

輪荷重走行試験による CPC 床版鋼合成桁の疲労特性

Fatigue Performance of Composite Steel Girder with CPC Panels under Wheel Running Test

山口浩平^{*}, 浜田純夫^{**}, 堤忠彦^{***}, 日野伸一^{****}, 合田寛基^{*****}, 左東有次^{*****}
Kohei YAMAGUCHI, Sumio HAMADA, Tadahiko TSUTSUMI, Shinichi HINO, Hiroki GODA and Yuji SATO

^{*} 工修 九州大学大学院 工学研究科 博士後期課程 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

^{**} 工博 山口大学 教授 工学部 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

^{***} (株)富士ピー・エス 東京支店 技術部 (〒105-0004 東京都港区新橋 4-24-8)

^{****} 工博 九州大学大学院 助教授 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

^{*****} 九州大学大学院 工学研究科 修士課程 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

^{*****} 九州大学大学院 助手 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

Generally, the increase of the traffic volume and truck loads has caused severe damages to reinforced concrete deck slabs of steel girder bridges. The precast PC panel has high quality as well as high endurance in the mechanical properties, and it has been increasingly applied to the deck slabs construction of the steel girder bridge, because of the labor saving during construction.

A channel-shaped precast PC panel (CPC panel) has been developed for the purpose of increase of the durability against to the vehicle load and the fabrication and erection work of deck slabs in steel girder bridges on site. This study aims at an application of CPC panels to the medium span composite girder bridges. In this paper, wheel running test on composite steel beam specimens with CPC panels is presented. The result of wheel running test shows that CPC panel system in the composite girder is confirmed to sustain high fatigue durability, and the result of bending static failure test after wheel running test shows that CPC panel plays an effective role as a part of compressive flange of the composite girder up to the ultimate stage. Finally this paper describes an outline of the practical application for the composite box girder bridge with CPC deck slabs.

key words : precast PC panel, composite girder, fatigue properties, wheel running test

1. まえがき

高度な社会資本整備が進む一方で、環境問題、建設コスト削減の観点から公共事業のあり方が見直され、低コストで優良な社会資本の整備が必要とされている。その中で、橋梁分野における鋼橋のコンクリート床版は、車両荷重の増加・交通量の増大による損傷・劣化が問題となっており、さらなる耐久性・施工性の向上が求められている。

これまでプレキャスト床版は非合成桁橋に多く適用されてきたが、床版の損傷・劣化などのメカニズムが解明され床版取替えの機会が減少してきたこと、また、非合成桁橋も実際には合成桁に近い合成挙動をすることが明らかになり、最近、非合成桁として設計することの不合理性が指摘されている。しかし、従来のプレキャスト床版(フラット形状・ハンチ形状など)を鋼合成桁に適用する場合、スタッドが配置される位置の床版に開口部を設け、

床版と鋼桁間の間詰め部には無収縮モルタルを充填して一体化を図る必要があるため、床版の製作・施工の煩雑さ、床版の耐久性に問題が生じる可能性がある。そこで本研究では、合理的な床版形状を有するチャンネル型プレキャスト PC 床版(CPC 床版：写真-1)を提案している。^{1), 2)}

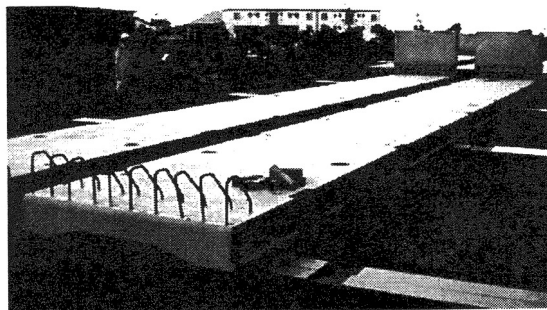


写真-1 : CPC 床版

図-1 は本床版を鋼合成桁に用いた場合の断面図を示しており、従来のプレキャスト床版に比べて、スタッドを床版下面の凹部に群配置できるため、床版・鋼桁への加工要求が少なく施工性が向上し、床版にスタッド配置用開口部を設ける必要がなく床版の耐久性が向上し、また、床版-鋼桁間に作用する水平せん断力は、スタッドおよびずれ止めとしての作用が期待されるリブ部近傍の間詰め部モルタルの支圧効果により伝達されるなどの特徴を有する。本研究では、CPC床版を用いた2主鋼合成桁を製作し、輪荷重走行試験、同試験終了後に曲げ破壊試験を行い、床版と鋼桁との結合部の疲労特性・合成挙動・破壊メカニズムおよび床版リブのずれ止めとしての作用を検証した。

2. 輪荷重走行試験

2.1. 試験体および試験方法

写真-2 に試験状況を、図-2 に試験体概略図を示す。本試験に用いた CPC 床版は、下面の凹部形状は実橋と同様とし、床版厚、床版幅、床版下面と鋼桁との間隔、リブ高は、実橋の約 1/2 スケールとした。また、合成桁断面の中立軸位置が実橋と一致するように鋼桁の大きさを調整し、その位置は鋼桁上フランジ内である。床版方向のプレストレスは、床版 1 枚あたり PC 鋼より線 1S12.8 を 6 本配置している。

試験体の製作手順は、通常のプレキャスト床版を用いた鋼合成桁と同様であり、まず鋼桁上に床版を設置後、床版間の目地部に無収縮モルタルを打設し、橋軸方向に 9 本配置した PC 鋼線 1T21.8 により床版を一体化した。その後、スタッドが配置されている間詰め部に無収縮モルタルを充填し床版と鋼桁を合成した。なお、主桁上のスタッド配置は、道路橋示方書のずれ止めに基づいて決定し³⁾、橋軸方

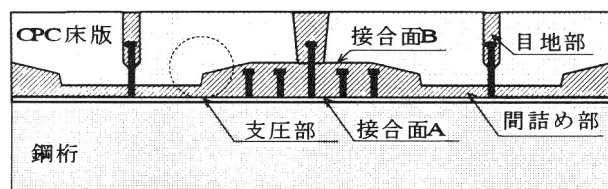


図-1：CPC床版を用いた鋼合成桁の断面図

向の床版 1 パネルあたりに $\phi 19H60mm$ を 4 列(床版下面の凹部)、 $\phi 19H150mm$ を 2 列(床版中央部および目地部)配置し、それらを橋軸直角方向に 2 列配置した。実橋では間詰め部には $50N/mm^2$ 以上のモルタルを使用するが、本試験では床版と鋼桁の結合部の疲労強度を究明するために、間詰め部モルタルの支圧破壊を想定した $20N/mm^2$ の低強度のモルタルを使用し、水平せん断力に抵抗する支圧部モルタルの支圧面積(打設幅とリブ高の積)を実橋に比べて小さく設計した。なお、打設幅は 150mm である。表-1 は、床版コンクリート、間詰め部・目地部モルタル、鋼桁、PC 鋼線の材料試験結果を示している。

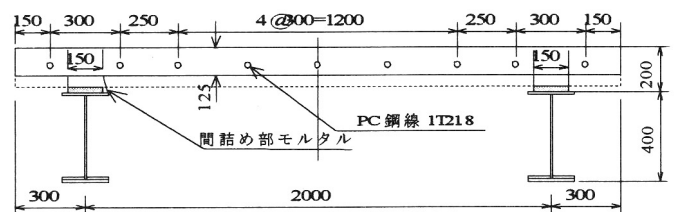
疲労試験は、山口大学所有の輪荷重走行試験機を用いて行った。輪荷重を床版中央位置上に、支間 4.0m の中央部から両側に 1800mm の範囲で橋軸方向に移動させ載荷した。輪荷重は 150kN の一定荷重とし、載荷回数は 50 万回、載荷速度は約 2.2km/h とした。

2.2. 結果および考察

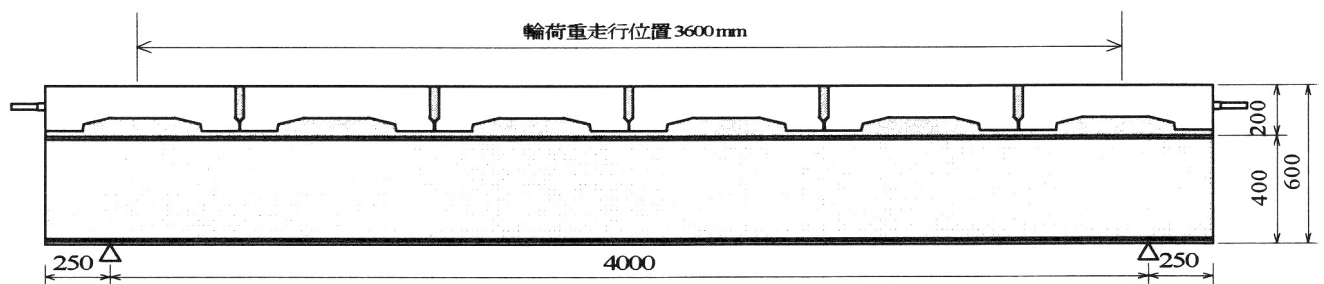
図-3 は、床版中央位置に載荷した場合の床版および鋼桁のたわみの変化を示している。同図より、両者とも載荷



写真-2：輪荷重走行試験状況



(a)：断面図



(b)：側面図

図-2：試験体概略図

回数が増加にともなうたわみの変化は見られないことがわかる。また、同図中に3次元FEM線形解析の結果を点線で示しているが、実験値とほぼ一致しており精度良く追跡できていることがわかる。図-4は、床版-鋼桁間の水平方向の相対変位の変化を示している。Panel A, Bは、それぞれ支間中央位置および支点位置の床版である。同図より、相対変位は載荷回数10万回の前後より緩やかに増加してはいるものの、試験終了時でもその値は約0.03mm程度であり、同時に実施した押抜せん断試験の結果からもその程度の相対変位であれば合成挙動を示すことが確認されている。

間詰め部モルタルのひび割れ発生は確認されず、床版と間詰め部間に作用する水平せん断力に対しては、リブ部の支圧面積と間詰め部のモルタル強度で表されるとして支圧部の間詰め幅を決定した本構造において、十分な合成度を有することが確認された。また、間詰め部のモルタル強度の疲労低下を考慮して支圧部へのひび割れを予想したが、アップリフトに抵抗するための床版に貫入させたスタッドも水平せん断力の一部を負担したことにより、支圧部モルタルに作用する水平せん断力が低減されて、ひび割れが発生しなかったものと考えられる。

3. 曲げ破壊試験

輪荷重走行試験終了後、主桁上で床版幅600mmの合成桁を2体(Type I・Type II)切り出し曲げ破壊試験を行った。Type I, Type IIとも同一形状の試験体であるが、Type Iは切断後さらに桁の輪荷重走行試験を行い、その後曲げ破壊試験を行った。Type IIは、切断後に曲げ破壊試験を行った。載荷は支間中央1点載荷とし、破壊まで漸増載荷を行った。

表-1: 材料試験結果

(a): 床版・間詰め部モルタル・目地部モルタル

	圧縮強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [N/mm ²]	ポアソン比
床版コンクリート	61.8	3.72 * 10 ⁴	0.22
間詰め部モルタル	19.0	1.01 * 10 ⁴	0.23
目地部モルタル	54.1	2.29 * 10 ⁴	0.25

(b): 鋼桁・PC鋼線

	引張強度 [N/mm ²]	降伏強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [N/mm ²]	ポアソン比
鋼桁	463	301	2.04 * 10 ⁵	0.28
PC鋼線	1567	1438	1.94 * 10 ⁵	-

表-2: 両接合面の終局せん断耐力および設計荷重・曲げ終局耐力

	計算値				実験値	
	接合面 A	接合面 B	設計荷重時	曲げ終局耐力	最大荷重	
終局せん断力 [kN/cm]	7.52	5.43	3.88	-	Type I	Type II
終局荷重 [kN]	763	551	394	1070	1040	1068

表-2は、接合面A(間詰め部-鋼桁: 図-1)、接合面B(床版-間詰め部: 図-1)の終局せん断耐力およびその時の載荷荷重を示している。接合面Aは鋼構造物設計指針 Part B⁴⁾のスタッドのずれ止め耐力に従い算定した。接合面Bは床版内に貫入しているスタッドのずれ止め耐力に加え、床版リブ部の支圧耐力(支圧面積と支圧部モルタル強度の積)を考慮して算定した。また、同表中の設計荷重・曲げ終局耐力は完全合成断面として算定し、設計荷重は鋼桁下縁が許容曲げ引張応力度に達するときの荷重とした。

図-5は、荷重-たわみ曲線を示している。同図より、設計荷重の1.8倍の約700kNまでは線形挙動を示しており、最大荷重(Type I: 1040kN, Type II: 1068kN)も表-2に示す設計上の曲げ終局耐力(1070kN)とほぼ一致していることがわかる。また、両試験体とも同様の挙動を示しており、Type Iは桁の輪荷重走行試験後の残存性能も十分に有していることが確認された。

図-6は、接合面A・Bの相対変位を示している。同図より、両接合面とも表-2に示す支圧耐力、スタッド耐力に基づき算定した終局せん断耐力時の荷重を超えてから

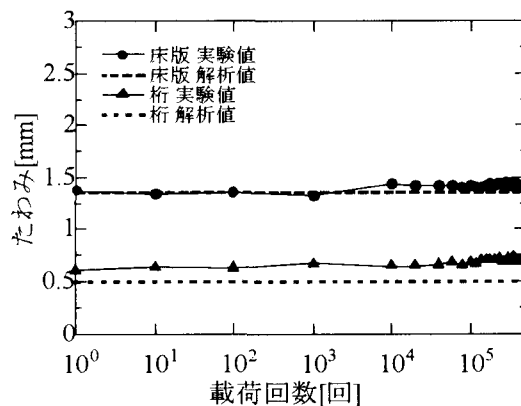


図-3: たわみの変化

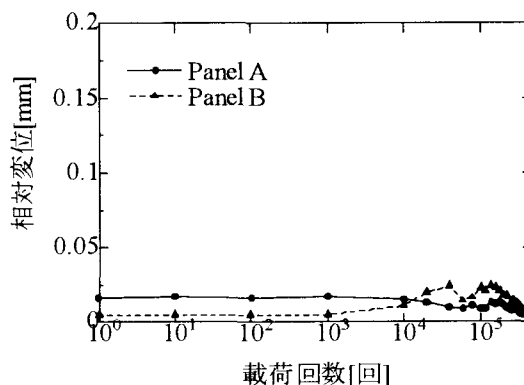


図-4: 相対変位の変化

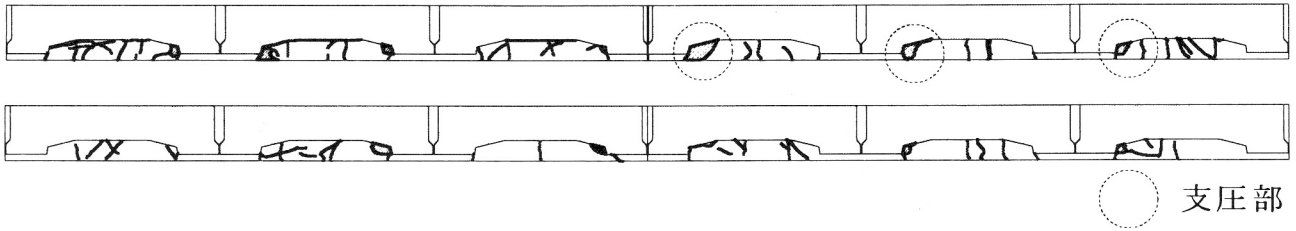


図-7: ひび割れ図

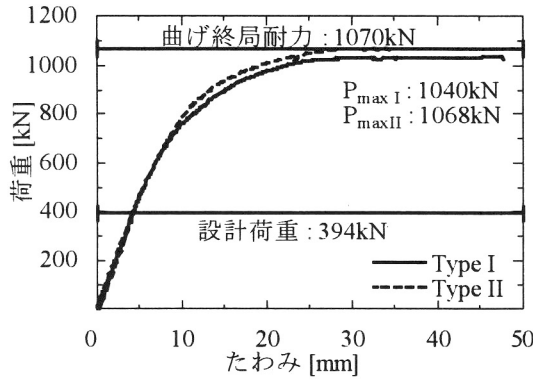


図-5: 荷重-たわみ曲線

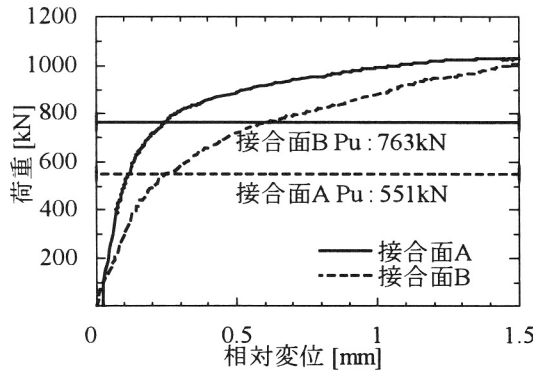


図-6: 荷重-相対変位曲線

変位が急激に増大していることがわかり、このことは支圧耐力の評価法の妥当性を示唆するものである。なお、同時に実施した押抜せん断試験結果からも同様の結論を得ている。また、両接合面とも、終局せん断耐力は設計に用いられる許容せん断耐力の約4倍であり、十分な安全率を有していることがわかった。

破壊はまず鋼桁が降伏し、間詰め部にひび割れが発生・進展し次第に合成度を消失し、その後床版が圧壊して破壊に至った。図-7は、間詰め部のひび割れ状況を示している。曲げ変形に伴い床版は鋼桁より支点側へ変位するため、間詰め部の支圧部は載荷点側のリブ部近傍であるが、そのことが同図から明らかである。また、支圧部の反対側のリブ部近傍は、床版と間詰め部間に開きを確認された。このことにより、CPC床版特有の形状が、水平せん断力に対して有効に作用していることがわかる。

試験終了後に橋軸方向のスタッド位置で試験体を切断し、その支圧部近傍の破壊状況を写真-3に示す。同写真

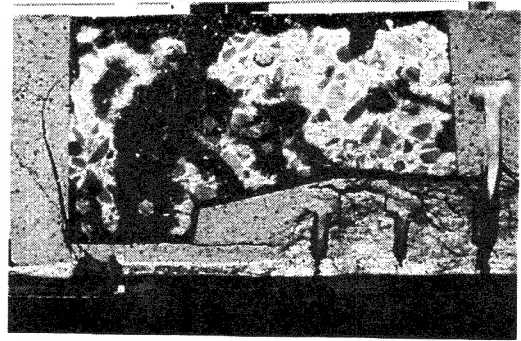


写真-3: 床版の切断面

より、スタッド近傍の支圧部モルタルは圧壊しており、支圧部には水平方向のひびわれが見受けられる。

4. まとめ

輪荷重走行試験の結果、間詰め部モルタルにひび割れは発生せず、2主鋼合成桁の変形性状に変化がなかったことにより、リブ部のずれ止め強度は十分大きく、間詰め部のスタッド配置は道路橋示方書に準じて設計すれば十分な性能を確保できることがわかった。

曲げ破壊試験の結果、リブ部の支圧耐力は支圧面積と支圧強度の積で評価することができ、CPC床版を鋼合成桁に適用する場合、床版-間詰め部間のずれ止めに対しては間詰め部モルタルの支圧耐力に基づいて、間詰め部-鋼桁間のスタッド配置に対しては道路橋示方書のずれ止めの設計式を用いて設計すれば良いことがわかった。

参考文献

- 1) 真鍋英規, 寺田光太郎, 曾田信雄, 伊藤正人: チャンネル形状プレキャスト PC 床版の鋼橋への適用, プレストレストコンクリート技術協会, 第4回シンポジウム論文集, pp.171-176, 1994
- 2) 真鍋英規, 林功治, 鈴木真, 松井繁之: チャンネル形状プレキャスト PC 床版の設計曲げモーメント式に関する一考察, プレストレストコンクリート技術協会, 第6回シンポジウム論文集, pp.169-172, 1996
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, 1996
- 4) 土木学会: 鋼構造物設計指針(Part B 合成構造物), 1997