

トラス鉄筋付PCF版合成床版（ハーフプレハブ合成床版）の開発

Development of PCF composite slab with reinforced bar truss (half pre fabricated composite slab)

河西龍彦*, 村田 茂**, 中島義信***, 竹田憲史****

Tatsuhiko KASAI, Sigeru MURATA, Yosinobu NAKASHIMA, Norifumi TAKEDA

*(株)宮地鐵工所 設計部 (〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通り3番地)

**瀧上工業(株) 技術開発部 (〒454-8517 名古屋市市中川区清川町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) 開発営業グループ (〒455-0844 名古屋市港区潮風町十号地)

In Warashinagawa river-bridge, open box section steel girder is adopted in order not to constrain the pre stress in cross direction. Reduction and rationalization of in place execution of the PC slab, PCF composite slab with reinforced bar truss is developed.

This slab is one of the half pre fabricated composite slabs, which is erected as the frame above the open box girder in advance of in place concrete. After the in place concrete is settled, pre stress is introduced with post tension in the whole slab. Characteristics of the method have two points, one is reinforced bar truss is arranged in the longitudinal direction for identifying the pre cast slab with in placed concrete, the other is, loop joint adopted for superior to in place execution.

The present paper shows the result of the identifying verification test, loop joint ability test, and wheel movement-loading test collaborated with Public Works Research Institute Ministry of Construction in advance of real bridge erection.

key words : half pre fabricated composite slab, reinforced bar truss, loop joint, wheel movement-loading test

1. はじめに

近年の鋼橋では、プレストレスを導入したコンクリート床版（以下、PC床版と称す）に代表されるような、疲労耐久性の高い床版を採用する事例が増えてきている。PC床版には場所打ちとプレキャストの2種類あるが、日本道路公団静岡建設局が建設する第二東名高速道路藁科川橋では場所打ちPC床版が採用された。¹⁾

鋼橋に場所打ちPC床版を組み合わせる場合、プレストレスの導入、乾燥収縮、クリープ等を鋼桁が拘束することが問題となることがあり、特に鋼桁に箱桁を用いる場合には注意が必要となる。ポストンで橋軸直角方向にプレストレスを導入する藁科川橋の場合は、箱桁の上フランジがこれを拘束する度合いが高いため、上フランジをオープンにした開断面箱桁が採用された。

従来の閉断面箱桁の場合は、床版の場所打ち施工において箱桁上が問題となることはない。しかし開断面箱桁の場合は、箱桁内にも型枠と支保工が必要となり、現場作業の省力化の観点から考えると合理的でない。

箱桁内への移動式型枠支保工の適用も考えてみたが、箱桁内へのレール設置、型枠の移動方法、床版施工後のレールや型枠などの箱桁外への搬出といった問題点が多く、必ずしも合理的な施工方法にはならなかった。

そこで考えたのがハーフプレハブ、ないしはハーフプレキャストと呼ばれる合成床版工法の適用である。

この工法は、床版の下側をプレキャスト製品とし、これを型枠代わりにして上側の床版を場所打ちで施工するものである。型枠支保工そのものが不要となり、さらに床版の下側の鉄筋やコンクリートがあらかじめ施工されているため、現場作業の大幅な省力化が期待できる合理的な工法である。本論文は、このハーフプレハブ工法を藁科川橋の開断面箱桁に適用するまでの技術開発内容を報告する。

2. 本工法の特徴

本工法の概要図を図-1に示す。

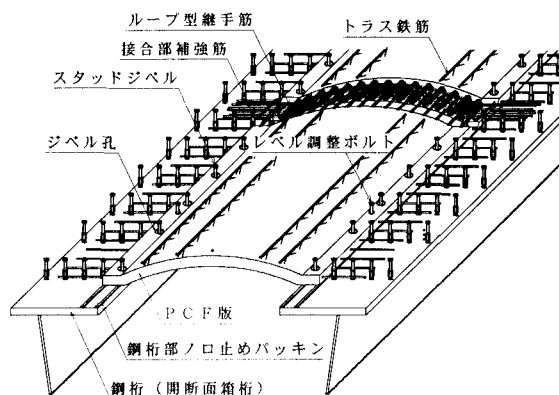


図-1 概要図

本工法の特徴を整理すると以下ようになる。

- ① 床版の下側は厚さ 10cm のプレキャストコンクリート版で、Pre-Cast-Form を略して P C F 版と称する。開断面箱桁上にこの P C F 版を敷設し、これを型枠代わりとして床版の残り上側を場所打ち施工し、一体化する。この後でポステンにて橋軸直角方向にプレストレスを導入する。
- ② P C F 版は場所打ちコンクリートと一体となって床版の有効断面を構成するので、P C F 版のコンクリートは場所打ち部と同一のものとする。また P C F 版に含まれる鉄筋も床版断面として必要なものを埋め込む。
- ③ P C F 版と場所打ちコンクリートとの一体性を高めるために、P C F 版の上面はやや深めの箒目仕上げとするとともに、トラス鉄筋を橋軸方向に配置する。
- ④ P C F 版の現場継手にはループ式継手を採用している。このループ式継手はループ内補強鉄筋の現場施工の省力化に配慮した構造となっている。(図-2)

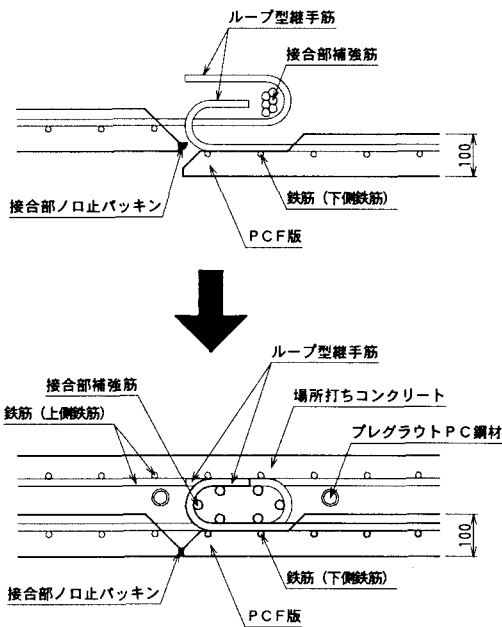


図-2 ループ式継手

- ⑤ P C F 版の現場継手と場所打ちコンクリートの打ち継ぎ目をずらすことにより、床版の構造的な弱点の分散化を図っている。
- ⑥ P C F 版の下面はアーチ形状となっているが、これは蕨科川橋独特の床版下面アーチ形状に合わせたものであり、平面にすることも可能である。
- ⑦ P C F 版には鋼桁上フランジのスタッドジベルに合わせて孔明を設けてあり、この部分に無収縮モルタルを充填することで両者を接合する。(図-3)
- ⑧ P C F 版は、従来の固定式型枠支保工の費用に P C F 版に含まれるコンクリートと鉄筋の費用を加えたものを上回らないため、経済的である。

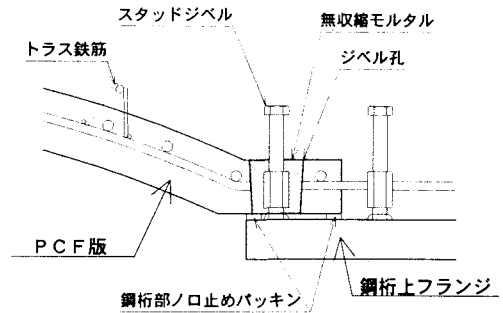


図-3 P C F 版と鋼桁との接合部

なお P C F 版は場所打ち部と一体化すると考えているため、床版としての設計計算は P C F 版を含む厚さを有する通常の場所打ち P C 床版として行えばよい。ただし、P C F 版のみの R C 断面にて場所打ちコンクリート自重等に対する型枠としての照査を行う必要はある。トラス鉄筋については安全側に考え設計計算上は無視している。

3. 確認実験結果

本工法を蕨科川橋に採用するにあたり、事前に確認実験を行った。その結果を以下に述べる。

3-1 一体性確認試験²⁾

P C F 版と場所打ちコンクリートの一体化について確認する目的で実験を行った。合わせて、場所打ちコンクリート施工後にポステンで導入するプレストレスを、P C F 版が拘束しないかどうかについても確認をした。

試験体の大きさは、幅 120cm×長さ 308cm で、床版厚は P C F 版部 10cm 後打ち部 14cm の計 24cm とし、蕨科川橋に合わせ下面をアーチ形状とした。(図-4)

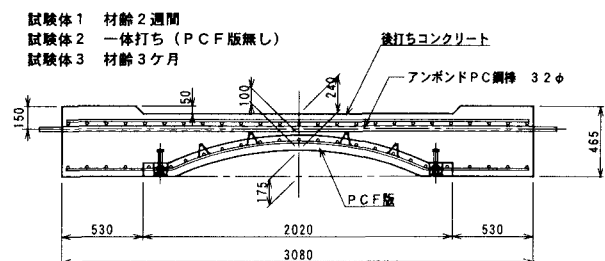


図-4 一体性確認試験用試験体

試験体は下記の 3 種類を 3 体ずつ、計 9 体製作した。

- ・試験体 1 P C F 版あり (P C F 版の材令 2 週間)
- ・試験体 2 P C F 版なし
- ・試験体 3 P C F 版あり (P C F 版の材令 3 ヶ月)

試験体 2 は、P C F 版を用いずに同一寸法の試験体を全量後打ちコンクリートで製作したものである。

使用したコンクリートは、P C F 版、後打ちコンクリートともに 40N/mm²である。また後打ちコンクリートを打

ち込んだ後、材令2週間で各試験体にプレストレスを導入した。プレストレスの最終導入量はPCケーブル1本当たり61tfである。

プレストレス最終導入時の試験体中央における各試験体の応力分布(3体の平均値)を図-5に示す。PCF版を用いずに全量後打ちコンクリートで製作した試験体2と比較して、PCF版を使用した試験体1、試験体3とも同様の応力状態を示していた。よってPCF版がプレストレスの導入を拘束しているようなことはなく、またPCF版にも正常にプレストレスが導入されていることが確認できた。

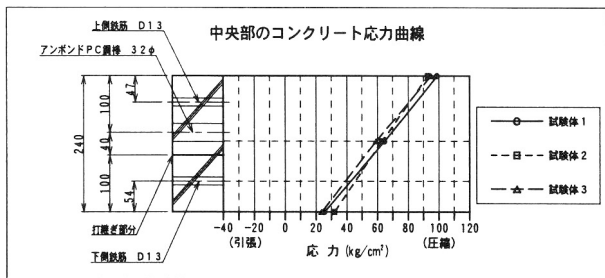


図-5 プレストレス導入後の応力分布

プレストレス導入後の試験体を用いて、曲げ試験を行った。曲げ試験は図-6に示すように、正曲げ試験を2体、負曲げ試験を1体行った。

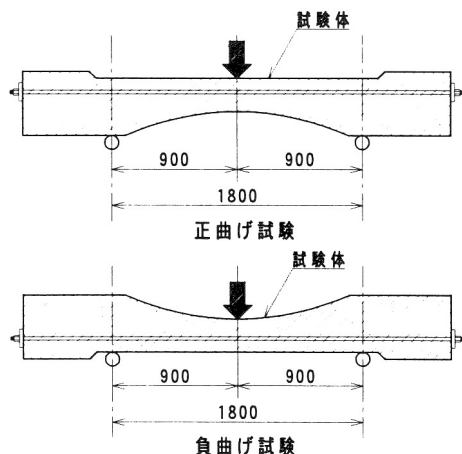


図-6 曲げ試験

曲げ試験の結果、正曲げ試験では、各試験体ともひび割れ荷重が18tf~20tf、破壊荷重が54~59tfとほぼ同様の値で、初ひび割れは試験体下側中央部付近で発生し、その後大きくなっていったが、破壊状況は圧縮側(試験体上側)で破壊した。負曲げ試験では、各試験体ともひび割れ荷重は32~36tfとほぼ同様の値であったが、破壊荷重は試験体2が78.7tf、試験体1が87.9tf、試験体3が85.8tfとPCF版を用いた試験体のほうが大きい値であった。これは破壊状況が圧縮側で破壊していて、プレキャスト製品であるPCF版の圧縮強度が後打ちコンクリートよりも高いことが原因と考えられる。なお、破壊に至る状況は正曲げ試験

と同じであった。各部の応力については各試験体で多少のばらつきはあったものの、ほぼ同じ荷重-応力曲線が得られた。また変位についても各試験体ともよく似た荷重-変位曲線が得られた。(図-7、図-8)

また曲げ試験の結果と計算値とを比較したところ、各試験体とも計算値をわずかに上回っていた。

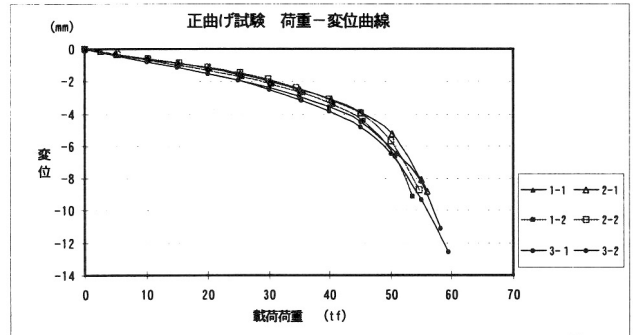


図-7 荷重-変位曲線(正曲げ試験)

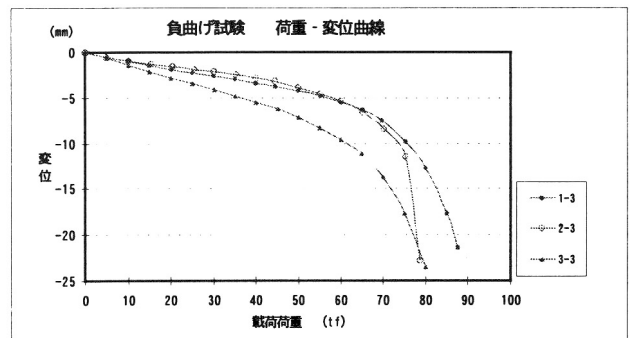


図-8 荷重-変位曲線(負曲げ試験)

コンクリートの打継面を確認するために、曲げ試験終了後の試験体中央部分をダイヤモンドカッターで切断して確認したが、打継面の剥離、ひび割れ等はまったく確認されなかった。(写真-1)

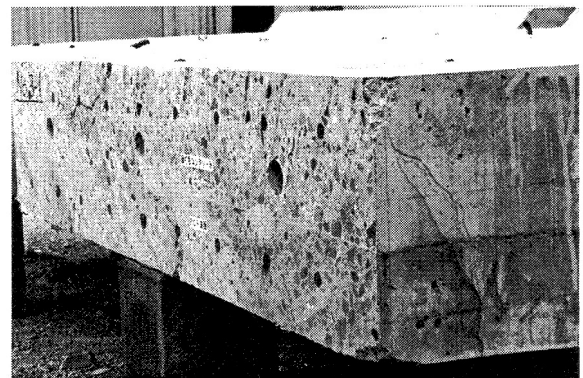


写真-1 試験体中央の切断写真

なお、後打ちコンクリート打込み時のPCF版の乾燥収縮率は、2週材齢で $2.58\sim 3.18\times 10^{-4}$ 、3ヶ月材齢で $5.04\sim 5.34\times 10^{-4}$ であり、試験体1と試験体3との強度差がないことから、乾燥収縮率の差による打継面の一体性についても特に問題は無いと考えられる。

3-2 ループ式継手部の性能確認試験³⁾

(1) 試験体の種類

続いて、ループ式継手部に着目した性能確認試験を行った。試験は既往の研究⁴⁾を参考に、静的載荷による曲げ試験とせん断試験、ならびに交番載荷試験を行った。

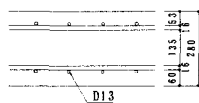
試験体は下記の3種類を用意した。(図-9)

- ・No.1 継手なし(一体打ち)
- ・No.2 ループ継手あり(論文体)
- ・No.3 ループ継手あり(改良型)

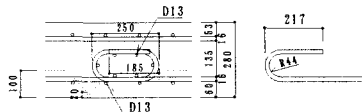
ここで、No.2の論文体とは、前述の既往の研究⁴⁾において疲労耐久性を含めた継手性能が確認されているループ式継手構造のことで、ループの上側をオープンにしないタイプである。

No.3の改良型とは、本工法に用いるループ式継手構造のことで、ループ内補強鉄筋の現場施工性を改善するために、ループの上側をオープンにしたタイプである。

No.1: 継手なし(一体打ち)



No.2: ループ式継手(上側をオープンにしないタイプ)



No.3: ループ式継手(上側をオープンにした今回提案タイプ)

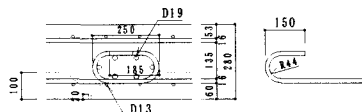


図-9 試験体の種類

試験体の大きさは、幅50cm×長さ320cm(せん断試験用は207.5cm)で、床版厚はPCF版部10cm後打ち部18cmの計28cmである。試験体の形状は平板(アーチ形状とはしない)とし、各試験において2体ずつ、計18体を製作した。使用したコンクリートは、PCF版、後打ちコンクリートともに40N/mm²である。なお今回の試験体にはプレストレスを導入していない。

(2) 静的載荷試験(曲げ試験)の結果

曲げ試験は、継手部に作用する曲げモーメントを一定とし、かつせん断力の影響をなくするために、載荷位置を2点とした。載荷方法ならびに試験体の支持方法を図-10に示す。

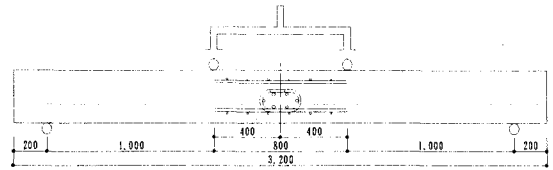


図-10 静的載荷試験(曲げ試験)

試験結果から、ひび割れ発生時、降伏時、および終局時の荷重を表-1に、試験体のたわみを図-11に示す。

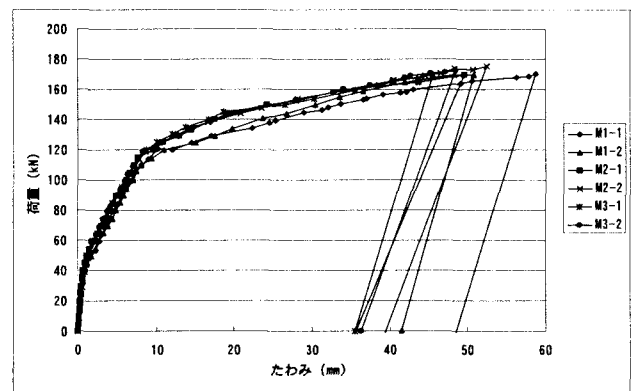


図-11 試験体のたわみ(曲げ試験)

(3) 静的載荷試験(せん断試験)の結果

同様に、せん断試験の載荷方法ならびに試験体の支持方法を図-12に示す。

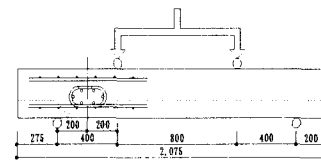


図-12 静的載荷試験(せん断試験)

試験結果から、ひび割れ発生時、降伏時、および終局時の荷重を表-2に、試験体のたわみを図-13に示す。

表-1 静的載荷試験(曲げ試験)の結果 (単位; kN)

試験体	ひび割れ荷重			降伏荷重			終局荷重			
		測定値	平均値	設計値	測定値	平均値	設計値	測定値	平均値	設計値
No. 1 (継手なし 一体打ち)	M1-1	40.0	37.5	37.05	120.0	115.0	105.03	170.5	170.3	130.55
	M1-2	35.0			110.0			170.0		
No. 2 (ループ継手あり 論文体)	M2-1	45.0	42.5		115.0	117.5		169.5	172.5	
	M2-2	40.0			120.0			175.5		
No. 3 (ループ継手あり 改良型)	M3-1	40.0	40.0		120.0	120.0		169.5	171.0	
	M3-2	40.0			120.0			172.5		

表-2 静的載荷試験（せん断試験）の結果（単位；kN）

試験体	ひび割れ荷重			降伏荷重			終局荷重			
		測定値	平均値	設計値	測定値	平均値	設計値	測定値	平均値	設計値
No.1 (継手なし 一体打ち)	S1-1	135.0	120.0	92.62	300.0	302.5	262.57	424.0	441.8	326.37
	S1-2	105.0			305.0			459.5		
No.2 (ループ継手あり 論文型)	S2-1	105.0	102.5		300.0	305.0		442.5	441.0	
	S2-2	100.0			310.0			439.5		
No.3 (ループ継手あり 改良型)	S3-1	100.0	100.0		325.0	320.0		455.5	464.5	
	S3-2	100.0			315.0			473.5		

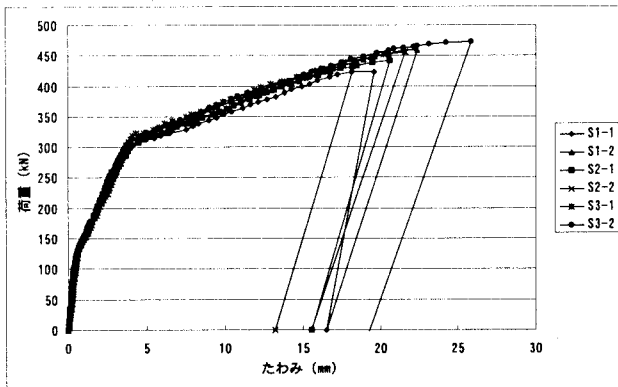


図-13 試験体のたわみ（せん断試験）

表-3 ステップ載荷（交番載荷試験）

ステージ	荷重 (kN)	倍数	備考
1	36.3	1.0	基本荷重
2	54.1	1.49	設計ひび割れ荷重
3	72.6	2.0	
4	90.7	2.5	
5	108.9	3.0	
6	145.1	4.0	
7	191.2	5.27	設計終局荷重
8			破壊まで載荷

表-4 交番載荷試験の結果（単位；kN）

試験体	ひび割れ発生時			終局荷重		
	ステージ	回数	荷重	測定値	平均値	
No.1 (一体打ち)	K1-1	3	1	72.6	358.8	365.9
	K1-2	3	1	72.6	373.0	
No.2 (論文型)	K2-1	3	1	72.6	377.9	378.3
	K2-2	2	1	54.1	378.7	
No.3 (改良型)	K3-1	3	1	72.6	382.7	371.3
	K3-2	3	43	72.6	359.8	

(4) 交番載荷試験の結果

交番載荷試験は、飛島建設(株)技術研究所において、図-14に示すようにして実施した。

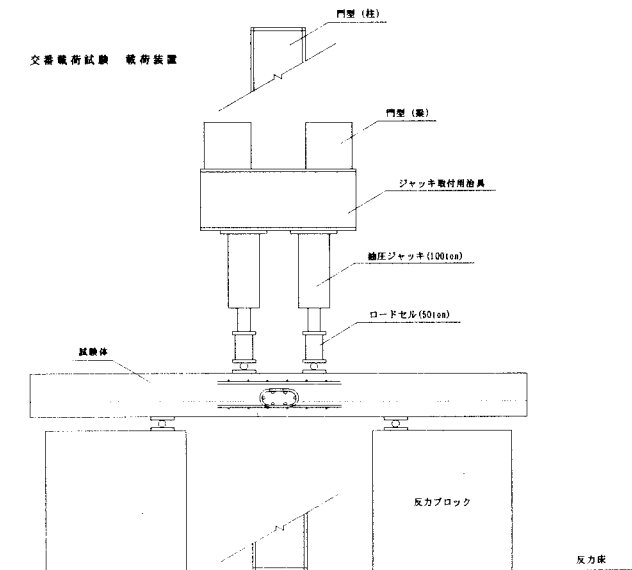


図-14 交番載荷試験要領

荷重載荷は表-3に示すようなステップ載荷で行った。ステージ7まで終了しても破壊に至らない場合は、2台のジャッキを同時に駆動させて破壊まで載荷した。

試験結果から、ひび割れ発生時、および終局時の荷重を表-4に、試験体のたわみを図-15に示す。

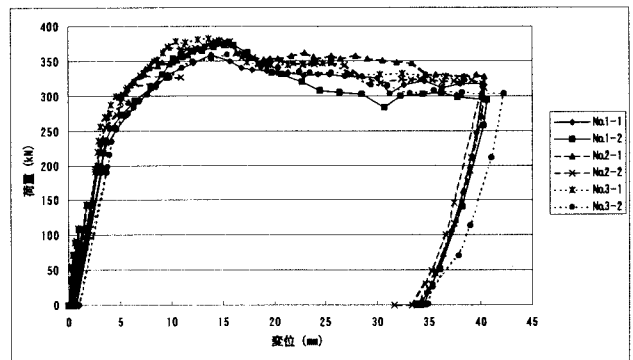


図-15 試験体のたわみ（交番載荷試験）

(5) ループ式継手部の性能確認試験結果のまとめ

何れの試験においても、No.1~No.3の3種類の試験体において、ひび割れ荷重、降伏荷重、終局荷重は試験体による差異は少なく、かつ設計計算値を上回っていた。また試験体のたわみや、ここでは割愛したが鉄筋やコンクリート

のひびきについても同様な結果が得られており、継手の有無、および継手の種類による違いはほとんど認められなかった。

4. 輪荷重走行試験

前述の試験とは別に、建設省土木研究所、(財)土木研究センター、および民間21社による共同研究「道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発」の一環として、建設省土木研究所において輪荷重走行試験を行った。(写真-2)

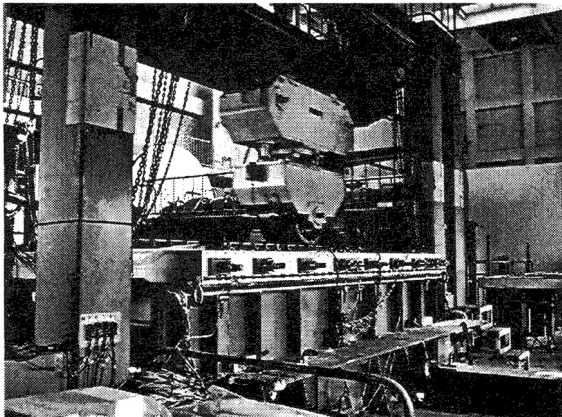


写真-2 輪荷重走行試験状況 (建設省土木研究所)

試験体の大きさは、幅 2.8m×長さ 4.5m、床版厚はPCF版部 9cm 後打ち部 13cm の計 22cm である。試験体の中央にはループ式継手を配置した。コンクリートはPCF版、後打ち部ともに 40N/mm² で設計したが、輪荷重走行試験開始時におけるテストピースの圧縮試験の結果は、PCF版部が 54.3N/mm²、後打ち部が 51.0N/mm² であった。

輪荷重走行試験の結果から、走行回数と載荷荷重の関係を図-16に、たわみ-走行回数を図-17に示す。

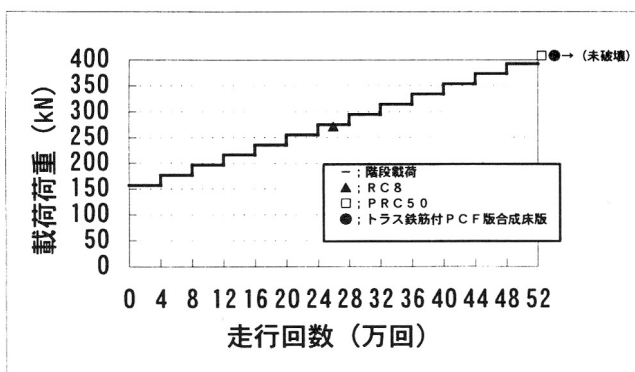


図-16 走行回数と載荷荷重 (輪荷重走行試験)

本工法は階段状載荷の52万回(392kN)で未破壊にて試験を終了した。試験終了時のたわみは、載荷時で2.9mm、残留たわみで0.8mmであった。試験体の中央に配置したPCF版のループ式継手の目開き量も、載荷時で0.27mm、除荷時で0.05mmであった。床版のひび割れは主に床版下面に発生し、橋軸直角方向のひび割れが先行した後、橋軸

方向にも進展したが、ひび割れ幅は0.1mm程度(目視)と小さかった。

以上のようなことから、基準床版としている平成8年の道路橋示方書で設計されたRC床版(RC8,床版厚は25cm)に比べ、本工法の高い疲労耐久性が確認された。

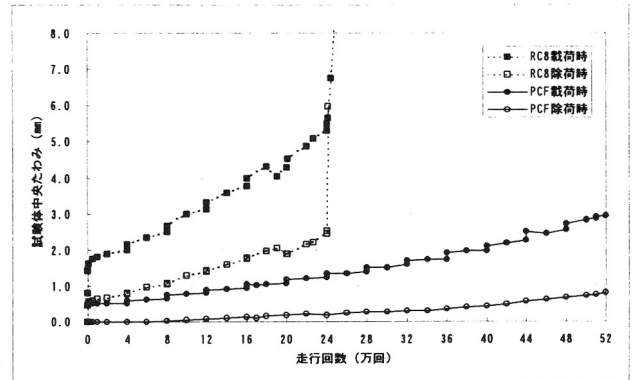


図-17 たわみ-走行回数 (輪荷重走行試験)

5. まとめ

これまで述べてきたような事前確認実験の結果を踏まえ、さらに蕨科川橋実物大試験体⁵⁾への試験採用の結果も反映しながら、蕨科川橋の開断面箱桁に本工法が採用されることとなった。なお本工法については、長支間床版への適用、開断面上への適用などについて、引き続き検討を進めていきたいと考えている。

最後に、本研究に対し貴重なご助言をいただいた松井繁之大阪大学教授、ならびに本研究をご指導いただいた日本道路公団静岡建設局の皆様、そして実験にご協力いただいた飛島建設(株)、日本カイザー(株)に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 猪熊康夫, 本間淳史, 杉崎幸樹, 河西龍彦: 長支間場所打ちPC床版鋼2主桁橋(蕨科川橋)の計画, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, 共通セッション, 1999.9
- 2) 村田茂, 中島義信: トラス鉄筋付PCF版合成床版(ハーフPC床版)の一体性確認試験, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, 共通セッション, 1999.9
- 3) 河西龍彦, 村田茂, 中島義信, 竹田憲史: トラス鉄筋付PCF版合成床版(ハーフプレハブ合成床版)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
- 4) 岡本浩, 川島知佳夫, 木村勝利, 平岩昌久, 土谷逸郎, 松井繁之: トラス鉄筋付PC版合成床版の疲労耐久性, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, 1998.11
- 5) 本間淳史, 丸山勝, 能登宥願, 河西龍彦: 長支間場所打ちPC床版(蕨科川橋)の実物大試験結果, 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