

(65) PC合成床版工法のPC連続合成桁橋への適用  
(PC合成床版工法の実橋実験報告について)

福岡大学工学部土木工学科 正会員 江本 幸雄  
日本道路公団 福岡建設局 // 安松 敏雄  
同上 吉岡 博幸  
(株)富士ビー・エス 堤 忠彦

1. はじめに

本実橋実験の対象となった大分自動車道高崎橋は、3径間連続合成桁3連のAライン、Bラインからなる橋長311.4mの橋梁である。

本橋梁は、床版工事においてAラインはRC床版として施工を行い、一次床版プレストレスを導入する場合の定着方法は、従来の突起定着に代わり、床版面内に定着する方法が採用された。

また、Bラインにおいては床版の強度、施工の安全性及び作業性の向上、加えて工期の短縮という長所を有するPC合成床版工法が採用された。

本工法をPC連続合成桁橋に適用するにあたっては、いくつかの技術的課題が考えられた。そこで、PC連続合成桁構造における、このPC合成床版の挙動を解明し、安全性の再確認を行うため、モデル供試体を製作し、静的及び動的載荷試験を実施した。この模型実験において良好な結果を得、実験結果を施工に反映するかたちで施工が行われた。

しかし、模型実験においては、様々な時間的、設備的制約から、一次、二次床版打ち継ぎ目を模した形の実験に留まったが、実橋実験により、PC合成床版工法として施工を行ったBラインについては、模型実験値及び解析値との比較を実橋レベルで行うことにより、PC合成床版工法の挙動をさらに深く解明し、今後の本工法の設計・施工の一指針となることを目的として、また、RC床版として施工を行ったAラインについては、面内定着工法の妥当性を定量的に評価し、挙動の解明を行うための一提案となることを目的として実橋実験を実施した。

2. 実橋実験概要

実験は、Aライン、Bラインそれぞれにおいて、施工中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)一次床版内打ち継ぎ目(B部)3)一次、二次床版内打ち継ぎ目に、設計輪荷重9.6tを静的に載荷し、各測定位置でのひずみを測定したものである。

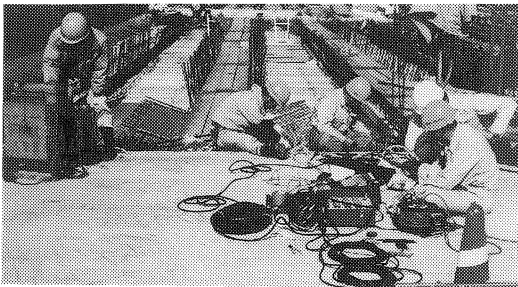


写真-1 プレストレス導入時測定

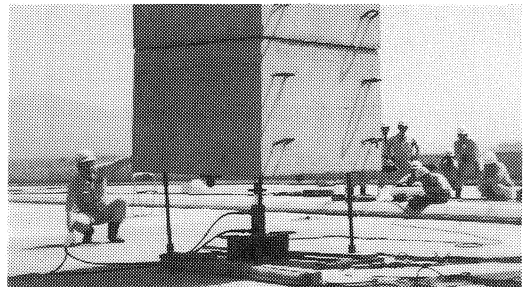


写真-2 載荷実験

3. 測定位置及びその目的

測定位置を図-1、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プレストレス及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
- ③PC板目地部をはさんだ位置での応力度分布の測定
- ④プレストレス及び輪荷重による定着具近傍の応力状態の測定(一次床版内打ち継ぎ目)
- ⑤同 上(一次、二次床版打ち継ぎ目)
- 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

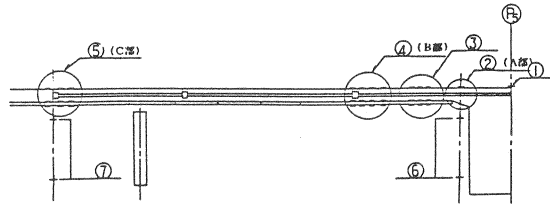


図-1 測定位置

4. 測定結果及び考察

4-1 PC板と場所打ちコンクリートの付着性状

PC合成床版の場所打ちコンクリート部 (t=200mm) 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。

検証方法

- 1) プレストレス導入時に局部的に大きな応力度が生じる定着部近傍において、PC板上縁のコンクリートひずみの進行状況検討することにより、定性的な評価を行った。
- 2) プレストレス導入時、定着具近傍の応力度分布より、PC板と場所打ちコンクリート打継面における平均せん断応力度を推定し定量的な評価を行った。
- 3) 上記1) 2) が、輪荷重と合成された場合の評価を行った。

図-2、図-3に、一次床版内打ち継ぎ目定着具近傍(B部)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。

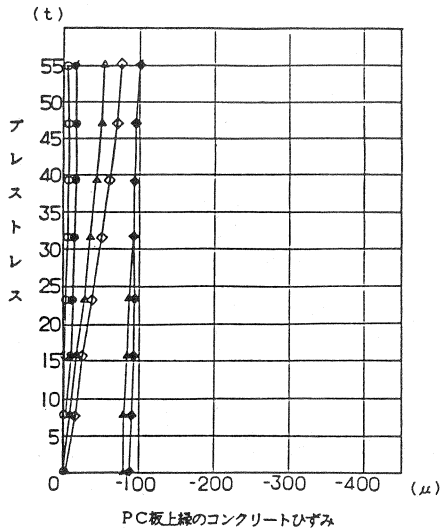


図-2 橋軸方向ひずみ

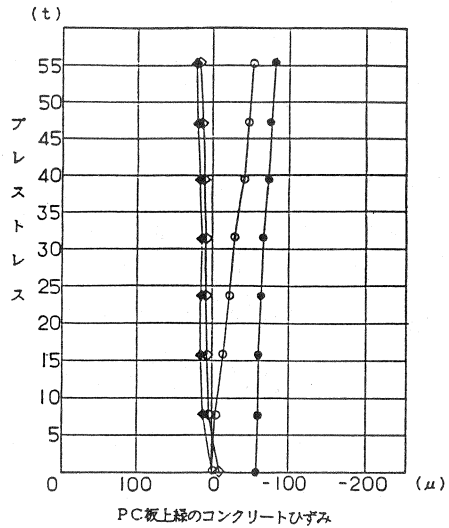


図-3 橋軸直角方向ひずみ

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、良好な付着性状を有していると考えられる。また、プレストレス導入位置近傍に比べて、一定距離離れた位置でのひずみの進行状況はゆるやかであり、かつすべてのゲージのひずみ曲線が平行であることから、定常的な応力度状態にありずれせん断に対する影響はほとんどないと考えられる。

図-4、図-5に導入時 $P_{imax}$ による曲げ応力度分布から推定した、P C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を示す。この図から、推定平均水平せん断応力度の最大値は、橋軸方向で $9.2\text{kg/cm}^2$ 、橋軸直角方向で $9.6\text{kg/cm}^2$ という結果であった。しかし、図-4、図-5の比較により、せん断応力度の算定区間が $310 \rightarrow 185\text{mm}$ と短くなった場合、せん断応力度が $4.2 \rightarrow 9.6\text{kg/cm}^2$ 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。

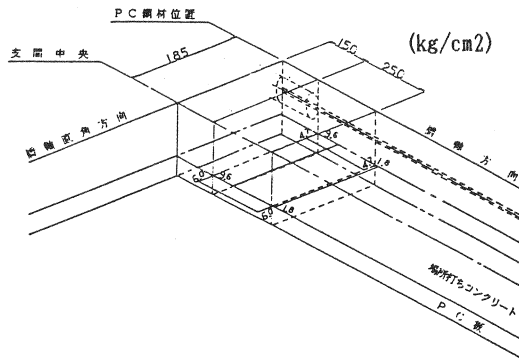


図-4  $P_{imax}$ によるせん断応力度 (B部)

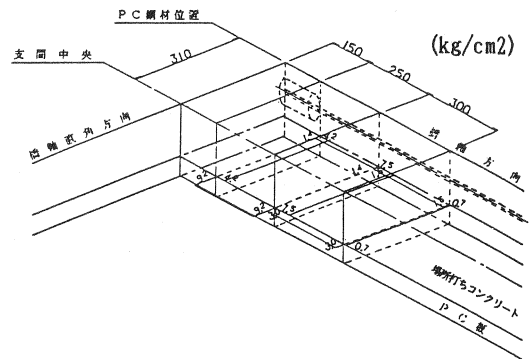


図-5  $P_{imax}$ によるせん断応力度 (C部)

次に、せん断耐力に関する検討を行った。

測定結果より、設計輪荷重 $9.6\text{t}$ 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おいては、 $P_{imax}$ による応力度が80%程度まで減少することを考慮すると、プレストレス導入時 $P_{imax}$ により発生する接合面でのせん断応力度が、P C板と場所打ちコンクリート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 $P_{imax}$ 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において、P C板表面形状とせん断耐力の関係について、定量的に評価した例が報告されている。そこで、ここでは、この報告を引用し、模型実験結果、実橋実験結果及びそれらのFEM解析結果について検討する。図-6、図-7にFEM解析モデルを示す。

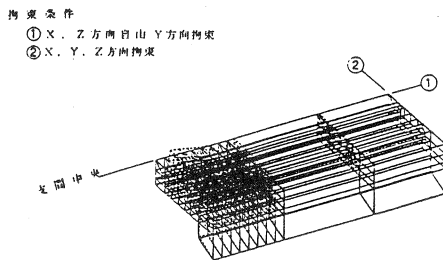


図-6 FEM解析モデル1 (プレストレス局部系)

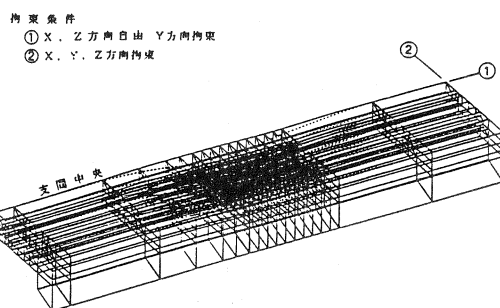




図-7 FEM解析モデル2 (輪荷重)

表一に、既往の実験結果において報告されている斜れひびわれ発生時及び破壊時における、P C板の表面形状とせん断応力度の関係を示す。また、表二に模型実験、実橋実験それぞれの実験値及びF E M解析結果のせん断応力度とせん断耐力の関係を示す。表二より、プレストレス導入時 $P_{imax}$ によるP C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、実橋実験においては、橋軸方向で最大41.8%、橋軸直角方向で最大14.1%という結果であった。これらの結果から、実橋実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、F E M解析結果とは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かである。

表一 P C板表面形状とせん断力

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

また、基本となるせん断耐力は、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はかなり期待でき、せん断耐力は公称値より相当改善されたものであると考えられる。

表二 せん断耐力と測定結果の比較

		表面形状	① せん断耐力 の最小値	② $P_{imax}$ による せん断応力度	②/① せん断耐力に 対する比率
橋型	実測値	橋軸 1	22.0~	3.4	~16.0
	解析値	橋軸 3(4)	68.0~	4.4	~6.0
実橋	実測値	橋軸 1	22.0~	9.2	~41.8
	解析値	橋軸 3(4)	68.0~	9.6	~14.1
実橋	実測値	橋軸 —	—	9.8	—
	解析値	橋軸 —	—	2.7	—

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れ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P C板表面に設け、局部的(定着具直下のP C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。

4-2 プレストレス及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 $P_{imax}$ について検討する。図一8、図一9にAラインB部及びC部、図一10、図一11にBラインB部及び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) Aライン (図一8、図一9)

・定着具直上、直下において、橋軸方向及び橋軸直角方向の大きな応力度が発生するが、1.0m以内の区間において急速に収束する。

・定着具直上の橋軸直角方向において、-22.7kg/cm<sup>2</sup>、-38.7kg/cm<sup>2</sup> と大きな引張応力度が発生している。しかし、これは、床版の支間中央位置では圧縮応力度となっている。

2) Bライン (図一10、図一11)

・Aライン同様、定着具直上、直下において大きな応力度が発生する。しかし、Aラインに比べると断面の高さ方向の応力度分布が、比較的軸圧縮応力度に近い形状となっているが、これは、床版内でのP C鋼材の偏心量の違いに起因すると考えられる。

・ 模型実験において問題となった橋軸直角方向の $-15\text{kg/cm}^2$ 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、補強筋として定着具を取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。

・ 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 $700\text{mm}$ 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ている。

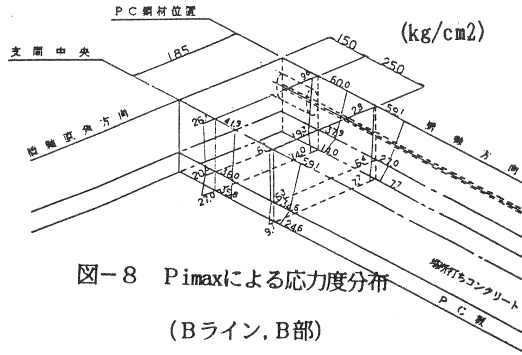


図-8 Pimaxによる応力度分布  
(Bライン, B部)

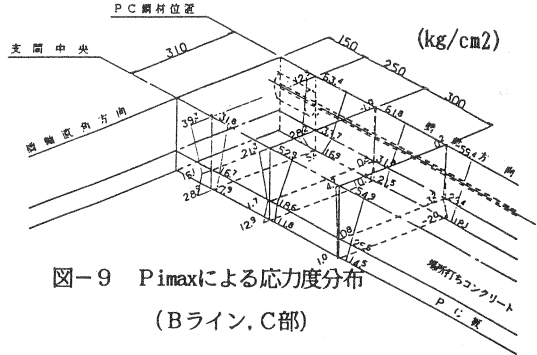


図-9 Pimaxによる応力度分布  
(Bライン, C部)

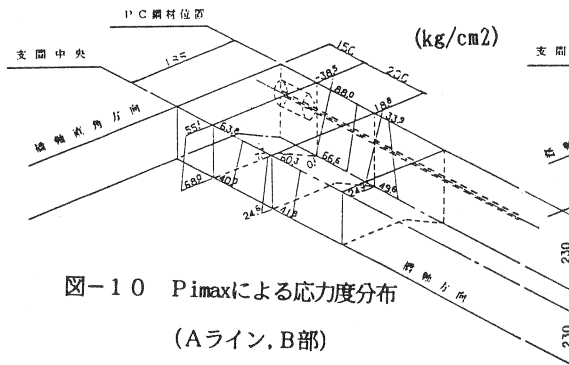


図-10 Pimaxによる応力度分布  
(Aライン, B部)

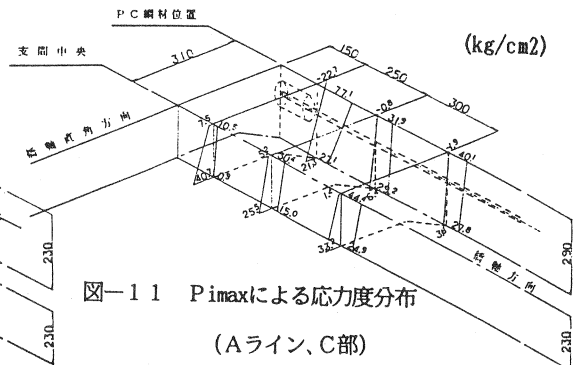


図-11 Pimaxによる応力度分布  
(Aライン, C部)

設計輪荷重 $9.6\text{t}$ 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、Aライン、Bラインともに類似した分布形状をしめしている。また、Bラインにおいては、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及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P.C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かである。

#### 4-3 P.C板目地部の応力度分布

図-12にプレストレス導入時PimaxによるP.C板目地部をはさんだ位置での応力度分布を示す。

この図から解るように、P.C板目地部をはさむ区間においても、プレストレスによる応力度はそれぞれ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、定常的な応力流れ状態にあることが考えられ、P.C板目地部が合成床版に与える有害な影響はないと考えられる。

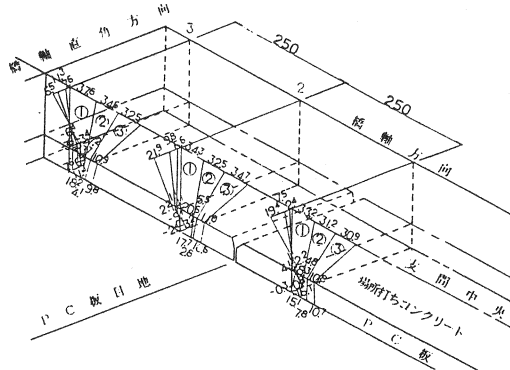


図-12 P.C板目地部の応力度分布

## 5. まとめ

本実橋実験により、Aラインでは、一次床版PCケーブルの定着方法を従来の突起定着工法に代わり、床版面内で定着方法を採用したことによる、挙動、耐力の変化に着目したが、その結果、定着具直上の橋軸直角方向に多少大きめの引張応力度が測定された。これは、ある程度予想された引張応力度に対して、定着具を取り巻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なかったという結果であるが、その一因として、RC床版内では床版内でのPC鋼材の偏心量が大きくなりすぎるといえる点(ハンチがあるため)

したがって、今後本工法を採用するにあたっては、以下のような方法により局所的な引張応力度の発生を低減させることが必要であると考えられる。

- 1) 床版ハンチ部に配置されるPC鋼材は、床版内でのPC鋼材の偏心量が大きくなりすぎないように、ハンチに沿って配置高さを下げ、定着位置でも同様の考慮をする。
- 2) 定着具の配置は、剛度の小さな支間中央部を避け、平面線形を導入することによって、極力桁に近い位置で定着する。

Bラインでは、プレストレスの導入により、PC板と場所打ちコンクリートの接合面に生じる水平せん断応力度が、橋軸方向で $9.2\text{kg/cm}^2$ 、橋軸直角方向で $9.6\text{kg/cm}^2$ という結果であった。これは、共に公称せん断耐力を下まわる値であり、実用上何ら問題となるものではない。

しかし、特に橋軸方向については、接合面のせん断耐力に対するプレストレスによるせん断応力度の占める割合が小さくなく、今後本工法をより信頼性の高いものにするためには、定着具近傍の局所的な部分(定着具直下のPC板1枚程度)に何らかの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。

また、Aライン同様、床版上面の橋軸直角方向の引張応力度に対して、補強筋として配置したスパイラル筋の補強効果は、Bラインにおいてはその効果が十分に発揮されていることが確認された。

さらに、PC板目地部をはさんだ区間の応力度状態も、目地による有害な影響は認められず、等方性の版として挙動することが確認された。

以上のように、Bラインでは、実橋実験により模型実験と同様問題のない結果を得、PC合成床版工法の信頼性をいっそう高める結果となった。

## 6. 最後に

本橋は、追跡調査用の検査路を床版下面に設けており、今後、高速道路本線橋としての供用が開始された後、繰り返し荷重による性状の変化を、目視検査、あるいはハンマーによる打撃音検査等により、追跡調査していく計画であり、その結果により、長期繰り返し荷重によるPC合成床版の耐力、性状変化がさらに明らかになることを期待するものである。

### 参考文献

- 1) 江本、吉岡、白木、堤：PC合成床版工法のPC連続合成桁橋への適用(PC合成床版の模型実験報告について)、プレストレストコンクリート技術協会 第2回シンポジウム論文集P205~P214, 1993.3
- 2) 土木学会：PC合成床版工法設計施工指針(案)コンクリートライブラリーV o 1 62, P83~P90, 1987.3
- 3) 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