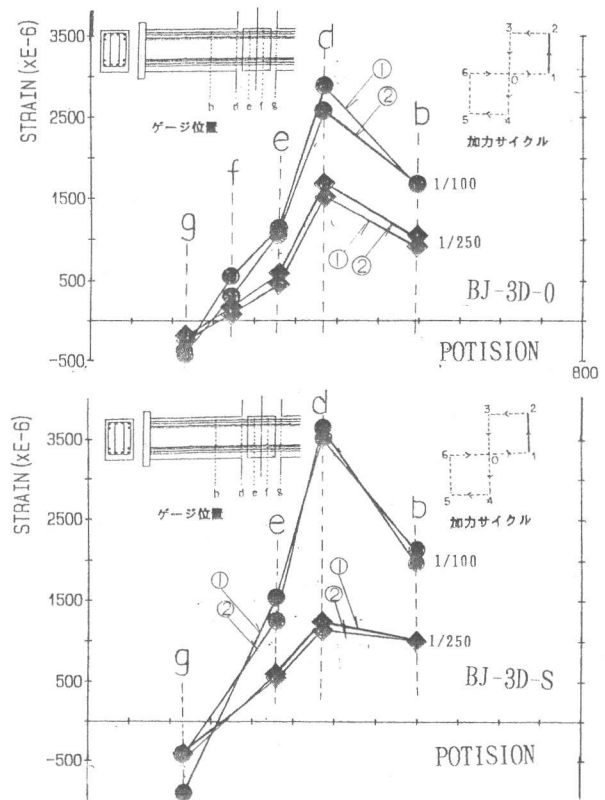


図8 梁主筋の歪分布への直交加力の影響

これらの傾向はスラブの有無にかかわらずほぼ同様であり、直交方向の加力により、①梁主筋の引張力 $T$ は変化しない、②梁断面のコンクリートの圧縮歪値が断面内で変化する、の2点が明らかとなった。

梁端より柱梁接合部へのコンクリートの応力状態は、一方向加力のみの場合は図10(a)の状態となる。二方向加力では図10(b)のように、柱が二方向から圧縮を受ける側の圧縮応力が大きく、柱が一方向から圧縮、他方向から引張を受ける側では圧縮応力が小さくなるものと考えられる。これは梁の圧縮応力の分布が、柱の応力分布の影響を受けて、梁の圧縮応力が柱の圧縮応力の大きい側に片寄って分布していると考えられる。

直交方向加力による荷重の低下は、①梁主筋の引張力 $T$ に変化がないので、梁断面の圧縮合力も変化しない、②一方、梁断面のコンクリート圧縮応力が梁の片側で減少する、③その減少分は反対側のコンクリート圧縮ストレスブロックが大きくなることによって補う(図10(b)中の $S1$ の $S1'$ への移動)、④上記のコンクリートの圧縮ストレスブロックの形状の変化により、梁断面の圧縮合力の重心位置が下がり、応力中心間距離が短くなる、など理由によるものと考えられる。

本試験体におけるこの応力中心間距離の変化を部材角ごとに求めて図11に示す。両試験体、各梁共にほぼ一定値を与え、 $R=1/50\text{rad.}$ では20%ほど短くなる。

以上より、接合部まわりの柱・梁の応力状態から、二方向加力時には接合部には図12に示すような立体的なストラットが形成されると推定される。

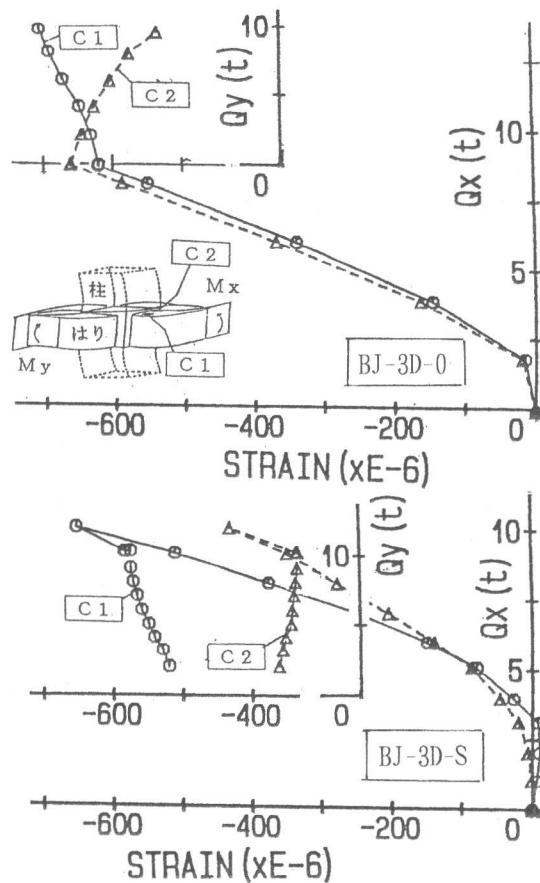


図9 梁のコンクリート圧縮縁の歪の挙動

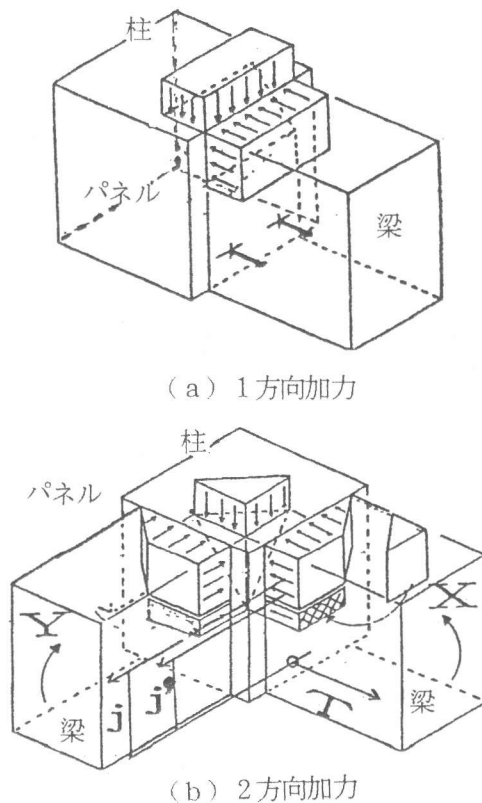


図10 接合部まわりの応力概念

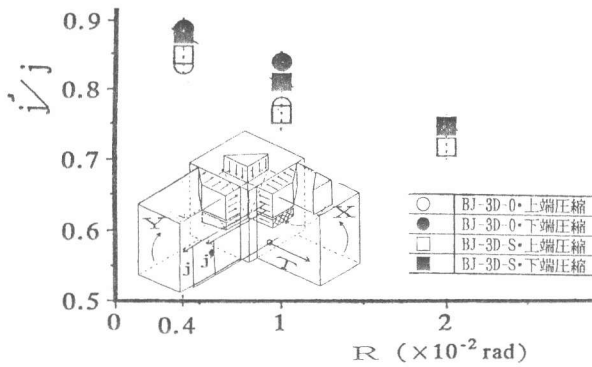


図11 直交方向加力による応力中心間距離の変化

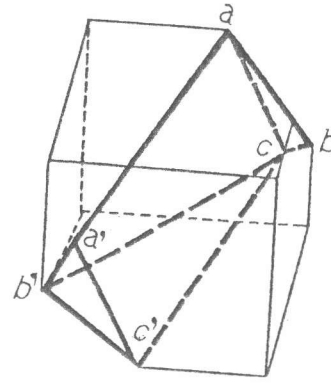


図12 二方向加力時の  
接合部ストラット概念

#### 4. まとめ

2方向に梁を有する立体内柱梁接合部部分骨組

を対象に、定軸力下での二方向加力実験を行った結果、以下の点が明らかとなった。

- 1)直交方向の加力により梁のコンクリート圧縮応力の分布形状に変化が生じ、梁のコンクリート圧縮ストレスブロックは、柱の圧縮応力度の高い側へ片寄りを生じる。
- 2)直交方向の加力による層せん断力の低下は、梁主筋の引張力の減少によるものではなく、梁のコンクリート圧縮応力の分布形状の変化により、応力中心間距離が短くなるためであると考えられる。
- 3)二方向加力時には、接合部に立体的なストラットが形成されるものと推定される。

【謝辞】 本研究は、東京電機大学総合研究所と（社）日本建設業経営協会中央技術研究所の産学共同研究である。試験体の設計および製作に当たっては（社）日本建設業経営協会中央技術研究所立石信也副所長およびフドウ建研（株）、実験装置の作成に当たっては、駒井鉄工（株）・オイレス工業（株）ならびに高周波熱錬（株）の協力を得た。また、実験の実施およびその資料整理に当たっては、東京電機大学大学院生仁藤喜徳および東京電機大学平成5年度卒論生の小俣直弘（現（財）日本建築センター）、小川泰央（現 日本建設（株））、佐藤裕之（現（株）松村組）、阪本謙二（現 青木建設（株））、渡辺振一郎（現 東京電機大学大学院）各氏の協力を得た。ここに関係各位に厚く謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1)草刈敏夫、柴田拓二ほか：鉄筋コンクリート造柱梁接合部の破壊性状に関する研究（その1・その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、1984年10月
- 2)藤原幹弘、西村泰志、南 宏一：2方向地震力を受ける立体柱梁接合部の断塑性性状、コンクリート工学年次論文報告集第10巻、1988
- 3)江藤啓二、北山和宏、坪崎裕幸、都祭弘幸：二方向载荷を受けるRC立体内柱・梁接合部の復元力特性、コンクリート工学年次論文報告集 第13巻、1991
- 4)黒瀬行信：鉄筋コンクリート造柱-梁の一方および二方向加力実験、日本建築学会論文報告集、1993.6
- 5)古川 淳、塩原 等、岡 功治、坪崎裕幸：2方向载荷を受ける直交はり付き柱・はり接合部のせん断性能（その1～その3）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1993、9