

プレキャスト合成床版の継手に関する実験的検討

Performance tests of reinforced joints in precast composite deck slabs

清水 良平*¹, 米田 達則*², 磯 光夫*³, 枝元 勝哉*⁴, 北川 幸二*⁵, 栗田 章光*⁶
 Ryouhei Shimizu, Tatsunori Yoneda, Iso Mistuo, Katsuya Edamoto, Koji Kitagawa, Akimistu Kurita

*¹ 川田工業株式会社 橋梁事業部 東京営業部 複合構造課 (〒114-3562, 東京都北区滝野川 1-3-11)

*² 川田工業株式会社 橋梁事業部 生産本部 富山工場 (〒936-1593, 富山県南砺市苗島 4610)

*³ 工修 川田工業株式会社 技術研究所 (〒114-3562, 東京都北区滝野川 1-3-11)

*⁴ 工博 川田工業株式会社 橋梁事業部 富山技術部 技術課 (〒936-1593, 富山県南砺市苗島 4610)

*⁵ 修(工) 川田工業株式会社 橋梁事業部 東京技術部 設計一課 (〒114-3562, 東京都北区滝野川 1-3-11)

*⁶ 工博 大阪工業大学教授 工学部都市デザイン工学科 (〒535-8585, 大阪市旭区大宮 5-16-1)

The rapid construction method using a precast steel plate-concrete composite slab is one of renewal methods of the existing reinforced concrete slab in steel bridge. In this method, mechanical performance of structural joints between the slabs is most important. Therefore, the authors have been developed a new joint structure used “attached rebar” in the longitudinal direction, where the required joint performance and also the constructibility are taken into account. In order to get the required length and numbers of “attached rebar” in the slab joint, three tests, the element and beam tests in static and the fatigue test used wheel trucking machine, were carried out. From test results it is found that the required lengths of “attached rebar” in positive and negative bending moment are 10 and 15 times of the diameter of longitudinal rebar, respectively.

Key words: Precast composite slab, Attached rebar joint, Renewal of slab, Static loading test, Wheel trucking test

キーワード: プレキャスト合成床版, 添え筋継手, 床版取替え, 負曲げ載荷試験, 輪荷重走行試験

1. はじめに

近年、損傷したRC床版の取替え方法のひとつとして、交通規制の期間を短縮できる図1に示すプレキャスト合成床版を用いた床版取替え急速施工法が考えられる。著者らは、従来の場所打ちロビンソン型合成床版¹⁾を基本構造として、ほとんどのコンクリートを工場で打設するプレキャスト合成床版の実現に向け開発してきた²⁾³⁾⁴⁾。

一方、床版取替えに適用されるプレキャスト合成床版の継手部の構造は、短時間で鉄筋を連結することができ、超速硬コンクリートを打設して硬化後は、早急に交通解放が可能な構造であることが課題として挙げられる。すなわち、継手構造は、施工性に配慮して単純化を図り、経済性に配慮して重ね継手長を短くし、間詰め範囲を減らすことが望ましい。そこで著者らは、課題を克服する継手構造として、図2および図3に示す継手構造(以下、添え筋継手と称す)を提案し、引張鉄筋を対象とした要素試験を実施した。その結果、配力筋と添え筋のあきが配力筋直径の3倍の場合、鉄筋の重ね継手長が配力筋直径の13倍あれば、コンクリートより先に鉄筋が降伏するという結果を得て、添え筋継手で必要な重ね継手長と、必要となる鉄筋のあきを確認している⁵⁾⁶⁾。

そこで、本研究では、鉄筋の継手にこの添え筋継手を採用したプレキャスト合成床版の有効性を確認することを目的とし、床版が主げたの一部として挙動する負曲げ載荷試験と、床版の疲労耐久性を確認する輪荷重走行試験を実施し妥当性の検討を行った。

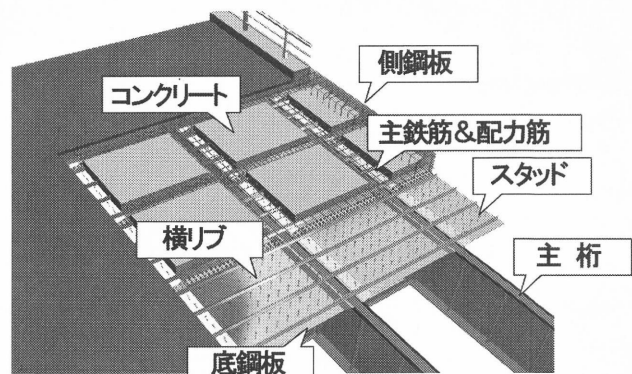


図1 プレキャスト合成床版の構造

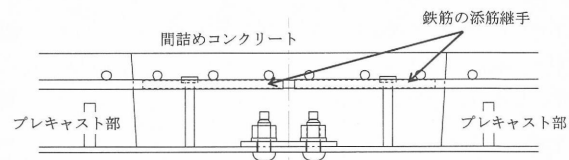


図2 プレキャスト合成床版の継手部

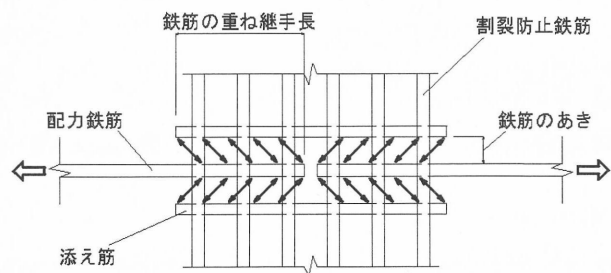


図3 添え筋継手における力の流れ

2. 中間支点の負曲げ載荷試験

2.1 負曲げ載荷試験の目的

プレキャスト合成床版を連続げたに採用すると、中間支点域に引張りを受ける継手部が生じる。そこで、添え筋継手を採用したプレキャスト合成床版の有効性を確認することを目的とし、負曲げ載荷試験を実施した。試験は、継手部を連続合げたの中間支点到適用する場合を想定し、床版と鋼げたを一体化した試験体を用い、床版が主げたの一部として挙動する応力状態を発生させ、主げた剛性やひび割れ性状に着目した。

2.2 試験体の構造諸元

試験体の断面図および構造諸元を、それぞれ図 4、および表 1 に示す。試験体は支持げたの中心間隔である床版の支間長を 2.0m として設計した実物大とし、全長 6400mm・高さ 641mm の鋼げたに、コンクリート版厚 150mm・底鋼板厚 9mm・幅員 1200mm の床版を鋼げたフランジ上のスタッドを介して結合したものである。なお、試験体の床版部のコンクリートには設計基準強度 $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ のコンクリートを用いている。

2.3 試験体の種類

試験体は、中間支点部に図 5 に示す重ね継手長 10D(TYPE-1)と 15D(TYPE-2)の添え筋継手を設けた 2 種類製作した。いずれも普通コンクリートを適用し、床版面積に対する配力鉄筋の面積の比率は 1.5%とした。なお、上記の比は上側配力鉄筋に対するものである。

2.4 載荷要領

試験体の載荷状態は図 6 に示すように試験体の中央において下フランジ下面を支持し、一方の端部において上フランジに溶接した鋼製の金具を支持している。荷重は支点でないもう一方の端部に載荷し、試験体全体に負の曲げモーメントを発生させるものである。なお、支持金具は床版を貫通しているが、床版の挙動を拘束することがないように周囲に発泡スチロールを巻き付けている。また、支持架台と支持金具の間には球面座金を挿入し、試験体の回転変形を拘束しないように配慮している。

2.5 測定項目

載荷試験における測定項目は、主げたの変位、鋼げたの上下フランジおよびウェブのひずみ、コンクリート上面のひびわれ幅およびひずみ、配力鉄筋および底鋼板上下面のひずみである。

鋼げたの下フランジには変位計を配置し、上下フランジおよびウェブには試験体中央付近に一軸ゲージを貼付している。またコンクリート上面にはひびわれ幅測定用の ϵ ゲージおよびコンクリートゲージを、配力鉄筋および底鋼板には一軸ゲージを、試験体中央付近に貼付している。

2.6 設計荷重および載荷荷重

載荷荷重の設定は、コンクリートのひびわれ性状が配力鉄筋に発生する応力度に関係することから以下のように考えた。

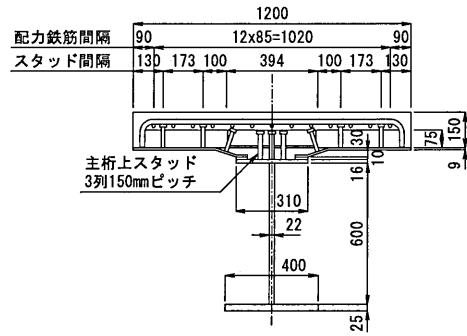


図 4 プレキャスト合成床版試験体の断面図

表 1 プレキャスト合成床版試験体の構造諸元

		単位	構造諸元
床版	コンクリート	版厚	mm
		設計基準強度	N/mm^2
	鋼板	板厚	mm
	横リブ	断面	mm
		橋軸方向間隔	mm
	スタッド	寸法	mm
鋼	上フランジ	断面	mm
	ウェブ	断面	mm
	下フランジ	断面	mm
	たスタッド	寸法	mm
		橋軸方向間隔	mm
		橋軸直角方向間隔	mm

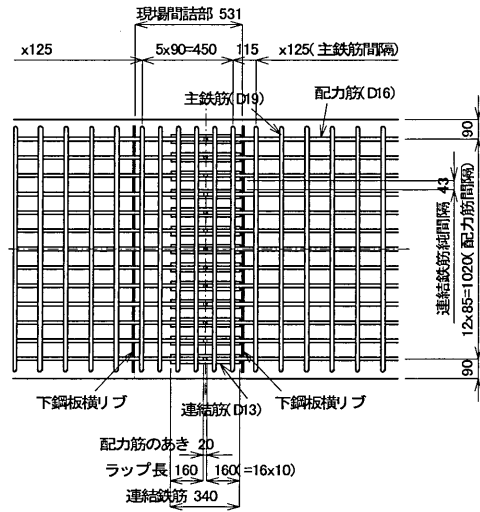


図 5 添え筋継手の配筋図 (TYPE1・10D の場合)

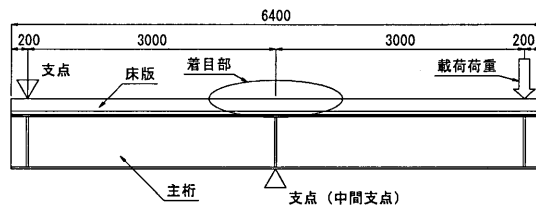


図 6 荷重載荷図

表 2 載荷荷重

載荷荷重	繰返し回数	対応する応力状態
0kN → 118kN → 20kN	5	ひびわれ発生
20kN → 157kN → 20kN	5	配力鉄筋応力度 70N/mm ²
20kN → 235kN → 20kN	5	100N/mm ²
20kN → 294kN → 20kN	5	140N/mm ²
20kN → 608kN → 20kN	1	300N/mm ²

添え筋継手を有しない合成床版に関する既往の試験結果⁷⁾と比較するため、配力鉄筋の応力度が 100N/mm^2 となる状態に対応する載荷荷重を設計荷重と設定し、試験結果の評価の基準とした。なお、フランジの発生応力により断面は決定し、配力鉄筋応力は 100N/mm^2 程度となることを、試設計⁸⁾により確認している。

さらに鉄筋の許容応力度が 140N/mm^2 であることを考慮して、載荷時の基準となる応力状態は、コンクリートのひびわれ発生、配力鉄筋の応力度が許容応力度の $1/2(70\text{N/mm}^2)$ 、設計応力度(100N/mm^2)、許容応力度(140N/mm^2)、設計応力度の3倍(300N/mm^2)とした。

載荷荷重については表2に示す通り、まず無載荷の状態から計算上床版のコンクリートにひびわれが発生する状態まで荷重を増加させ、この状態から 20kN まで除荷する載荷を5回繰り返した。次に、 20kN から配力鉄筋の応力度が計算上 70N/mm^2 となる状態まで荷重を増加させ、この状態から 20kN まで除荷する載荷を5回繰り返した。同様に、配力鉄筋の応力度が計算上 100N/mm^2 および 140N/mm^2 の場合の載荷を行った。最後に、 20kN から配力鉄筋の応力度が計算上 300N/mm^2 となる状態まで荷重を増加させ、この状態から 20kN まで除荷した。試験装置および試験体の状況を写真1に示す。

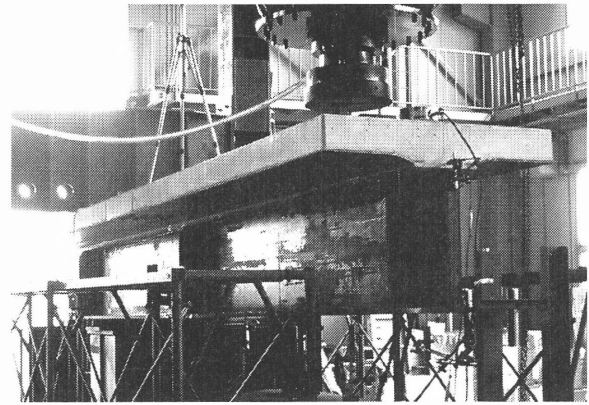


写真1 試験装置および試験体

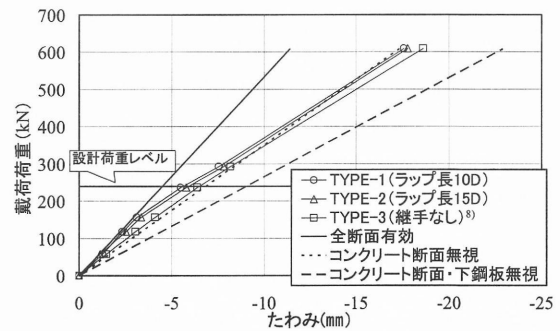


図7 載荷荷重とたわみの関係

2.7 負曲げ載荷試験結果および考察

(1) 主げた剛性

図7に載荷荷重とたわみの関係を示す。表現方法は、剛性を評価するため文献8)に準じた。たわみの測定位置は、荷重載荷点直下の下フランジの下面である。TYPE-1,2 が添え筋継手を有する本試験の結果であり、TYPE-3(継手なし)が断面条件の同等な継手を有しない合成床版に関する既往の試験結果⁸⁾である。図7より、設計荷重レベルでの主げた剛性の測定値は、3タイプとも床版コンクリートの引張りを無視した場合の主げた剛性の傾きとほぼ並行である。これらの結果から、添え筋継手を有するプレキャスト合成床版と継手なしの合成床版の主げた剛性はほぼ同等であり、継手の有無が主げた剛性に及ぼす影響は小さいことがわかった。

(2) コンクリートのひび割れ性状

設計荷重レベルに相当する 240kN 載荷時の床版上面ひび割れ性状を図8に、また、載荷荷重とひび割れ幅の関係を図9にそれぞれ示す。

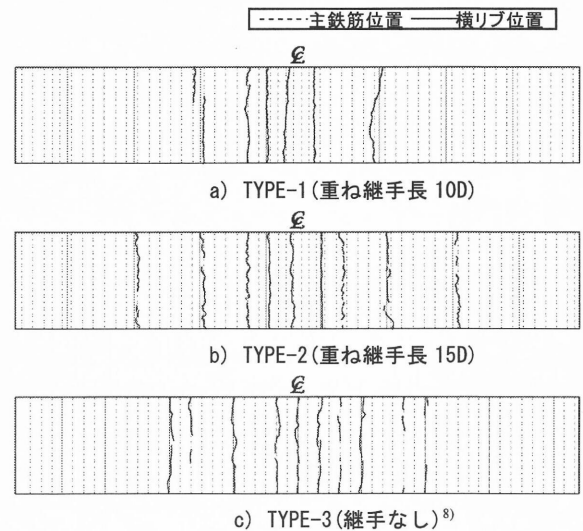
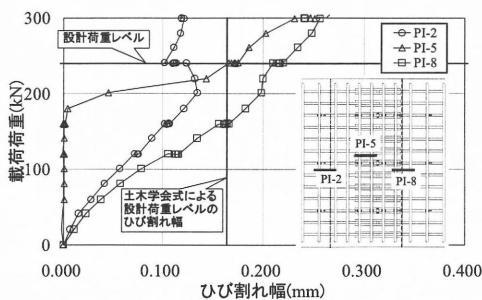
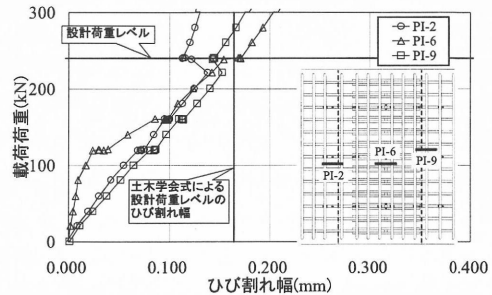


図8 コンクリート上面のひび割れ状況



a) TYPE-1 (重ね継手長 10D)



b) TYPE-2 (重ね継手長 15D)

図9 載荷荷重とひび割れ幅の関係

ひび割れ過程は、TYPE-1(重ね継手長 10D)、TYPE-2(重ね継手長 15D)とも、荷重載荷直後に継手部のコンクリート打継目に最初のひび割れを生じ、その後、横リブ位置から主鉄筋上へと進展する結果となった。これらの床版上面ひび割れ性状を TYPE-3(継手なし)と比較すると、TYPE-1(重ね継手長 10D)はひび割れ本数が少なく、TYPE-2(重ね継手長 15D)は TYPE-3(継手なし)と類似のひび割れ性状を示す結果となった。

一方、ひび割れ幅を観察すると、TYPE-1(重ね継手長 10D)では設計荷重レベルに相当する 240kN 載荷時の土木学会のひび割れ算定式⁹⁾による値を超えているのに対して、TYPE-2(重ね継手長 15D)では超えていない。

以上より、重ね継手長 15D の添え筋継手は、継手なしとほぼ同様のひび割れ性状を示し、土木学会のひび割れ幅算定値以下であることがわかった。それに対して、ラップ長 10D の添え筋継手は、負の曲げモーメントを受ける場合には、別途検査が必要であるといえる。

3. 輪荷重走行試験

3.1 輪荷重走行試験の目的

重ね継手長を 10D とした添え筋継手を用いたプレキャスト合成床版の輪荷重走行試験体を製作し疲労耐久性の確認を行った。確認方法は、過去に実施した全ての配筋とコンクリート施工を現場で行った合成床版の試験結果¹⁰⁾と比較するものとした。

3.2 試験方法

試験方法は、(独)土木研究所における輪荷重走行試験の標準方法¹¹⁾に準じるものとした。

試験体は、床版支間方向に単純支持、橋軸方向に弾性支持し、回転拘束を与えず浮き上がりを防止するように架台に固定した。荷重載荷は、床版支間中央に一直列に並べた 500×200mm の載荷ブロックの軌道上で幅 500mm の鉄輪を走行長 3.0m で往復させて与えるものとした。

載荷荷重と走行回数については初期荷重 157kN から 4 万回毎に 19.6kN ずつ荷重を増加、最終荷重 392kN にて 52 万回まで階段状載荷を行った。輪荷重走行試験の概要を図 10 に示す。

配筋およびコンクリートの施工は実橋に合わせ、底鋼板パネルを製作した後に、先打ち区間と後打ち区間に分けて行った。コンクリートの施工時には試験時と同じく 2.5m 間隔で支点支持し、底鋼板パネルのひずみとたわみを計測して、製作性および施工性については、従来の場所打ちと変わらず問題がないことを確認した。その後、コンクリートの養生後に製作工場から(独)土木研究所の試験棟に搬送し、輪荷重走行試験を実施した。計測の方法は、走行回数 2 万回ごとの静的載荷計測および輪荷重走行時の動的載荷計測とした。試験結果の検証は、得られたたわみ、ひずみ、ひび割れ性状等により判断するものとした。

3.3 試験体

試験体は図 11 に示すように(独)土木研究所にお

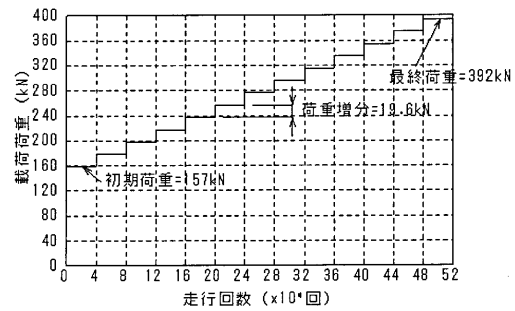
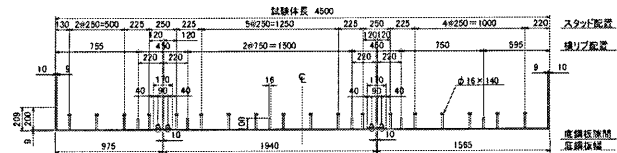
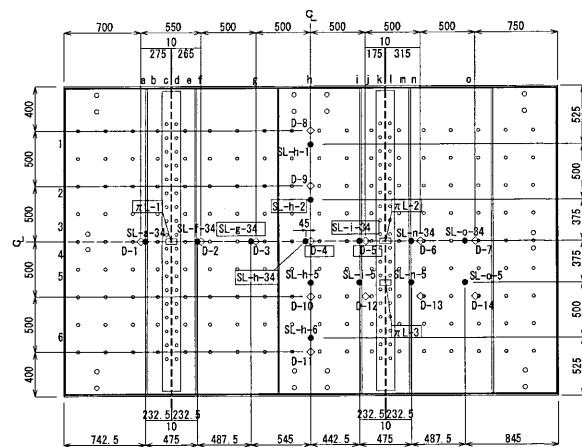


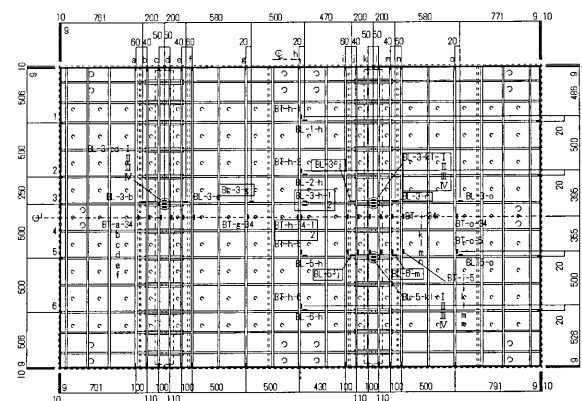
図 10 階段状載荷概要



a) 断面図



b) 底鋼板平面図



c) 上側鉄筋 配筋図

図 11 試験体概要

る輪荷重走行試験の標準方法¹¹⁾に準じ、床版支間方向に 2.8m、橋軸方向に 4.5m とした。また、継手部の有無による特性の比較を行うため、床版厚や鋼材寸法、配置の方針は従来の場所打ち合成床版の輪荷重走行試験¹⁰⁾を参考に、実橋の合成床版と同様の方針、規準に従い設計した。

試験体の継手部は、橋軸方向に 2m 間隔とし底鋼板および配力筋を連結し、先打ち・後打ちコンクリート

の打ち継ぎ部を設けるものとした。

コンクリートの配合は一般部 30-8-25N, 後打ち部 30-8-25H とし, 後打ち部の範囲は, 底鋼板の添接部を挟む横リブ間隔 (430 mm) とした。

計測は, 床版上面, 鉄筋および底鋼板のひずみと, 床版のたわみ, 底鋼板の継手の開閉量に着目し, ひずみゲージ, 変位計および π ゲージを設置した。

3.4 材料特性

コンクリートの材料特性を表 3 に示す。値は 3 体平均であり, 比較のため旧試験の値を併記した。本試験の静弾性係数は旧試験と同等であることが確認された。なお材料試験の時期は, 走行試験載荷初期である。

鋼材についてはミルシートに記載されている引張強度試験結果から, コンクリートについては表 3 から, 道路橋示方書⁷⁾の規格を満足していることを確認した。

3.5 実験結果と考察

実験の結果, 試験体は最大荷重 392kN, 走行回数 52 万回に達しても破壊に至らず, 顕著なたわみやひずみは生じなかった。

(1) 破壊形態

試験体は, 載荷試験によって破壊に至らなかったの で, 試験完了後に試験体を切断し, 内部のひび割れを目視にて観察した。ひび割れのスケッチを図 12 に示す。

橋軸方向の切断面には, 横リブの頂部とスタッド頭部を結ぶように緩やかなアーチ状のひび割れが進展していることが確認された。一方, 橋軸直角方向の切断面には, 輪荷重直下である断面中央付近にアーチ状にひび割れが進展しており, 輪荷重による主応力分布に従う形でひび割れが発生したものと考えられる。

これらのひび割れはいずれも床版上面には貫通しておらず, 内部ひび割れの状態は, ほぼ従来の場所打ち合成床版の試験¹⁰⁾と同程度であった。

なお, 打ち継ぎ部については, コンクリートに水分を含ませたのち, 乾く過程でのみわかる程度のひび割れが確認された。この非常に微細なひび割れは, 床版上面では走行回数 40 万回以降で確認され, 切断面からは床版上面からせん断キーの頂部まで確認された。

(2) 静的計測結果

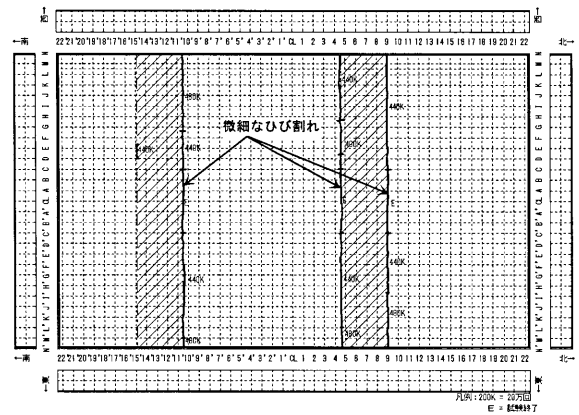
試験体中央における, 静的載荷時の各部位の計測結果を図 13~17 に示す。なお, 比較のため, 従来の場所打ちの場合の試験結果¹⁰⁾ (以下, 場所打ちと称す) を破線で, 今回のプレキャストの場合の試験結果 (以下, プレキャストと称す) を実線で記す。また, 図中の計測値は全て 98kN に換算した値である。

床版中央のたわみは, 最大荷重に至るまで急激な変化はみられず, 場所打ちと比較すると, 載荷初期からたわみが小さい傾向にある。これは, 今回のプレキャストでは供試体の継手が 2 箇所あるのに対して, 場所打ちでは継手が 1 箇所であり, 版としての剛性が幾分大きくなったためと考えられる。

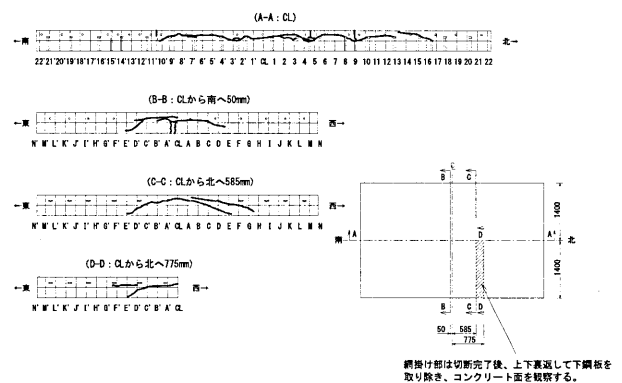
鉄筋および底鋼板の静的ひずみについては, 床版支

表 3 コンクリートの材料特性

本試験	一般部 (普通)	圧縮強度	静弾性係数	ポアソン比
		N/mm ²	× 10 ⁴ N/mm ²	
旧試験	後打ち部 (早強)	34.0	2.90	0.192
	普通	38.1	2.87	0.171
	普通	37.6	2.88	0.199



a) 床版上面



b) 床版切断面

図 12 ひび割れ図

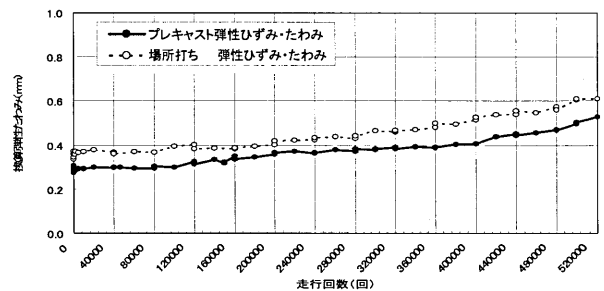


図 13 たわみ

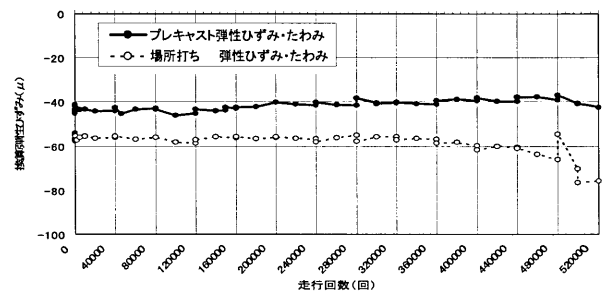


図 14 主鉄筋ひずみ

間直角方向において、最大荷重付近で乱れがみられるが、その他は急激な変化はない。なお、この乱れは、図 12 b) に示すアーチ状のひび割れが、計測位置近傍に発生したことによる影響と考えられる。

(3) 動的計測結果

動的計測での最大たわみは、4.2mm であり、静的の 1.17 倍であった。(場所打ち：最大たわみ 5.1mm, 静的の 1.13 倍) 中央付近と比較して継手部(配力筋継手部)は損傷が進行している様相はなく、プレキャストに適用した配力筋継手は、十分な耐久性を持っていると考えられる。

4. まとめ

本研究において得られた結果は、次のとおりである。

4.1 中間支点部の負曲げ荷試験

(1) プレキャスト合成床版の継手部が、主げた剛性に与える影響は小さい。

(2) 負の曲げモーメントを受けるプレキャスト合成床版の継手部においては、重ね継手長 15D の添え筋継手を用いることで、従来の場所打ち合成床版と同等の性能が得られる。

4.2 輪荷重走行試験

配力鉄筋継手に重ね継手長 10D の添え筋を採用したプレキャスト合成床版の輪荷重走行試験を実施した結果、以下のことがわかった。

- (1) 製作性・施工性に問題がないことが確認できた。
- (2) 従来の場所打ち合成床版と同等の疲労耐久性を有することが確認された。
- (3) ひびわれ状況を確認した結果、継手部(打ち継ぎ目部分)からの顕著なひび割れは認められず、従来の場所打ち合成床版の結果と同様の傾向であることが確認された。
- (4) 正曲げが支配的な床版部分においては所要の疲労耐久性を有することが確認された。

参考文献

- 1) 渡辺, 街道, 水口, 村松, 松井, 堀川: 鋼・コンクリート合成床版の開発と実橋への適用について, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, 1998.11
- 2) 磯, 鈴木, 橘, 児島, 辛嶋, 栗田: プレキャスト合成床版の配力筋継手に関する性能確認試験, 構造工学論文集 Vol.52A, 土木学会, pp.1017-1025, 2006.3
- 3) 鈴木, 磯, 橘, 児島, 辛嶋, 栗田: プレキャスト合成床版の配力筋継手に関する性能確認試験(その1: 断面性能), 第60回土木学会年次学術講演会講演概要集, 2005.9
- 4) 磯, 鈴木, 橘, 児島, 辛嶋, 栗田: プレキャスト合成床版の配力筋継手に関する性能確認試験(その2: ひび割れ・破壊性状), 第60回土木学会年次学術講演会講演概要集, 2005.9
- 5) フリッツ・レオンハルト: レオンハルトのコンクリート講座 3 鉄筋コンクリートの配筋, 鹿島出版会, 1985.

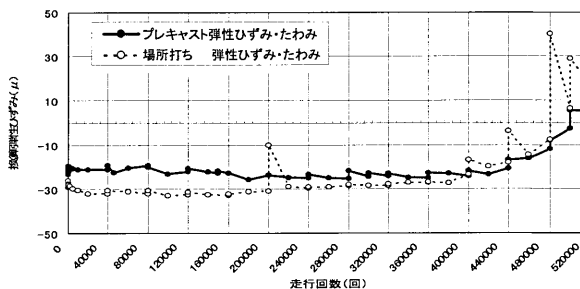


図 15 配力鉄筋ひずみ

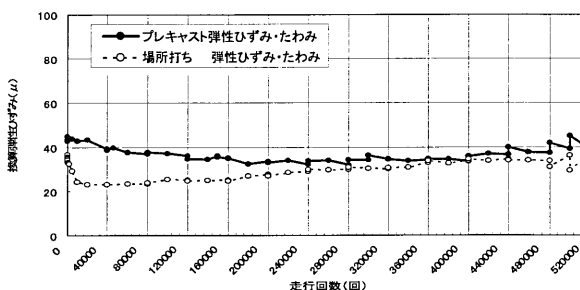


図 16 底鋼板床版支間方向ひずみ

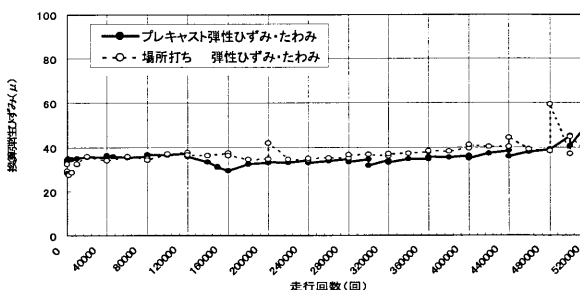


図 17 底鋼板床版支間直角方向ひずみ

- 6) 磯, 清水, 北川, 伊藤: プレキャスト合成床版を用いた連続合成桁における中間支点部の負曲げ荷試験, 川田技報 Vol.26, 2007.
- 7) 街道, 渡辺, 橘, 松井, 栗田: 鋼・コンクリート合成床版を適用したプレストレスしない連続合成げたの中間支点部の静的荷試験, 構造工学論文集 Vol.49A, 土木学会, pp.1115-1126, 2003.3
- 8) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 丸善, 2002.
- 9) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], 土木学会, 2002.5
- 10) 街道, 渡辺, 橘, 松井, 堀川: 鋼・コンクリート合成床版の輪荷重走行試験および3次元有限要素解析による疲労耐久性の評価, 構造工学論文集, Vol.50A, 2004.3
- 11) 建設省土木研究所共同研究報告書: 道路橋床版の輪荷重走行試験機における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書(その1) - 標準試験方法および第1回試験報告一, 第221号, 1999.1