# 論文 ボイドスラブを用いたフラットプレート構造に関する実験研究

鈴木 浩章<sup>\*1</sup>·寺西 優子<sup>\*2</sup>·市之瀬 敏勝<sup>\*3</sup>·田口 孝<sup>\*4</sup>

要旨:フラットプレート構造の接合部において問題となるパンチング破壊を防ぐ方法の1つとして、スラブ 厚を増す対策が施される。本論では、自重を軽くすることを目的として配置したボイド鋼管の配置が及ぼす 影響について検討するため、フラットプレート構造の柱-スラブ接合部の加力実験を行った。その結果、ボ イド鋼管の配置の違いによるひび割れの発生状況に多少の違いは見られたが、耐力の違いはほとんど見られ ず、柱近傍までボイド鋼管を配置することが可能であることが明らかとなった。

キーワード:フラットプレート構造、パンチングシア破壊、ボイド鋼管、せん断補強筋、内部ひび割れ

1. はじめに

フラットプレートによる構造形式を用いると,梁が無 いため広い開口が実現可能となる。しかし,このような 構造形式では通常のラーメン構造より柱とスラブの接合 部が小さいため,地震時には大きなせん断応力が作用す る。そのため,設計時にはスラブのパンチング破壊につ いての検討が必要である。これまで狩野・吉崎ら<sup>1)</sup>をは じめ,多くの研究者によって柱-スラブ接合部の研究が 行われてきた。また,壁柱<sup>2)</sup>や中空スラブ<sup>3)</sup>を用いた フラットプレート構造の研究はされているが,柱周りに ボイド鋼管を配置した研究はあまり行われていない。

本研究では、柱-スラブ接合部近傍に配筋したせん断 補強筋の効果の確認とともに、自重を軽くすることを目 的として配置したボイド鋼管の配置を変化させた試験体 3体について加力実験を行った。

### 2. 実験方法

### 2.1 試験体概要

想定建物<sup>4)</sup>としては,図-1,図-2に示すような中 低層集合住宅を採用した。試験体は柱とスラブ接合部を 対象とした1/2の縮尺模型とし,柱は層間の中央で,ス ラブはスパンの中央で切り取った形状とした。試験体数 は計3体であり,すべて中柱を対象としている。表-1に試験体一覧,図-3に試験体の形状と寸法を示す。



また時々ない	スラブ	領域①			領域②			せん断補強筋		ボイド鋼管	
司马安1平	寸法 (mm)	幅	幅		幅	酉己	筋	- <u>−</u> - /m*	r	大汉 明元	長さ
記号		(mm)	上端筋	下端筋	(mm)	上端筋	下端筋	有無	凹亡月力	<b>但住・</b> 间隔	(mm)
FP1-NW	3200		D12@50	D12@50		D10@45	D(@25	無	-		700 2000
FP1-SW	×	× 470	D13@30 $D13@30p=1.270$ $p=1.270$	2030	D10@45	D0@35	#	D6@50	φ125@160	700,2900	
FP1-SN	2500		$p_t = 1.27\%$	$p_t = 1.27\%$		$p_t = 0.70\%$	$p_t = 0.40\%$	伯	<i>p</i> <sub>w</sub> =0.64%		2900

\*1 名古屋工業大学大学院生 (正会員)

\*2 元名古屋工業大学大学院生 (会員外)

\*3 名古屋工業大学 工学部建築・デザイン工学科教授 博士(工学) (正会員)

\*4 矢作建設工業 ㈱ 地震工学技術研究所 主席研究員 博士 (工学) (正会員)

#### 2.2 加力方法

加力装置を図-4に示す。本実験では4種類のジャッ キ計7本を用いて載荷を行った。載荷方法としては,柱 上下端をピン支持とし,容量1000kN油圧ジャッキによ り水平力を加えた。また,端部支持ジャッキを左右スタ ブに両端ピン接合し,変位固定のまま支持した。スラブ には積載荷重を加えるため,試験体スラブの左右の中央 部分(図-5(a)の斜線部分参照)に上部はピン接合, 下部は球座としたジャッキを用いて,常に一定の荷重(各 20kN)を加えた。また,安定した加力を行うため,柱に は 0.1bDF。の一定軸力を加えた。

加力は変位制御により行い,層間変形角(R)が各 繰り返しサイクルの最大変形時において R = 2.5, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0 × 10<sup>-3</sup> rad. となるように 2 回ずつ の正負交番繰り返し加力とした。

# 2.3 使用材料

使用した鉄筋の引張試験結果を表-2に、コンクリートの材料試験結果を表-3に示す。試験体の製作にあたっては、下部の柱およびスラブのコンクリートを打設し、 硬化後、上部の柱のコンクリートを打設した。ここで表 -3の値は、実験の開始時と終了時の平均値である。コ ンクリートは粗骨材に山砂利(15mm以下)、細骨材に山 砂(5mm以下)を用い、セメントには普通ポルトランド セメントを使用した。コンクリート養生は型枠に入れた まま行い、散水により湿潤を保った。

# 2.4 実験パラメーター

図-5に試験体の配筋を示す。スラブは端部スタブ部 分も含めて幅(x方向)3600 mm, 奥行き(y方向)2500 mmで, スラブ厚は200 mmである。

本実験のパラメータの一つは、せん断補強筋の有無で ある。FP1-NW はせん断補強筋が無く、残りの2体 FP1-SW と FP1-SN はせん断補強筋を配筋している。  $\mathbf{Z} - 6$ にせん断補強筋の形状と配筋位置について示す。ここで せん断補強筋は、柱-スラブ接合部近傍の配筋が密であ ることからその施工性を考慮して閉鎖型ではなく、 $\mathbf{Z} - 6$  (a) に示す両端 135°フックを有する形状とした。その 配置は $\mathbf{Z} - 6$  (b) に示すように、x方向は柱端部からス ラブの有効せいの 1.0 倍(170 mm)の範囲、y方向は 0.5 倍(85 mm)の範囲に配筋した。

ふたつ目のパラメータはボイドの配置である。試験体







表-2 鉄筋引張試験結果(4本平均)

ŧ	<b>毛口[</b>	降伏点	引張強度	ヤング係数	
1	里刀リ	$(N/mm^2)$	$(N/mm^2)$	(kN/mm <sup>2</sup> )	
D6	SD295	356	541	199	
D10	SD245	351	513	197	
D13	5D545	409	600	196	
D22	SD390	410	591	197	

表-3 コンクリート材料試験結果(3体平均)

	材令	圧縮強度	ヤング係数	割裂強度	
	(日)	$(N/mm^2)$	$(kN/mm^2)$	$(N/mm^2)$	
上柱	$19 \sim 29$	21.2	24.6	2.19	
下柱 スラブ	$26 \sim 36$	24.4	24.7	2.18	





に配置したボイドは写真-1に示すようにすべて円形の 中空のボイド鋼管である。図-7に各試験体のボイドの 配置を示す。FP1-NW と FP1-SW のボイドの配置は同じ ものとし、ボイドの切れ目でのせん断破壊を防止するた め、x方向は柱端部からスラブの有効せいの 2.5 倍つま り 425 mm 離して配置した。FP1-SN は柱の近傍もボイド をすべて通して配置した。

#### 2.5 準備計算結果

パンチング破壊に対する計算値は現行 RC 規準<sup>5)</sup>の終 局強度式を用いて算出した。ただし本研究では、図-8 のようにせん断補強筋の効果を考慮することとし、柱-スラブ接合部からスラブの主筋間距離(j)において 45° のせん断ひび割れが発生することを想定して、そのひび 割れを横切るせん断補強筋を引張力と考え、モーメント に換算した。ここで、せん断補強筋の効果は RC 規準の  $M_s$ (算定断面の前後面のせん断力により伝達されるモー メント)に含めることとし、増加分のモーメントを式(1) (2)に示す。

$$T = \sum a_s \cdot f_t \tag{1}$$

 $M_{ss} = T \cdot (c_1 + j)$  (2) (T:引張力,  $\Sigma a_s$ : 図-8の斜線を横切るせん断補強筋の 全断面積,  $f_t$ : せん断補強筋の降伏強度,  $c_1$ : 柱のせい)

以上の式を現行の設計式に加算した計算結果を表-4 に示す。また,算定断面Aおよび算定断面B,Cとは図 -7上に点線で示した位置における計算結果を表す。材 料強度は表-2,3の実験値を用いた。終局伝達力 $V_u$ は スラブの自重とジャッキによって加える積載荷重を足し 合わせて求めた。さらに,算定断面B,Cの $V_o$ (終局伝 達鉛直力)の計算では,ボイドに隣接する部分では応力 は伝達されないと考え,算定全断面積は図-7に示すy方向 640 mm部分のみで計算する。また, $M_o$ (終局伝達モー メント)の計算も同様に考えるため, $M_i$ (ねじりにより 伝達されるモーメント)は0として計算を行った。表-4に示す太線部分のように,計算値が1.0より大きくな れば想定破壊はせん断破壊となる。

計算結果より FP1-NW は算定断面 A でのせん断破壊, FP1-SW ではせん断破壊は発生せずスラブ全体の曲げ破壊, FP1-SN ではボイド面が一番の危険断面となるため, 算定断面 C でのせん断破壊が予想される。



写真-1 ボイドの形状



#### 3. 実験結果

#### 3.1 荷重 - 変形関係

図-9に各試験体の水平力 - 層間変形角関係を示す。 また、その包絡線を図-10に示す。この結果、FP1-NW が変形の増加に伴う耐力の減少が最も大きいことが分か る。反対に FP1-SN では最大耐力は低いが、耐力の減少 は緩やかである。ただし、全体的には試験体3体には大 きな変化がなく、表-4で示した破壊形式のような明確 な差異は見られなかった。

計算によると、スラブのすべての主筋が降伏する場合の曲げ終局時の最大荷重は290kN、領域①の主筋がすべて降伏する場合は105kNである。図-10から分かるよ

	云 · 可并帕木 克									
			算定断面 A			算定断面 B, C				V <sub>0</sub> 、M <sub>0</sub> :RC 規準の式(11.10)
試験体	α	α	MIM	$\alpha V_u/V_0$		MIM	$\alpha V_u/V_o$	想定破壞	及び(11.12)による終局	
			$\alpha v_u v_0$	<i>w</i> <sub>y</sub> / <i>w</i> <sub>0</sub>	$+M_{y}/M_{0}$	$\alpha v_{u} v_{0}$	<i>wi<sub>y</sub>/wi<sub>0</sub></i>	$+M_{y}/M_{0}$		強度。
	FP1-NW	1.2	0.12	1.01	1.13	0.26	0.6	0.86	算定断面 A での せん断破壊	V <sub>u</sub> :実験時の積載荷重とス ラブの自重の和。
	FP1-SW	1.2	0.12	0.82	0.94	0.26	0.6	0.86	曲げ破壊	M・スラブ全断面降伏時の
	FP1-SN	1.2	0.12	0.82	0.94	0.26	1.01	1.27	算定断面 C での せん断破壊	終局伝達モーメント

表-4 計算結果一覧





示すようにボイド部分はせん断応力を負担しないものと して計算した。 $M_t$  (実験値) は図-15(c) に示すように スラブ主筋に生じた引張力によって生じるモーメントを スラブ端部から積算して算出した。図-14からボイド により許容ねじれモーメントが著しく低下している部分 についても全断面降伏時のねじれモーメントは規準値よ りも低い値を示し、これにより柱近傍までボイド鋼管を 配置してもねじれ耐力の確保に対して支障はないと考え られる。

柱周りに配筋したせん断補強筋はすべて降伏ひずみの 半分以下であった。

### 3.2 スラブの変形性状

変位計設置位置でスラブをメッシュ化し,各変位計の データ値を Z 軸座標として入力した。図-16 に試験体 FP1-SW, SN の最大変形時(*R* = 25 × 10<sup>-3</sup> rad.)のスラブ 面形状を示す。図から柱周辺の変位はすべて負の値とな りスラブ下面が下降していることが分かる。FP1-SN で は、スラブ下面が上昇した部分もあり、SW に比べてス ラブの下降が小さかった。以上からボイドの配置の違い がスラブの変形性状に影響を及ぼすことが分かった。尚、 FP1-NW については FP1-SW 試験体と同様の兆候を示し た為,図示は省略した。

# 3.3 ひび割れの進展と破壊状況

層間変形角  $R = 5.0 \times 10^{-3}$  rad. のサイクル終了後,荷重 除荷時の残留最大ひび割れ幅は,FP1-SW,SNでは最大 で 0.1 mm,FP1-NW は最大で 0.15 mm であった。

図-17,18に各試験体スラブ上下面の最終ひび割れ 状況を示す。どの試験体でも下面は柱周りで亀甲状にひ び割れが発生していた。また上面では、柱の端部から放



写真-2 沈下ひび割れ (FP1-NW)

射状にひび割れが進展している傾向が伺える。さらに, FP1-NW, SW 試験体では,写真-2のように,柱と積載 荷重ジャッキを残してその周囲のコンクリートが沈下す るひび割れが確認された。FP1-SN 試験体では,積載荷 重ジャッキ周辺を除き,この種のひび割れは顕著ではな かった。

#### 3.4 内部ひび割れ

スラブ表面のひび割れのみでは試験体の破壊性状の確 定が難しいので,試験体内部のひび割れについて検証を 行った。内部ひび割れを観測するために試験体に樹脂を 注入し十分に硬化させた後,大型のカッターで試験体を 切断した。図-19に各試験体の内部ひび割れを示す。

図-19(a) より判断すると, せん断補強筋を配筋して いない試験体 FPI-NW では, 図-20(a) (c) のように, 加力方向, 直交方向とも, 柱とスラブの付け根から緩や かな角度でせん断ひび割れが生じたと言える。これが, 写真-2の沈下ひび割れとして観察されたと考えられる。

柱周りにせん断補強筋を配筋した試験体 FP1-SW, SN では、図-20(b)のように、柱際で曲げ破壊が生じるとともに、せん断補強筋のない箇所でせん断破壊が生じた。



試験体 FP1-SW の直交方向では,NW と同様のせん断ひ び割れが見られたが,FP1-SN では顕著なせん断ひび割 れは見らなかった。これは,図-20(d)の様に,ボイド を結ぶ連続的なせん断変形が生じたためと思われる。

# 4. 結論

本論文では,ボイド鋼管を配置したフラットプレート 構造物の柱-スラブ接合部について加力実験を行った。 その結果,以下の知見を得た。

- (1) 柱まわりにせん断補強筋を設置すると、変形の増加 に伴う耐力の減少を抑える傾向にある。
- (2) 柱の側面にボイド鋼管を配置すると、ひび割れの発 生状況に違いが見られたものの、最大耐力に大きな 違いは見られなかった。
- (3) ボイド鋼管を配置した部分において現行 RC 規準<sup>の</sup> により算出した値よりも低い値を示した。これによ り柱近傍までボイド鋼管を配置してもねじれ耐力の 確保に対して支障はないと考えられる。



# 謝辞

実験の計画,実施及び論文のまとめにあたり,名古屋 大学教授勅使川原正臣博士から数々の貴重な御助言をい ただきました。また,試験体の製作にあたり, (税栗本鉄 工所の御協力を得ました。ここに深く謝意を表します。

# 参考文献

- 狩野芳一,吉崎征二:フラットプレート構造の柱接合 部に関する研究(その1~その4),日本建築学会論文 報告集,No.288,292,300,309,1980~1982
- 2)太田義弘,岡本晴彦ほか:ハーフプレキャスト版を用いた壁柱・フラットプレート架構の耐震性能に関する研究(その1~その2),日本建築学会大会学術講演梗概集,構造IV,pp.729-730,2001
- 3) 青砥貴道,池田秀樹,槇谷榮次,神尾俊久:中空ス ラブにおけるせん断補強筋端部形状の違いがせん断挙 動に与える影響に関する実験研究,日本建築学会大会 学術講演梗概集,構造IV, pp.455-458, 2005
- 4) 寺西優子ほか:ボイドスラブを用いたフラットプレート構造物の可能性、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV、pp.17-20、2007
- 5) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解 説, pp.89-100, 1999