

鋼・FRP複合永久型枠を用いたプレキャスト合成床版の耐久性

Durability of Pre-cast FRP composite slab using permanent FRP forms with steel pipes

久保圭吾*, 長尾千瑛**, 石崎茂***, 松井繁之****

Keigo Kubo, Chiaki Nagao, Shigeru Ishizaki, Shigeyuki Matsui

* (株) 宮地鐵工所, 設計部技術開発グループ (〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通3)

**工修, 中日本高速道路(株), 富士保全・サービスセンター (〒417-0061 静岡県富士市伝法272-8)

*** 工博, (株) 富士技建, 技術開発部 (〒532-0002 大阪市淀川区東三国4-13-3)

**** 工博, 大阪工業大学教授, 八幡工学実験場 (〒614-8289 京都府八幡市美濃山一ノ谷4)

A steel-FRP-concrete composite slab was developed for replacement of deteriorated slab. The composite slab is consisting of a FRP form holding steel rectangular pipe to stiffen the form. The FRP form is created by infusion method wrapping steel pipes with glass fiber mat. In this study the structure of this composite slab is made the pre-cast slab. To evaluate fatigue durability of the composite deck is the most important structural problem for highway bridges. Here, wheel running fatigue test on full-size specimens are carried out, to find out the influence of making the pre-cast. The results and evaluation of those pre-cast slab are described in the paper.

Key Words: FRP Composite slab, pre-cast slab, durability, wheel load running test

キーワード: FRP合成床版, プレキャスト床版, 耐久性, 輪荷重走行試験

1. はじめに

打替え用の床版として, 死荷重が小さく耐食性に優れた鋼・FRP複合永久型枠を用いた合成床版を開発し, 現在までにいくつかの実験・検討を行ってきた¹⁾²⁾. 本床版の型枠パネルは, 図-1に構造概念図を示すように, 底面にガラス繊維強化プラスチック(GFRP:以下FRPと称する)を配置し, 角形鋼管を心材としてFRPで覆った構造であり, インフュージョン成形法(閉塞型成形法)により一体成形している. なお, 角形鋼管内は中空とすることで死荷重を軽減している. また, 配筋方向の断面力に対して, FRPで応力伝達することにより引張側配筋鉄筋を省略し, 現場施工性の向上を図っている. このときの, 型枠パネルの断面形状およびFRP継手部の形状を図-2に示す. なお, FRP継手は, 両面に添接板で接着する構造であり, 上面からのみの施工とするため, 下側の添接板を底板と一体化している.

床版は, 直接自動車を支持する部材であることから, 打替え工事中は, 床版上の車輛通行を必ず規制する必要がある. しかし, 迂回路を設けた全面通行止めや, 終日片側通行などにより, 終日作業が行える施工条件は少ないのが現状である. このような場合, 交通規制を極力少なくするため, 夜間のみ作業で, 昼間は交通解放でき

る工法とする必要がある. したがって, 打替え用床版としては, 現場施工の少ないプレキャスト床版が多く用いられている.

そこで, 本研究では, 本合成床版のプレキャスト化を目的として, 構造検討および輪荷重走行試験機による疲労試験を実施した. ここでは, これらの実験, 検討結果について報告する.

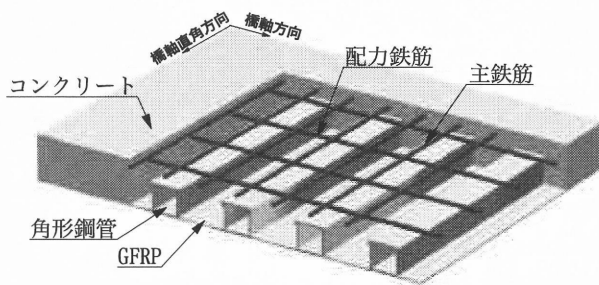


図-1 構造概念図

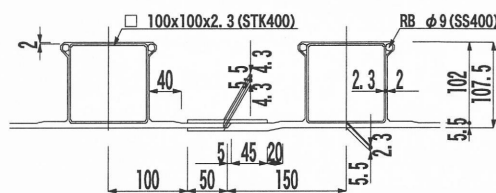


図-2 断面形状

2. プレキャスト床版の継手構造

プレキャスト床版を用いる場合、隣接するプレキャスト版は、版としての連続性を確保するための継手が必要となる。このプレキャスト版の継手構造としては、RCループ継手が多く用いられているが、現場施工性の点で問題を残している。本床版では、橋軸方向の断面力に対しFRPの継手で応力伝達可能である³⁾ことを確認しており、上側鉄筋の連続性を確保するため、L形フックを用いた構造とした。ただし、FRP連結板を取り付ける際、この鉄筋が干渉するため、プレキャスト端部でターンバックル方式の機械継手を用い、FRP連結部施工後、継手筋を取り付ける構造を採用した。この時の継手構造を図-3に、継手部配筋状況を図-4に示す。

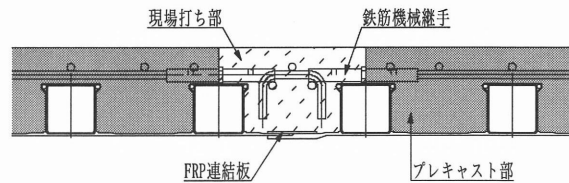


図-3 プレキャスト継手部の構造概要

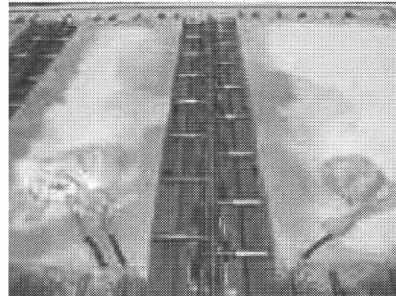


図-4 プレキャスト継手部の配筋状況

3. 輪荷重走行試験

床版の版としての疲労耐久性を検証するには、実橋の荷重状態により試験を実施する必要がある。このため、実橋の移動輪荷重を再現できる輪荷重走行試験機により、実物大床版の疲労試験を実施した。

試験は、大阪大学のクランク式輪荷重走行試験機を用いて行った。供試体種類は、プレキャスト化したことによる劣化挙動の対比を行うため、場所打ち供試体A、およびプレキャスト供試体Bの2体とした。このときの供試体の形状寸法を、図-5に、供試体の材料特性を表-1に示す。

プレキャスト床版供試体は、供試体中央から500mmの位置に2箇所の継手を設けた。この継手は、鉄筋配置による違いを確認するため、隣接する鉄筋位置を同じ位置としたもの、および鉄筋間に配置したものの2種類とした。

なお、図中の丸囲みアルファベットA~Lおよび丸数字①~⑤は、それぞれ、橋軸直角方向、橋軸方向の断面位置を示している。供試体は、ハンチを省略し、スタッドジベルを模したボルトにより、主桁に直接固定した。また、桁端部は、横桁により弾性支持した。載荷方法は、実際の車輪の接地面積20cm×50cmを辺長比で60%に縮小した12cm×30cmの載荷面積をもつ鋼ブロックを敷き並べた軌道にて載荷を行い、試験体中央から橋軸方向に±1000mmの範囲を繰返し走行させた。床版の性状変化を定量化するために、所定の走行回数毎に床版中央のE③点に静的載荷することで、たわみ、ひずみの計測を行い、ひびわれと打音検査によるFRPとコンクリートの離れ状況も調査した。

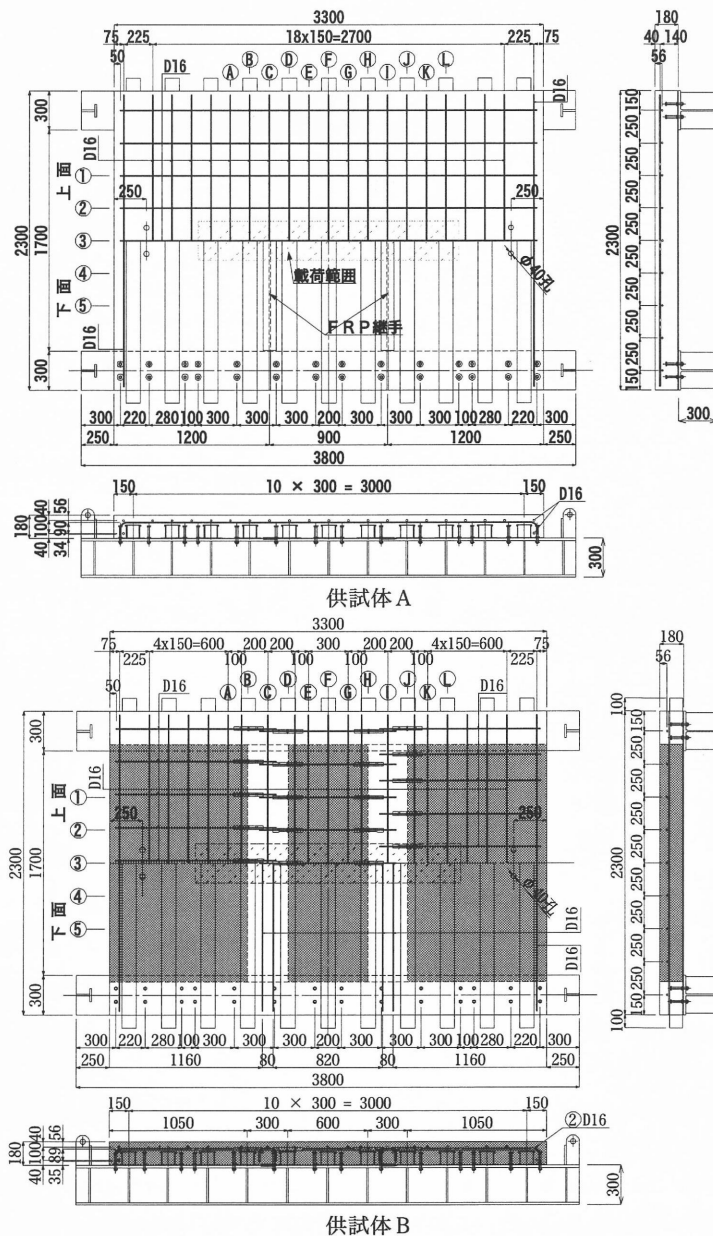


図-5 供試体詳細図

4. 試験結果と考察

(1) 荷重回数とたわみの関係

荷重載荷プログラムと床版中央③点における荷重回数-たわみ曲線を図-6に示す。なお、たわみは137kNに換算した活荷重たわみとしている。荷重は、道路橋示方書の輪荷重100kNに衝撃を考慮した、137kNにて40万回走行させた。その後、促進試験とするため157kNで10万回、それ以降は176kNで試験を行うこととした。しかし、供試体Aでは、荷重を176kNに上げた直後からたわみが急増し破壊に至ったため、供試体Bでは、50万回以降も176kNに上げず157kNで荷重を継続することとした。

この結果、同一荷重を載荷した50万回までのたわみは、両供試体でほぼ等しく、プレキャスト化した場合でも耐久性に大きな差はないことがわかる。50万回以降のたわみは、荷重が異なるためたわみの増加傾向は異なるものの、RC床版のような急激なたわみ増加は起こらないことがわかる。これは、コンクリートが破壊した後も下面の鋼管FRP複合パネルは健全であり、抜け落ちなどが生じないためである。なお、一般に載荷荷重147kNにて80万回の走行が、実橋RC床版に対する50年の交通荷重載荷分に相当すると言われている³⁾ことから、プレキャスト化した供試体Bの場合、実橋床版として十分な疲労耐久性を有していると推察できる。

(2) ひびわれとはく離状況

図-7に床版上面のひびわれ状況を示す。ひびわれ図には、試験終了後の切断面におけるひびわれ状況も併記している。

これより、供試体Bでは、床版上面に打ち継目に沿ったひびわれが比較的早期に観察された。これは、打ち継目が、コンクリート厚の薄い角形鋼管上に配置されたことに起因しているものと考えられる。また、床版中央断面③の切断面では、両供試体とも角形鋼管上部のFRP突起(丸鋼)部から上側鉄筋を結ぶ水平ひびわれが生じており、いずれの供試体も、この部分で2層化する損傷形態となることがわかる。

橋軸直角方向断面におけるひびわれは、供試体Aでは、全ての切断面でひびわれが斜め下に進展しており、鋼管間のコンクリートがせん断破壊する破壊形態となる。

一方、供試体Bでは、③断面でせん断ひびわれが見られるものの他の箇所では、上側鉄筋に沿ったひびわれとなっている。また、荷重終了時に床版上面に、③点に向かう斜めひびわれが観察されていることから、この部分のみがせん断破壊したと考えられる。なお、プレキャスト継手部の①断面では、せん断は生じず、上側鉄

表-1 材料特性

		強度 (MPa)	弾性係数 (Gpa)
コンクリート(供試体A)		39.1	30.8
コンクリート(供試体B)	プレキャスト部	37.3	27.7
	間詰め部	37.7	31.0
GFRP		280	18.8
鉄筋 D16 (SD295A)		479	192
角形鋼管 100x100x2.3 (STK400)		420	193

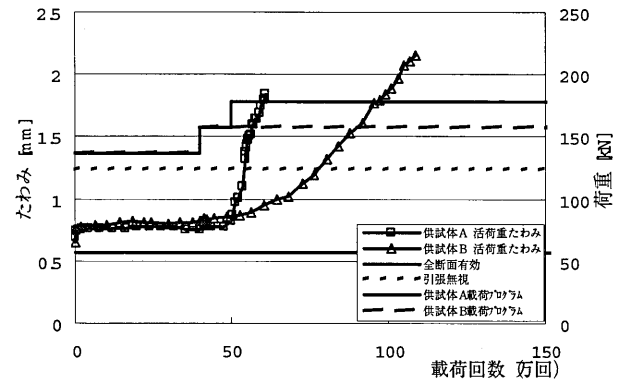


図-6 荷重回数-たわみ曲線

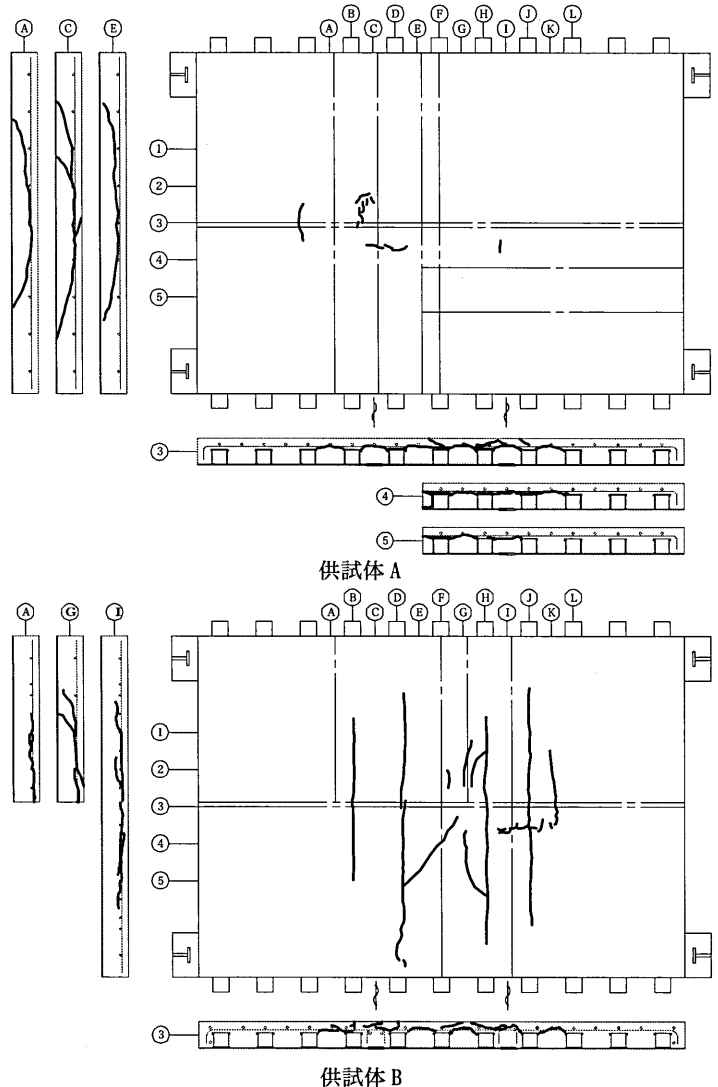


図-7 ひびわれ状況

筋に沿った水平のひびわれとなっている。これは、継手部に配置したL形鉄筋がせん断ひびわれの進展を抑制しているためと考えられ、継手部分の耐久性は高いことがわかった。また、このようなひびわれの傾向は角形鋼管間にトラス鉄筋を配置した場合⁴⁾と同様であり、これにより耐久性も大幅に向上することから、プレキャスト化する場合においてもトラス鉄筋を配置することで、さらなる耐久性の向上が図れるものと考えられる。

図-8にFRPとコンクリートのはく離状況を示す。供試体AのコンクリートとFRP底板間のはく離は、荷重終了まで大きなはく離は観察されていないが、供試体Bでは、80万回以降にはく離の大幅な進展が見られる。これは、供試体の荷重時の挙動観察から判断して、打ち継目のひびわれにより角形鋼管上で梁状化し、荷重の荷重で角形鋼管がせん断変形することで、コンクリートとFRPの間に大きなはく離力が生じ、はく離が進展したものと推察できる。なお、この回数は、たわみの増加傾向が変化した荷重回数と概ね等しいことから、コンクリー

トとFRPのはく離により、たわみが増加することがわかる。ただし、角形鋼管は試験終了時においても変形しておらず、降伏には至っていないものと考えられる。

(3) たわみ分布

図-9に、各荷重回数における床版中央 ③ 荷重時の橋軸方向たわみ分布を、コンクリートを全断面有効とした場合と引張側コンクリートを無視した場合の計算値と共に示す。ただし、たわみは全て137kNに換算したものを示している。

床版端部におけるたわみが、計算値と比べ実験値が大きくなる傾向が見られるのは、横桁と型枠パネルの間に隙間が生じていた影響である。この端部におけるたわみを除外すると、全断面有効の理論値は、走行開始前のたわみ値および分布形状と概ね一致している。

また、たわみ分布は、両供試体とも荷重回数の増加とともに中央で尖った分布となっており、この傾向は供試体Bの方が大きい。これは、打ち継目のひびわれにより

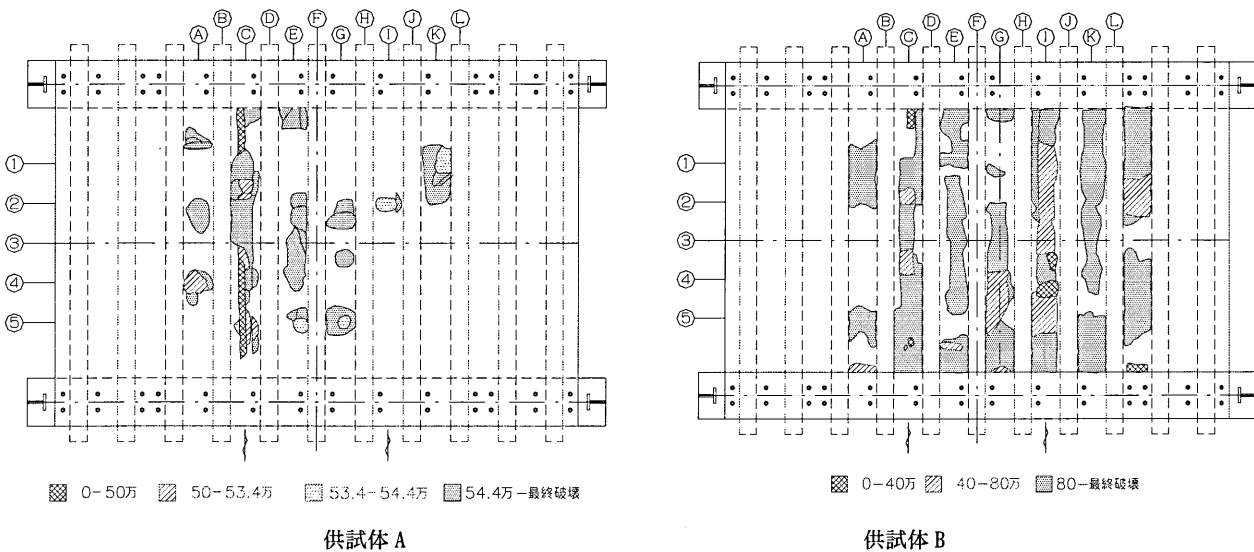


図-8 FRPとコンクリートのはく離状況

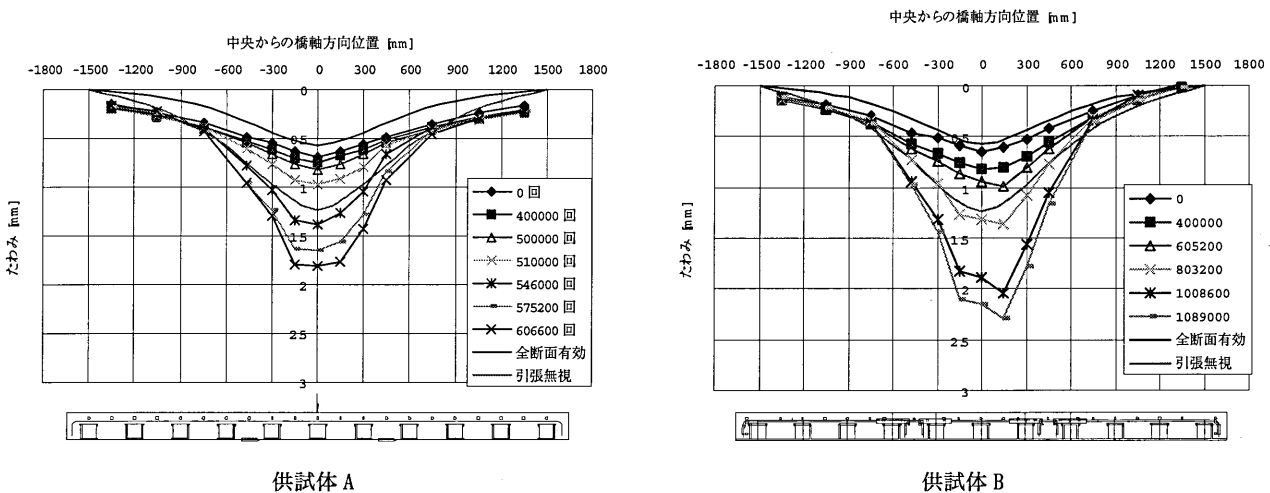


図-9 たわみの橋軸方向分布

梁状化し、配力鉄筋方向の荷重分配が減少するためであり、載荷繰返し数の増加に伴って、異方性の傾向が強くなることがわかる。また、供試体Bにおいて、載荷終了までたわみの連続性は確保されており、本構造のプレキャスト継手部は、版としての連続性を確保できることが確認できた。

(4) ひずみ分布

図-10に各載荷回数における橋軸方向FRP下面ひずみの橋軸方向分布を示す。各回数のひずみは、載荷荷重を137kNに換算したひずみ値を示している。

この図より、両供試体とも、荷重載荷にともなうFRP継手部のひずみ分布は、不連続になっておらず、FRPで十分荷重伝達が可能である。しかし、供試体Aのひずみ分布では、載荷とともに角形鋼管部のひずみが大きくなる傾向が見られる。これは、角形鋼管間のコンクリート部に角形鋼管隅角部より水平ひびわれが発生し、荷重点直下を含む3本の角形鋼管部で荷重を負担する耐荷

性状に移行していくためである。

一方、供試体Bにおいて荷重を上げた40万回以降、①と②部のひずみが急変している。これは、この部分には打ち継目があり、このひびわれにより、この間で梁状化したためと考えられる。

図-11に各載荷回数における橋軸直角方向FRP下面ひずみの橋軸方向分布を示す。各回数のひずみは、載荷荷重を137kNに換算したひずみ値を示している。この図より、両供試体とも鋼管部より鋼管間コンクリートの方が、ひずみが大きい傾向がある。これは、コンクリート部の剛性が鋼管部と比べ小さいためである。また、ひずみの値は、供試体Bの方が大きい。これは、打ち継目のひびわれにより異方性の傾向が強くなったためである。

3. まとめ

場所打ちとプレキャストの鋼・FRP複合永久型枠を

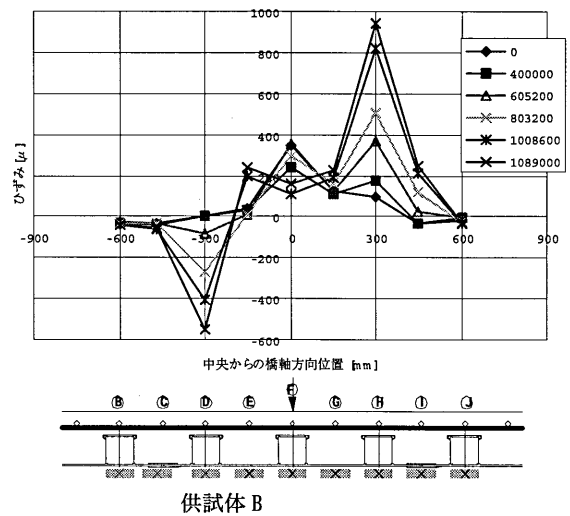
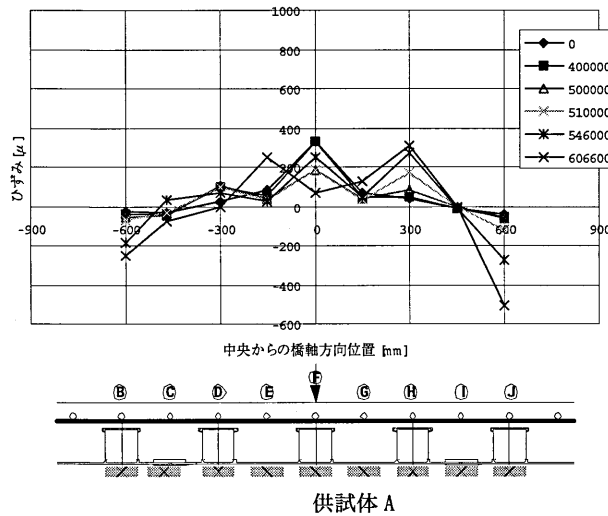


図-10 橋軸方向FRP下面ひずみの橋軸方向分布

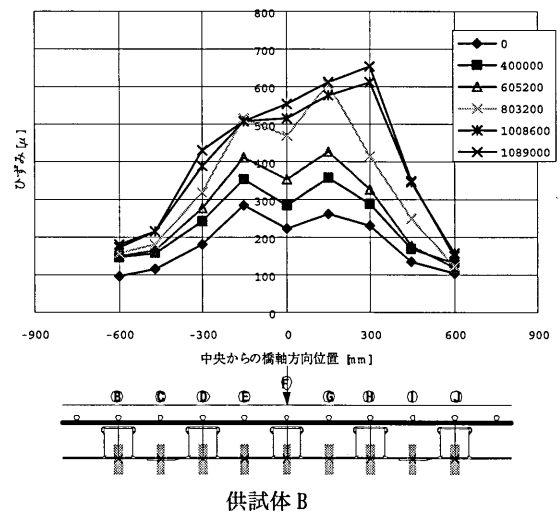
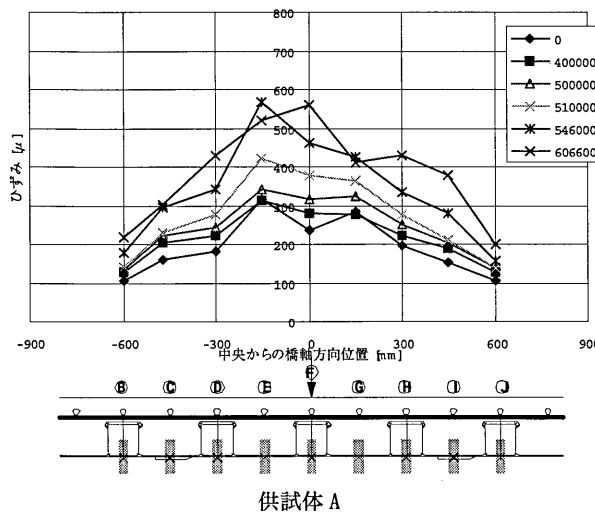


図-11 橋軸直角方向FRP下面ひずみの橋軸方向分布

用いた合成床版の試験結果から、以下に示す事項が明らかとなった。

- ① 輪荷重走行試験の結果より、鋼・FRP複合プレキャスト床版は、実橋床版として使用できる十分な疲労耐久性を有していることが確認できた。
 - ② 場所打ち、プレキャストともに、コンクリート破壊後も、鋼・FRP複合パネルの剛性により、抜け落ちは起こらない。
 - ③ プレキャスト床版の継手は、打ち継目でひびわれが生じるものの、十分な耐久性を有していることが確認できた。
 - ④ 本床版は、疲労損傷に伴い、異方性度が大きくなる傾向が見られるが、橋軸方向の荷重はFRP底板で十分伝達できる。
 - ⑤ プレキャスト床版とする場合も、トラス鉄筋を角形鋼管間に配置することで、耐久性の向上が期待できる。
- 最後に、本研究は、宮地鐵工所、日東紡、新日本石油、富士技建、大阪大学の共同研究として行われたものであり、ご指導頂いた共同研究の関係各位に、感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 長尾千瑛, 松井繁之, 石崎茂, 久保圭吾, 小牧秀之, 平山紀夫: 鋼・FRP複合永久型枠を用いた打替え用合成床版の疲労耐久性, 土木学会第五回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.303-308, 2006.
- 2) 長尾千瑛, 松井繁之, 石崎茂, 久保圭吾, 小牧秀之, 平山紀夫: 鋼・FRP複合永久型枠を用いた打替え用合成床版の耐荷特性, 土木学会構造工学論文集 Vol.53A, pp.1032-1039, 2007.
- 3) 松井繁之: 橋梁の寿命予測—道路橋RC床版の疲労寿命予測—, 安全工学, vol.30, No.6, pp.432-440, 1991.
- 4) 久保圭吾, 長尾千瑛, 石崎茂, 松井繁之: 鋼・FRP複合永久型枠を用いた打替え用合成床版の耐荷力と疲労耐久性, 土木学会構造工学論文集 Vol.54A, pp.902-909, 2008.