

# 論文 段差付 PC 合成床スラブの耐力と破壊性状に関する研究

田中恭哉\*1・小森 清司\*2・蓼原 真一\*3・永藤 政敏\*4

要旨：建築物の浴室、便所等の床スラブは段差を設けるため施工が煩雑となることが多い。この場合、それがPC板埋設型枠で代替できれば好都合である。そこで本研究では、PC板埋設型枠に段差を設け、その部分を十分に補強した段差付PC板埋設型枠を製作し、鉛直載荷実験によって耐力、変形および破壊性状を明らかにした。その結果、段差を有するPC板の中間部でPC鋼材が切断され、不連続であっても、その部分に適切な形状寸法の矩形部を設け鉄筋補強を施すことで、段差のない従来のPC板とほぼ同等の耐力を有し、一般部の曲げ破壊を先行させることが可能であることが確認された。

キーワード：PC板，合成床スラブ，段差板

## 1. はじめに

建築物の浴室、便所などは水処理のため床スラブに段差を設ける必要がある。この場合、床スラブの中間に小梁を設けて区分し、別々の床スラブとして計画することが多いが、施工上非常に煩雑となる。その解決策として、予め所定の位置に段差を設けたプレキャストコンクリート板（PC板）を用いるPC合成床スラブ工法（図-1）が考えられる。アンボンドPC

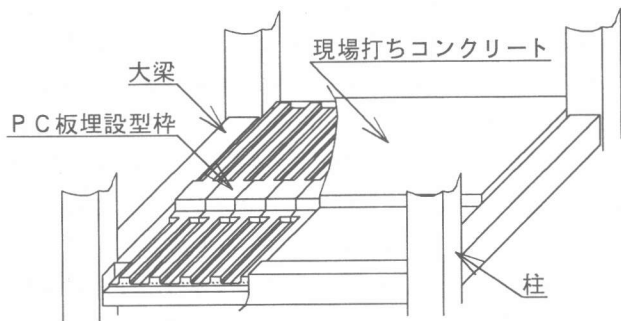


図-1 PC合成床スラブ工法概略図

鋼材を使用する場合、PC板の矩形部の幅を大きくしてスラブ全長を一本のPC鋼材で通すことも考えられるが、この方法では矩形部横のデッドスペースが増え、設備計画性や経済性の面で

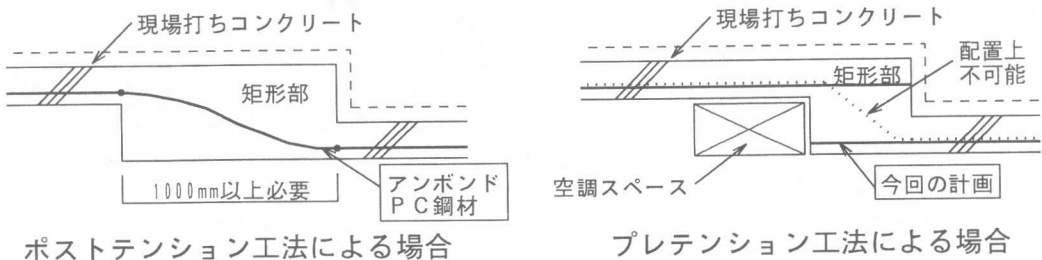


図-2 PC板の矩形部

- \*1 (株)富士ピー・エス 建築部建築課、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 長崎大学助教授 工学部構造工学科、工博（正会員）
- \*4 長崎大学技官 工学部構造工学科（正会員）

プレテンション工法に比べて劣るものと考えられる。従って、PC板はプレテンション工法で、矩形部の幅を極力小さくすることが計画性や経済性の面で有利だと考えられる(図-2)。この場合、一本のPC鋼材をスパン全長にわたり通すことは不可能なため、PC板の矩形部の左右に別々のPC鋼材を配置し、その矩形部で構造耐力上支障のないよう定着させる必要がある。そこで本研究では、PC鋼材の引き抜き耐力などを調べるための予備実験を行い、さらに段差を設けた実大のPC合成床スラブの載荷実験を行い、耐力や変形および破壊性状について検討した。

## 2. 予備実験

プレストレスの導入による定着部コンクリートのひずみ分布とPC鋼より線の引き抜き耐力およびその特性を調べるため、PC鋼より線(φ10.8)の引き抜き試験を行った。

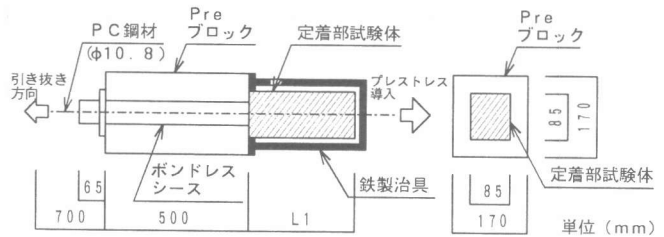


図-3 引き抜き試験体詳細図

### 2.1 試験体

試験体は、図-3に示す引き

抜き試験体はPC鋼より線の定着部長  $L1=600\text{mm}$  の3体と、 $L1=400\text{mm}$  の2体からなる。試験体は、PC板の矩形部がPC鋼材の定着域となることを想定したものであり、定着部の断面形状は実大試験体の最小かぶり厚さに合わせて設定し、PC鋼より線の付着状況が実状に合うよう以下の要領で製作した。まず Pre.ブロックを製作し定着部の型枠を設置する。ジャッキで緊張できるように鉄製治具をセットし、定着部の右端からPC鋼より線を緊張した状態で定着部コンクリートを打設した。その後コンクリート強度が  $300\text{kgf/cm}^2$  に達したのを確認した上でジャッキを緩めプレストレスを導入し、試験は、定着部コンクリートの材令が14日となる時点で行った。

### 2.2 実験方法および測定方法

引き抜きは、油圧ジャッキで試験体左端から行い、加力は破壊までの単調載荷とした。測定は、定着部3面に7cmピッチでストレインゲージを貼付し、プレストレス導入時のコンクリートのひずみ分布を測定した。また、引き抜き力はロードセルで、緊張端と反対側のPC鋼より線のすべり量は変位計で測定した。

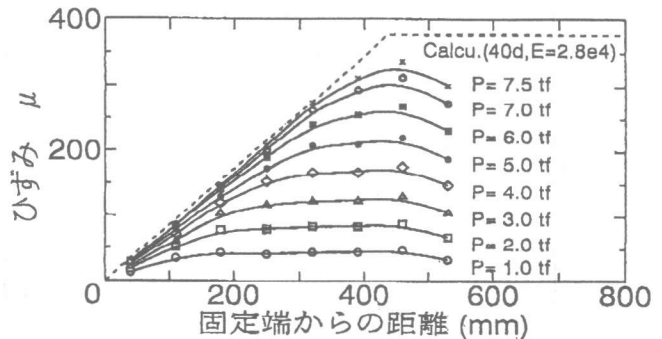


図-4 プレストレス導入によるコンクリートのひずみ分布

### 2.3 実験結果および測定結果

引き抜き試験時の定着部コンクリート平均強度は、 $415\text{kgf/cm}^2$ であった。図-4にプレストレス導入時のコンクリートのひずみ分布を、表-1に実験結果一覧を、図-5に荷重~PC鋼より線のすべり関係を示す。

表-1 実験結果一覧

|        |       | PC鋼材がすべり始める時の荷重 (tonf) | 最大荷重 (tonf) |
|--------|-------|------------------------|-------------|
| L1=600 | No. 1 | 8.1                    | 8.4         |
|        | No. 2 | 9.5                    | 11.0        |
|        | No. 3 | 7.4                    | 8.8         |
|        | 平均    | 8.3                    | 9.4         |
| L1=400 | No. 1 | 7.2                    | 9.8         |
|        | No. 2 | 7.3                    | 9.2         |
|        | 平均    | 7.3                    | 9.5         |

(1) 定着長さ

図-4によると、導入力  $P=7.5\text{tf}$  に対し定着長さは約  $400\sim 500\text{mm}$ 、PC鋼より線径に対する比で  $34d\sim 42d$  となった。

(2) PC鋼材の引き抜き耐力

PC鋼より線の引き抜けは、鋼材周りのコンクリートのひび割れもなく回転しながら起こった。表-1より、PC鋼より線がすべり始める時の平均荷重は、 $L1 = 600\text{mm}$  で  $8.3\text{tf}$ 、 $L1 = 400\text{mm}$  で  $7.3\text{tf}$  となったが、最小値は両者ともに  $7.3\text{tf}$  近くで、少なくともPC鋼より線の規格降伏荷重のおよそ70%の引き抜き耐力を有していることが確認された。また、最大荷重は両者ともに  $9.4\text{tf}$  程度となり、定着部長さによる顕著な差は見られなかった。

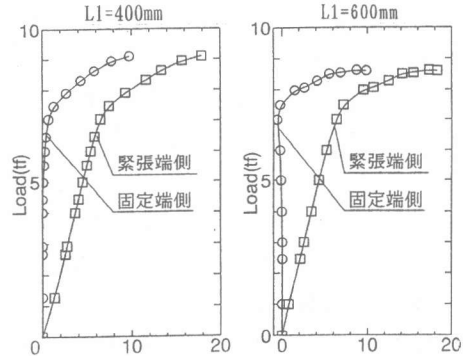


図-5 荷重～すべり関係

3. 実大供試体による載荷実験

3.1 試験体

試験体の矩形部の詳細を図-6、断面詳細を図-7に示す。試験体は段差を有するスパン  $560\text{cm}$ 、幅  $50\text{cm}$  の一方向床スラブで、埋設型枠として用いるPC板単体型のPRD型2体と、その上に現場打ちコンクリートを打設したPC

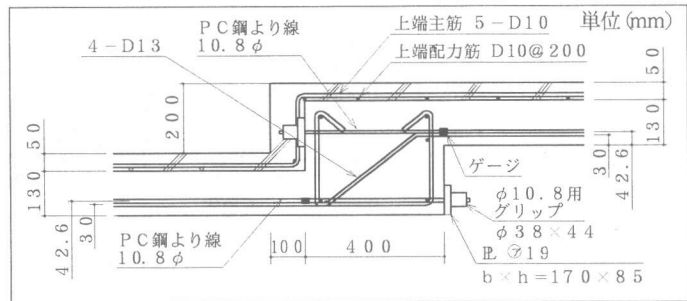


図-6 PC板の矩形部詳細図

|                             | PRD-1, PRD-2 | PRDCS-1 |
|-----------------------------|--------------|---------|
| A, Bスラブ<br>中央部断面<br>単位 (mm) |              |         |
| 中央矩形部<br>断面<br>単位 (mm)      |              |         |

図-7 試験体断面詳細図

合成床スラブの PRDCS型 1 体の計 3 体である。P C 板には、 $\phi 10.8\text{mm}$  の P C 鋼より線により所定のプレストレスが導入されており、矩形部の幅は予備実験より 400mm とし、6-D10 のスターラップと 4-D13 の継手筋で補強した。尚、PRD-2 のみ P C 鋼より線の引き抜き防止のポストテンション用定着金具を設けた。コンクリートの性質は表 2、鋼材の性質は表 3 に示す。

### 3.2 実験方法

PRD-1 および PRD-2 は単純支持で、PRDCS-1 は両端固定状態で載荷を行った。両端固定の場合の実験装置を図 8 に示す。載荷方法は全て 3 等分点 2 点集中載荷とし、PRD型は、弾性範囲内（ひび割れ発生荷重計算値の 60% 以内）、スパン中央部下面のひび割れ発生、破壊までの 3 サイクルとし、PRDCS型は、端部上面のひび割れ発生までのサイクルを加えた 4 サイクルとした。

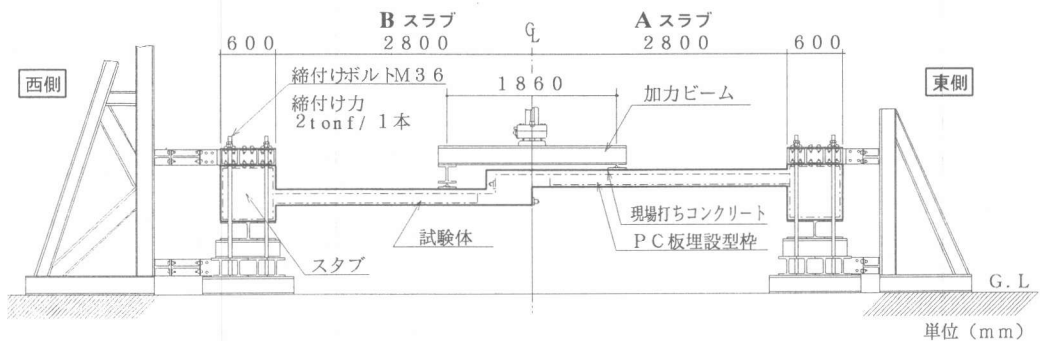


図 8 実験装置

### 3.3 測定方法

コンクリートのひずみ測定は、L/4点、3L/4点、中央部、両端部の側面および上下面にワイヤーストレインゲージを貼付して行い、中央段差部のたわみ、および固定端部の水平変位・支点的沈下量は、それぞれ変位計により測定を行った。また曲率分布を調べるために、パイ型ゲージを全試験体側面の上縁および下縁から 15mm の位置にスパン方向へ 10cm、30cm 間隔で設け、測定した。ひび割れ発見は目視によって行い、端部ひび割れ幅および P C 鋼より線の抜け出し量はクリップゲージにより測定した。

### 3.4 実験結果および考察

#### (1) 初期剛性、ひび割れおよび最大荷重

実験結果一覧を表 4 に、実験値と計算値およびその比を表 5 に示す。表 4 の PR-1 および PRCS-1 は、平成 2 年度に筆者らが行った段差なし試験体の実験結果を再掲<sup>1)</sup>したものであり、段差がなく P C 鋼より線を  $\phi 12.4\text{mm}$  とした以外は断面形状、スパン、載荷方法等は全て同じである。表 5 によると、初期剛性は PRD-1 で 1.00、PRDCS-1 で 0.89 となり、かなり計算値に近い値となった。また、PRD-1 および PRD-2 のひび割れ発生荷重が計算値に比べ若干小さいが、

表 2 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 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | ヤング係数 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 材令 (日)     | 圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | ヤング係数 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
| PRD-1   | 2 3          | 4 4 2                       | $3.2 \times 10^5$            | ---        | ---                         | ---                          |
| PRD-2   | 3 2          | 4 4 6                       | $3.4 \times 10^5$            | ---        | ---                         | ---                          |
| PRDCS-1 | 3 5          | 4 9 9                       | $3.5 \times 10^5$            | 2 6        | 1 8 0                       | $2.0 \times 10^5$            |

表 3 鋼材の性質

|   | 異形鉄筋 D10 (SD295A) | 異形鉄筋 D13 (SD295A) | P C 鋼より線 10.8 $\phi$ (SWPR7A) | 溶接金網 3.2 $\phi$ 100 $\times$ 100 $\phi$ |
|---|-------------------|-------------------|-------------------------------|---|
| 公称断面積 (mm <sup>2</sup> )                    | 7 1               | 1 2 7             | 6 8                           | 8. 0                                    |
| 降伏強度 (kgf/mm <sup>2</sup> )                 | 3 8               | 3 6               | 1 7 3                         | ---                                     |
| 引張強度 (kgf/mm <sup>2</sup> )                 | 5 4               | 5 1               | 1 9 3                         | 6 1. 7                                  |
| ヤング係数 ( $\times 10^4$ kgf/mm <sup>2</sup> ) | 1. 9              | 1. 9              | 2. 0                          | ---                                     |

PRDCS-1 ではひび割れ発生荷重、最大荷重ともに計算値にほぼ合致した。また段差なし試験体と比較すると、P C板単体の場合はP C鋼より線の断面積に比例した最大強度を有しており、合成床スラブの場合には逆にP C鋼より線径が小さいにも拘わらず最大荷重は PRDCS-1 の方が大きい結果となった。

表 - 4 実験結果一覧

| 試験体名称                | 初期剛性<br>(tonf/cm) | ひび割れ発生荷重 (kgf) |                          |                          |                         |                          |                          |             | 最大荷重<br>(kgf) | 最大荷重時のたわみ<br>(mm) | 破壊性状                    |
|----------------------|-------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|---------------|-------------------|-------------------------|
|                      |                   | Bスラフ<br>端上面    | Bスラフ<br>中央 <sup>1)</sup> | Bスラフ<br>東側 <sup>2)</sup> | 中央段<br>差部 <sup>3)</sup> | Aスラフ<br>西側 <sup>4)</sup> | Aスラフ<br>中央 <sup>5)</sup> | Aスラフ<br>端上面 |               |                   |                         |
| PRD-1                | 0.497             | ----           | 1200                     | 500                      | 900                     | 500                      | 600                      | ----        | 1760          | 133.0             | Aスラフ <sup>6)</sup> 上面圧壊 |
| PRD-2                | 0.353             | ----           | 1100                     | 700                      | 500                     | 400                      | 700                      | ----        | 1600          | 138.0             | Aスラフ <sup>6)</sup> 上面圧壊 |
| PRDCS-1              | 3.291             | 1800           | 5900                     | 1800                     | 1100                    | 1400                     | 2800                     | 900         | 7400          | 40.0              | Bスラフ <sup>6)</sup> 上面圧壊 |
| PR-1 <sup>6)</sup>   | 0.490             | ----           |                          |                          | 1080                    |                          |                          | ----        | 2370          | 186.3             | スラフ1/3点上面圧壊             |
| PRCS-1 <sup>7)</sup> | 7.550             | 1810           |                          |                          | 3400                    |                          |                          | 1810        | 6940          | 75.2              | スラフ中央上面圧壊               |

<sup>6)</sup> 逆T形P C板 (段差なし) を使用した試験体 (平成2年度実験分を再掲載)。<sup>7)</sup> PR-1はP C板単体<sup>7)</sup> PRCS-1は合成スラブ

表 - 5 実験値と計算値およびその比

| 試験体名称   | 実験値                             |                   |               | 計算値                             |                   |               | 実験値 / 計算値 |          |      |
|---------|---------------------------------|-------------------|---------------|---------------------------------|-------------------|---------------|-----------|----------|------|
|         | 初期剛性 <sup>1)</sup><br>(tonf/cm) | ひび割れ発生荷重<br>(kgf) | 最大荷重<br>(kgf) | 初期剛性 <sup>1)</sup><br>(tonf/cm) | ひび割れ発生荷重<br>(kgf) | 最大荷重<br>(kgf) | 初期剛性      | ひび割れ発生荷重 | 最大荷重 |
| PRD-1   | 0.497                           | 500               | 1760          | 0.496                           | 661 <sup>2)</sup> | 1327          | 1.00      | 0.76     | 1.33 |
| PRD-2   | 0.353                           | 400               | 1600          |                                 |                   |               | 0.71      | 0.61     | 1.21 |
| PRDCS-1 | 3.291                           | 900               | 7400          | 3.698                           | 864 <sup>3)</sup> | 7110          | 0.89      | 1.04     | 1.04 |

<sup>1)</sup> ひび割れ発生までの初期剛性。<sup>2)</sup> Aスラフスパン中央部下面のひび割れ発生荷重 ( $\sigma_{t,b} = 0.07 \cdot 5/3 \cdot F_{c1}$ ,  $F_{c1}$  = P C板コンクリートの圧縮強度) 日本建築学会P C基準書による。<sup>3)</sup> 東側端部上面のひび割れ発生荷重 ( $\sigma_{t,b} = 1.8 \cdot \sqrt{F_{c2}}$ ,  $F_{c2}$  = 現場打ちコンクリートの圧縮強度) 日本建築学会R C基準書による

(2) たわみ性状

図-9に荷重～たわみ関係を示す。PRD-1およびPRD-2の荷重～たわみ関係は、PR-1の場合とよく似ており、終局に至るまで非常に安定した性状を示した。一方、PRDCS-1は最大荷重後に耐力低下が見受けられ、PRCS-1に比べるとやや脆性的な性状を示した。

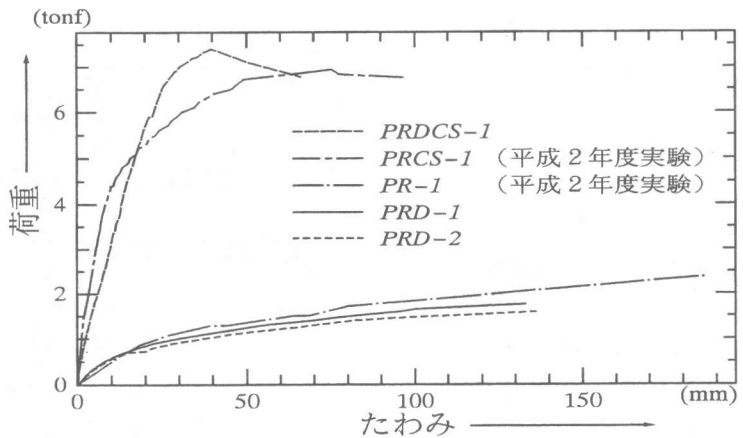


図-9 荷重～たわみ関係

(3) P C鋼材のひずみ性状

図-10をみると、PRD-1は1.45t、PRD-2は0.9t、PRDCS-1は6.7tf付近でP C鋼より線の抜け出しと考えられる兆候が見られるが、この荷重近辺でたわみ急増などの変化は見受けられなかった。少なくとも、ポストテンション用の定着金具を付けなかった2試験体については、P C鋼より線の引き抜けによるたわみの増加に対して曲げ補強筋(4-D13)が有効であったと考えられる。

(4) ひび割れ性状

図-11(a)にPRD-1、図-11(b)にはPRDCS-1の最終ひび割れ図を示す。PRD-1は、ひび割れ

が荷点付近の床スラブ下面に集中しており、ひび割れ幅が細く、プレストレス導入による効果が顕著に現れている。また矩形部においてもひび割れは発生したが、終局時

に至るまで大きなひび割れ幅の伸展はみられなかった。PRDCS-1 は両端部上面に幅太のひび割れが数本集中して発生しており、それ以外のひび割れ性状は PRD-1 と同様である。最終破壊はいずれも矩形端部から 500mm 程度離れた一般部（図-7 の A、B スラブ中央断面）のスパン上面のコンクリートの圧壊で決まった。

#### 4. 結論

段差を有する PC 板の中間部で PC 鋼材が切断され、不連続であっても、その部分に適切な形状寸法の矩形部を設け鉄筋補強を施すことで、段差がなく、PC 鋼材が切断されていない PC 板とほぼ同等の耐力を有し、一般部の曲げ破壊を先行させることが可能であることが確認された。

#### 参考文献

- 1) 田中恭哉、他 3：逆 T 形埋設型枠にプレストレスを導入した合成床スラブの耐力とひびわれ、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 13, No. 2, pp. 719-724, 1991. 6

[謝辞] 本研究に御協力戴いた長崎大学大学院生および学生諸氏と実験計画に御協力戴いた関係各位に深謝いたします。

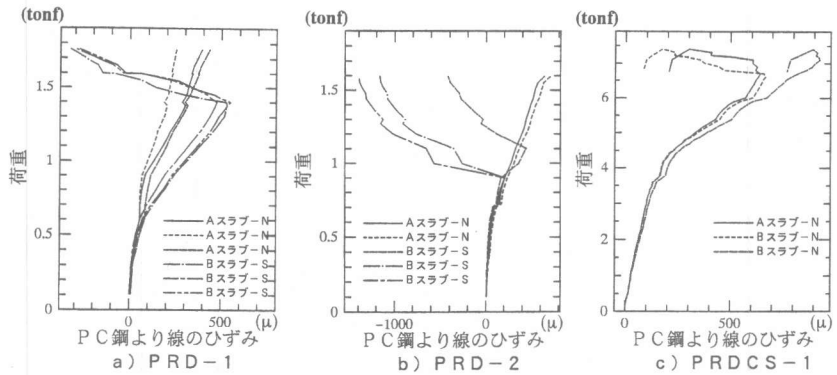


図-10 PC 鋼より線のひずみの変化

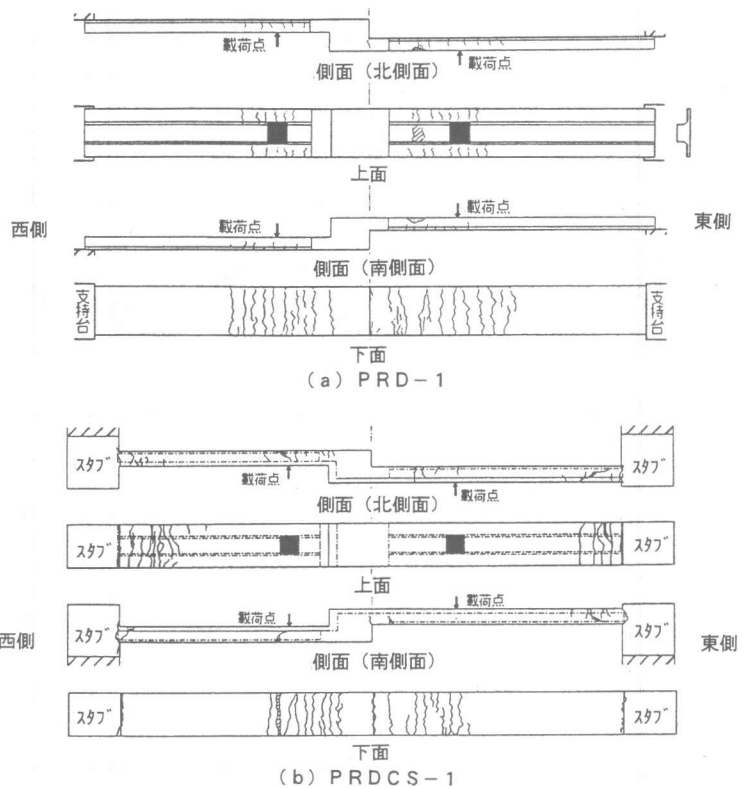


図-11 最終ひび割れ図