

(73) チャンネル型プレキャスト PC 床版を用いた鋼合成桁橋の曲げ疲労特性

|                     |        |
|---------------------|--------|
| 九州大学大学院 工学研究科       | ○ 山口浩平 |
| 九州大学大学院 工学研究科       | 日野伸一   |
| 福岡北九州高速道路公社         | 村山隆之   |
| (株)富士ビー・エス 福岡支店 正会員 | 堤忠彦    |

1. はじめに

プレキャスト PC 床版は、高品質で高耐久性を有する床版であり現場施工の省力化が図られるが、その多くは非合成桁橋に適用されている。これらの床版を合成桁橋に適用する場合、ずれ止めが配置される位置のプレキャスト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<sup>1), 2)</sup>。しかし、開口部には床版にプレストレスを導入するための PC 鋼棒を配置できないこと、また相当量の開口量があるため、後打ちのモルタル充填量が多くなることから、床版の耐久性にも問題が生じる可能性がある。

そこで、著者らは従来のプレキャスト PC 床版を用いた場合の鋼合成桁橋の施工における問題点を解決する手段として、合理的な床版形状を有し、様々な優位性が期待できるチャンネル形状プレキャスト PC 床版(以下、CPC 床版)を提案している<sup>3)</sup>。本構造は、床版に縦締めプレストレスを導入した後、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。図-1 に CPC 床版単体版の断面図を、図-2 に鋼桁との合成作用原理を示す。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、床版と間詰め部モルタルの接合面に水平せん断力(S1, S2)が生じ、間詰め部モルタルと床版の接合面には、床版リブを設けて軸方向に床版厚を変化させているため支圧効果によるせん断抵抗(p1, p2)が有効に作用して、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(T1, T2)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。

以上より、本研究は CPC 床版を鋼合成桁へ適用する場合を想定して、先の静的曲げ試験<sup>4)</sup>に引き続き、モデル供試体を用いた曲げ疲労試験、同試験終了後の静的曲げ試験を行い、それらの合成挙動について検討を行ったものである。

2. 供試体および試験方法

供試体は、載荷最大荷重(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-3(a)は側面図、上面図、同図(b)は断面図、同図(c)はスタッド配置図を示している。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、床版を連続版として、橋軸方向に PC 鋼棒φ23 を2本配置しプレストレスを導入して床版を一体化した。その後、床版下面と鋼桁上面の凹部(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、PC 鋼棒1本当たりのプレストレス量は 183kN であり、設計荷重時において床版支間中央での床版下縁の応力が許容引張応力度以下になるように設計した。また、PC 鋼棒を使用した Type I, II は、床版の取替えを想定してアンボンドとしたが、PC 鋼棒の代わりに異形

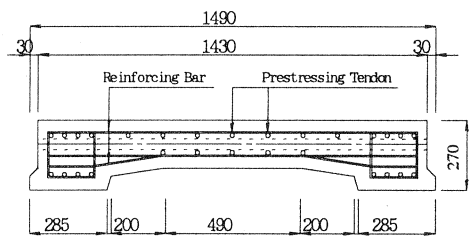


図-1: CPC 床版断面図(橋軸直角方向)

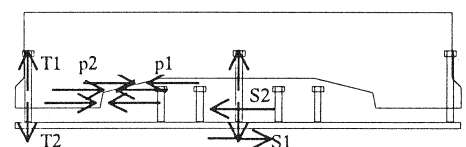


図-2: CPC 床版の合成作用原理

鉄筋SD390を用いてノンプレストレスとした Type III は、シーにグラウトを充填し一体とした。

表-1 は、各供試体の特徴を示しており、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 1.3 倍で試験装置の最大能力である。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-3(c) 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するように床版幅と鋼桁の断面寸法を決定した。なお、床版-鋼桁の接合面におけるずれ止め(スタッド)の設計は、道路橋示方書に準じて  $P_{Max}=224kN$  に対して行った。表-2(a)、(b) は、それぞれ床版部コンクリート・間詰め部モルタルおよび

表-1: 供試体の特徴

| Type | プレストレスの有無 | 載荷最大荷重 [kN] | 載荷最小荷重 [kN] |
|------|-----------|-------------|-------------|
| I    | あり        | 224         | 96.0        |
| II   | あり        | 294         | 96.0        |
| III  | なし(RC)    | 224         | 96.0        |

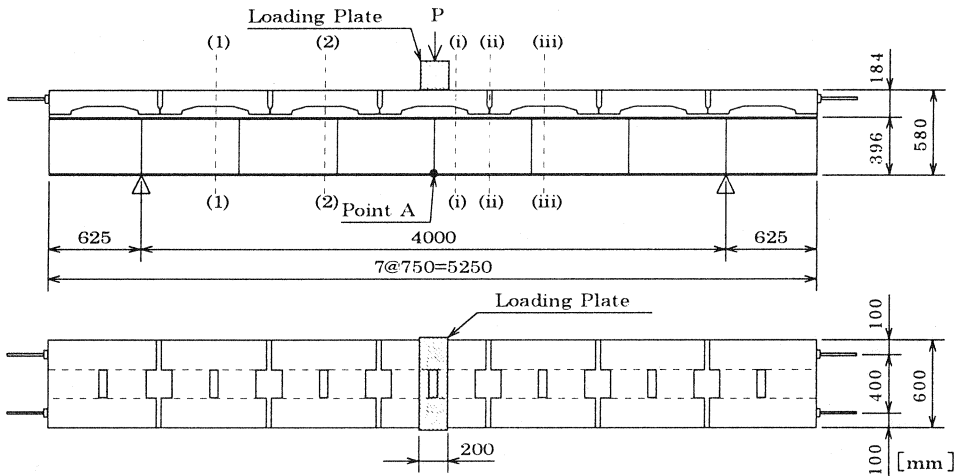
表-2: 材料試験結果

(a): 床版部コンクリート、間詰め部モルタル

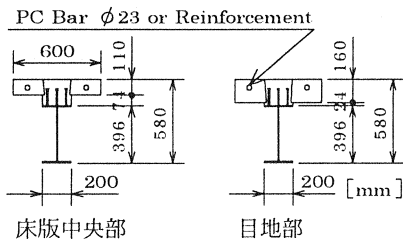
| Type | 床版部        |             | 間詰め部       |             |
|------|------------|-------------|------------|-------------|
|      | 圧縮強度 [MPa] | ヤング係数 [GPa] | 圧縮強度 [MPa] | ヤング係数 [GPa] |
| I    | 51.4       | 39.4        | 52.3       | 25.2        |
| II   | 68.9       | 40.9        | 42.6       |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

(b): 鋼桁

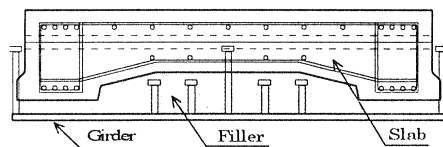
| 降伏強度 [MPa] | 引張強度 [MPa] | ヤング係数 [GPa] |
|------------|------------|-------------|
| 278        | 421        | 204         |



(a): 側面図, 上面図



(b): 断面図



(c): スタッド配置図

図-3: 供試体の全体概略図

鋼桁の材料試験結果を示している。

疲労試験は、200万回の繰返し載荷また載荷速度は約2Hzとした。疲労試験終了後に行った静的曲げ試験は、設計荷重まで載荷・除荷を2回繰返し、その後破壊にいたるまで漸増載荷を行った。測定項目は、合成桁のたわみ、ひずみ分布、床版-間詰め部-鋼桁間の相対変位、ひびわれの進展状況である。

### 3. 曲げ疲労試験結果および考察

図-4は、 $P_{Max}$ 時の支間中央(Point A: 図-3(a)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わかる。また、断面(1)、(2)の床版-鋼桁間の相対水平変位も計測したが、同様の傾向であった。

図-5は、Type Iの $P_{Max}$ 時の代表繰返し回数時における断面(i)の合成桁断面のひずみ分布を示している。試験終了時の200万回目でも直線分布を示しており、平面保持は成り立っていることがわかる。なお、同図より合成桁の中立軸は、間詰め部内にあることが確認される。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。

### 4. 静的曲げ試験結果および考察

図-6は、荷重-たわみ曲線を示している。疲労試験時の載荷条件、プレストレス導入の相違による初期剛性、高荷重域での挙動に違いは見られないことがわかる。また、全供試体ともに、破壊荷重は設計上の終局耐力(666kN)を大きく上回った。

図-7は、載荷点近傍の断面(i)のひずみ分布を示している。ひずみ分布は、設計荷重(224kN)時には平面保持が成立しているが、588kN時には床版-鋼桁間で不連続になっており、その辺りから次第に合成効果を失っている。

図-8は、床版-鋼桁間の相対変位であり、断面(1)を細線で、断面(2)を太線で示している。同図より、断面(1)と断面(2)を比較すると、相対変位は低荷重域では一致しており、設計荷重レベルでの相対変位はほとんど見られないが、高荷重域では載荷点寄りに位置する断面(2)の方が大きいこと

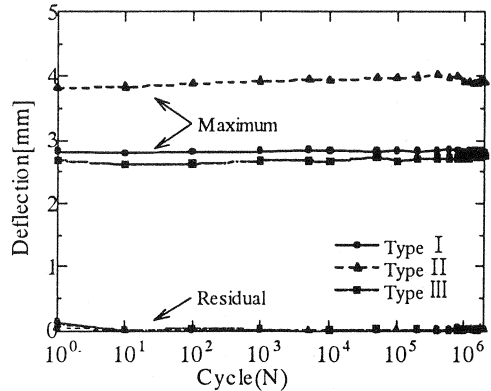


図-4: たわみ, 残留たわみ(Point A)

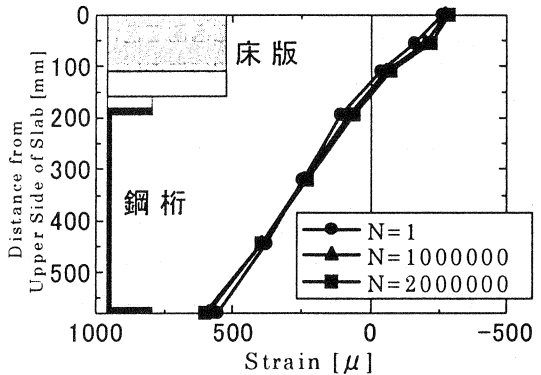


図-5: ひずみ分布(Type I : 断面(i))

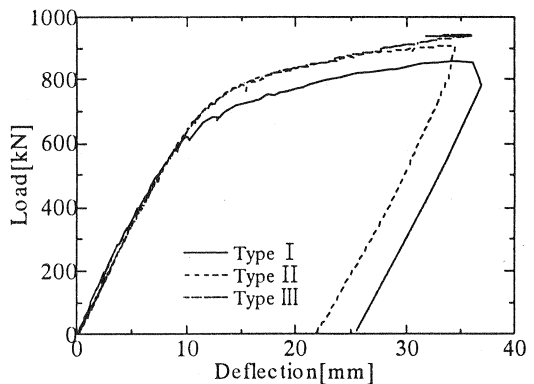


図-6: 荷重-たわみ曲線(Point A)

がわかる。これは終局時に載荷点近傍の床版、間詰め部がより大きな損傷を受けたことによると考えられる。

表-3は、実験値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が、終局耐力は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。

### 5. まとめ

曲げ疲労試験、その後の静的曲げ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、十分であることがわかった。
- (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も問題ないことがわかった。
- (3) 設計荷重、その1.3倍を載荷最大荷重とした疲労試験の結果、たわみ、床版-鋼桁間の相対変位の変化、ひびわれ発生は見られず、静的曲げ試験の結果、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。

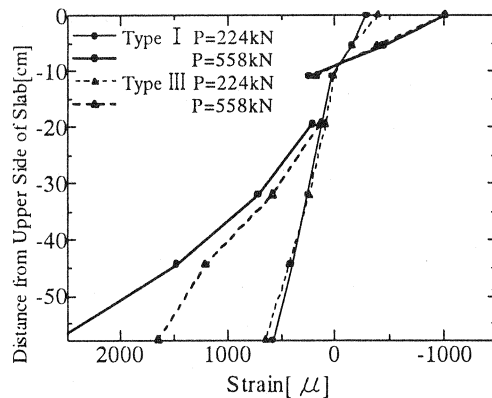


図-7: ひずみ分布(断面(i))

### 6. おわりに

現在、形状効果を定量的に把握するために、リップ角および間詰め部打設幅をパラメータとした押抜き試験を実験中であり、また版作用を考慮した二軸曲げ試験およびその輪荷重走行試験を試験準備中である。

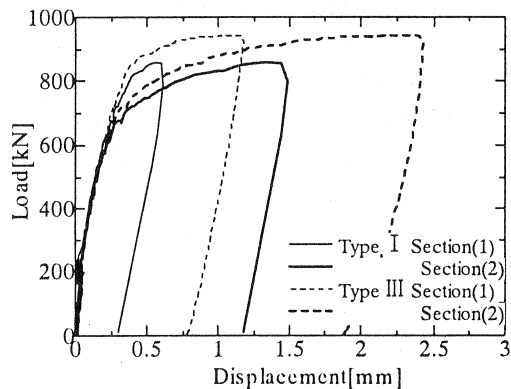


図-8: 床版-鋼桁間相対変位

### 参考文献

- 1) 寺田博昌ほか：新しい合成構造と橋 NCB研究会編，山海堂，1996
- 2) 川田忠樹ほか：複合構造橋梁，技報堂，1994
- 3) 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
- 4) 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，pp.1469-1476，1999

表-3: 終局曲げ耐力および設計荷重

| Type | 実験値                         | 計算値                       |                           | P <sub>Max</sub><br>-<br>P <sub>D</sub> | P <sub>Max</sub><br>-<br>P <sub>u</sub> |
|------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---|---|
|      | 最大<br>P <sub>Max</sub> [kN] | 設計<br>P <sub>D</sub> [kN] | 終局<br>P <sub>u</sub> [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                                    |