

# 報告 T形合成床スラブに関する研究

蓼原真一<sup>\*1</sup>・小森清司<sup>\*2</sup>・永藤政敏<sup>\*3</sup>・山下正吾<sup>\*4</sup>

**要旨:** 鉄骨造駐車場など長スパンの床スラブには、ダブルリブ付PC埋設型枠の合成床スラブが適しているが、階高を抑えて鉄骨梁上に載せるためにはリブ付でも端部のみはリブを切り欠く必要がある。そこで、埋設型枠の端部平板部を工場での型枠転用を考え上面で厚さを増し、水平U形筋と逆U形筋で補強する方法を考案した。この補強方法をシングルT形合成スラブの短期載荷実験により検討した結果、常用荷重で問題はなかったが、長スパン用に曲げ耐力を高めたものは試験装置の関係で短スパンとしたため終局時に端部破壊を生じた。信頼性を増すにはさらに補強に工夫を要することがわかった。

**キーワード:** PC合成床スラブ、ダブルT、プレストレストコンクリート、切欠き

## 1. はじめに

鉄骨造の駐車場などを設計する際、長スパンで軽量なスラブが要求される。この様な床スラブにはダブルのリブを有するPC埋設型枠合成床スラブが適している。しかし、リブ部分をそのまま鉄骨梁上に載せると階高が高くなる。階高を抑える方法としてリブの端部を切り欠き平板部だけで支持する方法が考えられるが、リブ部を欠いた平板部は厚さを増して補強しておく必要がある。ただし、PC工場での型枠転用のことを考慮すると、板部の上側で厚さを調整する方法が好ましい。筆者等は図1に示すような切欠き端部の補強を考案した。これは平板部を水平U形補強筋で補強し、さらに逆U形補強筋（以後ハンガー筋と称する）でリブに繋結する方法である。この補強方法の妥当性を検討するために合成床スラブを作製して短期載荷実験を行なった。ただし、試験装置の制約から断面がダブルT形のままでは無理なので、シングルT形として実験した。

## 2. 試験体

試験体はスパン5m、幅1mの一方向スラブで、PC埋設型枠部分の断面形状および端部補強方法はすべて同一とした。試験体数はPC板単体1体、PC板上に場所打ちコンクリートを打設した合成スラブ2体の計3体である。単体をPT-1、合成スラブをPTCS-1, PTCS-2と呼ぶ。PTCS-2は長スパン用にPTCS-1より太いPC鋼より線を用い、場所打ちコンクリートの

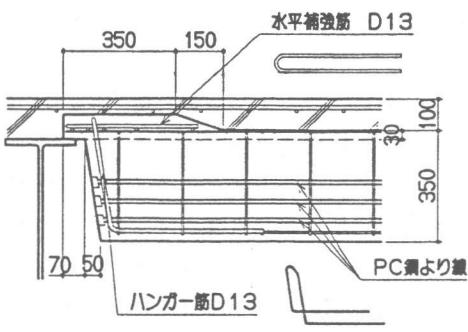


図1 端部補強要領

\*1 長崎大学助教授 工学部構造工学科, 工博 (正会員)

\*2 長崎大学教授 工学部構造工学科, 工博 (正会員)

\*3 長崎大学技官 工学部構造工学科 (正会員)

\*4 (株)富士ピー・エス建築事業部 (正会員)

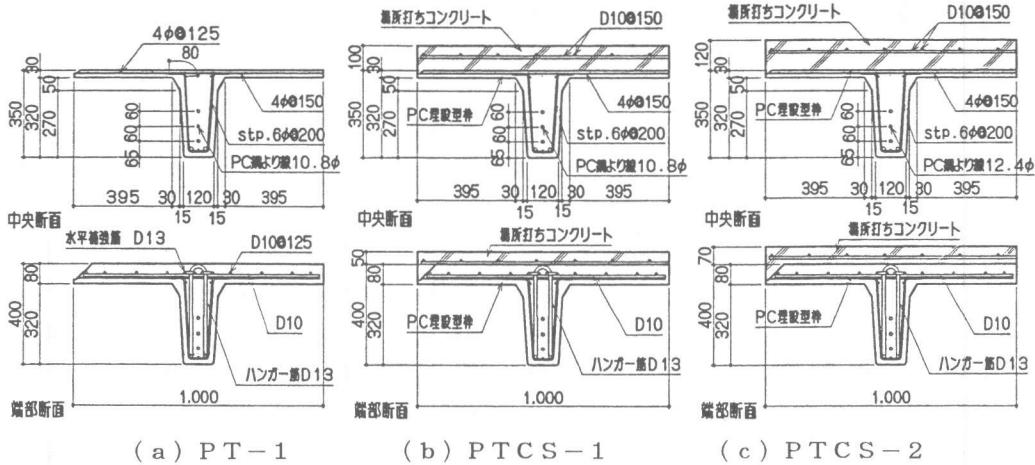


図2 試験体断面図

表1 使用鋼材の性質

	異形鉄筋 D10 (SD295A)	異形鉄筋 D13 (SD295A)	溶接金網 100@100@ 4,0φ 6,0φ	P C鋼より線 (SWPR7A)* 10,8φ 12,4φ
公称断面積 (mm <sup>2</sup> )	71,3	126,7	12,6 28,3	69,7 92,9
降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	346	348	520 496	1853 1667
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	491	479	554 546	2010 1824
ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	176	186	196 206	191 191

\*ミルシートによる値を示す。

表2 使用コンクリートの性質

試験体 名称	P C板用コンクリート			現場打ちコンクリート		
	材令 (日)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	材令 (日)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
PT-1	34	58,3	29,4	—	—	—
PTCS-1	47	64,4	30,4	29	17,8	20,6
PTCS-2	48	61,8	30,4	30	15,6	21,6

厚さも増している。各試験体の断面形状を図2に示す。端部補強については、文献[3]19条のせん断に対する設計によった。PT-1、PTCS-1の断面は本来7.65mスパンを対象とし、PTCS-2は9mスパンを対象としたものであるが、いずれも試験装置の制約から同一の短い5mスパンとしている。PC板の初期プレストレスはPC鋼より線の応力が規格降伏強度の80%となるようにプリテンション方式で導入している。PC板上には菱目状の粗面[1]を作り場所打ちコンクリートと一体化を図っている。鋼材とコンクリートの性質を表1、表2に示す。

### 3. 実験方法および測定方法

図3に実験装置の概要を示す。載荷方法は各試験体とも単純支持の3等分点2点載荷である。また、各試験体とも加力サイクルは弾性範囲内（PC板下面のひび割れ計算荷重の60%）・PC板の下面ひび割れ貫通時・終局までの3サイクルである。測定方法としては、中央部のたわみ、端部水平変位、支点沈下量を変位計で測定し、試験体上面と側面および下面のコンクリートのひずみを貼付したワイヤーストレインゲージで測定した。試験体上面ではスパン中央から片側のみ50cmピッチで、側面および下面ではスパン中央部にゲージを貼付した。ひび割れ観察は目視で行ない、中央部下面ひび割れ幅については10cm間隔にπ型ゲージを取り付けて測定した。スパン中央部のPC鋼より線のひずみについて上段と下段に埋め込みゲージを貼付して測定した。

### 4. 実験結果および考察

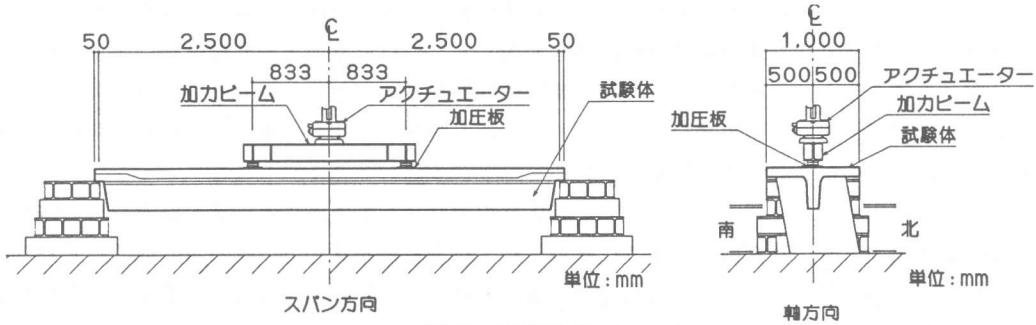


図3 実験装置

表3 実験結果および計算結果一覧

試験体 名称	初期剛性 (kN/cm)			ひび割れ 発生荷重 (kN)		PC鋼より線降伏 荷重実験値 (kN)		最大荷重 (kN)					最大荷重 時たわみ 実験値 (cm)	破壊性状	
	(実)	(計)	(実/計)	(実)	(計)	(実/計)	上段	下段	(実)	(計1)	(計2)	(実/計1)	(実/計2)		
PT-1	109	120	0.90	30	50	0.61	100	98	115	96	102	1.19	1.12	11.9	端部せん断 破壊
PTCS-1	280	267	1.05	47	64	0.74	161	129	169	130	107	1.29	1.58	11.8	中央部上面 圧縮破壊
PTCS-2	321	311	1.03	54	87	0.62	—	—	203	168	104	1.21	1.95	4.5	端部せん断 破壊

(1) (実) : 実験値, (計) : 計算値, (実/計) : 実験値/計算値  
(2) (計1) : スパン中央曲げ破壊の計算値, 文献[2]65条解説  $M_u = (1 - 0.5q)p \cdot b \cdot \sigma_{sy}$  式を使用。  
(3) (計2) : 端部せん断破壊の計算値, 文献[3]19条解説の式中で、ひび割れ②に対する式  $V_u = \phi \cdot A_{sh} \cdot f_y$  による。  
(4) [ ] は荷重～たわみ曲線から推定した初期勾配が変化する点の荷重

実験結果および計算結果の一覧を表3に示す。

#### 4.1 たわみ性状

初期剛性は断面の種類で異なるが、合成スラブの場合、

PC板用コンクリートと場所打ちコンクリートのヤング係数の違いを考慮した等価換算断面から等価断面二次モーメントを求め、モールの定理からたわみを求めれば、初期剛性をほぼ計算できることがわかる。しかし、単体スラブPT-1の場合、搬入時の不手際で端部に近い厚さ3cmの平板部の一部が欠けたために実験値は計算値より低目になっている。

図4に各試験体の荷重とたわみの関係を示す。初め弾性的挙動をしているが、中央部下面のひび割れの伸展とともに、たわみは急激に増大している。PT-1, PTCS-1で終局時のたわみはスパンの約1/40と大きい。しかし、端部で破壊したPTCS-2の終局時たわみは前者に比べて小さい。

#### 4.2 ひび割れ荷重および最大荷重

表3のひび割れ荷重計算値は、日本建築学会PC規準[2]66条より、コンクリート引張強度を実験によらない場合、安全側に0.07 $\sigma_c$  ( $\sigma_c$ : 表2の圧縮強度) とし、曲げ引張り強度はその5/3倍として求めたものである。0.07 $\sigma_c$ は同規準49条で規定されているひび割れを

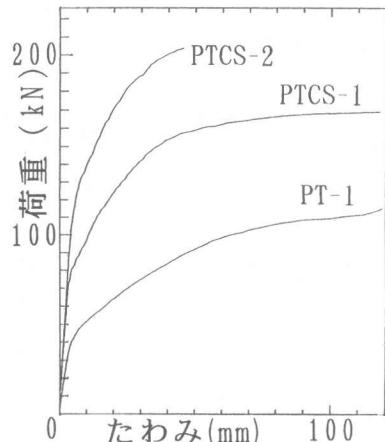


図4 荷重～たわみ関係

許さないフルプレストレスの施工時に許容される引張応力度である。目視による実験値はこれら計算値よりかなり低い。実験値は有機溶剤を塗布して見つけたもので、乾燥収縮による表面上のひび割れと考えられ、必ずしも大きいひび割れには伸展していない。むしろ、図4の荷重～たわみ関係において、初期の直線部分からはずれて大きく剛性が変化したと見られる時の荷重値（表中の〔〕内に示したもの）が計算値に近い。

PT-1は次節4.3で示すようにPC鋼より線が降伏してたわみが増大したが、終局時には支持端で平板部とリブが剥離するように破壊した。材端板部を材軸方向からみれば、逆U形ハンガーリブとU形水平筋はリブとともに板部から離れていた。PTCS-1はPC鋼より線が降伏してたわみが増大し、下段のPC鋼より線が破断して終局に至った。一方、PTCS-2はPC鋼より線が降伏する近傍でPT-1と同様に支持端で平板部とリブが剥離するように破壊しており、最大荷重時たわみはPTCS-1より小さい。表3に示すように、各試験体の最大荷重は文献[2]による曲げ耐力計算値より約2～3割高い。また、文献[3]によるせん断耐力計算値は、切欠き端部の周りに4種類のせん断または曲げひび割れを想定して求め、それらの中で最小の値を採用している。いずれの試験体も切欠き部から材軸に対して45度方向の斜めひび割れに対して逆U型ハンガーリブの降伏で決まっているものである。しかし、合成床スラブの場合、実験値はこれら計算値よりかなり高い。これについては4.6節で考察を試みる。

#### 4.3 PC鋼材ひずみの変化

図5に荷重と上段および下段のPC鋼より線ひずみの関係を示す。下段ひずみは200～300 $\mu$ に達した辺りから急激に増大しているが、これは図4の荷重～たわみ関係の急激な勾配変化と対応している。測定されたひずみはプレストレス導入時のひずみ（JISの規格降伏点1.471kN/mm<sup>2</sup>の80%の応力に対するひずみ）を差し引いたものであるので、図の降伏ひずみを引張試験結果の降伏点ひずみとプレストレス導入時のひずみの差から求めれば、PT-1, PTCS-1で約5600 $\mu$ 、PTCS-2で約4580 $\mu$ である。したがって、最大荷重時PT-1, PTCS-1の場合、上下段とも降伏しているが、PTCS-2の場合は降伏していないが、端部破壊の直前には上下段とも降伏ひずみ近くまで達している。

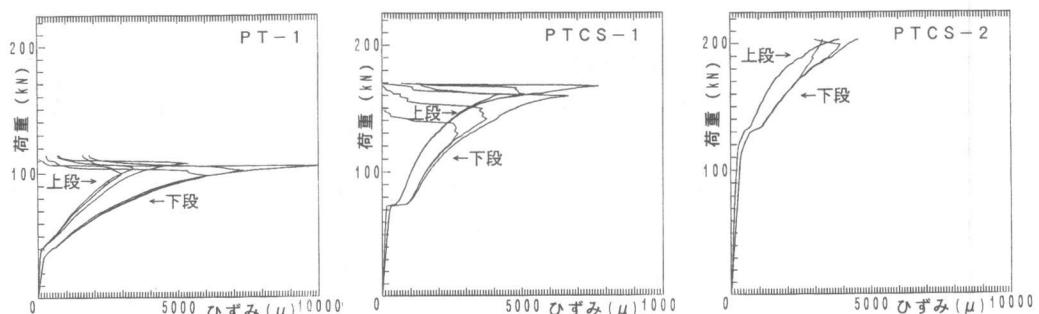


図5 荷重～PC鋼より線ひずみ関係

#### 4.4 ひび割れ性状

図6に各試験体の最終ひび割れ図を示す。初期ひび割れは各試験体とも曲げモーメントが一様な区間のリブ下面に生じた後、上方に進展し、最後に場所打ちコンクリートまで達している。また、この曲げひび割れが平板部まで達した頃、平板部とリブの境に水平にひび割れが生じたが、

大きなひび割れには進展しなかった。PT-1, PTS-2は、これらのひび割れとは別に端部リブが平板部から剥がれる形で終局に至っている。

#### 4.5 コンクリートひずみ分布

試験体上面のコンクリートの幅方向のひずみ分布の一例を図7に示す。全体的に上面ひずみは、概ね全幅によく分布しており、T形スラブとしての有効幅は全幅有効と考えられる。

#### 4.6 端部補強方法の考察

前節4.2で述べたように文献[3]によるせん断耐力計算値は、いずれの試験体も切欠き部から材軸に対して45度方向の斜めひび割れを想定し、逆U型ハンガー筋が降伏するとして導かれたものである。しかし、合成床スラブの場合、最大荷重値は計算値よりかなり高い。ここで、端部で平板部とリブ部が剥離して終局に至ったPTS-2について考えてみる。

計算の前提として逆U型ハンガー筋が降伏する時には、斜めひび割れが先に生じていないといけない。しかし、実験結果からハンガー筋が降伏するとして求めた荷重時にはまだ斜めひび割れは生じていなかったものと考えられる。また、平板部とリブ部が剥離した時の荷重203kNは斜めひび割れ荷重に相当するものと考えられる。さらに斜めひび割れ発生後にも問題がある。図1の配筋図において切欠き部から材軸に対して45度方向の斜めひび割れを想定すると、ハンガー筋の板部への定着長は少ない。斜めひび割れ発生

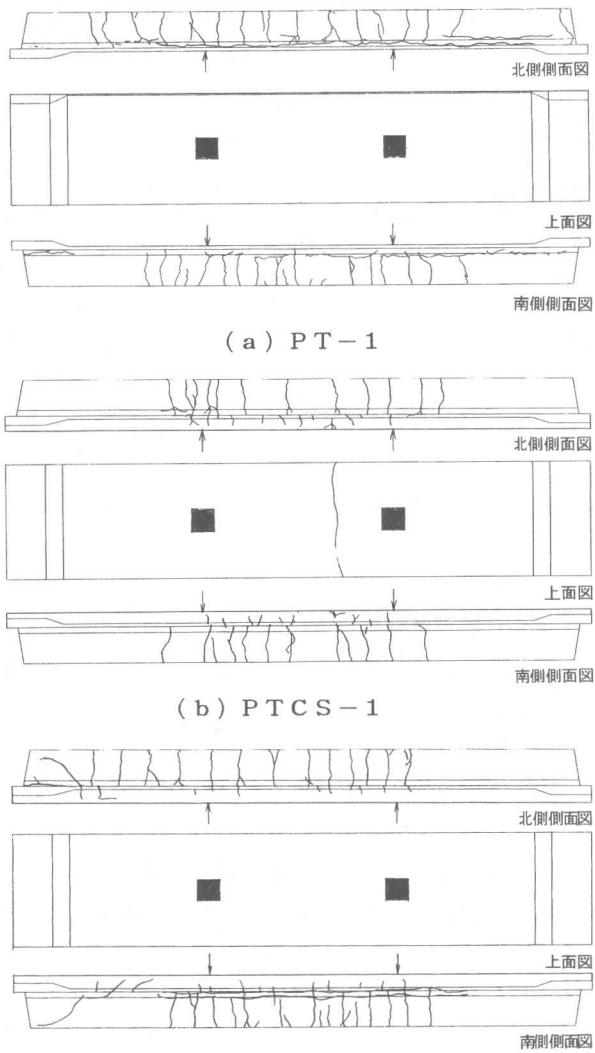


図6 ひび割れ状況

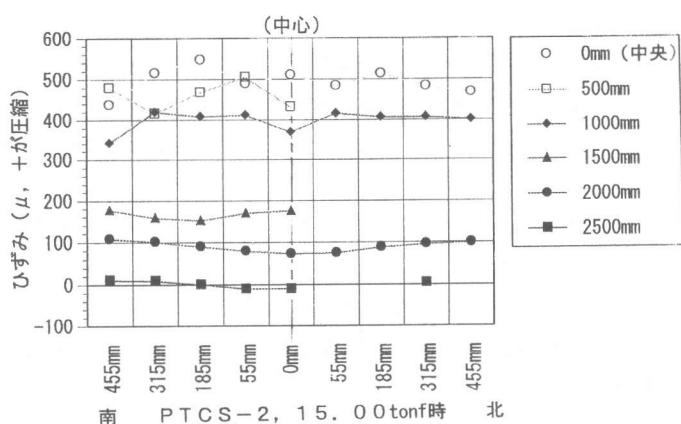


図7 上面コンクリートひずみ分布

後ハンガー筋が降伏以前に容易に抜け出し、耐力は急激に低下したものと考えられる。そこで、ハンガー筋の効果を発揮するためには、斜めひび割れを横切るようにハンガー筋の定着長を場所打ちコンクリートまで延長し、かつ、ハンガー筋の断面積も大きくして降伏荷重がひび割れ荷重を上回るようにしておく必要がある。

P T - 1, P T C S - 1 と同断面で、筆者等が前年度行なったスパン 7, 6.5 m の試験体 [4] では、いずれも曲げ破壊であった。P T C S - 2 と同断面で 9 m スパンの実験は行っていないが、以下の理由で曲げ破壊になるものと考えられる。今回の定着長の短い端部補強方法で、スパン 5 m の実験値 203 kN が端部破壊で決まる耐力であるから、自重を考慮してスパン 9 m の場合、端部破壊耐力は 184 kN となる。ところが、スパン 9 m の場合の曲げ耐力計算値は、表 1 の降伏強度を用いた場合、71.6 kN になる。実際の曲げ耐力を P T C S - 1 のように約 3 割増しと仮定すれば、93.2 kN であるから、スパンを長くしても、端部破壊の前に曲げ破壊するものと考えられる。しかし、前述のように太いハンガー筋を用いて、かつ、ハンガー筋の上部定着長を長くし、端部補強の信頼性を増しておく必要があると思われる。

## 5. むすび

T 形 P C 板埋設型枠を用いた合成床スラブの短期期載荷実験を行い、次のことが分かった。

- i ) 初期剛性は断面の種類で異なるが、合成スラブの場合、ヤング係数の違いを考慮した等価換算断面を用いて求められる。
- ii ) 初期に発見したひび割れの発生荷重は計算値より小さいが、剛性が大きく変化する時の荷重は、等価換算断面を用いてほぼ計算できる。また、最大荷重は文献 [2] による曲げ耐力計算値より約 2 ~ 3 割高い。文献 [3] によるせん断耐力計算値に対しては P C 板単体は計算値に近いが、合成スラブの実験値は安全側であるが計算値よりかなり高い。
- iii ) 常用荷重に対して今回のように切欠き端部を逆 U 形ハンガー筋と U 形水平補強筋で補強すれば問題はない。しかし、終局時では大スパン用に設計された断面の試験体を短スパンで試験したため、せん断が曲げより卓越し、端部でリブと平板部が分離して破壊してしまった。大スパンでは端部破壊より曲げ破壊が先行するものと考えられるが、端部補強の信頼性を増すためにも太いハンガー筋を用い、かつ、ハンガー筋の上部定着長を長くしておく必要がある。

## 参考文献

- [1] 小森清司 他：ひし形網目状の粗面を打継ぎ面に有する合成床スラブの打継ぎ部せん断耐力に関する研究、日本建築学会構造系論文集第 458 号, pp. 89 - 98, 1994. 4
- [2] 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説、1979 年版, pp. 177 - 190
- [3] 日本建築学会：プレストレストコンクリート（P C）合成床板設計施工指針・同解説、1994 年版, pp. 32 - 94
- [4] 森田宗男 他：ダブル T 型 P C 合成床板の短期破壊性状、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 635 - 640, 1996. 10

## 〔謝辞〕

本研究に御協力いただいた長崎大学大学院生および学生諸氏、および株式会社富士ピー・エスの関係各位に深く感謝いたします。