

論文

[2121] 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

正会員○田中恭哉（富士ピー・エス）

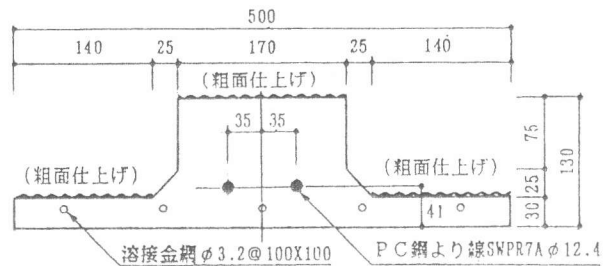
同 小森清司（長崎大学構造工学科）

同 永藤政敏（長崎大学構造工学科）

近藤正治（長崎大学大学院）

1. はじめに

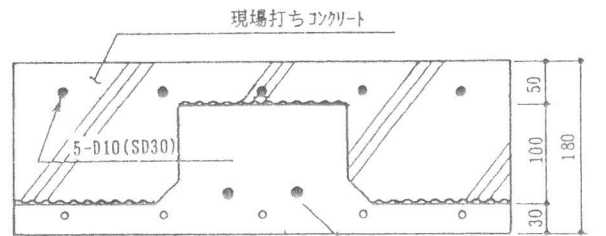
プレストレスを導入したPC板を埋設型枠に用いた合成床スラブは、ひびわれの防止や施工の省力化の面で通常のRC床スラブより優れた特性を有しているため、今日ではその用途も次第に広がり、施工実績が飛躍的に伸びてきている。しかし一面では、固定荷重の減量をはかりながら階高を出来るだけ縮め、その上、天井をフラットに仕上げたいと願う建物にとっては、PCの効果を最大限に活かすために付けられているリブ部がかえって障害となることがある。このような悩みを解消するため、下面がフラットな逆T形のPC板にプレストレスを導入した埋設型枠を開発した。しかし、このような形状の型枠だと、施工時にスパンが長くなると、中央上端のコンクリートの圧縮域が不足し、コンクリートを打設することが難しくなる。しかし、仮設時だけでもスパン中央を仮にサポートすることができればその点は解決できることになる。本報は、このような考えに基づいて開発した合成床スラブに対して短期載荷実験を行い、埋設型枠として用いる単一板や合成床スラブの耐力・変形状、ひびわれ破壊性状を調査し、これらが、施工時にはスパン中央をサポートした型枠として、また現場打ちコンクリート打設後は中間サポートなしの合成床スラブとして十分な性能を発揮し実用に供しうるかどうかを検討したものである。



(a) PC板単体

2. 試験体

試験体は埋設型枠として用いるPR型1体、合成床スラブとして用いるPRCS型3体の計4体からなる。その断面詳細を図1に示す。全試験体共埋設型枠の小梁部分には2本のPC鋼より線（SWPR7Aφ12.4）を配し、 $0.8\sigma_y$ のプレストレスを導入している。またPRCS(S)は単純支持の試験体、PRCSは両端にスタブを付けた両端固定の試験体、PRCS(S)-2はスパ



(b) 合成床スラブ

図1 試験体断面詳細図

表1 試験体の種類と用途分布

試験体名称	スパン(cm)	支持状態	使用目的	調査事項
PR-1	560	単純支持	埋設型枠	曲げ
PRCS(S)-1	560	単純支持	合成床スラブ	曲げ
PRCS(S)-2	280	単純支持	合成床スラブ	せん断
PRCS-1	560	両端固定	合成床スラブ	曲げ

ンを2.8mに半切りしたせん断破壊性状を調査する試験体であり。その分類を表1に、各試験体の断面の諸定数を表2に、使用材料の性質を表3、表4に示す。

表2 断面諸定数

試験体	断面積 (cm ²)	断面2次 モーメント (cm ⁴)	図心 (cm)	断面係数 (cm ³)		
				Z _{軸上} ¹⁾	Z _{F上} ²⁾	Z _{F下} ³⁾
PR-1	326.3	4906	4.93		608	989
PRCS(S)-1	832.9	22633	8.81	2464	5407	2568
PRCS(S)-2	803.6	21887	8.72	2359	5117	2509
PRCS-1	852.4	23124	8.87	2533	5600	2606

¹⁾ 場所打ちコンクリート上端の断面係数, ²⁾ FR板上端の断面係数, ³⁾ FR板下端の断面係数

表3 コンクリートの性質

試験体名称	PC板コンクリート			現場打ちコンクリート		
	材令 (日)	圧縮強度 kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ⁵ kgf/cm ²	材令 (日)	圧縮強度 kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ⁵ kgf/cm ²
PR-1	16	491	3.14	---	---	---
PRCS(S)-1	19	579	3.33	13	291	2.94
PRCS(S)-2	24	478	3.22	19	325	2.68
PRCS-1	32	602	3.27	26	312	3.00

3. 実験方法

1) 荷重方法は4試験体共図2に示すごとく加力ビームを用いてアムスラーの荷重を2点に振り分ける方式とする。したがって、スパン5.6mの曲げ試験体に対しては3等分点を、スパン2.8mのせん断試験体に対しては両端から0.47mの所での2点荷重となる(図2参照)。加力サイクルは4体共同じて、ひびわれ発生荷重の30%、70%、PC板下面のひびわれ発生(全断面貫通)及び終局までの4サイクルとした。

表4 使用鋼材の性質

鋼材の種類	断面積 (mm ²)	引張強度 kgf/mm ²	降伏強度 kgf/mm ²	ヤング係数 ×10 ⁴ kgf/mm ²
PC鋼より線 φ12.4	92.90	182	174	2.0
異形鉄筋(SD30) D10	71.33	49	35	1.8
溶接金網 φ3.2	8.04	59	---	---

2) 測定方法はスパン中央、両端のたわみ、支点の水平変位を変位計で、コンクリート表面、鋼材のひずみをワイヤーストレインゲージで、またひびわれ幅の拡大と埋設型枠と後打ちコンクリート間の打継面のずれ量をクリップゲージでそれぞれ測定した。また、ひびわれの発見は目視によった。

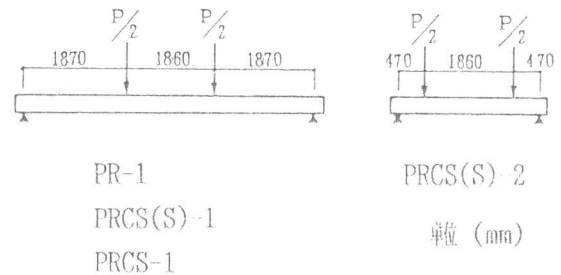


図2 加力方法

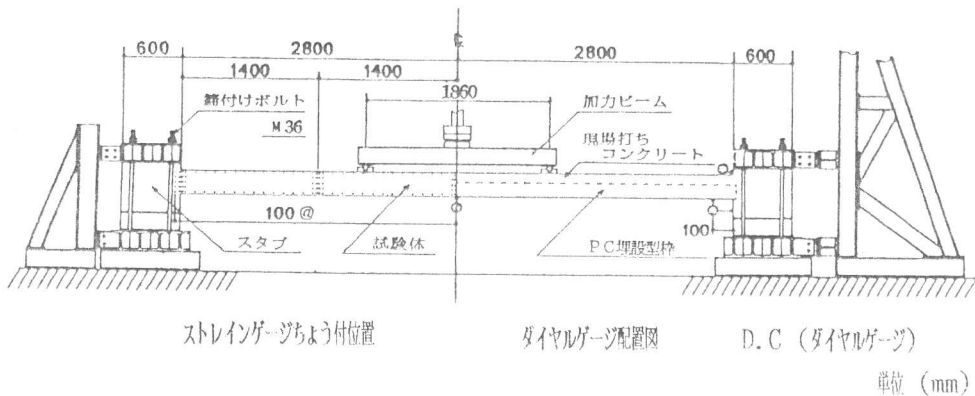


図3 実験装置 (PRCS-1 試験体用)

表5 実験結果及び計算結果一覧表

試験体名称	実験値			計算値			実験値/計算値		
	初期 ¹⁾ 剛性 tonf/cm	ひびわれ 発生荷重 tonf	最大 荷重 tonf	初期 ¹⁾ 剛性 tonf/cm	ひびわれ 発生荷重 tonf	最大 ⁴⁾ 荷重 tonf	初期 ¹⁾ 剛性	ひびわれ 発生荷重	最大 荷重
PR-1	0.49	1.08	2.37	0.49	1.03	2.08	1.00	1.04	1.14
PRCS(S)-1	2.99	1.90	3.92	2.50	2.62	3.53	1.20	0.72	1.11
PRCS(S)-2	---	10.99	16.03	---	11.26	15.64 ⁵⁾	---	0.98	1.02
PRCS-1	端部	1.81 ²⁾	6.94	11.55 (7.47)	1.41 ²⁾	5.28	0.85 (1.01)	1.28 ²⁾	1.31
	中央	4.03 ³⁾			3.96 ³⁾			1.02 ³⁾	

1) ひびわれ発生までの剛性 2) $\sigma_{tb}=1.8\sqrt{F_c}$ 3) $\sigma_{tb}=0.07\times 5/3\times F_c$ 4) e関数法による曲げ耐力 5) せん断耐力 ()内の数字は固定度を考慮した値

4. 実験結果と計算値

実験結果と計算値及びその比を表5に示す。荷重～たわみ関係は曲げ性状調査用の3体の結果を図4にまとめ、せん断性状調査用の1体の結果を図5にそれぞれ包絡線で示す。PC鋼より線のP～ε関係を図6に、異形鉄筋のP～ε関係を図7に、スパン中央断面におけるひずみの分布の推移を図8に示す。ひびわれ幅の荷重増に伴う拡大状況を図9に、最終ひびわれ図を図10にそれぞれ示す

5. 実験結果の考察

1) 初期剛性

表5によれば、初期剛性は、PR-1の場合実験値と計算値の比は1.0と良く一致しているが、PRCS(S)-1は1.2と若干大きくなった。また、PRCS-1の両端固定スラブでは両端が完全固定であると考えたと15%も計算値を下回る結果となるが、両端の固定度の(ζ=0.551)を考慮すると計算値が7.47となり、実験値/計算値は1.01と、良い一致を示す。

2) ひびわれ発生荷重

表5によれば、ひびわれ発生荷重はPR-1、PRCS(S)-2の場合、実験値と計算値の比がそれぞれ1.04、0.98となっており推定したコンクリートの引張応力度 $\sigma_{tb}=0.07\times 5/3\times F_c$ が妥当であることが確認された。しかし、PRCS(S)-1については試験体制作時、現場打ちコンクリート打設後の時間がたつにつれ中間サポート反力が増大する傾向が見られ、その影響によって初期応力が付加されたと考えられ、そのため、ひびわれがかなり早い時点で発生したと考えられる。両端固定のPRCS-1の場合、端部でのひびわれ発生が遅れ若干荷重が高くなる傾向が見られる。これは端部の固定度が完全でなくモーメント分布が中央に移り端部モーメントの増大が遅れているためだと考えられる。したがって見かけ上は $\sigma_{tb}=2.3\sqrt{F_c}$ 程度の値となっている。しかし、スパン中央部のひびわれ発生荷重は4.03tonfと高く、その応力は $\sigma_{tb}=0.07\times 5/3\times F_c$ を用いた計算値と良く合致している。このことは、プレストレスが導入されたこの種の合成床スラブは中央下面のひびわれに対して通常のRC床スラブより数段勝れた特性を有していることを示している。ところで、PR-1は埋設型枠として使用するために設計されたものであるが、実験で明らかになったように、長いスパンのままで使用すると荷重1.1tonf、すなわち等分布荷重に換算して390kgf/m²でひびわれが発生している。したがってこのままでは施工荷重428kgf/m²(後打ちコンクリート278kgf/m²+作業荷重150kgf/m²)さえも負担しきれないことになる。このような事態を避けるために考えだされたのが施工時だけ埋設型枠のスパン中央をサポートする方式である。そうすることによって、支保工なしのメリットが若干失われるきらいはあるが、施工時の安

全確保のためにはやむを得ないことであろう。しかしこのようにして構成されたPRCS(S)-1, PRCS-1は保有耐力がそれぞれ3.9ton, 6.9tonと大きく靱性も高い床スラブとなっている。

3) 最大荷重

最大荷重はいずれの試験体もコンクリートの圧壊で決まっているが、e関数法によって求めた計算値を2%~30%上回っており、しかもまだPC鋼より線が破断していないことを考えると、耐力に余力が期待出来そうである。

4) 荷重~たわみ関係

図4は曲げ試験用の3体のP~δを示すが、3試験体共靱性の高い性状を示している。殊に、固定床スラブのPRCS-1は、1.8tonfで材端にひびわれが発生しているがP~δ曲線にはその徴候がみられず安定した性状を示している。しかし、3体共、下面にひびわれが発生すると剛性の低下がみられる。その時のたわみは1cmと小さい。その後、荷重の増加と共に剛性は徐々に低下し、スパン中央上面のコンクリート圧壊で終局に至っている。その時のたわみは大きく8cmにも達している。また、このように8cmにも及ぶ過大なたわみに達しても、埋設型枠と後打ちコンクリートとの間のずれの徴候はみられず一体化が確認された。図5にせん断試験用1体のP~δを示すが、最大荷重が16.05tonf

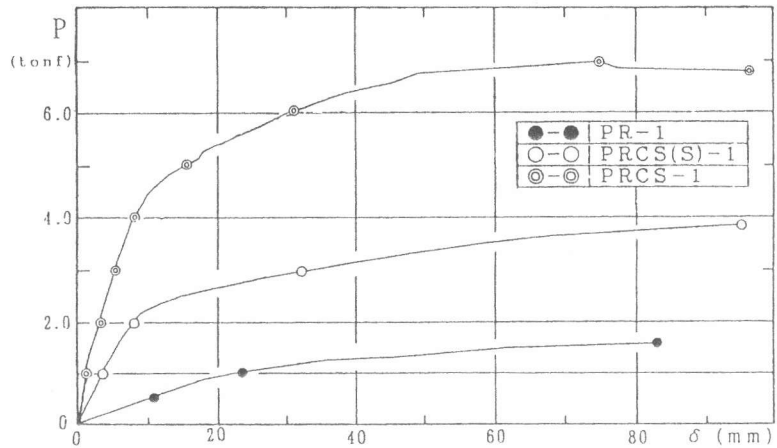


図4 P~δ曲線 (スパン5.6m)

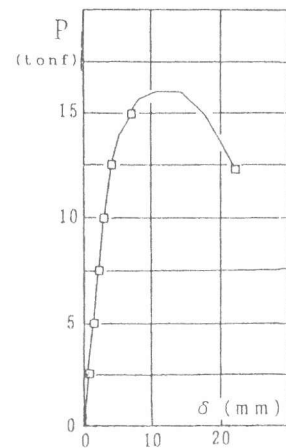


図5 P~δ曲線 (スパン2.8m)

(11.4tf/m²)にも達したが、せん断破壊を起こす前に、コンクリートの圧壊による曲げ終局に達した為、せん断性状の考察は出来なかった。このことは、この種の床スラブでは、通常用いられる荷重の範囲内では恐らくせん断破壊することがないことを示唆している。

5) PC鋼より線のP~ε関係

図6から、スパン中央下面にひびわれが発生するとPC鋼より線のひずみが急激に増大し始めることがよくわかる。このことはプレストレスがひびわれ発

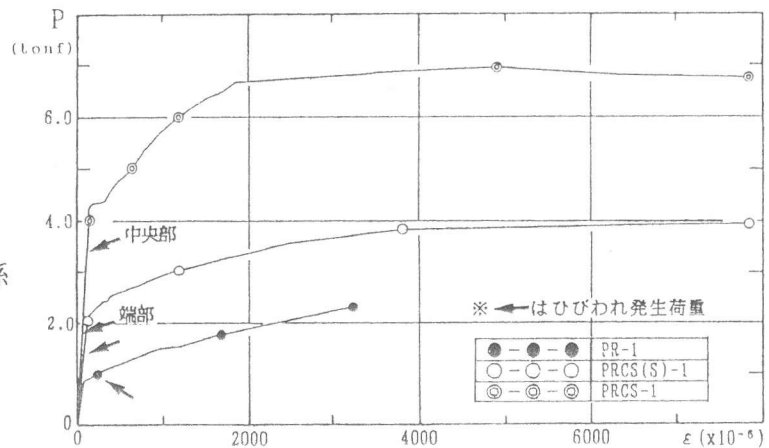


図6 PC鋼棒のP~ε曲線 (スパン5.6m)

生の拘束に大きく貢献していることを示している。

6) 異形鉄筋のP~ε関係

図7から固定床スラブ端の異形鉄筋降伏は $\epsilon=1900\mu$ 近傍と読み取れ、表3の使用材料表から求めた鉄筋降伏時のひずみ $\epsilon=1940\mu$ と付合している。その後、荷重は増大せず、ひずみのみが急激に増大している。

7) スパン中央断面のひずみ分布の推移

図8はPR-1とPRCS-1試験体の3段階における材断面のひずみ分布を示す。ひびわれ発生までは直線的な分布を示していると推定できる。また全断面有効として求めた中立軸位置と実験値が近似しており、また打継面においても応力伝達がスムーズに行なわれていることがわかる。

8) ひびわれ幅の拡大状況

図9はひびわれ幅の拡大状況を示す。ひびわれ発生時点から急激に拡大していく様子わかる。床スラブ下面のひびわれ幅は、3体共プレストレスの拘束が有効に働くため終局時でも1mmと小さい。これに対してPRCS-1では固定端上端がRC造のためひびわれ幅はひびわれ発生後、顕著となり、異形鉄筋が降伏すると、その拡大状況がさらに激しくなり、終局時には5mmにも達している。

9) ひびわれ発生状況

図10に各試験体の最終ひびわれ図を示す。埋設型枠として使用するPR-1の場合には、8本程度の全面貫通ひびわれが荷点近傍に集中して発生している。しかし合成床スラブはPRCS(S)-1, PRCS-1共、貫通ひびわれが荷点間に@150の間隔ではほぼ均等に分散し、PC板に発生したひびわれが、現場打ちコンクリート部分まで伸展し、上面で枝分かれする圧壊現象を示している。また、PRCS-1では固定端に数本のひびわれが発生しており、かなり粘り

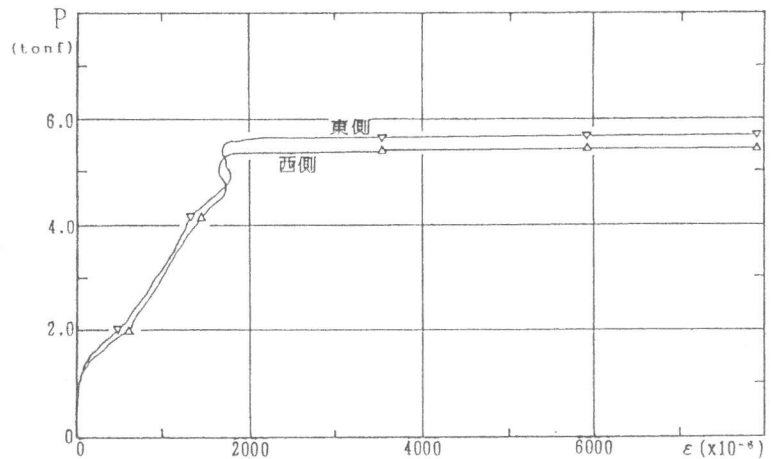


図7 異形鉄筋のP~ε曲線 (PRCS-1)

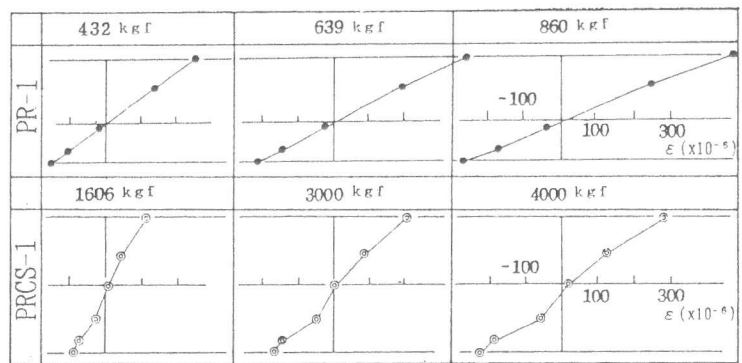


図8 スラブ側面のひずみ分布

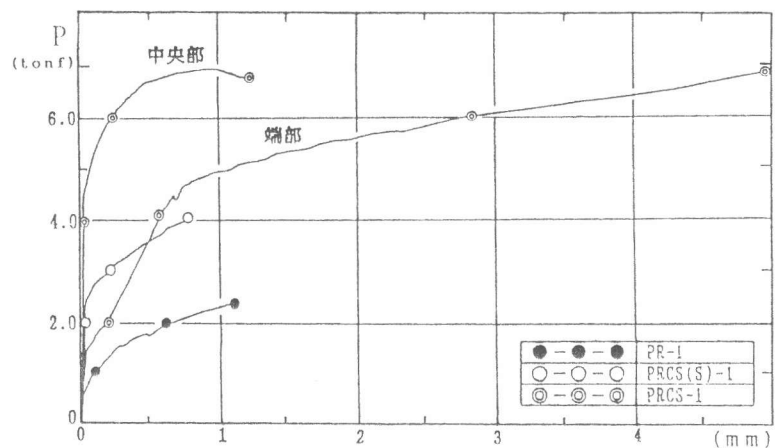


図9 ひびわれ幅の変化

強く抵抗した様子が読み取れる。PRCS(S)-2はせん断の影響を調査するため作成したのだが、せん断破壊の徴候は見られず、載荷点におけるひびわれが卓越している程度で、コンクリートの圧壊で終局に達している。このことは、この種の床スラブではせん断破壊する危険性が非常に少ないことを示唆している。

6. 結び

今回の実験結果より次のことがわかった。

(1) $P \sim \delta$ 関係からもわかるように曲げ型試験体はいずれも靱性のある曲げ性状を示し、スラブ上面のコンクリートの圧壊によって終局に至っている。また、その時のスパン中央たわみは8cmに達している。

(2) ひびわれ発生荷重は、施工時を想定したPR-1、使用状態を想定したPRCS-1とも計算値を上回っている。

(3) 最大荷重については各試験体共計算値より若干大きな値を示している。

(4) 床スラブのスパン中央断面におけるひずみ分布状況からわかるように、終局耐力の1/2以内の荷重時であればほぼ直線的な分布を示し、平面保持の法則が成立することから全断面有効と考えられる。

(5) 逆T形PC板と現場打ちコンクリートとの一体性については、打継面での粗面仕上げが有効に働き、ずれ量の測定結果からもわかるように各試験体共8cmを越える終局の過大なたわみ時にあってもずれの徴候はみられず一体化が確認された。

(6) プレストレスを導入した逆T形の埋設型枠は、このままでは長スパンに用いることは難しいが、施工時だけ中間点をサポートする方式をとれば十分実用に供することがわかった。

参考文献 1) 小森清司, 他3: 埋設型枠に逆T形状のRC板を用いたRC合成床スラブの特性について, 第7回コンクリート工学年次講演会論文集, pp. 461~464 1985.6,

[謝辞] 本研究に御協力戴いた長崎大学大学院生堤 信賢, 同学生内田健一朗, 古川栄治, 星隈憲二, 吉富清剛の各氏に深謝いたします。

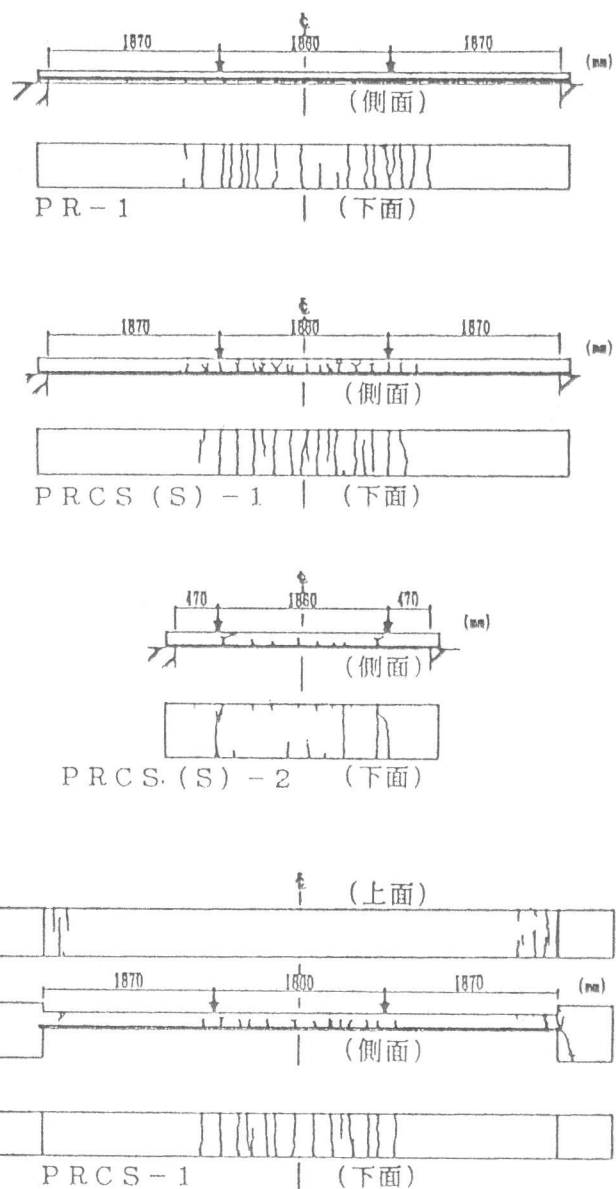


図10 最終ひびわれ図