

(52) ウェブ部に多数個の円形開口を有するダブルT型プレキャストPC床板
に関する実験的研究

ドーピー建設工業(株) 建材開発課 正会員 ○鳥屋 隆志
同 上 北海道本店 正会員 中居 純一
北海道職業能力開発短期大学校 正会員 和田 俊良
北海道大学 工学部 正会員 上田 正生

1. はじめに

ダブルT型プレキャストPC板(以下、DT板と略記する)は、RC造建物の床スラブを構築する際の埋設型枠の一種として多用されている。著者らも、この種プレストレストDT板の有用性に着目し、前報においては、端部のせん断補強法に関する二三の実験を実施し、「変形ヘアピン型」補強法を提案してその妥当性の検証を行った。しかしながら、この種のPC板を用いて製作された床スラブの破壊実験を行ってみると明らかなように、その合成されたスラブとしての最大耐力は極めて大きく、一体打ちされたスラブのそれと比較しても過大にすぎるほどの値を示すことが知られている。言い過ぎを恐れずに表現すれば、「DT板のウェブ部は、トップコンクリートの硬化後においては、最早不要である」とさえ言える程である。更にまた、このDT板を用いて作られた床スラブを実際に使用する側からみれば、「天井から垂れ下がったウェブ群は鬱陶しい存在以外のなにものでもない」ことは容易に想像される。そこで著者らは、無用の長物視され勝ちなこのウェブ部にも幾分か役割を与えるべく、これらの部分に多数個の円形開口を配置することとし、その実用の可能性を探ることとした。このようなDT板のウェブへの開口の設置は、改めて言うまでもなく、空調ダクトや給排水管などの建築設備口に大きな自由度を付与することにも繋がり、実用上大きなメリットも期待される。

著者らはこの度、ウェブ部に多数個の円形開口を有するプレキャストPC・DT板の実用化の可能性を探るため、この種のDT板の試験体を数種作成し、これらの試験体のプレストレス力導入時と据え付け時の挙動を調べ、更には短期載荷曲げ破壊実験を実施したので、本報告では、その結果について報告し若干の検討・考察を行ってみることにする。

2. 実験の概要

2.1 試験体

試験体は、短期載荷曲げ実験用として、実用モデルの2分の1幅を取りだしたシングルT型の断面をもつプレキャストPC床板全10体である。これらの内、開口を有するものは8体、無開口のものは2体である。スパン長は実大の12.48mを採用した。図-1に試験体の断面形状を示す。試験体の中央部の断面は、日本工業規格(JIS)に規定された形状を採用し、端部は、すでに報告している端部せん断実験(11)によって安全が確かめられた変形ヘアピン型補強筋を用いた断面形状を採用している。同図中の斜線部は、設計基準強度 $F_c=240\text{kgf/cm}^2$ の後打ちコンクリートで、図は合成断面とした場合の試験体の断面形状であるが、

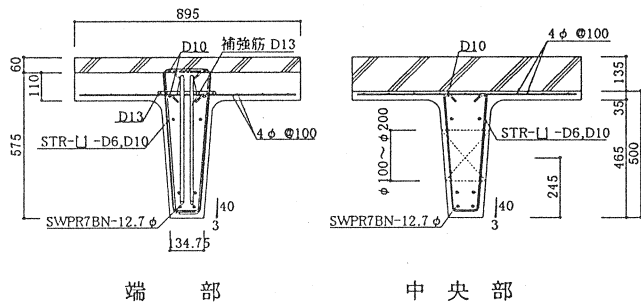


図-1 試験体の断面形状

レキャストPC床板のみの試験体は、いうまでもなく、これらの断面の斜線部の後打ちコンクリート部分を取り除いた断面形状を有している。

試験体の製作は、実際に施工されるものと同様の手順で行い、プレキャストPC床板の打継ぎ面となるフランジ部上面は、すべての試験体において引き上げとしている。また、プレストレス力導入力は開口の有無に関わらず、PC鋼材規格降伏点強度に有効率0.80を乗じた値としている。

図-2に試験体SST-2の配筋状況を示す。開口補強は、開口周辺のスターラップ(D6)を密に配置することで行っているが、試験体SST-2のみはスターラップによる開口補強に加え、図に示すような波型の補強筋を交差するように設置してある。また、比較のための無開口試験体は有開口のものと同じ配筋形状を採用している。

表-1に試験体記号と各試験体の特徴の一覧を示す。表中の試験体記号STは無開口の試験体で、SSTは円形開口を有する試験体である。また、最初に記号Cのついているものは、後打ちコンクリートが打設され、合成断面とした試験体である。同表に示すとおり、試験体の主なパラメータは、円形開口の有無、大きさおよびその間隔で、SST-1を基本型として設定したものである。

2.2 荷重と測定の方法および測定項目

荷重方法は、両端単純支持における中央部の2点荷重(区間中央で1,500mm)で、曲げ試験機(油圧ジャッキ、最大能力100t)を用いて行った。測定は、高感度変位計を用い、試験体中央部、荷重点および端部の変位量を測定した。実験の主な目的は、最大耐力と荷重-変位形状の把握であるが、コンクリートのひびわれの進展状況も観察した。図-3に荷重方法と変位測定位置をまた、表-2、3に使用材料の諸定数を示す。

3. 実験結果と考察

3.1 ひびわれ状況

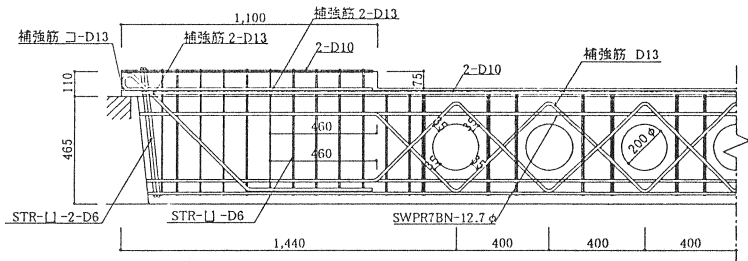


図-2 試験体の配筋状況(試験体SST-2)

表-1 試験体記号と各試験体の特徴一覧

試験体名	孔の径	孔のピッチ	PCa部分コンクリート材令(日)	トップコンクリート材令(日)	開口補強筋
ST-1	—	—	38	—	スターラップのみ
SST-1	φ200	φ400	38	—	〃
SST-2	φ200	φ400	34	—	スターラップ+波型
SST-3	φ200	φ800	34	—	スターラップのみ
SST-4	φ150	φ400	34	—	〃
SST-5	φ150	φ400	18	—	〃
SST-6	φ100	φ400	34	—	〃
SST-7	φ100	φ400	18	—	〃
CST-1	—	—	38	13	〃
CSST-1	φ200	φ400	38	13	〃

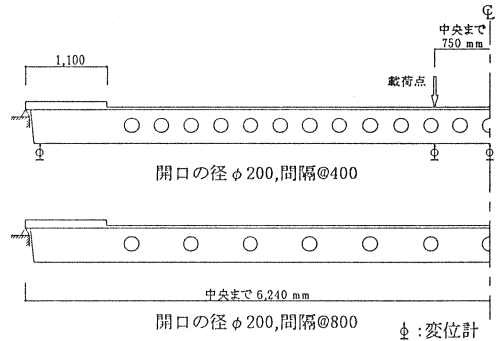


図-3 荷重方法と変位測定位置

表-2 コンクリートの材料定数

試験日材令(日)	圧縮強度 $F_c(N/mm^2)$	割裂強度 $F_t(N/mm^2)$	ヤング係数 $E_c(N/mm^2)$
PCa部分	18: 70.2	4.4	47,996
	34: 72.7	4.1	43,130
	38: 54.0	3.8	39,023
トップコン	13: 34.0	2.7	34,190

表-3 鋼材の材料定数

呼び名	材質	降伏点 $\sigma_y(N/mm^2)$	引張強度 $\sigma_{my}(N/mm^2)$	ヤング係数 $E_s(N/mm^2)$
D6	SD295A	375	569	205,940
D10	SD295A	365	530	205,940
D13	SD295A	345	510	205,940
PC鋼より線 7本より 12.7mm	SWPR7B	1,580	1,876	205,940

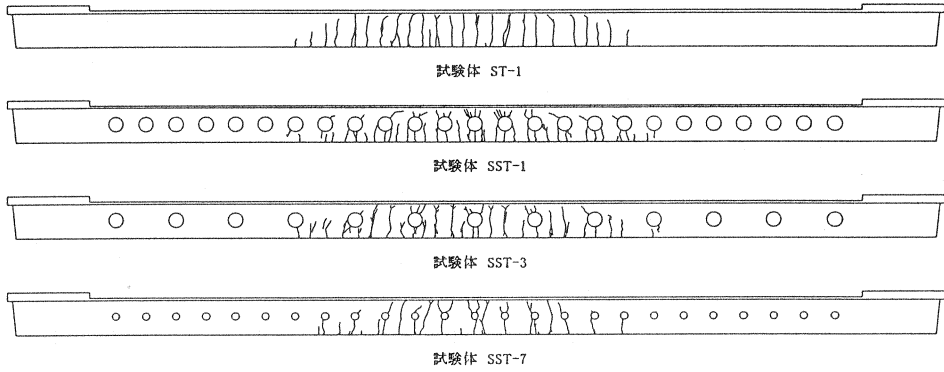
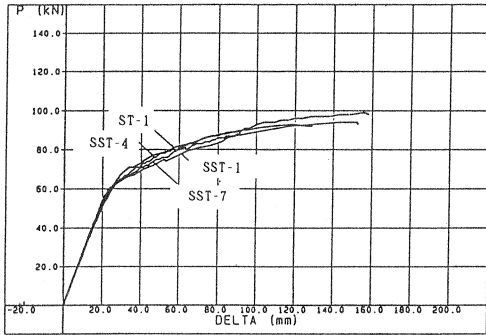
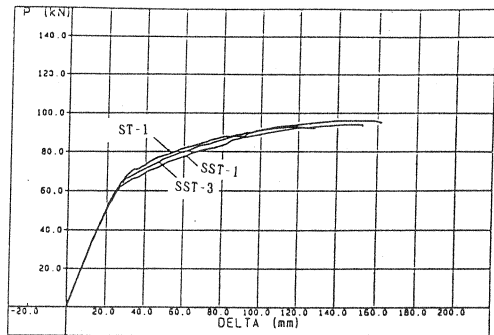


図-4 最終ひびわれ状況



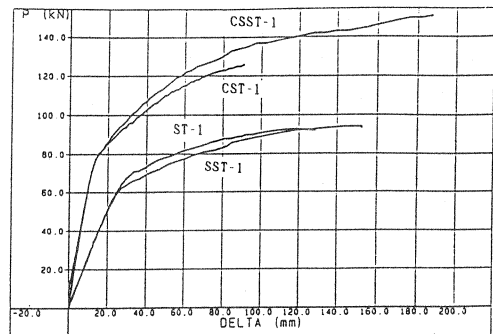
(a) 開口の径による比較



(b) 開口間隔による比較

プレストレス導入時において、端部開口部近傍の外円中央部に水平方向の極わずかなひびわれ(幅0.01mm程度、長さ20~30mm)が観察された。これは、プレストレス力の影響によるもので、開口の間隔の大きいSST-3において比較的顕著に現れた。しかしながら、試験体の据え付け打設時において、この水平ひびわれの伸展はなく、後述するが、短期載荷曲げ試験においてもひびわれの伸展は観察されなかった。載荷開始後のひびわれ発生状況は、有開口のものは、無開口のものと、大要、同じであった。ここでは、その概要を述べる。

まず初めに、試験体中央下面部にひびわれが発生した。その後、ひびわれは載荷点の近傍、載荷点間の順に発生し、ひびわれ間隔が均等になるように広がりを見せた。ひびわれが開口部に達すると、そこから載荷点に向かう方向にひびわれが発生し、伸展した。そ



(c) ST-1とSST-1およびCST-1とCSST-1の比較

図-5 荷重-変位関係

の後、ひびわれはフランジ部に達するようになり、最大耐力をむかえた。ここで、最大耐力とは、実験において変形だけが進む状態の荷重を指す。

ひびわれの幅は破壊に至るまで、顕著に拡大する様子はなく、プレストレスの効果が十分であったと思われる。また、後打ちコンクリートとの合成断面とした試験体 CST-1 および CSST-1 では、打継ぎ面に沿うひびわれが最大耐力に近いかなりの高荷重段階において若干発生したが、後打ちコンクリートとプレキャスト P C 板の剥離は観察されなかった。試験体 SST-2 については、開口周辺に施した波型補強筋の効果は顕著に認められず、本実験においては、その有効性は確認されなかった。図-4 に最終のひびわれ状況を、図-5 に荷重-変位関係を示す。図-5 (a) は開口の径の異なるものを、(b) は開口の間隔の異なるものを、それぞれ無開口の試験体とともに、比較して掲げた。また、図-5 (c) には、基本となる試験体 SST-1 と無開口の試験体 ST-1、およびそれらの試験体にトップコンクリートを打設したタイプを、比較のために重ねて描いてある。なお、計測機器保護のため、変形を最終状態まで追跡できなかったため、最大耐力は次の表-4 を参照されたい。

表-4 は、全試験体の短期載荷曲げ実験によって得られた曲げひびわれ発生荷重と最大耐力およびこれらの実験に対する各計算値を併記し一覧したもので、同表には参考のため、実験値と計算値の比を掲げてある。表中の計算値は、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⑧に従って求めたものである。計算にあたっては、ウェブ部の開口部の取り合いは、それを欠損部分として扱い、単純に開口部面積を差し引いた断面形状とし、開口のないものと同様の方法で求めた。表中の曲げひびわれ発生荷重の項の計算値①については、荷重を求める際に、コンクリートの材料定数に曲げ引張強度を用い、②については引張強度をもちいて求めたものである。なお、曲げ引張強度は、コンクリートの引張強度を用いて類推したものである。表の結果からも明らかのように、①については、若干安全側に評価しているが、計算値は実験値をよく捉えているといえる。以上の結果から明らかのように曲げひびわれ発生荷重および最大耐力とも有開口のものは、無開口のものと同様であり、プレストレスの影響による端部開口部の水平ひびわれも最大耐力および変形性能にほとんど影響をおよぼさなかった。また実際に前述したように端部開口部近傍の円周外端に亀裂発生がみとめられた。

表-4 実験値と計算値の比較一覧

試験体名	曲げひびわれ発生荷重					最大耐力		
	実験値 (KN)	計算値		実験値/計算値		実験値 (KN)	計算値 (KN)	実/計
		①(KN)	②(KN)	①	②			
ST-1	80.9	77.3	85.8	1.05	0.94	113.9	106.4	1.07
SST-1	74.2	64.8	71.6	1.15	1.04	113.3	106.4	1.06
SST-2	79.2	65.5	73.0	1.21	1.08	115.2	107.2	1.07
SST-3	79.1	66.5	74.7	1.19	1.06	115.1	107.2	1.07
SST-4	76.9	63.9	72.0	1.20	1.07	112.9	107.2	1.05
SST-5	80.9	65.2	73.4	1.24	1.10	117.9	107.1	1.10
SST-6	75.4	62.2	70.9	1.21	1.06	117.4	107.2	1.10
SST-7	79.4	63.6	72.3	1.25	1.10	114.4	107.1	1.07
CST-1	109.8	97.0	113.8	1.13	0.96	170.0	150.5	1.13
CSST-1	100.8	94.1	105.7	1.07	0.95	180.4	150.5	1.20

これらの実験結果から、複数の円形開口を有する T 型断面を有するプレキャスト P C 床板が十分な曲げ性能をもつことを示した。また、試験体のパラメータである開口の径および間隔の違いによって、最大耐力および変形性状に顕著な影響は観察されず、プレストレスの影響による端部開口部の水平ひびわれの伸展もなかった。

3. 2 FEM材料非線形解析による初期ひびわれ挙動の検討

本報告のプレキャスト P C 床板試験体はすべて、脱枠時に所定のプレストレス力が導入されている。無開口試験体の場合には、プレストレス力導入に伴うひびわれが発生しなかったが、本 SST ならびに CSST シリーズのように円形開口を有すると、開口周囲の応力集中箇所にひびわれを誘発することが懸念され、また実際に、前述した様に端部開口部近傍の円周外端にひびわれの発生が認められた。ここでは、さらに FEM 材料非線形解析を用いて「プレストレス力が円形開口部材のひびわれ性状に及ぼす影響」を若干検討することにする。

ここで解析対象とする試験体は、開口径 200mm、ピッチ@400mm を有するプレキャスト P C 床板に後打ちコ

ンクリートを打設したCSST-1であり、図-6にその解析モデル（ここでは、簡略のため、プレストレス力導入時のモデルのみ）を示す。同図のように、コンクリート部分をアイソパラメトリック4角形4節点要素で要素分割し、PC鋼より線、変形ヘアピン型補強筋ならびにせん断補強筋をトラス要素でモデル化した。プレキャストPC床板部の円形開口は、直径200mmの円に内接する正8角形で近似している。またCSST-1には、その製作方法からプレキャスト部と後打ちコンクリート部の境に打ち継ぎ面が形成されるので、その滑り挙動を厚さ1mmのアイソパラメトリック4角形8節点ボンド要素で置換して取扱うことにした。

表-5 材料性状一覧

	ヤング係数 (kg/cm ²)	せん断強度 (kg/cm ²)
PCaコンクリート	398,035.0	30.5
後打ちコンクリート	323,635.0	21.1
鉄筋	2,100,000.0	-
PC鋼より線	1,993,522.0	-

表-6 接合部の剛性

せん断係数(kg/cm ²)	ヤング係数(kg/cm ²)
86,083.5	266,734.0

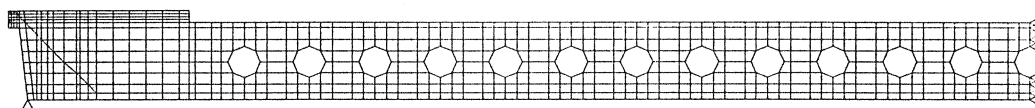


図-6 解析モデル

本解析では、①プレキャストPC床板のプレストレス導入時と②据え付け打設時の初期の応力状態をシュミレートするために、解析種類を①と②の2つに区分する。そして、これらの支持境界条件として、対象性を利用して半スパンのみをモデル化し、①の場合、プレキャスト部材下端部にローラーを施し、②の場合、上端の掛り部にローラーを仮定し、設置した。試験体に作用する荷重は、自重とプレストレス力とし、自重は物体力として、プレストレス力は初期応力法によって評価している。

表-5に解析に用いた材料性状を、表-6に解析に使用した接合部の剛性を掲げる。上記の①と②の低応力レベル下では、コンクリートの圧壊ならびに鉄筋とPC鋼より線の降伏は発生しないと考えられるので、コンクリートの引張破壊のみを考慮したひびわれ非線形解析を行った。

解析結果は、プレストレス力導入時ならびに据え付け打設時とも開口周囲水平部にわずかに発生し、PC鋼より線定着部でのひびわれは見られない。解析結果を詳細に観察すると、プレストレス力導入によって、ひびわれは端部開口の複数のガウス点に形成され、これ以外の開口は極めて微細なひびわれが分布した。また、据え付け、後打ちコンクリート打設時には、打設による部材の全体剛性の上昇からひびわれが伸展しないことが確認された。

本解析では、プレストレス導入時にプレキャストPC床板の開口周囲にひびわれがわずかに発生することが示されたが、前節でも述べたように、これらのひびわれが部材の変形耐力性状にほとんど影響を与えないことは実験結果より明らかであり、実用的には、全く問題はないものと考えられる。

4. まとめ

本報告では、埋設型枠の一種として多用されるプレキャストPC・DT板のウェブ部に複数個の円形開口を設けた場合の実用化の可能性を探るために、開口円径と開口数の異なる数種の試験体を作製して実験を行った。本研究の結果得られた結果を要約すると以下のようになる。

- 1) プレストレス力導入時に、円形開口を有する全ての試験体の両端部側の外円中央近傍にヘアクラックが発生したが、短期破壊実験時を含めて、これらのクラックにはその後ほとんど伸展はなく大きな変化は認めら

れなかった。

- 2) 短期載荷による破壊実験において、円形開口を有する全ての試験体は、プレキャストPC板単体の場合のみならずトップコンクリートをもつ合成床板試験体についても、無開口の試験体の荷重・変形応答との大きな乖離は殆ど認められなかった。

以上の結果から、本実験で設定した程度の円形開口を有するプレキャストPC・DT板は、短期的には十分実用化が可能であることが示された。しかしながら、材端近傍の開口部に生じたヘアクラックの長期的な影響を調べる必要があるので、現在、同型のプレキャストPC・DT板を実際の建物に使用して観測を続行中である。

最後に、本研究を行うにあたり、北海道大学の内山 武司教授および土橋 由造名誉教授、両氏に多大なるご指導を賜りましたことを、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1]田村聖、岡部一宏、和田俊良、上田正生、内山武司：ダブルT型プレキャストPC板のためのビーム型試験体のせん断補強に関する実験的研究，第4回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.123-128，1994.10
- [2]中居純一、倉持春夫、河野勝、上田正生、土橋由造：変形ヘアピン型せん断補強を有するT型プレキャストPC板の端部せん断耐力に関する実験，第4回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.129-134，1994.10
- [3]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，1987.