

論文

[2131] 空洞部を有する逆T形PC合成床スラブの耐力と破壊性状に関する実験的研究

正会員 ○村上 忠彦 (富士ピー・エス)
 同 小森 清司 (長崎大学構造工学科)
 同 蓼原 真一 (長崎大学構造工学科)
 同 永藤 政敏 (長崎大学構造工学科)

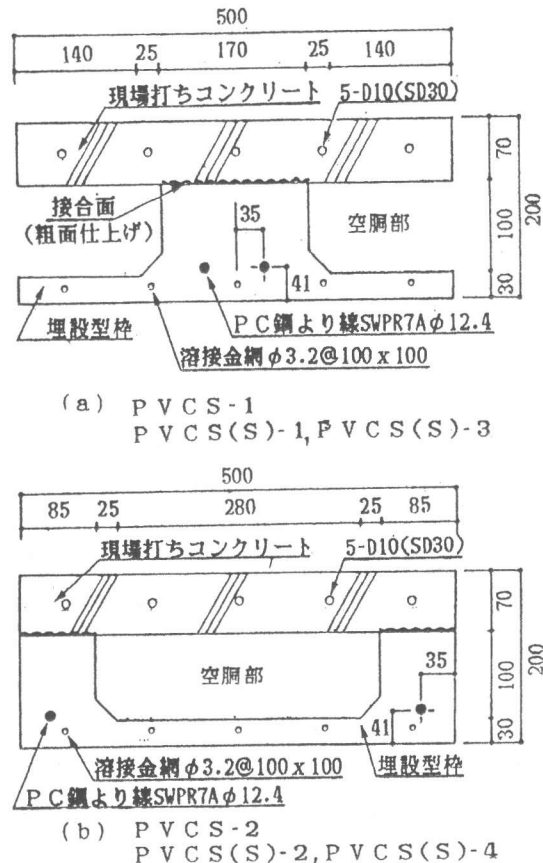
1. はじめに

近年、建築建物床スラブの大型化や、工期の短縮、労力の省力化等を図るため、無支保工の工事が求められるようになり、プレストレスを導入したプレキャスト板(PC板)を埋設型枠とした合成床スラブが重宝されるようになってきた。ところが埋設型枠にも種類が色々あって、それぞれ特色が異なるため、選び方によって、期待する効果に違いがでてくる。そこで筆者等は昨年、天井がフラットに仕上がることをねらって、逆T形の埋設型枠を用いた合成床スラブを開発し、短期及び長期載荷実験によって実用に供する事を確認したが^{1), 2)}、本年はその逆T形埋設型枠の上にコンクリートを打設して合成床スラブを作成する際、リブの両脇にできる空間部分を空洞化することによって軽量化を図り、短期載荷実験によって、それらが実用に供するかどうかを、耐力、剛性、変形、破壊性状等の面から考察を行なった。

2. 試験体

試験体は、埋設型枠として用いるPR型1体と、空洞部を持つ合成床スラブPVCS型6体の合計7体よりなる。その分類を表1に、その断面詳細を図1に示す。そのうち、PR-2, PVCS(S)-1, PVCS(S)-2の3体は単純支持の試験体、PVCS-1, PVCS-2の2体は両端にスタブを付けた両端固定の試験体でいずれもスパンは5.6mである。これらの試験体を作成する際には、実際の現場作業と同様に、埋設型枠をスパン中央部でサポートしてコンクリートを打設した。また、PVCS(S)-3, PVCS(S)-4はせん断破壊性状を調査する為、スパンを2.8mと曲げ破壊性状調査用試験体の半分にした単純支持の試験体である。

なお、全スラブ共、軽量化を図る為、スパンの中央部を空洞化したが



注) PR-2はU形型枠で(b)のPVCS-2の現場打ちコンクリート部分を除いた埋設型枠

図1 断面詳細

端部のみは剛性が低下しないよう両端から30cm区間の空洞部を現場打ちコンクリートで埋め殺した。したがって、5.6mスパンの場合には、空洞部を設けた事により、同形の充実スラブに比べて約25%の重量が軽減されたことになる。また、試験体を作成するに当たって、逆T形とU形の2種類の埋設型枠を採用したのは、実験装置の都合で床スラブを実大の幅で実験することができず、床スラブ幅を半分にカットせざるを得なかった為である。したがって図2に示す2種類（斜線部分）が採用された。

3. 実験方法

荷重は、30ton油圧式門形加力試験機を用い、図3のように、スパン5.6mの曲げ試験体に対しては3等分2点荷重を、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点荷重とした。

加力サイクルは7体共、弾性範囲内（ひびわれ発生荷重の60%）、PC板下面のひびわれ発生（全断面貫通）、終局までの3サイクルとした。

測定方法は、スパン中央部のたわみ、支点付近の沈下量、支点の水平変位は変位計により測定し、コンクリート表面及びPC鋼より線、異形鉄筋のひずみはストレインゲージにより測定した。またひびわれの発見は目視によった。

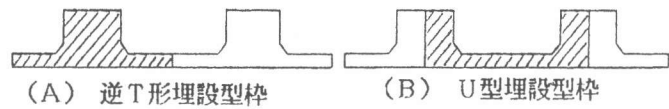


図2 埋設型枠

表1 試験体一覧

試験体名称	スパン(cm)	支持状態	使用目的	調査事項
PR-2	560	単純支持	埋設型枠	曲げ
PVCS(S)-1, PVCS(S)-2	560	単純支持	合成床	曲げ
PVCS(S)-3, PVCS(S)-4	280	単純支持	合成床	せん断
PVCS-1, PVCS-2	560	両端固定	合成床	曲げ

表2 コンクリートの性質

試験体名称	PC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 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-2	24	521	3.34	---	---	---
PVCS(S)-1	35	450	3.21	24	272	2.79
PVCS(S)-2	38	487	3.42	24	272	2.79
PVCS(S)-3	36	498	3.30	29	287	2.86
PVCS(S)-4	41	513	3.20	29	287	2.86
PVCS-1	45	520	3.42	35	300	2.79
PVCS-2	48	568	3.47	35	300	2.79

表3 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	171	164	1.9
異形鉄筋(SD30)D10	71.33	49	34	1.9
溶接金網 φ3.2	8.038	54	---	1.9

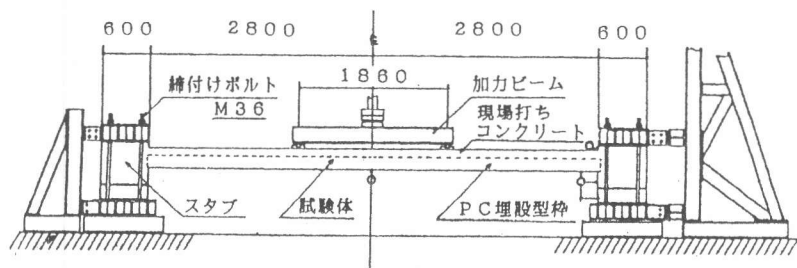


図3 実験装置（固定支持の場合）

表4 実験結果及び計算結果一覧

試験体名称	実験値		計算値			実験値/計算値	
	ひびわれ発生荷重	最大荷重	ひびわれ発生荷重	曲げ耐力 ³⁾ M _B	せん断耐力 ⁴⁾ Q _u	ひびわれ発生荷重	最大荷重
	(tonf)	(tonf)	(tonf)	(tonf)	(tonf)		
PR-2	1.40	2.00	1.14 ¹⁾	2.09	6.98	1.23	0.96
PVCS(S)-1	2.70	5.17	2.68 ¹⁾	4.49	11.94	1.01	1.15
PVCS(S)-2	3.00	4.40	2.80 ¹⁾	4.51	12.18	1.07	0.98
PVCS(S)-3	11.00	14.90	11.28 ¹⁾	20.00	12.25	0.98	1.22 ⁵⁾
PVCS(S)-4	12.04	14.09	12.48 ¹⁾	20.00	12.36	0.96	1.14 ⁵⁾
PVCS-1	2.60	8.90	1.78 ²⁾	8.11	12.39	1.46	1.10
PVCS-2	2.21	6.00	1.78 ²⁾	8.11	12.73	1.24	0.74

1) $\sigma_{tb}=0.07 \times 5/3 \times F_c$ (スパン中央下面, PC部材故PC規準49条)
 2) $\sigma_{tb}=1.8 \sqrt{F_c}$ (端部上面, RC部材故RC規準8条)
 3) $M_B=(1-0.5q)pb d^2 \sigma_{sy}$ (PC規準, 式65.12-a)
 4) $Q_u=\{\alpha(f_c+0.1\sigma_g)+0.5f_y(p_w-0.002)\}b \cdot j$ (PC規準, 式71.19)
 5) せん断破壊したため実験値/計算値の算定にはQ_uの計算値を採用

4. 実験結果と計算結果

実験結果と計算結果及び実験値/計算値を表4に示す。荷重～たわみ関係は曲げ性状調査用の5体の結果を図4にまとめ、せん断性状調査用の2体の結果を図5に、それぞれ包絡線で示す。PC鋼より線の荷重～ひずみ関係を図6に、固定床スラブ上端筋の荷重～ひずみ関係を図7に、最終ひびわれ状況を図8にそれぞれ示す。

5. 考察

1) ひびわれ発生荷重

単純支持試験体のひびわれはスパン中央下面のPC部材に発生した。この部位のコンクリート強度は $F_c=300\text{kg/cm}^2$ 以上故、引張応力度としてPC規準による $\sigma_{tb}=0.07 \cdot 5/3 \cdot F_c$ を用いたが表4に示す如く実験値/計算値は0.98～1.23と良く一致した。しかし両端固定の試験体の場合は最初のひびわれが材端上面のRC部材に発生した。この部位のコンクリート強度は $F_c=300\text{kg/cm}^2$ 以下故、引張応力度としてRC規準による $\sigma_{tb}=1.8 \sqrt{F_c}$ を用いた。しかし、実験装置の都合上完全固定が得られず、端部固定度のゆるみによってひびわれ発生が遅れ、実験値が高くなり実験値/計算値が1.24～1.46と高目になった。

2) 最大荷重

図4及び表4によれば逆T形埋設型枠を用いた合成床スラブPVCS(S)-1とPVCS-1の2体の試験体は、曲げ破壊により、せん断性状調査用の試験体PVCS(S)-3、PVCS(S)-4の2体はPC板コンクリートのせん断破壊により最大荷重が決まったが、これらの実験値/計算値は、それぞれ、1.15, 1.22, 1.14, 1.10を示しており、実験値が計算値を上回っている。しかしこれに反して、U形埋設型を用いた合成スラブは、単純支持のPVCS(S)-2の場合は、曲げ破壊の徴候を示してはいたが、最終段階に至って急にせん断引張破壊を誘

発してしまい、実験値は計算値を若干下回った。また両端固定の合成スラブPVCS-2も、初めの6tonまで逆T形のPVCS-1と殆ど同じ荷重～たわみ性状を示し、端部上端の異形鉄筋は一応降伏点に近づいてはいたのだが、たわみがまだ1cmと極く小さな時点でせん断引張破壊を起こしてしまった。この原因としては、床スラブ側面に貼付したひずみゲージの動きから打継面の付着が十分でなかったと思われる節もあったが、一般的に、U形埋設型枠を用いて試験体を作成すれば大切なリブを2分せねばならず、そのため、逆T形埋設型枠より合成効果が低下することは自明のことであり、PC鋼より線のかぶり厚も薄くなって、その影響も加味されたと思われる。また、埋設型枠と後打ちコンクリートとの打継面積の不足や、リブ形式特有の遅れせん断破壊等も要因の一つと考えられる。

3) 荷重～たわみ関係

図4に曲げ試験用の5体の荷重～たわみ関係を示す。試験体下面にひびわれが生ずるまでに至らなかったPVCS-2を除けば、他の試験体では、試験体下面中央にひびわれが発生した時点からたわみの増加が見られる。またスパン中央上面のコンクリートの圧壊によって終局に達したPR-2, PVCS(S)-1, PVCS-1の3体は、終局の部材角が約1/300と大きく、靱性の高い性状を示している。

しかし、U形型枠を用いた合成床スラブの場合、PVCS(S)-2は逆T形のPVCS(S)-1と同じ荷重～たわみ曲線をたどり、曲げひびわれが伸展中であつたが、たわみが3cmの時せん断引張破壊によって終局に達した。また、U形型枠を用いた固定床スラブPVCS-2の場合は、たわみが著しく小さくてしかも曲げひびわれがスパン中央下面に発生する以前、即ち中間部材を十分生かしきれずにせん断破壊してしまった。

図5に逆T形とU形の型枠を用いたせん断調査用合成床スラブ2体の荷重～たわみ関係を示す。剛性、耐力に関しては両者共ほぼ同様の性状を示しており、下面にひびわれの発生した時点からたわみの増大が見られる。しかし、逆T形型枠を用いたPVCS(S)-3は、コンクリートに曲げせん断ひびわれが発生した後、せん断圧壊によって終局に達した。一方、U形型枠を用いたPVC

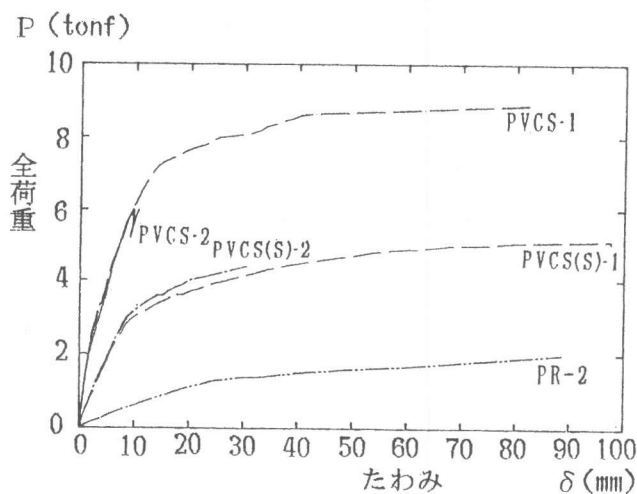


図4 荷重～たわみ関係(スパン5.6m)

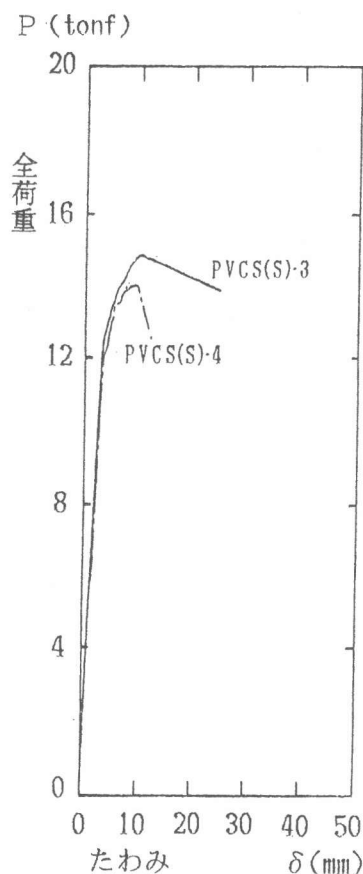


図5 荷重～たわみ関係(スパン2.8m)

S(S)-4は、コンクリートに曲げせん断ひびわれが発生した後、たわみがまだ前者の約1/2と小さい時点でPC鋼より線の引き抜けを起こし終局に達した。

4) PC鋼より線の荷重～ひずみ関係

図6に曲げ試験用の5体のPC鋼より線の荷重～ひずみ関係を示す。PC鋼より線のひずみは、ひずみ量が150～200 μ に達し、試験体下面に曲げひびわれが発生した時点から急激に増大し、PVCS(S)-1は降伏ひずみに達し、PVCS-2を除く他試験体においても降伏ひずみ近傍までひずみが増加している。

5) 異形鉄筋の荷重～ひずみ関係

図7に両端固定床スラブ(PVCS-1, 2)の上端筋の荷重～ひずみ関係を示す。逆T形型枠を用いたPVCS-1においては、ひずみが約2000 μ に達した時、異形鉄筋が降伏し、その後、ひずみは急激に増大しているが、U形型枠を用いたPVCS-2においてはせん断引張破壊を起こした為、異形鉄筋はまだ降伏に至っていない。

6) ひびわれ発生状況

図8に、両端固定床スラブの2体と、せん断性状調査用の2体の最終ひびわれ図を示す。

逆T形型枠を用いた固定床スラブPVCS-1においては、まず、固定端部に数本のひびわれが発生し、後に試験体下面の載荷点間に曲げひびわれが@150の間隔でほぼ均等に分散して発生し、それが現場打ちコンクリート部上面まで伸展し圧壊現象を示しており、かなり粘り強く抵抗した様子が窺える。一方、U形型枠を用いた固定床スラブPVCS-2においては、固定端部上面に数本貫通ひびわれが発生しているが、中央部下面にはひびわれが全く認められないまま終局に至っている。

せん断調査用のPVCS(S)-3とPVCS(S)-4は、載荷点間にはひびわれが入らず、載荷点外のせん断側にひびわれが発生している。

また、逆T形型枠を用いたPVCS(S)-3においては、PC板に発生した曲げせん断ひびわれが現場打ちコンクリート部分まで伸展し、上面において圧壊現象を示しているのに対し、

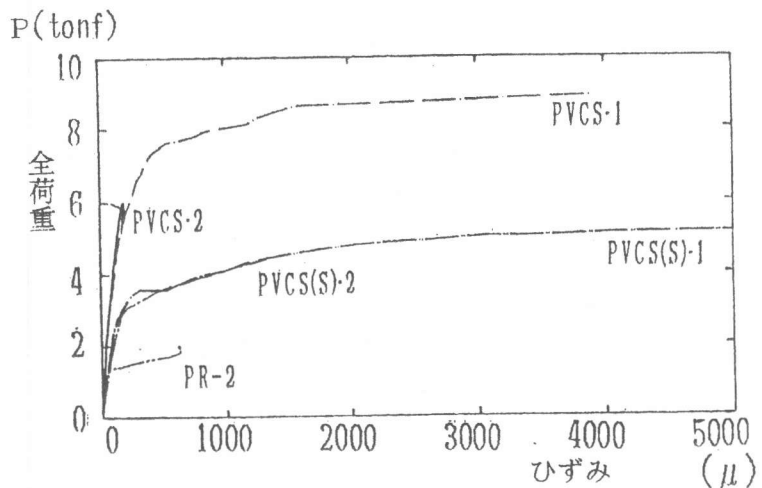


図6 PC鋼より線の荷重～ひずみ関係

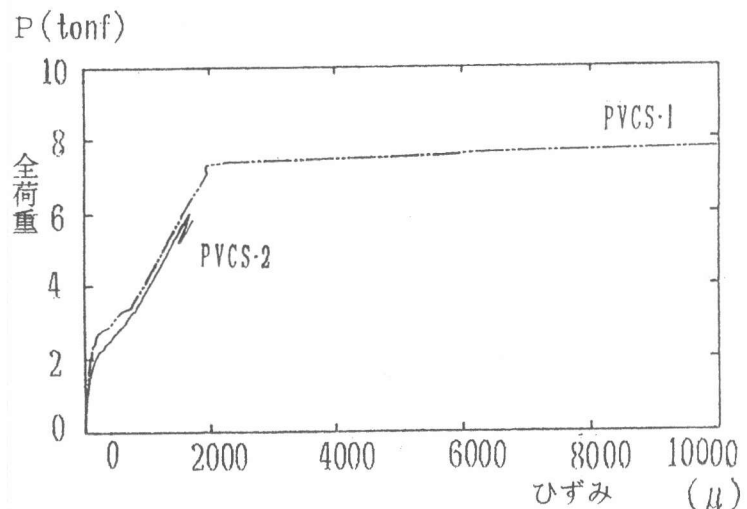


図7 異形鉄筋の荷重～ひずみ関係

U形型枠を用いたPVCS(S)-4においては、ひびわれはPC板には発生したが、現場打ちコンクリート部分には伸展せず、PC鋼より線の引き抜けを起こし、終局に至った。

7) 空洞化による軽量化の効果
 スパンが5.6mの逆T形合成床スラブの場合、リブの両脇に空洞を設けることによって耐力の低下なしに固定荷重を充実床スラブより約25%軽減することができた。しかし、これは設型枠と後打ちコンクリートとの打継面の付着が健全で一体性が保持されていることが条件である。

6. 結び

(1) 逆T形埋設型枠を用いた空洞部を有する合成床スラブは、いずれも靱性の高い破壊性状を示し、最大荷重も計算値を上回った。

(2) 埋設型枠としてU形を用いた場合は打継面のずれが起こり最終的にはせん断引張破壊を起こした。施工不良の他、試験体作成の際にリブを2分したことが原因と考えられる。

(3) 逆T形合成スラブのリブの両脇を空洞化することによって殆ど耐力の低下なしに約25%の重量軽減を図ることが出来た。

〔文献〕1)小森, 田中, 永藤, 近藤「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

2)山下, 岩原, 小森「逆T形埋設型枠を用いた合成床スラブの長期曲げ性状」コンクリート工学年次論文報告集 vol.13 No.2 pp.249~254 1991

3)小森清司「合成床スラブ打継面の付着せん断耐力とずれに関する実験的研究」日本建築学会九州支部研究報告第28号 pp.221~224 1985

4)日本建築学会：プレレストコンクリート設計施工規準・同解説(1987版)

〔謝辞〕本研究に御協力戴いた長崎大学大学院生近藤正治, 吉富清剛, 同学生前野敏, 山道泰明, 赤井剛, 植坂武史, 船ヶ山直樹, 吉野広の諸氏に深謝致します。

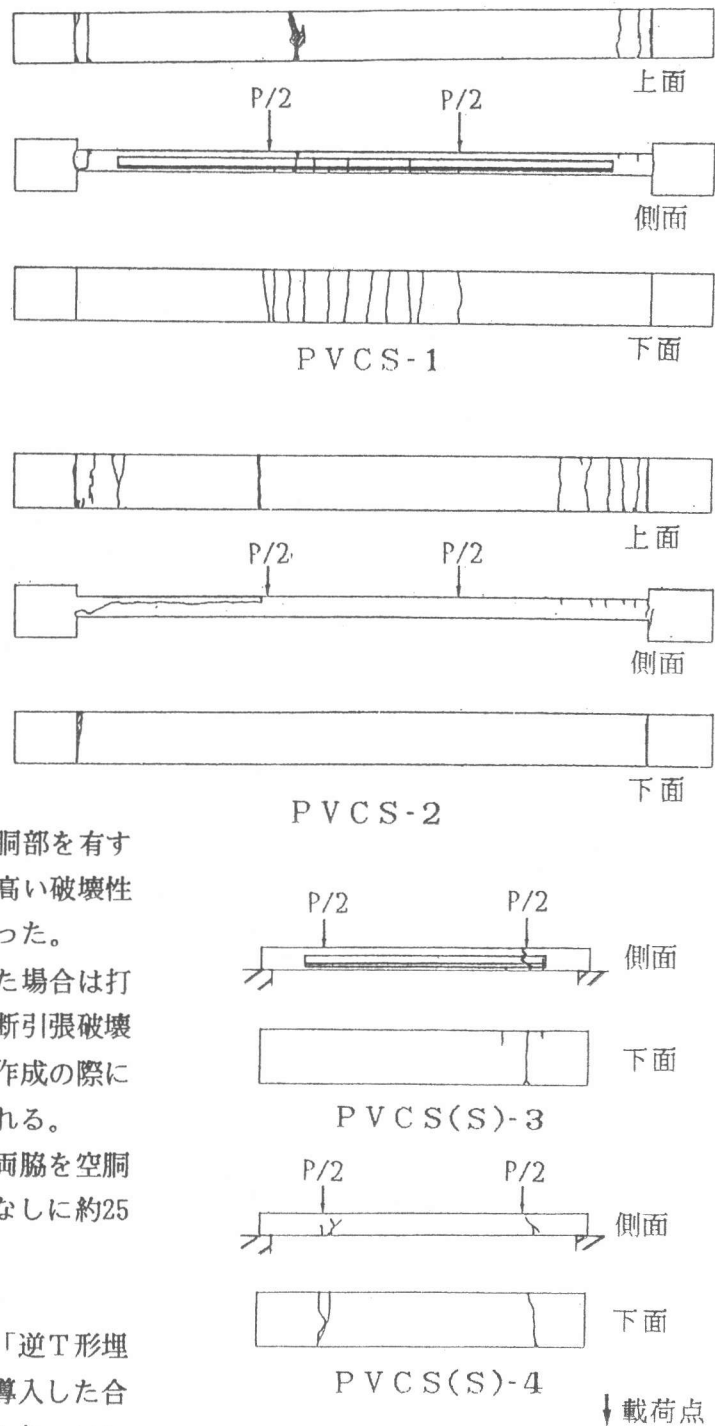


図8 最終ひびわれ図