

# 孔あき T 型リブを用いた合成床版 “K-スラブ” のずれ止め性能と疲労耐久性 Shear Behavior and Fatigue Performance of Composite Slab “K-SLAB” with Perfobond T-shaped Beams

大垣賀津雄\*<sup>1</sup>, 鹿島孝之\*<sup>2</sup>, 川畑治\*<sup>2</sup>, 山田久之\*<sup>3</sup>

Kazuo Ohgaki, Takayuki Kashima, Osamu Kawabata, Hisayuki TYamada

\*<sup>1</sup> 博士(工) 川崎重工業(株) 営業推進本部 事業開発部 (〒105-6116, 東京都港区浜松町 2-4-1)

\*<sup>2</sup> 修士(工) 川崎重工業(株) 装置・土木機械本部 技術部 (〒675-0155, 兵庫県加古郡播磨町新島 8 番)

\*<sup>3</sup> 川崎重工業(株) 装置・土木機械本部 技術部 (〒675-0155, 兵庫県加古郡播磨町新島 8 番)

The composite slabs with steel and concrete are rational structure used for 2- or 3-plate girder bridges from the viewpoint of economy and durability. The authors developed the composite slab with the truss type shear connectors, before. In late years, from the viewpoint of further economy, we developed the new type composite slab with perfobond T-shaped beams.

This paper shows the result of having confirmed the performance of the shear connectors for this composite slab, and the fatigue tests by using wheel-running machine were carried out.

**Key words:** Fatigue test, Wheel-running machine, Perfobond shear connectors, shearing tests

## 1. はじめに

近年、合成床版は少数主桁橋梁において耐久性が優れていることから、有力な床版構造形式として適用事例が増加しており、種々の形式の合成床版が開発されてきている<sup>1)</sup>。

筆者らの研究グループは、トラス型ジベルを用いた合成床版を開発し、一連の実用化研究を実施し、そのずれ止め特性や合成床版としての耐荷力および耐久性の検証を行った<sup>2)3)</sup>。また、トラス型ジベル合成床版の長支間化における問題点を整理し、大型のトラス型ジベルに構造改良して、耐荷力および疲労耐久性の検討を行なうべく一連の試験を実施した<sup>4)</sup>。

ここ数年の状況では、鋼材などの材料費が高騰する一方で、耐久性のみならず経済性も同時に求められており、加工度が高く製作コスト低減が困難なトラス型ジベル合成床版は、採用に至るケースが減少してきている。

そこで、ずれ止めに孔あき T 型リブを用いることによりコストパフォーマンスに優れた合成床版 “K-スラブ” (図-1 参照) の開発を行った<sup>5)</sup>。孔あき T 型リブが合成床版の要求性能を満たすことを確認するために、孔あき T 型リブのずれ止め性能試験<sup>6)</sup>および床版としての疲労耐久性確認のための移動輪荷重走行試験<sup>7)</sup>を実施した。

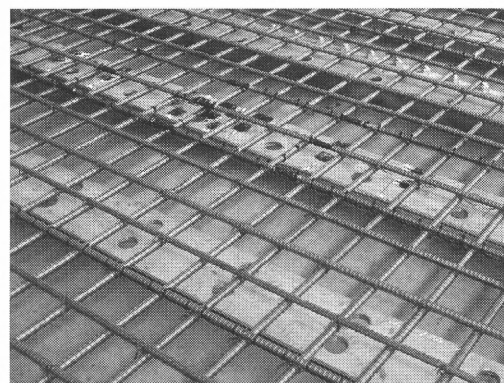
本文は、これらの結果について報告するものである。

## 2. K-スラブの特徴

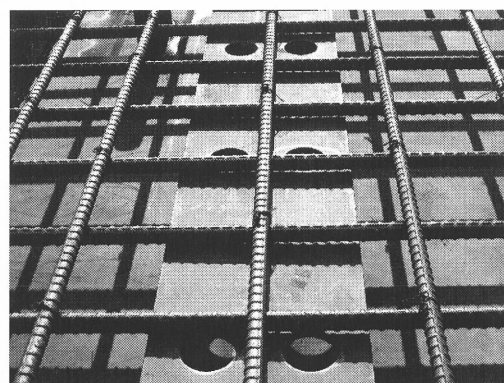
### (1) 基本構造

K-スラブは、CT 形鋼等を用いた T 型リブのフランジに孔を開けて、その孔あき鋼板ジベル機能を有する

リブを配置した合成床版である。T 型リブは橋軸直角方向(床版主鉄筋方向)に配置し型枠剛性に寄与し、前死荷重にも抵抗する。パネル同士は底鋼板にて高力ボルト接合を基本とし、底鋼板を床版の有効断面として考慮することにより、下側配力鉄筋を省略することが可能な構造を前提としている。基本的に T 型リブは CT 形鋼を用いることとし、加工度が低くコストパフォーマンスに優れた合成床版であるといえる。



(a) 全体外観



(b) 孔あきフランジ T 型リブ

図-1 K-スラブ

## (2) コンクリート接触面の防錆処理

合成床版の底鋼板とコンクリートが接している状態では酸素の供給がないことから、その界面には何も防食対策を施さないことが一般的である。しかしながら、塩害を受ける地域等では、合成床版の耐久性を向上させる上で、底鋼板の防食対策が不可欠であると考えられる。筆者らの研究グループは防食性能向上および付着性能向上が期待できるゴムの特性を生かした画期的な接着補強剤（以下、ゴムラテックスと呼ぶ）を添加したモルタルのコーティングを提案している<sup>8)</sup>。ゴムラテックスを添加したモルタル（以下、ゴムラテックスモルタルと呼ぶ）の圧縮強度、接着力、耐衝撃性、曲げ変形性能、耐摩耗性、防水性になどの基本特性については、高い性能の試験結果が得られており、トラス型ジベル合成床版における施工法確認試験および実橋梁への適用もなされている<sup>8),9)</sup>。

ゴムラテックスとは、スチレンブタジエンゴム(SBR)をベースにした、セメントモルタル混和用剤であり、水で希釈できセメントペーストまたはモルタル練混時に水と混和するタイプの接着増強剤である。近年、鋼床版のデッキ疲労き裂予防保全対策として、鋼床版の基層グースアスファルトに置換えて、合成鋼床版化する技術が確立されている<sup>10),11)</sup>。

## 3. 押抜きせん断試験

新型合成床版“K-スラブ”の開発に当たって、まず、T型リブのフランジ面に孔を開けたジベルで押抜きせん断試験を行い、ずれ止めとしての基本性状の確認を実施した。

### (1) 試験供試体および荷重条件

試験供試体を図-2および表-2に示す。()内数値は供試体2を示す。押抜きせん断耐力は、フランジ面の孔が支配的と考えられたが、腹板厚の効果を確認するために、供試体は腹板厚、溶接サイズをパラメータとした。

基本的には、コンクリート付着面については、鋼板とコンクリートの付着を期待しないことから付着除去を目的にロイハンシートを設置した。供試体1-2については、底鋼板にあたる部分にショットブラストによる素地調整を施した後にゴムラテックスモルタルを吹付けて防錆処理を施した。この場合に、押抜きせん断耐力や水平せん断バネ定数への効果の確認を行った。

表-2 押抜きせん断試験供試体

	フランジ厚	腹板厚	すみ肉サイズ	ゴムラテックス
1-1	10mm	6mm	4mm	無
1-2	10mm	6mm	4mm	有
2	10mm	10mm	5mm	無

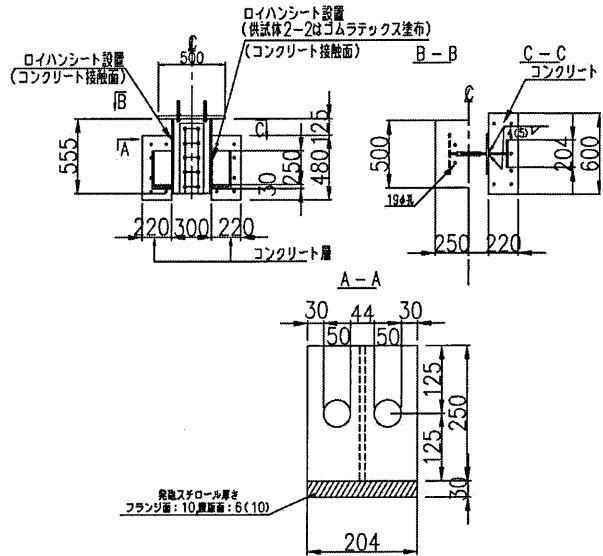


図-2 孔あきT型リブ

荷重条件は以下のとおりである。

- ①荷重、除荷を繰り返すことで、作用せん断力と残留ずれの関係に、明確な「残留ずれの急変点」を見つけることを目的に、全供試体で漸増繰返し荷重法（荷重制御）とした。
- ②各供試体の想定最大荷重は、766kNである。
- ③荷重増分は、最大荷重の1/20の荷重増分ごとに除荷を行った。残留ずれが0.08mmを超えた後、荷重除荷を1サイクル行い、単調増加で破壊まで荷重する。残留ずれ0.08mm付近で明確な「残留ずれの急変点」があることを条件とした。
- ④明確な「残留ずれの急変点」が0.08mm付近で生じるかは不明のため、供試体1-1については、明確な「残留ずれの急変点」の把握を目的として、荷重増分を細かくして荷重を行なった。

### (2) 測定項目

鋼部材とコンクリートブロックとの間に生じる相対ずれを下記要領にて測定した。

- ①高さ方向は、ずれ止め中心位置とし、H形鋼左右ブロックの両側面の4箇所（4点平均）で行なう。「ジベル中心におけるH型鋼の背面」と「コンクリート厚さの中央面」との間に生じる相対的なずれ量を測定する。
- ②変位計の精度は、1/500mmとする。
- ③測定は、前項で述べた1/20の荷重増分ごとに、除荷時も含めて行なう。

### (3) 試験結果

孔あきT型リブの試験結果を表-3に示す。ここでは、残留ずれ0.08mm<sup>12)</sup>を降伏せん断耐力として評価している。また、水平せん断バネ定数＝降伏せん断耐力/(降伏変位－残留変位)/ずれ止め面積で求めている。

表-3 孔あきT型リブ試験結果

	降伏せん断耐力(kN)	最大せん断耐力(kN)	水平せん断バネ定数(N/mm/mm <sup>2</sup> )
1-1	161	278	7.6
	147	312	8.9
	137	269	8.7
1-2	136	288	83.6
	156	289	78.8
	139	279	85.5
2	178	340	13.7
	184	293	13.6

- ①すべての試験体で最大せん断耐力が降伏せん断耐力の1.6倍以上の値を示しており、本構造が十分な終局せん断耐力があることを確認した。
- ②T型断面の腹板厚とすみ肉溶接サイズを変化させた供試体2の水平せん断バネは13.6N/mm/mm<sup>2</sup>で、バネ定数は腹板厚・溶接サイズの影響を少なからず受けるといえる。
- ③供試体1-2のゴムラテックスモルタル塗布した場合は、水平せん断バネ定数は10倍程度と大幅に改善される。

ゴムラテックスモルタルは、接着力、耐衝撃性、曲げ変形性能、耐摩耗性、防水性の性能に優れていることは文献(8,9)に示しているが、合成床版の底鋼板に塗布した場合、ずれ止め性能にも大きく寄与することが確認できた。

#### 4. 輪荷重走行試験

本試験においては、以下の項目に着目し、疲労耐久性を確認する。

- ①破壊時の走行荷重、走行回数および破壊形態
- ②各荷重段階のたわみ、ひずみの進展の把握（鋼コンクリートの合成作用の変化）
- ③継手部の耐久性確認
- ④RC床版およびPRC床版とのたわみ比較

##### (1) 試験供試体および載荷方法

試験体は、CT鋼を6mmの底鋼板に溶接した鋼部材にコンクリートを打設した合成床版である。鉄筋は、実構造物に合わせて、橋軸直角方向（主鉄筋）にはD16を150mm間隔、橋軸方向（配力鉄筋）には上段にD19@125で配置した。図-4に供試体の形状と寸法を示す。

試験は独立行政法人・土木研究所の移動輪荷重走行試験機で行った<sup>7)</sup>。そのため、供試体平面寸法は、橋軸方向4.5m、橋軸直角方向2.8mとし、床版厚は総厚206mm（コンクリート部200mm、底鋼板6mm）とした。使用したコンクリートの設計基準強度は、30N/mm<sup>2</sup>であり、その示方配合を表-5に、材料試験結果を表-6に示す。

初期載荷試験として、荷重157kNまで20kN毎に静的に載荷した。その後、図-5に示すように、階段状荷重漸

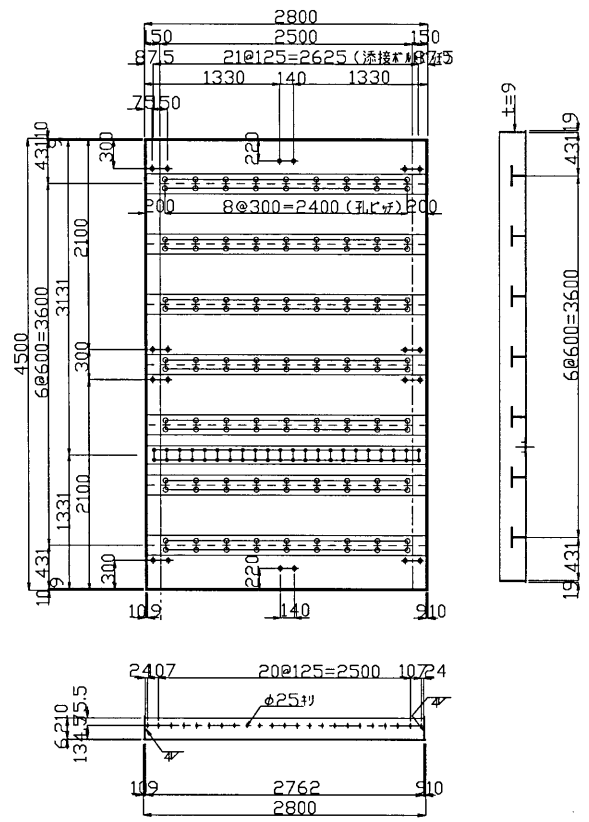


図-4 輪荷重走行試験供試体

表-5 使用したコンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法(mm)	スランプ(cm)	水セメント比(%)	空気量(%)	細骨材率(%)	
20	8±2.5	50.0	4.5±1.5	43.9	
単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	混和材
166	302	768	1004	3.320	30

表-6 コンクリート材料試験結果

材齢	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )
55日 (試験最終日)	44.90	3.72	32.64

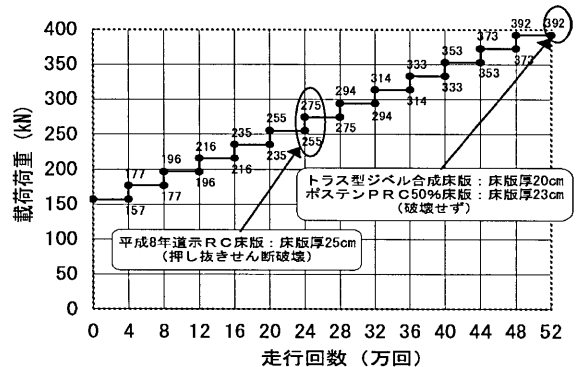


図-5 走行回数-載荷荷重の関係

増載荷を行なう。段階載荷は初期荷重を157kNとし、4万回走行ごとに20kNづつ荷重を増加させるものとする。また載荷は、試験体が破壊に至るまで、もしくは走行回数52万回（荷重：392kN）まで実施するものとする（土木研究所：床版ベンチマーク試験）。

## (2) 計測項目

各計測項目について下記に示す。

### 1) 供試体のたわみ

供試体のたわみに関して橋軸方向および橋軸直角方向の分布を調査するため、変位計を設置した。

### 2) 継手部の開閉量

パネル継手部での連続性を確認するため $\pi$ 型変位計により継手部の開閉量を計測した。

### 3) コンクリート表面ひずみ

コンクリート表面のひずみを計測するため、輪荷重走行範囲を避けた位置の橋軸および橋軸直角方向に、コンクリート用ひずみゲージを貼付する。

### 4) CT 鋼のひずみ

CT 鋼のひずみに関して、橋軸直角方向の分布を調査するため、CT 鋼フランジ上面にひずみゲージを貼付する。

### 5) 底鋼板のひずみ

底鋼板のひずみに関して、橋軸方向および橋軸直角方向の分布を調査するため、底鋼板の下面にひずみゲージを設置した。また、継手部の強度を確保するため、添接板中央上面にも、橋軸方向にひずみゲージを貼付した。

## (3) 試験結果

### 1) 床版のたわみ

試験体中央のたわみの静的測定結果と走行回数との関係を図-6に示す。同図より、載荷荷重392kN・走行回数52万回に至るまで、破壊につながるような急激なたわみ増加現象が見られないことがわかる。また、最終的に、392kN載荷時で3.0mm程度、除荷時で1.4mm程度であった。

また、Kスラブは、平成8年版の道示<sup>13)</sup>によるRC床版(RC8)、50%プレストレスのPRC床版<sup>4)</sup>と比べて、相対的に優れた疲労耐久性を有している。

載荷時のたわみから除荷時のたわみを差し引き、載荷時の荷重のみによる弾性たわみと走行回数との関係を図-7に示す。また、同図には、各載荷荷重段階の弾性たわみを157kN載荷時の弾性たわみに換算したときの値も併記した。弾性たわみに関しては試験終了時まで疲労破壊につながるような急激な増加現象は生じず、最大でも1.7mm程度であった。また、157kN換算弾性たわみについては、載荷開始から52万回載荷完了までの間に若干の増加傾向であった。

### 2) 継手部の目開き

試験体中央より900mm離れた位置にある継手部目

開き量（-は開く方向）の静的測定結果と走行回数との関係を図-8に示す。本試験ではトラス型ジベル合成床版におけるスタッドボルト継手と異なり、高力ボルト継手としていることもあり、目開き量が非常に小さい。静的測定結果による載荷時の目開き量は、載荷荷重392kN・走行回数52万回において0.04mm程度であった。また、除荷時の目開き量は0.02mm程度であった。

### 3) コンクリート表面のひずみ

輪荷重走行範囲を避けた試験体中央付近のコンクリート表面橋軸直角方向ひずみの静的測定結果と走行回数との関係を図-9に示す。載荷時のひずみから除荷時のひずみを差し引いた弾性ひずみは、載荷荷重392kN・走行回数52万回において約90 $\mu$ である。また、載荷開始から試験終了まで急激な増加現象や乱れは見られない。

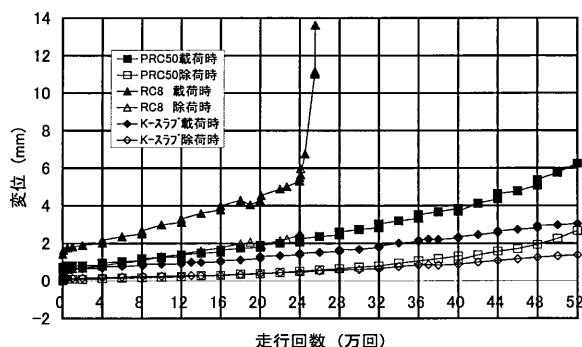


図-6 走行回数-床版中央のたわみの関係

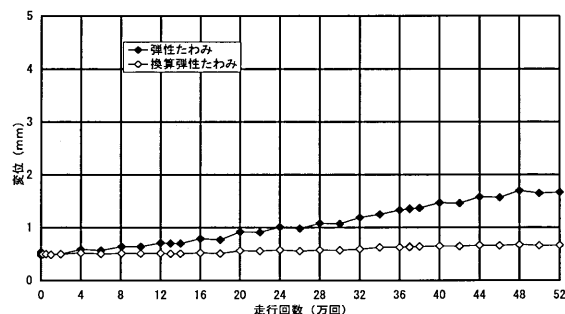


図-7 弾性たわみ

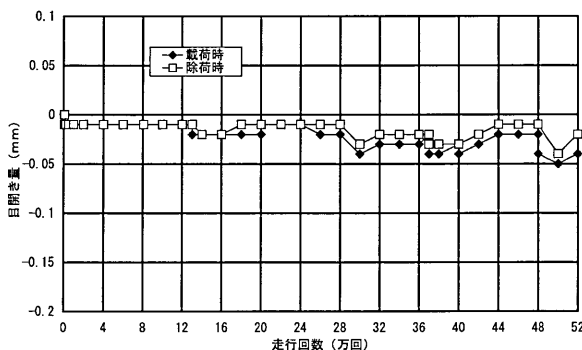


図-8 継手部目開き量

#### 4) CT 鋼フランジのひずみ

試験体中央の CT 鋼フランジ（橋軸直角方向）のひずみの静的測定結果と走行回数との関係を図-10に示す。載荷荷重 392kN・走行回数 52 万回の載荷時のひずみは、 $-180\mu$  程度であり、輪荷重走行試験開始から試験終了まで急激な増加現象や乱れは見られず、載荷荷重の増加にともない、圧縮側にひずみが大きくなることわかる。

#### 5) 底鋼板下面のひずみ

試験体中央の底鋼板下面橋軸直角方向ひずみの静的測定結果と走行回数との関係を図-11(a)に示す。載荷荷重 392kN・走行回数 52 万回の載荷時のひずみは  $478\mu$  程度であり、輪荷重走行試験開始から試験終了まで急激な増加現象や乱れは見られず、載荷荷重の増加にともない、ひずみが大きくなることわかる。また、載荷荷重 392kN・走行回数 52 万回の除荷時の残留ひずみは  $76\mu$  程度であり、載荷時から除荷時を差し引いた弾性ひずみは安定的な状態を示している。

試験体中央の底鋼板下面橋軸方向ひずみの静的測定結果と走行回数との関係を図-11(b)に示す。載荷荷重 314kN・走行回数 32 万回までは安定的に推移しているものの、その後、載荷荷重の増加にともない、増加傾向にある。また、載荷時の値から除荷時の値を差し引いた弾性ひずみについて、載荷荷重 314kN・走行回数 32 万回までは  $100\mu$  程度のひずみが発生しているものの、その後、載荷荷重 392kN(40tf)・走行回数 52 万回までは  $0\mu$  程度となっている。この理由については、計測システムの状況変化が考えられる。

### 5. まとめ

本文では、孔あき T 型リブのずれ止め性能確認を確認するために実施した押抜きせん断試験、および孔あき T 型リブを用いた合成床版の疲労耐久性確認のために実施した移動輪荷重走行試験の結果を報告した。

本研究で得られた結果は以下のとおりである。

- ① T 型リブのフランジ面に孔を開けた孔あき鋼板ジベルは、押抜きせん断試験の結果、最大せん断耐力が降伏せん断耐力の 1.6 倍以上の値を示しており、本構造が十分な終局せん断耐力があることを確認した。
- ② ゴムラテックスモルタルを塗布した場合には、孔あき T 型リブの水平せん断バネ定数は 10 倍程度に改善される。
- ③ 孔あき T 型リブを用いた合成床版は、平成 8 年版の道示による RC 床版、50%プレストレスの PRC 床版と比べて、相対的に優れた疲労耐久性を有している。

上記の結果より、本合成床版は橋梁用高耐久性床版として要求されるずれ止め性能および輪荷重に対する疲労強度を満足しているものと考えられる。

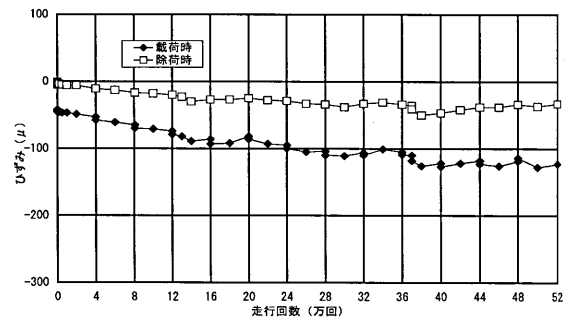


図-9 コンクリート表面ひずみ

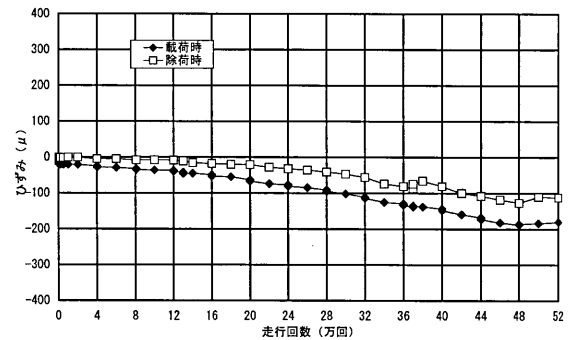
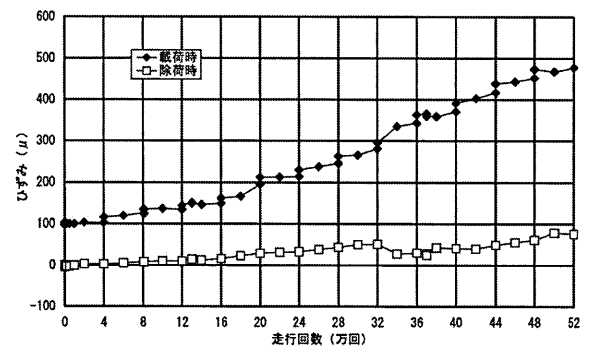
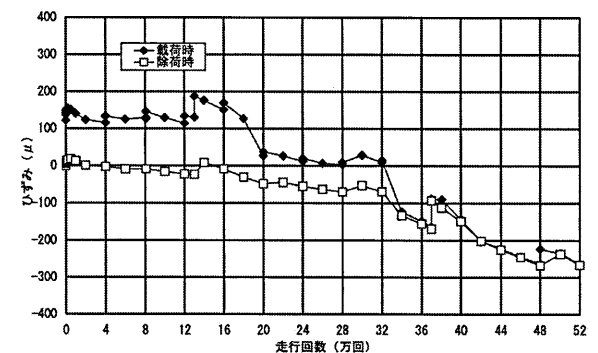


図-10 T型リブフランジのひずみ



(a) 主筋方向



(b) 配筋方向

図-11 底鋼板のひずみ

#### 参考文献

- 1) 阿部幸夫, 久保圭吾, 高木優任, 武内隆文: 各種合成床版の構造と適用例, 土木学会 第一回鋼橋床版

- シンポジウム講演論文集, pp.23~30, 1998.11
- 2)中井博, 松本雅治, 中村求, 山本晃久, 真田健司:  
トラス型ジベルを用いた合成床版の耐荷力と疲労強度に関する実験的研究, 土木学会 構造工学論文集, Vol.37A, pp.1357~1365, 1991.3
  - 3)中井博, 堀川都志雄, 堀松正芳, 真田健司: トラス型ジベルを用いた合成床版の設計・製作・施工について, 土木学会論文集 No.486/VI-22, pp.65~74, 1994.3
  - 4)山本晃久, 橋本靖智, 済藤英明, 水口和之, 鈴木規生, 堀川都志雄: トラス型ジベルを用いた長支間合成床版の実用化に関する実験的研究, 土木学会 第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.325~330, 2003.6
  - 5) 川畑治, 武山真樹, 大垣賀津雄, 松井繁之: 孔あきT型リブを用いた合成床版“K-スラブ”の静的曲げ載荷試験, 土木学会 第六回道路橋床版シンポジウム論文講演集, 2008.6
  - 6) (社)日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状, JSSCレポート 35, 1996.11
  - 7) (独)土木研究所, 他: 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), 第221号, 1999.3, (その2), 第233号, 1999.10
  - 8) 河野: ポリマーセメントモルタルおよびコンクリートの特性, コンクリート・ジャーナル, Vol.11, No.4, 1973.4
  - 9)大垣賀津雄, 済藤英明, 矢野裕也, 宮本裕久: 鋼・コンクリート合成構造界面の付着および防食性能向上に関する研究, 土木学会 第5回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.211-216, 2003.11
  - 10)大垣賀津雄, 杉浦江, 奥田久志, 星埜正明: ゴムラテックスモルタル合成鋼板, 土木学会 第6回複合構造の活用に関するシンポジウム講演集, pp.53-1-53-4, 2005.11
  - 11)大垣賀津雄, 杉浦江, 大久保藤和, 若林伸介: ゴムラテックスモルタルの既設鋼床版への適用法に関する研究, 土木学会 第7回複合構造の活用に関するシンポジウム講演集, pp.53-1-53-8, 2007.11
  - 12)土木学会: 構造工学シリーズ3 鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン, pp.89-pp.94, 平成元年3月
  - 13)(社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 平成8年12月