

# PC合成床版工法のPC連続合成桁橋への適用

——九州横断自動車道 高崎橋——

## その2：施工および実橋載荷試験

江本 幸雄\*1・古賀 文俊\*2・吉岡 博幸\*3・堤 忠彦\*4

### 1. はじめに

PC合成床版工法は、床版のひびわれに対する耐力および破壊耐力の向上を図り、さらにプレキャスト部材を用いることにより型枠作業を大幅に軽減し、施工の単純化、省力化を可能にするなどの多くのメリットを有する床版工法である。

本橋において、建設工事現場の労働力不足に対処するため、またコンクリート床版の品質向上を図る目的で、BラインにPC合成床版工法を採用した。本工法をPC連続合成桁橋に適用するにあたり、種々の問題点について模型実験を行い、安全性を確認し施工を行った。

模型実験結果と設計の概要については、本誌(35巻5号)ですでに報告済みである。今回は、PC合成床版の模型実験と構造解析手法の妥当性を確認するため、実橋載荷試験を実施したので、施工と合わせて報告する。

### 2. 工事概要

路線名：九州横断自動車道 長崎～大分線  
 工事名：大分自動車道机張原橋他1橋(PC上部工)工事 (橋名：高崎橋)

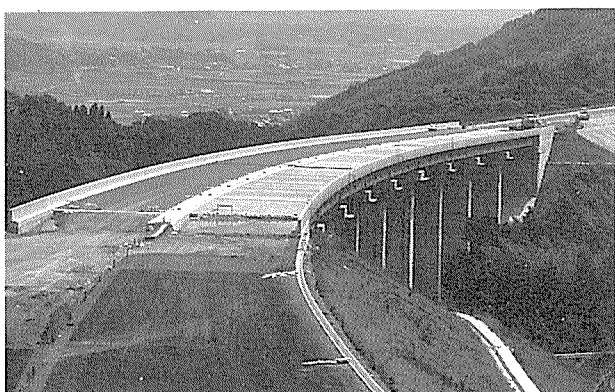


写真-1 高崎橋施工中

工事場所：大分県大分市机張原きちようばる

橋種：プレストレストコンクリート道路橋  
 橋格：第1種3級A規格(1等橋 TL-20, TT-43)

橋梁形式：PC3径間連続合成桁

橋長・支間割：311.4 m 3×(34.15+34.60+34.15)

有効幅員：2×9.0 m

平面線形：R=1300 m

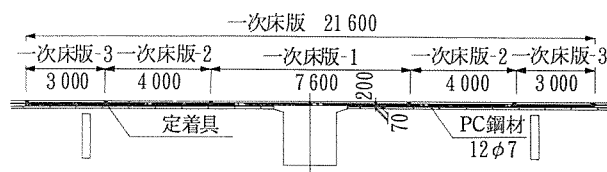
勾配：縦断4%，横断2%

### 3. 施工

#### 3.1 施工概要

本橋梁の床版は、AラインはRC床版として施工を行い、一次床版にプレストレスを導入する場合の定着方法は、従来の床版下面に突起を設けて定着する方法に代わり、床版内に定着する方法を採用した。またBラインは、前に述べたとおりPC合成床版として施工を行った。Aライン、Bラインの一次床版部の構造と施工順序を図-1, 2に示す。

Bライン(PC合成床版)



Aライン(PC床版)

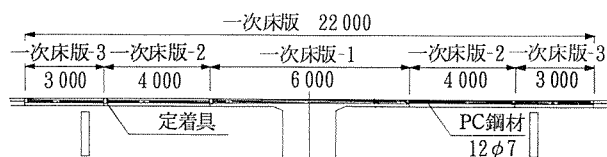


図-1 一次床版部構造

\*1 Yukio EMOTO：福岡大学 工学部 助教授

\*2 Fumitoshi KOGA：日本道路公団 福岡管理局下関管理事務所 副所長(元：福岡建設局構造技術課長)

\*3 Hiroyuki YOSHIOKA：(財)高速道路技術センター 構造技術課長(元：福岡建設局大分工事事務所工事長)

\*4 Tadahiko TSUTSUMI：(株)富士ピー・エス 技術部

◇研究報告◇

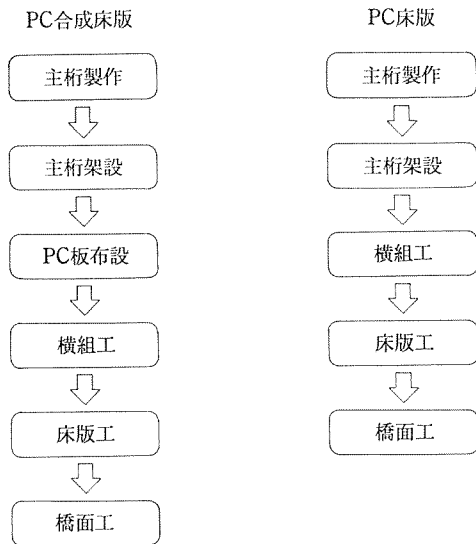


図-2 施工順序

3.2 施工比較

本橋梁は、Aライン Bラインの床版工事に異なる工法を採用したため、種々の比較を行ったので報告する。

(1) 工 程

Aライン、Bラインにおける一連当り(3径間)の実績を表-1に示す。

表-1 工事工程

	50			100			150			日
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
主桁製作	47	47	47							
主桁架設	47	47	47							
横組工				30	30	30				
PC板布設	-3	-3	-3	床版工所要日数61日			床版工所要日数77日			
床版工	一次床版-1	6	15	15	17					
	一次床版-2				11	11				
	一次床版-3				9	9				
	二次床版				20	25				

-----: 桁間、張出し型枠組立  
 上段: Bライン (PC合成床版)  
 下段: Aライン (PC床版)

PC合成床版として施工したBラインが、RC床版として施工したAラインに比べ一連当り16日、全橋で48日工期を短縮することができた。

(2) 労 務

床版工事に要した労務比較を行うと、BラインはAラインの約7割程度の人員で施工を完了した。PC合成床版工法を採用したことにより省力化が可能となった。

(3) 施 工 性

RC床版工法では、桁間の床版型枠を転用する関係

上、一連ごとしか工程を進めることができないが、PC合成床版工法では、張出し床版の型枠を増やすことにより、どこからでも施工を進めることができる。工期の不足する現場では、何連か同時に施工を行えば工期の短縮が可能であるなど、現場条件に合わせて経済的な施工方法を設定することができる。

またAラインでは、床版型枠組立のための二段足場を必要としたが、BラインではPC板を型枠がわりとして使用するため二段足場を設置する必要がなく、施工性が大幅に改善された。

主桁架設後の安全通路は、Aラインでは全橋に渡り設置したが、Bラインでは主桁架設後順次PC板を設置することで、通路と作業場が確保されるため、安全施工ができた。

(4) 施工費用

PC合成床版工法による場合、PC板の製作費、運搬費、敷設費等により、上部工全体の直接工事費はRC床版工法による場合に比べて約2%程度割高となったが、工期の短縮による現場管理費の節減により、若干割高になった程度で完了した。

4. 実橋載荷試験

4.1 試験概要

試験は、施工中一次床版プレストレス導入時、また完成後中間床版のうち橋軸方向に、①中間支点ハンチ部(A部) ②一次床版内打継目(B部) ③一次、二次床版打継目(C部)に設計輪荷重9.6tfを油圧ジャッキにより静的に載荷し、各測定位置でのひずみを測定したものである(写真-2, 写真-3)。

4.2 測定位置および目的

測定位置を図-3、その目的を以下に示す。

- 1) プレストレスによる中間支点上での応力状態の測定。
- 2) プレストレスおよび輪荷重による中間支点横桁ハンチ部の応力状態の測定



写真-2 プレストレス導入時測定状況

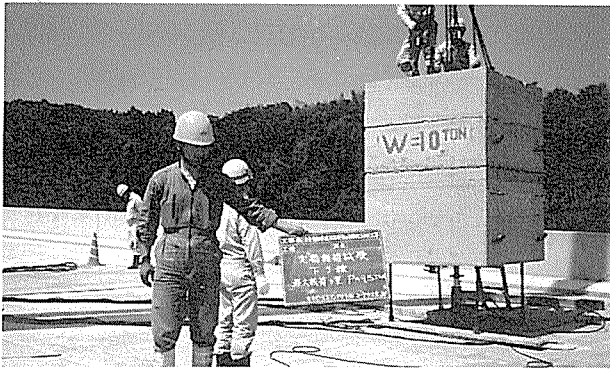


写真-3 載荷試験状況

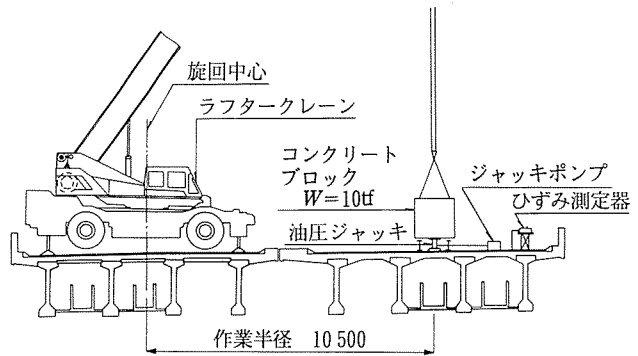


図-4 載荷状態図

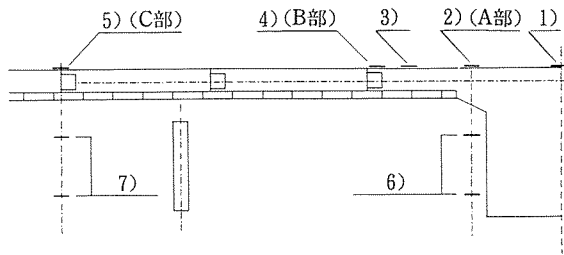


図-3 測定位置

- 3) PC 板目地部をはさんだ位置での応力度分布の測定
- 4) プレストレスおよび輪荷重による定着具近傍の応力状態の測定 (一次床版内打継目)
- 5) 同上 (一次, 二次床版内打継目)
- 6) プレストレスによる主桁への応力流れ状態の測定
- 7) 輪荷重により, 床版より分配される曲げモーメントによる主桁応力度の測定

#### 4.3 試験要領

床版コンクリート打設後3日間養生したのち所要の圧縮強度の発現を確認して, PC 鋼線 12φ7 によりプレストレスの導入を行った。PC 鋼線は, 中間床版1か所当り10本を配置し, 4本, 2本, 4本と橋軸方向に3か所に分けて定着した。プレストレスの導入は, 試験の対象となる位置に定着される4本のPC 鋼線を2本ずつ両方向から同時に緊張することで行った。測定は, 油圧ポンプの荷重示度計の読みで50 kgf/cm<sup>2</sup>ごとに最終緊張力まで行った。

プレストレス導入時の各測定位置での測定は, 3回に分割して導入される一次床版プレストレスの1回目と3回目について行った。

輪荷重の載荷は, 輪荷重以外の荷重による影響がないように, 反対車線より10tfのコンクリートブロックをクレーンにより吊り下げ, これを反力台として, 油圧ジャッキにより静的に載荷した(図-4)。載荷は, 前述した測定位置でA部, B部, C部の順で行い, 各位置のゲージについて, 載荷荷重1tfごとに9.6tfまで測定を行った。

#### 4.4 測定結果および考察

PC 合成床版の場所打ちコンクリート部 ( $t=200\text{ mm}$ ) にプレストレスを導入した場合, またプレストレスと輪荷重が合成された場合のPC 板と場所打ちコンクリートの水平打継面の付着性状について検討した。

図-5, 図-6 に一次床版内打継目定着具近傍 (B 部) PC 板上縁の3回に分割して導入される一次床版全プレストレスによる累計ひずみの履歴曲線を示す。

これらの図より, 3回に分割して導入される一次床版全プレストレス導入後まで, ほぼ一定のひずみの進行状況を示しており, PC 板と場所打ちコンクリートは, 良好な付着性状を有していると考えられる。

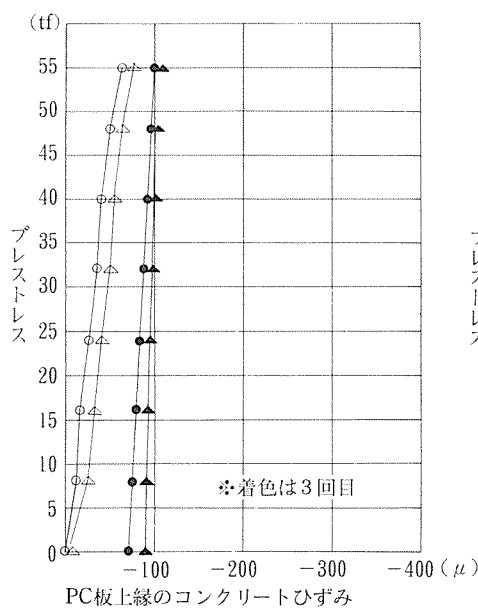


図-5 橋軸方向ひずみ

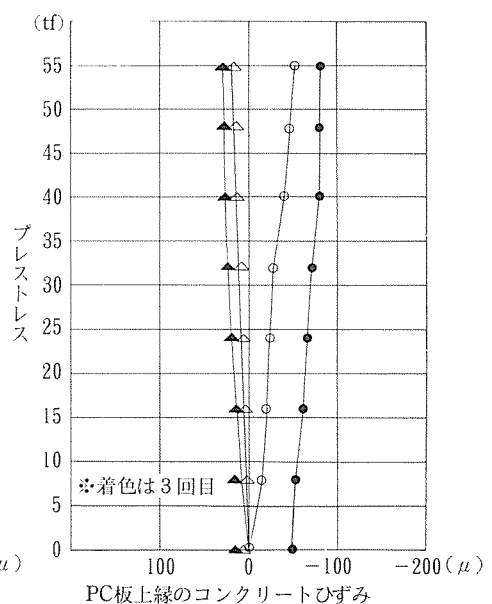


図-6 橋軸直角方向ひずみ

◇研究報告◇

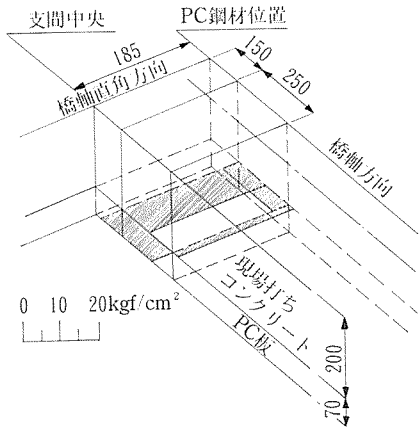


図-7  $P_{i\max}$  によるせん断応力度 (B部)

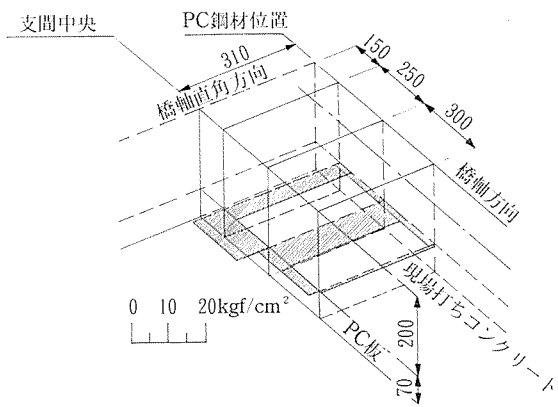


図-8  $P_{i\max}$  によるせん断応力度 (C部)

次に、プレストレス導入時  $P_{i\max}$  による、場所打ちコンクリートとPC板の接合面における水平せん断応力度について検討を行った。水平せん断応力度は、導入プレストレス  $P_{i\max}$  による、各測定位置での曲げ応力度分布より、梁理論における曲げ応力とせん断応力のつりあい式 (1) を用いて推定した。

$$\frac{d\sigma_1 dy - d\sigma_2 dy}{ds} = \tau \dots \dots \dots (1)$$

図-7、図-8にプレストレス導入時  $P_{i\max}$  による曲げ応力度分布から推定したPC板と場所打ちコンクリート接合面における平均水平せん断応力度分布を示す。これらの図から、水平せん断応力度の最大値は、橋軸方向で  $9.2 \text{ kgf/cm}^2$ 、橋軸直角方向で  $9.6 \text{ kgf/cm}^2$  という結果であった。しかし、図-7、図-8の比較により、せん断応力度の算定区間が (310 mm→185 mm と) 短くなった場合、せん断応力度が ( $4.2 \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow 9.6 \text{ kgf/cm}^2$  と) 大きくなることから、多少大きめのせん断応力度が発生する場所は、定着具近傍の局所的な部分であると考えられる。

次に、せん断耐力について検討を行った。測定結果より、設計輪荷重 9.6 tf 作用時のせん断応力度は非常に小さな値であり、輪荷重の作用する有効プレストレス時に

は、 $P_{i\max}$  による応力度が 80% 程度まで減少する。これらのことを考慮すると、プレストレス導入時  $P_{i\max}$  により発生する接合面でのせん断応力度がPC板と場所打ちコンクリート接合面の付着性状に影響を与える最もクリティカルな状態であると考えられる。よって、ここではプレストレス導入時の  $P_{i\max}$  について、せん断応力度の検討を行った。

既往の実験結果報告<sup>4)</sup>において、PC板表面形状とせん断耐力の関係について報告されている。ここでは、この報告を引用して模型実験結果、実橋試験結果およびそれらのFEM解析結果について検討した。図-9に実橋試験のFEM解析モデルを、また図-10にその結果を示

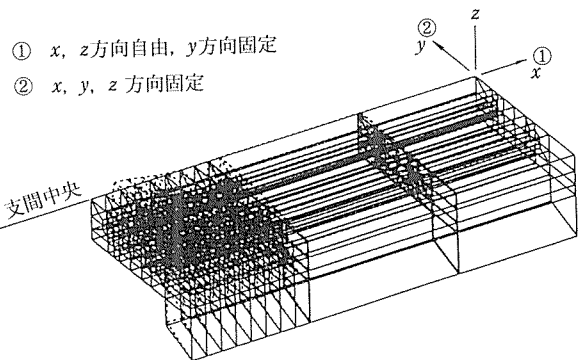


図-9 FEM解析モデル

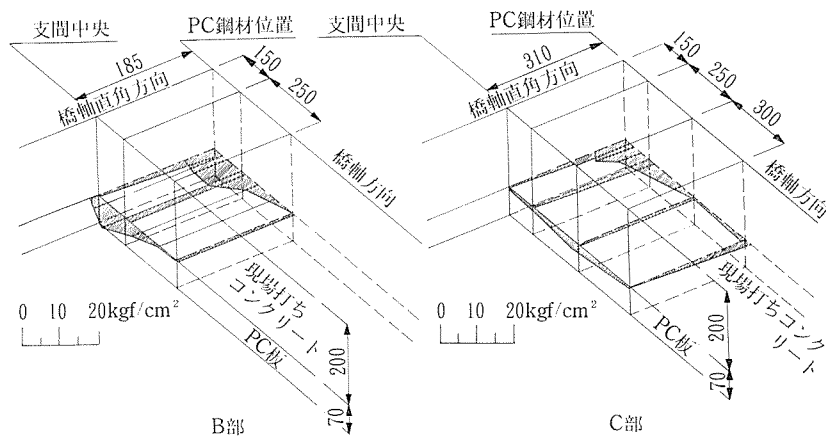


図-10 せん断応力度分布

す。

表-2に、既往の実験結果において報告されている斜めひびわれ発生時および破壊時におけるPC板の表面形状とせん断応力度の関係を示す。また、表-3に模型実験、実橋実験それぞれの実験値およびFEM解析結果の

表-2 PC板表面形状とせん断耐力

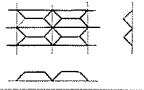
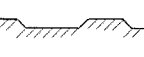
	PC板の表面形状	斜めひびわれ発生時	破壊時
1	凹凸なし	11.5~16.3kgf/cm <sup>2</sup>	22.0kgf/cm <sup>2</sup>
2		19.6~21.4kgf/cm <sup>2</sup>	27.0~50.0kgf/cm <sup>2</sup>
3		29.8kgf/cm <sup>2</sup>	68.0kgf/cm <sup>2</sup>
4	端部を補強した場合(凹凸なし)	35.0kgf/cm <sup>2</sup>	—

表-3 せん断耐力と測定結果の比較

	PC板表面形状	①	②	②/①	
		せん断耐力の最小値	$P_{i\max}$ によるせん断応力度	せん断耐力に対する比率	
模型実験	橋軸	1	22.0 kgf/cm <sup>2</sup>	3.4 kgf/cm <sup>2</sup>	16.0
	橋直	3 (4)	68.0	4.4	6.0
	橋軸	—	—	11.3	—
	橋直	—	—	2.2	—
実橋試験	橋軸	1	22.0	9.2	41.8
	橋直	3 (4)	68.0	9.6	14.1
	橋軸	—	—	9.8	—
	橋直	—	—	2.7	—

せん断応力度とせん断耐力の関係を示す。表-3より、プレストレス導入時  $P_{i\max}$  によるPC板と場所打ちコンクリート接合面に発生するせん断応力度の、せん断耐力に対する割合は、模型実験においては、橋軸方向で最大16.0%、橋軸直角方向で6.5%、また、実橋試験においては、橋軸方向で最大41.8%、橋軸直角方向で最大14.1%であった。これらの結果から、実橋試験では橋軸方向のせん断耐力に対して、プレストレスによるせん断応力度の割合がかなり支配的である。しかし、FEM解析結果とほぼ同等の値を示していることから、合成床版として挙動していることは明らかである。

また、引用した文献に示されるせん断耐力は、接合面のすべりに対し、端部を何らの補強もされない状態での値であり、実橋のような連続床版の場合、すべりに対する端部補強効果がかかなり期待でき、せん断耐力は相当改善されたものであると考えられる。

しかし、これらの結果から定着具近傍には、多少大きめのせん断応力度が発生することから、ジベル筋等の簡単なすべり止め筋により補強を行うか、橋軸方向にも床版の支間方向と同じような凹凸をPC板表面に設け、局部的(定着具直下のPC板1枚程度)に水平せん断に対する補強を行うことは有効であると考えられる。

#### 4.5 プレストレスおよび輪荷重による定着具近傍の応力度

ここでも、先に述べた理由により、プレストレス導入時の  $P_{i\max}$  について検討する。図-11、図-12にB部およびC部の応力度分布を示す。

これらの図から以下のことが考察される。

- 1) 定着具直上、直下において、橋軸方向および橋軸直角方向の大きな応力度が発生するが、1.0 m以内の区間において急激に小さくなっている。
- 2) 模型実験において問題となった橋軸直角方向の15 kgf/cm<sup>2</sup>の引張応力度は、実橋実験においてはすべて圧縮応力度として測定された。これは、補強

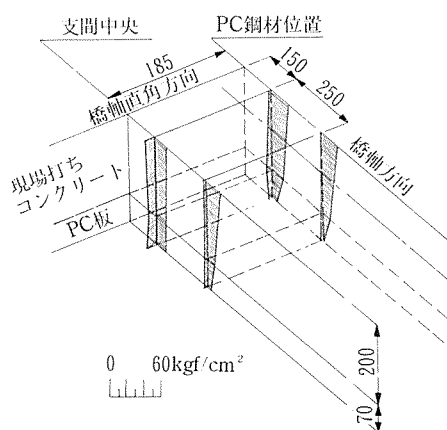


図-11  $P_{i\max}$ による曲げ応力度(B部)

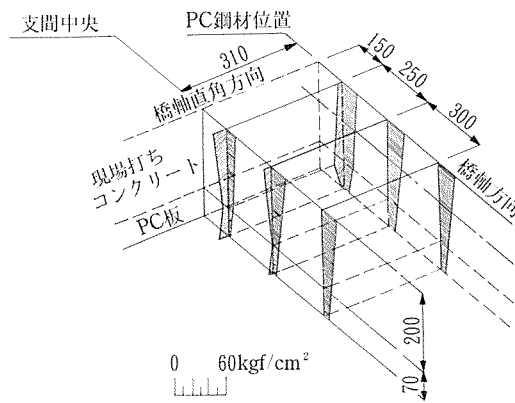


図-12  $P_{i\max}$ による曲げ応力度(C部)

◇研究報告◇

筋として定着具をとりまくかたちで配置したスパイラル筋の補強効果が発揮されたものと考えられる。

3) FEM 解析結果との比較では、橋軸方向の応力度分布は、実測値と解析値が類似した傾向を示しているが、橋軸直角方向では多少ばらつきが生じている。しかし、定着位置から橋軸方向に 700 mm 程度離れた位置では、橋軸方向及び橋軸直角方向ともに解析値と一致した。

設計輪荷重 9.6 tf 載荷時の各位置での応力度分布を考察した結果においては、合成床版として解析した FEM 解析結果と実測値は、ほぼ同程度の応力度値および分布形状を示しており、プレストレスが導入された状態で輪荷重が作用した場合でも、十分に PC 板と場所打ちコンクリートの合成効果が発揮されていることが明らかである。

4.6 PC 板目地部の応力度分布

図-13 にプレストレス導入時  $P_{i\max}$  による PC 板目地部をはさんだ位置 (C 部) での応力度分布を示す。この図から明らかなように、PC 板目地部をはさむ区間に

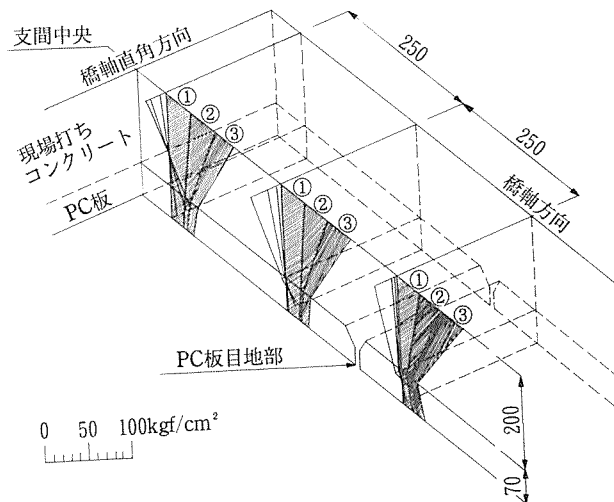


図-13 PC 板目地部の曲げ応力度分布

においても、プレストレスによる応力度は、1 回目から 3 回目まで各測定位置ともほぼ同程度の値を示していることから、この区間においても、定常的な応力状態にあることが考えられ、PC 板目地部が合成床版に与える有害な影響はなく等方性の版として挙動していると考えられる。

5. あとがき

本文では、PC 連続合成桁構造の橋梁に PC 合成床版工法を採用して行った施工と、実橋で実施した載荷試験について報告した。

実橋試験結果より、模型実験結果同様問題のない結果を得、PC 合成床版工法を PC 連続合成桁に適用した場合についても問題ないことが確認された。また、施工面においても、工費的には若干割高になったものの、工期の短縮や省力化という面では明らかな効果を確認できた。今後、増々深刻化することが予想される建設工事現場の労働力不足に対し、本工法が省力化工法の一つとして用途が拡大していくことを期待するものである。

最後に、本報告を作成するにあたりご協力いただいた関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 江本, 安松, 吉岡, 堤: PC 合成床版工法の PC 連続合成桁橋への適用 (PC 合成床版の実橋実験報告について), プレストレストコンクリート技術協会 第 3 回シンポジウム論文集, pp. 325~330, 1993. 11
- 2) 吉岡, 和田, 白木, 末岡: PC 合成床版工法を用いた PC 連続合成桁橋の設計・施工, プレストレストコンクリート技術協会 第 3 回シンポジウム論文集, pp. 335~338, 1993. 11
- 3) 土木学会: PC 合成床版工法の設計施工指針 (安), コンクリートライブラリー, Vol. 62, 1987. 3
- 4) 松本 進: プレキャスト PC 素材で補強したコンクリート合成構造の力学的特性に関する基礎研究, 土木学会論文報告集, 第 246 号, 1976. 2

【1993 年 10 月 9 日受付】