

論 文

[2201] ウェブに鋼材を用いた PC 枠の模型試験

中山弥須夫^{*1} 吉見学^{*2} 永谷建^{*3}

1. はじめに

線路上空において駐車場などに利用される人工地盤を支持する長大スパン桁を想定した合理的な複合断面の基本形を吉見らがすでに提案している [1]。提案された桁はいずれも上フランジをコンクリートとデッキプレートの複合断面とし、ウェブおよび下フランジに鋼材を用い、さらに外ケーブルにより下フランジの鋼材にプレストレスを導入した構造形式となっている。こうした構造は次のような特徴がある。

①主構造を鋼構造とすることにより架設重量の軽減が図れる。

②下フランジに鋼材を用いることにより、鉄筋、型枠組を省略することができ、現場での施工性が向上する。また、通常の PC 枠が下縁の引張応力を $0(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ となるように設計するのに対して、鋼材の持つ許容引張応力度 $1,600(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ を効果的に利用できる。

特にウェブに波型鋼板を用いた構造は架設重量の軽減、せん断座屈強度の増大、プレストレスを下縁に有効に導入できるといった特徴があり、新潟県の新開橋などに用いられている [2] [3] [4]。

現在、ウェブに波型鋼板を用いた桁の曲げ応力度の算定はウェブを無視した断面において行わっているが、この方法の妥当性は有限要素法で確認されている。そこで今回、このタイプの桁の曲げ応力度の算定方法の妥当性を確認するため、試験体を製作し、静的載荷試験を行ったので、その結果を報告する。

2. 試験概要

2. 1 試験体概要

表-1に試験体の各部材の諸元を示す。表-2に試験時のコンクリート強度を示し、表-3に使用鋼材の特性を示す。また、図-1にウェブに波型鋼板を用いた試験体の一般図を示し、図-2にデビエータを固定するために設けた隔壁の概略図を示す。

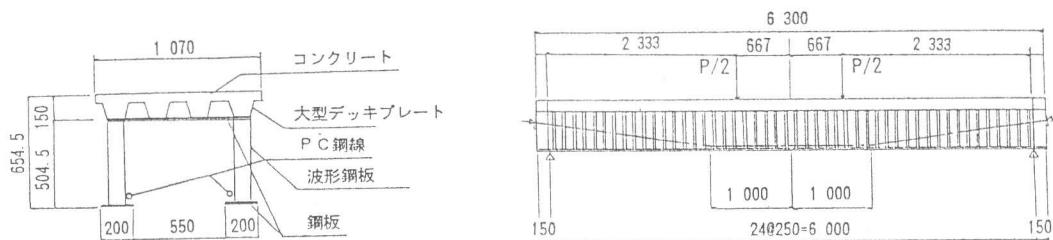


図-1 試験体一般図

*1 東日本旅客鉄道（株） 東京工事事務所 東京工事区、工修（正会員）

*2 東日本旅客鉄道（株） 上信越工事事務所 新幹線、工修

*3 東日本旅客鉄道（株） 東京工事事務所 工事管理室、課長代理

表-1 試験体諸元

| | |
|-------|--|
| 上フランジ | コンクリート ($\sigma_c=210\text{kgf/cm}^2$) |
| 接合部 | 大型デッキプレート (APA60, SS400, t=6.0mm) |
| ウェブ | 波形鋼板 (APA60, SS400, t=6.0mm) |
| 下フランジ | 鋼板 (SS400, t=9.0mm) |
| PC鋼材 | PC鋼線 (SWPR1T12.4) |

表-2 試験時コンクリート強度

| 強度 (kgf/cm ²) | 弾性係数 ($\times 10^5\text{kgf/cm}^2$) |
|------------------------------|--|
| 189.5 | 1.578 |

表-3 使用鋼材の特性

| | | 引張強度 (kgf/cm ²) | 降伏強度 (kgf/cm ²) |
|-------|---------|--------------------------------|--------------------------------|
| 上フランジ | デッキプレート | 4143 | 2581 |
| | 鋼板 | 4602 | 3204 |
| ウェブ | 波形鋼板 | 4143 | 2582 |
| 下フランジ | 鋼板 | 4653 | 3051 |
| 外ケーブル | PC鋼線 | 18783 | 16915 |

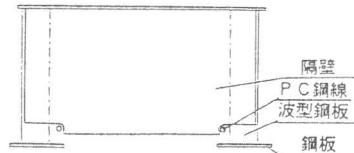


図-2 隔壁概要図

試験体は、上フランジはスラブコンクリートと床組鋼材として用いた鋼板にボルト締めされたデッキプレートからなる構造とし、下フランジはプレストレスに対して圧縮、自重およびその他の荷重に対しては引張材として作用する鋼板を用い、ウェブはせん断力に対しては抵抗しプレストレスなどの軸方向力に対しては抵抗しない特性を持つ波型鋼板を用いた構造となっている。さらに桁の内部にデビエータを固定する隔壁を設け、外ケーブルを下フランジ鋼板上面に2本曲線配置した。なお、導入プレストレス量は試験体の下フランジの鋼材の下縁の応力が供用時に $\sigma_{sa}=1,400(\text{kgf/cm}^2)$ を越えないように定めた。

2.2 試験概要

試験装置は、試験荷重反力フレーム、供試体用台、供試体架台などにより構成されている。試験装置の概要を図-3に示す。

供試体のスパンを6(m)とし、載荷桁を用いてスパン中央に対して対称な2点において荷重を桁上部から静的に載荷した。載荷方法としては、供試体が破壊するまで荷重制御方式で行った。試験では各荷重段階ごとに鉛直変位、各部材のひずみ、プレストレス量を測定した。変位の測定は、支点部及び桁中央部の下面でダイヤルゲージにより行った。ひずみの

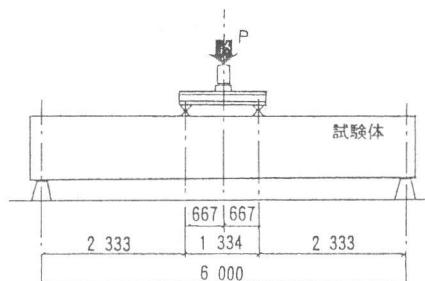


図-3 試験装置概要図

表-4 ひずみゲージ取付け位置

| ひずみゲージ取り付け位置 | 計測方向 |
|----------------------|-----------------------------------|
| 上フランジ スラブコンクリート上面 | 中央断面部 デビエータ付近支点側 |
| 上フランジ デッキプレート下面 | 中央断面部 デビエータ付近支点側 |
| 上フランジ鋼板下面 | 中央断面部 デビエータ付近支点側 デビエータ付近中央側 |
| 下フランジ 鋼板下面 | 中央断面部 デビエータ付近支点側 デビエータ付近中央側 |

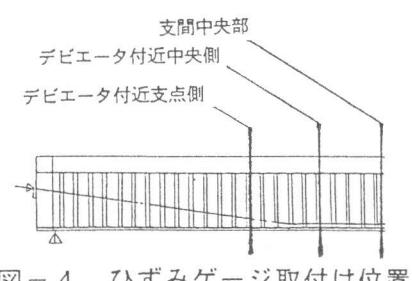


図-4 ひずみゲージ取付け位置

測定はひずみゲージを用いて行った。ひずみゲージの取付位置を表-4および図-4に示す。定着部におけるPC鋼材応力度の変化は桁端部でロードセルにより測定した。

3 計算方法

3.1 曲げ応力度、たわみ

波型鋼板をウェブに用いた構造には橋軸方向力には抵抗しないがせん断力は伝達するという特性がある。このため曲げ応力度などを求める際の断面諸定数はウェブを無視した断面にて算出される。つまり、断面諸定数は上フランジと下フランジのみからなる断面から求めることとなる。計算のモデルを図-5に示す。こうした考え方は新潟県の新開橋などで用いられている。

本論文ではこの考え方従い、曲げ応力度は図-5のモデルにより求めた断面諸定数を用い、平面保持の法則が成り立つとして、通常のPC桁と同様 ($\sigma = P/A \pm P \cdot e_p/z$) の方法により算出した。また、たわみの算出には同様の断面諸定数を用い、はりの微分方程式により算出した。

3.2 破壊荷重

破壊荷重の計算方法は次の方法で行った。

破壊時の断面のひずみ分布が平面保持の法則に従うと仮定し、つりあい式(1)により中立軸を求めて、式(2)、式(3)により破壊荷重を算出した。図-6に断面の応力分布を示す。

$$C = T_{s1} + T_p + T_{s2} \quad (1)$$

$$M_u = T_{s1} (d_{s1} - k_x) + T_p (d_p - k_x) + T_{s2} (d_{s2} - k_x) \quad (2)$$

$$P_u = 2 M_u / I \quad (3)$$

ここに、C：圧縮部コンクリートの合力、 T_{s1} ：上フランジ鋼板の引張力、 T_{s2} ：下フランジ鋼板の引張力、

T_p ：外ケーブルの引張力、 P_u ：破壊荷重、 M_u ：破壊抵抗モーメント、I：支点から載荷点までの距離、 d_{s1} ：圧縮縁から上フランジ鋼板団心までの距離、 d_p ：圧縮縁から外ケーブル団心までの距離、 d_{s2} ：圧縮縁から下フランジ鋼板団心までの距離、 k_x ：圧縮縁から圧縮部コンクリート合力作用位置までの距離

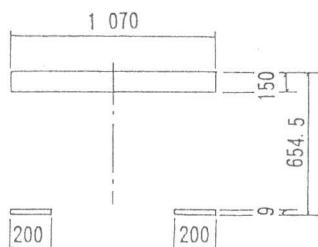


図-5 計算モデル

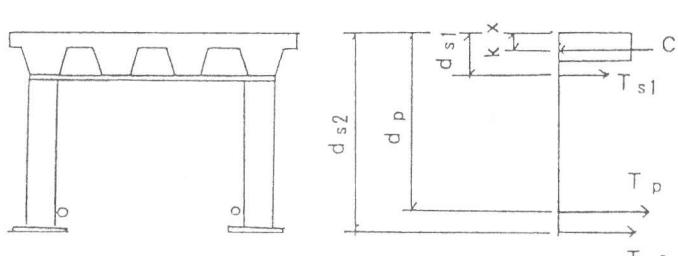


図-6 断面応力分布

4 試験結果および考察

4.1 試験結果

図-7に荷重-たわみ曲線を示し、図-8に荷重-ひずみ曲線を示す。さらに、図-9に導入プレストレスの変化と荷重の関係を示す。ただし、図中の符号は圧縮を正、引張りを負としている。

図-7によると、この試験体のたわみは載荷荷重50(tf)付近までは弾性的挙動を示し、その後剛性の低下とともに変位が増大している。

図-8(a)および(b)によると、試験体における上フランジのコンクリート上面のひずみ

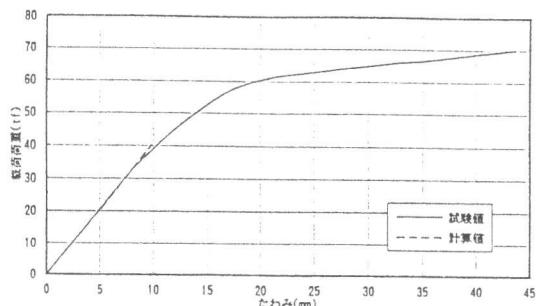
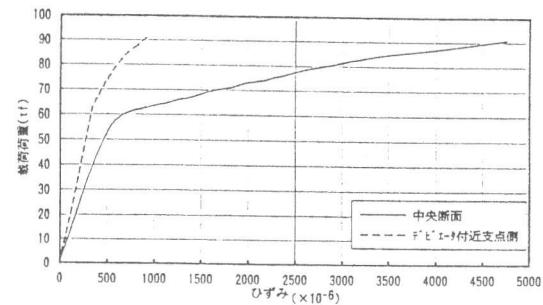
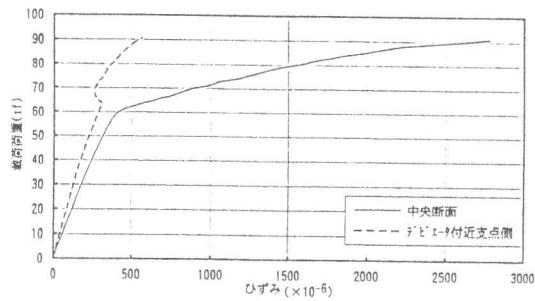


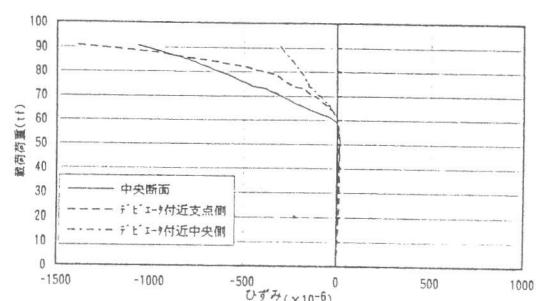
図-7 荷重ーたわみ曲線



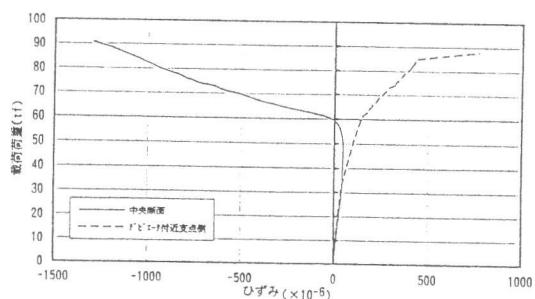
(a)上フランジコンクリート上面



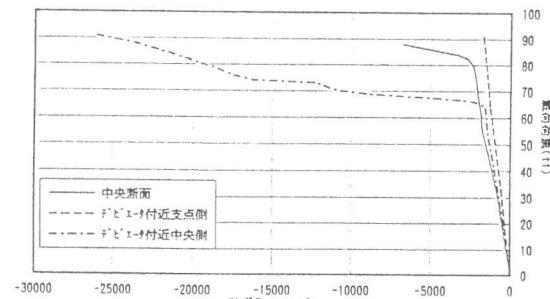
(b)上フランジデッキプレート上側



(c)上フランジデッキプレート下側



(d)上フランジ鋼板下面



(e)下フランジ鋼板下面

図-8 荷重ーひずみ曲線

は載荷荷重 60(tf)付近までは弾性的挙動を示し、その後ひずみが急激に増大し、支間中央にて載荷荷重 91(tf)で圧壊した。図-8 (c) および (d) によると、上フランジのデッキプレート下面および床組鋼材の鋼板のひずみは、載荷荷重 60(tf)付近で圧縮から引張りへと移っている。図-8 (e) によると、試験体における下フランジ鋼板下面のひずみは載荷荷重 65(tf)付近でデビエータ付近において降伏し、その後急激にひずみが増大した。

図-9 によるとプレストレス量は載荷荷重 60(tf)を境に増大していることがわかる。また、2本の外ケーブルのプレストレス量の変動はほとんど等しい。

以上のことより、試験体は荷重の増加に伴い各部材のひずみが増大し、載荷荷重 60(tf)付近で下フランジの鋼板がデビエータ付近で降伏し始め、試験体の剛性が急激に落ち、その後コンクリートの圧壊あるいはデッキプレートの座屈により載荷荷重 91(tf)で破壊に至ったと考えられる。

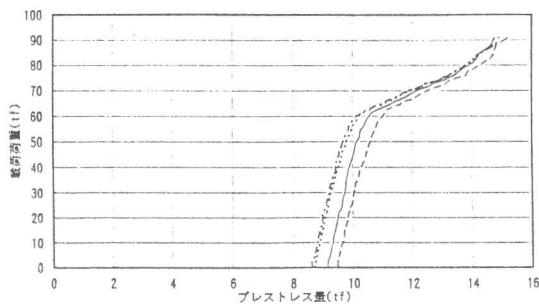


図-9 荷重-導入プレストレス曲線

下フランジの鋼材が降伏したと考えられる載荷荷重 60(tf)におけるコンクリートのひずみは 656×10^{-6} 、下フランジの鋼板下面のひずみは支間中央において $-1,840 \times 10^{-6}$ 、デビエータ付近では $-1,529 \times 10^{-6}$ であった。破壊に至った際のコンクリートのひずみは $4,215 \times 10^{-6}$ 、下フランジ鋼板下面のひずみは支間中央において $-11,113 \times 10^{-6}$ 、デビエータ付近で $-26,077 \times 10^{-6}$ であった。

図-10 および図-11 は支間中央における波型鋼板ウェブ部分の荷重-ひずみ曲線を示し、図-12 にその測定位置を示す。それによると、波型鋼板の軸方向ひずみおよび鉛直方向ひずみは他の部材のひずみと比べて小さいものであり、ここにはせん断力のみが作用したと考えられる [5]。

4.2 計算方法の検討

表-5 に 20(tf) 載荷時の各部材の応力を示す。

図-7 によるとウェブを無視した断面により求めたたわみの計算値は弾性域において試験値にほぼ等しく、また表-5 によると応力の試験値も桁の上縁および下縁にてウェブを無視した断面により求めた計算値にほぼ等しい。この結果から、今回用いた計算手法の妥当性が確認できたと言える。

表-6 に試験値と計算値の破壊荷重を示し、それによる破壊荷重の計算値は試験値の 0.9 倍程度となり、試験値と計算値とはほぼ等しいことがわかる。従って、破壊荷重の検討には、通常の P C 桁の手法を簡易的に用いてよいと思われる。ただし、精解を求める際は他の手法による検討が必要である。

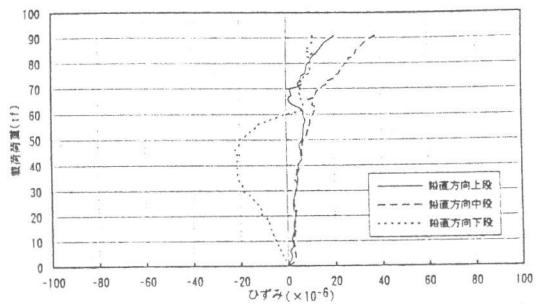


図-10 荷重-ひずみ曲線（鉛直方向）

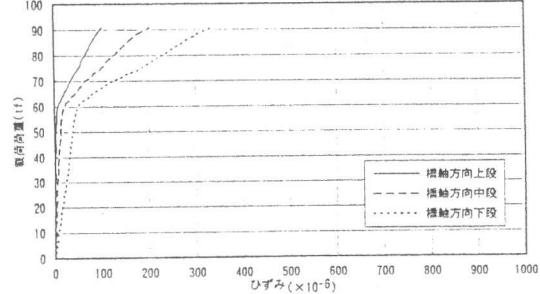


図-11 荷重-ひずみ曲線（橋軸方向）

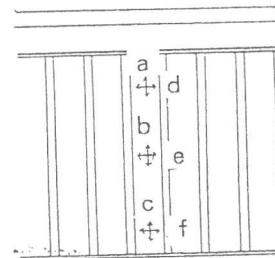


図-12 波型鋼板ウェブ
ひずみ測定位置

表-5 20(tf) 載荷時の応力

| | コンクリート上面 | 下フランジ下面 |
|-----|----------|---------|
| 試験値 | 27.0 | -1105.7 |
| 計算値 | 29.7 | -1095.4 |
| 試/計 | 0.91 | 1.01 |

表-6 破壊荷重

| | 破壊荷重(tf) |
|-----|----------|
| 試験値 | 90.89 |
| 計算値 | 80.61 |
| 試/計 | 1.13 |

5. まとめ

波型鋼板をウェブに用いた構造について、本論文で確認した事項は以下の通りである。

(1) 試験体の破壊性状は、下フランジの鋼板の降伏により試験体の剛性が落ち、上フランジのコンクリートの圧壊によって破壊した。これは一般PC桁の破壊性状と同じである。

(2) たわみ性状は、弾性域においてウェブ部分を無視した断面により単純なはりとして解析を行った場合とほぼ等しい。また、応力およびひずみ性状もたわみ同様であり、応力の値もほぼ一致する。従って、たわみおよび曲げ応力度の計算手法として、ウェブを無視した断面により通常のPC桁と同様の計算方法を用いてよいと言える。

(3) 破壊荷重の検討には、上フランジのコンクリートが終局に達するとして、既往のPC桁の手法を簡易的に用いてよいと言える。ただし、精解を求める際は他の手法による検討が必要である。

参考文献

- 1)吉見・斎藤・大石：大スパン軽量複合PC桁の曲げ性能に関する研究、プレストレスコンクリート技術協会 第3回シンポジウム論文集、1992.11
- 2)服部・大浦：波形鋼板ウェブを用いたPC単純桁の一試設計、プレストレスコンクリート技術協会 第2回シンポジウム論文集、1991.11
- 3)佐藤・吉田・大浦・服部・小林：新開橋の構造特性、土木学会第47回年次学術講演概要集、1992.9
- 4)吉田・佐藤・大浦・服部・小林：新開橋の設計方法、土木学会第47回年次学術講演概要集、1992.9
- 5)Jacques Combault (大浦訳)：シャロール近くのモープレ高架橋、プレストレスコンクリート、Vol. 34, No. 1, 1992. 1