

## 論文 ハンチ後付けプレキャスト PC 床版の疲労耐久性と静的破壊性状

佐藤政勝\*<sup>1</sup>, 関口幹夫\*<sup>2</sup>, 横山 広\*<sup>3</sup>, 木田秀人\*<sup>4</sup>

要旨：プレキャスト床版では、鋼主桁との取り付け部に該当するハンチと矩形スラブが一体で成形されるが、橋面高さや鋼主桁上フランジ幅と厚さの変化に対応できるよう、ハンチの形状を変化させることが多い。そこで、高さ変化に対応するハンチと一定形状の矩形スラブを個別に製作し、これらのハンチとスラブをエポキシ樹脂で接着したハンチ後付けプレキャストPC床版を提案した。ハンチと矩形スラブを接着した床版単体の交番載荷試験およびハンチ接着プレキャストPC床版の各種載荷試験より、ハンチ接着床版の耐力は一体成形したものと同等であることやプレキャストPC床版の繰返し荷重に対する高耐久性を確認した。

キーワード：プレキャストPC床版、ハンチ接着工法、疲労耐久性、押し抜きせん断耐荷力

## 1. まえがき

平成6年2月に改訂された道路橋の設計活荷重の増加に伴い、取替え床版として、床版厚さを旧床版のものと同等に抑え、かつ高耐久性を有するプレキャストコンクリート床版が採用される傾向にある。このプレキャスト床版では、既設主桁との取り付け部に該当するハンチコンクリート（以下、ハンチと略する）と矩形スラブが一体で成形されるが、橋面高さや鋼主桁上フランジ幅の橋軸方向変化に対応できるよう、ハンチの形状を変化させることが多い。そのため、ハンチの型枠製作に余分な費用を要し、製造規模が小さい場合には型枠施工費に占める比率がかなり高くなる。特に、PC鋼より線による横締め作業を必要とするプレストレストコンクリート（以下、PCと略する）床版の製作ヤードでは、1作業ラインで多数のPC版を製作できる施工技術の改善が強く要請されている。

そこで、スペーサーの機能を有するハンチと矩形スラブを個別に製作した後に、この両者をエポキシ樹脂で接着したハンチ後付け接着（以下、ハンチ接着と略す）プレキャストPC床版

を提案し、工場製作の省力化を検討した。矩形スラブの下面にエポキシ樹脂により接着されたハンチは接着面で剥離することなく、矩形スラブとの一体性を確認する必要がある。

本研究では、一体成形したRC床版モデルおよび下面勾配をパラメータとしたハンチと矩形スラブを接着したRC床版モデルについて圧縮・引張の交番繰返し載荷（以下、交番載荷と略する）試験を行い、プレキャストハンチと矩形スラブの一体性を確認したうえで、ハンチ接着プレキャストPC床版供試体を製作し、この床版について移動載荷走行試験および定点高サイクル疲労試験により、繰返し荷重に対する耐久性を調査した後に、静的押し抜き試験を行い、PC床版の押し抜きせん断耐荷力やコンクリートのひび割れ状況などを確認した。

## 2. 実験概要

## 2.1 供試体

## (1) 交番載荷試験用供試体

表-1、図-1に供試体の種類と形状を示す。現場打ちRC床版に多く用いられている下面勾

\*1 ショーボンド建設(株)補修工学研究所室長 工博 (正会員)

\*2 東京都土木技術研究所技術部主任研究員

\*3 ショーボンド建設(株)補修工学研究所課長 (正会員)

\*4 ショーボンド建設(株)大阪支店技術部技術二課

配 1 : 3 のハンチと矩形スラブ (13cm \* 80cm \* 1m) を一体形成した HSIS 供試体, 同一形状のハンチをエポキシ樹脂接着した HSPS 供試体, 下面勾配を 1 : 1 とした HE8S 供試体および下面勾配を直角とした HV6S と HV0S 供試体である。コンクリートには, 呼び強度 45N/mm<sup>2</sup>, 粗骨材の最大寸法 13mm の生コンクリートを用いた。水中養生した材令 4 週目の圧縮強度は, 45.1N/mm<sup>2</sup> で, 気中養生した材令 4 週目の圧縮強度は, 43.8N/mm<sup>2</sup> であった。

表-1 供試体の種類とハンチ形状

供試体の記号	パネルの成形方法	ハンチの形状	
		下面勾配	下面突出長
HSIS	一体成形	1 : 3	無
HSPS	矩形版・ハンチ接着	〃	無
HE8S	〃	1 : 1	8cm
HV6S	〃	直角	6cm
HV0S	〃	〃	無

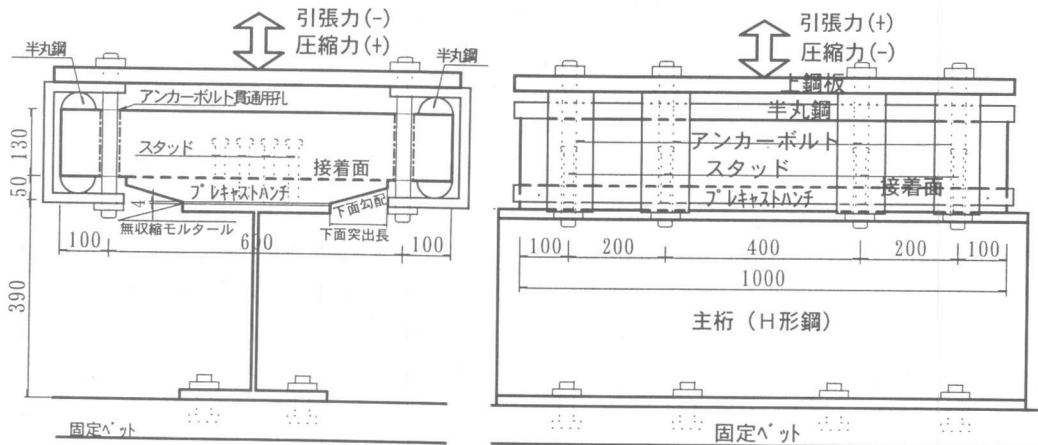


図-1 交番载荷試験用供試体の形状寸法および载荷位置・载荷方法 (単位 mm)

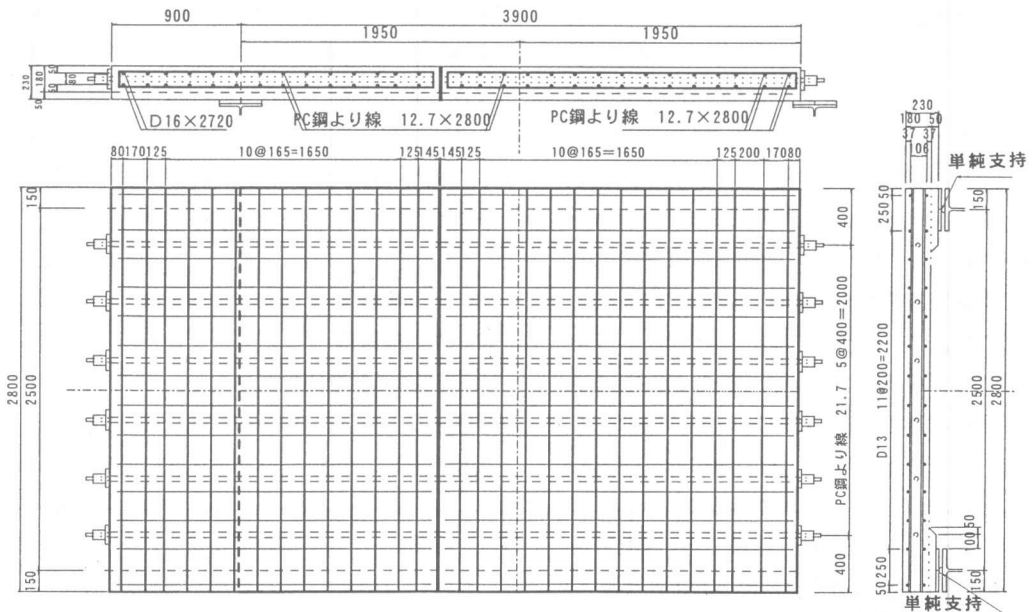


図-2 ハンチ接着プレキャストPC床版供試体の形状寸法 (単位 mm)

## (2) プレキャストPC床版供試体

東京都建設局所管の単純合成鈹桁道路橋における床版補強や取替え対象とするRC床版の厚さは16~19cmのものがあるが<sup>1)</sup>、ここでは厚さ18cmとし、また、支間が広くなるに伴い導入プレストレスが大きくなるので比較的狭い2.2m床版支間を対象に設計したプレキャストPC床版供試体の形状寸法、PC鋼より線(JIS G3536 SWPR7N、径12.7mm)および配力鉄筋(D13)の配置を図-2に示す。道路橋示方書Ⅲ、5.5.1の床版の設計曲げモーメントに対して供試体床版下縁の応力がほぼ零になるようなプレストレスとして、支間方向に $5.4\text{N}/\text{mm}^2$ 、その直角(橋軸)方向に $3.2\text{N}/\text{mm}^2$ が求められたので、それぞれの方向にそれらの値より若干低めの $5\text{N}/\text{mm}^2$ 、 $3\text{N}/\text{mm}^2$ のプレストレスを導入した。

PCスラブと下面勾配1:1の厚さ5cmハンチをそれぞれ製作し、ハンチをエポキシ樹脂で接着したPC床版を2主I形鋼上フランジ上面に取りつけた半丸鋼上に設置し、橋軸方向にPC鋼より線(JIS G3536 SWPR19N)を緊張し、供試体を製作した。コンクリートには呼び強度 $45\text{N}/\text{mm}^2$ 、粗骨材の最大寸法25mmの生コンクリートを用いた。気中養生した材令4週目の圧縮強度は $53.5\text{N}/\text{mm}^2$ 、その1/3の応力における割線弾性係数は $32.7\text{kN}/\text{mm}^2$ であり、実験終了後に実施した圧縮強度は $55.1\text{N}/\text{mm}^2$ で、その割線弾性係数は $35.3\text{kN}/\text{mm}^2$ であった。

## 2.2 試験方法

### (1) 交番載荷試験

矩形スラブ下面の接合面においてプレキャストハンチが剥離しないことを確認する目的で、図-1、写真-1に示すように、床版張出し部両端において載荷用鋼板とRC床版の下面をアンカーボルトで固定し、200kN疲労試験機により交番載荷の低サイクル繰返し試験を実施した。床版両端の回転変形を拘束しないように、床版上下面に半丸鋼を置き、また床版両端に均等な線荷重が掛るように、中央付近は粗な間隔に、桁端では密な間隔

に4本(計8本)のアンカーボルトを配置した。

載荷荷重のステップは、まず圧縮荷重を160kNまで載荷し、徐荷した後に、引張荷重を160kNまで載荷し、零に徐荷した。次に、圧縮荷重200kNまで増加し、徐荷を経て、引張荷重200kNまで載荷した。この段階で、接着接合面のはく離やコンクリートに引張破壊が生じない供試体については、さらに圧縮・引張荷重を繰返し載荷し、破壊までの回数と耐荷力を求めた。電気式変位計により支間中央における床版の鉛直たわみを、 $\pi$ 形クリップゲージにより接着接合面のはく離を測定した。

### (2) PC床版供試体の各種載荷試験

2主I形鋼上フランジ上面に設置したPC床版供試体は、橋軸直角方向を回転可能な単純支持とし、橋軸方向を横桁による弾性支持した。この床版供試体上を走行中の自走式移動載荷試験機を写真-2に示す。図-3に示すように、移動載荷の走行荷重は初期荷重160kN(30万回)から200kN(12万回)、250kN(5万回)、300kN(3万回)まで

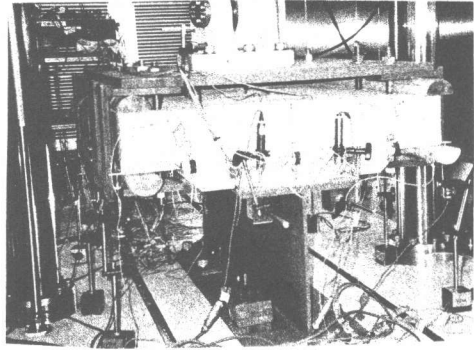


写真-1 交番載荷における試験装置と加圧状況

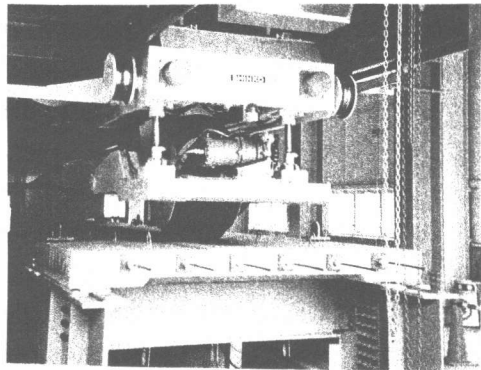


写真-2 PC床版上を走行中の移動載荷試験機

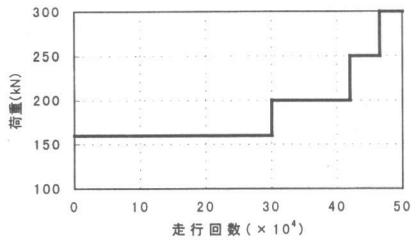


図-3 移動載荷試験の載荷プログラム

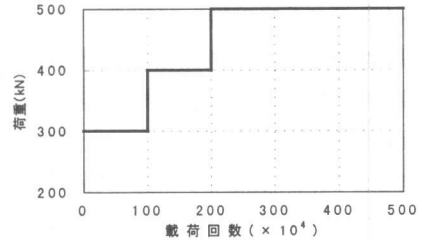


図-4 定点疲労試験の載荷プログラム

に階段状増加させたが、コンクリート下面にひび割れが発生せず、供試体の劣化が観察されなかったため、移動載荷試験を中断し、供試体を 500kN 疲労試験機に移し、床版中央集中荷重による定点疲労試験を実施した。図-4 に示すように、300kN (100 万回) から 400kN (100 万回)、500kN (300 万回) まで上限荷重 (下限荷重は 10kN) を増加させた繰返し載荷に対して、コンクリート下面のひび割れは進展したが、床版破壊の前兆が観察されなかったため、定点疲労試験を中断し、2MN 圧縮載荷装置により、同一支持条件の下で静的押し抜き試験を実施した。PC 鋼より線と配力鉄筋のひずみおよび床版下面におけるたわみの測定を各荷重ステップで随時実施した。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 交番載荷試験

##### (1) ハンチと矩形スラブの一体性

図-5 に、コンクリートの割裂破壊に至るまでの荷重履歴、繰返し回数およびコンクリートのひび割れ状況を示す。ハンチを接着接合した供試体の破壊性状は、図-5 (b) に示すように、一体成形した供試体と同じコンクリートの割裂破壊であり、接着面におけるはく離は観察されなかった。ハンチ下面勾配 1:3 の一体形成の供試体とハンチを接着した供試体の最大荷重を比較すると、両供試体とも 1 サイクル目の  $\pm 200\text{kN}$  では破壊せず、その後の繰返し載荷においてコンクリートが引張割裂した。低サイクル繰返し試験では、繰返し 10 回と 6 回は有意的な差と考え難く、両供試体の耐力は同等と見なせることから、ハンチ接着した床版は力学的にハンチも一体成形した床版と同等で

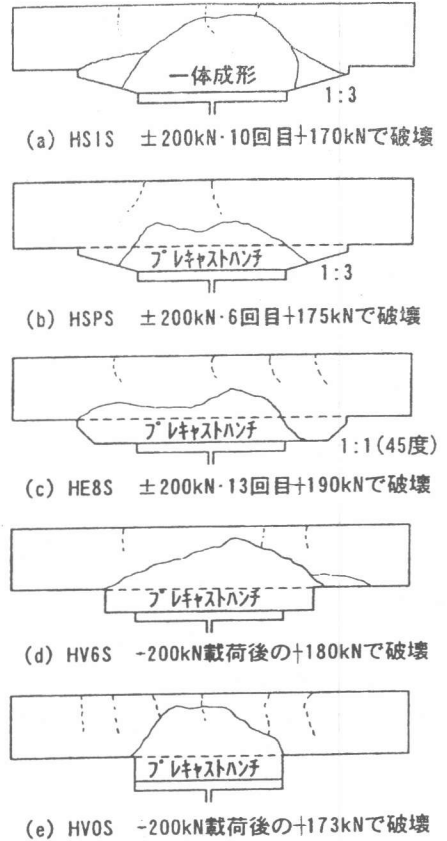


図-5 破壊荷重とコンクリートのび割れ性状

あると判断できる。

##### (2) 直角ハンチの有効性

接着界面のはく離を観察する目的で、交番載荷試験を実施したが、実道路橋床版の張出し部には、輪荷重による負の曲げモーメントが支配的であり、床版下面から突き上げる力による正の曲げモーメントは小さく、本実験で観察されたようなコンクリートの割裂破壊は実橋の床版に生じることはないものと思われる。

圧縮荷重 200kN 載荷後の引張荷重 180kN でコンクリートが破壊した HV6S 供試体の支間中央断面の床版側端から 5cm 内側における鉛直変位を示した図-6 から、下面突出長 6cm の直角ハンチ供試体の耐力は単調な圧縮力にたいしては、200kN 以上になるのことが予想される。

### 3. 2 PC床版載荷試験の結果と考察

#### (1) 繰返し載荷試験における疲労特性

図-7 に移動載荷試験時における活荷重たわみと走行回数との関係を示し、図-8 に床版中央における PC より線の弾性ひずみと走行回数との関係を示す。ここでは、たわみとひずみの実験値は、載荷時の値から除荷時の値を減じたもので、活荷重たわみと弾性ひずみと呼ばれるものである。移動載荷荷重を大きくするに伴い、コンクリートの割線弾性係数 (E) の低下が予想されるほか、輪荷重用タイヤの床版接地面積が大きくなるため、載荷荷重ステップごとにたわみを計算することとなるが、ここでは、載荷荷重 300kN 対応した計算値 ( $E=30\text{kN/mm}^2$ ) を一点鎖線で示す。

移動載荷試験機による延べ 50 万回の繰返し載荷に対して、PC 床版下面のコンクリートにひび割れの発生が観察されず、また図-8 に示すように上下対称位置にある PC 鋼より線のひずみの絶対値がほぼ同じ挙動を示し、断面の中立軸が版厚中央面に位置することからも全断面有効であると判断できる。全断面有効で、かつ等方性版と見なし、式(1) <sup>2)</sup> により求めた部分等分布矩形荷重 300kN に対応した計算値は実験値より若干小さめであるが、初期載荷に対してはほぼ等しいと評価できる。

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q(x, y)}{D} \quad (1)$$

ここに、 $D$  : 版剛度  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$

$E$  : ヤング率,

$\nu$  : ポアソン比

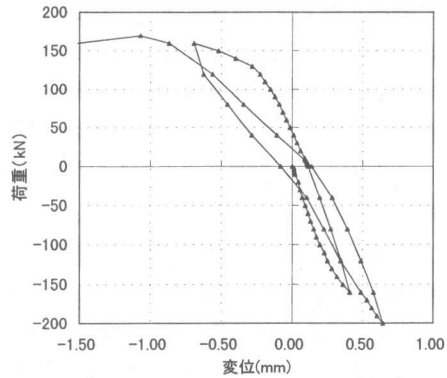


図-6 供試体 HV6S の荷重-変位曲線

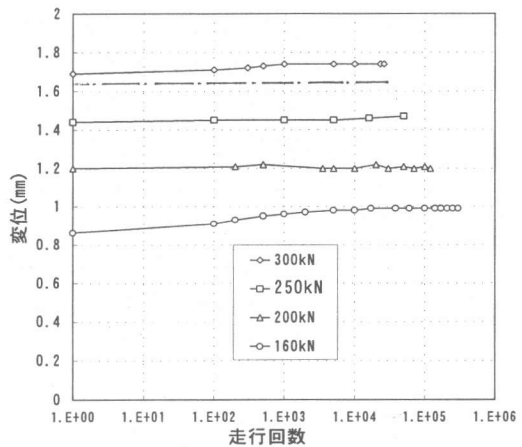


図-7 移動載荷試験における床版中央たわみの経時変化

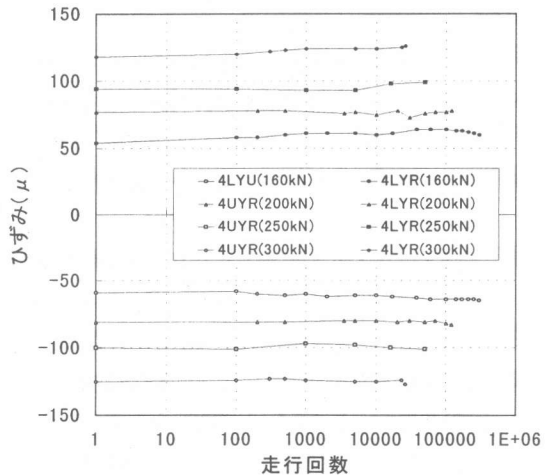


図-8 移動載荷試験における PC 鋼より線のひずみの経時変化

定点疲労試験では、荷重を 500kN に増加させた段階で、載荷位置床版下面にひび割れが発生し、その後の 300 万回繰返し載荷に対し、図-9 に示すようにそのひび割れが若干進展したが、ハンチのコンクリートひび割れは発生せず、ハンチの接着も健全な状態であった。

## (2) 静的押し抜きせん断耐力

図-10 に中央集中荷重載荷試験における荷重と床版中央のたわみ関係を示す。荷重 700kN を越えた段階でたわみが徐々に大きくなり、940kN で集中載荷位置周囲の床版コンクリートが押し抜きせん断破壊した。導入プレストレスの応力が支間方向と支間直角方向で異なる 2 方向 P C 床版の押し抜きせん断耐力の算定に対する提案式が見当たらないので、本供試体について 2 方向プレストレスの平均応力  $4\text{N/mm}^2$  が両方向に作用しているものとし、浜田ら<sup>3)</sup> が提案した算定式により耐力を計算した。この計算値 987kN と最大押し抜きせん断耐力がほぼ等しいことから、移動載荷試験と定点疲労試験による床版の耐力の顕著な劣化はなかったと判断される。

## 4. まとめ

ハンチ接着界面に着目した交番載荷実験およびハンチ接着プレキャスト P C 床版供試体の移動載荷試験と定点疲労試験および静的押し抜き試験により以下の点が明らかとなった。

- ① ハンチ接着した床版供試体の耐力と破壊時のひび割れ性状は一体成形のものとはほぼ同じ傾向を示し、ハンチ接着した床版は、力学的に一体成形した床版と同等であることが確認された。
- ② 下面突出長 6cm の直角ハンチ接着床版供試体の最大荷重は 200kN 以上を有し、実橋への適用に対し、十分な耐力が保証された。
- ③ 最高荷重 300kN を走行させた移動載荷試験と上限荷重 500kN (下限は 10kN) を 300 万回繰返した定点疲労試験では、ハンチ接着プレキャスト P C 床版は破壊の前兆が観察されず、十分な疲労耐久性を有することが確認された。
- ④ 繰返し載荷試験に実施した静的押し抜き試

験における最大耐力：940kN は、浜田らが提案した計算耐力とほぼ等しい値であって、本実験で実施した程度の繰返し試験に対して、押し抜きせん断耐力の顕著な劣化はないものと判断される。

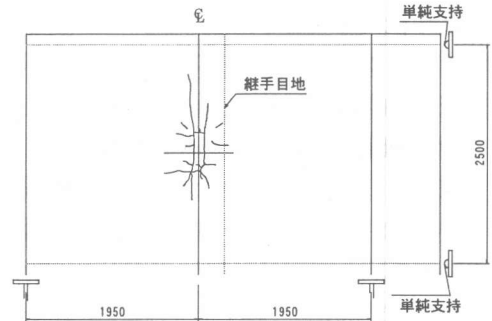


図-9 定点疲労試験終了時に観察された床版下面におけるコンクリートのひび割れ状況

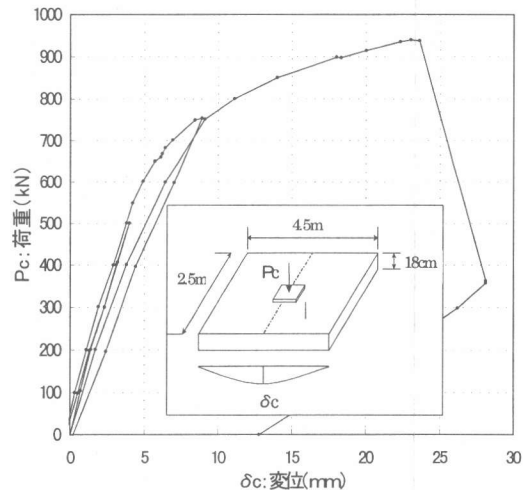


図-10 静的押し抜き試験における荷重と床版中央たわみの関係

## 参考文献

- 1) 関口幹夫：R C 床版補強工法の評価について，第 22 回日本道路会議論文集，1997.10
- 2) 成岡昌夫ほか：構造力学第三巻，板の力学，丸善（株），pp.96-117，1970
- 3) 浜田純夫ほか：プレストレススラブの押し抜き強度に関する一考察，プレレストコンクリ協会第 7 回シポジウム論文集，pp.7-12，1997.10