

## 論文 U型スラブの耐力・変形に関する実験的研究

岩原 昭次\*

**要旨:** 本研究は, 建築物の高機能化・高品質化・長寿命化・可変化に対応できるスラブとして, U型断面形状を有するプレキャストスラブを提案し, そのスラブの耐力・変形性状を明らかにすることを目的とする. 試験体は全部で4体であり, うち, 2体は躯体部分の中央部がU型断面形状で, 両端が口型断面である試験体およびそのU型断面上に平面パネルを敷き並べたものであり, 他の2体はスラブ端部の曲げ性状を確認するための試験体である. 提案したプレキャストスラブは耐力・剛性ともに良好であることが示された.

**キーワード:** プレキャストスラブ, 平面パネル, 端部, 曲げ性状

### 1. はじめに

建築物における床の設計には, 高機能化・高品質化・高耐久化という付加価値的な要求の他に, 施工工事の合理化・工期短縮なども求められる場合がある. 更に, 建築物の長寿命化のためにスケルトン部分とインフィル部分とに分けて造作する場合には床部分の用途替えにも対応できる可変的な構造にすることも必要となる.

このような建築物の高機能化・高品質化・長寿命化・可変化に対応できるスラブの1つとして, 中央がU型断面形状で, 両端が口型断面である一方向プレキャストスラブを敷き並べて床を構成する構法が考えられる. これによって, 床は利用方法に応じて高低差を自由に変わるとともに, 床下のスペース部分は配管・配線類の配置・交換が自在にできる場になり, また収納スペースとしても利用できる.

本研究は, このような中央がU型断面形状で, 両端が口型断面である一方向プレキャストスラブの中央部の, また同スラブと梁接合部の耐力・変形性状を明らかにすることを目的とする.

### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体の種類

試験体は実寸法の2/3縮尺モデルとした次の4

種類であり, 側面図と断面図を図-1に示す.

1) MBS 試験体: 提案するスラブで, 躯体部分は両端で長さ550mmの範囲で口型断面, その内側をU型断面のプレキャストスラブとし, さらに, そのU型断面上に5枚の平面パネル(図-1中の平面パネルA, B, 厚さ54mm)を口型断面上縁の高さに揃えて水平に敷き並べている. 平面パネルは, U型断面部分の上面にM16の全ねじ切り棒を支柱として突立て, 平面パネルを上下からナットで締め付けている. 口型断面部分と平面パネルあるいは平面パネル同士は相互には接続されていない. 平面パネルの構築方法の詳細を図-1中の断面Aの詳細図に示す.

この試験体の実験目的は, 耐力・変形性状が次に示すMUS試験体と同等以上であることを, また平面パネルを敷き並べることによってどのような変状を示すかを確認することにある.

試験体の支持は単純支持とし, 載荷は2点集中荷重形式とする.

2) MUS 試験体: MBS試験体の躯体部分における耐力・変形の検討用の試験体である. 支持形式も載荷方法もMBS試験体と同様である.

3) MCY 試験体: スラブ・梁接合部の曲げ性状を検討するための試験体であり, スラブと梁部分(スタブ)とから構成される. 口型断面部分の上

\* 崇城大学 工学部建築学科助教授 工博 (正会員)



部フランジ部の端面に深さ 26mm の逆くさび状とした剪断ほぞを設け(図 - 1 中の平面 D 参照), 下部フランジ部の端面は平滑としている。スタブ部分は場所打ちコンクリートを打設している。支持は 1 端固定, 他端自由とする片持ち梁形式とし, 荷重は自由端集中荷重形式とする。

4) MCN 試験体: 試験体の外観は MCY 試験体と同一であるが, 口型断面部分の上部フランジ部の端面に剪断ほぞを設けず, 下部フランジ部の端面と共に平滑としている。この試験体に対する実験の目的は, MCY 試験体との実験結果の比較により, 破壊形式の違いや逆くさび状の剪断ほぞの効果などを確認することである。支持形式, 荷重方法ともに MCY 試験体と同様である。

各試験体の主筋詳細と使用部品を表 - 1 に示す。

### 2.2 試験体の製作方法

MBS, MUS, MCY, MCN 試験体の U 型スラブ部分は高流動コンクリートで打設し, 蒸気養生を行った後, 材令 3 日で脱型した。MCY と MCN 試験体のスタブ部分は, 高流動コンクリートの材令 8 日で, 型枠内に配筋を施した後, 場所打ちコンクリートを打設し, 1 週間湿潤養生を行い, 1 週間後(材令 8 日)にスタブ部分の型枠を脱型して完成させた。

### 2.3 測定項目

各試験体の測定は荷重, たわみ, 鉄筋

歪, コンクリート歪およびひび割れについて行った。このうち, たわみと鉄筋歪測定位置を図 - 2 に示す。

### 2.4 荷重方法

加力骨組図を図 - 3 に示す。

### 2.5 使用材料

表-1 試験体の各部分の主筋詳細と使用部品

位置	配筋	鉄筋比(全断面面積に対する割合)	コンクリート面から鉄筋中心までの距離(mm)
U型断面部分	中段筋: D10-2	0.202%	上面から 50
	下端筋: D10-4, D6-3 D10-2	0.540% 0.202%	下面から 33 下面から 66
口型断面部分	上端筋: D10-4, D6-3 D10-2	0.288% 0.108%	上面から 33 上面から 66
	中段筋: D10-2	0.108%	上面から 250
	下端筋: D10-4, D6-3 D10-2	0.288% 0.108%	下面から 33 下面から 66
平面パネル A, B	ダブル配筋 D6@66, かぶり厚さ 10, ただし, ボルト穴周囲は D6@33 補強		
スタブ部分	上端筋: D16-2 下端筋: D16-2 あばら筋: D6-7(ただし, 梁の主筋として)		
M16 ねじ切り棒	全ねじ切り, 長さ 235mm		
ボルト受け	D22(片側ねじ穴 M16, 深さ 40mm), 全長 100mm		
上端アンカー受け	D19(片側ねじ穴 M12, 深さ 35mm), 全長 200mm, 5本/1試験体当たり		
上端アンカー	D13(片側ねじ切り M12, 長さ 30mm), 全長 210mm, 180度フック付き, 5本/1試験体当たり		
上端アンカー支持棒	D13, 全長 210mm, 180度フック付き, 5本/1試験体当たり		
下端アンカー受け	D19(片側ねじ穴 M12, 深さ 35mm), 全長 200mm, 3本/1試験体当たり		
下端アンカー	D13(片側ねじ切り M12, 長さ 30mm), 全長 210mm, フックなし, 3本/1試験体当たり		

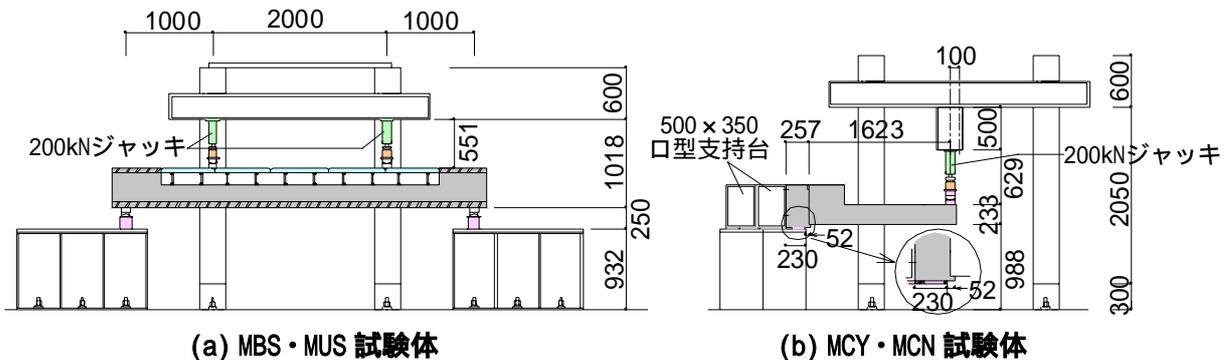


図 - 3 加力骨組(MBS, MUS, MCY, MCN)

MBS, MUS, MCY, MCN 試験体の口型および U 型断面部分に用いた高流動コンクリートのプレキャストコンクリートと, MCY, MCN 試験体のスタブ部分および平面パネルに用いた場所打ちコンクリートの機械的性質を表 - 2, 3 に示す.

表-2 コンクリートの機械的性質

コンクリート	高流動コンクリート				場所打ちコンクリート		
	適用試験体				MCY, MCN, 平面パネル		
養生種別	蒸気	水中	蒸気	蒸気	水中	水中	気中
材令(日)	3	28	28	75	28		67
圧縮強度	38.6	54.9	52.2	59.8	42.4	41.6	42.1
ヤング係数	-	32.4	33.9	33.2	31.7	31.9	31.3
圧縮強度時歪	-	0.344	0.316	0.357	0.287	0.276	0.301
割裂引張強度	-	3.76	3.32	4.22	2.92	3.30	3.38
スランプ(cm)	58(フロー値)				10.5		

[単位] 圧縮・割裂引張強度: N/mm<sup>2</sup> ヤング係数: 10<sup>3</sup> × N/mm<sup>2</sup> 圧縮強度時歪: %

### 3. 実験結果

#### 3.1 ひび割れ状況

最終ひび割れ状態を図 - 4 に示す.

MBS 試験体は, 平面パネルの下面に生じたひび割れが拡大した後パネル自身の上面でコンクリートが圧壊した. そのため, 躯体部分は U 型断面部分の下面にひび割れが分散して見られるもののひび割れ幅の拡大や, 中央部上面のコンクリートの圧壊がみられない. MUS 試験体は中央部下面のひび割れが進展し最終状況に至った. 破壊は中央部鉄筋の降伏とそれにともなう下面のひび割れの拡大による曲げ破壊であった. MBS 試験体, MUS 試験体ともに口型断面部分にはひび割れが生じていない.

MCY, MCN 試験体は口型断面と U 型断面の境である入隅部のひび割れが拡大することにより曲げ破壊が起こり, 最終状況に至った. 打継ぎ部やスタブ部分にはひび割れは生じなかった.

表 - 3 鉄筋の機械的性質

品質	D10(SD295A)	D6(SD295A)	D16(SD295A)
適用試験体	MBS, MUS MCY, MCN	MBS, MUS MCY, MCN	MCY, MCN
標準直径(mm)	9.53	6.0	15.9
公称断面積(mm <sup>2</sup> )	71	32	199
降伏点応力(N/mm <sup>2</sup> )	358	336	383
ヤング係数(10 <sup>3</sup> × N/mm <sup>2</sup> )	183	173	201
引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	496	497	583
降伏点歪(%)	0.196	0.199	0.204

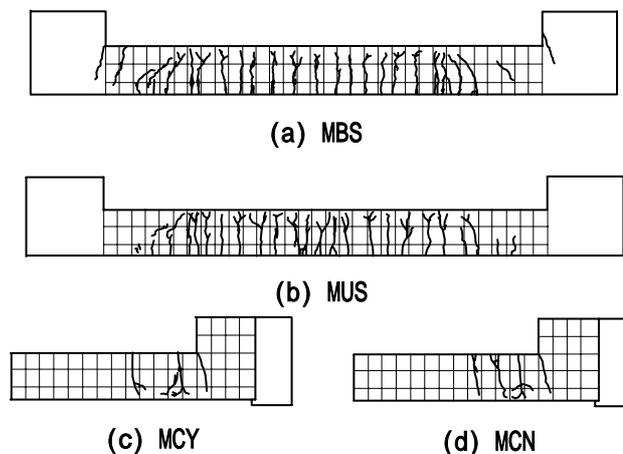


図 - 4 最終ひび割れ図

#### 3.2 荷重-たわみ関係

各試験体の荷重 - 中央点のたわみ関係を図 - 5, 6 に示す. 縦軸の荷重は 1 点当りの値であり, 以後の荷重鉄筋歪関係についても同様である.

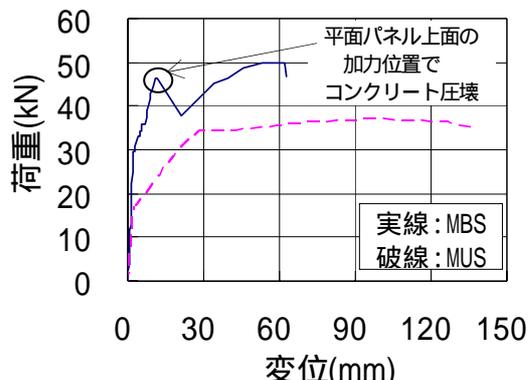


図 - 5 荷重 - たわみ関係(MBS, MUS)

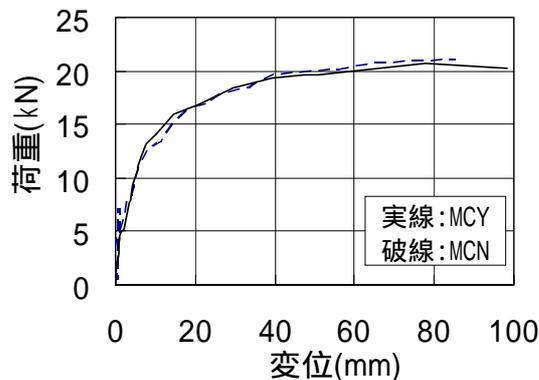


図 - 6 荷重 - たわみ関係(MCY, MCN)

MBS 試験体において、最初に加力点位置にある平面パネルの下面にひび割れが発生した(29.80kN)後、U型断面部の中央部下面にひび割れが発生(30.87kN)するまで中央点のたわみは荷重の増加とともに直線状に進展した。中央部下面の下端筋が 2000  $\mu$  を超えて降伏(44.86kN)した後、

平面パネル上面の加力点位置でコンクリートが圧壊し(46.53kN)、一時荷重が低下した。その後、平面パネルの圧壊した位置の下と U 型断面上面との間に鋼板を敷き詰め、再載荷を行った結果、再び荷重が増大した。その載荷の増加とともに平面パネルの破損が著しくなり、荷重が最大(49.80kN)に達した後は荷重の増加はなく、またジャッキのストローク長が限界に達したので測定を終了した。

MUS 試験体において、最初に U 型断面部の中央部下面にひび割れが発生(17.32kN)するとともに剛性が低下し、更に中央部下面の下端筋が降伏(31.11kN)した後最大荷重(36.83kN)に達し、以後、荷重はほとんど増加せずたわみだけが大きく進展した。

MCY 試験体と MCN 試験体については、口型断面と U 型断面の界面位置の入隅部分にひび割れが発生(MCN 試験体に対し 4.90, MCY 試験体に対し 5.23kN)した後、入隅部分にある中段筋が降伏(MCN 試験体に対し 18.40, MCY 試験体に対し

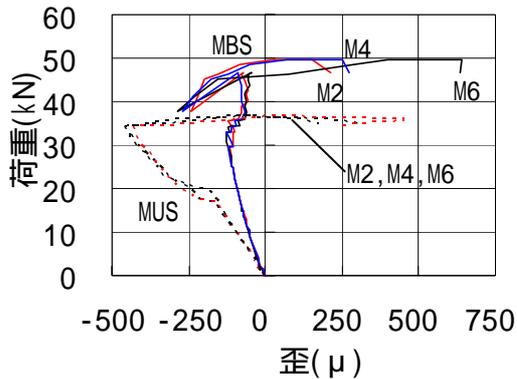


図 - 7 中央部中段筋の鉄筋歪 (MBS と MUS 試験体)

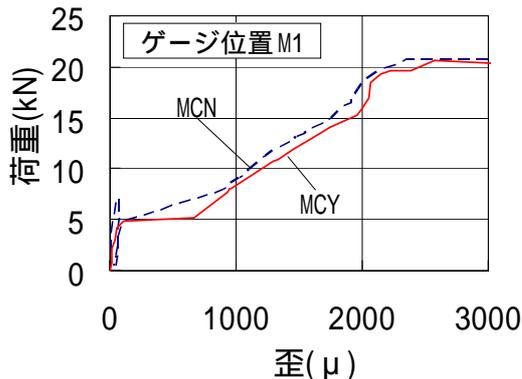


図 - 9 入り隅部分の中段筋の鉄筋歪(MCY と MCN 試験体)

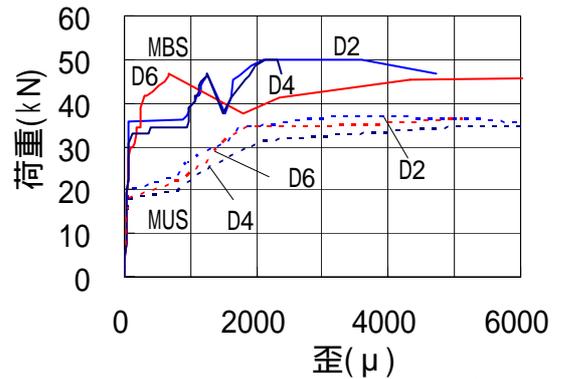


図 - 8 中央部下端筋の鉄筋歪 (MBS と MUS 試験体)

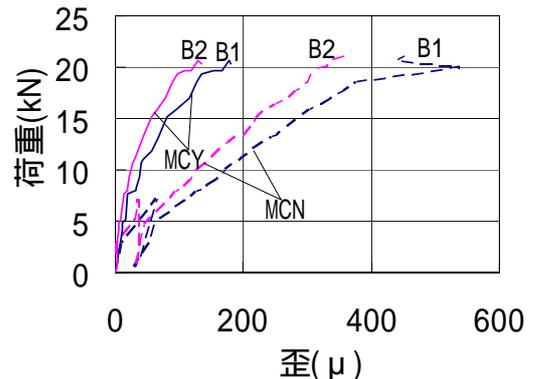


図 - 10 スタブ部分の上側アンカー筋の鉄筋歪(MCY と MCN 試験体)

16.90kN) ,更に最大荷重(MCN 試験体に対し 21.00 , MCY 試験体に対し 20.66kN) に達した後、荷重はほとんど増加せずたわみだけが大きく進展した。この両試験体についても荷重-自由端のたわみ関係は典型的な Tri-Linear 曲線となった。MCY 試験体と MCN 試験体との相違は口型断面部分の上端面における剪断ほその有無だけであるが、荷重-自由端のたわみ関係においてはその差異が見られず、ほぼ同じような履歴となった。

### 3.3 荷重-鉄筋歪関係

MBS と MUS 試験体の荷重 鉄筋歪関係として、U 型断面部分の中央部中段筋の場合を 図 - 7 に、下端筋の場合を 図 - 8 に示す(鉄筋歪の測定位置は 図 - 2 参照)。

両試験体の下端筋は荷重 - たわみ曲線と同じような履歴を示している。一方、U 型断面部分の中央部中段筋の歪は、両試験体とも、下端筋の歪が降伏歪に達するまでは圧縮歪となっているが、最大荷重に近づくにつれて徐々に引張り歪に転じた。

MCY と MCN 試験体の荷重 鉄筋歪関係として、口型断面と U 型断面の界面位置の入り隅部分の中段筋の場合を図 - 9 に、口型断面端部の上部部分からスタブ部分に埋め込まれているアンカー筋の場合を図 - 10 に示す(歪の測定位置は図 - 2 参照)。MCY 試験体と MCN 試験体の入り隅部分の中段筋の歪は、加力終了まで同様な Tri-Linear 型の履歴を示した。スタブ部分に埋め込まれているアンカー筋の歪は、口型断面部分の上端面に剪断ほぞを設けていない MCN 試験体の方が、設けている MCY 試験体よりも、荷重の増加に対して歪の進展が大きい。特に、MCY 試験体での降伏点荷重 16.8kN と同じ荷重に対する MCN 試験体の測定点 B<sub>1</sub> での歪は MCY 試験体の同点での値の約 2.9 倍の大きさとなっている。これは、剪断ほぞを設けると、スラブからスタブへの引張側応力の伝達はアンカー筋と剪断ほぞを介して行われるが、剪断ほぞがない場合、その分アンカー筋の応力負担が大きくなり、そのため歪が大きくなることを示している。しかしながら、両試験体ともに試験体上部の入り隅部分のひび割れが拡大進展して破壊しているため、最大荷重時において降伏点歪の約 10 ~ 25% 程度の値を示しているに過ぎない。

3.4 考察

(1) MBS と MUS 試験体について

MBS 試験体のひび割れ発生荷重、鉄筋降伏荷重および最大荷重とも MUS 試験体の場合の約 1.4 ~ 1.8 倍となったが、これは敷き並べた平面パネルが M16 ねじ切り棒で躯体部分に締結されているために剛性を有し、その分耐力を高めたためと推測される。また、MBS 試験体の曲げ剛性も MUS 試験体の場合よりかなり高い。

### 3.4 考察

#### (1) MBS と MUS 試験体について

MBS 試験体のひび割れ発生荷重、鉄筋降伏荷重および最大荷重とも MUS 試験体の場合の約 1.4 ~ 1.8 倍となったが、これは敷き並べた平面パネルが M16 ねじ切り棒で躯体部分に締結されているために剛性を有し、その分耐力を高めたためと推測される。また、MBS 試験体の曲げ剛性も MUS 試験体の場合よりかなり高い。

表 - 4 に示す実験結果の値と計算値との比較を示す。MUS 試験体に対して鉄筋降伏時の実験値は計算値とよく対応し、MBS 試験体での同実

表 - 4 実験結果と計算値との比較

試験体名	算定位置	ひび割れ発生荷重 (kN)		鉄筋降伏時の荷重 (kN)		最大荷重 (kN)	比(最大荷重 / 鉄筋降伏荷重 / 計算値)
		実験値 (計算値)	実 / 計	実験値 (計算値)	実 / 計		
MBS	中央	30.87 (20.35)	1.66	44.86 (31.78)	1.41	49.80	1.57
MUS	下面	17.32 (20.35)	0.85	31.11 (31.78)	0.98	36.83	1.16
MCY	U型断面入	5.23 (7.53)	0.69	16.90 (16.84)	1.00	20.66	1.23
MCN	入り隅部	4.90 (7.71)	0.64	18.40 (17.55)	1.03	21.00	1.20

(注 1) MBS 試験体は、躯体部分についてのみ算定した。即ち、MUS 試験体と同一である。  
(注 2) 鉄筋降伏時荷重の算定にあたり、降伏モーメントは RC 構造計算規準によった。  
(注 3) MCY と MCN 試験体では入り隅部分の中段筋が降伏しているため、鉄筋降伏時荷重の算定にあたっては、斜め補強筋を考慮した。

験値は計算値の約 1.4 倍を示した。

#### (2) MCY と MCN 試験体について

剪断ほぞの効果を確認するための試験体である MCY と MCN 試験体はひび割れ発生荷重、鉄筋降伏荷重ともほぼ同じであり、耐力向上に対して、剪断ほぞの有無による違いが見られなかった。これは、逆にいえば、上端アンカーが 5-D13 と比較的大きい配筋となっているために、このアンカー配筋だけで、剪断ほぞがある場合と同等な応力伝達がスラブからスタブに行われたと考えられる。両試験体とも鉄筋降伏時荷重は実験値と計算値がよく対応した。

### 4. まとめ

- 1) 躯体部分の U 型断面上に平面パネルを配置すると、配置しない場合よりも耐力・剛性ともに上昇し、また、躯体部分も破壊しなかった。
- 2) 片持ち梁形式の加力実験では口型端部ではなく入り隅部分で曲げ破壊した。また今回の実験では、荷重 たわみ履歴に対して、端部の引張り側に設けた剪断ほぞの有無による違いが現れなかった。
- 3) MUS、MCY および MCN の各試験体の終局曲げ荷重は日本建築学会推奨の略算式で推定できる。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、pp.145、1999 年