

四本柱よりなる RC 立体ラーメンにおける はりスラブ系の終局曲げ耐力

三谷 勲・雀ヶ野 浩*
(受理 昭和63年5月31日)

Ultimate Flexural Strength of Beam-Slab Systems in Reinforced Concrete Rigid Frames with Four Columns

Isao MITANI and Hiroshi SUZUMEGANO

The ultimate strength and crack pattern of a beam-slab system is investigated on a reinforced concrete building frame subjected to horizontal load.

Two rectangular space frame models are tested. One of them is horizontally loaded in the direction of one plane of the frame (parallel loading). The other is loaded in the direction of a 45 degree angle from one plane of the frame (diagonal loading). Both frames are designed to collapse under the conditions that the columns remain in elastic range during the loading.

Analysis of the ultimate strength is also done based on the plastic hinge method. The experimental results are discussed in comparison with their analytically estimated values. The experimental observations are summarized as follows:

- 1) The ultimate strength of a rectangular space frame subjected to horizontal force diagonal to a frame plane is sixteen percent higher than that of one subjected to horizontal force parallel to the frame plane.
- 2) Crack patterns on the beam-slab system are quite different between diagonal and parallel loading.

1. 序

骨組の耐震安全性評価基準の一つであるじん性を多層ラーメンにおいて確保するためには、柱弾性・はり降伏型の崩壊機構が形成されるように設計することが望ましいと言われている。

任意方向（平面ラーメン構面とある角度をなす方向）の地震力に対して、所定の崩壊機構の下で骨組が塑性崩壊耐力に達するように設計するためには、任意方向水平力によって各部材に生ずる応力下での柱およびはりスラブ系の終局耐力を明らかにしておく必要

がある。

任意方向の水平力が骨組に作用した場合を対象とした研究は、主に柱材においてなされ、はりスラブ系を対象とした研究は、接合部に主眼を置いた研究を含めても少ない^{1), 2), 5)}。

スラブ付立体ラーメンを用いた実験的研究もなされているが、これらの研究においても柱材の挙動に主眼がおかれている^{3), 4)}。

本研究では、スラブ付立体ラーメンの終局耐力がはりおよびスラブの塑性化によって決まる場合を研究対象とし、桁行・はり間両方向とも1スパンのRC造立体骨組にラーメン構面方向の水平力を加えた場合および45°方向の水平力を加えた場合について、はりスラブ系の亀裂性状および塑性耐力を調べる。

* 鹿児島大学大学院建築学専攻

2. 実験

2.1 試験体形状寸法

試験体は、4隅に柱を有するスラブ付き立体ラーメンで、ラーメンの構面方向に加力するものと構面方向に対して45°方向に加力するものの2体である。試験体名はそれぞれSB-0、SB-45とした。形状寸法および配筋詳細は、後述するプレストレスト導入用およびピン治具固定用のPC鋼棒の位置および柱主筋位置を除き、両試験体とも図-1(a)に示す通りである。SB-0、SB-45の柱-はり接合部詳細をそれぞれ図-1(b)、(c)に示す。なお、試験体は柱弾性-はり降伏型の崩壊形となる様に設計されている。

配筋後の鉄筋位置の測定結果を表-1に示す。同表中、測定位置をAd等で表しているが、たとえばAdははりADのA柱近傍のはり筋とこれに緊結されたスラブ筋の測定位置を示し、はり筋ははり下端面から、スラブ筋はスラブ下端面から鉄筋重心までの距離である。

2.2 材料の機械的性質

試験体に使用したコンクリートの調査表を表-2に示す。試験体は木製型枠を使用して製作し、湿潤状態の布で覆い、室内養生を行った。試験体とはほぼ同じ条件下で養生を行ったシリンダーの機械的性質を表-3(a)に、引張試験により得られた鉄筋の機械的性質を表-3(b)に示す。

2.3 実験方法

SB-0(構面方向載荷)の加力装置立面詳細を図-2に、SB-0、SB-45各試験体の加力装置平面略図を、それぞれ図-3(a)、(b)に示す。柱脚ピン部、ジャッキ部およびSB-45試験体の実験風景をそれぞれ写真-1~3に示す。

SB-0、SB-45各試験体の変位計設置位置を、それぞれ図-4(a)、(b)に、ストレインゲージ貼付位置を、それぞれ図-5(a)、(b)に示す。

水平加力実験に先立ち、柱にプレストレストを導入(各柱に約40t)した後、図-6に示す装置により柱

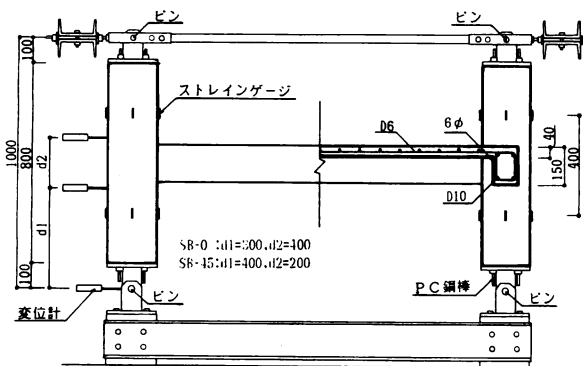


図-1(a) 試験体形状および配筋詳細

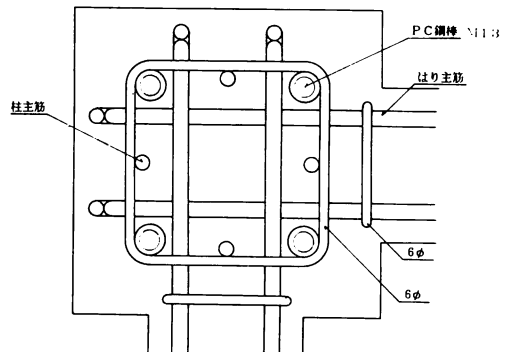


図-1(b) 柱-はり接合部平面詳細 (SB-0)

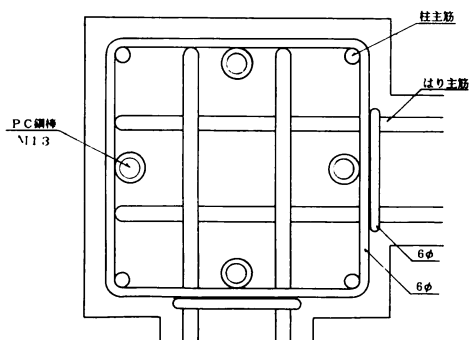


図-1(c) 柱-はり接合部平面詳細 (SB-45)

上下端のピン部を支点，柱中央を集中荷重点とする単純ばり載荷を各柱について行い，図-5に示すストレインゲージ位置のうち柱に貼付したストレインゲージ位置での曲率とせん断力との関係を各柱について求めた。

図-2に示すように試験体の柱脚部をピン支持として反力フレーム上に固定し，加力方向に自由端となっている柱頭部に水平力を与えた。水平力は比較的大きな塑性変形域で正負交番2回繰り返した。

水平力はジャッキ先端に挿入したロードセルによって測定した(図-2および写真-2参照)。

変形は，図-4に示す変位計の位置で各柱の加力構面内の変形を測定し，これより各柱における節点回転角を求めた。

ひずみは図-5に示すストレインゲージ貼付位置で測定し，各部のひずみの進行状況の把握および各柱の負担せん断力の計算に利用した。

亀裂の観察は目視により行った。

3. 実験結果

3.1 各柱のせん断力(Q)と曲率(x)の関係

水平加力に先立ち，各柱について求めた Q-x 関係のうち SB-0，および SB-45 の A 柱の実験結果をそれぞれ図-7(a)，(b)に示す。両図中実線は上柱，破線は下柱に関するものである。両図より分かるように，Q-x 関係は $Q=2t$ (試験体予想耐力時の水平力が等分されるとしたときの約1.5倍のせん断力) までほぼ線形性を保っていることが分かる。

各柱の負担せん断力をこの Q-x から推定する際に必要なばね定数は図-7に示す Q-x 曲線において $Q=0$ の点と $Q=2$ の点を結んで得られる値(割線剛性)を用いた。

表-1 〔鉄筋位置(下面から重心位置まで)〕

測定位置	SB-45			SB-0		
	梁筋		スラブ筋	梁筋		スラブ筋
	上	下		上	下	
Ad	12.6	2.6	2.2	12.1	2.1	2.2
Ab	13.2	3.2	1.5	13.2	3.2	1.5
Ba	13.2	3.5	1.4	13.0	3.0	1.5
Bc	12.4	2.5	2.1	12.2	2.2	2.2
Cb	12.3	2.4	2.0	12.2	2.2	2.1
Cd	13.1	3.2	1.3	13.3	3.3	1.4
Dc	13.0	3.1	1.7	13.3	3.2	1.5
Da	12.2	2.2	2.3	12.3	2.1	2.2

[単位: cm]

表-2 〔コンクリート調合表〕

試験体名	W/C (%)	単位水量 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	AE剤 (kg/m ³)	スランプ (cm)
SB-0	60	208	348	790	961	90	20.2
SB-45	58	200	348	792	961	90	18.8

表-3 〔材料強度等〕

(a) 〔コンクリート〕

試験体名	SB-45	SB-0
圧縮強度 (kg/cm ²)	349	374
ヤング係数 (kg/cm ² × 10 ⁵)	2.18	1.87

(b) 〔鉄筋〕

鉄筋公称径	D-6	D-10
断面積 (cm ²)	0.285	0.667
降伏応力度 (t/cm ²)	4.07	4.09
引張り強さ (t/cm ²)	6.45	5.97

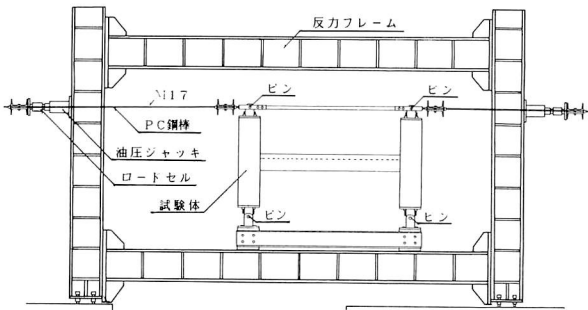
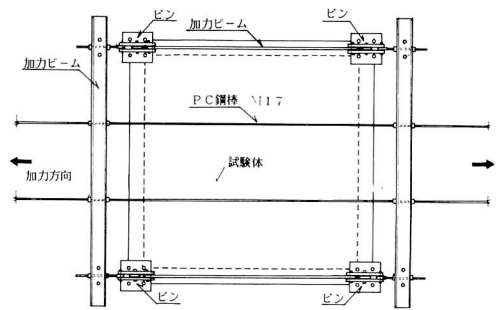
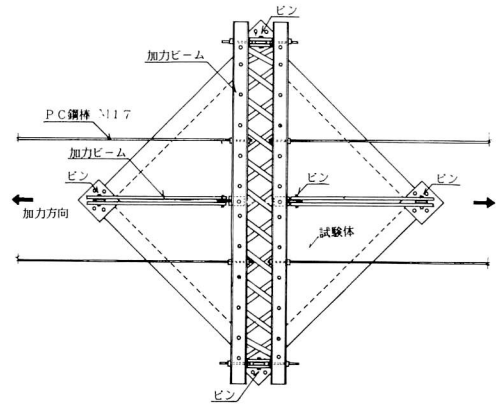


図-2 加力装置 (SB-0の場合)



(a) SB-0



(b) SB-45

図-3 加力装置平面図

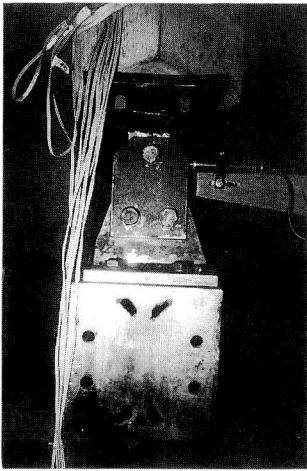
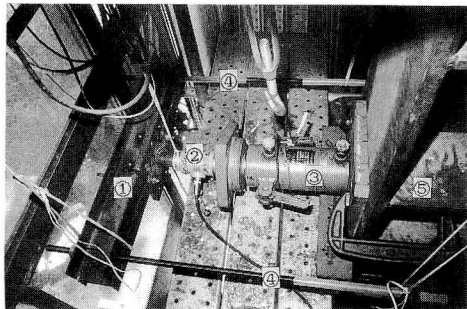
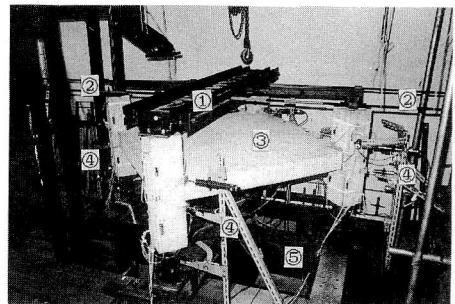


写真-1 (柱脚ピン部)



①加力ビーム, ②ロードセル, ③油圧ジャッキ,
④PC鋼棒, ⑤反力フレーム

写真-2 (ジャッキ部)



①加力ビーム, ②PC鋼棒, ③試験体, ④変位計,
⑤反力フレーム

写真-3 (実験風景, SB-45の場合)

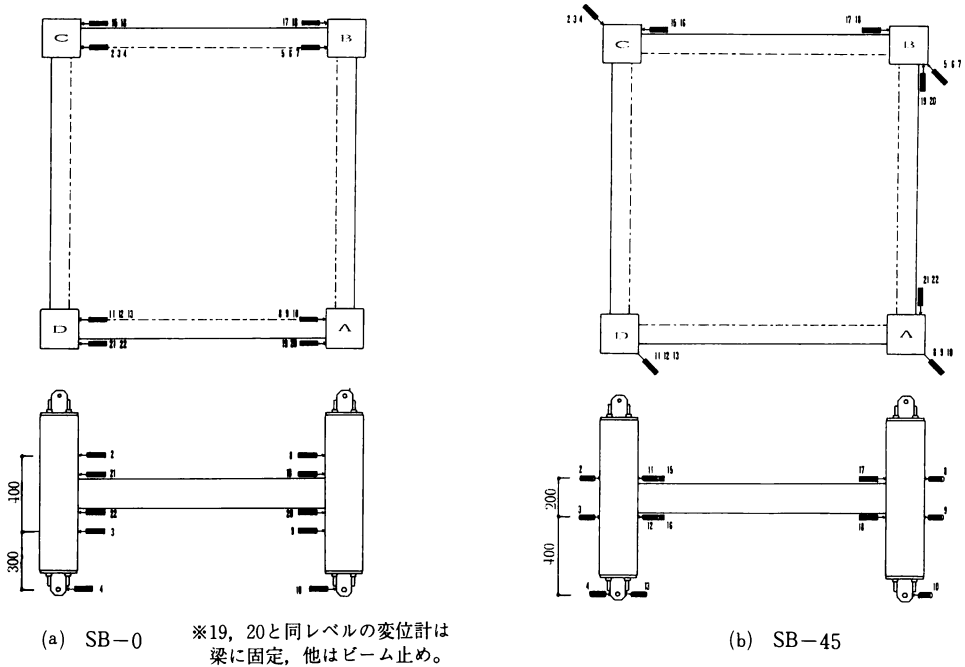


図-4 変位計位置

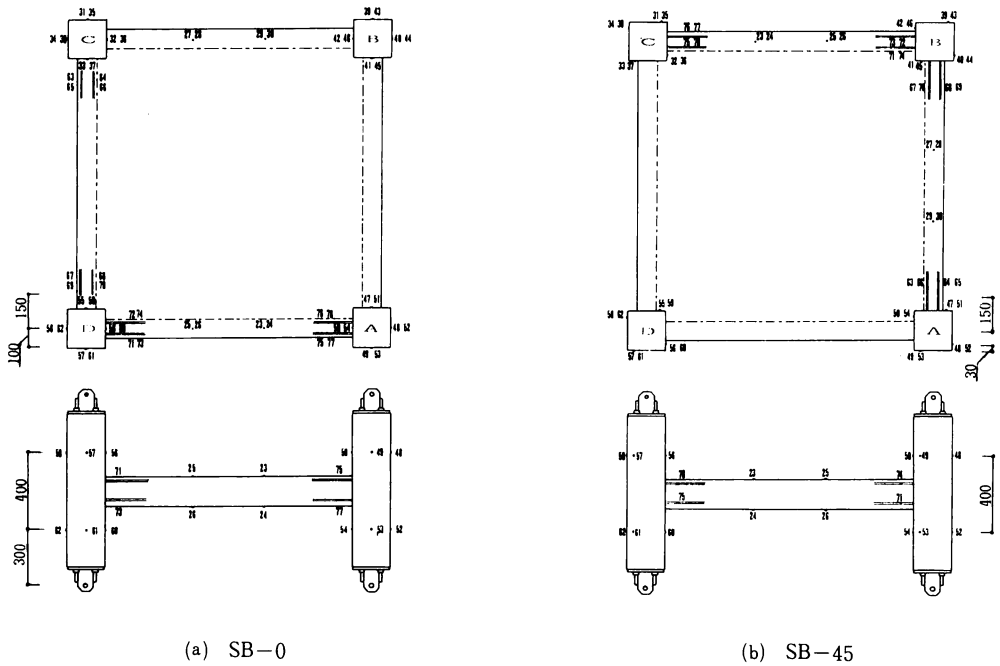


図-5 ストレインゲージ貼付位置

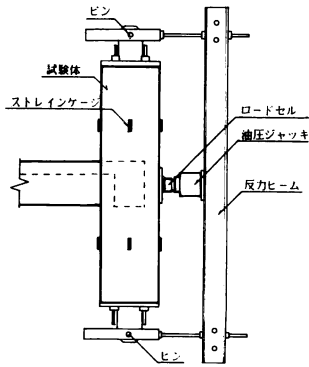
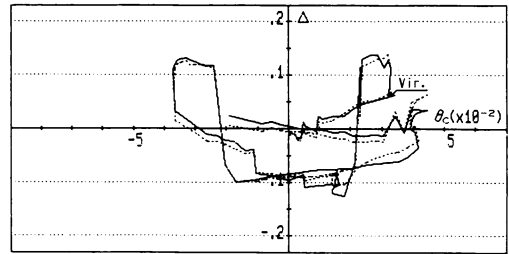
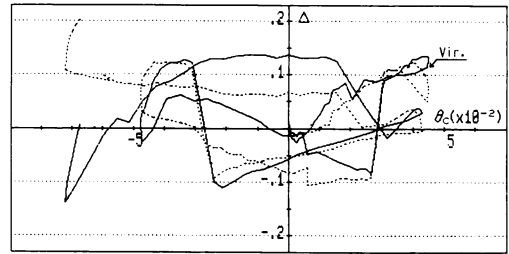


図-6 柱のせん断力-曲率測定装置

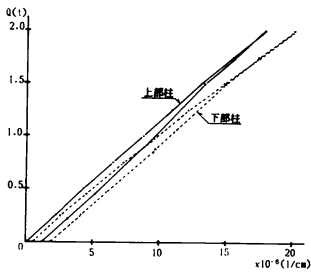


(a) SB-0

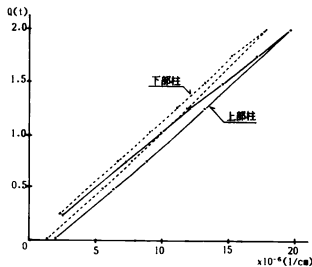


(b) SB-45

図-8 ストレインゲージによる各柱のせん断力の合計値とロードセルにより測定された水平力との関係



(a) SB-0



(b) SB-45

図-7 A柱のせん断力-曲率関係

3. 2 ストレインゲージより求めた水平力とロードセルから求めた水平力との関係

各柱のせん断力の合計値 (ストレインゲージより求めた水平力) とロードセルで測定された水平力との関係を図-8 (a), (b)に示す。

同図中の横軸はC柱の節点回転角 (θ_c) で、縦軸の Δ は下式により求められる値である。

$$\Delta = (\Sigma Q - Q_{ce1}) / Q_{max}$$

ここに、 ΣQ : 柱のストレインゲージより求めた各柱のせん断力の合計値、 Q_{ce1} : ロードセルにより測定される水平力、 Q_{max} : 試験体の最大実験耐力

なお、同図中の実線は上部柱、破線は下部柱に関するもので、Vir. を付した曲線は処女載荷時の曲線である。

図-8の(a), (b)とも各サイクルの最大変位時において Δ が急に増大している。これは、最大変位時にひび割れ観察等の作業を行い約30分間加力を行わなかった間に発生したクリープによるものと思われる。また、同図の Δ - θ_c 関係のうち処女載荷時の曲線を比較すると45°方向加力 (SB-45) の方が構面内方向加

力のものより Δ の増大率が大きい (約1.5倍)。これは、塑性域での耐力が SB-45 の柱の方が大きい (図-9 参照) こと、および SB-45 柱は柱断面の対角線軸回りに曲げを受けるので、同一曲げモーメントにおける最外縁応力は SB-45 の方が大きくなること等のため、SB-0 に比べ SB-45 の方が、クリープの影響を大きく受けることによると思われる。

同図より、両試験体とも各サイクル最大変位時において、各柱のせん断力の合計値 (ΣQ) がロードセルによる測定値 (Q_{cell}) より大きいのが、その差 (Δ) は最大耐力の10%程度であることが分かる。

3.3 荷重-変形関係

全水平力 (Q) - 変形 (A 柱節点の回転角 θ_A) 関係を図-9 に示す。同図中、実線は構面方向加力の、破線は45°方向加力の場合である。

両試験体とも、はり AB および AD の端部 (柱心より15cm) にストレインゲージを貼付し、鉄筋のひずみの進行状況を調べた。その測定結果より得られる各鉄筋の降伏時期を図-9 中矢印で示している。

矢印に付した記号 ($\square Ad$ 等) が表す意味は次の通りである。

- $\square Ad$: 構面方向加力 (SB-0) 時の、はり DA の A 柱側上端筋。
- $\blacksquare Ad$: 構面方向加力時の、はり DA の A 柱側下

端筋。

- $\diamond Ab$: 45°方向加力 (SB-45) 時の、はり AB の A 柱側上端筋。

- $\blacklozenge Ab$: 45°方向加力時の、はり AB の A 柱側下端筋。

なお、両試験体とも初期亀裂の発生を確認した時期は、約1.5t (処女載荷時) の時であった。

同図より、処女載荷時では45°方向加力 (SB-45) の耐力が構面方向加力 (SB-0) の耐力より高いが、処女載荷後は加力方向による挙動の差は小さいことが分かる。この現象は文献5) の実験でも確認されている。

3.4 亀裂性状

試験体 SB-0 および SB-45 の亀裂性状をそれぞれ図-10、図-11 に示す。両図中 (a) は処女載荷最大変位時に関するもので、(b) は各サイクルで発生した亀裂を含む最終時の亀裂の状況である。両図中、実線はスラブ上面に、破線はスラブ下面に生じた亀裂であり、 \leftarrow 印は処女載荷時の加力方向である。

両試験体の亀裂性状の大きな違いは、図-10 と図-11 の比較から分かるように、構面方向加力 (SB-0) の場合、加力方向に直交する亀裂がほとんどであるが、45°方向加力 (SB-45) の場合は、文献5) と同様、加力方向に直交する亀裂と加力方向に平行な亀裂 (対

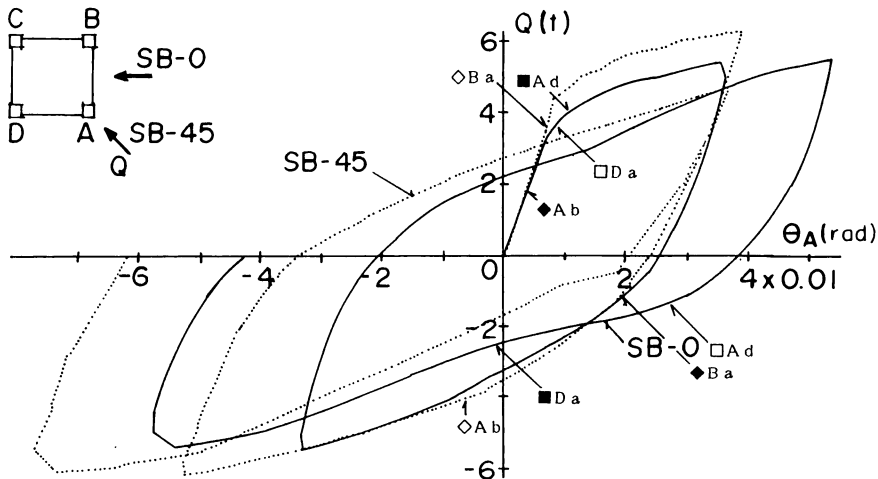


図-9 全水平力 (Q) - 変形 (θ_A) 関係

角線亀裂)が発生することである。

以下に、亀裂の発生状況を詳述する。

i) SB-0 (図-10(a), (b)参照)

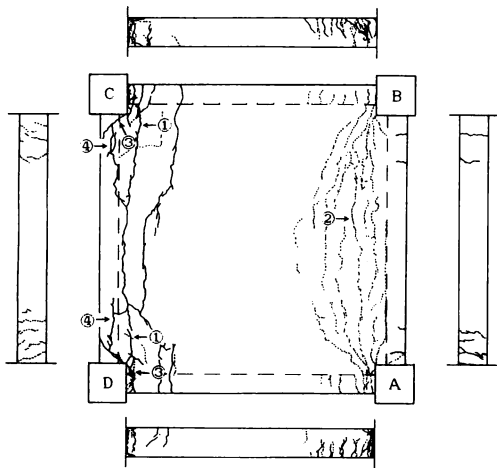
処女荷重時最大耐力の28%付近で、はりおよびスラブの引張面に初期曲げ亀裂 (図-10(a), ①参照) が

発生した。

処女荷重時最大耐力の74%付近で、次の亀裂が発生した。

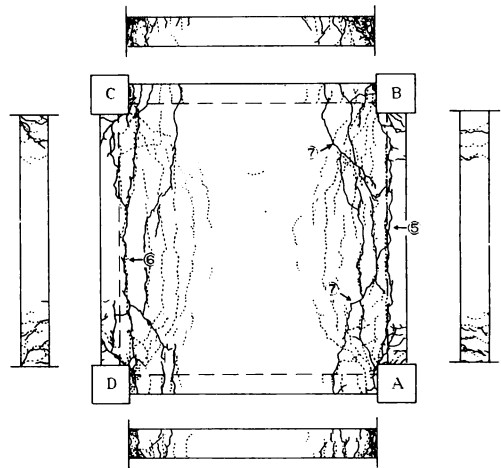
1) スラブ下面の曲げ亀裂 (図-10(a), ②参照)。

2) C, D 柱近傍のはり上に、ねじれによるものと思われるスラブの対角線に直交する亀裂 (図-10(a),



← 処女荷重時の加力方向

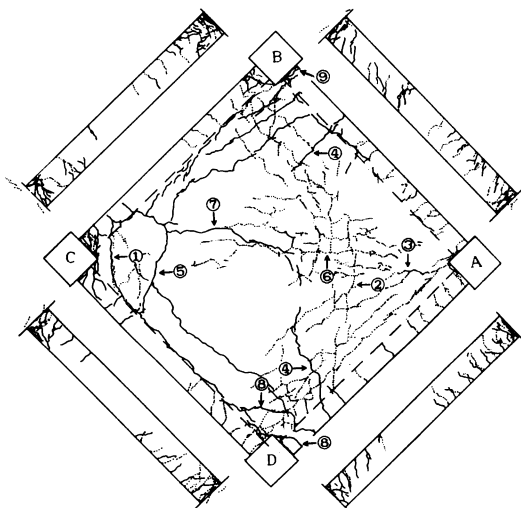
(a) 処女荷重最大変位時



← 処女荷重時の加力方向

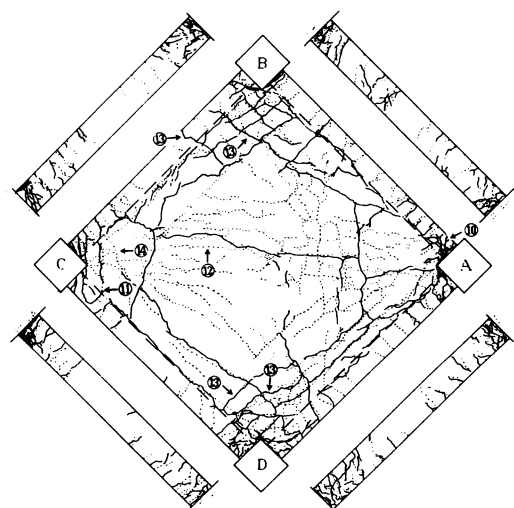
(b) 最終時

図-10 亀裂性状 (SB-0)



← 処女荷重時の加力方向

(a) 処女荷重最大変位時



← 処女荷重時の加力方向

(b) 最終時

図-11 亀裂性状 (SB-45)

③参照)。

処女載荷時最大耐力 (5.42t) 付近で、次の亀裂が発生した。

- 1) スラブ上下両面における曲げ亀裂 (多数発生)。
- 2) はり CD 両端部の付着割裂に似た亀裂 (図-10(a), ④参照)。

なお、このときは BC, DA 下面の柱 C, D 近傍が圧壊し、柱 C, D 近傍のスラブの対角線に直交する亀裂はスラブ厚を貫通した。(図-10(a)で柱 C, D 近傍では、実線と破線が混在することに注目)

負側載荷時最大耐力の44%付近で、柱 A, B 側のはりおよびスラブの引張面に曲げ亀裂 (図-10(b), ⑤参照) が発生した。

負側載荷時最大耐力の71%付近で、次の亀裂が発生した。

- 1) スラブ下面の曲げ亀裂 (図-10(b), ⑥参照)。
- 2) 柱 A, B から少し離れた位置の、スラブの対角線に直交する亀裂 (図-10(b), ⑦参照)。

負側載荷時最大耐力 (-5.56t) 付近で、スラブ引張面に処女載荷時と同様な亀裂が多数発生した。

以後もう1サイクル載荷したが、亀裂の増加は余り見られなかった。

ii) SB-45 (図-11(a), (b)参照)

処女載荷時最大耐力の24%付近で、次の亀裂が発生した。

- 1) C 柱近傍のスラブ上面において加力方向に直交した亀裂 (図-11(a), ①参照)。
- 2) スラブ下面 (柱 A, B, D を結ぶ領域) の中央付近において、加力方向に直交した亀裂 (図-11(a), ②参照) と、加力方向の亀裂 (図-11(a), ③参照)。
- 3) スラブ上面のはり AB, CD に沿う亀裂。

処女載荷時最大耐力の79%付近で、次の亀裂が発生した。

- 1) はり CB に沿う亀裂。
- 2) スラブ上面のはり AB, DA をそれぞれ垂直に横切る亀裂 (図-11(a), ④参照)。
- 3) はり下面の曲げ亀裂。
- 4) 柱 C 側のスラブ引張面において加力方向 (柱 A-C 方向) に直交する亀裂 (図-11(a), ⑤参照)。
なお、この亀裂はスラブ面を貫通した。
- 5) スラブ下面中央部 A 柱近傍からスラブ中央部に至る加力方向の亀裂 (図-11(a), ⑥参照)。
- 6) スラブ上面中央部 C 柱側からスラブ中央部に至る

亀裂 (図-11(a), ⑦参照)。

7) 柱 D 近傍スラブ上面の加力方向に平行な亀裂 (図-11(a), ⑧参照)。

処女載荷時最大耐力 (6.27t) 付近で、次の亀裂が発生した。

- 1) スラブ下面のはり AB, DA に沿う亀裂 (多数発生)。
- 2) 柱 B, D 近傍の加力方向に平行な亀裂 (図-11(a), ⑧, ⑨参照)。
なお、この亀裂はスラブ厚を貫通した。
- 3) スラブ下面 (柱 A, B, D を結ぶ領域) の加力方向の亀裂 (多数発生)。

負側載荷最大耐力の53%付近で、次の亀裂が発生した。

- 1) スラブ上面 (柱 A, B, D を結ぶ領域) のはり AB, DA に沿う亀裂と、柱 A 近傍の加力方向に直交した亀裂 (図-11(b), ⑩参照)。
- 2) スラブ下面の曲げ亀裂 (図-11(b), ⑪参照)。
- 3) スラブ下面 (柱 B, C, D を結ぶ領域) の加力方向に平行な亀裂 (図-11(b), ⑫参照)。

負側載荷最大耐力の68%付近で、スラブ上面 (柱 A, B, D を結ぶ領域) に加力方向に平行な亀裂とそれと直交する亀裂が発生した。

負側載荷最大耐力 (-6.20t) 付近で、次の亀裂が発生した。

- 1) スラブ上面 (柱 A, B, D を結ぶ領域) のはり AB, DA に沿う亀裂。
- 2) スラブ上面のはり BC, CD を垂直に横切る亀裂 (図-11(b), ⑬参照)。
- 3) スラブ下面 (柱 B, C, D を結ぶ領域) の加力方向の亀裂とはり BC, CD に沿う亀裂 (共に多数発生)。
なお、この時点では、スラブ下面の加力方向と直交する亀裂は確認できなかった。また、このとき各柱近傍のスラブの亀裂と加力方向亀裂はスラブ厚を貫通していた。

以後もう1サイクルの載荷を行った結果、最終時までスラブ下面 (柱 C, D, B を結ぶ領域) に加力方向と直交する亀裂 (図-11(b), ⑭参照) が発生した。

4. 解 析

4.1 仮 定

実験結果との比較のため、下記の仮定を用いて剛塑性解析を行った。

1. 鉄筋、コンクリートとも完全剛塑性。
2. コンクリートの圧縮応力ブロックでは $0.8F_c$

(F_c : シリンダー強度) で塑性状態にある。

3. 塑性関節形成位置は、T形はりでは柱フェースより $D_b/2$ (D_b : はりせい), スラブに形成される塑性関節線ではり側面より $T/2$ (T : スラブ厚) (図-12参照)。

4. 2 終局曲げ強度

スラブが曲げ圧縮側にあるときの応力状態の一例を図-13に示す。

同図中、

C_y, T_y, S_y : それぞれはり曲げ圧縮側筋, はり曲げ引張側筋, および T 形はりのスラブ協力幅内にあるスラブ筋の降伏荷重 (合力) である。

σ_c : 単位面積当たりのコンクリートの圧縮応力

B_s : スラブ協力幅+はり幅

B : はり幅

D_b : はりせい

d_0 : はり主筋重心間距離

d_1 : はり上端面 (スラブ側) からはり下端筋重心までの距離

d_2 : はり下端面からはり上端筋重心までの距離

s : はり上端面からスラブ筋重心までの距離

X : 圧縮側最外縁から塑性中立軸までの距離

$\alpha_c, \alpha_s, \alpha_t$: それぞれはり圧縮筋, 引張筋, およびスラブ筋の応力度と降伏応力度との比

C_y, T_y, S_y は正值, σ_c は負値で定義すると終局曲げモーメント M_u は図-13を参照して以下のように求まる。

A) スラブが曲げ圧縮側の場合 (M_u^+)

はり曲げ引張側主筋位置での曲げモーメントの釣合より、

$$M_u^+ = \alpha_c \cdot C_y \cdot d_0 + \alpha_s \cdot S_y \cdot (d_1 - S) + B_s \cdot X \cdot \sigma_c \cdot (d_1 - X/2)$$

上式中の α_c, α_s, X は、軸方向の釣合より、中立軸位置 X に応じて、下記のように変化する。

A-1) $X = -(C_y + T_y + S_y) / (B_s \cdot \sigma_c) < D_b - d_2$

かつ $X < s$ (中立軸が鉄筋より外側) のとき、

$$\alpha_c = \alpha_s = 1$$

A-2) $X = D_b - d_2$ (中立軸がはり筋上) かつ $X < s$ のとき、

$$\alpha_c = -(X \cdot B_s \cdot \sigma_c + T_y + S_y) / C_y, \alpha_s = 1$$

A-3) $X = s$ (中立軸がスラブ筋上) かつ $X < D_b - d_2$ のとき、

$$\alpha_c = 1, \alpha_s = -(X \cdot B_s \cdot \sigma_c + C_y + T_y) / S_y$$

B) スラブが曲げ引張側の場合 (M_u^-)

はり曲げ引張側主筋位置での曲げモーメントの釣合より、

$$M_u^- = \alpha_c \cdot C_y \cdot d_0 + \alpha_s \cdot S_y \cdot (S - D_b + d_2) + B_s \cdot X \cdot \sigma_c \cdot (d_2 - X/2)$$

A) の場合と同様に α_c, α_s, X は、

B-1) $X = -(C_y + T_y + S_y) / (B_s \cdot \sigma_c) < D_b - d_1$ (中立軸が鉄筋より外側) のとき、

$$\alpha_c = \alpha_s = 1$$

B-2) $X = D_b - d_1$ (中立軸がはり筋上) のとき、

$$\alpha_c = -(X \cdot B_s \cdot \sigma_c + T_y + S_y) / C_y, \alpha_s = 1$$

B-3) $X = -(C_y + T_y + S_y) / (B_s \cdot \sigma_c) > D_b - d_1$ (中立軸がはり筋より内側) のとき、

$$\alpha_c = -1, \alpha_s = 1$$

なお、上記以外の場合も考えられるが、本試験体で生じる可能性がない場合は省略した。

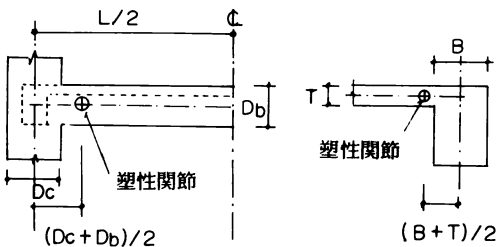


図-12 塑性関節形成位置

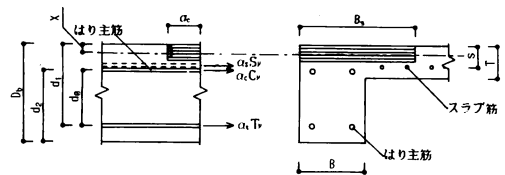


図-13 スラブが曲げ圧縮側にあるときの応力状態の一例

4. 3 塑性関節形成位置を考慮した場合の骨組終局耐力

架構構面内の崩壊機構を図-14に示す。スパンを L 、節点から塑性関節までの距離を b 、節点での回転角を θ_i 、塑性関節の回転を θ とすると、同図から、

$$\theta = \theta_i(1+2 \cdot b / (L-2 \cdot b))$$

である。

したがって、はり端の終局曲げモーメントを M_i 、スラブ端に形成される関節線の終局曲げモーメントを M_j とすると、試験体の終局耐力 Q_u は、

i) SB-0 の場合

$$Q_u = \{ \Sigma M_i \cdot (L / L_b) + \Sigma M_j \cdot (L / L_s) \} / H$$

ii) SB-45 の場合

互いに直交する架構の耐力のベクトル和で、

$$Q_u = \{ \Sigma M_i \cdot (L / L_b) + \Sigma M_j \cdot (L / L_s) \} / H / \sqrt{2}$$

ここで、 L ：スパン長 (150cm)、 $L_b = L - D_c - D_b$ 、 $L_s = L - B - T$ 、 D_c ：柱せい、 B ：はり幅、 H ：柱長 (100cm)

ただし、T 形ばりとして計算するときは、 $M_i = 0$ とし、 M_i にスラブの効果を考慮した値を用いる。

5. 考 察

5. 1 終局耐力

計算結果と実験結果 (処女載荷時の最大耐力) の比較を表-4に示す。同表中、SB-45に関する値は x, y 方向それぞれの水平耐力を求め、そのベクトル和を計算値としたものである。

i) SB-0

スラブ協力幅を全幅とした計算結果が他の場合より対応がよい。スラブが曲げ引張側にあるとき、T 形ばりとしてスラブが協力する領域ではスラブに生ずる曲げ亀裂はスラブ厚を貫通することになるが、実験でははり内面から20cm位の領域の亀裂のみが貫通し、中間部では貫通していなかった (図-10(a)参照) ので、スラブ全幅を協力幅と仮定することは過大評価である。しかし、学会規準⁶⁾による協力幅 ($=0.1 \cdot L$) を仮定する場合より対応が良い。

ii) SB-45

はりスラブが独立 (はりは長方形ばり、スラブはスラブ幅×スラブ厚の長方形単筋ばりとした場合の終局曲げモーメントで外力に抵抗する) であるとした場合の計算結果が実験値とよく対応する。これは、本試験体ではりと45度方向の柱近傍の亀裂 (図-11(a)中、C 柱近傍の亀裂①参照) が卓越し、耐力に達している

ため、T 形ばりとしての効果が期待できないためであろう。

5. 2 節点モーメントと節点回転角との関係

各柱に貼付したストレインゲージより得られる各節点の上下柱のせん断力 Q_1, Q_2 を求め、

$$M = (Q_1 + Q_2) \cdot H / 2$$

より、各節点モーメント M を求めた。節点回転角 θ は節点近傍の変位計 (図-4 (a), (b)参照) による測定結果より求めた。その結果を図-15(a)~(c)、図-16(a)~(c)に示す。図-15、図-16はそれぞれ SB-0, SB-45 の場合で、両図とも (a)~(c) 図中の点線は節点 A での $M-\theta$ 関係である。処女載荷時にスラブが曲げ圧縮となる節点は SB-0 では A, B であり、SB-45 では A である。各図中、破線は計算値 (SB-0 の場合はスラブ全幅有効とした T 形ばり、SB-45 の場合ははりとスラブが独立) である。表-5 は処女載荷時の節点回転角 θ が 0.01, 0.02, 0.03 rad における各節点の M と節点 A での M との比である。なお、この範囲では柱に貼付したストレインゲージによる水平力の合計値とロードセルによる水平力との差は比較的小さい (図-8参照)。

i) SB-0

表-5に示すように計算値では $M_b / M_a = M_c / M_a =$

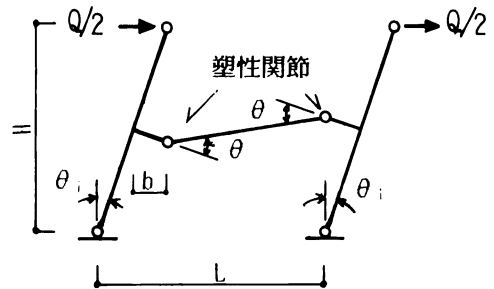


図-14 架構構面内の崩壊機構

表-4 実験結果および計算値 / 実験値

試験体名	処女載荷時最大耐力 (t)	計算値 / 実験値		
		スラブ全幅有効	スラブ協力幅 (0.1L)	はり、スラブ独立
SB-0	5.42	1.13	0.76	0.77
SB-45	6.27	1.33	0.94	0.96

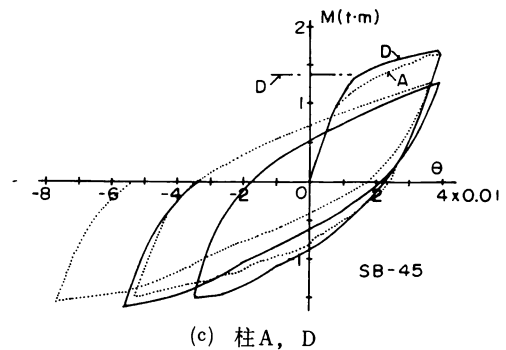
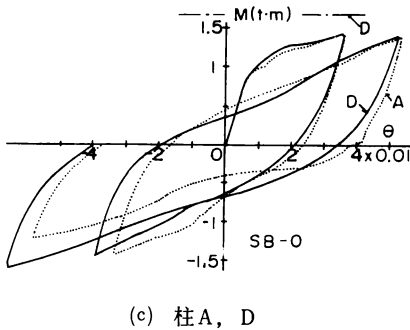
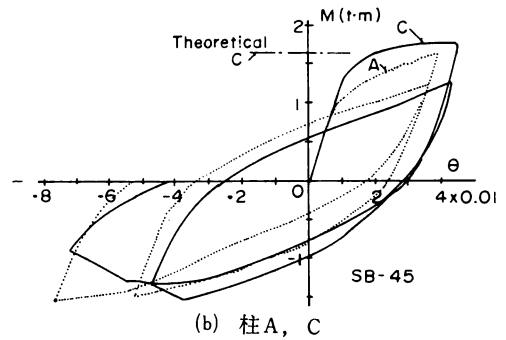
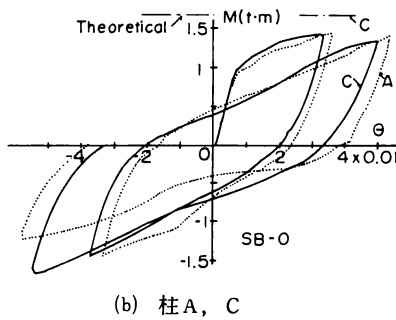
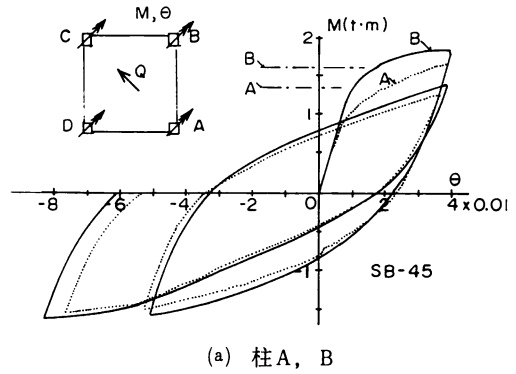
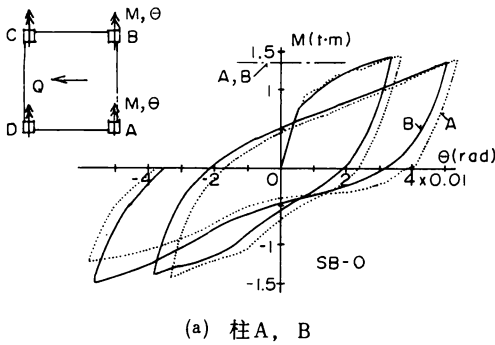


図-15 各節点モーメントと節点回転角との関係 (SB-0)

図-16 各節点モーメントと節点回転角との関係 (SB-45)

表-5 各節点と節点 A のモーメントの比 (M_i/M_A)

試験体	SB-0			SB-45			
	節点 B	C	D	B	C	D	
θ	0.01	0.96	1.06	1.04	1.29	1.25	1.06
	0.02	1.02	1.10	1.07	1.24	1.26	1.09
	0.03	1.01	1.03	1.00	1.17	1.14	1.04
計算値	1.00		1.24	1.20	1.22	1.04	

ただし、計算値は SB-0 の場合：スラブ全幅有効、
SB-45 の場合：はりとはスラブが独立と仮定

1.24 であるが、実験値では $\theta=0.01\sim 0.03$ の範囲で 1.0~1.1 であり、 θ の増大とともに 1.0 に近づく傾向にある。この実験において、T 形ばりの板部が圧縮あるいは引張になる時の協力幅については不明である。しかし、板部が圧縮となるとき終局曲げモーメント (M_A) と板部が引張となるとき終局曲げモーメント (M_c, M_b) との比は表-5 に示すように、スラブ全幅を T 形ばりの協力幅としたときの計算値が 1.24 で

あるのに対し、実験値は M_c/M_A , M_b/M_A とも塑性域では、 θ の増大にともない減少し、約 1.0 になる。以上のことより、スラブが曲げ引張を受けるときのスラブ協力幅は、曲げ圧縮を受けるときよりも小さく、変形の増大と共に減少することが推定される。

ii) SB-45

M_b/M_A , M_c/M_A , M_d/M_A とも、実験値と計算値とがよく対応している。SB-0 の場合と同様、 θ の増加とともに M_c/M_A 等の値は減少する傾向にある。表-4 および 5 に示した実験値と計算値との比較より、本実験で用いたプロポーシヨンの立体ラーメンに 45° 方向の水平力が作用した場合のはりスラブ系の終局耐力は、はり幹部とスラブ縁に塑性関節が形成されると仮定することにより推定できることがわかる。

6. 結 び

任意方向の水平力を受ける鉄筋コンクリート造の隅柱付き立体ラーメンのはりスラブ系の亀裂性状および終局耐力を明らかにする目的で、2 体の中型試験体にラーメン構面方向および 45° 方向の水平力を加える実験を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

- 1) スラブに発生する亀裂は、構面方向加力を受ける場合、加力方向に直交する亀裂がほとんどであるが、 45° 方向加力を受ける場合は、加力方向に直交する亀裂ばかりでなく、加力方向に平行な亀裂（対角線亀裂）が発生する。
- 2) 45° 方向の水平力を受ける場合の終局耐力は、はりおよびスラブがそれぞれ独立して外力に抵抗すると仮定すれば、ほぼ推定できる。また、T 形ばりの終局耐力に関するスラブの協力幅はスラブが曲げ引張となる場合と曲げ圧縮となる場合では異なり、曲げ引張となる場合の方が小さくなる。

《謝 辞》

実験および資料整理は佐藤尚彦氏（現：野村建設工業 K.K.）の労によるところ大であります。また実験に際し久徳琢磨（助手）、酒見敏孝（同：院 2）松田寿一（現：鹿島建設）、各氏の御協力を得ました。

《参考文献》

- 1) Halim Joshie K, 今村 晃, 小谷俊介, 青山博之：鉄筋コンクリート造立体柱・はりスラブ接合部の挙動に関する実験的研究, 第 6 回コンクリート工学年次講演会論文集, 1984, pp.657~660.
- 2) 藤井 栄, 森田司郎：二方向載荷をうけるコンクリート外部柱・はりスラブ接合部の挙動, 日本建築学会学術講演梗概集 (C), 1989.10, pp.653~654.
- 3) ヨシ ハリム：二方向地震力に対するはり降伏型 R/C 骨組の柱の設計, 第 7 回日本地震工学シンポジウム (1986), pp.1693~1698.
- 4) M.A.A. Mollick, Takayuki Shimazu, and Hideo Ariki: The Vertical Load Carrying Capacity of the Columns of Multi-Story Reinforced Concrete Space Structures After the Experience of Reversed Horizontal Loading. 日本建築学会中国四国支部研究報告, 第 7 号, 昭 62.3, pp.213~216.
- 5) 三谷 勲：任意方向水平力を受ける立体ラーメンにおけるはりスラブ系の終局曲げ耐力（その 1 予備実験）, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第 7 号, 昭 62.3, pp.285~288.
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 昭 57, pp.11.