

(12) リブ付プレキャスト PC 床版(CPC 床版)を用いた鋼合成桁橋に関する研究

Study of Composite Steel Girder bridge with Channel-Shaped Precast PC Panels

堤忠彦*, 日野伸一**, 村山隆之***, 山口浩平****, 真鍋英規*****

Tadahiko TSUTSUMI, Shinichi HINO, Takashi MURAYAMA, Kohei YAMAGUCHI, Hideki MANABE

* (株)富士ピー・エス 福岡支店技術部 (〒810-0001 福岡市中央区天神 2-14-2)
 ** 工博, 九州大学大学院助教授, 工学研究科 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)
 *** 工博, 福岡北九州高速道路公社 技術管理課 (〒812-0055 福岡市東区東浜 2-7-53)
 **** 工修, 九州大学大学院, 工学研究科博士課程 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)
 ***** (株)富士ピー・エス 大阪支店技術部 (〒530-0012 大阪市北区芝田 2-2-1)

Key Words : Channel-Shaped Precast PC panel, Composite Steel Girder Bridge

1. はじめに

プレキャスト PC 床版は、高品質で高耐久性の床版として鋼非合成桁橋の建設に多く採用され実績も増加している。しかし一方で、床版と鋼桁の一体化を図るためのスタッドが多く配置される合成桁橋に適用するには未解明の様々な問題点があり、施工実績も数例¹⁾のみであることから合理的な構造の開発が望まれている。

著者らは、従来のプレキャスト PC 床版を用いた場合における鋼合成桁橋の施工上の問題点を解決する手段として、先に開発したチャンネル型プレキャスト PC 床版(以下、CPC 床版)²⁾の合理的な床版形状に着目して新しい構造を提案した(図-1)。

本構造は、床版を橋軸方向に連続化した後、所要のスタッドを配置した床版と鋼桁の空間(以下、間詰め部)を無収縮モルタルで充填することで、床版と鋼桁を結合して合成構造とするものである。合成桁の曲げ変形にともなう床版と鋼桁間の水平せん断力は、リブを設けた間詰め部モルタルと床版の接合面の支圧効果によるせん断抵抗が有効に作用し、所要のスタッドを配置した間詰め部を介して伝達される。床版のアップリフトに対しては、床版間の横目地部と、床版に貫入して配置したスタッドによって抵抗させることとしている。

本研究は、上記の CPC 床版を鋼合成桁へ適用する場合を

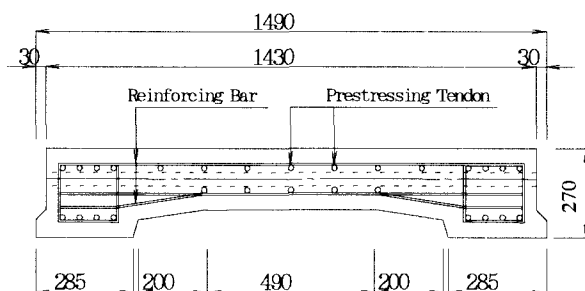


図-1: CPC 床版断面図(橋軸直角方向)

想定して、先の静的曲げ載荷試験³⁾に引き続き、モデル供試体を用いた曲げ疲労試験、200 万回疲労試験終了後の静的曲げ破壊試験、CPC 床版のチャンネル形状効果に着目した押し抜きせん断試験を行い、それらの合成挙動について検討を行ったものである。

2. 曲げ試験

2.1. 供試体および試験方法

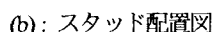
供試体は、荷重最大荷重(以下、 P_{max})およびプレストレス量の異なる計 3 体(Type I, Type II, Type III)であり、図-2(a)は断面図、同図(b)はスタッド配置図、同図(c)は側面図、上面図を示している。供試体の製作手順は、まず鋼桁上に床版を設置後、床版間の目地部に無収縮モルタルを打設し、橋軸方向にプレストレスを導入して床版を一体化した。その後、床版下面に無収縮モルタルを充填し床版と鋼桁を合成した。なお、PC 鋼棒 1 本当たりのプレストレス量は 183kN 導入した。また、PC 鋼棒を使用した Type I, II は、床版の取替を想定してアンボンドとしたが、Type III は RC 継ぎ手を想定して PC 鋼棒の代わりに異形鉄筋 SD390 を用いてシーにグラウトを充填し一体とした。

Type I, Type II は供試体形状は同様であるが、支間中央 1 点集中荷重の P_{max} がそれぞれ 224kN, 294kN と異なっている。ここに、224kN は支間中央の鋼桁下縁の応力が、設計計算上許容曲げ引張応力度 143MPa に達するときの載荷荷重、また 294kN は設計荷重の約 1.5 倍である。載荷最小荷重は各供試体とも同等であり、実橋において死荷重時の鋼桁下縁の応力度に相当する 96.0kN とした。

図-2(b)に示すように、橋軸方向の床版 1 パネルあたりのスタッド配置は、 $\phi 13H60mm$ のタイプを 4 列、 $\phi 13H120mm$ のタイプを 2 列配置し、橋軸直角方向にはそれらを 3 列配置した。供試体を設計する際、床版下面の凹部の形状、床版下面と鋼桁上面との間隔は、設計対象とした実橋の 1/2 とし、床版と鋼桁の断面積比および中立軸の位置がほぼ一致

疲労試験は、200 万回の繰返し载荷また载荷速度は約 2Hz とした。疲労試験終了後に行った静的曲げ試験は、設計荷重まで载荷・除荷を 2 回繰り返し、その後破壊にいたるまで漸増载荷を行った。

図-3は、 P_{Max} 時の支間中央(Point A：図-2(c)参照)位置のたわみ(太線)、残留たわみ(細線)の変化を示している。Type IIのたわみが大きいのは P_{Max} の違いによるものである。設計荷重レベルでの残留たわみはほとんど生じておらずまた載荷回数の増加にともなうたわみの増加は見られないことが



合成桁断面のひずみ分布は設計荷重およびその約 1.5 倍の 294kN でも直線分布であり、合成桁として挙動している。さらに各供試体とも載荷前より乾燥収縮ひびわれと思われる微細なひびわれが発生した以外は、繰り返し回数の増加にともなうひびわれ進展は見られなかった。

図4 は、Point A の荷重-たわみ曲線を示している。Type I のみ最大荷重が幾分小さいが、それは表-1(a)からわかるように床版コンクリートの圧縮強度の影響であるものと考えられる。それを考慮すれば、Type II は疲労試験時の P_{Max} が Type I の 1.3 倍であるが、初期剛性また高荷重域でも Type I と同様の挙動を示していることがわかる。Type III は、PC 鋼棒の替わりに異形鉄筋を使用し、ノンプレストレスであるが Type I との差異は見られないことがわかる。

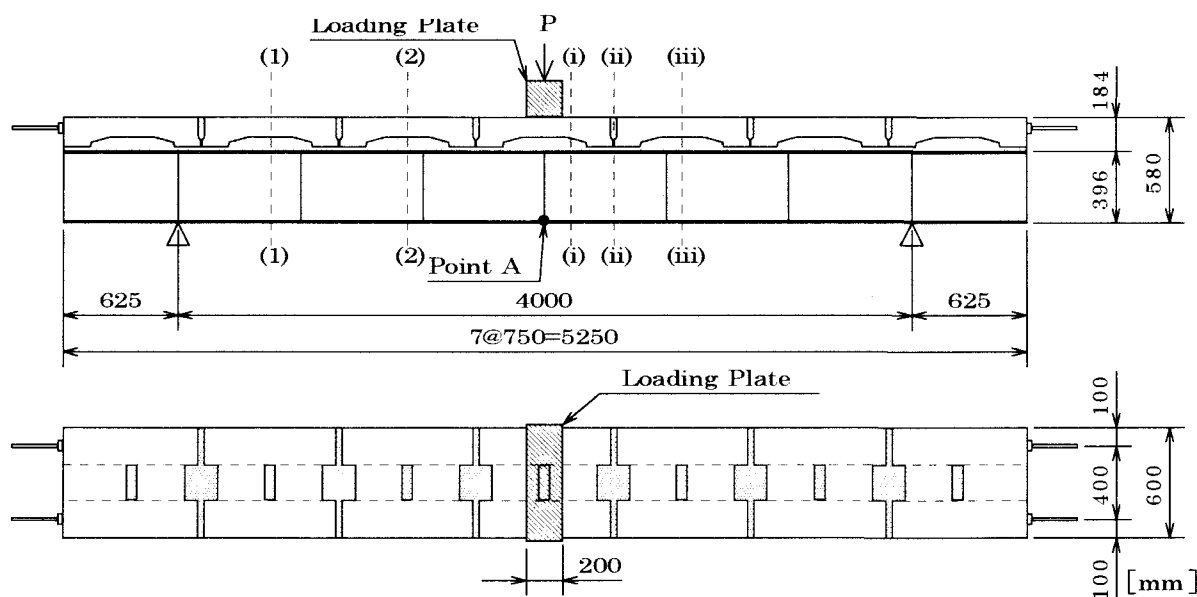
図-5 は、Section(i)のひずみ分布を示しており、設計荷重である 224kN 時のひずみ分布は直線であり合成挙動を示しているが、高荷重域の 588kN 時は床版-鋼桁間で不連続とな

(a): 床版部コンクリート、間詰め部モルタル

Type	床版部		間詰め部	
	圧縮強度 [MPa]	ヤング係数 [GPa]	圧縮強度 [MPa]	ヤング係数 [GPa]
I	51.4	39.4	52.3	25.2
II	68.9	40.9	42.6	-
III	69.7	38.0	60.1	23.8

(b): 鋼桁

降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	ヤング係数 [GPa]
278	421	204



(c): 側面図, 上面図

図-2: 供試体の全体概略図

り、次第に合成効果が消失していくことがわかる。

表2 は、実験値である最大荷重と、本供試体を完全合成のコンパクト断面と仮定して等価応力ブロック法により算定した終局荷重および設計荷重をまとめたものである。同表より、最大荷重は設計荷重に対して 3 以上の安全率を有していること、また終局時には合成効果が消失しつつある

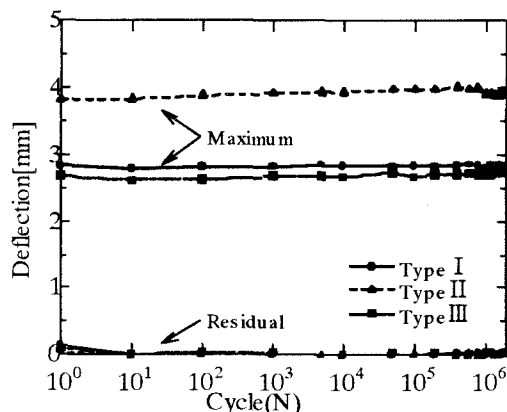


図-3: たわみ, 残留たわみ(Point A)

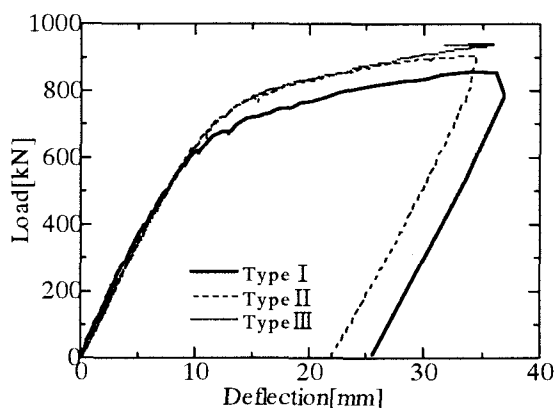


図-4: 荷重-たわみ曲線(Point A)

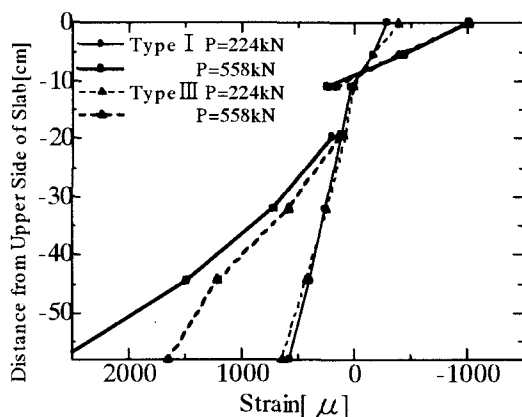


図-5: ひずみ分布(Section(i))

表2: 終局曲げ耐力および設計荷重

Type	実験値	計算値		P_{Max} — P_D	P_{Max} — P_u
	最大 P_{Max} [kN]	設計 P_D [kN]	終局 P_u [kN]		
I	858	225	785	3.81	1.09
II	908	226	803	4.02	1.13
III	943	224	805	4.21	1.17

が、完全合成と仮定して算定を行っても実用上問題のないことがわかる。

3. 押し抜きせん断試験

3.1. 供試体および試験方法

供試体は、床版・鋼桁間のせん断力の伝達特性の異なる Type I, Type II, Type III の 3 種類であり、それぞれ 2 体の計 6 体を製作した。表3 は各供試体のせん断力伝達機構およびその特徴を、また図-6(a), (b), (c)は、それぞれ Type I, Type II, Type III の全体概略図を示している。なお、床版の形状、スタッドの本数および配置は前述の桁モデルと同様である。

試験方法は、通常ずれ止めのせん断挙動を究明するのに多用される 2 面押し抜きせん断試験である。荷重方法は、H 形鋼上面より荷重し、床版・鋼桁間の相対変位が急激に増大するまでは 98kN ビッチ、その後は 49kN ビッチで荷重・除荷を繰り返す、スタッドの限界せん断耐力とされる残留相対変位が 0.075mm を超過後は除荷をせず、最大荷重にいたるまで漸増荷重を行った。測定項目は、床版パネルの中央位置(図-6(a)参照)における床版-間詰め部・鋼桁間の相対変位、鋼桁、間詰め部高さ方向のひずみ分布および間詰め部モルタルのひびわれ進展状況である。

3.2. 結果および考察

図-7 は荷重-床版・鋼桁間の相対変位曲線の包絡線を示している。表4 は、実験値、計算値および両者の比較をまとめたものである。ここに、スタッドの終局せん断耐力、限界せん断耐力および許容せん断耐力の計算値は、鋼構造物設計指針(Part B)、道路橋示方書から引用した。終局せん断耐力は、Type II, Type III は約 1100kN と同様の値であるが、Type I のみ約 800kN と小さな値を示していることがわかる。このことは、Type II, Type III はチャンネル形状による支圧効果が有効に作用していることを示唆するものである。実験値である終局・限界せん断耐力と設計上重要となる許容せん断耐力の比である P_u/Q_u および P_L/Q_u は、それぞれ 4.72 ~ 6.84 および 3.33 ~ 4.31 と、両者とも通常のスタッドと同等以上の安全率を有していることがわかる。

表3: 各供試体の特徴

Type	せん断力伝達機構	特徴
I	スタッド	リブの支圧効果の影響をなくすため、間詰め部モルタルの下部に緩衝材となる発泡スチロールを配置
II	チャンネル形状	スタッドによる床版と鋼桁の合成作用をなくすため、全スタッドを間詰め部モルタル高さ内に配置
III	スタッド + チャンネル形状	支圧効果、およびスタッドによるせん断力の伝達が期待される通常の配置

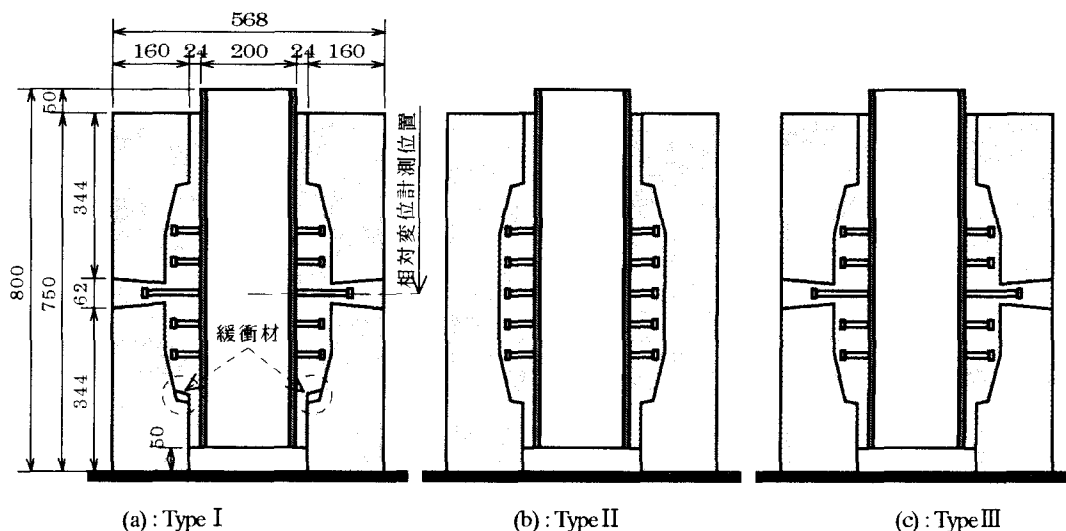


図-6: 全体概略図

表4: 押し抜きせん断試験の実験値および計算値

Type		実験値		計算値			P_u/Q_a	P_L/Q_a
		終局 P_u [kN]	限界 P_L [kN]	終局 Q_u [kN]	限界 Q_L [kN]	許容 Q_a [kN]		
I	A	884	687	766	383	176	5.01	3.89
	B	823	587~	760	380	174	4.72	3.37
II	A	1210	629~	791	396	181	6.65	3.47
	B	1170	568	744	371	171	6.84	3.33
III	A	1090	794	804	402	184	5.90	4.31
	B	1110	745	844	422	194	5.71	3.84

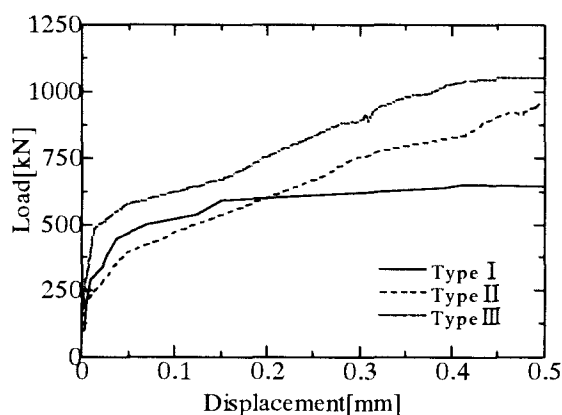


図-7: 荷重-相対変位曲線(包絡線)

4. まとめ

曲げ疲労試験, その後の静的曲げ試験および水平接合部の押し抜きせん断試験の結果は以下のようにまとめられる。

- (1) CPC 床版を鋼合成桁に適用する場合, スタッドを間詰め部に群配置する形式でも, そのスタッドの配置・本数は, 鋼桁と間詰め部接合面において, 道路橋示方書のずれ止めの計算方式に準じて決定すれば, 十分な性能を確保できることがわかった。
- (2) 合成桁は床版部コンクリートの圧壊により破壊し, 設計上本合成桁の終局耐力, 応力および変形の算定には, 実用上完全合成として取り扱ってよいことがわかった。
- (3) 設計荷重およびその 1.3 倍を載荷最大荷重とした疲労試

験の結果, 載荷回数の増加にともなうたわみ, 床版-鋼桁間の相対変位の変化およびひびわれの発生は見られず, 静的曲げ破壊試験の結果, プレストレス量の異なる供試体の初期剛性, 終局耐力は一致しており疲労耐久性は十分であることがわかった。

- (4) 押し抜きせん断試験の結果, チャンネル形状による支圧効果が有効に作用し, さらに試験で得られた限界・終局せん断耐力を設計上重要となる許容せん断耐力と比較すると, それぞれ約 3, 5~6 以上の十分な安全率を有していることがわかった。

5. おわりに

現在, 形状効果を定量的に把握するために, リブ角および間詰め部打設幅をパラメータとした押し抜き試験を実験中である。

参考文献

- 1) 川田忠樹ほか: 複合構造橋梁, 技報堂, 1994
- 2) 真鍋英規ほか: 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
- 3) 日野伸一ほか: チャンネル型プレキャスト PC 床版を用いた鋼合成桁の静的曲げ挙動, 構造工学論文集, 1999