

論文 柱とフラットプレートとのト字形接合部の構造性能に関する実験研究

中澤 敏樹^{*1}・井上 重信^{*2}・飛田 喜則^{*1}・森 浩二^{*2}

要旨：フラットプレート構造物に水平力が作用した時の構造性能を把握する目的で、フラットプレートと外柱との接合部を想定したト字形接合部の加力実験を行った。実験の結果、フラットプレートの構造性能は、スラブ部分を柱幅の3倍の幅を持つ偏平梁として取り扱い、柱幅に有効スラブ厚を考慮した領域とその外側の領域にわけて評価することによって、精度良く評価することができた。また、復元力特性は、履歴曲線を TAKEDA モデルを用いてモデル化することによって精度よく評価できた。

キーワード：フラットプレート、ト字形接合部、鉄筋コンクリート構造

1. はじめに

梁型が室内に突出しないフラットプレート構造は、室内のデザインや間取りを自由に計画することができることから、スケルトンインフィルに対応した工法として注目を集めている。しかし、フラットプレート構造物が水平力を受けた場合の構造性能には不明な点が多い。

このような背景から、フラットプレート構造に水平力が作用した時の構造性能を確認するために、文献¹⁾ではフラットプレートと中柱との接合部を想定した十字形接合部の加力実験を行った。本報では、フラットプレートと外柱との接合部の構造性能を確認するために、ト字形接合部の加力実験を行ったので、その結果について述べる。

2. 実験概要

2.1 設定条件

フラットプレート構造の試験体を計画するにあたり、フラットプレート構造のみで計画された鉄筋コンクリート造6階建て集合住宅（スパン長：7m×7m）のモデル建物について構造計算を行い、スラブと柱との接合部に要求される性能を設定した。

構造計算の方法については、FEM 解析によ

て求めたスラブと柱との接合部における応力状態を参考にして、スラブ部分を柱幅の3倍の梁幅を持つ偏平梁と見なすことによって、明快なラーメン架構形式として構造計算を行うこととした。

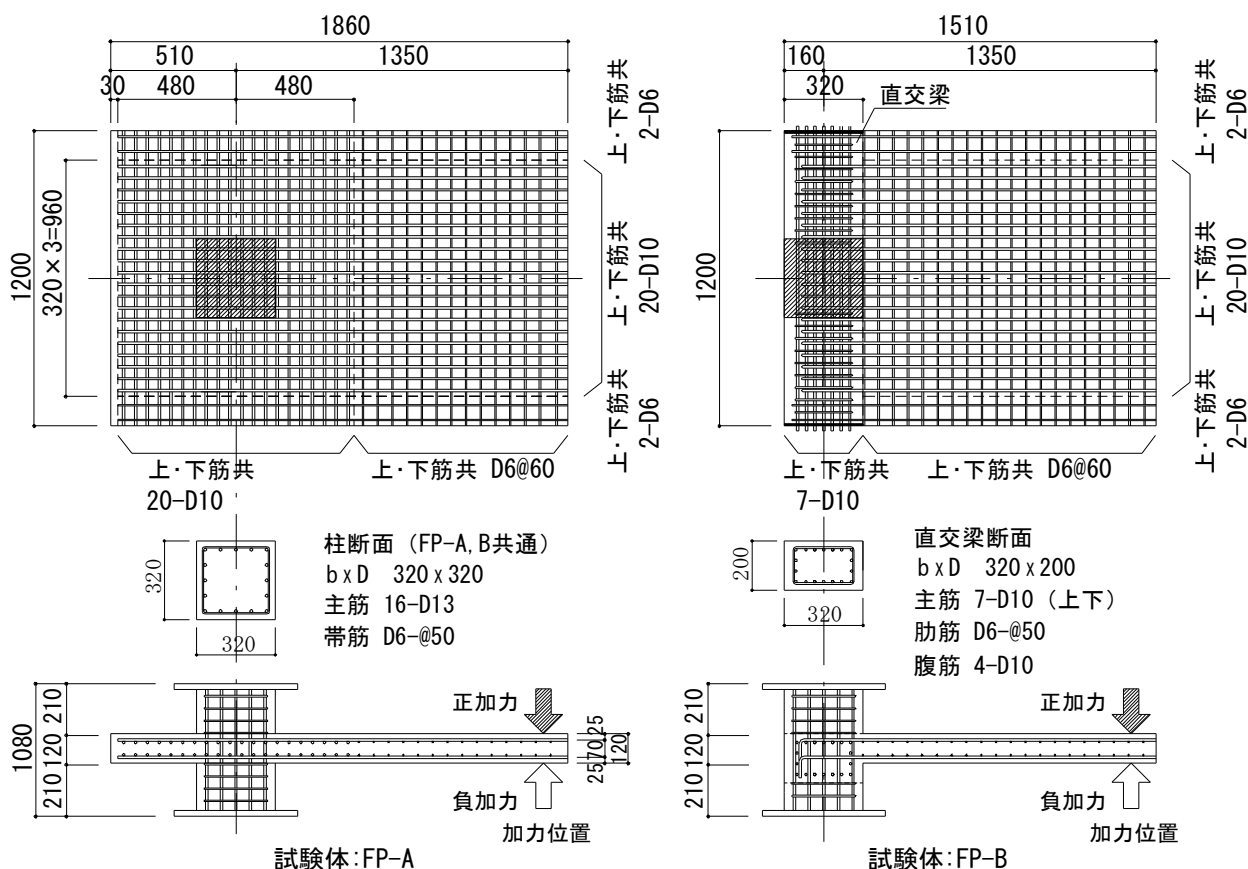
実験の具体的な目的は、フラットプレート構造におけるスラブと柱との接合部について、構造性能および復元力特性を確認、評価することである。

表－1 試験体一覧

試験体名	FP-A	FP-B
スラブ	スラブ厚：t = 120 スラブ幅：B = 1200 スラブ筋（上下筋共） 長辺方向：20-D10 (+ 4-D6) 短辺方向 FP-A：20-D10 (+ D6-@60) FP-B：D6-@60	
柱	b×D 320×320 主筋 16-D13 (pt = 0.35%) 帯筋 D6-@50 (pw = 0.33%)	
直交梁	—	b×D 320×320 主筋 7-D10（上下） 肋筋 D6-@50 腹筋 4-D10
備考	ハネ出しスラブ付き	ハネ出しスラブなし直交梁付き

*1 （株）浅沼組 技術研究所構造研究グループ（正会員）

*2 （株）浅沼組 技術研究所構造研究グループ



図－１ 試験体の形状および配筋

2.2 試験体

試験体の一覧を表－１に、試験体の形状と配筋を図－１に示す。試験体数は２体であり、これらは２．１項で示すモデル建物において応力が最大となる３階床スラブを対象とし、上下階の柱を含む接合部を１／２．５にスケールダウンしたものである。

FP-A は、外部にハネ出しスラブが取り付けケースを想定したものであり、応力計算から算出されたスラブ筋を柱幅の３倍の範囲に均等に配筋した試験体である。

FP-B は、ハネ出しスラブが取り付けず、代わりに加力と直交する方向に柱幅と同幅の偏平梁が取り付けいた試験体である。これは、建物妻側のように外部にハネ出しスラブが取り付けられないケースを想定したものであり、柱筋および加力方向のスラブ筋の配筋量は FP-A と同じである。

全ての試験体で、柱部分の破壊および柱とスラブとの接合部におけるせん断破壊、パンチング破壊が発生せず、スラブ端の曲げ降伏が先行

表－２ 材料試験結果

(a) コンクリート

部位	圧縮強度 N/mm ²	割裂強度 N/mm ²	ヤング係数 ×10 ⁴ N/mm ²
柱・直交梁・スラブ	37.1	2.97	2.67

(b) 鉄筋

種別	材質	降伏強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	ヤング係数 ×10 ⁵ N/mm ²
D6	SD295A	—	536.8	1.88
D10	SD295A	381.4	512.2	1.83
D13	SD295A	351.0	475.7	1.87

するように配筋等を計画した。

実験に用いたコンクリートおよび鉄筋の材料試験結果を表－２に示す。

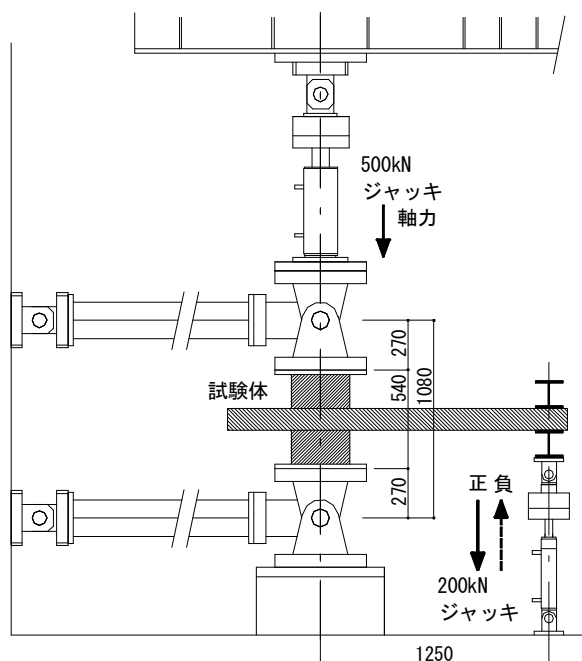
2.3 載荷計画

載荷装置を図－２に示す。加力は、上下柱の反曲点に相当する位置をピン支持し、柱に $0.05bDF_c$ ($= 190.0\text{kN}$) の軸力を加えた状態で、左右のスラブの端部に取り付けた押し引き型油圧ジャッキを用いて行った。載荷に際して、上下柱のピン支持中心点を結んだ線に対する左右

のスラブ加力点の傾きを部材角 R と定義する。

載荷スケジュールは、目標所定部材角 R を $\pm(5,10,20,30,40,50) \times 10^{-3} \text{rad}$ に設定し、正負交番繰返し載荷（各 2 サイクル）を行った。

計測は、部材角、接合部近傍のスラブの変形量、接合部の回転量、柱の軸方向変形量およびスラブに発生したひび割れ幅について行った。ひび割れ幅の測定については、スラブ筋が全て降伏した時点におけるスラブの主要な場所に発生したひび割れ幅を測定した後、同じひび割れについて荷重を 0 に戻した時のひび割れ幅を測定した。また、スラブ筋と柱筋の主要な位置にひずみゲージを貼り付けてひずみを測定した。



図－2 載荷装置

3. 実験結果

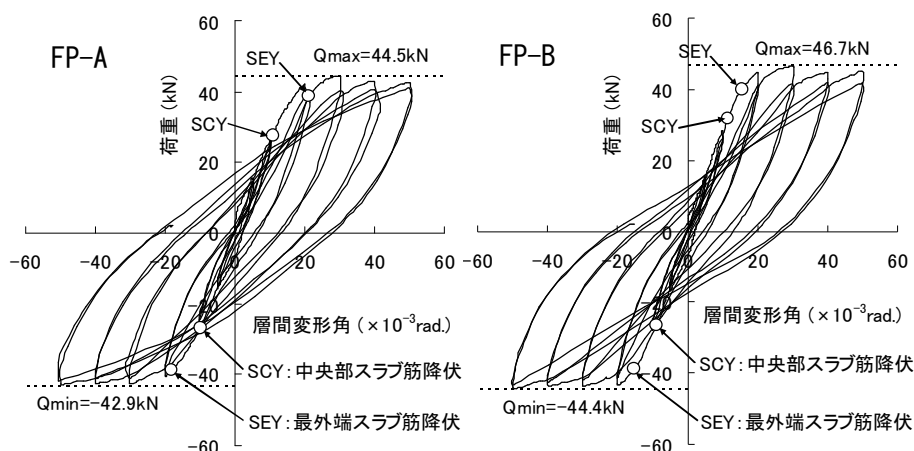
3.1 実験経過

図－3 に各試験体の荷重－変形角関係を、図－4 に実験終了時のスラブ上面のひび割れ発生状況を示す。ここで、荷重はスラブ自重（2.06kN）を差し引いている。

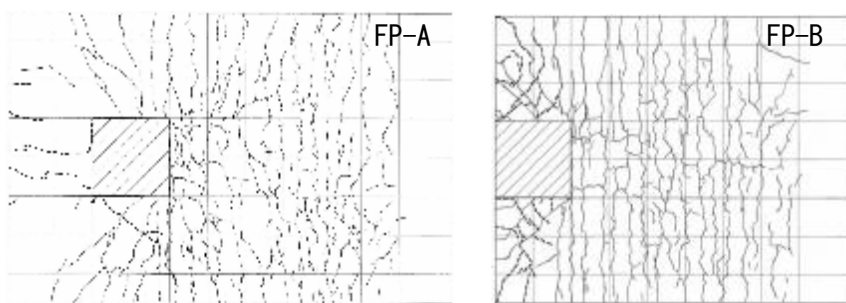
全ての試験体で、第 1 サイクルの $R=5 \times 10^{-3} \text{rad}$ までに接合部近傍のスラブ面にひび割れが発生した。その後、加力直交方向のひび割れが、柱フェース位置から加力点方向へ向かって進展した。

FP-A では $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$, FP-B では $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$ で両側の柱角から斜め方向のひび割れが発生した。

FP-A, FP-B とともに $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$ から柱幅内にあるスラブ筋が降伏し、 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$ までに最外端のスラブ筋まで全てのスラブ筋が降伏した後、 $R=\pm 30 \times 10^{-3} \text{rad}$



図－3 荷重－変形角関係

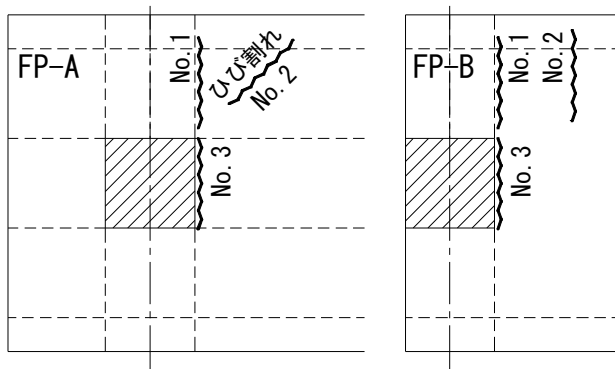


図－4 最終ひび割れ状況

—— 正加力時
----- 負加力時

で最大荷重に達した。

2 つの試験体で、 $R=50 \times 10^{-3} \text{rad}$ まで荷重は最大荷重の 80% を下回ることはなかった。



図－５ スラブのひび割れ位置図

表－３ 降伏時および除荷時のひび割れ幅

試験体名		FP-A	FP-B
降伏時	ひび割れ幅 (mm)	No.1	0.15
		No.2	0.25
		No.3	0.30
	部材角 ($\times 10^{-3}$ rad)	20.00	20.00
除荷時	ひび割れ幅 (mm)	No.1	0.10
		No.2	0.10
		No.3	0.20
	部材角 ($\times 10^{-3}$ rad)	7.76	6.96

3.2 スラブ面のひび割れ幅

図－５に示す接合部付近のスラブ面に発生した代表的なひび割れ (No.1～3) について、全てのスラブ筋が降伏したサイクルのピーク荷重時 (2 体とも $R = 20 \times 10^{-3}$ rad) のひび割れ幅と荷重を 0 に戻した時のひび割れ幅を表－３に示す。

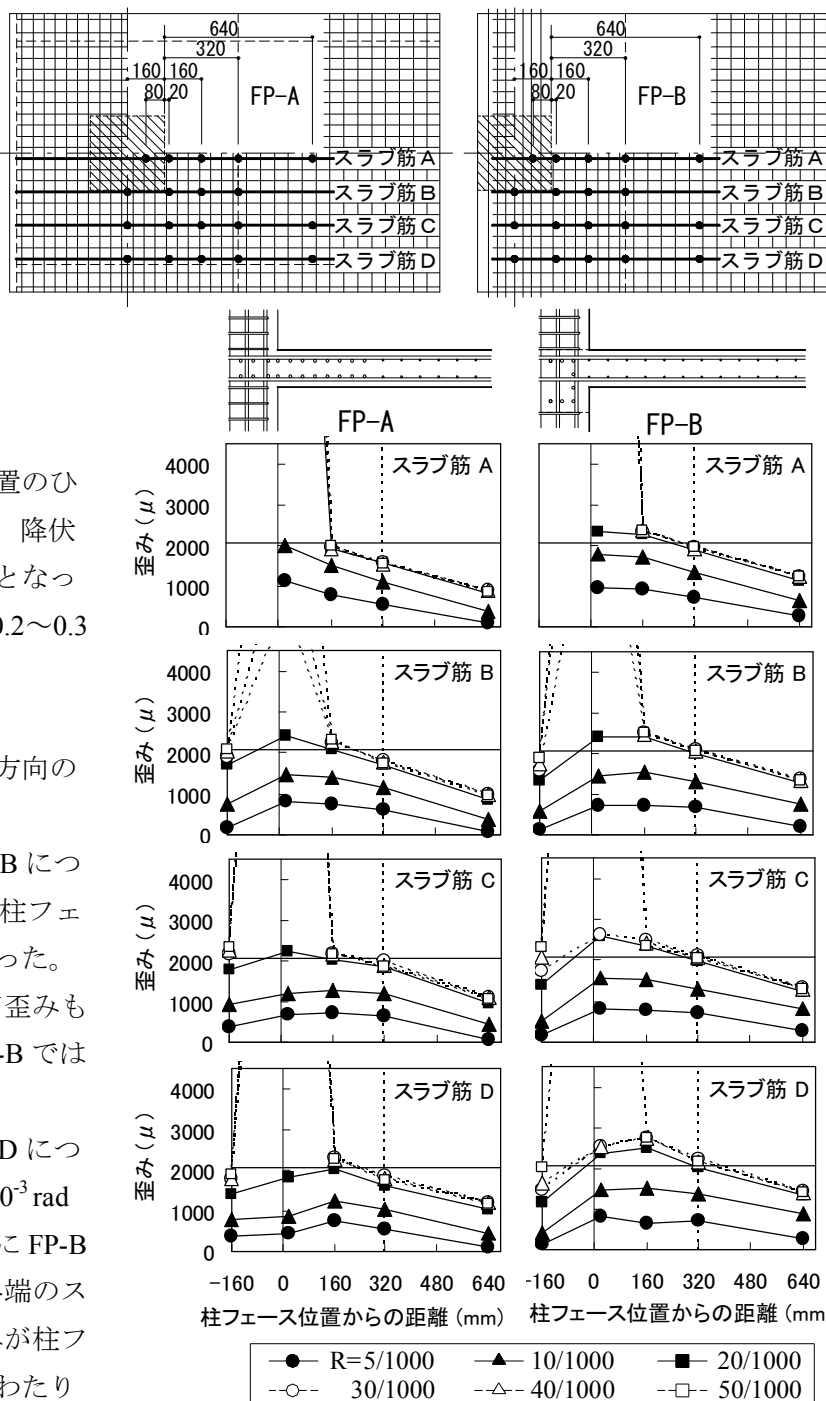
全ての試験体で、柱フェース位置のひび割れ (No.3) が最も大きくなり、降伏時の最大ひび割れ幅は 0.3～0.5 mm となった。また、除荷後のひび割れ幅は 0.2～0.3 mm となった。

3.3 スラブ筋の歪み

図－６に各部材角における長辺方向のスラブ筋の歪み分布を示す。

柱幅内に配筋されたスラブ筋 A,B について、2 体とも $R = 20 \times 10^{-3}$ rad で柱フェース位置の歪みが降伏歪みを上回った。FP-A では柱から遠ざかるにつれて歪みも急激に小さくなったのに対し、FP-B では低下は緩やかであった。

柱幅外に配筋されたスラブ筋 C,D についても同様に、2 体とも $R = 20 \times 10^{-3}$ rad でほぼ降伏歪みに達した。全体的に FP-B の歪みが FP-A の値を上回り、最外端のスラブ筋 D については、FP-B の歪みが柱フェース位置から約 320 mm の範囲にわたり降伏歪みに達した。



図－６ スラブ筋の歪み分布

4. 復元力特性の評価

4.1 構造特性値の評価

各試験体の構造特性値を評価するにあたり、フラットプレート部分を柱幅の3倍の幅を持つ偏平梁として取り扱う。ここで、偏平梁として考えたフラットプレートは梁幅方向において均一な応力状態とならないことから、各領域の応力および変形性状を考慮して、図-7に示すように領域A,B,Cの3つに分割して評価する。

分割された各要素は、「柱+領域A」（以下、架構A）と「柱+領域C+領域B」（以下、架構B）の2種類の架構として取り扱い、それぞれのスケルトンカーブをトリリニア型として評価する。最終的には、図-8に示すようにそれらを合成して、フラットプレート全体をテトラリニア型のスケルトンカーブを持つ1本の線材として評価する。以下、(1)～(3)にフラットプレート部分の各構造特性値の算出方法を示す。

(1) 初期剛性、曲げひび割れモーメント

領域A,Bの各初期剛性（S）および曲げひび割れモーメント（ M_c ）については、「RC規準」²⁾に準拠して一般のRC造梁と同様に評価する。ここで、架構A,Bのひび割れ時部材角（ R_c ）は、両者の差が小さいことから同一の値とした。

(2) 曲げ降伏モーメント

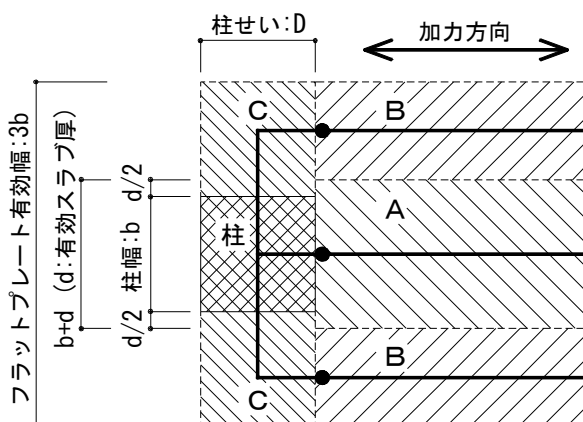
領域A,Bの各曲げ降伏モーメント（ M_y ）は、柱フェイス位置（領域Bでは、領域Cとの境界位置）を降伏位置として「RC規準」に準拠して算

出し、両者を以下に示す曲げ降伏時部材角を考慮して加算する。

(3) 曲げ降伏時部材角

架構Aの曲げ降伏時部材角（ R_y ）は、「RC規準」に示される降伏時の剛性低下率（ α_y ）を用いて評価する。架構Bの曲げ降伏時部材角（ R_y ）は、領域Bの曲げ降伏時部材角に領域Cのねじれによる回転剛性（GJ、弾性剛性の1/3として算定）を考慮し、同様に α_y を用いて評価する。

上記によって算出した計算値と実験値との比較を表-4に示す。同表より、最大強度は安全に評価でき、曲げ降伏時部材角についても精度良く評価することができた。



領域A：柱を含む幅が $b+d$ (b ：柱幅、 d ：有効スラブ厚)の領域であり、偏平梁として取り扱う。
 領域B：フラットプレート有効幅内における領域Aの外側の領域であり、偏平梁として取り扱う。
 領域C：加力方向に直交して柱に隣接する領域であり、ねじり部材として領域Bの応力を柱へ伝達する機能を持つ。

図-7 接合部のモデル化

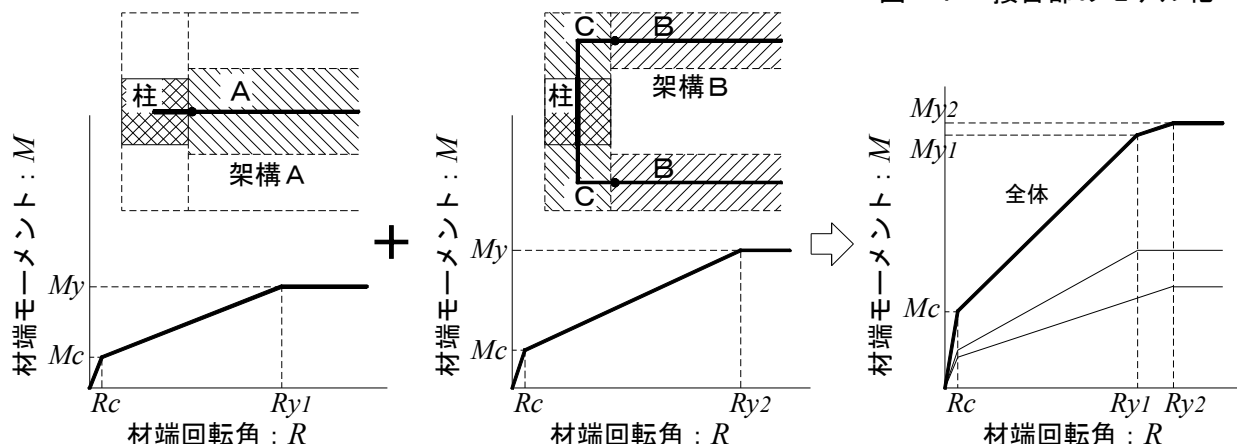


図-8 スケルトンカーブの合成

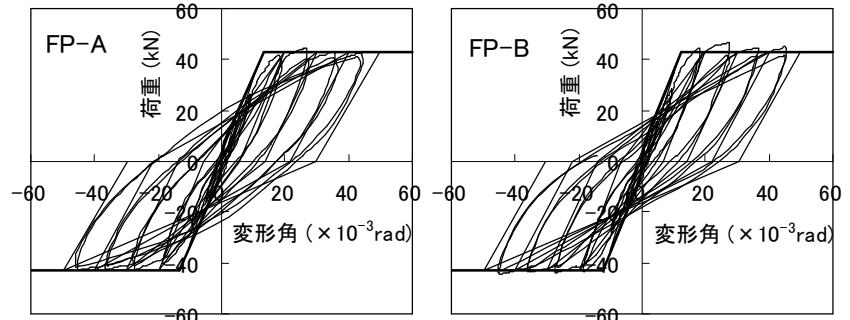
表－４ 構造特性値の実験値と計算値との比較

試験体名	初期剛性 (kN/rad)		ひび割れ強度 (kN)		最大強度 (kN)			スラブ筋降伏時部材角 ($\times 10^3 \text{rad}$)					
	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値		計算値	スラブ筋A,B,C,Dの実験値				計算値	
					正加力	負加力		A	B	C	D	柱部	側部
FP-A	6348	10159	6.3	7.2	44.5	-42.8	42.7	-9.8	-10.5	-15.2	-18.0	12.0	15.2
FP-B	4475		3.9	7.2	46.7	-44.4	42.7	-9.0	-12.5	14.2	14.8	12.0	13.8

注：初期剛性の実験値は、0.5/1000rad.における剛性とした。

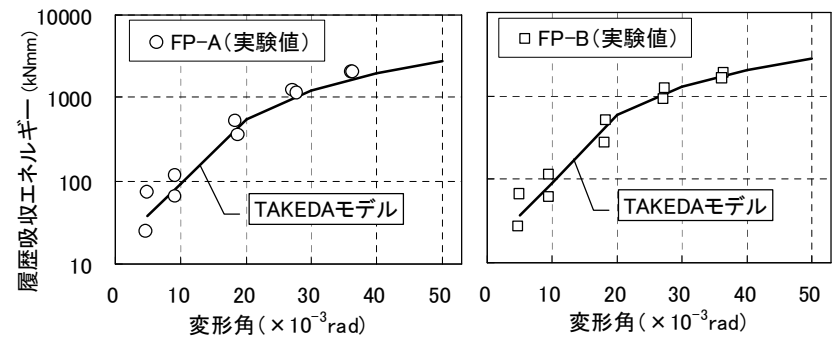
4.2 履歴曲線のモデル化

履歴曲線のモデル化に際して、履歴曲線をTAKEDAモデル³⁾にてあらわすこととする。各耐力は4.1項に準じて算定し、除荷剛性は $\gamma=0.4$ とした。TAKEDAモデルによる復元力特性と実験値との比較を図－9に示す。



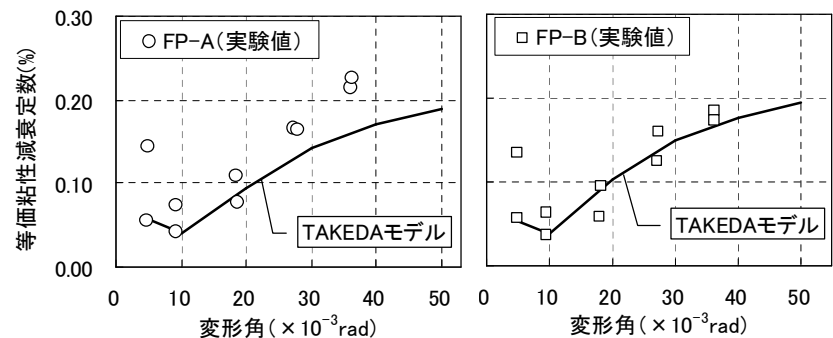
図－9 復元力特性の計算値と実験値との比較

次に、モデル化の妥当性を検証するために、各サイクルの履歴曲線から算定した試験体の履歴吸収エネルギー量を図－10に、等価粘性減衰定数を図－11に示す。図中には、試験体の履歴曲線をTAKEDAモデルとして算定した時の値を記入している。



図－10 履歴吸収エネルギー

履歴吸収エネルギー、等価粘性減衰定数ともに、TAKEDAモデルにより精度よく評価できたが、FP-Aでは $R=30 \times 10^3 \text{rad}$ 以降の変形角でTAKEDAモデルによる減衰定数計算値が実験値を過小に評価する結果となった。



図－11 等価粘性減衰定数

5. まとめ

今回の実験の範囲内で、以下の知見を得た。

- 1) フラットプレートの構造特性値は、フラットプレート部分を柱幅の3倍の幅を持つ偏平梁として取り扱い、柱幅に有効スラブ厚を考慮した領域とその外側の領域にわけて評価することによって精度良く評価することができた。
- 2) 復元力特性は、TAKEDAモデルを用いてモデル化することによって精度よく評価できた。

参考文献

- 1) 中澤敏樹ほか：柱とスラブとの接合部を補強したフラットプレートの構造性能に関する実験研究，コンクリート工学，Vol.26，No.2，pp.655-660，2004.7
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1999
- 3) 武田寿一ほか：Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes，第3回日本地震工学シンポジウム講演集，pp.357-364，1970.11