

PC埋設型枠を用いた道路橋床版の特性

BEHAVIOR OF PRECAST PRESTRESSED COMPOSITE DECK SLABS
FOR HIGHWAY BRIDGES

今井宏典*・園田恵一郎**・水元義久***・正田正一****

By Hirosuke IMAI, Keiichiro SONODA, Yoshihisa MIZUMOTO and Masakazu MASADA

Heavy cracking in reinforced concrete deck slabs of highway bridges in Japan has raised serious problems. To solve these problems, massive investigations have been done and one of the solutions was reached to adopt precast prestressed composite deck slabs, which consist of precast prestressed thin panels and the cast-in-place deck slab concrete on their top. Series of experiments as follows were conducted to get more detailed knowledge on this composite structure.

- ① Bond strength of the prestressing strands in the precast panels.
- ② Edge effect due to the prestressing strands.
- ③ Bond strength at the interface of the precast prestressed panels and the cast-in-place concrete on their top.
- ④ The influence of longitudinal discontinuity due to the precast panel joints.
- ⑤ Bending strength at the negative moment region of the continuous composite slabs.

As the result of these experiments, it has been shown that the precast prestressed composite deck slabs have excellent characteristics against cracking and deflection and behave like prestressed concrete structural member as a whole.

1. ま え が き

道路橋鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版と称す)の損傷が問題にされ始めてから十数年が経過している。この間、各所で原因究明の努力がなされているが、疲労によるひびわれの進展やRC床版の材料特性を加味した設計法、ならびにそれに至るに必要な破壊メカニズムの工学的な把握にまでは達していないのが現状と思われる。

従来の研究¹⁾は主として作用外力と断面性能との応答関係より評価が行われてきた。その評価指標として曲げ疲労およびせん断に着目し、曲げ疲労に対しては鉄筋の許容応力度を抑制することで対応し、せん断に対しては床版厚の増加により対応していく方策がとられてきた。

しかし、十数年以前に建設された床版のうちでも厳しい荷重条件にさらされながらも十分機能しているRC床版も多い。一方、新しい設計基準で施工したRC床

版の一部では、供用開始以前にもかかわらずひびわれが発生し、2年以上にわたって生長が認められている²⁾。このひびわれ原因としては、施工条件、環境条件、材料などの影響が考えられる。特に、近年の骨材事情の悪化、熟練作業員の不足、ポンプ施工に伴うモルタル量の増加といった状況はコンクリートの乾燥収縮を増長したり、化学的な諸問題を引き起こす可能性がある。これらの問題は、単に力学的な断面性能の改善のみでは解決できないところもある。

そこで、阪神高速道路公団では床版損傷にかかわる研究の一環として、乾燥収縮によるRC床版の初期欠陥の発生機構を定量的に把握するための調査研究²⁾を行ってきた。また、具体的な対応方法として材料面・構造面における改善策²⁾⁻⁵⁾について検討した。検討項目を表1に示す。本研究はこれら改善策の中でも経済性・施工性に優れているとされるPC埋設型枠を用いた床版(以下、PCC床版と称す)を取り上げ、これを鋼橋に採用した場合に生ずる問題点を確かめるために行った調査・実験・試験施工のうち、主として実験の結果を報告する。

2. PCC床版の概要⁶⁾

(1) PCC床版の構造と施工法

PCC床版の構造は図-1に示すように、プレストレ

* 正会員 工修 阪神高速道路公団管理技術センター常務理事(〒541 大阪市東区横堀5丁目32)

** 正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科(〒558 大阪市住吉区杉本町3-3-138)

*** 正会員 阪神高速道路公団工務部調査役(〒541 大阪市東区北久太郎町4-68)

**** 正会員 工修 阪神高速道路公団大阪第二建設部(〒550 大阪市西区立売堀3-1-14)

表一 RC 床版の改善策

材 料 面 の 改 善	(1) 乾燥収縮しない材料を使用する。	●鋼床版、プレキャスト床版、膨張セメント
	(2) 乾燥収縮の小さい材料とする。	●単位水量、モルタル量の低減（ポンプ施工の廃止、高性能減水剤、品質管理） ●軽量コンクリート
	(3) 乾燥収縮があってもひびわれを拘束または分散する。	●スチールファイバーコンクリート ●細径鉄筋の使用
構 造 面 の 改 善	(1) 外気と遮断する。	●鋼製型枠合成床版、GRC埋設型枠床版、Iビーム床版
	(2) 乾燥収縮させて使用する。	●プレキャスト床版、PC埋設型枠床版
	(3) 乾燥収縮ひずみをコントロールする	●PC床版、PC埋設型枠床版、PRC床版 ●桁のジャッキアップダウンによるプレストレスの導入
	(4) 乾燥収縮があっても鈍い構造とする	●床版を厚くする

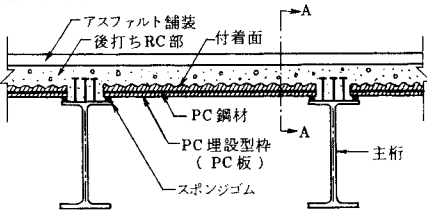
スを導入した厚みの薄いプレキャストコンクリート板（以下、PC板と称す）とその上の後打ち鉄筋コンクリート部（以下、RC部と称す）から成る。PC板はRC部打設時の型枠として用いるとともに、コンクリート硬化後は一体となって後死荷重・活荷重に抵抗する部材である。PC板の橋軸方向の幅は敷設の容易性、板の横曲げを考慮して1mとし、厚みは板内に配置する鋼材のかぶりを確保するため最小70mmを採用した。

PC板は、乾燥収縮、クリープなどによる二次応力を軽減するため、工場製作の後3か月程度仮置する^{7),8)}。架橋現場に搬入されたPC板は、クレーンなどにより主桁間にかけ渡される。その後、PC板上でRC部の配筋を行い、散水して湿潤状態に保ちながらコンクリートを打設する。

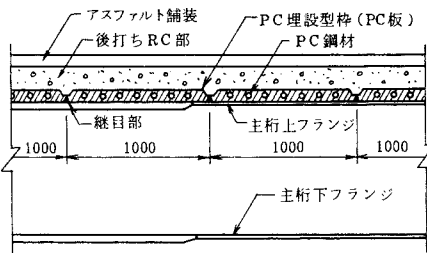
(2) PCC 床版の実績⁹⁾

PCC床版は1963年にアメリカ合衆国で初めて採用された。当時は省力化の面より採用されたが、最近では耐久性が優れている点が注目され、多用されつつある。

(橋軸直角方向)



(橋軸方向) A-A 断面



図一 PCC 床版の構造

それに伴い、各関係機関において調査研究^{10)~12)}が行われ、その成果がまとめられて AASHTO-1979 INTERIM における Deck Panels の規定¹³⁾に至っている。アメリカにおいて行われた PCC 床版に関する検討項目は以下のとおりである。

- ① PC板とRC部との付着
- ② PC板間の継目部の構造と輪荷重の伝達
- ③ PC板内でのPC鋼材の付着
- ④ 工場での製作方法
- ⑤ 現場での架設方法

その結果、PC板とRC部との結合を助けるジベル筋やPC板間を連結するコネクターは必要ない¹⁴⁾という結論に達している。また、この工法で施工され20年を経過した橋梁を調査した結果¹²⁾、すべて良好な状態で、ひびわれや塩分による腐食はなかったと報告されている。

わが国における施工実績は、1971年に鬼高高架橋¹⁵⁾、明智高架橋に初めて採用され、その後、小中台高架橋¹⁶⁾、第2江ノ奥高架橋、小倉池橋、海老江出路橋¹⁷⁾などがこの工法を用いて建設された。

(3) PCC 床版の特長

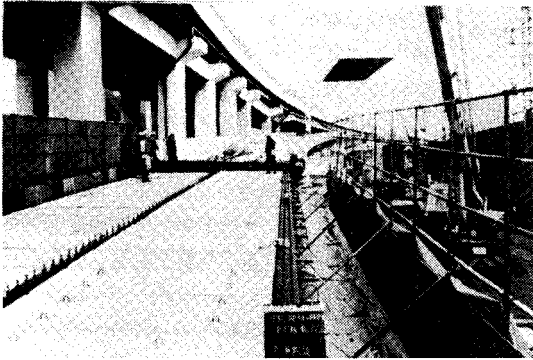
PCC床版の特長を列挙すると、次のようになる。

a) 初期欠陥の防止：PC板はプレキャスト部材として工場で作成されるので、信頼度の高い製品が期待できる。すなわち、鉄筋のかぶり確保や乾燥収縮による初期ひびわれを防止するうえで有効である。

b) 耐力の向上：文献調査¹⁸⁾によれば、PCC床版はひびわれ耐力でRC床版の約4倍、終局荷重でも約1.5倍を示す。また、過大な荷重が作用していったんひびわれが生じて、除荷後はプレストレスの働きによりひびわれが閉じる特性を兼ね備えている。

c) 工期の短縮：PCC床版工法はRC床版のような型枠転用の必要性がないため、型枠の移動時間、手待ち時間を省略できる。

d) 現場作業の安全性、省力化の向上：従来の床版施工は足場作業に大きい危険を伴う。また、近年の熟練作業員の不足に伴い、作業の単純化、省力化が求められ



写真一 PCC 床版の施工

つつある。PCC 床版工法は足場作業が大幅に軽減でき、PC 板敷設も 5 名程度で行える単純作業である。写真一 1 に敷設状況を示す。

e) 経済性：工事規模，施工条件などにより変動はあるものの，PCC 床版工法は通常の RC 床版工法と同程度かやや高い工費で施工できる。

3. PCC 床版に関する実験^{9), 19), 20)}

(1) 調査項目

PCC 床版を実際の鋼桁橋に適用するにあたり，力学的な問題として下記の事項を実験により調査・確認した。

- ① PC 板内での PC 鋼材の付着特性
- ② プレストレスによる PC 板内の局部応力特性
- ③ PC 板と RC 部との一体性，付着面の付着特性
- ④ 継目部における橋軸方向の連続性とその耐荷性状
- ⑤ 床版ハンチ省略による連続版中間支点部への影響
- ⑥ 鋼桁上フランジの変形に対する床版の追従性
- ⑦ PC 板と上フランジとの必要かり長
- ⑧ PC 板と RC 部とのコンクリートの材令差が付着面に与える影響
- ⑨ PCC 床版の水中での疲労性状
- ⑩ RC 部に軽量コンクリートを用いた PCC 床版の耐荷性状

上記項目のうち，⑨は道路橋 RC 床版の疲労性状に水の影響が大きいたことが明らかとなってきた⁵⁾ため，PCC 床版についても水中疲労実験を行い，PC 板と RC 部との付着面における付着，ひびわれの進展，破壊

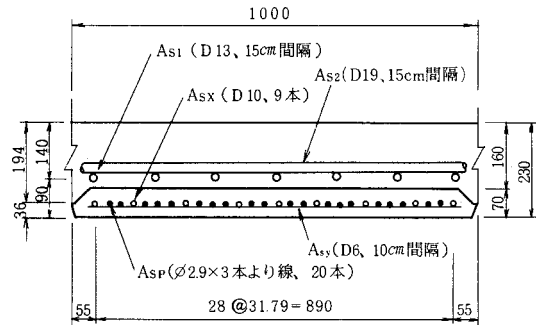
性状に水がどのような影響を与えるかを調査したものである。また，⑩は軽量コンクリートのように比較的乾燥収縮ひずみが小さく，しかも弾性係数が小さくて変形性能のよいコンクリートを活用し，ひびわれ制御，耐久性と経済性の両面を兼ね備えた今後の構造として取り上げた。なお，紙面の都合により⑦～⑩については本稿では割愛したので，詳細は文献 7)，9) を参照されたい。

①～⑦の実験に用いたコンクリートの示方配合を表一 2 に示す。

(2) PCC 床版の設計⁹⁾

PC 板は自重，RC 部の死荷重，作業荷重に対してフルプレストレスとなるよう設計する。導入プレストレスは変形管理の観点から 80kg/cm^2 (780N/cm^2) 以下とした。PC 鋼材は，PC 板長に応じて $\phi 9.3\text{mm}$ (SWPR 7 A, 7 本より) と $\phi 2.9\text{mm} \times 3$ 本より (SWPR 3 A) を選択した。

PCC 床版の断面力の算定は，道路橋示方書で定める等方性版による設計法によった。従来のわが国での施工例では，鋼桁上の PC 板は床版と一体構造と考えずに，単なる捨て型枠として取り扱ってきたが，本研究における PC 板は床版と一体となって上載荷重に抵抗する合成構造部材として評価している。なお，橋軸直角方向の設計では，PC 板内の PC 鋼材や橋軸直角方向の鉄筋はすべて床版主鉄筋とみなし，RC 部材としての計算を行い，プレストレスは配筋設計では考慮していない。RC 部の死荷重は PC 板に受け持たせるため，PCC 床版の設計曲げモーメントの中には含めていない。橋軸方向の配筋設計は，1 m 間隔で生じる PC 板継目部を考慮し，PC 板の厚みは抵抗断面に加えていない。



図一 PCC 床版の配筋例

表一 2 コンクリートの示方配合

	設計基準強度 (kN/cm^2)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kN/m ³)				
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (マイティ)
P C 板	$\sigma_{ck} = 4.90$	5	1.5 ± 1.0	2.0 ± 1.0	34.4	65	1.52	4.41	11.08	6.69	0.053
R C 部	$\sigma_{ck} = 2.65$	20	8.0 ± 2.0	2.0 ± 1.0	58.1	43	1.48	2.55	8.02	11.05	0.031

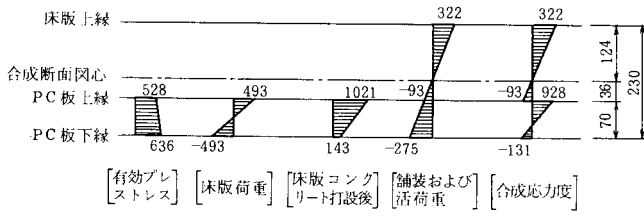


図-3 曲げ応力度の合成 (曲げ応力度単位: N/cm²)

PCC床版の床版厚は道路橋示方書で規定するRC床版と同じとした。図-2に主桁間隔2.68m(PC板長2.48m)の場合の配筋例を、図-3にプレストレスを加味した各荷重作用時における曲げ応力度を示す。

このように設計されたPC板およびPCC床版を用いて、以下の実験を行った。

(3) PC板単体試験

a) 目的

プレキャスト製品としてのPC板の基礎性状を把握し、施工の安全性を確認するため、7×269×100cmのPC板6体を用いて、プレストレス方向の曲げ試験を行った。

b) 実験方法

荷重方法は、スパン239cm、曲げスパン123cm、せん断スパン58cmの対称2点荷重とした。測定項目は、スパン中央におけるPC板上下縁のひずみをひずみゲージで、スパン中央のたわみおよびPC鋼材の滑り込み量をダイヤルゲージで測定した。

c) 実験結果と考察

実験結果を表-3に示す。供試体は図-2に示す鉄筋A_{sx}を変形管理の観点から設けたのみのもの以外に、配力筋A_{sy}の下に溶接金網あるいはメタルラスによる補強を加えたものも作成した。実測ひびわれ荷重は設計荷重の3.7~4.4倍、計算ひびわれ荷重の1.5~1.8倍にあたる。発生したひびわれは除荷後に閉じ、拡大鏡で観測してもひびわれは認められなかった。また、実測終局荷重は計算値の1.2~2.0倍を示し、破壊性状はいずれ

も曲げ圧縮破壊であった。PC板内でのPC鋼材とコンクリートの付着は完全で、板が破壊に至る直前までダイヤルゲージによるPC鋼材の滑り込みは計測されなかった。

表-3において理論値と実測値とに差がみられるのは、理論値の算出にPC鋼線のJIS規格値を用いたこと、および供試体の板厚やPC鋼線の位置に多少の誤差が生じたためと

考えられる。

(4) PCC床版の一体化試験

a) 目的

PCC床版のPC板とRC部との付着性、一体性を確認するとともに、RC床版と耐荷性状を比較することを目的として、橋軸直角方向の曲げ試験を行った。

b) 実験方法

供試体は723×269×100cmのPCC床版、RC床版をおのおの2体ずつ作成した。

荷重方法は、スパン239cm、曲げスパン123cm、せん断スパン58cmの対称2点荷重とした。

測定項目は、版の上・側・下面に貼付したひずみゲージによりコンクリートのひずみを、ダイヤルゲージによりスパン中央のたわみを測定する。さらに、PCC床版については、PC板内に埋め込んだカールソングージによりコンクリートひずみを、クリップゲージによりPC板とRC部のずれを、あわせて計測する。

c) 実験結果と考察

実験結果を表-4に示す。PCC床版のひびわれ荷重は計算値の1.9倍、RC床版と比較すれば3.8倍のひびわれ耐力を示した。その際、PC板に先行してRC部にひびわれが発生するような現象は認められなかった。また、除荷後はプレストレスの働きによりひびわれが閉じ、目視では確認できなかった。

PCC床版の板厚方向には、図-4に示す位置にゲージを埋め込み、応力分布を計測した。計算ひびわれ荷重作用時における各種ゲージによるひずみは理論値とほぼ等しく、板厚方向に直線分布をなしている。クリップゲージによるPC板とRC部とのずれの計測においては、

表-3 PC板の耐力

PC板の種類		ひびわれ荷重(kN)		終局荷重(kN)	
		理論値	実測値	理論値	実測値
PC鋼線 φ10.8	補強なし	32.9	58.8	74.0	115.3
	補強なし	32.9	49.0	74.0	88.3
3×φ2.9	補強なし	33.1	62.8	73.6	145.1
	補強なし	33.0	58.8	73.7	98.1
φ9.3	溶接金網 32×100×100	33.0	61.8	73.7	120.6
φ9.3	メタルラス 1.9×5.0×2.3	33.0	51.0	73.7	130.4

注1) 設計荷重(13.3kN)は、後打ち床版死荷重および作業荷重をいう。
 注2) 理論ひびわれ荷重は、PC板下縁の引張応力度がコンクリートの曲げ強度(49kN/cm²×10%)に達した場合の相当荷重をいう。
 注3) 理論終局荷重は、道路橋示方書(Ⅲ、コンクリート橋)§2.1.1(a),(c)による。

表-4 PCC床版一体化試験

試験体の種類	設計荷重(kN)	ひびわれ荷重(kN)		終局荷重(kN)		破壊モード
		理論値	実測値	理論値	実測値	
PCC床版	1 122 (-300)	181	343 (-845)	670	626	せん断破壊
		"	"	"	670	破壊せず
RC床版	1 106	90	91	346	490	曲げ圧縮破壊
		"	"	88	530	曲げ圧縮破壊

注1) ()内は、PCC床版の下縁応力度(N/cm²)を示す。
 注2) 設計荷重は、舗装死荷重および活荷重(道路橋示方書による)をいう。
 注3) 理論ひびわれ荷重、理論終局荷重は表-3と同じである。

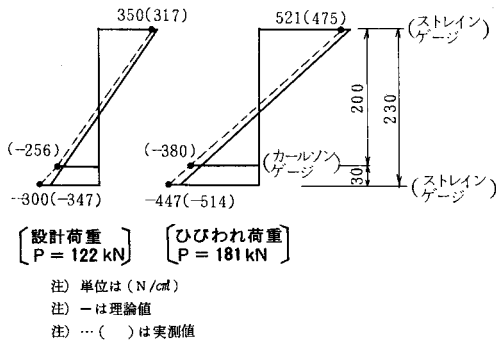


図-4 PCC床版一体化試験(版内応力分布)

破壊後もずれは認められなかった。したがって、PC板とRC部は一体として挙動することが確認できた。

(5) 連続床版試験

a) 目的

PCC床版工法では施工性を考慮して床版ハンチを設けていない。そこで、PCC床版の鋼桁上支点部に着目し、連続床版に作用する支点部の橋軸直角方向負曲げモーメントに対してRC床版より有効高が減少することによる耐荷性状に与える影響を明らかにすることを意図した。

b) 実験方法

供試体は図-5に示すPCC床版と9cmのハンチを設けた同厚のRC床版の2体を作成した。計測ゲージ貼布位置はともに同じである。PCC床版の載荷位置およびゲージ取付位置は図-5に示す。

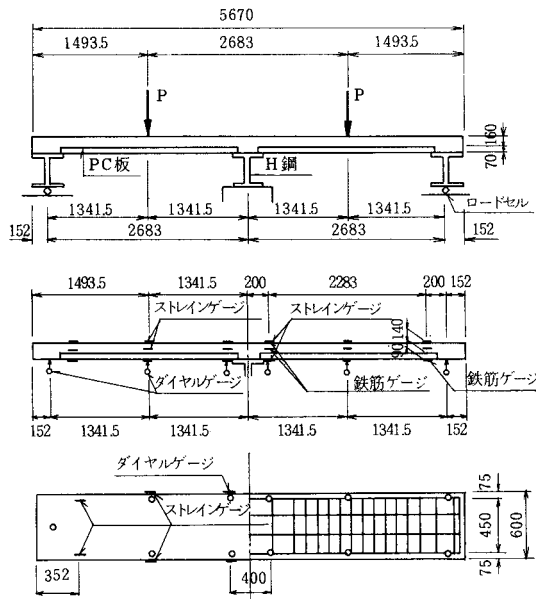
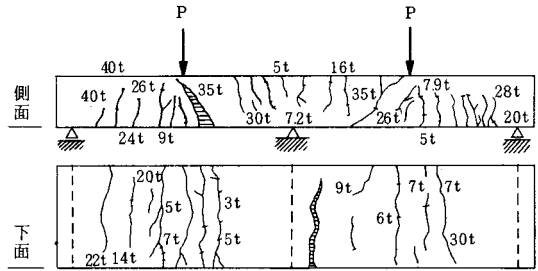
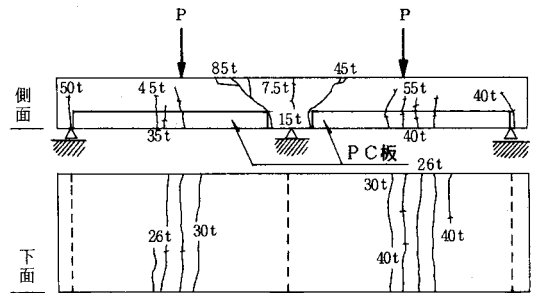


図-5 連続床版試験 (PCC床版)



(a) RC連続版



(b) PCC連続版

図-6 連続床版試験ひびわれ状況図

c) 実験結果と考察

図-6に破壊性状を、表-5にそれぞれの破壊耐力を示す。RC床版では載荷重5.0tf(49kN)程度で支間部、支点部に曲げひびわれが認められ、荷重の増加に伴い支間部の曲げひびわれが載荷点に向かい、44.0tf(431kN)でせん断破壊した。一方、PCC床版では初期ひびわれが7.5tf(74kN)で支点上RC部に発生し、その後26.0tf(255kN)で支間部にもひびわれが生じた。破壊は支点付近のPC板端とRC部の境界に破面を形成するせん断破壊である。PCC床版の破壊荷重実測値(537kN)は支点部の終局荷重理論値の約2.3倍、RC床版実測値と比較すると約1.2倍にあたる。

(6) 継目部試験

a) 目的

PCC床版は橋軸方向の曲げモーメントに対してRC部で抵抗するよう設計しているものの、橋軸方向に1mごとに生じるPC板の継目部に起因する問題がいくつか懸念される。たとえば、継目部の不連続性による応力集中、継目部が与える剛性低下の影響、PC板の剝離などである。本実験は鋼桁の変形等によって生ずる橋軸方向の曲げ疲労に対して継目部の与える影響を調査することを目的とした。

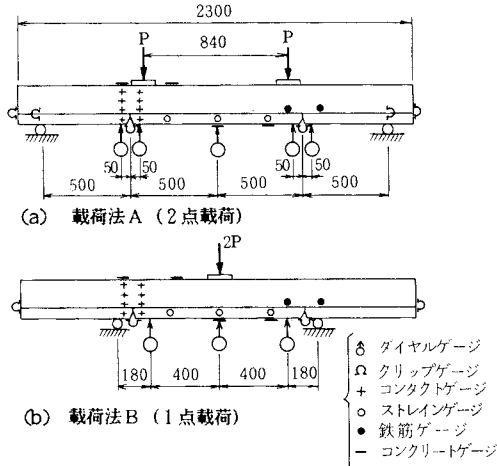
b) 実験方法

供試体は $23 \times 230 \times 100 \text{ cm}$ のPCC床版を2体作成

表一5 連続床版試験

試験体の種類	設計荷重 (kN)	ひびわれ荷重 (kN)		終局荷重 (kN)		破壊モード
		理論値	実測値	理論値	実測値	
PCC 連続版	(支点)	7.4	6.3	7.4	2.38	支点部 せん断破壊
	(中央)	10.1	15.1	25.5	5.47	
RC 連続版	(支点)	7.1	10.7	4.9	3.46	中間部 せん断破壊
	(中央)	9.1	7.7	5.9	2.78	

注1) (支点)は支点を、(中央)は支間中央部を表わす。



図一7 継目部試験

した。図一7に示すようにスパン中央から左右それぞれ50 cmの位置に継目がある。測定項目は、鉄筋・PC鋼材・コンクリートのひずみ、継目部のひびわれ幅、PC板とRC部とのずれ、PC鋼材の滑り込み量、たわみである。

荷重方法は図一7の(a),(b),2通りとした。荷重順序は、まず設計荷重(34 kN)までは静的荷重を行い、その後10万回ごとに上限荷重を2.0 tfずつ上げながら繰返し試験(繰返し速度;5~7 Hz)を行った。

c) 実験結果と考察

① 初期ひびわれ荷重

供試体(a)の静的荷重の段階で、 $P=2.0\text{ tf}$ (19 kN)のときに継目の開きに伴うひびわれが観測され、 $P=3.5\text{ tf}$ (34 kN)のときにPC鋼材の直下に幅方向全長にわたりひびわれが発生し、同時にPC鋼材端部の滑り込みが確認された。供試体(b)では、 $P=1.0\text{ tf}$ (10 kN)でスパン中央部のPC鋼材に沿って下面にひびわれが観測され、PC鋼材の滑り込みは $P=2.0\text{ tf}$ (20 kN)付近から著しくなることが判明した。

荷重による曲げ引張のみを考えれば、計算ひびわれ荷重は9.0 tf (88 kN)となるが、実測値はそれよりはるかに小さい。この原因の1

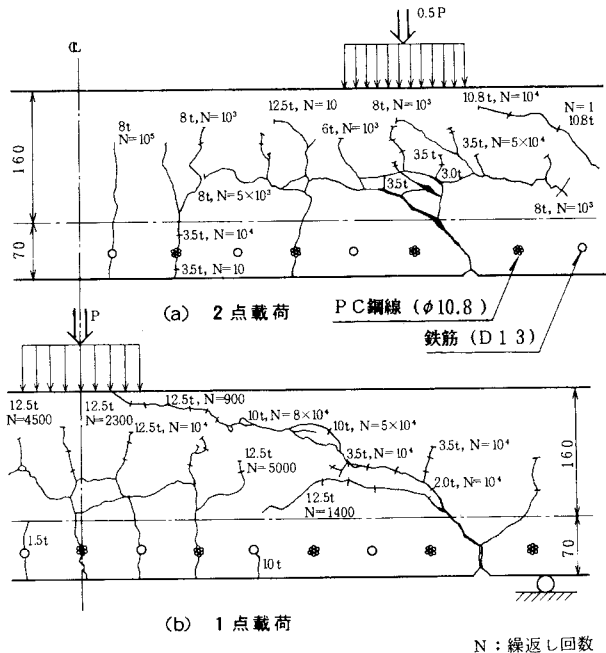
つとして、PC鋼材のエッジ効果が挙げられる。つまり、PC鋼材端部に円周方向のフープテンションが発生し、それに荷重による曲げ引張応力が加算されて早期に版の下縁にひびわれが発生したものと考えられる。

② ひびわれ性状と破壊モード

図一8に供試体(a),(b)の破壊モードを示す。供試体(a)では、繰返し荷重時のひびわれはスパン中央部より継目部付近で生長が著しく、特に継目部に発生したせん断ひびわれは8.0 tf (78 kN)前後からPC板を剥離させようとする方向に進展した。そして、10.0~12.5 tf (98~123 kN)で破壊に至った。供試体(b)では、継目部のせん断ひびわれが荷重点に向かって生長し、12.5 tf (123 kN)でほぼ破壊状態になった。これは終局曲げ耐力²¹⁾の計算値 $P_u=151\text{ kN}$ および終局せん断耐力²²⁾の計算値 $V_{cu}=177\text{ kN}$ と比べると小さい。この原因は明確ではないが、剛性が急変するはりの疲労特性の影響と推察される。

③ その他の計測項目

PC鋼材端部の滑り込み量を測定した結果、静的荷重時には最大滑り込み量が0.7 mmであったのが、20×



図一8 継目部試験ひびわれ状況図

10⁴回繰返し時には1.4mmに生長した。しかし、その後、荷重を上昇させ繰返し回数を増やしても滑り込みはほとんど増加しなかった。

また、クリップゲージによるPC板とRC部のずれは12.5tfにおいても検出されず、PC板とRC部との付着は完全であったと推察される。

(7) 付着せん断試験

a) 目的

PC板とRC部との付着が完全で、合成断面として機能することがPCC床版の構造特性の1つとなっている。したがって、PC板とRC部との付着せん断強度を定量的に把握するために、合成桁ずれ止め試験に用いられるプッシュアウト試験を準用した実験を行った。その際、PC板付着面の形状、付着面の清浄度の付着強度に与える影響もあわせて調査した。

b) 実験方法

図-9に示すような実験装置を用い、PC板とRC部の境界にクリップゲージを貼布した。PC板の付着面の形状は波形と網目の2種類(写真-2参照)、PC板上面の清浄性は油性剥離材(ノックスクリートNo. C-11)を塗布したもの、泥を塗布したもの、無処理のもの3種類について実験を行った。剥離材、泥は付着面にはけで満遍なく塗り込んだ。なお、側圧の影響を軽減するため、供試体の側面にゴム板を挿入した。

c) 実験結果と考察

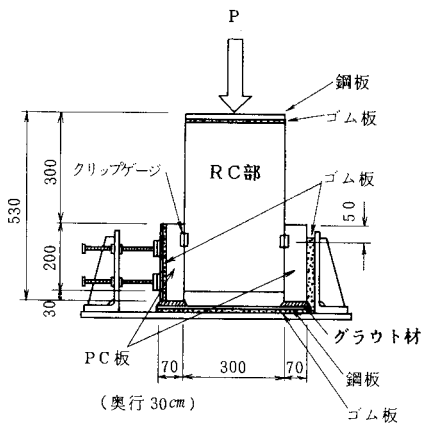


図-9 付着せん断試験

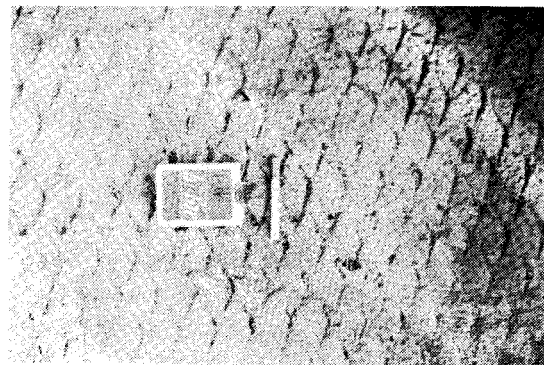
表-6 付着せん断試験結果(付着せん断強度: N/cm²)

付着面形状	清浄度			平均値
	無処理	泥塗布	剥離材塗布	
波 形	430	219	224	291
網 目	156	168	注1)	
平均値	293	193		239注2)

注1) RC部型枠脱型時に破壊し、実験できなかった。
 注2) 剥離材を塗布した網目形状の供試体を除く、10体の平均値である。



(a) 波形成型



(b) 網目成型

写真-2 PC板付着面の形状

実験値は底面のグラウト材とPC板との摩擦の度合によって差が生じたが、その平均値を表-6に示す。破壊はすべてPC板凸部を結ぶ面で起こっており、RC部のせん断破壊によるものであった。したがって、粗面の形状を決める際には、PC板の凸部を小さくしてRC部のせん断抵抗面積を大きくとれば、さらにある程度付着強度を高めることができる。

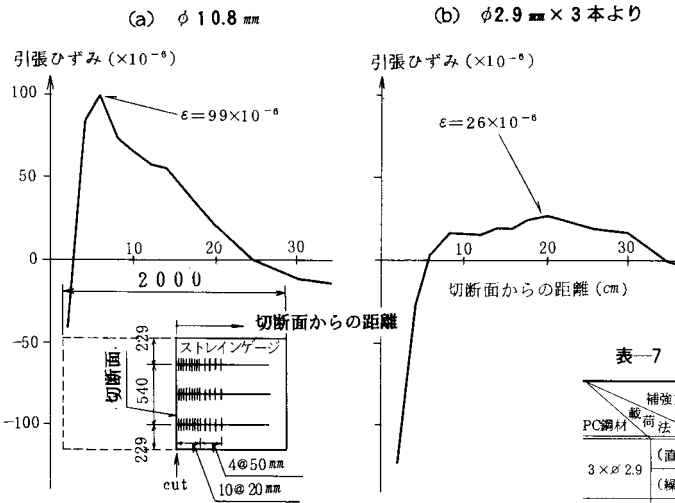
(8) PC板切断試験

a) 目的

PC板は厚みの薄い部材であるため、使用するPC鋼材の種類や径によってはプレストレスによる局部引張応力が顕著に発生する可能性がある。そこで、PC板を図-10左下に示すように半分に切断して、その後の局部ひずみ(PC鋼材と直角方向)の変動を求め、定着部におけるエッジ効果を把握することを目的とした。

b) 実験方法

図-10に示すように、200×99.8cmのPC板下面のPC鋼材直下にひずみゲージを1列14枚、3列に貼りつけた。供試体はPC鋼材にφ10.8mmと3×φ2.9mmの2種類の径を用いたものを作成した。切断はスパン中央をコンクリートカッターにて行い、切断して



図一〇 PC板切断後(10分間)のひずみ分布

10分間放置した後のひずみ変化量を測定した。

c) 実験結果と考察

ひずみの橋軸直角方向分布を図一〇に示す。実験の結果、太径の鋼材を用いたPC板は大きな局部的引張ひずみが働くことが明らかとなった。なお、PC鋼材の付着長は25~35cmで、PC板の長さは最低70cm程度なければPC板の特性は発揮されない。

(9) PC板横曲げ試験

a) 目的

PC板内の鋼材と直角方向の局部引張応力は、鋼桁の変形などによる橋軸方向曲げモーメントに対する耐力性状を低下させる懸念がある。そこで、PC板に横曲げを与えた場合のひびわれ発生およびボンドスリップの限界を把握するとともに、横曲げ耐力に与えるPC鋼材の種類の影響、ひびわれ補強方法の効果を調査した。

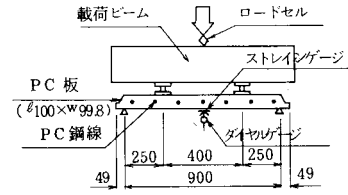
b) 実験方法

供試体は、PC鋼材に3×φ2.9mm、φ10.8mmの2種類、補強方法として溶接金網、メタルラス、配力鉄筋のみの3種類のあわせて6種類を作成した。

荷重方法は図一〇に示すような2点荷重とし、直線荷重と漸次繰返し荷重の2ケースについて行った。漸次繰返し荷重は直線荷重による実測ひびわれ荷重の50%、70%、80%、90%の荷重を3回ずつ繰り返した。

c) 実験結果と考察

実験結果を表一七に示す。漸次繰返し荷重によるひびわれ発生荷重は直線荷重によるものより一般に低く、3×φ2.9mmで直線荷重の90%、φ10.8mmで60%程度の強度低下があった。最初のひびわれは、φ10.8mmではすべてのケースについてPC鋼材の下に生じたのに対し、3×φ2.9mmでは鉄筋の下に生じた。また、



図一〇 PC板横曲げ試験

表一七 横方向曲げ試験結果(ひびわれ発生荷重:kN)

PC鋼材	補強方法 荷重法	補強方法			平均値
		配力鉄筋のみ	溶接金網 補強	メタルラス 補強	
3×φ2.9	(直線)	22.1 (24.5)	29.4 (29.4)	34.3 (29.4)	28.6 (27.8)
	(繰返)	17.7 (19.6)	23.5 (17.2)	27.5 (31.9)	22.9 (22.9)
φ10.8	(直線)	17.3 (9.8)	19.6 (9.8)	24.5 (24.5)	20.5 (14.7)
	(繰返)	8.2 (7.4)	13.7 (7.4)	17.2 (9.8)	13.0 (8.2)
平均値		16.3 (15.3)	21.6 (16.0)	25.9 (23.9)	21.3 (18.4)

注1) ()内は、PC鋼材のボンドスリップ荷重(kN)を示す。
注2) (直線)は直線荷重、(繰返)は3回繰返し荷重を示す。

供試体の中には鋼材下面のかぶり厚に2~3mmの誤差のあるものが見出され、かぶり厚が小さいと横曲げに対し早期にひびわれが起こることが判明した。

4. 結 論

一連の実験を通して得られた結果を要約すると、次のとおりである。

(1) PC板単体試験の結果、PC板のプレストレス方向は設計荷重に対し十分な耐力を有し、PC鋼材の滑り込みも破壊直前まで生じなかった。

(2) PCC床版一体化試験によれば、PCC床版のひびわれ荷重はRC床版の3.8倍、終局荷重は1.3倍を示し、いったん生じたひびわれも除荷後はプレストレスの作用により閉じるという特性をもつ。また、PC板とRC部は一体として挙動することが明らかとなった。

(3) 連続床版試験でPCC連続版のひびわれ荷重はRC連続版の1.5倍、終局荷重は1.2倍を示した。PCC連続版のひびわれ本数はRC連続版に比べて少なく、破壊は支点部のせん断破壊であった。

(4) 継目部試験においては、プレストレスと直角方向の横曲げに対し継目部に早期にひびわれが発生した。その後、PC鋼材直下にひびわれが発生すると同時に、PC鋼材の滑り込みが観測された。この原因としてはプレテンション部材定着部における局部引張応力が考えられる。しかし、実際のPCC床版は主桁上フランジに支持されているため、継目部試験ほど厳しい荷重条件にはなく⁹⁾、PC板相互を連結するコネクタを継目部に設

置しなくても構造上の欠陥とはならないと考えられる。

(5) 付着せん断試験によれば、PC 板と RC 部との付着せん断強度は PC 板付着面の形状や清浄度に注意すれば 390 N/cm^2 以上の値が得られ、PC 板と RC 部の付着を助けるジベル筋などは必要がないと思われる。

(6) PC 板切断試験において、PC 板をスパン中央で切断した後の PC 鋼材直角方向のコンクリートひずみの変化量は太径の鋼材を用いた PC 板の方が大きい。

(7) PC 板横曲げ試験の結果、PC 鋼材の径が大きいほど、また下側かぶり小さいものほど横曲げ耐力は小さい。したがって、PC 板の製作にあたって施工性と板内局部応力とに留意して PC 鋼材を選択し、製作精度にも配慮しなければならない²³⁾。

以上の結果より、PC 鋼材の種類、かぶり厚、PC 板上面の形状、清浄度に配慮すれば、PCC 床版工法は従来の RC 床版工法に比べて数々の特長を備えており、今後メンテナンス・ミニマムに重点が置かれつつある橋梁建設に高い可能性を有する工法である。

今後は、この種の合成床版の設計法の確立、設計基準や施工マニュアルの整備が必要であり、そのためのフィージビリティスタディーの一層の積み重ねが望まれる。過去の損傷事例をみると、道路橋 RC 床版では使用限界状態での安全性を確保することが重要な課題であり、この点で PCC 床版は優れた耐ひびわれ特性をもつ好適な工法である。このような観点からいえば、PC 板内のプレストレスを考慮に入れ²⁴⁾、使用限界状態に対して寄与度がそれほど高くない RC 部の下側鉄筋を低減し得る可能性もあり、合理的な合成床版の設計法を確立するための諸検討が課題として残されている。

最後に、これらの調査研究にあたっては、岡田 清 京都大学教授、藤井 学 神戸大学助教授をはじめ、多くの関係者に助言、協力を賜った。記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) たとえば、岡田 清・岡村宏一・園田恵一郎ほか：道路橋 RC 床版のひびわれ損傷と疲労性状，土木学会論文集，No. 321，pp. 49～61，1982-5.
- 2) 今井宏典・岡田 清・児島孝之・水元義久：鉄筋コンクリート床版の乾燥収縮ひびわれに関する研究，土木学会論文集，No. 340，pp. 175～184，1983-12.
- 3) 日本材料学会：RC 床版の初期欠陥とその改善策に関する研究報告書，阪神公団委託，pp. 46～121，1980-3.
- 4) 日本材料学会：RC 床版の初期欠陥とその改善策に関する研究（その 2）報告書，阪神公団委託，pp. 71～121，1981-3.
- 5) 日本材料学会：コンクリートの基礎性状に関する調査研究報告書，阪神公団委託，pp. 15～41，1982-3.
- 6) 今井宏典・水元義久：RC 床版の損傷防止と PCC 床版，橋梁と基礎，Vol. 17，No. 8，pp. 116～120，1983-8.
- 7) 日本材料学会：コンクリートの基礎性状に関する調査研究（その 2）報告書，阪神公団委託，1983-3.
- 8) Mattock, A. : Precast prestressed concrete bridges—creep and shrinkage studies, Journal of the PCA, 1961-5.
- 9) 日本材料学会：PC 埋設型枠床版の耐荷性状に関する調査研究報告書，阪神公団委託，1982-3.
- 10) Barnoff, R. : Full scale test of a prestressed bridge with precast deck planks, PCI Journal, 1977.
- 11) Commonwealth of Pennsylvania Department of Transportation : An experimental prestressed concrete bridge, 1974.
- 12) Texas Transportation Institute : Texas highway department report, No. 1～5, 1970.
- 13) AASHTO : Standard specifications for highway bridges (interim), 1979.
- 14) Kluge, R. and Sawyer, H. : Interacting pretensioned concrete form panels for bridge decks, PCI Journal, pp. 35～61, 1975-5・6.
- 15) 日本道路公団：鬼高架道橋 PC 合成床版載荷試験報告書，1971-5.
- 16) 佐々木武彦・氏家俊和・鈴木哲夫ほか：小中台高架橋における PC 板合成床版の設計施工，橋梁，pp. 1～12，1980-5.
- 17) 伊藤俊一・正田正一：海老江出路 PCC 床版の設計と施工，阪神公団第 16 回技術研究論文集，pp. 215～221，1984.
- 18) たとえば、渡辺 明・出水 隆・江本幸雄：繰返し荷重を受ける PC 板埋設型枠を用いた合成床版の挙動に関する研究，第 3 回コンクリート工学年次講演論文集，pp. 341～344，1981.
- 19) 岡田 清・水元義久・中島裕之・正田正一：PC 埋設型枠を用いた床版の耐荷性状に関する研究，PC 技術協会第 22 回研究発表会，1982.
- 20) Okada, K., Fujii, M. and Sonoda, K. : Precast prestressed composite deck slab for bridges, Proceedings of the FIP/CPCI symposia, Vol. 3, pp. 300～307, 1984-9.
- 21) 日本道路協会：道路橋示方書 Ⅲ. コンクリート橋編，p. 96，1978.
- 22) 土木学会：コンクリート構造の限界状態設計法試案，コンクリート・ライブラリー，第 48 号，p. 37，1981-4.
- 23) 阪神高速道路公団編：PC 板（床版用 PC 埋設型枠）の製作および施工要領（案），1983-3.
- 24) 江本幸雄・出水 隆・松田 浩：Ⅲ種 PC として設計した PC 埋設型枠合成床版の力学的特性，第 4 回コンクリート工学年次講演論文集，1982.

(1984. 10. 22・受付)