

鋼・コンクリート合成床版「パイプスラブ」の開発（第3報）

中本 啓介* 橋 肇*

近年、橋梁の合理化・省力化にともない、橋梁に用いられる床版の長支間化・高耐久性・施工の合理化を目的とした鋼・コンクリート合成床版が適用されている。当社においても、鋼板リブと構造用鋼管をジベルとした合成床版「パイプスラブ」を協同で開発し輪荷重走行試験までのすべての確認試験を完了し、日本橋梁建設協会の合成床版として正式登録された。前報までに合成床版の構造および一連の性能確認試験について報告している。本報では性能確認試験の最終段階として実施した輪荷重走行試験の結果、そして施工性向上のために新たに考案した合成床版の新形式継手の構造と引張試験の結果について報告する。

キーワード：鋼・コンクリート合成床版，鋼管，鋼板リブ，孔あき鋼板ジベル，輪荷重走行試験

まえがき

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。少数主桁橋では、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、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社協同体制により、鋼管を用いた新形式の合成床版(以下、パイプスラブ)の開発を進めてきた。一連の性能確認試験を実施し、その基本性能については前報までに報告済みである。本報では、独立行政法人土木研究所で実施した性能確認の最終段階といえる輪荷重走行試験(階段載荷)の結果を報告する。また、施工性向上のため新たに開発したパネル間の新形式継手の構造と引張試験の結果を報告する。

1. 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、このリブと直角方向(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。リブには鋼管を貫通させるため長孔を設け、長孔と鋼管の間に充填されたコンクリートがずれ止めの役割(鋼管ジベル)を果たしている。鋼管を貫通配置させることによりずれ止め効果が向上している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³⁾するため、下側の主鉄筋および配力鉄筋が省略でき軽量化が図れている。また、鋼管の配置に

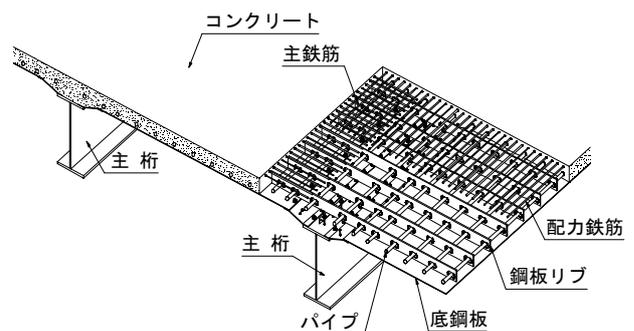


図-1 パイプスラブの構造概要

1. パイプスラブの構造と新形式継手

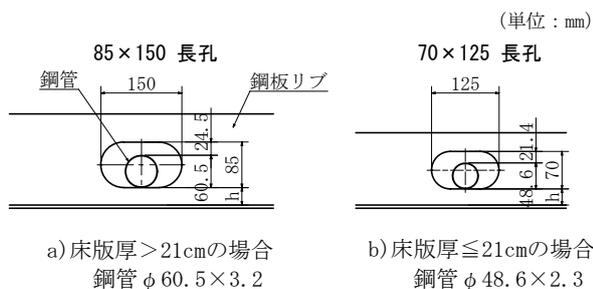


図-2 床版厚と鋼管断面の関係

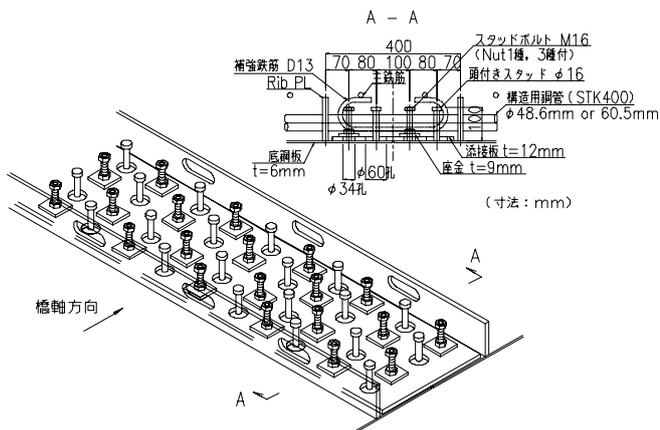


図-3 新形式継手の構造概要

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軽減の効果がある。

鋼管の2次的活用案として、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⁾。

表-1には、主桁間隔を6mとする場合の構造諸元を示す。図-2にはリブの長孔形状を示す。パイプスラブでは鋼管ジベルに用いる鋼管の断面、長孔形状は、床版厚に応じて使い分けている。図-2に示す長孔形状と鋼管種類を各床版厚の標準形状としている。

1. 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ボルトとスタッドを併用した新形式の継手を採用している。高力ボルトによる一面摩擦接合は、施工実績も多く一般的に用いられる接合形式である。しかし、ボルトの取り付け作業、塗装のタッチアップなどで高所作業車、床版下面に作業用の足場を要する。また、従来のスタッドボルトのみの継手では、床版上面のみからの作業で施工が可能であるが、ボルト1本あたりの許容水平力が小

表-1 床版支間6mの場合の構造諸元

床版厚	コンクリート厚	254mm
	底鋼板厚	6mm
鋼板リブ		170mm×16mm(400mmピッチ)
パイプ		φ 60.5×3.2mm(400mmピッチ)
コンクリート強度		膨張コンクリート $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$
鋼材重量		約115kg
総重量		約700kg/m ²
防錆方法		塗装, 溶射, 耐候性鋼材, 溶融亜鉛メッキ

さいため応力伝達が効率的に行えない。そこで、足場省略などの施工性改善・効率的な応力伝達を目的として新形式継手を考案した。すでに1橋使用実績もある。

新形式継手の構造概要を図-3に示す。底鋼板同士の接合には、頭付きスタッドとねじ切りを施したスタッドボルトを千鳥配置にて溶植している。スタッドの直径はφ16mmとしている。パネル架設時には上側から添接板を取付けるが、添接板には、スタッドボルト部でφ34mm、頭付きスタッド部でφ60mmの孔を設けている。

鋼パネルの自重やコンクリート打設時の死荷重など、鋼パネルとコンクリート合成前の荷重に対しては、スタッドボルトで抵抗する。コンクリートが硬化し、床版が合成構造になった後の死荷重や、活荷重に対しては、添接板の頭付きスタッド貫通部に設けたボルト孔に充填されるコンクリートが、せん断キーとしての作用を発揮する。さらに、スタッドボルトの頂部にはナットを取り付け頭部を形成しているため、頭付きスタッドの頭部とともに、パネルとコンクリートが剥れる方向、すなわち鉛直方向の力にも抵抗する構造となっている。この新形式継手は底鋼板にボルト孔がないため、コンクリート打設時の止水対策は、底鋼板と添接板の間にシーラ材を施すことで容易に止水対策が行える。

1. 3 新形式継手の引張試験

パイプスラブで採用している新形式継手では底鋼板に作用する水平力に対しての耐荷力を確認するため引張試験を実施⁵⁾している。試験の要領を図-4に示す。この試験では実際の合成床版における継手部を部分的に取り出しコンクリートの寸法、鋼板厚などは実構造を考慮して試験体を製作した。試験体は、添接板の孔径、スタッド長がせん断耐力などに及ぼす影響を調べるため表-2に示す5種類とした。表-3には、使用したコンクリートの仕

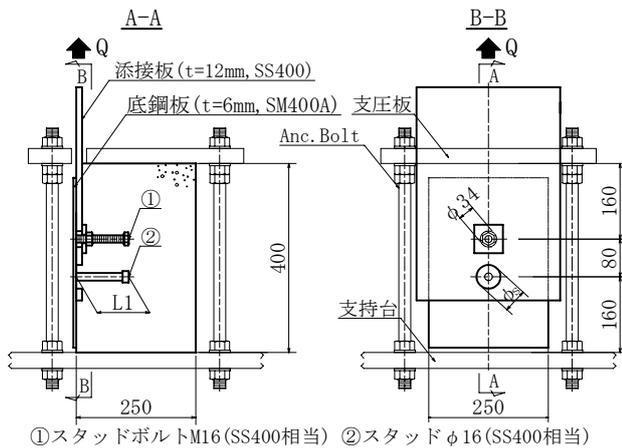


図-4 試験体概要図



写真-1 試験状況 (駒井鉄工構造実験棟於)

様を示す。試験方法は写真-1 に示すように支持台上に支圧板とアンカーボルトを用いて試験体を固定し、添接板を載荷試験機により引き抜く方法で行った。

荷重載荷要領は、JSSC の頭付きスタッドの押し抜き試験方法⁶⁾に準じて実施した。試験体のコンクリートと添接板の相対変位は高感度変位計で計測し、荷重はスタッドボルトとスタッドが破断するまで実施した。

荷重・相対ずれ関係を図-5 に示す。この図では、漸増繰返し載荷における荷重の最大値のみを示している。Type-1,3 については、それぞれの試験結果のうち最大せん断耐力が 1 番大きい試験体の結果を示している。

表-4 には、最大せん断耐力、最大ずれ量、降伏荷重を併せて示す。降伏荷重は、荷重・相対ずれ関係において急変点を 0.2mm としたオフセット法による荷重⁶⁾とした。いずれの試験体においてもスタッドボルト、スタッドの順で破断した。

Type-1,2 ではスタッドとスタッドボルトの配置関係により、最大せん断耐力、降伏荷重は 10

表-2 試験体の仕様

種類	スタッド長 L1 mm	添接板孔径 φs mm	スタッド 配置*	供試体数
Type-1	130	50	正	3
Type-2			逆	1
Type-3	110	60	正	3
Type-4		50		1
Type-5		150		1

(*載荷時にスタッドが下側になる配置を正とする)

表-3 コンクリートの仕様

	設計値	実測値
圧縮強度	27 N/mm ²	試験開始日 39.2 N/mm ² 試験終了日 42.7 N/mm ²
スランプ	12 cm	12cm
空気量	4.5%	5.0%
セメントの種類	早強セメント	
最大粗骨材寸法	20 mm	
混和剤	AE減水剤	

表-4 試験結果

供試体	最大せん断耐力	最大ずれ量	降伏荷重
	Qmax (kN/体)	δ max (mm)	Qy (kN/体)
Type-1 (平均)	126.6	12.3	68.1
Type-2	138.3	15.1	85.3
Type-3 (平均)	127.1	13.5	87.4
Type-4	140.5	14.6	76.8
Type-5	123.6	11.8	50.1

各結果は、スタッドボルトの破断時で算出

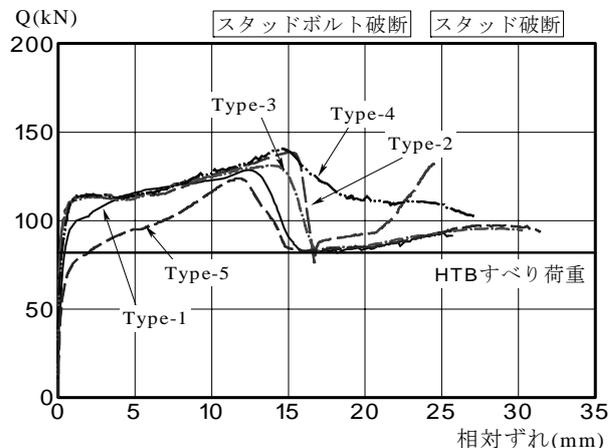


図-5 荷重-相対ずれ関係

~20%程度異なる結果となっている。これは、荷重方向により添接板のボルト孔部に充填したコンクリートのせん断キーとしての作用が異なるためと考えている。添接板の孔径に着目する Type-1,3 の比較では、最大せん断耐力は、ほぼ同じであるが降伏荷重が Type-1 が 20kN 程度大きくなっている。これはボルト孔部に充填されるコンクリートのせん断キー効果が有効に作用しているためと考える。スタッド長をパラメータにした Type-1,4,5 を比較すると、スタッドが長くなるほど最大せん断耐力、降伏荷重ともに低下している。

これは、スタッドの曲げ変形が関係して低下したものと考えられる。次に、継手部のすべり荷重強度について、すべり係数を $\mu=0.4$ とする高力ボルト (M22) 1 本分のすべり荷重 781.9kN と実験結果の降伏荷重を比べると Type -2,3 では、ほぼ同等の強度を有していることが分かる。

上記の引張試験結果と次節に示す輪荷重走行試験による鋼パネル継手の疲労耐久性の確認結果などによりパイプスラブの鋼パネルの継手では高力ボルトによる継手と新形式継手の 2 種類を架設条件などに応じ選択可能としている。

2. パイプスラブの疲労耐久性

(階段载荷による輪荷重走行試験)

2. 1 概要

今回実施した輪荷重走行試験は、独立行政法人土木研究所の輪荷重走行試験装置を使用して実施した。これは、最大荷重を 392kN とする階段载荷によるもので、過酷な条件を使用した試験である。その理由は以下のとおりである。

1) 実際の橋梁における供用状態では、いわゆる過積載車両の走行によって、想定以上の過大な荷重が载荷される可能性がある。

2) 地域によっては、非常に多大な交通量が日々通行する路線が存在する。そのような路線においては、床版に対しては特に高い疲労耐久性が要求される。

3) 土木研究所では、民間企業との共同研究により、標準的な RC 床版、PC 床版、数種類の合成床版について上記の载荷条件で試験を実施している⁸⁾。これら共同研究と同一条件での試験を行うことにより、パイプスラブと RC 床版、PC 床版、および他形式の合成床版との相対的な疲労耐久性の比較が可能である。

2. 2 試験方法

走行試験は独立行政法人土木研究所保有の輪荷重走行試験機により実施した。試験の状況を写真-2 に示す。

(1) 試験体形状および設置方法

試験体の形状寸法を図-6 に示す。試験体の設計は文献 8) に示されている手法によって行い、床版のコンクリート厚は 20cm とした。鋼パネルの継



写真-2 輪荷重走行試験状況, 独) 土木研究所於

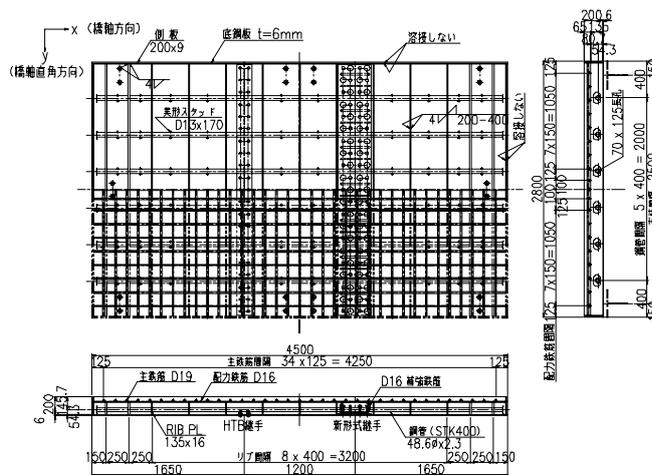


図-6 試験体の形状寸法

表-5 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	φ 48.6mm×2.3mm	STK400

表-6 コンクリート材料の仕様

	設計値	実測値
圧縮強度	$\sigma_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{34}=37.1 \text{ N/mm}^2$ (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	

手についての疲労耐久性も本試験により確認できるよう試験体にはパイプスラブで採用している HTB および新形式継手 (詳細は本稿 3 節参照) の 2 種類の継手を配置した。リブ間隔の中央に 1 カ所ずつ鋼管の両側に φ 13mm の異形スタッドを溶接している。これは現場施工時の鋼管位置決め用として設けている。試験体の鋼パネルの部材諸元を表-5 に、コンクリート材料の仕様および材料試

験結果を表-6 にそれぞれ示す。

試験体の支持条件は、支間 2.5m の単純支持で橋軸方向の端部は横桁による弾性支持とした。輪荷重は、試験体上に 500mm×200mm の鋼ブロックを橋軸方向に並べ、その上に走行鉄板を設置し、輪荷重を±1.5m の範囲で移動した。

(2) 階段载荷のステップ

階段载荷のステップ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载荷方式であり、最終荷重は 392kN、総走行回数は 52 万回とした。

2. 3 試験結果

(1) 静的载荷試験

輪荷重の走行回数 2 万回毎に、試験体中央に静的な荷重载荷を行い、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。図-7 に変位計の取付け位置を示す。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。

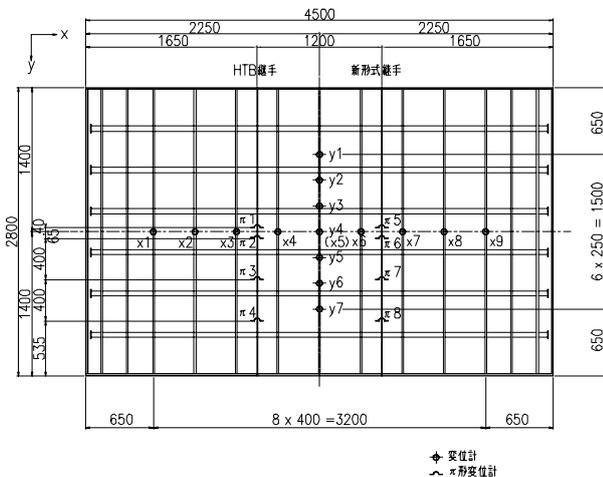


図-7 変位計の取付け位置

(2) たわみと走行回数の関係

静的载荷による試験体中央のたわみと走行回数との関係を図-8, 9 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。同図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。なお、図-8 には文献 8) の、RC 床版、PC 床版の試験結果を併記している。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り、走行回数約 24 万回の時点で破壊している。PC 床版床版試験体は同じく道路橋示方書に準じてフルプレストレスで設計された試験体の PC 鋼材量を半減して設計・製作されたものである。

1) 载荷時たわみ

静的载荷試験を行う直前の走行ステップにおける輪荷重と、同じ大きさの荷重载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、直後のステップで载荷する荷重でも静的载荷を行っている。

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

载荷時たわみから、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で载荷を行う。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载荷荷重である 157kN に単純換算した。

まず図-8 の载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

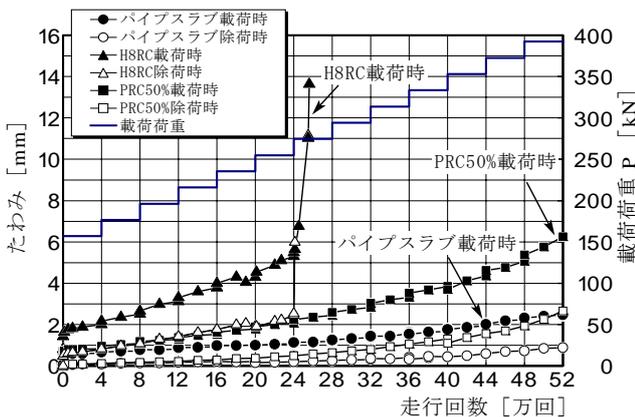


図-8 たわみと走行回数の関係 (その 1)

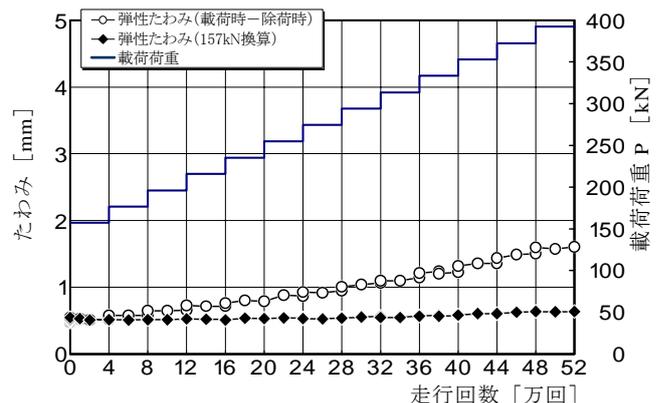


図-9 たわみと走行回数の関係 (その 2)

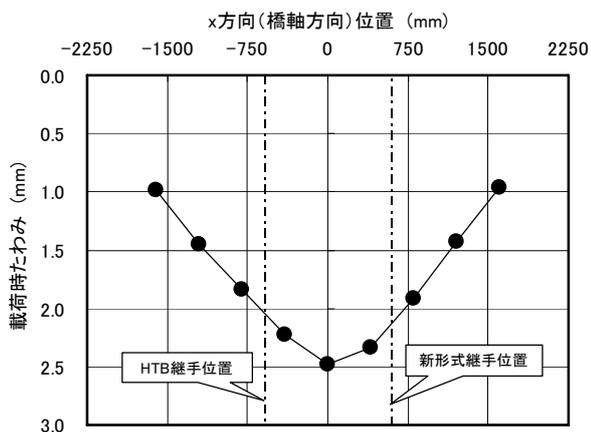


図-10 x方向のたわみ分布

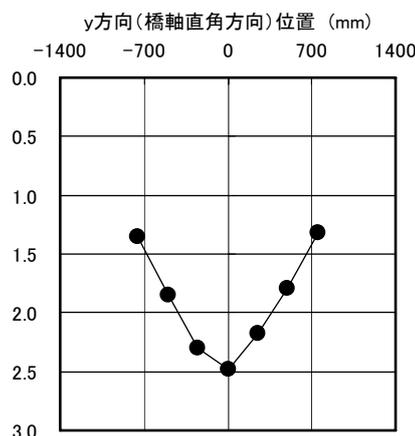


図-11 y方向のたわみ分布

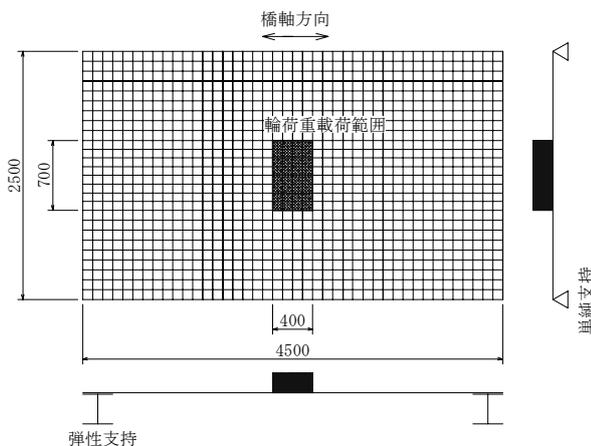


図-12 解析モデル

表-7 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

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、輪荷重の荷重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している。

程度となった。比較用のPC床版の試験終了時のたわみは6.2mm程度でありパイプスラブのたわみの方が小さく、剛性は高く保たれている。

次に、図-9の弾性たわみを見ると、荷重の増大には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、52万回の荷重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。

(3) たわみの分布

走行終了時に実施した静的荷重試験の荷重時たわみのx方向(橋軸方向)分布を図-10に、y方向(橋軸直角方向)分布を図-11に、それぞれ示す。これらの図の曲線形状から、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

(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。

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。モデルの剛性に関する諸元は表-7に示している。ちなみに試験体製作時のテストピースによる試験ではn≒7であった。

2) 解析モデル

解析モデルを図-12に示す。荷重荷重は700mm×400mmの面積を有する等分布荷重とした。この荷重範囲は、輪荷重の荷重面(鋼ブロック500mm×200mm)から床版厚の1/2の位置の水

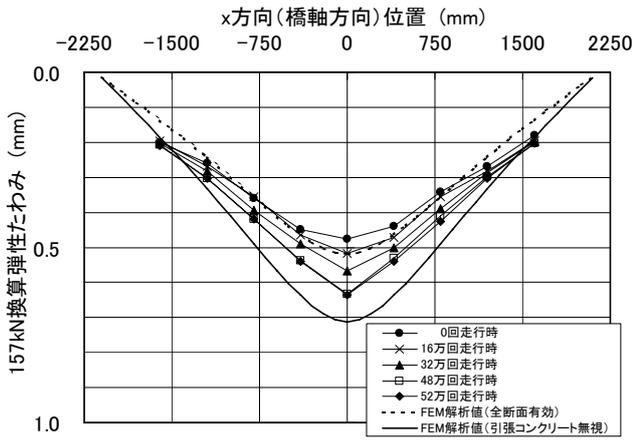


図-13 弾性たわみと解析との比較 (n=7)

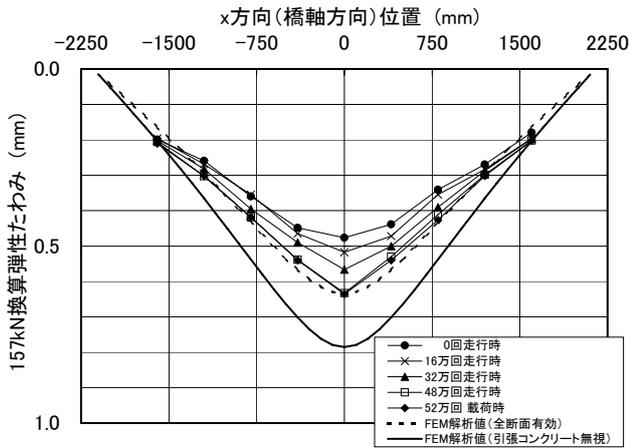


図-14 弾性たわみと解析との比較 (n=10)

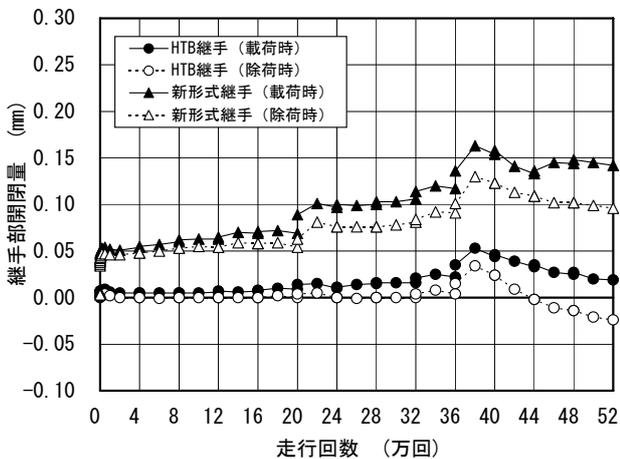


図-15 継手部の開閉量

平面まで、荷重が 45 度の角度で分散するものと仮定した。

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-13 および図-14 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、

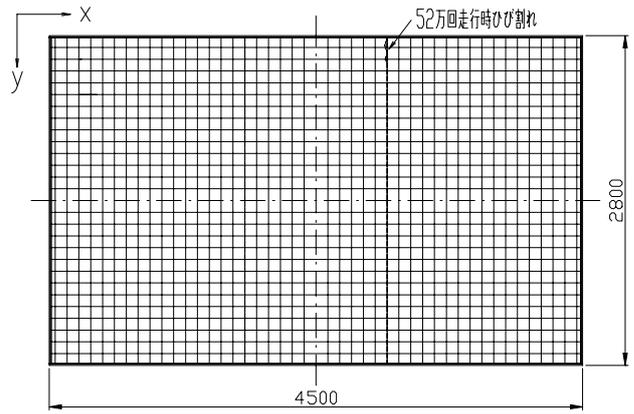


図-16 床版上面のひび割れ状況

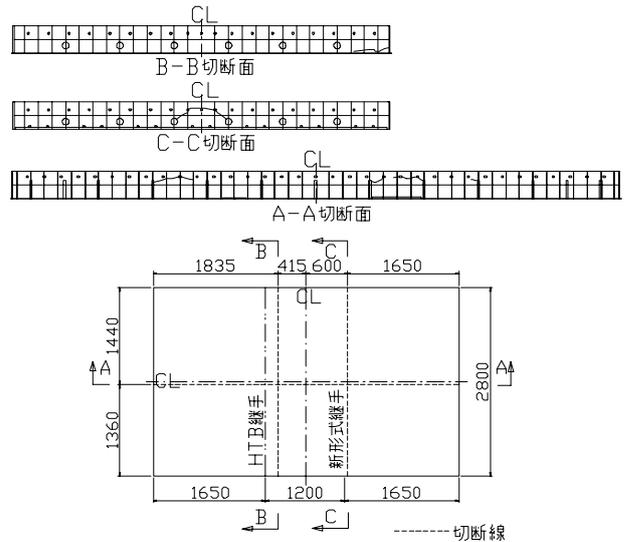


図-17 床版内部のひび割れ状況

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。

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になっている。ヤング係数比を n=7 とするケースの方が試験結果との対応がよく現実的なヤング係数ではないかと考えている。

(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 形変位計で測



写真-3 試験体切断状況

定した継手部の荷重時および除荷時の水平方向の開閉量を図-15 に示す。本図は荷重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り、新形式継手では最終的に荷重時の値で0.15mm程度となった。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ている。

(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。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ている。

(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-16 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らないと考えている。

B-B 断面では、写真-3 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底鋼板とリブの断続溶接部の観察を行った。その結果、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、気泡や充填不良はなく、良好な状態であることが確認できた。

3. まとめ

開発したパイプスラブの鋼パネル継手の構造、そして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。今回の場合は、試験体の n 値である $n=7$ が試験結果との対応がよかった。また、新形式継手を提案し、引張試験により 1 組の強度が高力ボルト 1 本分以上の強度を有していることを確認した。

あとがき

前報までの内容と併せて、パイプスラブの構造と基本性能について示した。一連の性能確認試験の結果、設計施工マニュアルなどの整備、そして共同開発会社の施工実績によりパイプスラブは「橋建協標準合成床版」⁹⁾として認定されている。

近年の社会的要請により合成床版の採用が確実に増えてくると予想される。パイプスラブでは、さらなる性能の改善、施工実績による詳細構造の事例の蓄積を実施していく所存である。

本稿は、文献 5)、10)の内容をもとに一部再編集したものであることを付記する。

謝辞

パイプスラブの輪荷重走行試験を行うにあたり、大阪大学の松井繁之教授には多大なる御指導頂きました。独立行政法人土木研究所での試験設備利用に際しては土木研究所の関係者の皆様にご協力を頂きました。本稿の執筆にあたり共同開発会社の関係者各位には便宜を図って頂きました。ここに記して謝辞といたします。

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) 日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押し抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状, JSSC テクニカルレポート, No.35, 1996.11
- 7) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 (II 鋼橋編), 2002.3
- 8) 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.
- 9) 日本橋梁建設協会: 橋建協標準合成床版, 2003.11
- 10) 中本啓介, 田中正明, 大久保宣人: 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, 第四回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.197-202, 2004.10