

# 立体ラーメンにおける中柱部を対象とした はりスラブ系の終局曲げ耐力

三谷 勲  
(受理 昭和63年5月31日)

## Ultimate Flexural Strength of a Reinforced Concrete Beam-Slab System in the Inner Part of a Rectangular Space Frame

Isao Mitani

In an earthquake resistant design, it is assumed that seismic load acts on a building frame separately in longitudinal (x) and transversal (y) directions of the frame. Then, the frame is checked to ascertain if there is damage by the seismic load in each direction. When the seismic load acts on a space frame in an arbitrary direction, the plane frames of both x and y direction are subjected to stresses caused by the seismic load. In this case, the ordinary earthquake resistant design method does not ensure the safety of the frame.

In order to maintain the safety of the building frame against an earthquake force acting in an arbitrary direction, it is necessary to clarify the ultimate flexural strength of the beam-slab system as well as the column of the rectangular space frame subjected to the force in an arbitrary direction.

In the present paper, two beam-slab systems in the inner part of a reinforced concrete building frame are used for test specimens. The one is subjected to forces caused by the horizontal load in the direction of one plane only of the frame, and the other is subjected to forces caused by the horizontal load in a 45 degree angle from one plane of the frame.

Test results are compared with the theoretical ultimate strength based on the plastic hinge method. The test observations are summarized as follows:

- i) The ultimate flexural strength of the beam-slab system subjected to a bending about the axis, with a 45 degree angle from one plane of the frame, is eleven percent higher than that of a beam-slab system subjected to the bending in a plane of the frame.
- ii) When a rectangular space frame is subjected to a force in a direction of a 45 degree angle from the one plane of the frame, cracks in this slab occur in four directions: two of them are diagonal cracks, the others are parallel to the beams.

### 1. 序

多層ラーメンが塑性崩壊耐力に達するような激震を受ける場合、柱弾性・はり降伏型の崩壊機構の下で崩壊することが望ましいことが知られている。水平力がラーメンの構面方向に作用する場合には、平面ラメ

ンにおける柱やはりの終局耐力が解明されていれば、柱弾性・はり降伏の崩壊機構を保障できる設計が可能であるが、図1中の  $H_0$  のように任意方向の水平力が作用した場合に対して、はり降伏・柱弾性の崩壊機構を保障するには、任意軸回りの曲げを受ける柱およびはりスラブ系の終局曲げ耐力に関する情報を必要と

する。

骨組がラーメン構面方向の水平力を受ける場合の応力状態の下での柱やはり部材に関する研究は多い。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、柱部材の二軸曲げに関連する研究<sup>1)~4)</sup>、二方向

応力をうける接合部に関連する研究<sup>5),6)</sup>、および立体ラーメンに関連する研究<sup>7),8)</sup>等によってなされている。しかし、スラブ付立体ラーメンを研究対象としたものは、接合部に関するものを含めても、きわめて少ない<sup>5)~9)</sup>。

本研究は、スラブ付立体ラーメンの終局耐力がスラブおよびはり部材の降伏（塑性化）によって決まる場合を研究対象とし、多スパン骨組の中柱近傍のはりースラブ系の終局曲げ耐力および崩壊機構を調べる。

## 2. 実験

### 2.1 試験体

試験体の形状・寸法を図2(a), (b)に示す。

RC00 および RC45 試験体はそれぞれ図1において  $\theta=0^\circ$  および  $45^\circ$  方向の水平力が作用した場合はりースラブ系の耐力を調べるための試験体である。試験体のスラブ厚は2.5cmで、幅6cm、せい8cmのはりが2方向に設けられている。中央部の短い角柱(10cm×10cm)は柱相当部である。この試験体はスラブ付立体ラーメンに水平力のみが作用したときのはり反曲点間を取り出したもので図1中の一点鎖線の部分に相当す

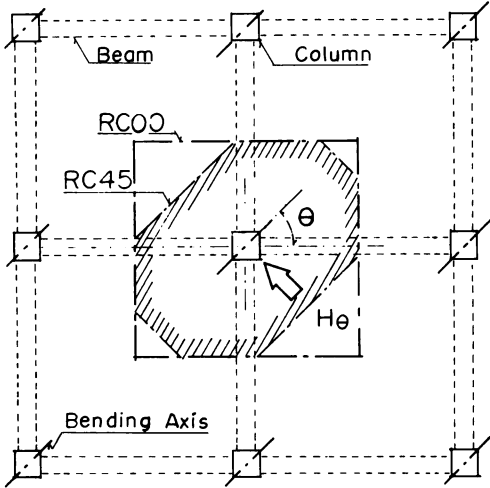


図1 試験体相当部分

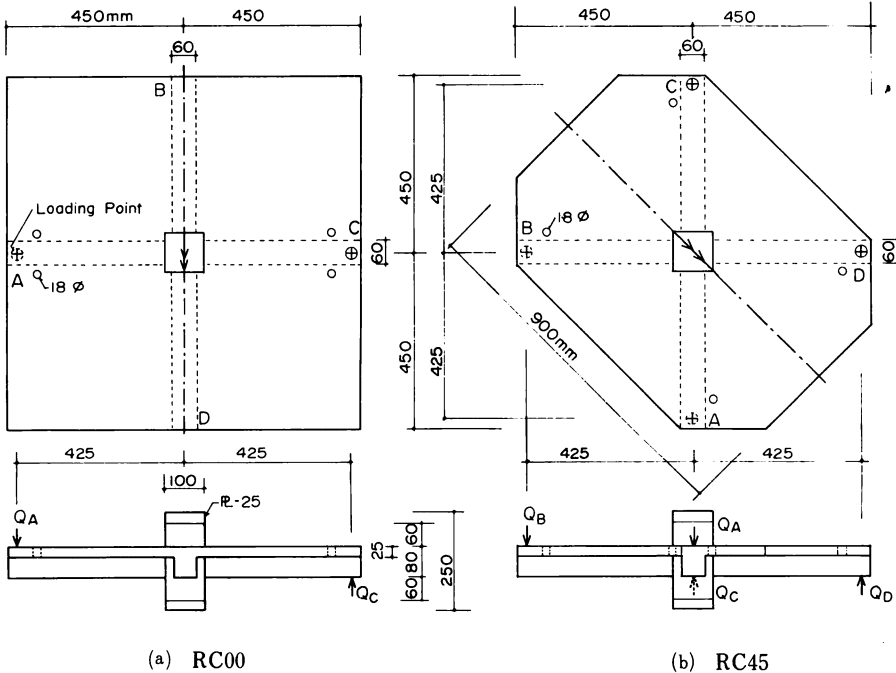


図2 試験体形状・寸法

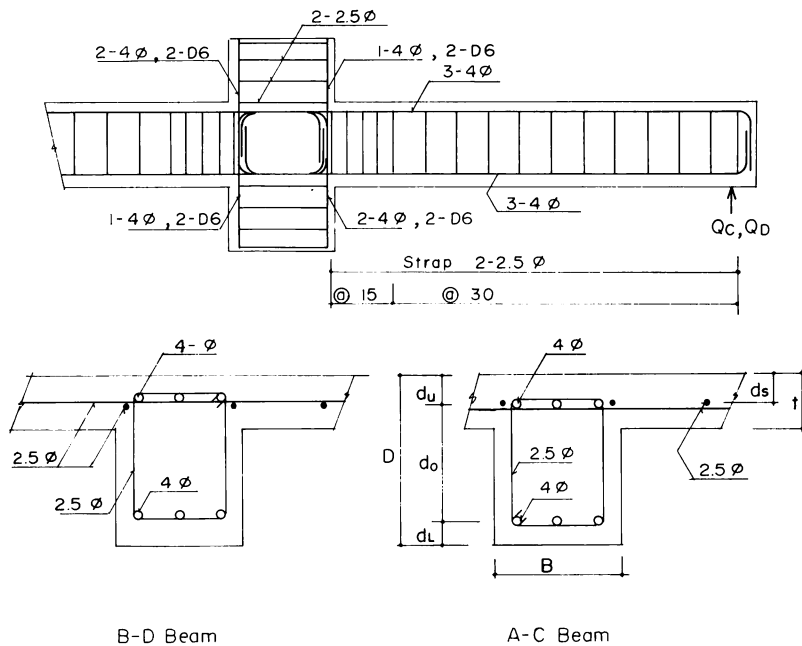


図3(a) はり配筋詳細 [単位mm]

る。ただし、RC45 試験体においては加力装置との関係で一部を切り落とし、図1中、斜線部で示す八角形部を試験体としている。なお、試験体スラブ周辺は自由縁であり、実際の立体ラーメンにおける条件とは異なる。

配筋詳細を図3(a)、(b)に示す。はり主筋は直径が4mm(溶接金網用鉄筋)、スラブ筋およびはりスタップ筋は2.5mmの番線で、いずれも焼鈍を行っている。はり主筋は接合部および柱内に定着されているが、スラブ筋は通し配筋である。使用モルタルはセメント(早強ポルトランド):砂=1:2(重量比)、水セメント比40%で、モルタル打設後、湿潤状態で室内養生し、17日目に加力実験を行った。使用鋼線およびモルタルの強度等を表1に示し、断面寸法、鉄筋位置を表2に示す。

## 2.2 実験方法

実験風景を写真1(a)、(b)に示す。RC00 試験体では、図2(a)中のはり先端部のA点およびC点に油圧ジャッキを用いてせん断力を加える(写真1(a)参照)。RC45 試験体では、図2(b)中のAB两点をつな

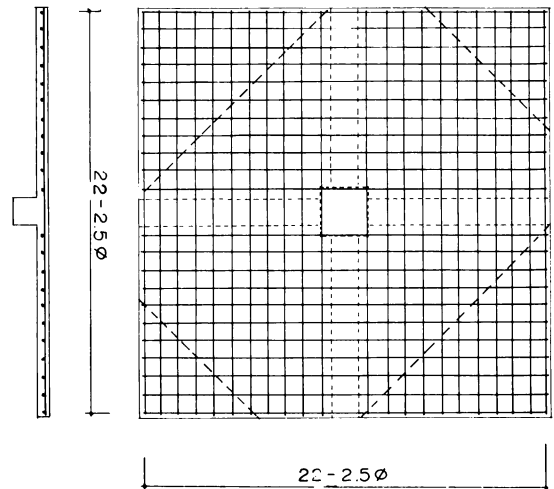


図3(b) スラブ配筋詳細

ぐ加力ビームおよび CD 两点をつなぐ加力ビーム (H-100×50×4×6) を介して、各はりの先端にせん断力を加える (写真1 (b)参照)。両試験体とも加力中、A点およびC点の変位をつねに測定し、両点の変位が絶対値で等しくなるよう留意しながら加力を行った。また、試験体中央部の柱に生ずる反力は、柱に約15tonの圧縮力を加えることにより、200ton圧縮試験機の支柱に負担せしめた。

荷重 (はりせん断力) は各はりの先端においてロードセルを用いて測定した。また、柱に測定枠を固定し、ダイヤルゲージおよび変位計を用いて加力点の変位を測定した (写真1参照)。

2. 3 実験結果

i) 荷重-変形関係

柱・はり節点でのはりモーメントの和 M および曲げ軸回りの節点回転角 R を次式より求めた。

RC00 の場合：

$$M = (Q_A - Q_C) \cdot L \quad (1 - a)$$

$$R = (\delta_A - \delta_C) / 2L \quad (1 - b)$$

RC45 の場合：

$$M = (Q_A + Q_B - Q_C - Q_D) \cdot (L / \sqrt{2}) \quad (2 - a)$$

$$R = (\delta_A + \delta_B - \delta_C - \delta_D) / (\sqrt{2}L) \quad (2 - b)$$

ここに、 $Q_i$ ,  $\delta_i = i$  点の荷重および変位 (図2で下向きを正)、L=節点から加力点までのはり方向の長さ (425mm)。

計画では  $\delta_A = |\delta_C|$  (RC00 の場合)、 $\delta_A = \delta_B = |\delta_C| = |\delta_D|$  (RC45 の場合) であるが、実験では必ずしも計画通りになっていない。上式より得られる M-R 曲線を図4に示す。同図中、点線は RC00 の場合であり、実線は RC45 の場合である。また、主な観察結果 (S:スラブに亀裂発生、B:はりに亀裂発生) を図中に示している。最大耐力は、RC00 の場合 33.8tcm, RC45 の場合 37.6tcm で、 $(RC45)/(RC00) = 37.6/33.8 = 1.11$  と両者の差は小さく、M-R 曲線の形状も両者に顕著な差は認められない。

ii) 亀裂性状

処女載荷終了時の亀裂性状を図5 (a), (b)に示し、

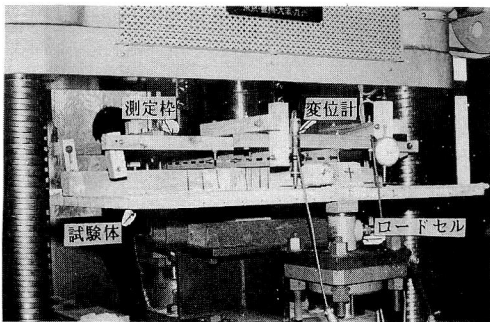
表1 材料強度等

鋼	鉄筋径	4 φ	2.5 φ	
			スラブ	タラップ
	断面積 (cm <sup>2</sup> )	0.121	0.0514	0.0518
	降伏応力度 (t/cm <sup>2</sup> )	2.26	2.57	1.74
	引張強さ (t/cm <sup>2</sup> )	3.13	3.83	2.87
モルタル圧縮強度 F <sub>c</sub>		611 (kg/cm <sup>2</sup> )		

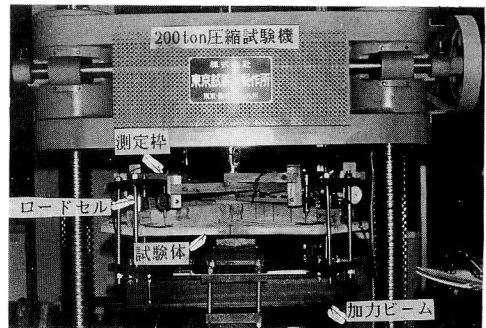
表2 断面寸法および鉄筋位置 (単位:mm)

試験体名および鉄筋の方向	はり					スラブ		
	B	D	do	du	d <sub>i</sub>	t	ds	
RC00	A-C	59.0	80.5	57.1	13.5	9.9	25	11.3
	B-D	59.0	80.5	57.0	10.9	12.6	25	13.8
RC45	A-C	60.0	81.1	57.1	11.0	13.0	25	10.9
	B-D	60.0	80.6	56.9	7.4	16.3	25	12.3

B=はり幅, D=はりせい, do=主筋重心間距離, du=はり上端筋重心からスラブ上端面までの距離, d<sub>i</sub>=はり下端筋重心からはり下端面までの距離, t=スラブ厚さ, ds=スラブ筋重心からスラブ上端面までの距離 [図3(a)参照]



(a) RC00



(b) RC45

写真1 実験風景

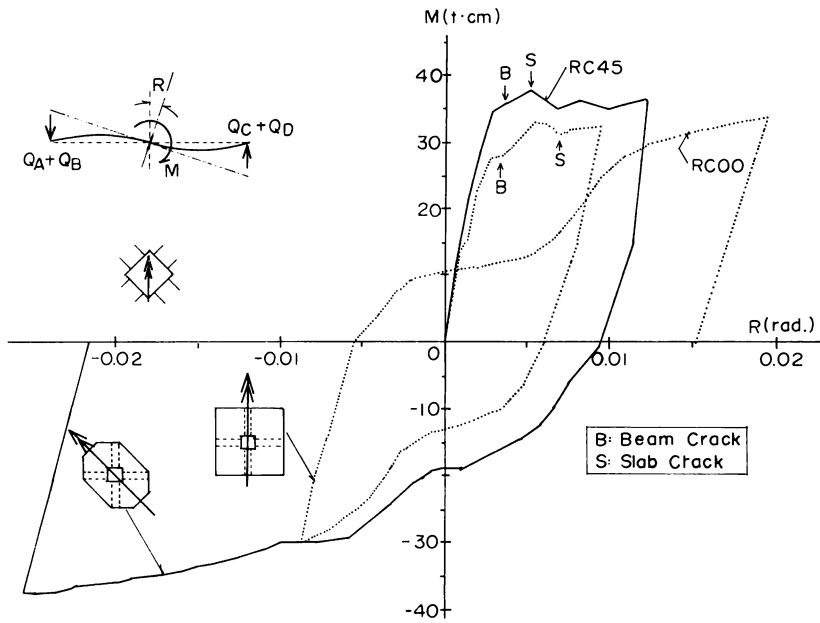


図4 曲げモーメント (M) - 節点回転角 (R) 曲線

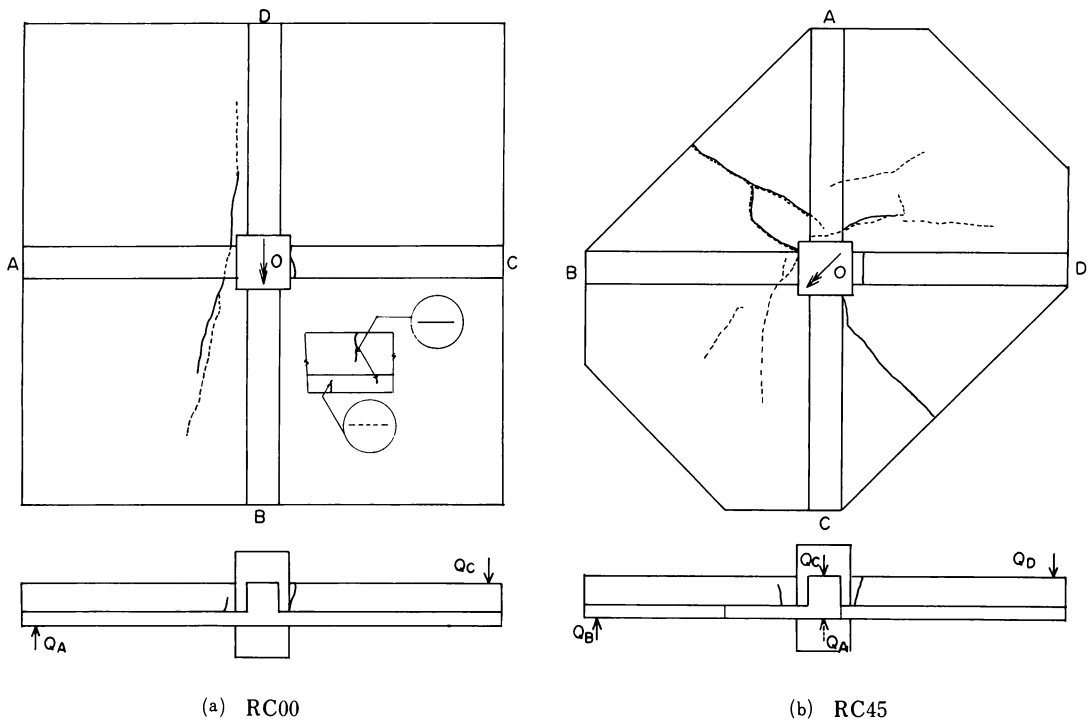


図5 亀裂性状 (処女載荷最大変位時)

実験終了後の亀裂の様子を写真2, 3に示す。図5中、実線は同図で上側に、破線は下側に発生した亀裂である。したがって、亀裂を表す実線と破線がほぼ同じ位置にある部分は亀裂がスラブ厚を貫通していることになる。亀裂性状においてはRC00とRC45との間に著しい差が認められる。

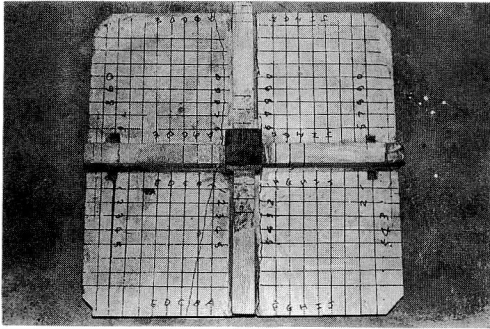
RC00：図5(a)からわかるように曲げを受けるはりに直交する亀裂のみであり、スラブに生じた亀裂は処女載荷最大変位時においてスラブ幅の約1/2がスラブ厚を貫通している。

RC45：処女載荷時において、スラブ側が引張となるはりで囲まれる領域(図5(b)中、 $\Delta OAB$ )およびスラブ側が圧縮となるはりで囲まれる領域(同、 $\Delta OCD$ )のスラブには、はりと45°をなす亀裂が生じている。 $\Delta OAB$ の領域に生じたスラブ亀裂はスラブ

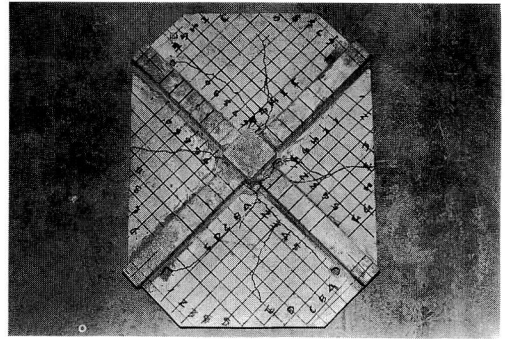
厚を貫通する引張亀裂であり、 $\Delta OCD$ での亀裂は曲げ亀裂である。 $\Delta OAB$ 部での引張亀裂線および $\Delta OCD$ 部での曲げ亀裂線において、スラブには折れ曲がりが生じていた。これは、各はりがそのはりの構面内に曲げ変形を受けると、 $\Delta OAB$ 部では頂点Oと辺ABの中点を結ぶ線が、 $\Delta OCD$ 部では頂点Oと辺CDの中点を結ぶ線が、四角錐の稜線となる変形を受けることに起因する。他の領域ではスラブ側が引張となるはり(OA, OB)に直交する亀裂が生じ、一部はスラブ厚を貫通している。

### 3. 解析

実験最大耐力との比較・検討のために、図5(a), (b)に示した亀裂の様子を参考にして各試験体の崩壊形を仮定し、剛塑性崩壊耐力を求める。

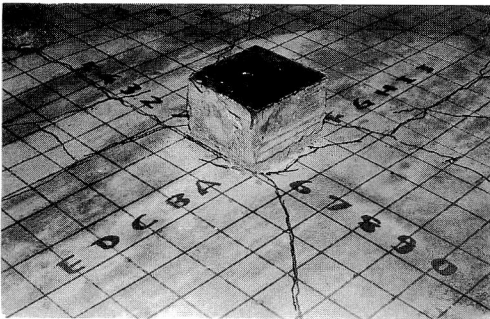


(a) RC00

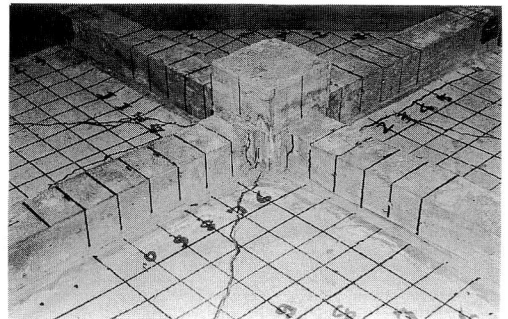


(b) RC45

写真2 実験終了後の亀裂性状(全形)



(a) スラブ側



(b) はり側

写真3 実験終了後の亀裂性状(RC45はり端部詳細)

3. 1 仮定

- 1° 鉄筋，モルタルとも完全剛塑性体，ただし，モルタルの引張強度は零。
- 2° 変位は微小で， $\sin\theta = \theta$ ， $\cos\theta = 1 - \theta^2/2$  と近似できる。
- 3° はりの構面外曲げ剛性およびねじり剛性は無限大である。
- 4° RC00，および RC45 試験体には，それぞれ図 6 (a)，(b) に示す崩壊機構が形成される。

3. 2 塑性関節線の回転角

はりに形成される塑性関節の回転角を  $\theta$  とし，スラブ厚さを無視すると，図 6 (b) に示す RC45 試験体における各塑性関節線の回転角，および同図中ハッチ部の引張変位は，幾何学的な関係より求まる。

はり OC および OD に沿う関節線の回転角  $\alpha$  は，辺 CD の中央のたわみとはり OC の中点のたわみとの差により生ずる (X-X 断面図参照) ことから，スラブに形成される塑性関節線の回転中心をスラブ厚さ中央とすると，

$$\alpha = (\sqrt{2} - 1)\theta \tag{3-1}$$

スラブ OCD において，はり材軸と  $45^\circ$  をなす関節線の回転角  $\beta$  は，C，D 両点のはり軸方向変位により生ずる CD 方向の相対変位と辺 CD が中央で折れ曲がることにより生ずる CD 方向の相対変位に等しいことより，スラブに形成される塑性関節線の回転中心をスラブ厚さ中央とすると，

$$\beta = 2\theta \tag{3-2}$$

スラブ OAD (OBC) において，図 6 (b) の一点鎖線部は変位が生じないから，はり OA (OB) に沿う関

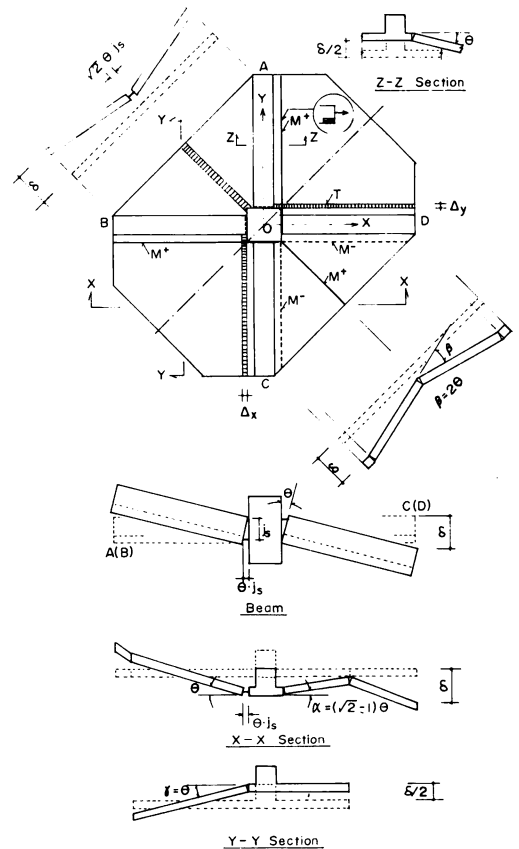
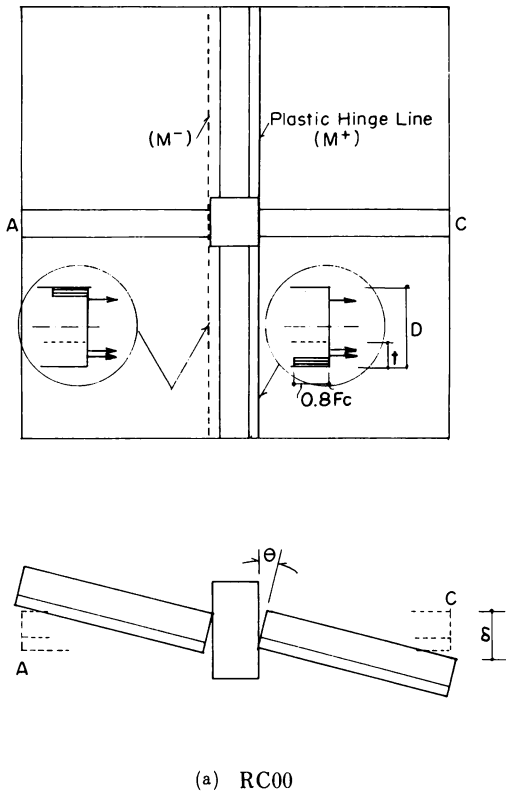


図 6 崩壊機構の仮定

節線の回転角  $\gamma$  は  $\theta$  に等しくなり (Y-Y および Z-Z 断面図参照),

$$\gamma = \theta \quad (3-3)$$

引張によって生ずるスラブの亀裂幅 (図 6 (b) 中, ハッチ部) の X 方向および Y 方向成分  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  は, はりの塑性中立軸からスラブ筋までの距離を  $j_s$ ,  $\Delta x$  あるいは  $\Delta y$  を求めようとする点のたわみを  $v$  とすると,  $\Delta x = \Delta y = (j_s - v) \cdot \theta$  となるから,  $v \ll j_s$  の範囲では,

$$\Delta x = \Delta y = j_s \cdot \theta \quad (3-4)$$

### 3.3 節点回転角と塑性関節の回転角との関係

RC00 の場合:

$i$  方向のはり端に形成される塑性関節の形成位置を柱表面, 回転角を  $\theta$  とし,  $i$  方向のはりを含む構内での節点の回転角を  $R$  とすると,

$$R = [1 - D_c / (2L)] \cdot \theta = \eta \cdot \theta \quad (4)$$

ここに,  $\eta = 1 - D_c / (2L)$ ,  $D_c =$  柱せい

RC45 の場合:

X, Y 方向のはり端に形成される塑性関節が共に  $\theta$  回転すると, 節点に作用する曲げモーメント軸回りの節点回転角  $R$  は

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{2} [1 - D_c / (2L)] \cdot \theta = \sqrt{2} \eta \cdot \theta \quad (5)$$

### 3.4 塑性崩壊耐力

各部のたわみがりせいに比べ十分小さい範囲では, 各塑性領域での内力仕事量は  $\theta$  の一次関数となるから, 仮想仕事式より合曲げモーメント軸回りの外力

モーメント  $M$  は,

RC00 の場合:

$$M = \Sigma(M_i) / \eta \quad (6)$$

ただし,  $\Sigma$  は各塑性関節についての総和

RC45 の場合:

$$M = [\Sigma(M_i \cdot f_i) + \Sigma(T_y \cdot j_s)] / (\sqrt{2} \eta) \quad (7)$$

ただし, 第一項の  $\Sigma$  は各塑性関節 (線) についての総和, 第二項は降伏スラブ筋 (図 6 (b) 中, ハッチ部) についての総和

ここに,  $M_i =$  各塑性関節線の終局曲げモーメント,  $f_i =$  各塑性関節の回転角と  $\theta$  との比で, はりに形成される塑性関節に対しては  $f_i = 1.0$ , スラブに形成される関節線に対しては (3-1) ~ (3-3) 式における  $\theta$  の前の係数,  $T_y =$  引張亀裂部 (図 6 (b) 中, ハッチを施した部分) のスラブ筋 1 本当りの降伏強度。

圧縮応力ブロックの圧縮応力を  $0.8F_c$  (図 6 (a), 挿図参照), T 形ばりの板部はスラブ全幅とし, 各試験体の実測寸法等を用いて得られる塑性崩壊耐力 ( $M$ ) を表 3 中, 解析 I の欄に示す。なお, 同表中, 解析 II, および III は, それぞれ下記の条件 (仮定) で求めた塑性崩壊耐力である。

解析 II: 図 6 (b) において, はり AC, BD に沿うスラブの塑性関節線 ( $M^+$ ,  $M^-$ ) を無視した場合

解析 III: 長方形ばりの塑性関節形成位置は柱表面, スラブの塑性関節線形成位置ははり側面とし, はりとスラブが独立して外力に抵抗する。すなわち図 6 (b) 中のハッチ部は無く, 各はり両側に  $M^+$  および  $M^-$  の関節線が形成される。なお, RC45 の場合は  $x$  方向,  $y$  方向それぞれの耐力のベクトル和である。

表 3 実験値と解析値との比較

	RC00	RC45	RC45/RC00	備 考
実験値	t cm 33.8	t cm 37.6	1.11	処女載荷時最大荷重
解析 I (解/実)	t cm 37.7 (1.12)	t cm 48.6 (1.29)	1.29	図 6 の崩壊機構
解析 II (解/実)		t 44.7 (1.19)	1.19	図 6 (b) 中, はり AC, BD に沿うスラブ関節線を無視。
解析 III (解/実)	t cm 21.0 (0.62)	t cm 29.7 (0.79)	1.41	はり と スラブ 独立。RC45 では $x$ 方向 $y$ 方向, 両ラマーメンの耐力のベクトル和。



## 4. 考 察

### 4.1 亀裂性状

A) RC00：負曲げ（スラブが引張となる曲げ）を受ける T 形ばりでは、はりおよびスラブに亀裂が発生した。処女載荷最大変位時においては、スラブの亀裂はスラブ表側でスラブ幅の約2/3、裏側で約1/2であった（図5 (a)参照）が、大きな変形を与えた最終載荷過程においてはスラブ全幅にわたる亀裂が生じた（写真2 (a)参照）。したがって、処女載荷時に与えた変位では、スラブの全幅が T 形ばりの板部としての効果を発揮しているとはいえない。

B) RC45：はり OC および OD が  $\Delta$ OCD 部の亀裂に直交する軸（図6中、一点鎖線で示す軸）回りに変形を受けると仮定すると、 $\Delta$ OCD 部は一体となって変形することが可能であり、中立軸はスラブ内に位置する（ $\Delta$ OCD の領域ではスラブ側が圧縮となる曲げ）から、実験で観察されたような亀裂（はりと45°の角度をなす処女載荷時の亀裂）は生じない。各はりがその構面内に曲げを受けるとすると、図5 (b)中、 $\Delta$ OAB の領域では変形の増大とともに AB 間に相対伸びが生じ、 $\Delta$ OCD の領域では CD 間に相対縮みが生ずるから、実験で観察されたような亀裂が可能である。以上のことより、下記1) および2) のことが推定できる。

1) 45°方向の水平力に対応する曲げをはりスラブ系が受ける場合でも、各はりは主としてその構面内の曲げで外力に抵抗する。

2)  $\Delta$ OCD 部におけるはりと45°をなす亀裂は、各はりがその構面内に曲げを受けるとき、頂点 O と辺 CD の中点を結ぶ線上に四角錐の稜線が形成されるような変形を受け、かつスラブ面内に圧縮力が生ずるために発生する。

ただし、実際のスラブと本試験体とではスラブ周辺の条件が異なっているため、 $\Delta$ OCD 領域に生じた亀裂が実際のスラブにおいても生ずるか否かは不明である。

### 4.2 耐 力

A) RC00：表3に示すように実験最大耐力33.8tcm に対し、図6 (a)に示す崩壊機構のもとでの耐力（解析 I）は37.7tcm（解/実=1.12）である。実験値と理論値が比較的対応しているが、この比は塑性関節形成点の仮定、および T 形ばりのスラブ有効幅が大きく

影響する。

B) RC45：実験最大耐力37.6tcm に対して図6 (b)で仮定した崩壊機構の下での耐力（解析 I）は48.6tcm（解/実=1.29）である。仮定崩壊機構と亀裂性状との比較（図5 (b)および6 (b)参照）からわかるように実験で与えた処女載荷時の変位では完全な崩壊機構が形成されていない。特にはり材長に沿う塑性関節線に対応する亀裂の発生が認められない。解析値が実験値に比べ高く、仮定した塑性関節線の一部が実験では明瞭に現れていない理由として、下記の2つの理由で各塑性関節線の回転角および抵抗モーメントを過大評価していることを挙げることができる。

1) スラブ応力によりはりは構面外曲げおよびスラブ面内方向の力を受けるが、はり構面外の曲げ剛性を無限大と仮定している。

2) はり OC, OD に沿う引張亀裂が発生すると、図6 (b)中、はり OA および OB に沿うスラブの塑性関節線 ( $M^+$ ) が形成されるに十分な応力の伝達が不可能になる。

このことを考慮し、解析値 II では、はり AC および BD に沿うスラブの塑性関節線 ( $M^+$ ,  $M^-$ ) を無視した。解析値 II は実験値と比較的良好な対応（解/実=1.19）を示すことが表3よりわかる。

RC45 試験体はスラブの一部が切り落とされているため、この試験体の耐力は、RC00 試験体と同一形状・寸法の試験体に RC45 試験体と同一加力を行った場合の耐力より小さいと予想される。また試験体の周辺は自由縁となっているが、スラブ付立体ラーメンにおいて RC45 試験体の周辺に相当する線上には不静定力が存在する。したがって RC45 試験体の実験耐力は、スラブ付立体ラーメンの柱が負担すべき曲げモーメントより小さく、実験で得られた耐力は柱弾性・はり降伏型の崩壊機構を保障するために要求される柱の曲げ耐力の下限を与えるものである。しかし、この試験体の耐力は RC00 試験体に比べ約11%大きい（表3中、RC45/RC00 の欄参照）。

したがって、任意方向水平力を受ける多層ラーメンに対しても柱弾性・はり降伏型の崩壊機構となるよう設計できるようにするためには、直交ばりを有するはりスラブ系が任意方向の水平力に対応する応力を受ける場合の終局耐力を明らかにしておく必要がある。

RC45 試験体の両構面方向とも、RC00 で仮定した崩壊機構が形成されると仮定すると、RC45 試験体と RC00 の試験体の耐力の比は1.41となる。しかし実験

値での比は1.11である。解析Ⅲでは、はりとはりスラブが独立であるとし、RC45の場合は  $x$  方向および  $y$  方向両構面の耐力のベクトル和を試験体耐力とした。表3からわかるように、解析ⅢはRC00については著しく低い耐力を与えるが、RC45については実験値に比較的近い値となっている。以上のことからラーメン構面に対して45°方向の水平力を受ける場合のはりスラブ系の終局曲げ耐力に関するスラブ協力幅は、ラーメン構面方向の水平力を受ける場合より小さいと推定される。

## 5. 結 び

ラーメン構面方向の水平力を受ける場合およびラーメン構面に対して45°方向の水平力を受ける場合の立体ラーメンにおけるはりスラブ系の終局曲げ耐力を実験および剛塑性解析により求め、検討を加え、下記の結論を得た。

- i) 45°方向の水平力を受ける場合の立体ラーメンのはりスラブ系の終局曲げ耐力は、ラーメン構面方向の水平力を受ける場合のはりスラブ系の終局曲げ耐力より大きい。しかし、両構面の単独曲げ耐力のベクトル和で得られる耐力までは達しない。
- ii) ラーメン構面に対して45°方向の水平力を受ける場合のスラブ亀裂性状は、ラーメン構面方向の水平力を受ける場合と著しく異なり、はりと45°の角度をなす亀裂も発生する。

## 謝 辞

試験体の製作に際し、茶円茂博事務官の御協力を得ました。また、加力実験に際しては、鹿児島大学工学部建築学科建築構造講座の諸氏のご協力を得ました。工博・徳広教授からは有意義な助言をいただきました。原稿のタイプは菌田不二子事務官のご協力を得ました。

## 文 献

- 1) K.Takigushi, S.Kokusho, K.Kobayashi, and M.Kimura : Response of RC column to horizontal bidirectional deflection history, Proc, Seventh World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 6, Istanbul, Turkey, 1980, pp.403~410.
- 2) S.Otani, V.W.T.Cheung, and S.S.Lai : Reinforced concrete columns subjected to biaxial lateral load reversals, Proc, Seventh World Conference on Earthquake Engineering, Vol.6, Istanbul, Turkey, 1980, pp.525~532.
- 3) Kyuichi Maruyama, Horacia Ramirez, and James O. Jirsa : Short RC columns under bilateral load histories, J. of Structural Engineering, Vol.110, No.1, January, 1984. pp.120~137.
- 4) Hidetaka Umehara, and James O.Jirsa : Short rectangular RC columns under bidirectional loadings, J. of Structural Engineering, Vol.110, No.3, March, 1984. pp.605~618.
- 5) 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・梁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.
- 6) 藤井 栄, 森田司郎 : 二方向載荷をうける鉄筋コンクリート外部柱・梁接合部の挙動, 日本建築学会学術講演梗概集 (C), 1987.10, pp.653~654.
- 7) ヨシ ハリム : 二方向地震力に対する梁降伏型 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.
- 8) M.A.A. Mollick, Takayuki Shimazu, and Hideo Araki : 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・九州支部研究報告, 第7号, 1987.3, pp.213~216.
- 9) 穂積秀男, 小林義幸, 山野祐司, 平野道勝 : 床板と骨組から成る構造物の降伏関節法による極限解析, 日本建築学会構造系論文報告集, 第355号, 1985.9, pp.39~52.