

# PCF合成床版の実物大実験における構造特性の検証

## Experimental study of PCF composite slab with full-size specimen

村田茂\*、 亀山誠司\*、 西澤正博\*、 中島義信\*\*、 稲熊唯史\*\*\*

Murata SHIGERU, Seiji KAMEYAMA, Masahiro NISHIZAWA, Yoshinobu NAKASIMA, Tadasi INAGUMA

\*瀧上工業(株) 技術開発部 (〒454-8517 名古屋市中川区清川町2-1)

\*\*東海コンクリート工業(株) 設計グループ (〒455-0844 名古屋市港区潮風町十号地)

\*\*\*東海コンクリート工業(株) 技術開発グループ (〒455-0844 名古屋市港区潮風町十号地)

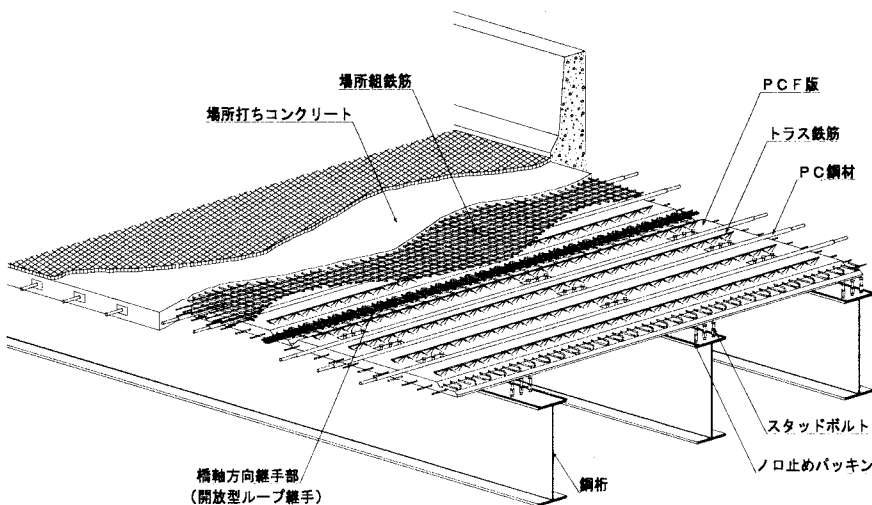
PCF composite slab has been developed by using RC prefabricated slabs as the forms and it is one of the half prefabricated composite slabs. In order to confirm the applicability of PCF composite slab for a continuous composite girder, the construction test with a full-sized specimen and static loading test are implemented. In the constructing test, efficiency of executing the PCF slab is verified by eliminating the support form. Compared with the in-placed PC slab, the PCF composite slab using prefabricated slab is superior to reducing the pre-stress loss of dry shrinkage and creep. In the static loading test, by putting the appropriate reinforcing bars in the slab against the negative bending moment, it is possible to keep the crack width less than 0.2 mm. So it is proved that PCF composite slab can be used as a part of a continuous composite girder.

*Key words: half pre fabricated composite slab, continuous composite girder, static loading test*

### 1. まえがき

近年、鋼橋において、高い耐久性を有したPC床版が多く採用されつつある。その中のプレキャストPC床版の特徴として、現場での支保工や型枠が不用となり、工事の迅速化や安全性の向上を挙げるこ

とができる。また、工場製品であり、品質・製作精度などにおいても、信頼性の高い床版とすることができる。しかし、この床版の問題点として部材重量が重いことによる輸送および架設時の制約などが挙げられる。



図—1 PCF合成床版概念図

この問題点の改善策として、プレキャストRC版(PCF版：床版全厚の1/3～1/2)を工場で作成し、これを現場にて主桁上に敷設後、その上に場所打ちコンクリートを打設し、プレストレスを導入することにより床版全体をPC床版とするハーフプレハブ合成床版(PCF合成床版)を開発した<sup>1), 2)</sup>。

本稿では、PCF合成床版の適用範囲を拡大するために実施した、実物大モデル(幅員全体)による施工性確認試験<sup>3)</sup>および連続合成桁への適用性確認試験<sup>4)</sup>について報告する。図—1にPCF合成床版の概念図を示す。

## 2. 施工性確認試験

### 2.1 試験概要

図-2および図-3に示すように全幅員のPCF版を3体制作し試験桁の上に設置した。試験桁は実橋を想定した実物大の2主桁桁とした(主桁間隔5.2m、主桁長さ5.515m)。

鋼桁および鉄筋にはひずみゲージ、床版内部には熱伝対、コンクリート表面にはコンクリートゲージを取り付け計測した。PCF版には断面剛性及び場所打ちコンクリートとの一体性を高める目的でトラス鉄筋を配置した。場所打ちコンクリート打設後材齢3日において橋軸直角方向にプレストレスを導入し床版全体をPC構造とした。供試体の諸元を表-1に示す。なお、実験は天候に左右されないように屋内で行った。

### 2.2 施工手順

#### 1) 足場

張出し部のみに緊張作業用の足場を設置した。あらかじめ、PCF床版の張出し部下面にインサートアンカー(M12)を1枚当たり4箇所設置し、これを利用して木製足場を設置した。作業スペースは、緊張時のジャッキ寸法や作業性などを考慮して850mm確保した。

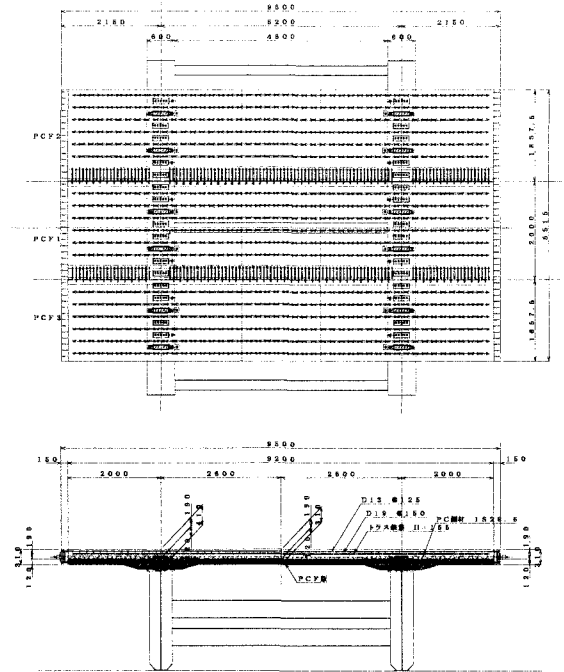


図-2 試験体形状図

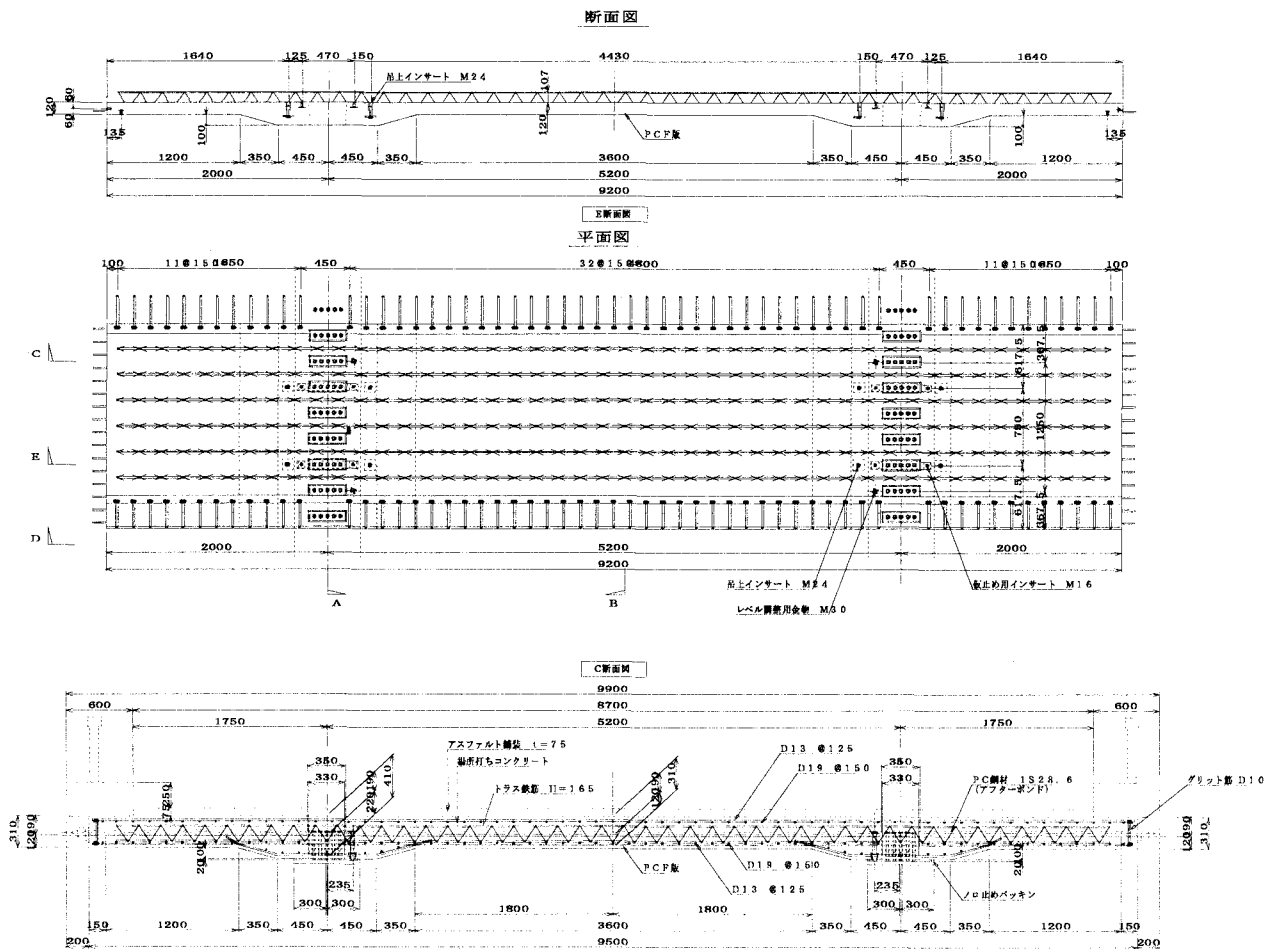


図-3 PCF版寸法図

## 2) 無収縮モルタル、配筋

ねじ式ジベルを取り付け後、無収縮モルタルを床版と鋼桁上フランジ間に注入した。その後、接合部の鉄筋を配筋した。接合部の橋軸直角方向鉄筋は、PCF版架設時にあらかじめループ鉄筋内に取り付けており、側面からの取り込みは不要であった。次にPC鋼材を敷設し上筋を配筋した。PCF版の敷設から上筋組み立て、PC鋼材の支圧版設置までにかかった日数は5日である。場所打ち床版に比べて、以下の項目の省力化を確認することができた①支保工の省略、②主桁間足場の省略、③下端筋の配筋作業。

## 3) PC鋼材の緊張

生コン打設後、シート養生と散水を行い、中3日にて基準強度に達したことを確認後、PC鋼材を緊張した。

橋軸直角方向へのプレストレス導入はCCL工法で行った。また、PC緊張の1本当たりの緊張力は666kNである。

表-1 施工試験体仕様

要素	部材名及び材料	諸 元		
鋼 桁	主桁	2-1	2000×600×19×10	
	中間横桁	2-1	340×200×12×12	
	横桁	1-1	500×200×12×12	
床版(現場打ち部)	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )		50	
	圧縮強度(7日)(N/mm <sup>2</sup> )		52.2	
	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )		26	
	ポアソン比		0.2	
	スランブ (cm)		18	
	セメント(早強) (kg/m <sup>3</sup> )		436	
	水 (kg/m <sup>3</sup> )		165	
	細骨材・粗骨材 (kg/m <sup>3</sup> )		686・993	
	混和剤(膨張剤) (kg/m <sup>3</sup> )		4.71	
	PC鋼材	種別		1S28.6
		工法(アフターボンド)		GCL
鉄筋	種別		D13.D19	
	トラス鉄筋	種別	H=165 D16-8φ-D13	
ずれ止め	スタッド	長さ・径	22φ×270 (カブラ付き)	

## 2.3 試験結果

### 2.3.1 施工性検証結果

施工試験の検証項目および検証結果を表-2に示す。

#### 1) PCF版の養生

写真-1にPCF版の工場における養生状況を示す。PCF版には、コンクリートの自己収縮とトラス鉄筋のトップ筋の拘束により凸状に若干反りが生じた。

#### 2) PCF版の据付作業

PCF版の据付に関しては、調整金具を取り付けており、作業性は良好であった。1枚あたり20分で設置

を完了した。試験場所が屋内であったため、天井クレーン(吊上能力150t)を使用した。現場では油圧クレーン25t吊りでも充分に対応可能と考えられる。

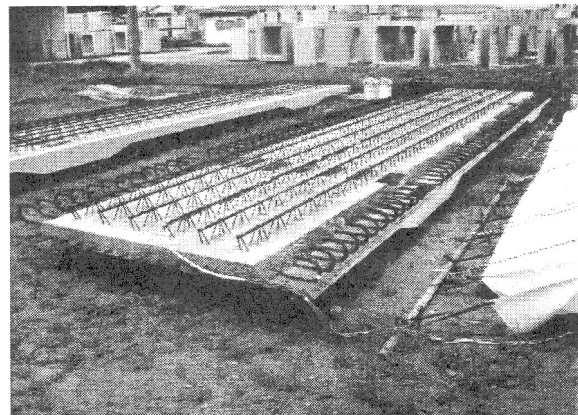


写真-1 PCF版の養生状況

表-2 施工試験検証項目および検証結果

施工項目	検証項目	検証方法	検証結果
PCF版のハンドリング	①脱型	目視によるひび割れ確認(ひび割れ図)	ひび割れ無し
	②仮置	目視によるスパー配置、支障箇所の確認	支障箇所無し
	③ひび割れの計測	目視によるひび割れ確認(ひび割れ図)	ひび割れ無し
PCF版の据付け作業	①平面位置調整	調整金具の不具合確認、記録	不具合無し
	②高さ調整(上、下)	調整金具の不具合確認、記録	不具合無し
	③仮固定	固定金具の不具合確認、記録	不具合無し
	④作業効率	概略作業時間計測	20分/枚
上側鉄筋組立作業	①支障箇所	支障箇所の確認、記録	支障箇所無し
	②作業効率	概略作業時間計測	10時間
幅員端部型枠	①支障箇所	支障箇所の確認、記録	支障箇所無し
	②作業効率	概略作業時間計測	6時間
	③作業効率	概略作業時間計測	2時間/3パネル
コンクリート打設	①打設順序	打設順序の確認、記録	打設順序図参照
	②作業効率	概略作業時間計測	打設時計測結果参照
	③鉄筋、コンクリートひずみ	ひずみゲージによるひずみの計測	打設時計測結果参照
	④隣接PCF版の段差	変位計による段差の計測、記録	打設時計測結果参照
	⑤ひび割れの計測	目視によるひび割れ確認(ひび割れ図)	ひび割れ無し
乾燥収縮の影響	①鉄筋、コンクリートひずみ	ひずみゲージによるひずみの計測	経時計測結果参照
	②ひび割れの計測	目視によるひび割れ確認(ひび割れ図)	ひび割れ無し(4週)
PC鋼線の緊張	①吊り足場	必要なベースの確認	足場図参照
	②作業効率	概略作業時間計測	15分/本
	③鉄筋、コンクリートひずみ	ひずみゲージによるひずみの計測	緊張時計測結果参照
	④隣接PCF版の段差	変位計による段差の計測、記録	緊張時計測結果参照
	⑤ひび割れの計測	目視によるひび割れ確認(ひび割れ図)	ひび割れ無し
クリープの影響	①鉄筋、コンクリートひずみ	ひずみゲージによるひずみの計測	経時計測結果参照
	②ひび割れの計測	目視によるひび割れ確認(ひび割れ図)	ひび割れ無し(12週)

### 2.3.2 経時計測結果

#### 1) 床版打設時のひずみ及び変位

場所打ちコンクリート打設時のFEM解析結果を図-4に示す。支間中央の橋軸直角方向コンクリート部において-1.6N/mm<sup>2</sup>ほど死荷重応力が発生する。

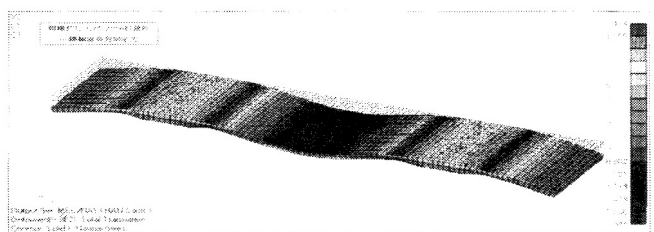


図-4 PCF版の橋軸直角方向応力

実測結果において、支間中央での鉄筋ひずみは上筋側のトップ筋位置でコンクリート打設時に最大 $150\mu$ を示し、打設完了後には $60\mu$ の内部応力となった。PCF版（コンクリート）のひずみは $0\sim 25\mu$ 程度で、ひび割れ発生に対して十分余裕がある。場所打ちコンクリート打設後の床版内温度の経時変化を図-5に床版変位を図-6に示す。

床版内の温度は打設後10時間から15時間後がピークとなっており、また、場所打ちコンクリートの発熱によりPCF版の温度も場所打ち部と同等の温度に上昇している。場所打ち部コンクリート重量によるPCF版の弾性変形の結果、支間中央部で2mmほど変位する。その後時間経過とともに変位量が増加し、打設後10時間後を最大値として減少に転じ、25時間後においては打設完了時の位置に戻っている。これらの変化は、場所打ちコンクリートの水和熱変化との相関が認められることから、上層の場所打ちコンクリートの熱膨張を下層のPCF版が拘束することによって発生した変形であると考えられる。

## 2) プレストレスの導入

プレストレス導入後の支間中央における橋軸直角方向ひずみ量の変化を図-7に示す。PC鋼材位置が断面図心に対して下層のPCF版側に偏心しているにもかかわらず、プレストレス導入時のコンクリートひずみ量は、上層の場所打ち部の圧縮ひずみ量が上回っている。これは、プレストレス導入時の材令差に起因するコンクリートの弾性係数の相違によるものであると考えられる。

また、その後のひずみ量の変化については、コンクリートの乾燥収縮とクリープひずみによるものであるが、これも場所打ち部ではプレストレス導入が早期材令時であるのに対して、PCF版のコンクリートでは十分な材令が確保できることから、PCF版内のコンクリート収縮量はわずかである。そして、その結果として場所打ち部（上層）とPCF版部（下層）の収縮ひずみ量の差により幅員9.5mに対して最大4mm程度の鉛直方向変形（反り）が発生する。（図-8）しかし、若材令でプレストレスを導入する場所打ちPC床版に比べて床版全体の収縮量の絶対値は小さく、従ってプレストレスのロス率も小さいと考えられる。

### 2.4 まとめ

実物大試験体により実施工を模擬した検証を行った結果、PCF版における構造上の障害は認められず、型枠支保工が省略でき効率的に施工できることが確認できた。また、場所打ちコンクリート重量によるPCF版の変形量もわずかであり、実施工上問題とならない程度であると考えられる。

早期材令でプレストレスを導入する一般の場所打ちPC床版に比べて、十分な材令を確保したPCF版

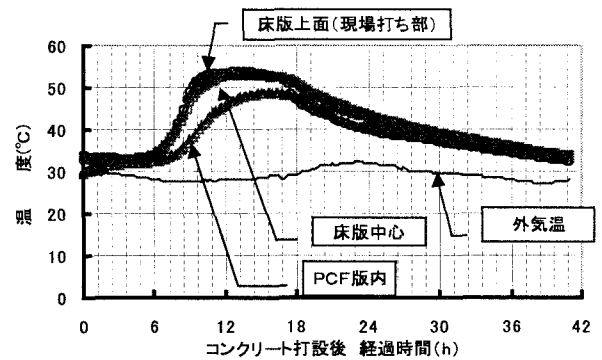


図-5 場所打ちコンクリート打設後の床版温度

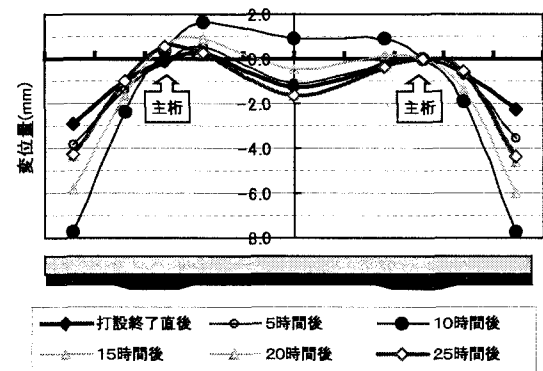


図-6 場所打ちコンクリート打設後の床版変位量

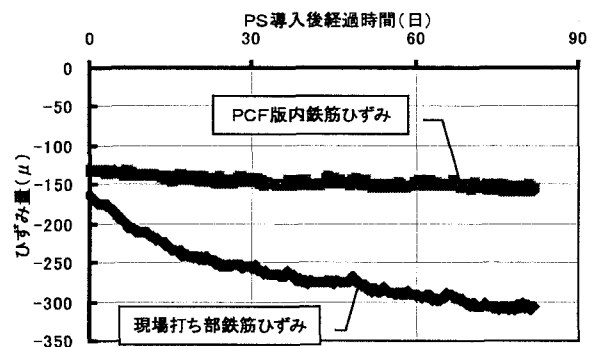


図-7 プレストレス導入後の橋軸直角方向ひずみ量

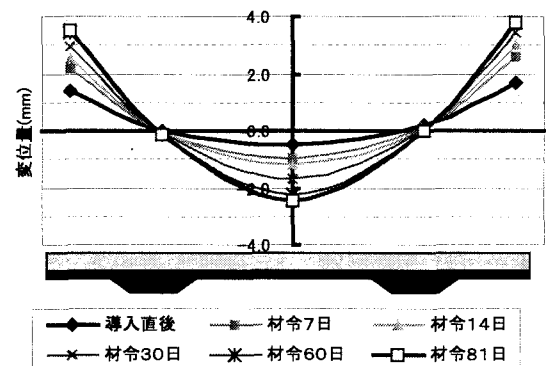


図-8 プレストレス導入後の床版の変位量

を使用することにより、乾燥収縮、クリープによるプレストレスのロス量は比較的小さい。しかし、PCF版と場所打ちコンクリートとの材令（各種物性値）の相違に起因する変形がわずかであるが発生することから、出来形に厳密な管理が必要な場合はこれらを考慮する必要があると思われる。

### 3 PCF合成床版による合成桁負曲げ試験

#### 3.1 はじめに

PCF合成床版の優れた疲労耐久性<sup>2)</sup>をより合理的に活用するために合成桁への採用が考えられる。合成桁とした場合、連続合成桁支点部における負曲げモーメントによる床版のひび割れに対する特性を把握することが重要となる。本文では、PCF合成床版の連続合成桁への適用性を確認するために実施した、中間支点部の実物大模型による静的負曲げ荷重試験の概要を報告する。

#### 3.2 実験概要

図-9に示すように、中間支点部を想定した床版厚260mm、幅1200mmを有する支間10mの合成桁に負曲げを与えた。床版部はRC床版（鉄筋比2.0%）とPCF1（鉄筋比2.0%）およびPCF2（鉄筋比1.4%）の3体とした。

図-10にPCF1の詳細図を示す。コンクリート強度はPCF版および場所打ち部ともに $49.1\text{N/mm}^2$ と同じ品質の物を使用した。荷重荷重は、床版のひび割れ発生荷重レベル、および上側鉄筋応力が設計荷重に相当する $98\text{N/mm}^2$ になる荷重レベルまでそれぞれ1回、つぎに鉄筋応力が許容応力 $137\text{N/mm}^2$ に達する荷重レベルまでの荷重を3回繰り返す、その後鋼桁上フランジが降伏するまで荷重を漸増させた。荷重方法は、実橋相当の負曲げモーメントを再現するために、供試体を上下反転した後、支間10mとなるように設置された支承上に供試体を載せ、支間中央部に1点荷重する方法とした。

また、主な計測項目は、①鉛直変位、②PCF版のひずみ、③主桁上フランジ、下フランジおよび腹版のひずみ、④床版のひび割れ幅などとした。

#### 3.3 試験結果

図-11に中立軸位置の変化と曲げモーメント比の関係を示す。両供試体ともひび割れ発生荷重を越えたあたりから鋼桁+コンクリートの全断面有効の計算値を下回り、床版の剛性低下とともに徐々に鉄筋+鋼桁の断面計算値に近づき、鉄筋の降伏とともにその値を下回っている。

図-12にひび割れ幅の挙動を示す。PC1供試体の計測点全てでひび割れ幅が $0.2\text{mm}$ 以下（鉄筋許容応力 $137\text{N/mm}^2$ ）と言える。また、全点においてひび割れ発生時にグラフがスライドするような挙動を示し

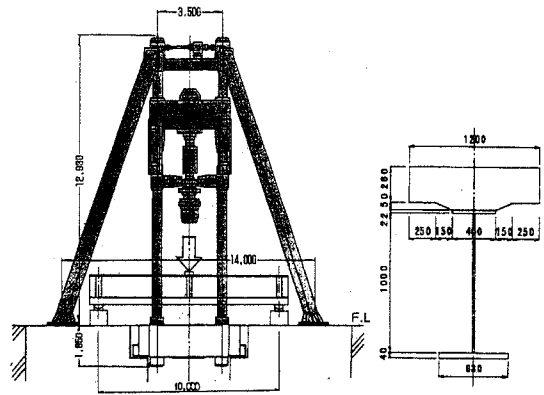


図-9 荷重装置および供試体断面

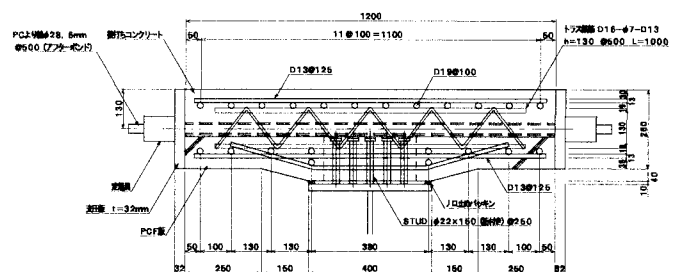
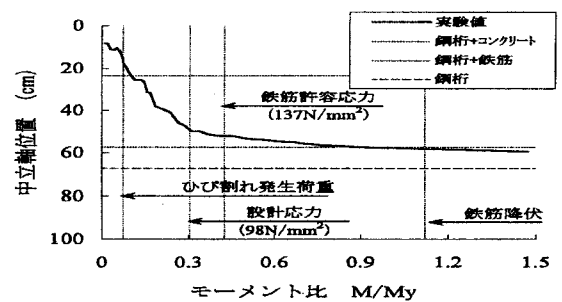
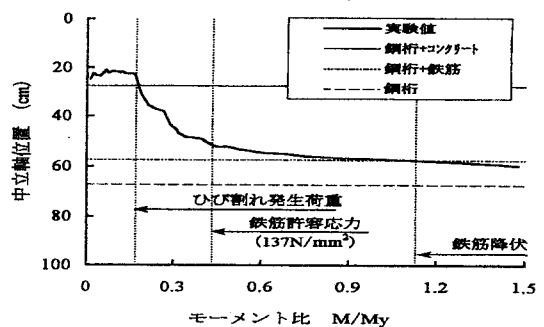


図-10 PCF1詳細図



PCF1供試体



PCF2供試体

図-11 中立軸位置とモーメント比の関係

ているが、その後はひび割れ本数の増加により○印の位置を除きひび割れ幅の増加が小さいことがわかる。

図-13に上側鉄筋応力が $137\text{N}/\text{mm}^2$ 荷重におけるひび割れ分布を示す。PCF1供試体にはPC鋼線位置にひび割れが発生、その後RC供試体とほぼ同等の約 $200\text{mm}$ 間隔のひび割れが生じた。

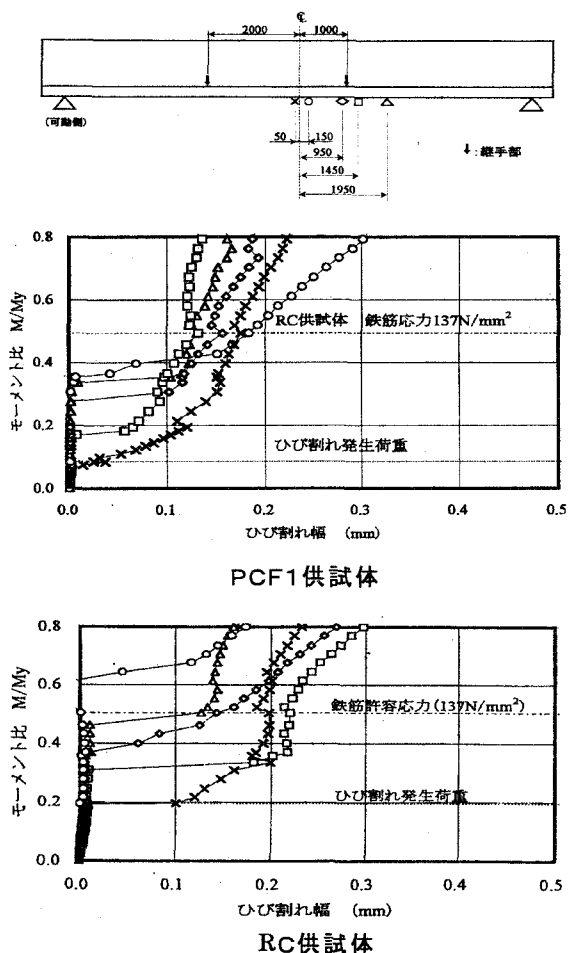


図-12 ひび割れ幅の挙動

### 3. 4 まとめ

PCF1 (鉄筋比 2.0%) において鉄筋許容応力レベル ( $137\text{N}/\text{mm}^2$ ) においてひび割れ幅は、すべて  $0.2\text{mm}$  以下に抑えることができた。また、ひび割れ間隔も RC 供試体とほぼ同程度であり、PCF 合成床版を連続合成桁に適用することができる。

PCF2 においては、鉄筋許容応力レベル ( $137\text{N}/\text{mm}^2$ ) において載荷位置直下のひび割れ幅が僅かに  $0.2\text{mm}$  を越えたが、実用上は問題ないレベルと考えられる。

なお、本実験は、福岡北九州高速道路公社、日本橋梁建設協会と共同でおこなわれたものであり、実験に際して (社) 建設機械化研究所ほか多数の方々にご指導を賜りました。

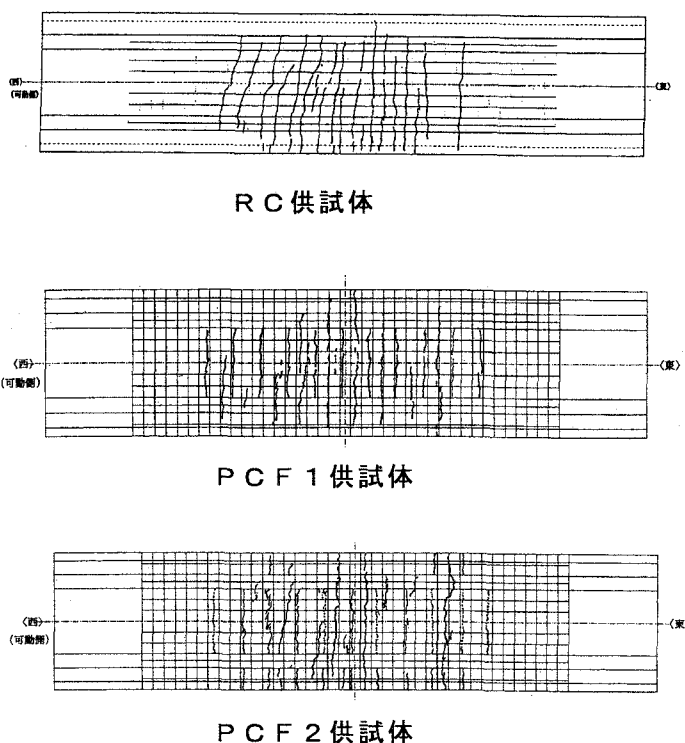


図-13 ひび割れ分布

### 4. あとがき

PCF 合成床版の適用範囲の拡大と、実用化に向けた施工性確認試験および合成桁負曲げ試験について報告した。今後、これらの成果をもとに、実橋で施工実績を積み重ねていきたいと考えている。

最後に、本研究に関し適切な示唆を頂いた大阪大学大学院松井繁之教授に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 河西、村田、中島、竹田：トラス鉄筋付 PCF 版合成床版 (ハーフ PC 床版) の開発 (土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集共通セッション) 2000.9
- 2) 河西、村田、中島、竹田：トラス鉄筋付 PCF 版合成床版 (ハーフ PC 床版) の開発 (土木学会第 2 回道路橋床版シンポジウム講演概要集) 2000.10
- 3) 村田、亀山、稲熊、中島：PCF 合成床版の実物大試験体施工実験における構造特性の検証 (土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集共通セッション) 2002.9
- 4) 村田、西澤、中島、稲熊：PCF 合成床版を用いた合成桁負曲げ試験 (土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集共通セッション) 2002.9