

(3) 波形鋼板ウェブPC橋の梁試験体を用いた静的載荷・疲労試験

オリエンタル建設(株)	技術部	○阿田 芳久
川田工業(株)	技術研究室	町田 文孝
川田工業(株)	技術研究室	溝江 慶久
オリエンタル建設(株)	技術部	正会員 落合 勝

1. はじめに

波形鋼板ウェブPC橋は、橋軸方向の曲げおよび軸力に対してはコンクリート部材のみが、せん断力に対しては波形鋼板のみが受け持つと仮定するのが一般的である。そのような異なる役目を期待される部材同士の接合部は、その性状が不明確であり構造上問題となる部分であるといえる。

現在、コンクリートと波形鋼板の接合には、波形鋼板をコンクリート床版に直接埋め込む接合方法と、波形鋼板の上下縁に溶接したフランジプレートにずれ止めを取り付けてコンクリート床版と接合する方法がある¹⁾。フランジプレートに取り付けたずれ止めを介して接合する場合、波形鋼板の軸方向の伸縮がフランジプレートにより拘束されるため、本来想定した全体挙動と異なったり、ウェブとフランジプレートとの首接合部近傍が複雑な応力性状を示す可能性が大きいといえる。

そこで、フランジプレートを有する接合方法による波形鋼板ウェブPC橋について、実物大の梁試験体を用いた静的載荷試験および活荷重を想定した繰返し荷重による疲労試験を行い、その測定結果と解析結果とを比較して、全体挙動や、フランジプレートを含めた波形鋼板部の応力性状、ウェブとフランジプレートとの首首接合部付近の疲労耐久性について検討を行った²⁾。

2. 試験概要

2.1 試験体の概要

図-1に試験で用いた梁試験体の一般図を示す。疲労試験において、実構造の応力振幅を評価し、その応力状態での疲労強度を確認するために、実物大の試験体を用いることとした。上下床版の厚さは、モデル橋梁に関する活荷重載荷時の解析により求まる断面力をウェブあたりの応力に換算し、せん断応力 τs と曲げ応力 σs の比率が等しくなるように設定した。波形鋼板(SM490YB)の板厚を9mm、フランジプレート(SM490A)

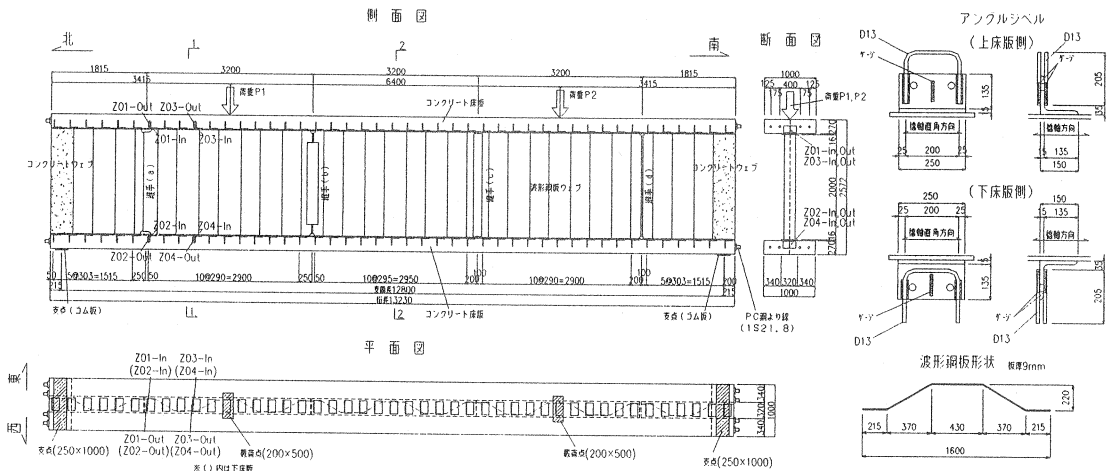


図-1 梁試験体一般図

の板厚を16mmとし、上下床版と波形鋼板ウェブとの接合部には、フランジプレートにアングルジベル(SS400)を溶接する方法を採用した。アングルジベルの配置間隔は300mm程度とした。上下床版には、PC鋼材(1S21.8S, SWPR19L)を、それぞれ4本ずつ配置した。また、本試験体には波形鋼板ウェブに継手を設けているが、それらは(a)1面の重ね合わせ、(b)2面の重ね合わせ・スカラップあり、(c)2面の重ね合わせ・スカラップ無し、(d)突合せ・裏当て金付としている³⁾。

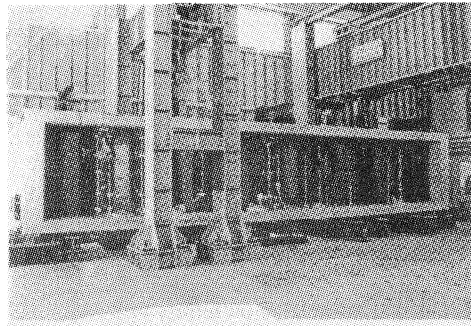


写真-1 試験状況

2.2 試験方法

(1) プレストレス導入時

各種条件を設定するにあたり、支間90m相当のモデル橋梁を想定して平面骨組解析を行った。その結果から、試験体にはモデル橋梁の死荷重作用時の応力状態を再現できるだけのプレストレスを導入した。計測は、軸力に対するフランジプレートの拘束作用や面外の首振り作用に着目し、軸方向のひずみと面外変位について行なった。また、アングルジベルに生じる応力性状にも着目した。

(2) 静的荷重試験

油圧サーボ試験機を2機使用し、図-1に示すように、輪荷重相当の荷重P1, P2の2点荷重(各200×500mm)を行った。図-2に示す荷重ステップを設定し、最大708.5kNで荷重した。計測は鉛直変位について行ない、またプレストレス導入時と同様、フランジプレートの性状に着目して軸方向ひずみ、せん断ひずみおよびアングルジベルの応力性状に関する計測を行なった。

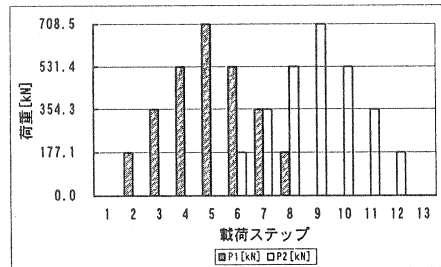


図-2 荷重荷重方法(静的荷重)

(3) 疲労試験

荷重方法は、図-3に示すように、P1, P2に半周期の位相差を与えた荷重振幅708.5kNの荷重を、1000万回繰返し荷重した。また、約50万回の繰返し荷重回数ごとに、図-2に示す荷重ステップで静的荷重試験を実施した。計測は、アングルジベルやウェブ-フランジプレートの接合部近傍に関して行なった。

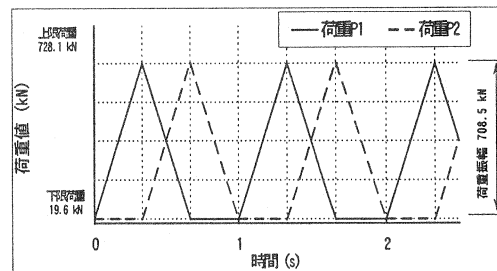


図-3 荷重荷重方法(繰返し荷重)

なお、静的荷重試験および疲労試験において設定した荷重振幅の値を決めるに際し、モデル橋梁のT荷重荷重時の解析結果により、せん断力の卓越している断面のせん断応力振幅を求めた。ここで、試験体について実際に静的荷重試験を行い、主応力の実測値を集計して、継手(a)にモデル橋梁と同じ変動応力振幅が生じるように荷重振幅を求めた。1000万回の繰返し荷重を行なうことにより照査することになる1車線あたりの

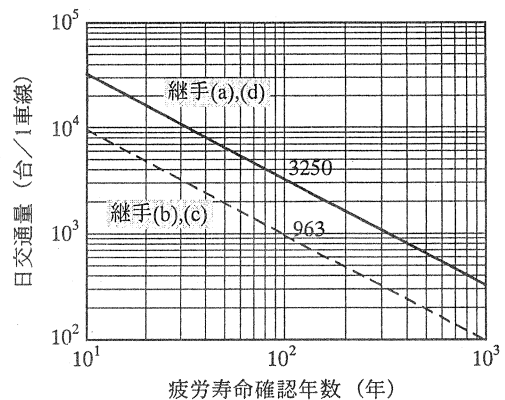


図-4 疲労寿命確認年数

日大型車交通量と疲労寿命確認年数の関係を、図-4 に示す。

また、試験体についてのFEM解析で作成したモデルは、コンクリート部にソリッド要素、波形鋼板ウェブおよびフランジプレートにシェル要素を用いて作成した³⁾。

3. 試験結果および考察

3.1 プレストレス導入時

(1) 軸方向ひずみ

一般に波形鋼板ウェブPC橋の設計において主方向の断面力を算出する場合には、平面保持が成立するという前提で、波形鋼板ウェブを無視したコンクリートの全断面を有効とする。それは、波形鋼板ウェブは橋軸方向の曲げおよび軸力に対して抵抗しないが、ウェブ部材としてせん断力を伝達し、全体としては弾性梁としての性状を示すと考えられるからである。図-5の計算値は、この考え方に基づいて算出したものである。

図-5によると、波形鋼板ウェブ中央部に生じるひずみはわずかであり、アコーディオン効果が確認される。しかし、実測値とFEM解析値は、計算値とは異なり、波形鋼板ウェブにも軸方向のひずみを生じているのが分かる。特に上下床版との接合部付近には、大きなひずみが生じており、フランジプレートによって軸方向力を拘束していることが確認された。

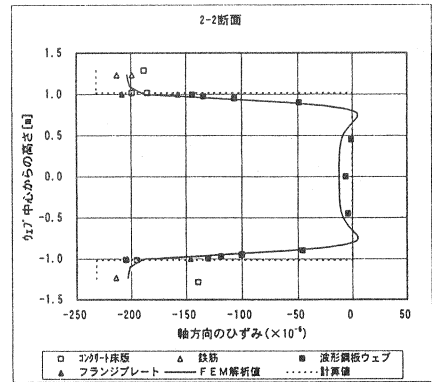


図-5 軸方向ひずみ

(2) 面外変形

図-6により、波形鋼板ウェブは軸力を加えることで、面外方向に変形することが確認された。図-1における1-1断面は西側に、2-2断面は東側に変位していることから、変位の向きは各断面の波形状に関連し、山側は山側へ、谷側は谷側へ変位することが分かる。ただし、波形鋼板ウェブと上下床版との接合部では、面外の変形が拘束されるため、フランジプレート部に首振りを生じることが懸念される⁴⁾。

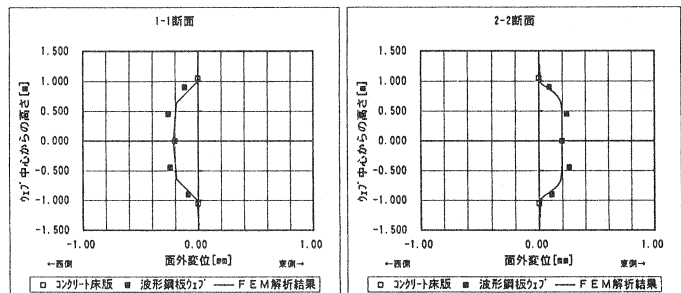


図-6 プレストレス導入時の面外変形

(3) アングルジベルの応力性状

図-7に、フランジプレートに取り付けたアングルジベルに生じた応力度を示す。各アングルとも、表裏で応力度が交番していることから、プレストレスを導入することによってアングルに曲げ変形が生じることが分かる。

また、Z01、Z02はZ03、Z04と比較して、大きな応力が生じている。これは、継ぎ手、特にスカラップの影響が主な要因と思われる。ただし、今回の試験では絶対的なデータ数が不足しており、スカラップが及ぼす影響を定性的、定量的に把握することは

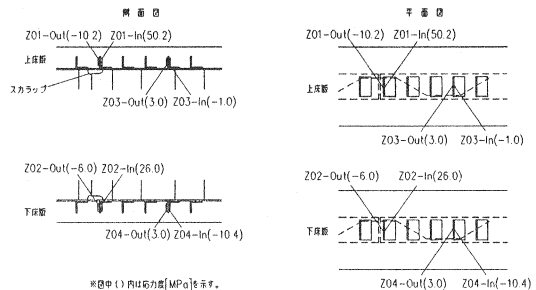


図-7 アングルに生じる応力度

できなかった。

さらに、同一断面に位置するアングルにおいて、上下床版で発生応力が異なっている。これは、上下床版のアングルジベルでは、U字筋の取り付け方向が逆向きであることが影響していると考えられる。

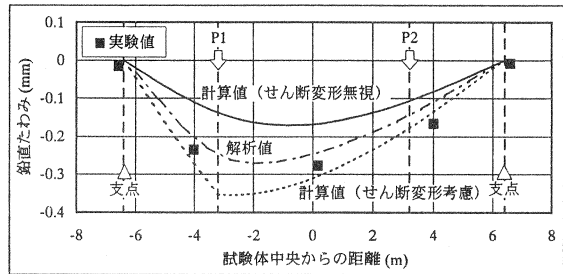


図-8 静的載荷時の鉛直変位 (ステップ5)

3.2 静的載荷試験

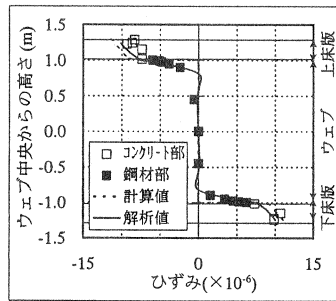
図-12に示すように、最大荷重を単位荷重 100kN とした場合の載荷ステップによる検討を行なう。

(1) 変形性状

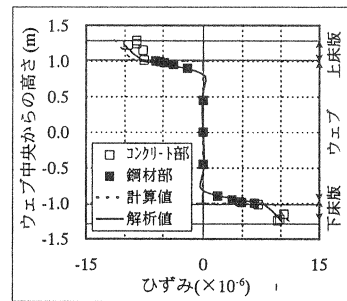
梁のたわみを求める場合、通常は曲げモーメントの効果のみを考慮し、せん断力の影響は無視される。しかし、波形鋼板ウェブPC橋の場合には、せん断変形量を考慮してたわみ量を求めることになっている。ここで、図-8はステップ5における鉛直変位を示したものである。せん断変形を考慮しない場合は実測値の60%程度になる。またFEM解析による値は、実測値の80%程度となる。

(2) ウェブ・フランジプレート

図-9, 10に、それぞれ支間中央断面の軸方向ひずみとせん断ひずみを、桁高方向に整理したものを示す。ここで、図-9によると、プレストレス導入時と同様に、ウェブ中心部に生じるひずみはごくわずかであるが、接合部近傍のひずみが大きく生じており、フランジ

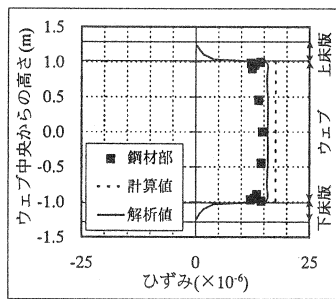


(ステップ5)

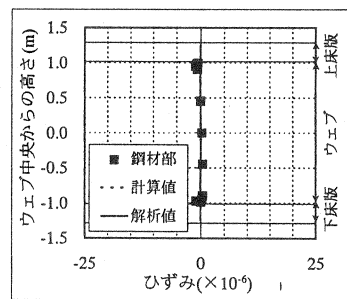


(ステップ7)

図-9 軸方向ひずみ



(ステップ5)



(ステップ7)

図-10 せん断ひずみ

プレートが軸方向の変形を拘束していることが確認される。また図-10の計算値は、せん断力を受持つのは波形鋼板ウェブのみであるという仮定で算出したものである。実測値は、計算値と比較して80%程度のひず

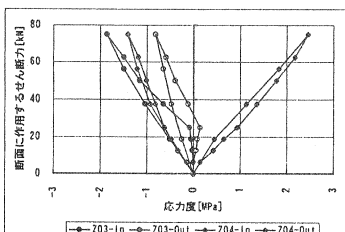
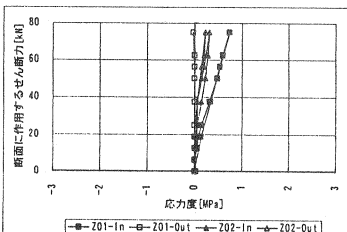


図-11 アングルに生じる応力度

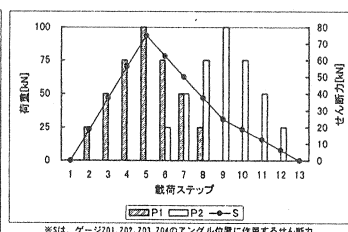


図-12 載荷ステップ

みを生じていることがわかる。これは、上下床版で負担するせん断力により生じる差であると考えられる。

(3) アングルジベルの応力性状

図-11 は、アングルジベルに生じる応力度と、断面に作用するせん断力との関係を表したものである。これによると、アングルに生じる応力度は作用せん断力の変化に対し線形を保っており、アングルジベルがずれ止めとして有効に作用していることが分かる。

3.3 疲労試験

(1) アングルジベル

図-13 は、本試験体で波形鋼板と上下床版を接合する部材であるアングルの疲労特性を示している。この図によると、特に Z03-In, Z04-In の応力度が増加する傾向を示している。これは、繰返し载荷によって、ジベルとコンクリートとの間に付着切れを生じたものと思われる。

(2) ウェブ・フランジプレート

図-15, 16, 17 に、波形鋼板ウェブと上下床版の接合部付近のウェブ・フランジプレートについての疲労特性を示す。図中の応力範囲 $\Delta\sigma$ は、静的载荷試験時の载荷ステップ 5 における直応力をプロットしている。また、図中で各部の比較対象とする強度等級は、次の考え方にに基づき決定した。

- ・軸方向応力 (ウェブ側)
 - 公称応力の縦方向すみ肉溶接 (JSSC D)
- ・軸方向応力 (フランジプレート側)
 - 非仕上げで荷重非伝達型のホットスポット応力 (JSSC E)
- ・鉛直応力 (止端破壊)
 - 非仕上げで荷重伝達型のホットスポット応力 (JSSC F)
- ・鉛直応力 (ルート破壊)
 - 荷重伝達型のホットスポット応力 (JSSC H)

図-15, 16, 17 によると、1000 万回の繰返し载荷終了時において、いずれの検討箇所についても疲労設計曲線を下回っており、破壊にも至っていない。つまり、各個所とも 1000 万回繰返し载荷時における疲労耐久性を十分有していると思われる。ただし、冷間曲げ部に関しては、打ち切り限界の値に対し余裕の無い場合が多く、疲労耐久性上、注意を要

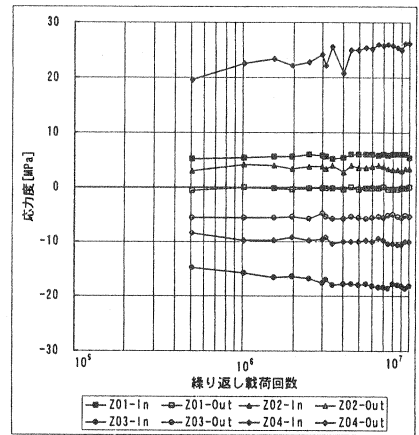


図-13 アングルに生じる応力度

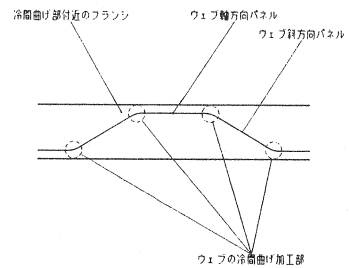


図-14 疲労検討位置

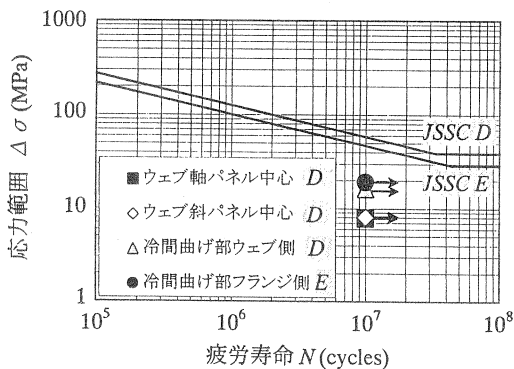


図-15 軸方向応力

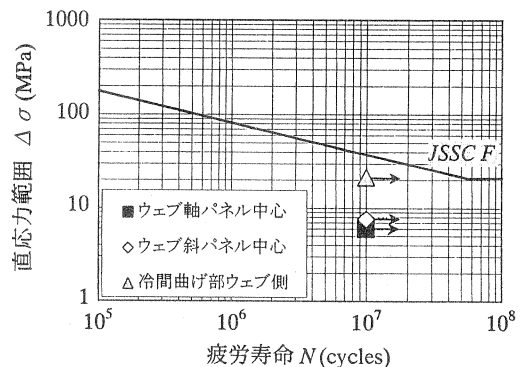


図-16 鉛直応力 (止端破壊)

する個所であると思われる。

4. まとめ

本試験では、フランジプレートを有する波形鋼板ウェブPC橋の全体挙動やフランジプレートを含めた波形鋼板部の応力性状、ウェブと首溶接部付近の疲労性状、および波形鋼板ウェブとコンクリート床版との接合部付近における性状について検討を行い、次のような結果を得た。

- (1) 波形鋼板ウェブは、軸力を受けることによっても面外に変形し、ウェブと床版の接合部は面外変形が拘束されるため、軸力に対してもフランジプレートの首振りが懸念される。
- (2) 波形鋼板ウェブ中央部は軸力に対してほとんど抵抗しないが、フランジプレートは軸力を拘束する作用をする。そのため、波形鋼板ウェブの上下縁付近に大きなひずみを生じさせる。
- (3) 軸力を受けることでアングルジベルは曲げ変形を生じるが、その際、波形鋼板ウェブの継手付近のアングルジベルには、通常よりも大きな応力を生じる場合がある。
- (4) 波形鋼板ウェブPC橋のたわみに対し、せん断変形が大きく影響することが確認された。
- (5) 静的載荷において、アングルジベルに生じる応力変化は作用するせん断力の変化に対し線形を保ち、アングルジベルがずれ止めとして有効に作用していることが確認された。
- (6) 静的載荷により生じる曲げひずみに対しても、フランジプレートによる拘束作用が確認された。また、せん断力は波形鋼板ウェブが桁高方向に一様に受け持つ。
- (7) 疲労試験の結果、アングルの応力が増大する傾向を示した。これは、繰返し載荷によってコンクリートとの付着切れを生じたことが要因であると考えられる。
- (8) 1000万回の繰返し載荷時点では、波形鋼板ウェブとフランジプレートの溶接継手部に異常はみられず、疲労耐久性が確認された⁴⁾。ただし、冷間曲げ部は打ち切り限界の値に対し余裕の無い場合が多く、疲労耐久性上、注意を要する個所であると思われる。

なお、本試験を実施するにあたり、早稲田大学の依田照彦教授には数々の有益なご指導をいただき、ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会：波形鋼板ウェブPC橋 計画マニュアル（案），1998.12.
- 2) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，1993.4.
- 3) 溝江慶久，町田文孝，辻村隆，落合勝：波形鋼板ウェブ溶接継手部の応力性状と疲労耐久性について，第10回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム，2000.10.
- 4) 落合勝，溝江慶久，町田文孝，辻村隆：波形鋼板ウェブPC箱桁断面の横方向曲げに関する静的載荷・疲労試験，第10回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム，2000.10.
- 5) 溝江慶久，勝俣盛，町田文孝，越後滋，辻村隆，落合勝：波形鋼板ウェブPC橋の実物大試験体を用いた静的載荷試験，第55回土木学会年次学術講演会，2000.9.

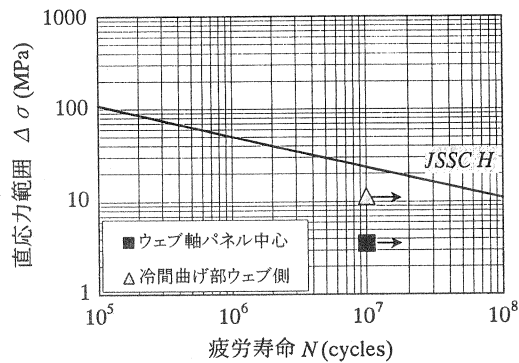


図-17 鉛直応力（ルート破壊）