

[2031] 二方向載荷をうける RC 外部柱・梁接合部の挙動

正会員 ○ 藤井 栄 (京都大学工学部)
 正会員 森田 司郎 (京都大学工学部)

1. 序

鉄筋コンクリート柱・梁接合部に関する既往の研究成果は平面架構をとりだした実験が大半であり、設計上、直接問題となる立体骨組中での接合部の挙動の解明には極めて資料が不足している現状である。具体的には、直交方向の梁の拘束効果、スラブの影響、二方向載荷履歴の影響の解明が主要な課題である。本研究は、外柱に梁が三方からとりつく立体接合部を対象に二方向載荷実験を行い、上記の各影響因子を評価することを目的としている。本報では実験より得られた履歴特性、柱、梁、接合部の各構成材の変形特性に基づいて検討した結果の概要を報告する。

2. 実験概要

2.1. 供試体 ---- 供試体は実大の約1/3 スケールの外部柱、梁接合部8体である。内訳はト型平面接合部(GOO)1体、十字型平面接合部(OBO)1体、スラブなしの立体外部接合部(GBO)1体、スラブつき立体外部接合部(GBS1, 2, 3, 4, GBSU)5体である。図-1に、供試体形状、寸法を示す。供試体GBSUのみ、梁下端筋曲げ上げ定着を施し、接合部内補

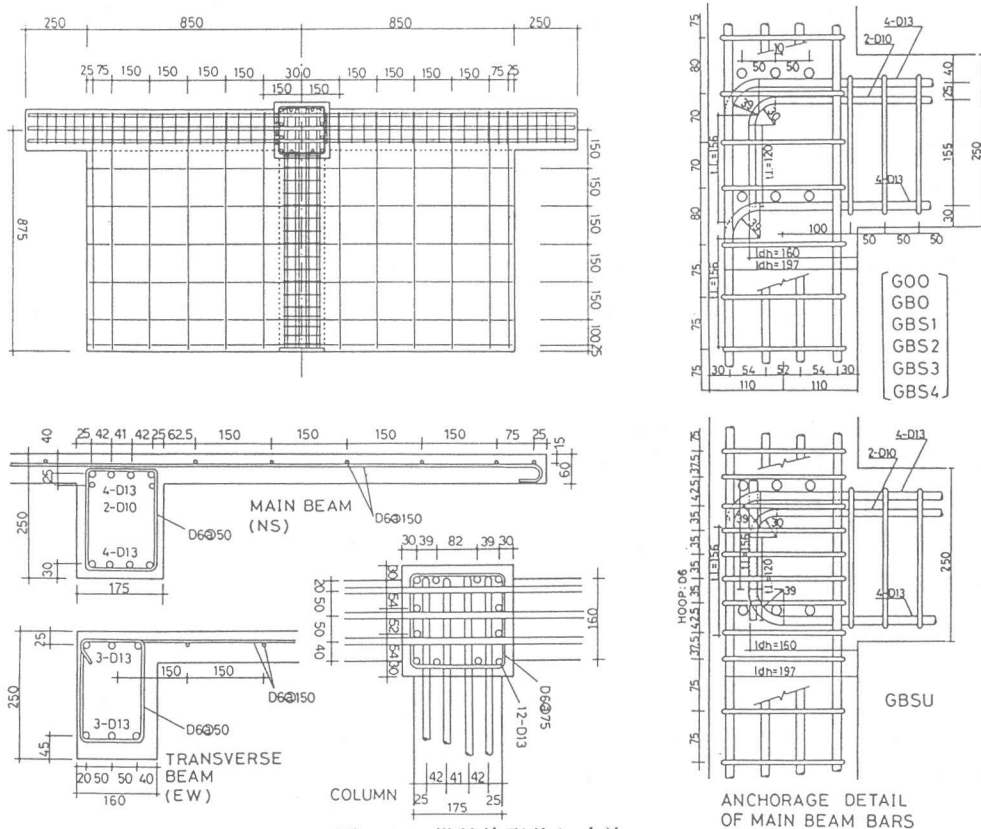


図-1 供試体形状と寸法

表-1 供試体の配筋一覧表

	longitudinal reinforcement		stirrups hoops	bxD
	top re-bars	bottom re-bars		
Main beam (NS direction)	4-D13 (with C=40) 2-D10 (with C=65)	4D-13 (with C=30)	2-D6 @ 50	175 x 250
Transverse beams (EW direction)	3-D13 (with C=25)	3D-13 (with C=45)	2-D6 @ 50	160 x 250
Column	12-D13 (with C=45)		2-D6 @ 75	220 x 220
Joint	hoops : 2-D6 3 sets @ 70 ($p_w=0.42\%$) for all specimens except for "GBSU" 2-D6 7 sets @ 35 ($p_w=0.83\%$) for "GBSU"			
Slab	D6 with C=15 @ 150 (in NS direction) D6 with C=21 @ 150 (in EW direction) Slab depth = 60 mm			

C : Concrete cover from top or bottom face to the center of the bar in mm

強筋を増大させた。他の供試体はいずれも主方向梁下端主筋を慣用の曲げ下げ定着とした。他の断面寸法、配筋は全供試体共通であり、諸元を表-1に記す。片側にのみ梁のとりつく方向を主方向（NS方向）とし、この梁を主梁（main beam）と称する。またこれと直交し両側から梁のとりつく方向を直交方向（EW方向）とし、これらを直交梁（transverse beam）と定める。供試体はNS、EW両構面の柱・梁曲げ耐力比が2.06、1.65（スラブ無視、略算）となる梁曲げ降伏先行型であり、梁、柱には所要の剪断補強を施した。スラブ筋は両方向シングル配筋とし端部は180°フックを設けて定着した。供試体は縦打ちでありスラブ上下で打わけをせず一度に打設した。なお「GBS4」は、上柱に豆板が生じたためエポキシ注入して補修を行った。

2.2. 使用材料の性質 ---- 使用鉄筋は、SD35のD13, D10（梁・柱主筋）、D6（補強筋、スラブ筋）であり、力学的特性を表-2に示す。コンクリートの配合は表-3に、試験時材令での強度は表-4中に記す。

2.3. 載荷方法 ---- 載荷装置を図-2に示す。上柱、下柱端部は二軸ピン支持されており、ピン位置での水平面内の移動を拘束する。柱には、梁載荷中一定軸力10tonをアクチュエーターで与える。直交方向梁の先端には二軸ピンを設置し、アクチュエーターで両直交梁端の変位が符号反対の等

表-2 使用鉄筋の性質

	As (nominal) (cm ²)	Yield strength (kgf/cm ²)	Maximum strength (kgf/cm ²)	Es (kgf/cm ²)
D13	1.27	3760	5440	2.03×10^6
D10	0.71	3930	5570	1.99×10^6
D6	0.32	3740	5120	1.86×10^6

表-3 コンクリートの配合

Water	Cement	Sand	Gravel	W/C	Admixture
(kg/m ³)				(%)	(%)
174	326	807	1033	53.3	Cx0.4

Maximum aggregate size is 15 mm.

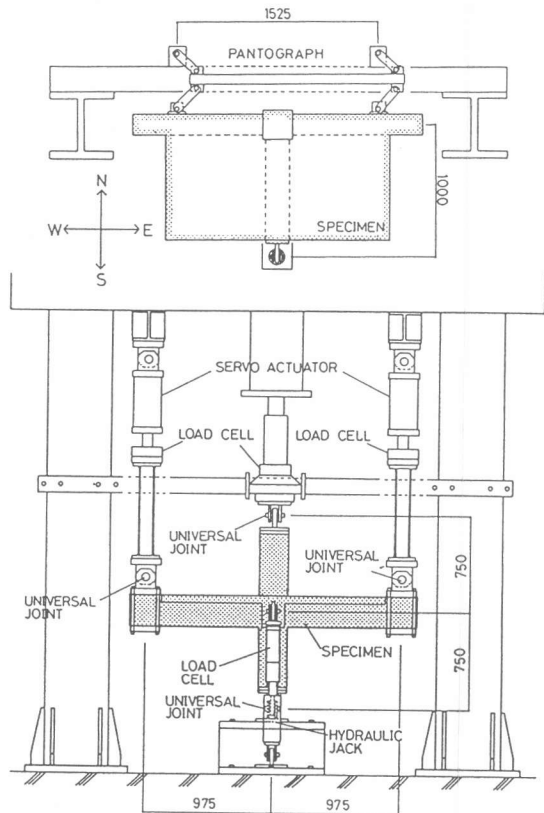


図-2 載荷装置

量となる様に制御して載荷する。主方向梁先端にも二軸ピンを設けて油圧ジャッキで正負に載荷する。また図-2に示す平行保持用パンタグラフを設けて供試体の回転を防止した。

2.4. 計測事項 ---- 柱軸力、各梁剪断力は、載荷ジャッキ、アクチュエーター先端のロードセルで計測した。また梁、柱各個のたわみ、接合部の剪断変形、載荷構面外の柱、梁の変形を計測するために図-3に示す位置の各方向変位を変位計で計測した。なお接合部剪断変形はこれとは別にD.T.Fを用いた計測も並行して行った。柱、梁危険断面の主筋歪、接合部内補強筋歪、スラブ筋歪等は、抵抗線歪ゲージを設置して計測した。

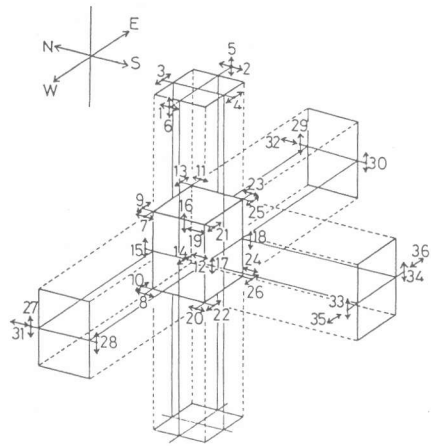


図-3 変形計測位置

2.5. 載荷履歴 ---- 各構面方向に、正負交番変位漸増繰返し載荷を行う。各供試体の載荷履歴は図-4に示す。制御変位は、各梁端部での変位に基づき $\pm 2.5, \pm 5, \pm 10, \pm 20, \pm 40\text{mm}$ (層間変位角で $\sim 1/400, 1/200, 1/100, 1/50, 1/25$ に対応) の変位振幅で繰返し載荷を行った。「GOO」「OBO」は平面接合部で、一構面の正負交番繰返し載荷である。「GBO」「GBS1」はNS方向の正負交番変位漸増載荷の途上にEW載荷を挿入した場合、「GBS2」はこれと直交方向の載荷履歴で、それぞれの一方履歴特性に及ぼす直交方向梁の影響調査を目的としている。「GBS3」「GBSU」は、図中に記す8の字型の二方向載荷、「GBS4」は、口の字型の二方向載荷を行い載荷経路の影響を調査した。

GOO └┘	EW NS 2.5-5-5-10-10-20-20-40-40
OBO ├┤	EW 2.5-5-10-10-20-20-40-40 NS
GBO └┘	EW 5-10-20 NS 2.5-5-5-10-10-20-20 20-40
GBS1 └┘	EW 5-10-20 NS 2.5-3.5-5-5-10-10-20-20 20-40
GBS2 └┘	EW 2.5-5-5-10-10-20-20 20-40 NS 2.5-5-10-20
GBS3 └┘	EW 2.5, (5), (10), (20), (20), (40) NS 2.5, (5), (10), (20), (20), (40)
GBS4 └┘	EW 2.5, (5), (10), (20), (40) NS 2.5, (5), (10), (20), (40)
GBSU └┘	EW 2.5, (5), (10), (20), (20), (40) NS 2.5, (5), (10), (20), (20), (40)

Note: Numbers indicate peak deflection levels at beam-end for each load cycle.

* Bi-directional loading patterns

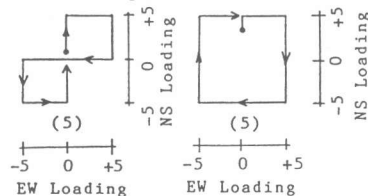


図-4 載荷履歴一覧

3. 実験結果と検討

3.1. 実験結果概要 ---- 「GOO」「OBO」では最終サイクルで接合部斜めキレツが多数進展し、接合部が剪断破壊して実験を終了した。「GBO」「GBS1」「GBS2」では直交する方向の載荷履歴をうけ

て接合部が劣化するが、制御変位の増大に伴い抵抗力を回復した。二方向載荷をうける立体接合部供試体では、柱危険断面、接合部四隅のかぶりの剥落が終局時にみられるのが特徴であり、EW方向の最終変位時に耐力が低下し、接合部剪断破壊した。スラブつき供試体では、変位増大に伴い順次、スラブ、梁境界面にキレツが進展し、大変形時には、直交梁上面の柱近傍でねじりモーメントの影響とみられる斜めキレツも発生していた。各供試体の特性計算値、実験結果の一覧を表-4に記す。

3.2. 履歴特性 ---- 各供試体の層剪断力-層間変位曲線を図-5に示す。図に示さない供試体「GBO」の履歴特性は「GOO」にほとんど等しい(NS方向)。また「GBSU」は、両方向共「GBS3」にほとんど等しいものであった。接合部内付着条件の厳しいEW方向履歴がNS方向に比してピンチ型になっている。一方向載荷途上で直交方向載荷を行ったGBS1(NS方向)、GBS2(EW方向)では履歴をうけた後は剛性低下をきたす。二方向載荷供試体ではピーク変位を保持したまま直交方向に加力すると保持側の抵抗力がその途上で大幅に低下し、「

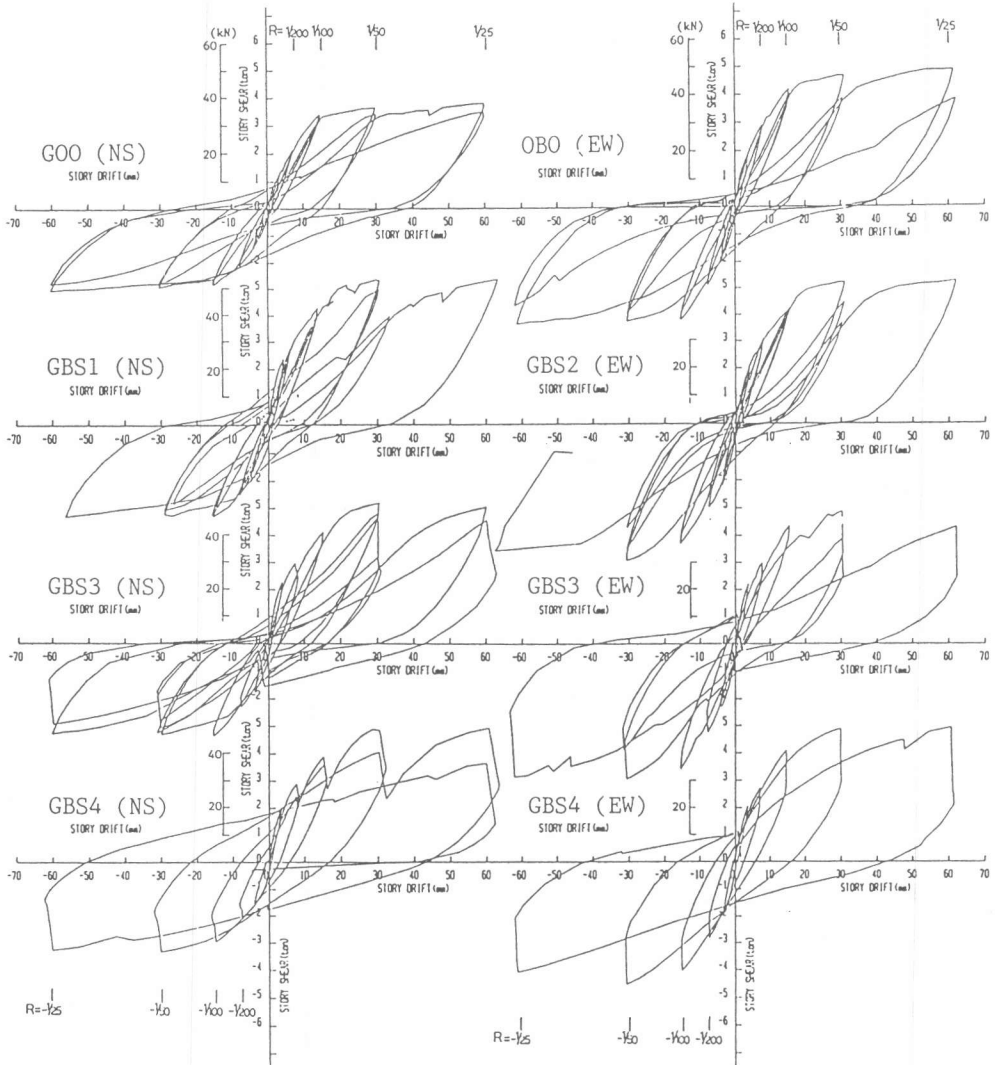


図-5 層剪断力-層間変位曲線

GBS3」「GBS4」にみられる如く見かけ上の履歴面積が増大する。変位保持側の梁自身の変位履歴はこの時除荷の道程にあり、柱の曲げ変形、接合部の剪断変形が直交方向載荷に伴って増大したことに起因している。また「GBS3」と「GBSU」は、殆ど同一の履歴特性を示したことから、入力剪断応力レベルが 60kgf/cm^2 ($\tau_j/\sqrt{F_c} \approx 3$) 程度の時には本実験範囲内での補強筋量の大小は、全体の挙動には大きな影響を及ぼさないことがわかる。

3.3. スラブ、直交梁の影響

---- 図-6に一方方向載荷供試体の各正載荷時の層剪断力一層間変位曲線の包絡線を示す。NS方向では無載荷直交梁の存在で剛性が上がり、直交梁に載荷された後はその効果が減少する。また処女載荷が、直交梁に大きな履歴を与えた後に行われると(GBS2)大幅な剛性劣化、耐力低下が生ずる。これに対しEW方向では、一面からの直交梁の影響は大変小さいことがわかる。図中にはスラブ無視した場合の計算曲げ耐力と全幅有効と考えた場合の計算値を示す。実験値は両者の間にあり、スラブ筋が大きく曲げ耐力に寄与することがわかる。

3.4. 変形成分の分解 --- 図-7に各供試体の全体変形 δ_{all} に占める柱 δ_c 、梁 δ_b 、接合部 δ_j の変形分担率の推移

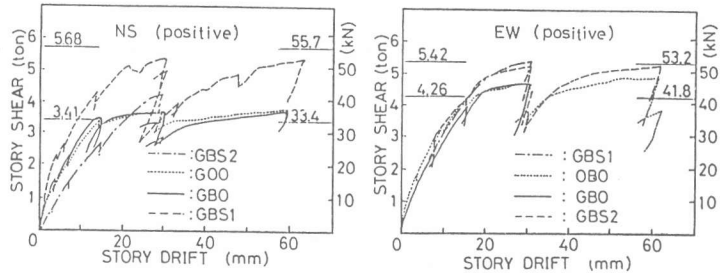


図-6 一方方向載荷供試体の層剪断力一層間変位曲線包絡線

表-4 各供試体の特性計算値、実験値一覧表

(a) NS-direction

Specimen	Calculated Value					Experimental Value			
	f'_c (kgf/cm ²) (1)	bM_{ucal} (ton-cm) (2)	jQ_{ucal} (ton) (3)	sQ_{ucal} (ton) (4)	Moment ratio (5)	sQ_{exp} (ton) (6)	jQ_{exp} (ton) (7)	τ_j (kgf/cm ²) (8)	$\tau_j/\sqrt{f'_c}$ (8)
GOO	465	455 -378	21.3 -16.3	3.41 -2.83	2.06 2.49	3.77 -3.05	23.7 -18.2	49.0 -37.6	2.27 -1.74
OBO	444	----	---	----	----	----	---	----	----
GBO	377	455 -378	21.3 -16.3	3.41 -2.83	2.06 2.49	3.55 -3.11	23.4 -18.5	48.3 -38.2	2.49 -1.97
GBS1	391					5.34 -3.29	34.5 -19.6	71.3 -40.5	3.61 -2.05
GBS2	294					4.22 -3.19	27.3 -19.0	56.4 -39.3	3.29 -2.29
GBS3	391	455 * 758 ** -378	21.3 33.4 -16.3	3.41 5.68 -2.83	2.06 1.24 -2.49	5.19 -3.31	33.5 -19.6	69.2 -40.5	3.50 -2.05
GBS4	392					4.91 -3.27	31.8 -19.7	65.7 -40.7	3.32 -2.06
GBSU	354					5.08 -3.31	32.8 -20.3	67.8 -41.9	3.60 -2.23

(b) EW-direction

Specimen	Calculated Value				Experimental Value				Failure Mode
	bM_{ucal} (ton-cm) (2)	jQ_{ucal} (ton) (3)	sQ_{ucal} (ton) (4)	Moment ratio (5)	sQ_{exp} (ton) (6)	jQ_{exp} (ton) (7)	τ_j (kgf/cm ²) (8)	$\tau_j/\sqrt{f'_c}$ (8)	
GOO	---	---	---	---	---	---	---	---	Joint Shear
OBO	277 -290	24.4	4.26	1.65	4.85 29.5 -26.3	61.0 -54.3	2.89 -2.58	---	Joint Shear
GBO					4.65 28.2 -27.1	58.3 -56.0	3.00 -2.88	---	---
GBS1					5.36 32.4 -30.5	66.9 -63.0	3.38 -3.19	---	---
GBS2					5.26 31.9 -29.8	65.9 -61.6	3.84 -3.59	---	---
GBS3	277 * 432 ** -290	24.4 30.4	4.26 5.42	1.65 1.30	4.85 29.5 -29.7	61.0 -61.4	3.08 -3.10	---	Joint Shear
GBS4					4.92 30.0 -27.5	62.0 -56.8	3.13 -2.87	---	Joint Shear
GBSU					4.98 30.2 -27.8	62.4 -57.4	3.32 -3.05	---	Joint Shear

NOTE (1) f'_c : Concrete compressive strength
 (2) bM_{ucal} : Calculated maximum moment of beams ($0.9 \cdot A_s \cdot f_y \cdot d$)
 (3) jQ_{ucal} : Calculated joint shear at the stage of maximum moment of each beam
 (4) sQ_{ucal} : Calculated story shear at the stage of maximum moment of each beam
 (5) Moment ratio: Ratio of column moment capacity to the column moment at the expected flexural ultimate stage of each beam
 (6) sQ_{exp} : Experienced maximum story shear in each direction
 (7) jQ_{exp} : Experienced maximum joint shear in each direction
 (8) τ_j : Experienced maximum joint shear stress in each direction ($jQ_{exp}/220 \times 220$)

*: Calculated value ignoring the slab effect

** : Calculated value considering that the entire slab width is effective in flexural strength

を示す。「GOO」と「GB
O」を比べると（NS方向）
無載荷直交梁が接合部変形を
大きく拘束していることがわ
かる。しかし降伏を越える載
荷を直交梁がうけた後では拘
束度が低下して接合部変形分
担率が上がり、柱

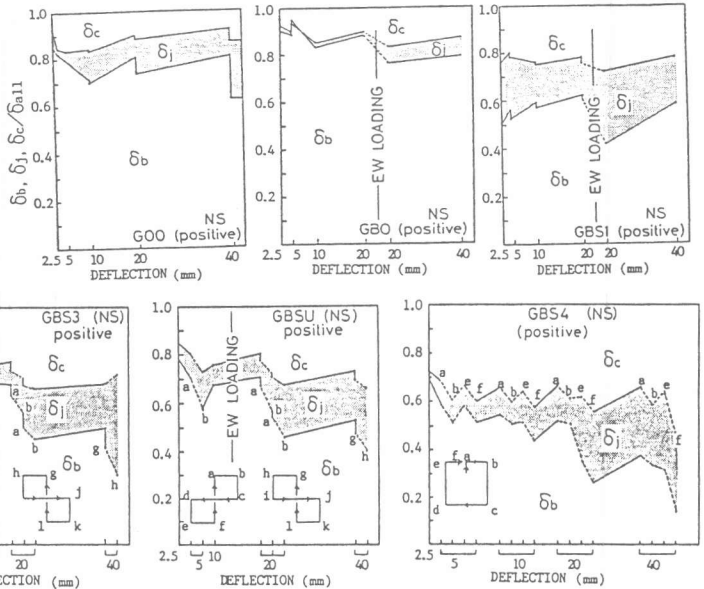
筋の付着劣化とあ
わせて拘束効果が
全体変形特性にあ
まり影響を及ぼさ
なかったものと考え
られる。また「
OBO」と「GB
S2」を比べると

（EW方向）直交梁が片側からとりつくだけで
はほとんど拘束効果は期待できない事がわかる。
またスラブつきの立体接合部では、正載荷時に
スラブ筋の曲げ抵抗参加によって梁の剛性が上
昇し、柱-梁曲げ耐力比が変化することから、
スラブ筋寄与の大きいNS方向履歴で、柱の変
形分担率が高くなる。二方向加力を受ける供試
体では梁の変形分担率が
低下し柱、接合部の変形
が増すことがわかる。補
強筋量の多い「GBSU
」は「GBS3」に比べ
ると全体の荷重-変位履
歴には差がみられないに
も拘らず、EW方向では
補強筋の接合部変形拘束
効果が表れている。

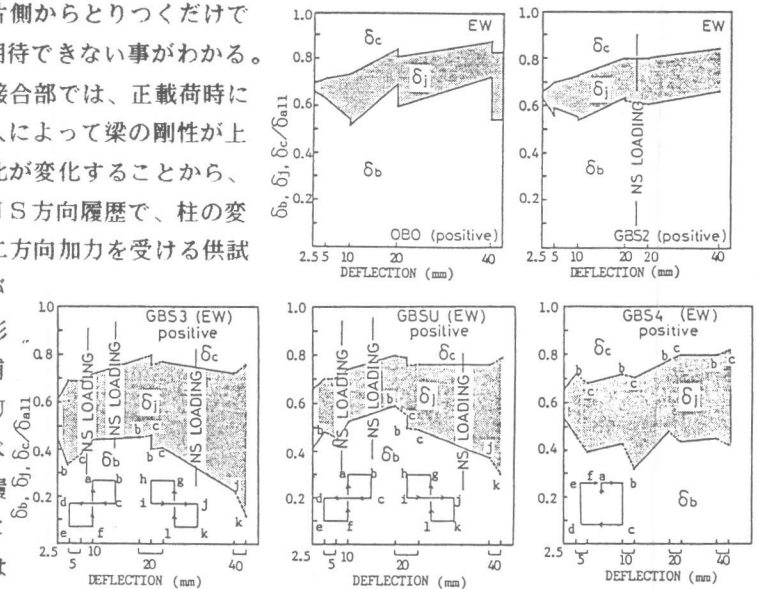
4. 結論

○降伏程度の荷重履歴をうけた直交梁は拘束効果が大きく低減する。○片側だけの直交梁の拘束効果はほとんどない。○スラブの曲げ抵抗寄与は変形に伴い増大し、接合部剪断力、柱・梁曲げ耐力比への影響は無視できない。○二方向荷重により、接合部の剛性は劣化し、架構の変形に占める割合が増大する。○本実験範囲（ $\tau_j = 60 \text{ kgf/cm}^2$ 程度）では接合部補強筋量の増大（0.42 → 0.83%）は接合部変形を拘束するが全体の履歴特性に及ぼす影響は小さい。

〔付記〕本研究は昭和 60,61年度文部省科学研究費（一般B）によったことを付記する。



(a) NS-direction



(b) EW-direction

図-7 全体変形 δ_{all} に占める梁 δ_b 、
柱 δ_c 、接合部 δ_j 変形分担率の推移