

(7) 波形鋼板ウェブPC構造のクリープ特性に関する研究

ドーピー建設工業(株)静岡支店 正会員 ○脇中 広司  
 ドーピー建設工業(株)静岡支店 正会員 山本 直彦  
 ドーピー建設工業(株)技術センター 正会員 上平 謙二  
 大阪市立大学 工学部 土木工学科 園田恵一郎

1. はじめに

波形鋼板ウェブPC橋は、コンクリートウェブに波形鋼板を用いた合成構造であり、通常のPC橋に比べ自重を軽減できるばかりか、プレストレスの導入効果に優れており、PC橋として合理的な構造であるといわれている<sup>1)~3)</sup>。

本構造の力学的特性については種々研究がなされており、曲げ挙動、せん断挙動、あるいはねじり挙動については概ねそれらの特性が把握されており、その中で、弾性変形の範疇での変形特性については、曲げ変形にせん断変形を考慮する必要があるといわれている<sup>4)~8)</sup>。この波形鋼板のせん断変形特性が本構造の固有の特徴である。しかしながら、コンクリートの変形のもう一つの特徴であるクリープ特性についての研究は、著者の知る範囲では見当たらないのが現状である。

本研究では、波形鋼板ウェブPC構造のクリープ変形挙動を把握することを目的に、ウェブに波形鋼板を有する基本的なI形断面を用い、この断面に生じる応力レベルを変化させ、クリープ速度の影響を考慮した実験を行った。

2. 試験体の寸法

試験体は、一般的な中規模径間のPC連続桁橋を対象とし、図-1に示すように、試験場所の制約もあり約1/6のモデル化とした。そして、支間長を7.0m、桁高を0.5m、コンクリートの上床版と下床版の幅を一定として50cm、また、床版厚を5cmとした。波形鋼板についても1/6のモデル化を考慮し、図-2に示すように、各パネル幅を5cm、波形の深さを1.25cm、板厚を2.3mmとした。波形鋼板とコンクリート床版の接合に関しては、ブロックジベルを用いた。

また、支点部には、10cm厚の隔壁を設け、支間のミドルサードには形状保持のため、5cm厚の隔壁を設けた。

試験に用いた各材料の特性を表-1に、コンクリートの示方配合を表-2に示す。

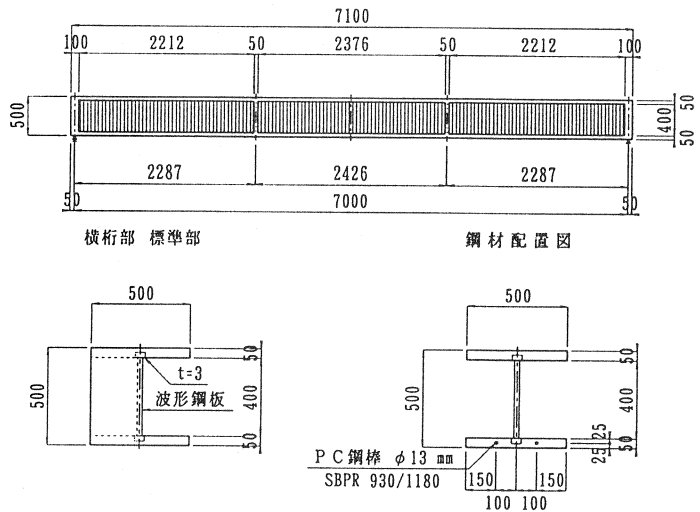


図-1 試験体の構造寸法

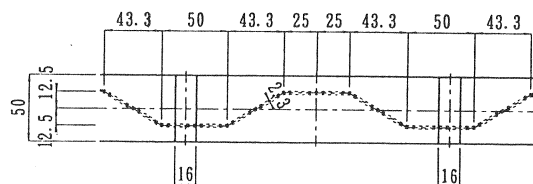


図-2 波形鋼板の形状

### 3. 載荷方法

荷重の載荷は、試験体の上に等分布荷重となるようにブロック荷重を載荷した。この場合、ブロック荷重には鉄板とコンクリートブロックを使用して荷重強度を調整するとともに、試験体と荷重用ブロックの間には、設置面の均一化を図るため、ゴムシートを敷きつめた。

載荷荷重となる等分布荷重については、桁の応力レベルの相異によるクリープ速度の影響を考慮するため、通常のPC桁の死荷重相当値と死荷重+活荷重の1/2相当値となる2ケースを考慮し、また、荷重載荷時に曲げび割れを生じさせないよう、図-1に示すように、下床版に2本のPC鋼材を配置し、1本当たり10.75tonのプレストレスを導入した。さらに、上載荷重による曲げクリープ挙動のみを抽出できるように、桁自重とプレストレスのみのケースを1ケース設けた。

荷重と桁応力度の関係を表-3に示し、荷重の載荷状況を写真-1に示す。なお、持続荷重すなわち上載荷重の荷重載荷時およびプレストレス導入時のコンクリート材令は10日である。また、試験は、室内で行った。

### 4. 計測方法

本試験で計測した項目は、図-3に示すように、変形、コンクリート床版のひずみ、コンクリート床版に埋め込んだ鉄筋のひずみ、波形鋼板のひずみ、プレストレス力、試験室の温度および湿度である。

ここで、変形を計測する変位計については、上載荷重載荷時の曲げ変形量とせん断変形量およびクリープ変位量を把握するため、桁センターから1mピッチに4ヶ所の計測位置を設け、さらに、支点移動の影響を抽出できるように支点部にも設置した。

コンクリート床版と鉄筋のひずみに関しては、上載荷重載荷時の曲げ応力分布とクリープひずみを把握することを目的に計測し、このうち、コンクリート床版のひずみに関しては、桁高方向の線形性を把握することと、桁の断面変形の影響を抽出できるように、波形鋼板の左右に一ヶ所、桁高方向に各床版の上下とし計8ヶ所ひずみゲージをセットした。また、鉄筋のひずみゲージは、波形鋼板の片側のコンクリート床版の中心に、コンクリートゲージと位置を合わせセットした。

波形鋼板のひずみに関しては、上載荷重載荷時のせん断応力度の確認と、経時的なひずみ挙動を確認するため計測した。

表-1 使用材料の特性

| 材料の種類  | 仕 様                              |
|--------|----------------------------------|
| コンクリート | $\sigma_{ck}=350\text{kgf/cm}^2$ |
| 鉄 筋    | S D 30A                          |
| 鋼 板    | S S 400                          |

表-2 コンクリートの示方配合

| 水・セメント比<br>w/c<br>(%) | 細骨材率<br>s/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |                   |                   |                   |                      |
|-----------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
|                       |                    | 水<br>W<br>(kg)           | セメント<br>C<br>(kg) | 細骨材量<br>S<br>(kg) | 粗骨材量<br>G<br>(kg) | 混和剤<br>SP-8N<br>(kg) |
| 48.0                  | 43.0               | 163                      | 340               | 801               | 1066              | 2.38                 |

表-3 試験体の荷重と応力度の関係

| 試験体種類<br>* | 載 荷 重 の 種 類                 | 桁のコンクリート応力度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |       |
|------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------|
|            |                             | 桁上縁                                   | 桁下縁   |
| CASE-1①    | 死荷重時相当値 (w=0.732tf/m)       | 44.1                                  | -44.1 |
| CASE-2②    | 活荷重の1/2時相当値 (w=0.935tf/m)   | 56.3                                  | -56.3 |
| CASE-3③    | プレストレス (Pt=21.5 t)          | -4.6                                  | 89.6  |
| 合成応力度      |                             |                                       |       |
|            | 桁自重 (w=0.133tf/m) ④         | 8.0                                   | -8.0  |
|            | CASE-1 (死荷重作用時 (①+③+④))     | 47.5                                  | 37.5  |
|            | CASE-2 (活荷重の1/2作用時 (②+③+④)) | 59.7                                  | 25.3  |
|            | CASE-3 (プレストレス導入時 (③+④))    | 3.4                                   | 81.6  |

ただし、プレストレスによる応力度は、桁センターのプレストレス力より計算したものである。

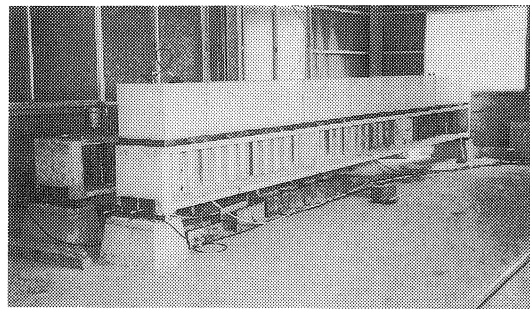


写真-1 荷重の載荷状況

各試験体のプレストレス力については、センターホールロードセルを用い、導入時のプレストレス力と、経時的なプレストレス力の変化を計測した。この場合、プレストレスの導入は、片引きで行った。

試験室の温度と湿度については、経時的な試験値の補正を行うため計測した。さらに、コンクリート床版のダミー試験体を製作し、無応力状態でのコンクリートとコンクリートに埋め込んだ鉄筋のひずみの経時変化を計測した。

クリープ変形については、1997年の4月から、1998年の4月までの1年間計測した。

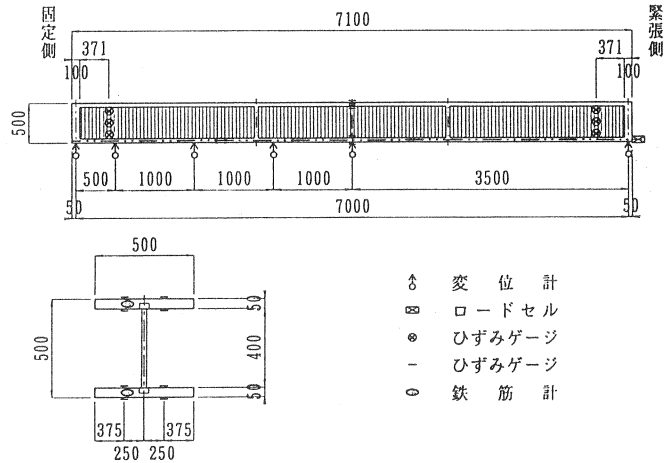


図-3 計測位置図

5. 試験結果および考察

5.1 弾性変形

上載荷重載荷時の桁センターの弾性変形量を比較すると、表-4の通りとなる。この場合、はり理論における曲げ変形の計算においては、上下のコンクリート床版のみを考慮した曲げ剛性を

表-4 桁センターの弾性変形量の比較

| 載荷重の種類                   | 実測値<br>(mm)<br>① | 計算値<br>(mm) |      |      | 比<br>①/② |
|--------------------------|------------------|-------------|------|------|----------|
|                          |                  | 曲げ          | せん断  | 計②   |          |
| 活荷重の1/2時相当値 (w=0.935t/m) | 4.49             | 3.60        | 0.83 | 4.43 | 1.01     |
| 死荷重時相当値 (w=0.732t/m)     | 3.38             | 2.80        | 0.65 | 3.45 | 0.98     |

ただし、この場合の曲げ変形の計算に用いたコンクリートのヤング係数は上載荷重載荷時のものである

を用い、また、せん断変形量の計算においては、せん断力をすべて波形鋼板で負担するとし、せん断剛性の評価については、上平ら<sup>9)</sup>が提案している形状係数を用いた。

比較結果から、上載荷重による変形量の実測値と曲げ変形とせん断変形を考慮したはり理論値は非常に良い一致を示しており、この結果からも、変形量の計算においては、曲げ変形成分の他にせん断変形成分を考慮する必要があること、また、せん断変形量の計算に用いるせん断剛性については、波形鋼板の実長を考慮した形状係数を用いれば、精度の良いせん断変形量が計算できることがわかった。

5.2 クリープ変形

死荷重相当分の上載荷重における桁センターのクリープ変形量の経時変化を図-4に、活荷重の1/2相当分の上載荷重における桁センターのクリープ変形量の経時変化を図-5に示す。また、上記の各荷重ケースのうち、活荷重の1/2相当分における鉄筋のひずみ量の経時変化を図-6に示し、波形鋼板のひずみ量の経時変化を図-7に示す。なお、これらの図は、桁自重とプレストレスのみのクリープ挙動を除外したものであり、上載荷重のみのクリープ挙動を示す。

クリープ変計量の実測値に対し、はり理論における弾性変形量に対するクリープ変形量を計算するためのクリープ係数の算出は、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編に従い以下の式(1)で計算する<sup>9)</sup>。

$$\phi(t, t_0) = \phi_{d0} \cdot \beta_d(t - t_0) + \phi_{f0} \{ \beta_f(t) - \beta_f(t_0) \} \dots \dots \dots (1)$$

式(1)を用いて計算したクリープ曲線を図-8に示す。

図-4および図-5の上載荷重としての持続荷重(載荷材令10日)によるクリープ変形挙動を見ると、室内温度の影響による乱れはあるものの、徐々に増加する傾向にある。この温度による変形の乱れは、コンクリートと鋼板の温度差が影響しているものと考えられる。とくに、波形鋼板とコンクリート接合をフランジプレートを経して行っているため、このフランジプレートとコンクリートの温度差が、曲げ変形に何らかの影響を与えていると考えられる。

また、図-6のコンクリート床版に埋め込んだ鉄筋のひずみ量の経時変化を見ると、荷重載荷時の弾性ひずみ発生後のひずみの進行度は、上床版と下床版ではほぼ同じ傾向を示している。そして、クリープ変形に伴う鉄筋ひずみの増加量は、計測終了時まででそれぞれほぼ100 $\mu$ であり、曲げ変形のみによる挙動を示していると考えられる。このことは、図-7に示す波形鋼

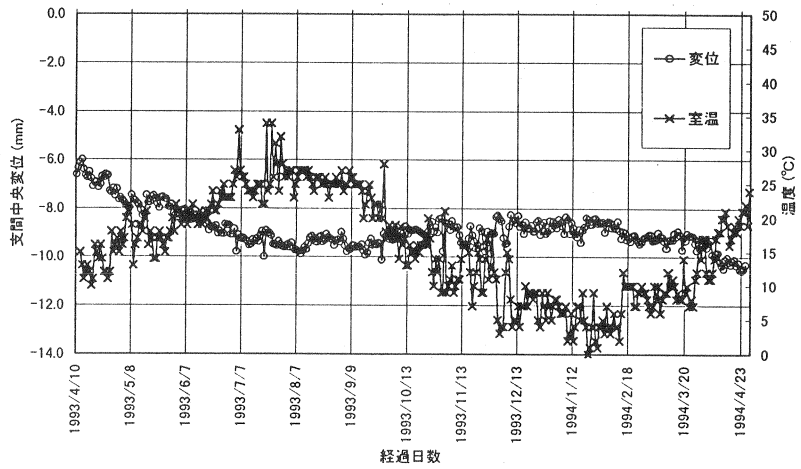


図-4 死荷重相当値の桁センターでのクリープ変形量

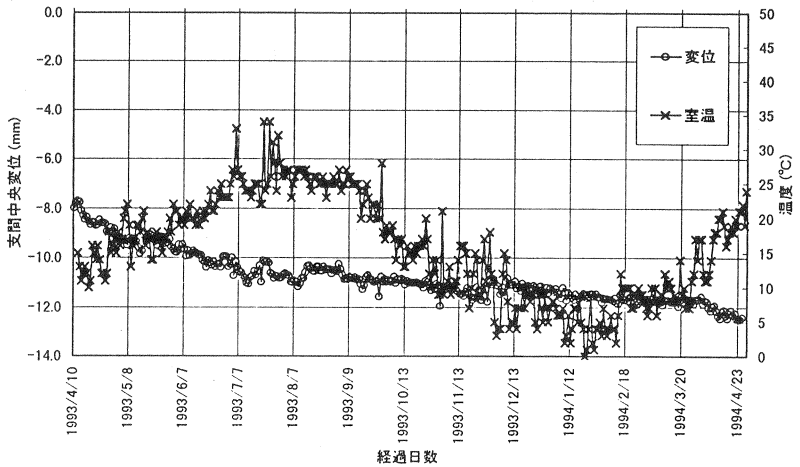


図-5 活荷重の1/2相当値の桁センターでのクリープ変形量

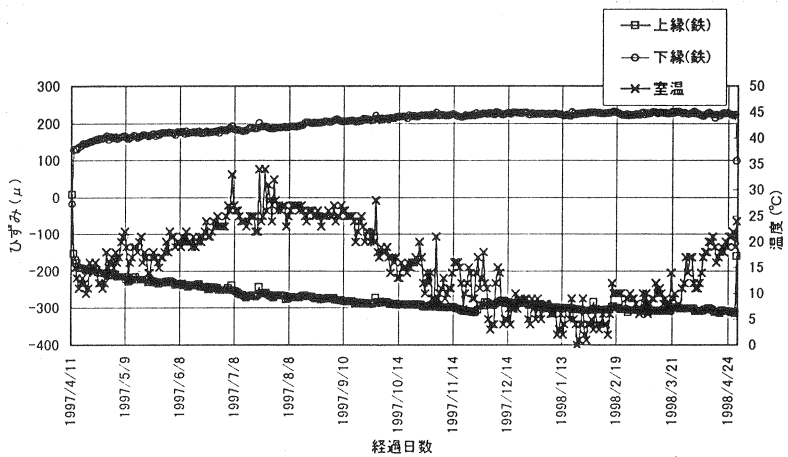


図-6 活荷重の1/2相当値における鉄筋ひずみ量の経時変化

板の経時的なひずみの挙動を見ても、殆ど変化無く、波形鋼板のせん断変形が、クリープ変形挙動に影響していないことから確認できることである。

これらの結果から、クリープ変形量に関する試験結果と計算結果を比較すると、表-5の通りとなる。ただし、表の計算結果については、上載荷重載荷時の弾性変形量(曲げ+せん断)のうち、曲げ変形量のみを持続荷重載荷材令10日に対する計測終了時までのクリープ係数を乗じている。

比較結果から、実測値の方が計算値よりかなり小さい値となっている。これについては、使用セメントに早強ポルトランドセメントを使用しており、各材令毎のコンクリートのヤング係数を見ても、持続荷重載荷材令の10日で、既に $320,000\text{kgf/cm}^2$ 程度発現し、最終材令で $375,000\text{kgf/cm}^2$ 程度となっており、初期材令で85%程度のヤング係数に至っている。この現象と道示によるクリープ曲線の進行度には大きな開きがあり、この影響がクリープ変形量の差となって現れているものと推察される。また、コンクリート中の鉄筋の拘束の影響も考えられる。

## 6. まとめ

本実験結果から、以下のことがわかった。

- 1) 載荷荷重による弾性変形量の計算に当たっては、曲げ変形量にせん断変形量を考慮すればよく、この場合のせん断変形量の計算のためのせん断剛性に関しては、波形鋼板の実長を考慮した形状係数を用いればよいことが確認できた。
- 2) クリープ変形に関しては、波形鋼板のせん断変形の影響を無視し、コンクリート部材のみの曲げ変形の影響を考慮すればよい。

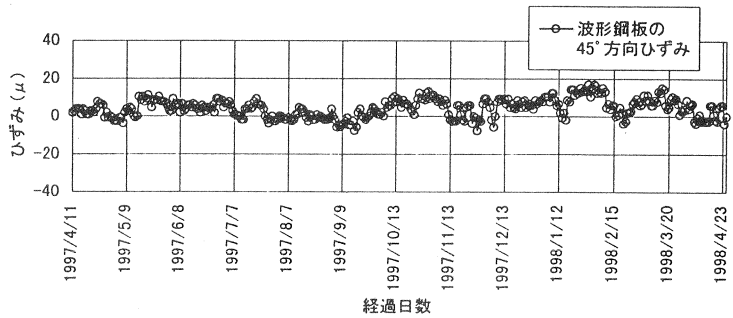


図-7 死荷重相当値での波形鋼板の45°方向ひずみの経時変化

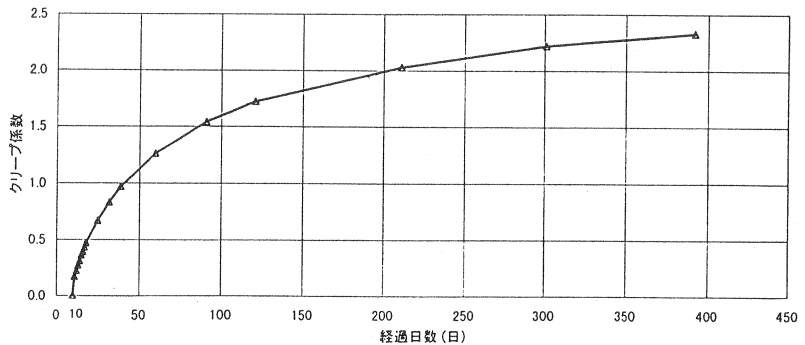


図-8 式(1)を用いて計算したクリープ曲線

表-5 クリープ変形量に関する試験値と計算値の比較

| 載荷重の種類                              | 実測値<br>(mm)<br>① | 計算値<br>(mm) |        |      | 比<br>①/② |
|-------------------------------------|------------------|-------------|--------|------|----------|
|                                     |                  | 曲げ成分        | クリープ係数 | 計②   |          |
| 活荷重の1/2時相当値 ( $w=0.935\text{t/m}$ ) | 5.1              | 3.60        | 2.33   | 8.39 | 0.61     |
| 死荷重時相当値 ( $w=0.732\text{t/m}$ )     | 4.2              | 2.80        | 2.33   | 6.52 | 0.64     |

ただし、この場合のクリープ係数は、図-8の計測終了時の計算値である。

- 3) 波形鋼板ウェブPC橋のクリープ変形量の計算に当たっては、弾性変形量のうちの曲げ成分にのみクリープ係数を乗じて計算してよいと考えられるが、計算値よりも実際の値の方が小さくなる傾向があることに留意する必要がある。特に、PC橋のように、早期発現する早強コンクリートでは、その傾向が強いようである。

#### 今後の課題

本実験は、波形鋼板ウェブPC橋のクリープ特性を把握するために実施したものであるが、クリープ変形量の実測結果には、温度の影響や鋼材の拘束等の影響が含まれていると考えられるため、今後は、更にこれらの影響を分析し、精度のよいクリープ挙動を抽出したいと考えている。また、クリープ曲線についても検討する予定である。

#### 参考文献

- 1) 池田尚治 ; 土木分野における複合構造, プレストレストコンクリート, Vol.37, No.2, プレストレストコンクリート技術協会, pp.16~19 (1995)
- 2) 泉 満明 ; プレストレストコンクリート合成構造へのアプローチ, プレストレストコンクリート, Vol.35, No.2, プレストレストコンクリート技術協会, pp.16~25 (1993)
- 3) Combault, J. (大浦 隆訳) ; シャロール近くのモープレ高架橋, プレストレストコンクリート, Vol.34, No.1, プレストレストコンクリート技術協会, pp.63~71 (1992)
- 4) 荘司雄一, 上平謙二, 新谷英司, 園田恵一郎 ; 波形鋼板ウェブPC箱桁のプレストレス導入効果に関する研究, 第51回土木学会年次学術講演会講演概要集, 共通セッション, pp.174~175 (1996)
- 5) 寺田和己, 大浦 隆, 上平謙二 ; 合成構造における波形鋼板の活用, 土木施工, Vol.35, No.1, pp.121~126 (1994)
- 6) 谷口 望, 中島 陽, 依田照彦 ; 波形鋼板ウェブを持つ合成桁の簡易曲げ解析法に関する研究, 第51回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第1部(A), pp.884~885 (1996)
- 7) 山口恒太, 山口隆裕, 池田尚治 ; 波形鋼板構造をウェブに用いた複合プレストレストコンクリート桁の力学的挙動に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.8, No.1, pp.27~41 (1997)
- 8) 上平謙二, 立神久雄, 本田秀行, 園田恵一郎 ; 波形鋼板を有するPC箱桁橋のせん断及びねじり特性に関する研究, プレストレストコンクリート, Vol.40, No.3, プレストレストコンクリート技術協会, pp.16~25 (1998)
- 9) 道路橋示方書・同解説, I 共通編 IIIコンクリート橋編 ; 日本道路協会