

# [211] せん断破壊した直交異方向性鉄筋コンクリートスラブの変形解析

正会員 森村 毅 (近畿大学工学部)

## § 1 序論

過去、筆者が9点均等載荷で行った周辺固定正方形鉄筋コンクリート充実スラブ(以後RCスラブと称する)は、曲げ終局耐力時に曲げ降伏線と呼ばれる破断線がスラブ上下面に生じ、四角錐型の変形状態を形成する。しかし、同じ条件で行った直交異方向性RCスラブ(以後中空スラブをさす)は、穴周辺を補強しない場合、曲げ終局耐力以前にせん断破壊を生じた。そのため、明確な破断線が得られず、せん断破壊を生じた直交異方向性RCスラブのスラブ変形状態を推定するのは非常に困難である。

そこで、本論文は、過去の耐力実験<sup>1)</sup>でせん断破壊した供試体を取り上げ、実験で生じた各供試体の曲げひび割れ進行状態を参考にしてせん断破壊するまでのスラブ変形状態を仮定し、その仮定に基づいて荷重変形曲線式を求め、実験結果と比較検討を行ったものである。

## § 2 実験概要

### 2-1) 供試体と養生方法

検討に用いた供試体は、過去に行った耐力実験の内せん断破壊したものを取り上げた。供試体の形状は、図1(a)(b)(c)に示すように正方形の平板で、スラブ部分は一辺1m、周囲に幅20cm×10cmの梁を設けたスラブ厚5cmの中空スラブである。供試体数は中空スラブ22φ、32φ(以後HS22、HS32と称する)各4体づつ計8体である。それらの断面形状は、図1(b)(c)に示す。配筋は、図1(a)に示すように2方向共3.2φの焼鈍し鉄筋を5cm間隔の複筋にした。養生方法は、室内でモルタル打設後、24時間して梁側面の型枠のみを除き、むしろをスラブ全面に覆い、4週間一日一回散水して行った。

### 2-2) 材料

供試体作製に用いたモルタルは、砂5mm以下を使用し、セメントと砂の割合は1:3、水セメント比60%のものであった。鉄筋は、3.2φの焼鈍し鉄筋を使用した。その材料の力学的性質は、表1に示した。又、中空部は、外径22φと32φの塩化ビニールパイプを用い、パイプ表面に油を塗りモルタル打設以前に型枠内に敷詰め、モルタル打設後パイプ表面と附着しないように30分置きにパイプを回転させ十分固まった時パイプを抜いてあげた。

### 2-3) 載荷方法

載荷は、手動オイルジャッキを用いて、スラブ上面よりスラブ4等分割線の9ヶ所交点に均等集中荷重なるようH鋼を介して加えた。図2は、鋼製拘束フレームが供試体の回転および水平拘束している状態を示す。

## § 3 実験結果のひび割れ進行状態について

図3、4は、せん断破壊したHS22、HS32の代表的なものであり初期曲げひび割れからせん断破壊するまでのひび割れ進行状態を示したものである。

図3からHS22はスラブ下面中央に初期曲げひび割

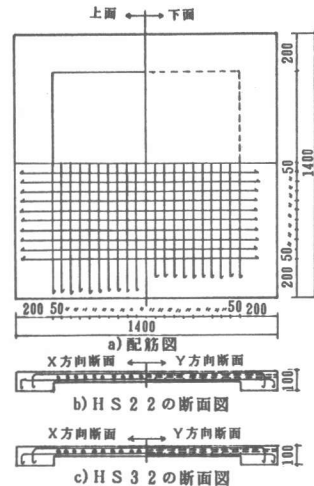


図1 配筋および断面形状

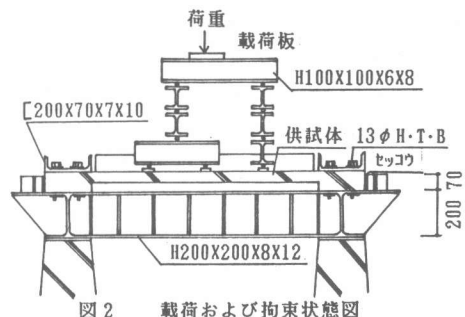


図2 載荷および拘束状態図

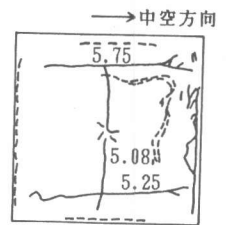
表1 材料の力学的性質

スラブ厚	供試体	モルタルの力学的性質		焼鈍し鉄筋の力学的性質	
		モルタル強度 Pc kg/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 Ec×10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>	降伏強度 sfy kg/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 Es×10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>
5	HS22-1	268	1.74	3710	1.87
	HS22-2	260	1.82	3710	1.87
	HS22-3	237	1.60	2684	2.03
	HS22-4	317	1.92	2684	2.03
	HS32-1	292	1.70	3710	1.87
	HS32-2	264	1.67	3710	1.87
	HS32-3	266	1.76	2684	2.03
	HS32-4	279	1.72	2684	2.03

れが発生した後、対角線方向にひび割れが進行し、穴方向端部と穴方向に直交な方向の端部がコの字型にせん断破壊を生じ陥没した。それに対し図4に示したHS32は、スラブ下面中央部に十字型の初期曲げひび割れが発生した後、穴方向中央部に一文字型のひび割れが穴方向直交方向に進行した。同時に、穴方向直交方向端部にも穴方向にひび割れが発生し、穴方向端部でせん断破壊した後陥没した。



HS22の  
図3 ひび割れ状態図



HS32の  
図4 ひび割れ状態図

#### §4 変形仮定

以上述べた中空スラブの破壊状態図を参考にして、それを解析的にとらえるため初期曲げひび割れからせん断破壊するまでのスラブ変形状態を次のように仮定した。

- 1) スラブ変形状態は、ひび割れ荷重以前まで十字型の変形状態で進行し、ひび割れ荷重以後も以前の変形状態を保ちながら進行するものとする。この方法は十字型解法<sup>2)</sup>と呼ぶ。
- 2) スラブの変形状態はひび割れ荷重以前まで十字型の変形状態で進行し、ひび割れ荷重以前はスラブ中央変位が進行すると同時に図5(a)(b)(c)のように十字型から四角錐型の変形状態に順次変化していくものとする。この方法はクロス型解法と呼ぶ。

以下に示す荷重変形曲線式は、上述した変形仮定(2)と以下に示す基本仮定に基づいて誘導したものである。

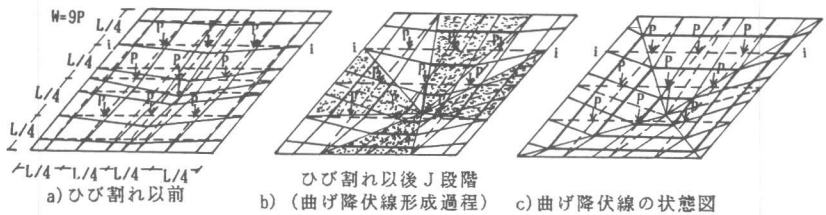


図5 スラブ変形状態図

#### §5 基本仮定

- 1) コンクリートおよび鉄筋の応力度-歪度曲線は、図6(a)(b)のように考える。
- 2) スラブ断面は、変形後も平面とする。
- 3) ひび割れ後は、引張側コンクリート強度を無視する。
- 4) スラブ断面内に生じるねじれの影響は無視する。
- 5) 曲げひび割れ荷重以後、曲げ変形によって生ずる曲げひび割れは、部材の両端と剛域の両端に順次集約させ、部材は剛体回転するものとする。

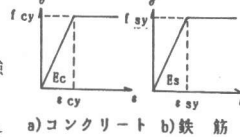


図6 応力度-歪度曲線

- 6) 解析に用いる中空断面は等断面積の正方形に置換する。

#### §6 直交異方向性RCスラブの荷重変形曲線式の誘導

図7(a)は直交異方向性RCスラブの中空部を正方形置換した切断面の一部分であり、図7(b)(c)は、X方向(穴方向断面)、Y方向(穴に直交な方向の断面)の断面形状を示したものである。RCスラブは図8に示す幅 $L/n$ 、丈 $H$ の断面をもつ置換帯スラブ(以下部材と称する)の集合体で形成されているものとする。その構成部材個々の変形状態は変形仮定よりスラブ変形状態が決まれば決定できるので、その変形状態から構成部材個々の材端曲げモーメントを求め、内力仕事と外力仕事を等置し、荷重変形曲線式を誘導する。誘導する際用いた $X \cdot Y$ 方向の $L/n$ 当りの断面形状は、どの部材でも全て同じ条件をもつ様、鉄筋量・穴断面量を一律に配分した。

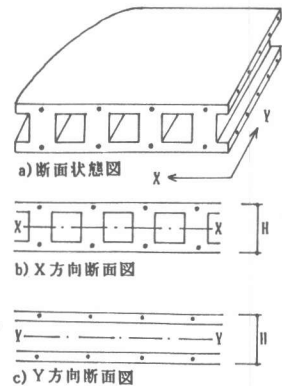


図7 中空スラブ断面図

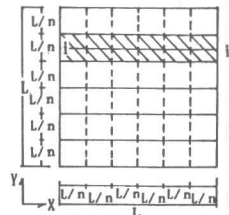


図8 スラブ分割状態図

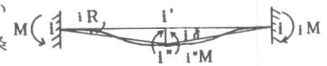


図9  $i, i'$ 部材変形図

- 6-1) 曲げひび割れ荷重以前の荷重変形曲線



$$U_{int.} = \sum_{j=1}^J 4.8 E_c (i_l x_g + i_l y_g) \delta c_j / 1 + 4 \sum_{j=1}^{n/2} \{ 2iM - iN (\delta cr + \delta c_j) \} \theta_p \dots \dots (7)$$

曲げひび割れ荷重以後の剛域の広がり、スラブ中央変位  $j$  の指数関数で

$$L/2 \sum_{n=1}^j (1 - 1/v)^n \cdot 1/v \text{ のように与えると、外力仕事 } U_{ext.} \text{ は}$$

$$U_{ext.} = P (\delta cr + \delta c_j) / \{ 3 + 1 / \{ 2 (1/2 - 1/4 \sum_{n=1}^j (3/10^{n+1})) \} \} \dots \dots (8)$$

(但し  $v = 10$  を採用した)

よって  $U_{ext.} = U_{int.}$  から求める曲げひび割れ後の荷重変形曲線は次式で示される。

$$W_j = 9 U_{int.} / \{ 3 + 1 / \{ 2 (1/2 - 1/4 \sum_{n=1}^j (3/10^{n+1})) \} \} / (\delta cr + \delta c_j)$$

曲げひび割れ以降の算定式はクロス型解法について述べたが、十字型解法は  $i_l = L/2$  とおけば求まる。この時  $v = 1$  となり、剛域の広がりはない。又、 $\alpha$  が  $\alpha$  のときは中空スラブの穴方向、 $\alpha = 1$  のときは穴方向に直交方向の状態を示す。

### 8.7 計算結果と実験値の比較および考察

以上述べた計算値の荷重変形曲線式とモルタル小型試験体の耐力実験でせん断破壊した供試体の荷重変形曲線を比較検討するため、図12、図13にその結果を図示した。

図12はクロス型解法によるHS22の荷重変形曲線の比較図であり、図13はクロス型、十字型解法によるHS32の荷重変形曲線比較図である。実線が実験値、破線が計算値である。又、せん断補強したものも含めた直交異方向性RCスラブのウェブ厚比、フランジ厚比の関係を図14に示した。この比較図から次の事が考察される。

1) 図12(a)(b)からHS22の計算値は実験値の荷重変形曲線をほぼ表している。このことからHS22はクロス型解法に近い傾向を示しながらせん断破壊したものと考えられる。

2) 図13(a)(b)からHS32の実験値は、クロス型解法による荷重変形曲線とかなり異なった。これは、クロス型解法がHS32の変形状態に適合していないことを示している。

3) 図13(a)(b)から十字型解法の荷重変形曲線は、実験値の曲線とよく似た傾向を示した。このことから、HS32は十字型解法に近い変形状態を示しながら、せん断破壊を生じたと考えられる。

4) 図14から、直交異方向性RCスラブにおいて、せん断補強をした場合でも、ウェブ厚比0.36~0.56の範囲内であるがフランジ厚比0.32以下のときはせん断破壊する傾向がある。その中でも、HS32はウェブ厚比、フランジ厚比とも0.36、0.18と小さいため、早期に図4に見られる穴方向のひび割れが生じ、十字型解法に近いスラブ変形状態になったと考えられる。それに対し、HS22はHS32より大きいためクロス型解法に近いスラブ変形状態になったと考えられる。

### 8.8 結論

以上の考察から、せん断破壊するまでのスラブ変形状態は、HS22がクロス型解法、HS32が十字型解法に近い傾向を示すことがわかった。又、十字型解法はクロス型解法の特別な場合と考えられ、クロス型解法の算定式で表されることがわかった。

謝辞 御指導を頂いた広島大学藤谷義信助教授並びに近畿大学松浦誠教授、窪田敏行教授と協力を得た近畿大学藤本敬之助教授および構造ゼミ卒業生一同に対し深く謝意を表します。

参考文献 1) 藤本敬之・森村 毅: 正方形中空スラブに関する実験的研究, 日本建築学会学術講演集, 1979・9  
2) 森村 毅: 直交異方向性鉄筋コンクリートスラブの荷重変形特性に関する実験的研究(その2), 中国・九州支部研究報告, 1984・3

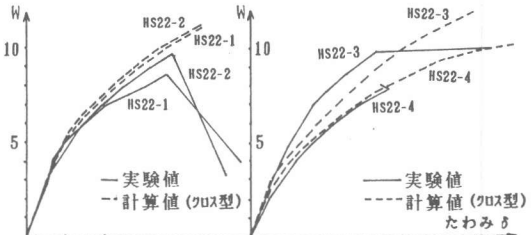


図12 HS22-1, HS22-2, HS22-3, HS22-4 の荷重変形曲線

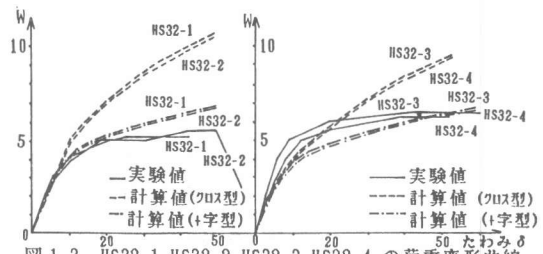


図13 HS32-1, HS32-2, HS32-3, HS32-4 の荷重変形曲線

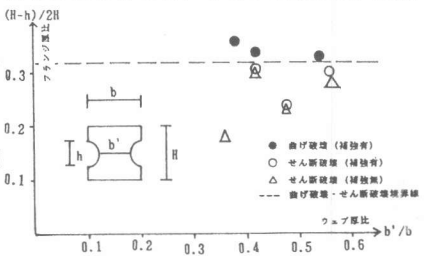


図14 フランジ厚比  $(b'/b)$  - ウェブ厚比  $(h-h)/2H$  関係図