

鋼管ジベルを用いた鋼・コンクリート合成床版の輪荷重走行試験

Wheel Running Test of Steel-concrete Composite Slab with Pipe Dowels

中本啓介*, 田中正明**, 大久保宣人***

Keisuke Nakamoto, Masaaki Tanaka, Nobuhito Okubo,

* 工修 駒井鉄工（株） 技術本部技術研究室（〒293-0011 千葉県富津市新富 33-10）

** 工修（株）栗本鐵工所 鉄構事業部企画開発部（〒590-0977 堺市大浜西町 2-2）

*** 片山ストラテック（株） 技術本部橋梁設計部（〒551-0021 大阪市大正区南恩加島 6-2-21）

In recent years, the steel concrete composite slab is adopted widely and its number is increasing remarkably. Type of this composite slab is expected with having a high load carrying capacity and durability, the span lengths of deck slab have become longer.

The authors developed the new type of the steel concrete composite slab with pipe dowels called “Pipe-slab”. This paper deals with the outline of the “Pipe-slab” and new type of joint structure, and results of the wheel running fatigue test by step-wise loading as the final stage of the development.

Key Words: composite slab, durability, wheel running test, step-wise loading, pipe dowels

1. はじめに

近年、鋼道路橋において設計・施工の合理化、省力化を目指した少数主桁橋の建設が増大している。このような構造では、床版の長支間化および疲労耐久性の向上が不可欠であり、これらに対応できる新形式の床版として、鋼・コンクリート合成床版(以下、合成床版)が注目され施工実績も増えつつある¹⁾。合成床版は周知のとおり、鋼とコンクリートの合成作用により耐荷力と耐久性に優れており、床版厚も薄いため軽量である。さらに、鋼パネルが型枠の役割を果たし支保工が不要になるため、急速施工に対応できる。

筆者らは、駒井鉄工（株）、片山ストラテック（株）、および（株）栗本鐵工所の3社共同体制により、鋼管を用いた新形式の合成床版（以下、パイプスラブ）の開発を進めており、性能確認の最終段階といえる独立行政法人土木研究所での階段載荷による輪荷重走行試験を行った。本文では、まず、パイプスラブの構造概要および本試験に採用した新型継手の構造について紹介し、次に、輪荷重走行試験結果について報告する。

2. 構造概要

2. 1 パイプスラブの構造

パイプスラブの構造概要を図-1に示す。床版下面全体に敷設する底鋼板の上面に橋軸直角方向にリブを断続溶接し、このリブを貫通する方向(橋軸方向)に構造用鋼管を配置している。リブおよび鋼管の配置間隔は400mmを標準とする。

リブに設けた長孔に充填されたコンクリートが鋼パネルとコンクリート間とのずれ止めの役割を果たしており、鋼管を貫通配置させることによりずれ止め効果が向上する²⁾。鋼パネルはコンクリートと合成し応力部材として機能するため³⁾、下側の主鉄筋および配力鉄筋が省略でき軽量化が図られている。また、鋼管の配置により排除されるコンクリート重量の方が鋼管重量より大きいため床版重量が軽減される。

さらに、鋼管を橋軸方向全長にわたって配置するため、鋼管の内部空間を利用してライフライン、通信設備、ロードヒーティングなどへ応用することが可能である⁴⁾。

2. 2 新形式継手の構造

鋼パネル間の現場継手は底鋼板の応力伝達を考慮して高力ボルトによる一面摩擦接合およびスタッドを用いた新形式の継手を採用している。

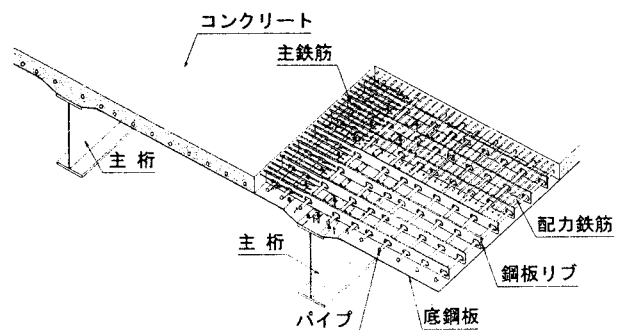


図-1 パイプスラブの構造概要

表-1 鋼パネルの部材諸元

部材	寸法	材質
リブ	135mm×16mm	SM400
底鋼板	6mm	SM400
鋼管	φ48.6mm×2.3mm	STK400

表-2 コンクリート材料の仕様および材料試験結果

	設計値	実測値
圧縮強度	$\sigma_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{3d}=37.1 \text{ N/mm}^2$ (現場養生)
スランプ	12.0 cm	10.0 cm
空気量	4.5 %	5.3 %
セメントの種類	普通セメント	
最大粗骨材寸法	20 mm	
混和剤	AE減水剤	

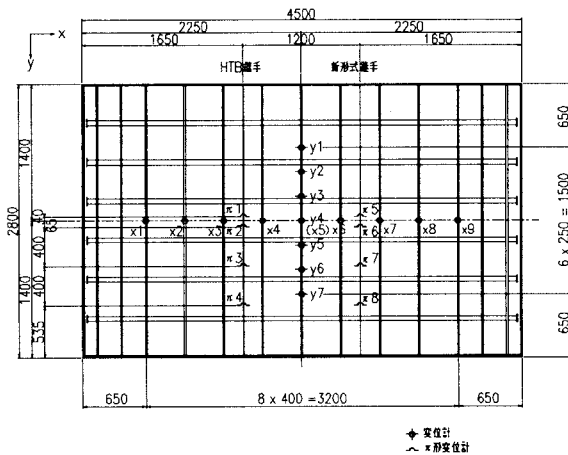


図-4 変位計の取付け位置

位置とし、HTB および新形式継手の 2 種類とした。

(2) 荷重プログラム

荷重プログラムについても共同研究に準じるものとした。すなわち、試験開始時の荷重は 157kN とし、走行回数 4 万回毎に荷重を順次約 20kN ずつ上昇させる階段荷重方式であり、最終荷重は 392kN、総走行回数は 52 万回とした。

3. 3 試験結果

(1) 静的荷重試験

輪荷重の走行回数 2 万回毎に、試験体中央に静的な荷重載荷を行い、試験体の鉛直たわみやパネル継手部の開閉量などを計測した。試験体への変位計の取付け位置を図-4 に示す。なお、変位については走行試験中に動的な計測も実施しており、静的試験の計測結果と大きな差異が無いことを確認している。

(2) たわみと走行回数の関係

静的荷重による試験体中央のたわみと走行回数の関係を

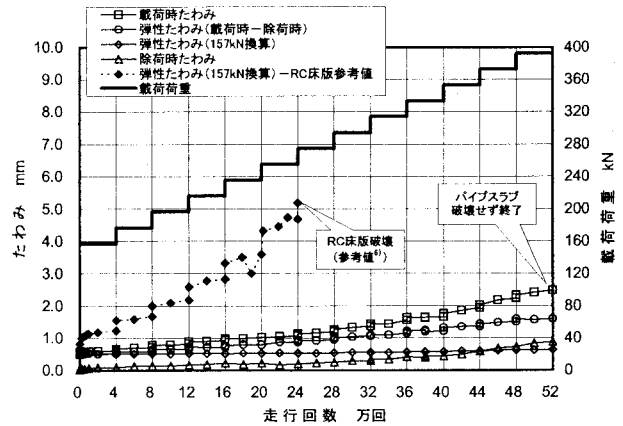


図-5 たわみと走行回数の関係

図-5 に示す。合計 52 万回の走行プログラムを終了しても、試験体には破壊現象は見られなかった。なお、図-5 には下記に示す合計 4 種類のたわみをプロットしている。

1) 載荷時たわみ

静的荷重試験を行う直前の走行ステップにおける輪荷重と、同じ大きさの荷重載荷により発生したたわみである。走行 4 万回毎の静的試験では、直前の走行荷重と併せて、直後のステップで載荷する荷重でも静的荷重を行っている。

2) 除荷時たわみ

静的試験時に荷重を除荷した状態で測定したたわみである。いわゆる残留たわみと同義である。

3) 弾性たわみ

載荷時たわみから、除荷時たわみを差し引いたたわみである。

4) 弾性たわみ(157kN 換算)

上述のように、静的試験では各走行ステップの荷重の大きさにて載荷を行うので、初期状態との比較を行うために弾性たわみを試験開始時の載荷荷重である 157kN に単純換算した値である。

まず載荷時たわみに着目すると、試験開始直後のたわみは 0.5mm 程度であった。その後、輪荷重の増大に伴って徐々にたわみが大きくなり、最終荷重である 392kN におけるたわみは 2.5mm 程度となった。

次に、弾性たわみを見ると、荷重の増大にほぼ比例して大きくなっている。157kN に換算した弾性たわみのグラフは、走行終了時まで 0.5mm から 0.6mm のごくわずかに増加しているのみであり、ほとんど変化を示していない。このことから、52 万回の載荷を終了した時点でも、疲労による損傷はほとんど発生せず、床版が健全な状態を保っていることが分かる。

なお、図-5 には文献 6) に示された、RC 床版の試験結果を併記している。この RC 床版試験体は平成 8 年の道路橋示方書に準じて設計・製作されたものであるが、走行回数約 24 万回の時点で破壊している。

(3) たわみの分布

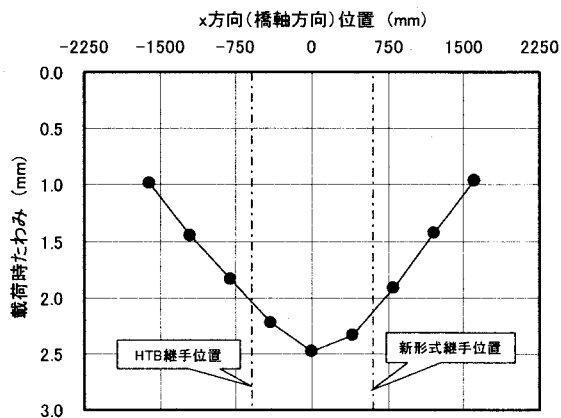


図-6 x方向のたわみ分布

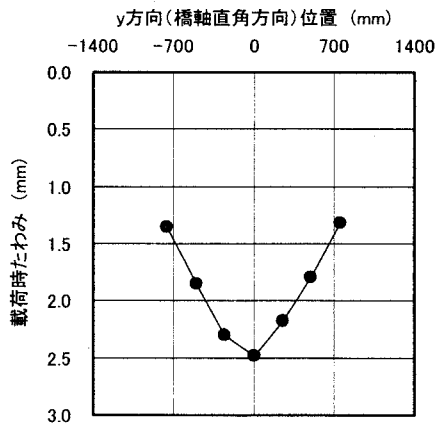


図-7 y方向のたわみ分布

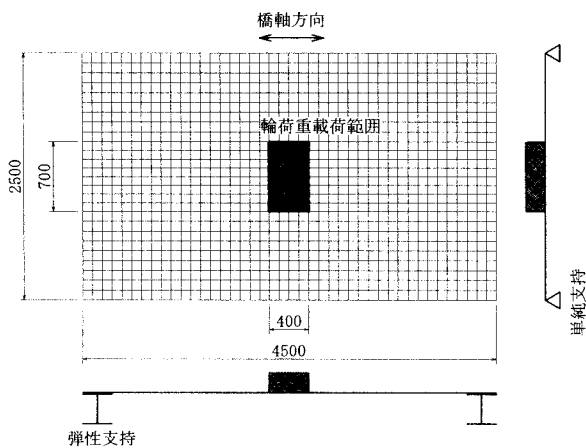


図-8 解析モデル

走行終了時に実施した静的載荷試験の載荷時たわみの x 方向(橋軸方向)分布を図-6に、y 方向(橋軸直角方向)分布を図-7に、それぞれ示す。これらの図の曲線形状から、試験体は 52 万回の試験終了時まで、版としての正常なたわみ性状を示していることが分かる。

たわみの対称性に着目すると、x 方向のたわみ形状は試験体中央から左右にほぼ対称な形状となっており、パネル継手種類の相違によるたわみ差は顕著ではないことがわかる。一方、y 方向のたわみ形状はやや非対称性が大きくなっている。y 方向には試験体の形状や試験体設置方法、輪荷重の載荷方法は全て対称であるため、この非対称性は試験体の製作形状や、設置時の水平度の誤差などによる荷重偏心が原因であると推測される。

(4) FEM 解析との比較

試験におけるたわみの測定結果と、FEM 解析により算出した値との比較を行った。

1) 解析方法

解析はシェル要素と梁要素を用いた FEM 解析により実施した。支点条件は試験体の設置方法と同じく単純支持としたが、橋軸方向の端部の横桁は梁要素としてモデル化した。

表-3 解析モデルの剛性

	ヤング係数比 n=7			ヤング係数比 n=10		
	断面二次モーメント mm ⁴		せん断弾性係数 Gxy N/mm ²	断面二次モーメント mm ⁴		せん断弾性係数 Gxy N/mm ²
	Ix 橋軸方向	Iy 橋軸直角方向		Ix 橋軸方向	Iy 橋軸直角方向	
全断面有効	1.068E+09	1.116E+09	1.798E+04	1.212E+09	1.291E+09	1.472E+04
引張コンクリート無視	7.883E+08	8.018E+08	1.310E+04	9.922E+08	1.031E+09	1.190E+04

解析ケースは、ヤング係数比 n を 7 および 10 の 2 ケースとし、それぞれのケースにおいてコンクリートを全断面有効とした場合と引張側を無視した場合の合計 4 ケースとした。

2) 解析モデル

解析モデルを図-8 に示す。載荷荷重は 700mm×400mm の面積を有する等分布荷重とした。この載荷範囲は、輪荷重の載荷面(鋼ブロック 500mm×200mm)から床版厚の 1/2 の位置の水平面まで、荷重が 45 度の角度で分散するものと仮定した。モデルの剛性に関する諸元は表-3 に示すとおりとした。

3) 解析結果と試験結果の比較

載荷荷重を 157kN に換算した弾性たわみ分布とヤング係数比 n=7 および n=10 とした解析結果との比較を図-9 および図-10 に示す。各図中には 16 万回、32 万回、48 万回、52 万回の 4 ケースのたわみ量と FEM 解析値との比較を示した。

まず、ヤング係数比を試験体とほぼ同等の n=7 としたケースについて考察する。試験開始前の状態でのたわみ分布は、コンクリートを全断面有効としたケースの解析値とよく一致している。その後走行試験の続行により、試験体のたわみは徐々に大きくなり試験終了時には引張側のコンクリート断面を無視した解析値に近づいていることが分かる。

次に、ヤング係数比を合成床版の設計時に用いる n=10 としたケースでは、試験結果のたわみは解析値に比べ全体的に小さい値となっており、試験終了時点でコンクリートを全断面有効とした解析ケースに同等となることが分かった。

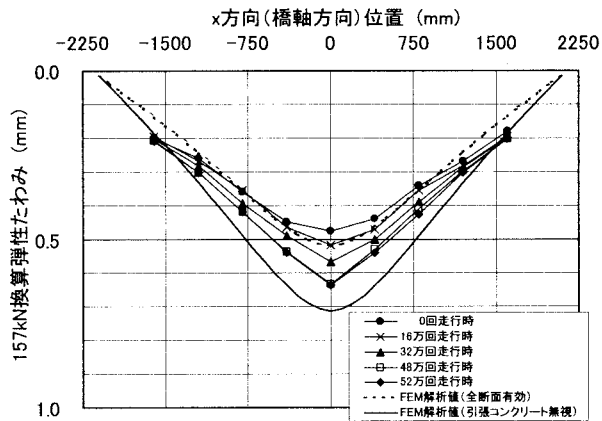


図-9 弾性たわみと解析との比較 (n=7)

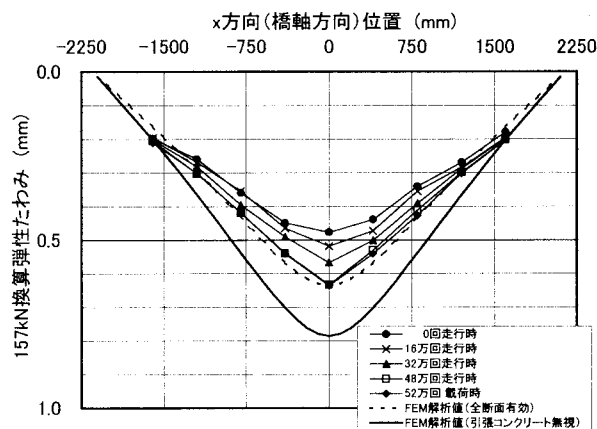


図-10 弾性たわみと解析との比較 (n=10)

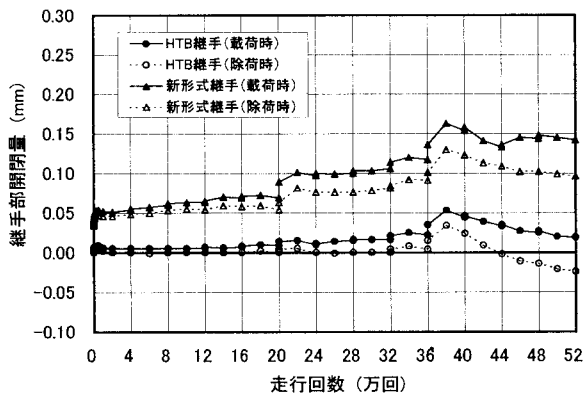


図-11 継手部の開閉量

(5) パネル継手の挙動

試験体に設けた HTB 継手, 新形式継手のどちらの継手も, 52 万回の走行を終了した時点で, 破壊現象は全く観察されなかった. π 形変位計にて測定した継手部の載荷荷重を, 157kN に単純換算した底鋼板の水平方向開閉量を図-11 に示す. 本図は載荷荷重の大きさによる換算は行っていない. どちらの継手も, 荷重の増加に伴って開閉量が大きくなっていき, 新形式継手では最終的に載荷時の値で 0.15mm 程度ま

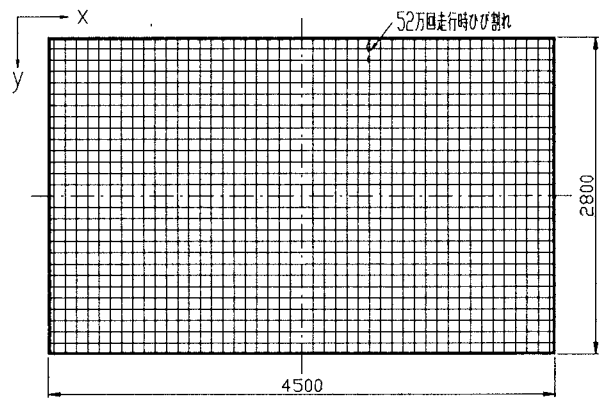


図-12 床版上面のひび割れ状況

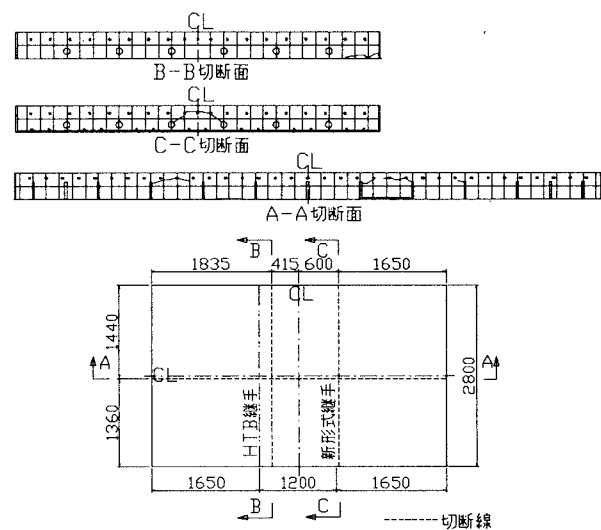


図-13 床版内部のひび割れ状況

で大きくなった. しかしながら, この結果は最大 392kN という過大な荷重の走行によるものであることを考慮すると, 有害な開き量ではないと考える.

(6) コンクリート上面のひび割れ

試験体は, 試験終了まで破壊に至らなかったが, コンクリート上面には試験終了時に初めて, 試験体端部にごく微細なひび割れが 1 本観察された. ひび割れ状況を図-12 に示すが, ひび割れは非常に微細なものであった. ひび割れ発生時の走行回数やひび割れの大きさなどから判断して, 疲労耐久性に対して何ら問題にならないと考える.

(7) 床版内部の観察結果

走行試験終了後, 試験体の切断試験を行い, 内部の観察を実施した. 観察結果を図-13 に示す. 数本のひび割れが観察されたが, ごく微細なものであり使用上問題になるようなものではないと思われる.

B-B 断面では, 写真-2 に示すようにパネルのリブ近傍の切断を行い, 切断後にリブからコンクリートを剥離させて観

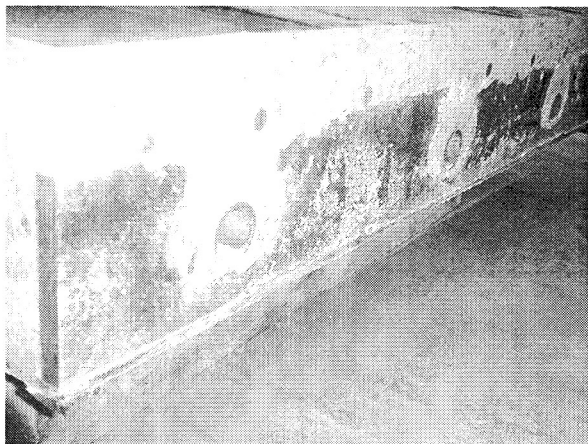


写真-2 試験体切断状況

察を行った。その結果、リブと底鋼板の断続溶接部には疲労クラックは発生しておらず、健全な状態であった。また、鋼管が貫通しているリブの長孔部のコンクリート充填具合についても観察を行ったが、気泡や充填不良は存在せず、良好な状態であることが確認できた。

4. まとめ

パイプスラブの疲労耐久性を検証するために階段荷重による輪荷重走行試験を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 157kNに換算した弾性たわみは荷重初期で0.5mm程度、荷重最終段階で0.6mm程度と、ほとんどたわみの進行はなく、疲労耐久性に優れていることが確認できた。
- (2) 52万回走行終了時において床版表面および内部に有害なひび割れは発生しておらず、床版が健全な状態を保っていることが分かった。
- (3) 鋼パネル継手位置でのたわみ差がほとんどないことから、高力ボルト継手および新形式継手の相違による影響はない。

- (4) 走行試験における157kNに換算したたわみ量と、ヤング係数比を $n=7$ および10としたケースのFEM解析結果のたわみ量は、よく一致している。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご指導をいただいた大阪大学の松井繁之教授をはじめ関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、佐藤政勝，関口幹夫，辻本和敬：鋼・コンクリート合成床版およびプレキャスト床版の開発と最近の動向，第2回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.43-48，2000.10.
- 2) 田中正明，中本啓介，大久保宣人，栗田章光：鋼板リブと鋼管を用いたずれ止めに関する実験的研究，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.251-256，2003.11.
- 3) 大久保宣人，中本啓介，田中正明，松井繁之：鋼管ジベルを用いた鋼・コンクリート合成床版に関する実験的研究，第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.97-102，2003.6.
- 4) 橋肇，中本啓介，中村隆志，田中裕紀，大山理，大久保宣人：鋼・コンクリート合成床版のロードヒーティングに関する実験的研究，第58回土木学会年次学術講演概要集，CS6-028，pp.207-208，2003.9.
- 5) 中本啓介，橋肇，大久保宣人，大山理，田中正明，内田裕也：鋼・コンクリート合成床版の新型継手構造に関する基礎的研究，第58回土木学会年次学術講演概要集，I-148，pp.295-296，2003.9.
- 6) 国土交通省土木研究所他：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に関する共同研究報告書(その5)-評価編-，2001.3.