

# [87] PC板を埋設型枠とした合成床スラブの鉄筋コンクリート建築物への利用について

正会員 小森 清司 (長崎大学工学部)  
 正会員○原田 哲夫 (長崎大学工学部)  
 正会員 本橋 秀世 (長谷川工務店技術開発部)  
 正会員 菅野 昇孝 (富士PSコンクリート工務部)

## 1. まえがき

近年、鉄筋コンクリート床スラブ（以下RC床スラブと略記）施工の際、現場での型枠大工、鉄筋工等の技術労働者の確保がむずかしく、特に複雑な建築構造物の工事では、型枠作業に手間がかかり、工期短縮、労力節減の障害となっている。また、施工荷重による障害や、経過年数と共に増加するひびわれ、過大たわみなども深刻な問題となりつつある。このような事情に鑑み、プレストレスを導入した薄肉プレキャスト板（以下PC板と略記）を埋設型枠として用いた合成床スラブを建築物に利用することによって、これらの弱点をカバーする試みがなされつつある。

本報では、PC板を埋設型枠として、建築物の床スラブに利用する方法を紹介する。また、基礎的実験として載荷実験および固有振動数測定を行なったので、その結果を現場での2、3の実験とも併せて報告する。

## 2. PC板埋設型枠について

### 2.1 PC板の特徴

PC板は、軽くてしかも曲げに強い薄肉チャンネル型断面を有しており、図-1に示すように、大ばり間に敷き並べてゆきだけで、現場打ちコンクリート打設時の自重および、作業荷重を支える型枠の役目を果たす。従って、支保工なしで安全かつ迅速に工事ができる。しかも、現場打ちコンクリート硬化後には、スラブ断面の一部として現場打ちコンクリートと一体となって働かせることができる。また、プレストレスが導入されているためにひびわれの発生を遅らせる利点を有し、小ばりなしで、長大スパンを架け渡すことができる。

### 2.2 PC板の設計

図-2にPC板およびそれを用いた合成スラブの断面形状、寸法を示す。PC板上面には、現場打ちコンクリート

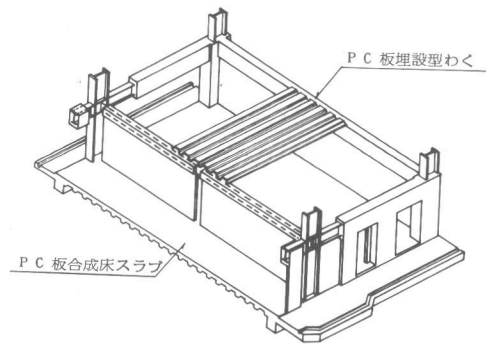


図-1 PC板を用いた建築床スラブ概略図

表-1 設計条件

| コンクリート (kg/cm <sup>2</sup> )   |                           | P C 鋼 材                                     |  |    |                      |
|--------------------------------|---------------------------|---|--|----|----------------------|
| プレストレス導入時強度                    | 350                       | 呼 び 名                                       | S B P D<br>130 / 145                   |    | S W P R 2            |
| 設計基準強度 F <sub>c</sub>          | 500                       | 公 称 径 (mm)                                  | 9.2                                    | 11 | 2.9 mm<br>2本より線      |
| 許容<br>曲げ<br>応力<br>度            | 圧 搦所打時                    | 公称断面積 (mm <sup>2</sup> )                    | 64                                     | 90 | 13.21                |
|                                | 引 搦所打時                    | 引張強度 σ <sub>pu</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )  | 14500                                  |    | 19500                |
| 引張<br>強度 (0.07F <sub>c</sub> ) | 166<br>1/3 F <sub>c</sub> | 降伏点強度 σ <sub>py</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) | 13000                                  |    | 17500                |
|                                | 2.10                      | プレストレス<br>導入時                               | 0.75 σ <sub>py</sub>                   |    |                      |
| 弾 性<br>係 数                     | 3.50                      | 許容引張<br>応力度<br>(kg/cm <sup>2</sup> )        | 定着完了時                                  |    | 0.70 σ <sub>py</sub> |
|                                | 3.0×10 <sup>5</sup>       | 弾性係数 (kg/cm <sup>2</sup> )                  | E <sub>p</sub> = 2.0 × 10 <sup>6</sup> |    |                      |
|                                | 3.6×10 <sup>5</sup>       |   |  |    |                      |

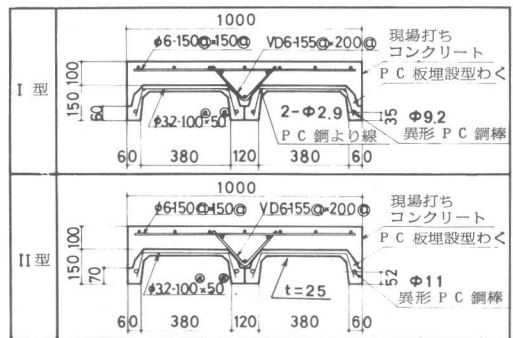


図-2 PC板、合成スラブ断面形状・寸法

表-2 有効プレストレス

|        |      |      |                              |
|--------|------|------|------------------------------|
|        | I 型  | II 型 | 圧縮+<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
| PC 板上縁 | -0.2 | -0.9 |                              |
| PC 板下縁 | 13.1 | 14.7 |                              |

との付着をよくする目的で粗面仕上げが施されている。プレストレスは、異形PC鋼棒φ9.2mm、φ11mmおよびφ2.9mmの2本より線により、表-2に示す有効プレストレスが導入されている。異形PC鋼棒は、将来、合成スラブの引張鉄筋としての役割も兼ねる。

表-1には、PC板の設計に用いたコンクリートおよびPC鋼材の強度・弾性係数を示す。表-3にはこれらの諸値を用いて計算したPC板および合成スラブの断面諸定数を示した。以上の設計によれば、表-5に示すように完成スラブ厚25cm、5.9mのスパンに対し、許容積載荷重を240kg/m<sup>2</sup>とることができる。PC板のコンクリートの配合表は表-4に示した。なお、II型とはI型の改良型で、防火性能を高めるために、PC鋼棒のかぶりを十分にとったものである。

3. PC板および合成スラブ載荷実験

3.1 短期載荷実験

1) 試験体および実験方法 試験体はPC板4体、合成スラブ1体とした。試験体の断面形状寸法は図-2に示したとおりである。なお、PC板1・2は実験の都合上図-2に示す断面の半分の幅50cmである。載荷方法は、PC板1・2は図-3に示す様に単純支持し、コンクリートブロックを均等にひびわれが発生するまで順次載荷した。PC板3・4および合成スラブは、単純支持、3等分2点載荷とし、油圧ジャッキにより施工時荷重およびひびわれ発生までそれぞれ載荷除荷を1回ずつ繰返し、その後は破壊まで載荷した。なお、PC板、合成スラブともスパンは5.6mとした。

2) 実験結果および考察

表-6に実験結果を示す。試験体により、載荷方法が異なるので、モーメントで比較する。PC板のひびわれ発生モーメントは、平均1.94t mで、設計モーメント1.83t m

表-3 PC板、合成スラブ断面諸定数

| 項目   | 単位              | I 型        |                             |                             | II 型  |                       |                       |
|--|-----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|-----------------------|-----------------------|
|  |                 | PC 板       | 合成スラブ                       |                             | PC 板  | 合成スラブ                 |                       |
|  |                 | *1<br>換算断面 | *2<br>r <sub>e</sub> =0.583 | *3<br>r <sub>e</sub> =0.389 | 換算断面  | r <sub>e</sub> =0.583 | r <sub>e</sub> =0.389 |
| 断面積  | cm <sup>2</sup> | 478        | 1139                        | 919                         | 480   | 1145                  | 923                   |
| 中立軸からの距離   | 場所打部上縁          | —          | 10.3                        | 11.3                        | —     | 10.3                  | 11.3                  |
|  | PC板上縁           | 6.1        | 0.3                         | 1.3                         | 6.2   | 0.3                   | 1.3                   |
|  | PC板下縁           | -8.9       | -14.7                       | -13.7                       | -8.8  | -14.7                 | -13.7                 |
| 断面2次モーメント  | cm <sup>4</sup> | 10752      | 51229                       | 40954                       | 10868 | 50196                 | 41725                 |
| 断面係数   | 場所打部上縁          | —          | 4974                        | 3624                        | —     | 4873                  | 3686                  |
|  | PC板上縁           | 1763       | 170763                      | 31503                       | 1753  | 167320                | 31610                 |
|  | PC板下縁           | -1208      | -3485                       | -2989                       | -1235 | -3415                 | -3050                 |
| PC鋼材偏心距離   | cm              | -3.7       | -9.5                        | -8.5                        | -3.6  | -9.5                  | -8.5                  |
| *1 : n = 6 (n = E <sub>p</sub> /E <sub>c</sub> ), *2, *3 : n <sub>c</sub> = E <sub>c</sub> /E <sub>c</sub> n <sub>c</sub> = 0.583 (E <sub>c</sub> = 2.1 × 10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup> )<br>n <sub>c</sub> = 0.389 (E <sub>c</sub> = 1.4 × 10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup> ) E <sub>c</sub> : 場所打部コンクリートの弾性係数 |                 |            |                             |                             |       |                       |                       |

表-4 PC板コンクリートの配合表

| 粗骨材<br>最大寸法<br>(mm) | スランブ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | 水セメン<br>ト比<br>(%) | 細骨材率<br>(%) | 単位重量 (kg) |      |      |     | 混和剤<br>(cc) |
|---------------------|--------------|------------|-------------------|-------------|-----------|------|------|-----|-------------|
|                     |              |            |                   |             | 水         | セメント | 細骨材  | 粗骨材 |             |
| 15                  | 0~3          | 1~3        | 38.2              | 60          | 172       | 450  | 1051 | 701 | 3.6         |

表-5 許容支間と許容積載荷重の関係

| 完成スラブ厚<br>(cm) | 許容支間<br>(m) | 許容積載荷重<br>(kg/m <sup>2</sup> ) |
|----------------|-------------|--------------------------------|
| 25             | 5.9         | 240                            |

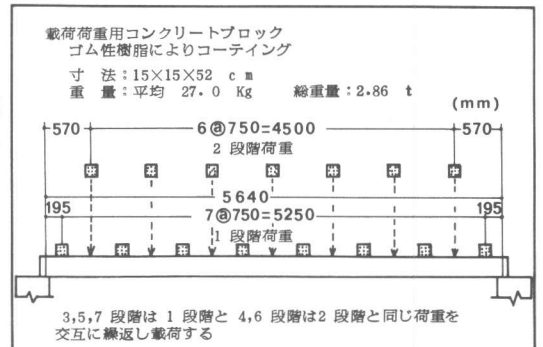


図-3 PC板1・2の載荷方法

表-6 短期載荷試験結果

| 試験体   | ひびわれ発生モーメント (荷重) |    | 終局モーメント (荷重)    |                 | 設計モーメント (荷重)     | 載荷方法<br>破壊形式    |                 |                |
|-------|------------------|----|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
|       | No.              | 型  | 実測値 (t m)       | 計算値 (t m)       |                  |                 | 実測値 (t m)       | 計算値 (t m)      |
| PC板   | 1                | I  | 1.73            | 1.83            | 3.53             | 1.65            |                 |                |
|       | 2                | II | 2.01            |                 |                  |                 |                 |                |
|       | 3                | I  | 1.99            |                 |                  |                 |                 |                |
|       | 4                |    | 2.11            |                 |                  |                 |                 |                |
| 合成スラブ |                  |    | 4.34<br>(4.65t) | 2.63<br>(2.86t) | 10.28<br>(11.0t) | 5.60<br>(5.99t) | 2.46<br>(2.63t) | スパン中央部PC鋼材引張破壊 |

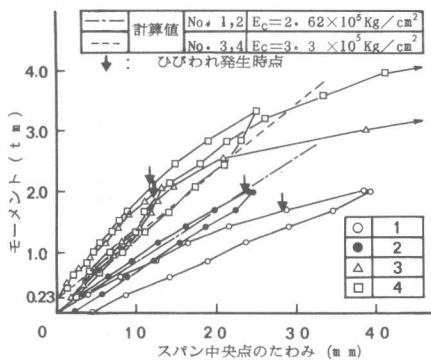


図-4 モーメント～たわみ曲線

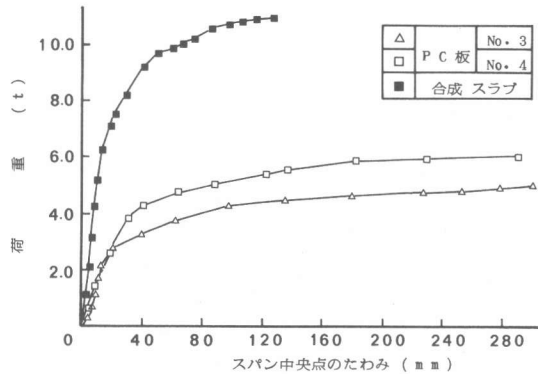


図-5 荷重～たわみ曲線

の1.2倍である。また、終局モーメントと設計モーメントの比、すなわち安全率は約2.8倍となる。合成スラブのひびわれ発生モーメントは、4.35 t m となり、(固定荷重+積載荷重)作用時の曲げモーメント2.46 t m の1.8倍となり、終局モーメントはさらにその4倍強となった。合成床スラブの強度は、十分余裕があるといえる。PC板および合成スラブの荷重(モーメント)～たわみ曲線を図-4、図-5に示す。図-4にはひびわれ発生までの性状を拡大して示した。PC板、合成スラブのたわみは、破壊時にはそれぞれ約30 cm、12 cmにも達し、エネルギー吸収能力の極めて高いことがわかる。また、ひびわれ発生の後、除荷した場合の残留たわみも2～3 mmであり、ひびわれもほとんど目視できない程度に閉じた。

### 3.2 長期荷重実験

以上、短期荷重実験では、一応良好な結果が得られたが、長期荷重によるたわみ性状等も、今後問題となってくる。現在、長期荷重荷重実験は続行中であり、いままでに得られた結果は「PC埋設型枠を用いた合成床スラブの長期荷重実験」と題して、今回の講演会で発表の予定である。

表-7 固有振動数一覧表

(Hz)

### 4. 固有振動数

固有振動数は、スラブの裏面に小型加速度計を貼り、自由減衰振動曲線をペン書きオシロにて記録測定した。その結果を表-7に示す。B試験体は、上記のPC板短期荷重実験により、ひびわれを発生させたものである。同表によればPC板単体の時は8～10 Hzと小さいが、合成後には約21 Hzにまで増加しており、十分な剛性が確保されたと言える。ひびわれを入れたB試験体も、ひびわれのない試験体に比べ、合成前、後とも固有振動数はほとんど変わらず、問題なさそうである。また、実測値はPC板のプレストレスによる効果を見逃した重力式による理論値ともよく近似していることがわかる。

以上の実験結果や、既往の研究結果<sup>3)~4)</sup>から、構造的には極めて優れた工法と言える。次に、現場での実験結果とも併せて施工性の面についても述べる。

### 5. PC板埋設型枠の実用化

#### 5.1 施工実施例

写真-1～4に現場施工の様子を示す。これによれば、一連の作業工程を概観できる。まず、写真-1に示すような無支保

| 試験体  | 測定状態 | PC板単体       |             | 現場打ち<br>コンクリート<br>打設後4日 | 仕上荷重<br>載荷前 | 積載荷重<br>載荷前 |
|------|------|-------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|
|      |      | ひびわれ<br>発生前 | ひびわれ<br>発生後 |                         |             |             |
| I A  | 実測値  | 10.6        | —           | 20.1                    | 20.0        | 19.7        |
|      | 理論値  | 8.0         | —           | 21.7                    | —           | 20.2        |
| I B  | 実測値  | 8.4         | 8.2         | 21.1                    | 21.3        | 19.6        |
|      | 理論値  | 8.0         | —           | 21.7                    | —           | 20.2        |
| II A | 実測値  | 10.3        | —           | 21.2                    | 21.1        | 19.6        |
|      | 理論値  | 7.9         | —           | 21.7                    | —           | 20.2        |
| II B | 実測値  | 8.4         | 8.4         | 21.4                    | 21.0        | 19.6        |
|      | 理論値  | 7.9         | —           | 21.7                    | —           | 20.2        |
| 構造系  |      | △ — △       |             | ⚡ — ⚡                   |             |             |

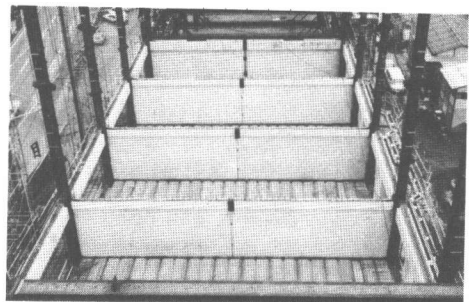


写真-1

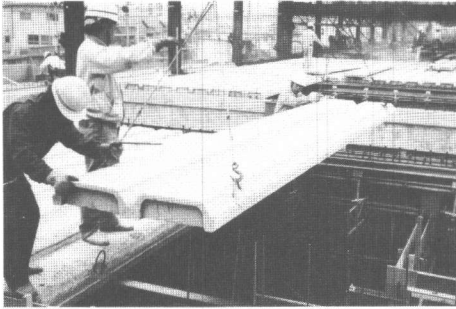


写真-2

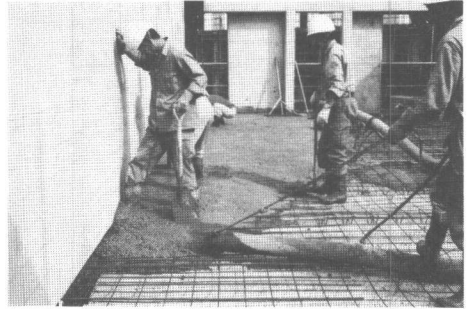


写真-3

工の大ばり間にPC板を据えつける。(写真-2) その後、接合部およびPC板上面に配筋し(写真-3) コンクリートを打設するだけで、周辺固定の1フロアーが完成する。写真-4は現場打ちコンクリート打設後の状況を部屋内側から見たものである。小ばりもなく、空間を広く使えることがわかる。

## 5.2 現場実験結果

1) 固有振動数 図-6に示す完成床スラブにおいて、タイヤ落下方式により測定した固有振動数の平均値を表-8に示す。固有振動数は約23Hzと、4.で示した21Hzに比べ増加している。これは周辺が固定された2方向スラブとしての挙動と解され、剛性も十分と考えられる。

2) 床衝撃音レベル測定結果 木造下地石膏ボード張り(厚さ9mm)が完了し、仕上げのタタミ、クロス貼が未完成の状態で実験した結果、遮音等級L-50と良好であった。

3) 防災 従来、PSコンクリートは耐火性に劣るといわれていたが、建材試験センターにおける2時間耐火試験に合格している。

## 5.3 施工上の長所および留意点

電気配管等の穴の位置や大きさが、PC板のリブ部により制約されること、現場打ちコンクリート打設前にPC板上面に湿潤状態にするため十分な散水を行なう等の留意点が挙げられる。しかしながら、躯体工程の1サイクルを比較した場合、在来工法で約2週間のところを本工法ではわずか8日で完了できる。しかも、現場では極めて重要な“安全に”工事ができるという利点がある。

## 6. むすび

以上より、PC板埋設型枠工法は構造面はもちろん、施工性にも極めて優れた工法と言えよう。今後、長期荷重によるたわみ性状、柱梁接合部の力学的性状等の研究も推し進めてゆくつもりである。

(謝辞) PC板の一部および合成スラブの短期載荷実験は、九州工業大学 開発土木工学科コンクリート実験室で行なわれた。出光助教授をはじめ、実験に御協力戴いた研究室の皆様へ深謝致します。

- (参考文献) 1) 渡辺, 出光, 倉富, 村上: PC埋設型枠の利用に関する基礎的研究: セメント技術年報 昭和53年  
 2) 渡辺, 出光, 原田, 村上: PC板埋設型枠の道路床版への利用に関する基礎的研究: セメント技術年報 昭和54年  
 3) 渡辺, 村上, 古賀: PC埋設型枠を用いた合成版に関する基礎的研究: 土木学会第33回年次講演会(V-15.3)  
 4) 出光, 原田, 村上: 繰返し荷重を受けるPC埋設型枠を用いた合成床版の挙動: 土木学会第34回年次講演会(V-130)

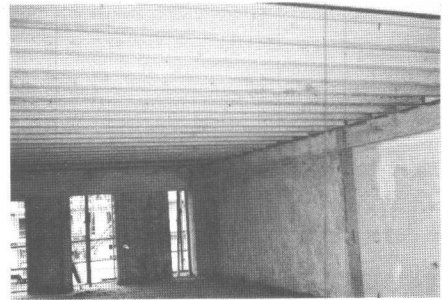


写真-4

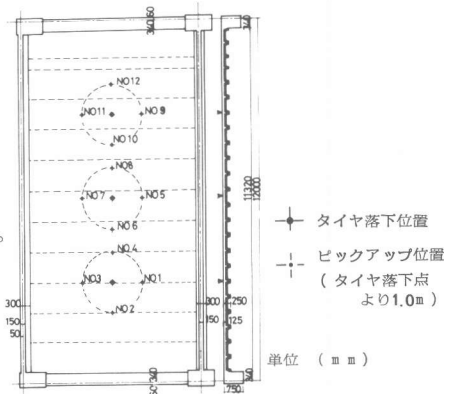


図-6 固有振動数測定箇所

表-8 固有振動数測定結果 (Hz)

|       |       |       |       |        |       |
|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| No. 1 | 23.52 | No. 5 | 18.44 | No. 9  | 23.01 |
| No. 2 | 22.85 | No. 6 | 17.98 | No. 10 | 23.35 |
| No. 3 | 23.26 | No. 7 | 18.44 | No. 11 | 23.18 |
| No. 4 | 23.09 | No. 8 | 18.66 | No. 12 | 23.01 |