

# 高強度コンクリートを用いたフラットプレート構造 柱-スラブ接合部の耐震実験

Seismic Tests on Slab-Column Connection of Flat Plate System in High Strength Concrete

金 亨 基\*・隈 澤 文 俊\*・中 埜 良 昭\*・岡 田 恒 男\*  
Hyong-Kee KIM, Fumitoshi KUMAZAWA, Yoshiaki NAKANO and Tsuneo OKADA

## 1. はじめに

フラットプレート構造は床スラブを直接柱により支える構造で、梁がないことからデザインの自由度が高く、階高を低くできる等の利点を有す。

近年では、鉄筋コンクリート構造物の高層化・大型化に伴い、高強度コンクリート利用への要求が高まり、高強度コンクリートフラットプレート構造の耐震設計法の確立が急がれている。

そこで、現在のフラットプレート構造の設計理念がコンクリートを高強度にした場合にも適用可能か否かを確認し、同構造の耐震設計法を確立するための基礎的資料を得ることに主眼を置き、内柱-スラブ接合部を対象とした耐震実験を行った。

## 2. 実験方法

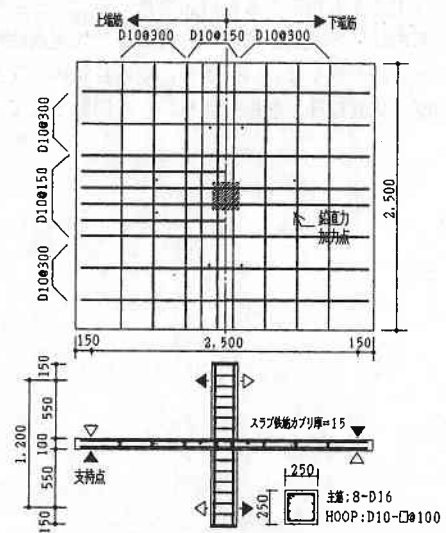
### 2.1 試験体

試験体は内柱とスラブの接合部を対象した約1/2.5の縮尺模型4体で、いずれも柱を層間の中央、スラブをスパンの中央で切り出した形状をしている。図1に試験体の形状・寸法、表1に試験体パラメーターを示す。柱は25cm×25cm、スラブは250cm×250cm、厚さ10cmである。

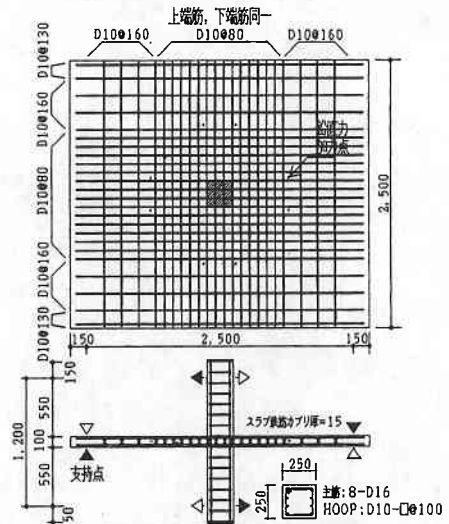
スラブ配筋を2種類設定し、超高層フラットスラブ建築物開発研究委員会のコア壁オリジナルモデル1の試設計<sup>4)</sup>(以下試設計案)と同程度の配筋としたものと、試設計案の配筋量を約2倍としたものである。スラブの配筋にあたり柱の近傍に主筋を集中させているのがこの範囲を柱列帯、その他の部分を柱間帯と定義すると、試験体FPS01、FPS02、FPS04が柱列帯の上端で鉄筋比0.59%、他部分はその1/2で試設計案を想定したものである。

試験体FPS01、FPS02、FPS03は鉛直荷重と水平荷重の組み合わせ加力を行い、FPS04は鉛直荷重のみを加えた。

\*東京大学生産技術研究所 第1部



(A) 試験体 FPS01, FPS02, FPS04



(B) 試験体 FPS03

図1 試験体形状寸法

表 1 試験体パラメーター一覧

試験体	加力方法*	スラブ配筋			鉛直荷重時せん断応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )
		柱列帯配筋 上端	柱列帯配筋 下端	柱間帯配筋 (上・下端共)	
FPS01	H+V	D10 @ 150	D10 @ 300	D10@300	5.0
FPS02	H+V	D10 @ 150	D10 @ 300	D10@300	10.0
FPS03	H+V	D10 @ 80	D10 @ 80	D10@160	5.0
FPS04	V	D10 @ 150	D10 @ 300	D10@300	

(注) \*: Hは水平加力, Vは鉛直加力である.

表 2 試験体 FPS04 のコンクリート試験結果

圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	割裂強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
630.8	3.41	47.0

FPS01, FPS03の鉛直荷重によって生じる危険断面における平均せん断応力度 ( $\tau_v$ ) は 5 kgf/cm<sup>2</sup>, FPS02は 10kgf/cm<sup>2</sup>であるが, 通常の設計におけるせん断応力度は  $\tau_v = 5$  kgf/cm<sup>2</sup> 程度と考えられる. 試験体の材料としてコンクリートには  $F_c = 600$ kgf/cm<sup>2</sup>, 鉄筋には SD30A を用いた. FPS04のコンクリートの材料試験結果を表 2 に示す.

2.2 加力方法

加力装置を図 2 に示す. 水平加力はスラブの 1 辺をローラー, 他辺をピンで支持し, アクチュエータにより柱上下端に水平力を加えた. 鉛直荷重は柱で反力をとり, 鉛直荷重載荷時にスラブに生じる曲げモーメントの反曲点となる位置 (柱面から 52cm 離れた位置) 8ヶ所にトーナメント方式で, ジャッキにより下向きに加えた.

この方法は鉛直荷重時の柱近傍の応力状態が実際の建物におけるものに近くなること, スラブに加わる鉛直荷重の分布が水平加力によって乱れないことなどの利点を持つ.

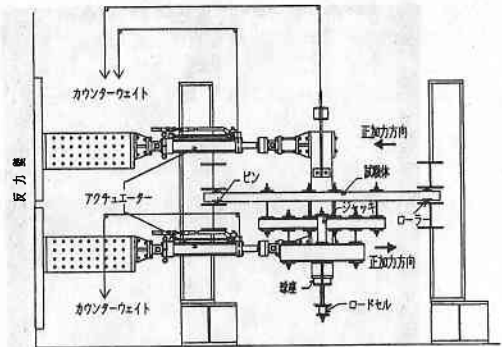


図 2 加力装置

水平加力は変位制御で行い, 柱の加力点間部材角 (以下部材角)  $R=1/400, 1/200, 1/100, 1/50$  で正負ともに各 2 回ずつの繰り返し加力の後, 正加力により破壊させるように計画した. FPS01, FPS03は 4.88tf, FPS02は 9.75tf の定荷重を水平加力を行う前に鉛直荷重として載荷し, 水平加力中は常にこの荷重を保持した. また, FPS04は鉛直荷重のみによる漸増載荷を行い, 長期荷重に相当する荷重で一度除荷した後, 再度漸増載荷し, 破壊に至らしめた.

2.3 測定方法

実験の主要な測定項目を以下に示す.

- ①柱上下加力点間の相対変位
- ②スラブ主要点の鉛直方向変位
- ③スラブ主筋の歪度
- ④コンクリート表面の歪度
- ⑤水平荷重および鉛直荷重

①, ②はスラブ両支点間に渡した鉄骨製の治具を不動点として測定した.

表 3 実験結果一覧

試験体	実験値		バンチングシア破壊の判定式 <sup>1)</sup>						曲げ強度計算値		破壊形式 <sup>1)</sup> *
	M (tm)	V (tf)	M0 (tm)	V0 (tf)	M/M0	V/V0	M/M0・V/V0	M <sub>r</sub> (tm)	V <sub>m,v</sub> (tf)		
FPS01	4.38	4.88	5.49	25.3	0.80	0.19	0.99	3.99	-	F→S	
FPS02	2.82	9.75	5.49	25.3	0.51	0.39	0.90	3.99	-	F→S*	
FPS03	7.40	4.88	6.28	25.3	1.18	0.19	1.37	9.75	-	S	
FPS04	-	18.24	-	25.9	-	0.70	0.70	-	14.72 <sup>2)</sup> 21.33 <sup>3)</sup>	F→S	

(注) ①\*破壊形式 F→S=曲げ降伏により最大耐力が決められ, 最終的にはせん断破壊 S=せん断破壊 \*部材角 1/17までの加力による.

②\*:鉛直加力点内みのスラブ対角線方向の降伏線を考慮

③\*:スラブ全体についてスラブ対角線方向の降伏線を考慮

M: 水平荷重による接合部のモーメントの実験値 V: 鉛直荷重の実験値

$$V0 = 2v_u(c_1 + c_2 + 2)d \quad v_u = 1.06 \sqrt{F_c}$$

$$M0 = M_1 + M_2 + M_3 \quad M_1 = 0.9 \cdot a_c \cdot \sigma_y \cdot d \cdot (c_2 + d) / s_1 + 0.9 \cdot a_c \cdot \sigma_y \cdot d_0 \cdot (c_2 + d) / s_0 \quad M_2 = v_u \cdot (c_1 + d) \cdot d \cdot (c_2 + d)$$

$$M_3 = 2v_u \cdot (d^2 / 2) \cdot (c_1 + d - d / 3)$$

$$M_r = 2M_{p1} \cdot l / l_p \quad M_{p1} = 0.9 \cdot a_c \cdot \sigma_y \cdot d$$

V<sub>m,v</sub>: スラブ対角線上の降伏線形成の仮定による鉛直荷重の計算値

ここに, c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>: 柱せい及び幅 d: スラブ平均有効せい a<sub>c</sub>: 引張鉄筋断面積 σ<sub>y</sub>: 引張鉄筋降伏強度

d<sub>1</sub>: 上段筋引張時のスラブ有効せい d<sub>0</sub>: 下段筋引張時のスラブ有効せい

s<sub>1</sub>, s<sub>0</sub>: 上段筋及び下段筋の間隔 v<sub>u</sub>: 終局せん断応力度 v<sub>u1</sub>: 終局ねじりせん断応力度

F<sub>c</sub>: コンクリート設計強度 l: スラブ支持端から接合部重心までの距離

l<sub>p</sub>: スラブ支持端から接合部までの距離 l<sub>p'</sub>: 鉛直荷重の加力点から接合部までの距離

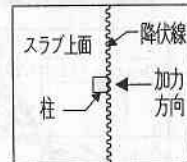


図 3 降伏線の仮定

研究速報

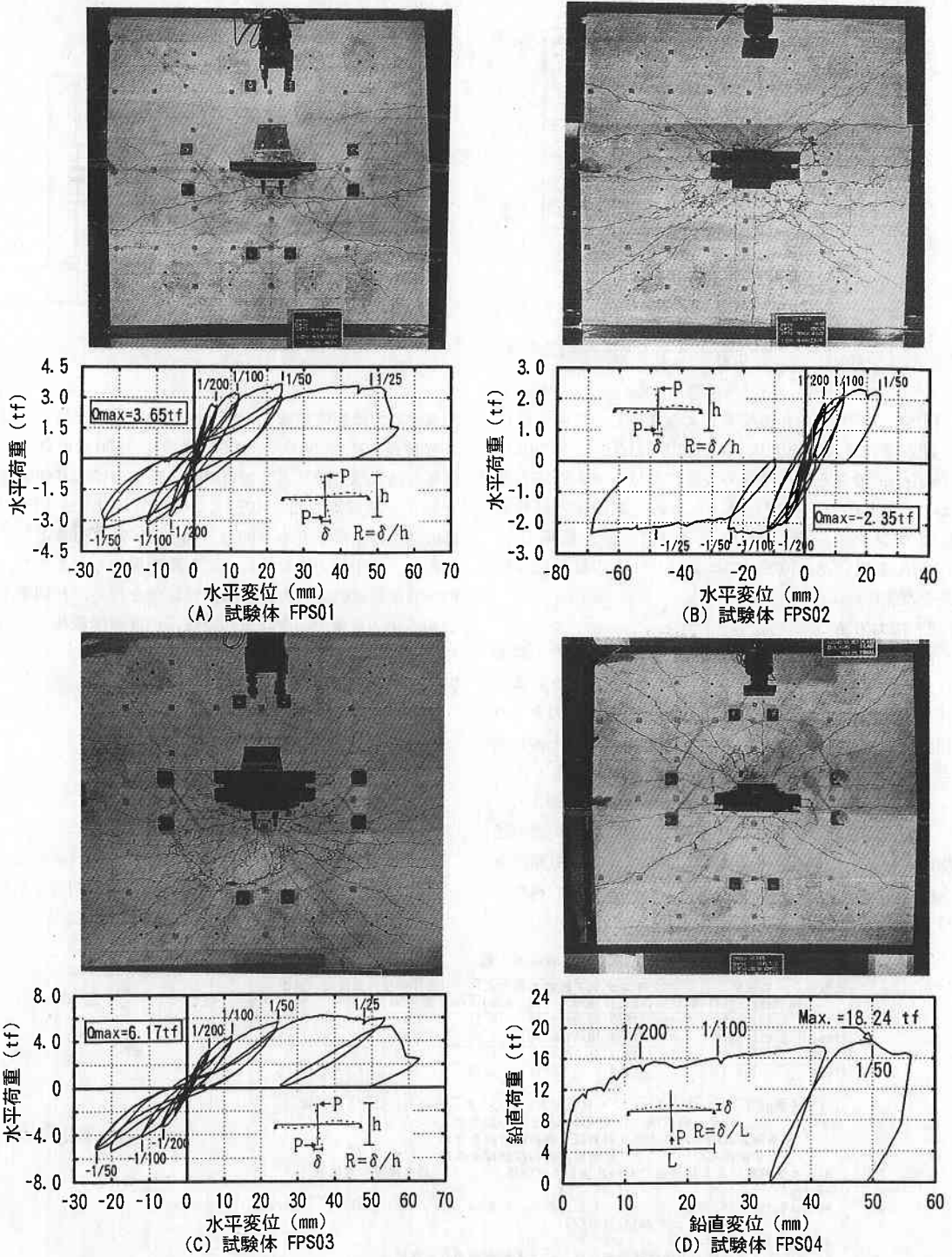


図4 最終亀裂状況と荷重-変位関係

### 3. 実験結果および検討

#### 3.1 亀裂性状と破壊状況

各試験体の最終亀裂状況を図4に示す。

鉛直荷重のみを受けたFPS04の初期亀裂はスラブ上面の柱との接合位置に生じた。荷重の増加とともに亀裂はスラブの隅へ向かって進展し、スラブ対角線上に亀裂帯を形成した。この亀裂がスラブの4隅に近づく頃、スラブ下面に鉛直荷重加力点をつなぐ円状の亀裂が発生した。

その後、柱周辺でスラブが浮き上がりながら最終的にせん断破壊を生じた。

FPS01, FPS03は鉛直荷重(4.88tf)を加えた時点では亀裂は確認されなかった。スラブ上面の水平加力による亀裂は柱との接合部のスラブに生じた。その後、FPS03ではスラブ支点に向かって放射状に伸びたが、FPS01では自由辺に片寄って伸びた。それと同時に柱側面のスラブにねじりによって生じたと思われる柱面と約45°の角度を持つ亀裂が発生し、荷重の増加とともに伸展しスラブの自由辺に到達している。一方、スラブ下面でも上面と亀裂性状はほぼ等しいものの、発生時刻は遅れている。

FPS01はスラブ全幅にわたる曲げ降伏は生じなかった。最終的には柱近傍でせん断破壊を生じた。FPS03はスラブ下面の接合部でスラブ圧壊が生じ、その位置でせん断破壊した。

FPS02は鉛直荷重(9.75tf)を加えた時点でスラブ上面の柱隅で対角線方向の亀裂が生じた。スラブ上面の水平荷重による亀裂状況は対角線方向に伸びながら自由辺にはほぼ直角方向の亀裂も生じ、ともに伸展した。スラブ下面では柱との接合位置に亀裂が生じた後FPS04と同様の円状の亀裂が生じた。その後、鉛直荷重加力点をつなぐ亀裂の幅が増大し、最終的にはスラブ自由辺に向かう亀裂が生じ、端部まで伸展した。

#### 3.2 荷重-変形関係

各試験体の荷重-変位関係を図4に示す。

試験体FPS01, 02, 03いずれも初期段階の荷重-変位関係には大差がなかった。

FPS01, FPS02はいずれも部材角1/100付近で柱近傍の主筋が降伏し、FPS01は1/50で最大荷重に達し、1/24でせん断破壊が生じた。一方、FPS02は部材角1/69で、最大荷重に達し、その後耐力低下はほとんどなく、部材角1/17で加力を終了した。

FPS03は部材角1/50付近で柱近傍の主筋が降伏し始め、1/32で最大荷重に達した後、徐々に耐力低下し、せん断破壊した。荷重-変形曲線のループはFPS03が他の試験

体と比較し細い。

FPS04は $\tau_v = 7.43 \text{ kgf/cm}^2$ 付近で剛性低下し始めたが初期亀裂は $\tau_v = 8.44 \text{ kgf/cm}^2$ で発見された。 $\tau_v = 11.18 \text{ kgf/cm}^2$ 付近で著しい剛性低下を伴いスラブ変形が急増し始め、 $15.49 \text{ kgf/cm}^2$ 付近で柱近傍の主筋が降伏した。部材角1/50で最大荷重18.24tf ( $\tau_v = 18.71 \text{ kgf/cm}^2$ )に達した。

#### 3.3 終局強度

各試験体の終局強度を現行フラットプレート構造規準式による計算値、曲げ強度計算値と比較して表3に示す。

ここで、図3に示すように曲げ強度計算値は、FPS01, FPS02, FPS03はスラブ接合部の延長線上、すなわち接合端を通して水平加力の方向に直交する線上に降伏線が形成されると仮定して梁の曲げ強度計算式で算定し、FPS04はスラブ対角線上の降伏線形成の仮定により算定した。

試設計案の試験体FPS01, FPS02, FPS04は現規準のパンチングシア破壊の判定式に適用すると、1より下回っている。これは最終的なパンチングシア破壊前に、FPS01, FPS02はスラブ鉄筋の曲げ降伏により、FPS04はスラブ対角線上の降伏線の形成によりその耐力が決まったためである。試験体FPS02はFPS01よりも鉛直力が高く、その影響でスラブ下端筋が降伏しなかったため耐力が低い結果となった。

### 4. ま と め

本実験における各試験体の最大耐力時の破壊形成をパンチングシア破壊の判定式で整理すると、その値が1より小さい試験体については曲げ破壊形で、1より大きい試験体についてはパンチングシア破壊しており、本判定式が高強度コンクリートを用いたフラットプレート構造の破壊形式の推定にも有効であることがわかった。

(1993年5月17日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 狩野他：『フラットプレート構造の柱-スラブ接合部に關する研究 その1 水平荷重を受ける接合部の実験』、日本建築学会論文報告集第288号、昭和55年2月
- 2) 狩野他：『フラットプレート構造の柱-スラブ接合部に關する研究 その2 鉛直荷重と水平荷重を受ける接合部の実験』、日本建築学会論文報告集第292号、昭和56年6月
- 3) 狩野他：『フラットプレート構造の柱-スラブ接合部に關する研究 その4 終局せん断強度算定法と確認実験』、日本建築学会論文報告集第309号、昭和56年11月
- 4) 財団法人開発技術研究センター：『New RC 研究開発概要報告書』、平成4年3月
- 5) 日本建築学会『鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説』、1991年4月