

波形鋼板ウェブ橋のせん断座屈挙動に関する実験的研究

日本道路公団 試験研究所 道路研究部 橋梁研究室 正会員 ○鈴木 永之
 日本道路公団 試験研究所 道路研究部 橋梁研究室 上東 泰
 (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 永元 直樹

1. はじめに

波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋 (以下、「波形鋼板ウェブ橋」) はコンクリート橋梁の軽量化、構造の合理化などにおいて効果が期待される構造として注目され、その適用例も着実に増えている。その特性から今後は大偏心外ケーブル構造などとの組み合わせによりさらなる長支間化が期待されている。

現在の波形鋼板ウェブ橋の設計においては、作用するせん断力すべてを波形鋼板が受け持つとして設計している。しかし、実際にはコンクリート部分もせん断力を分担すると考えられ、その分担比率が明確になれば、現行より波形鋼板の板厚を薄くすることができ、工費の縮減が可能となる。一方、波形鋼板ウェブ橋の実橋を模擬した箱桁供試体での実験は少なく、また 4 辺をコンクリートにて拘束された波形鋼板のせん断挙動を評価する成果は、得られていないのが現状である。

そこで、今回は波形鋼板のせん断座屈が先行するような破壊挙動を示す、箱桁供試体を用いたせん断座屈実験を行い、その座屈挙動、耐力などを評価することを目的に実験を行った。また、大偏心外ケーブル構造と組み合わせる際には斜めウェブ構造が有効となると考えられるので、供試体は斜めウェブ形状とした。

本稿は、せん断座屈実験結果から、波形鋼板とコンクリート上下床版の分担比率やせん断座屈挙動、および上下床版との接合部について、検証および確認した結果を報告するものである。

2. 実験概要

今回の実験は山陽自動車道小犬丸川橋¹⁾を参考に、実橋の約 1/2 となるように供試体寸法を選定した。また、実験は支間中央への鉛直 1 点の静的漸増载荷によって行った (図-1、2、写真-1)。

なお、実験における確認事項は以下の通りである。

- ① 4 辺がコンクリートにて固定されている波形鋼板のせん断座屈挙動
- ② 斜めウェブのせん断座屈耐力
- ③ ひび割れ進展によるせん断分担率の変化
- ④ 上下床版と波形鋼板との接合部構造の違いによる応力伝達

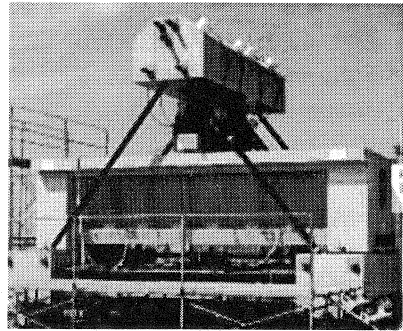


写真-1 載荷状況

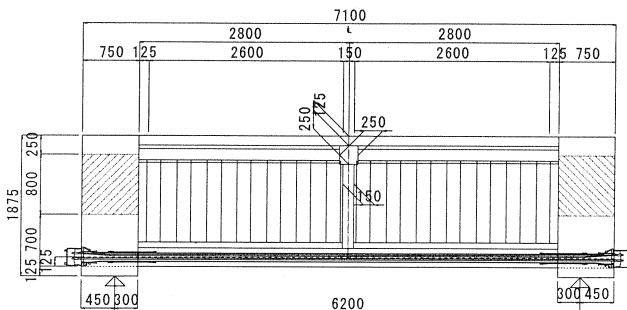


図-1 供試体側面図

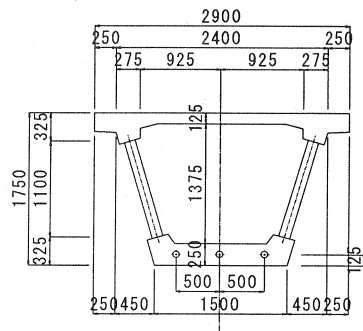


図-2 供試体断面図

3. 実験結果

載荷荷重と支間中央の鉛直変位の関係を図-3に示す。載荷荷重3000kNにおいて支間中央に曲げひび割れが観察された。この荷重は、弾性 FEM 解析より求めたひび割れ発生荷重とほぼ等しかった。また、設計上の終局耐力 (3723kN) を大きく上回る 6250kN に達した際に、片側の波形鋼板がせん断降伏した。その後、波形鋼板が順次せん断座屈していくのが確認された (写真-2)。なお、波形鋼板がせん断降伏するまではファイバー要素を用いた非線形解析に弾性 FEM 解析より求めたせん断変形を足したものと、実験値には工学上、大きな差異は認められなかった。

これまで実橋と同じ箱桁供試体でコンクリートが破壊する前に波形鋼板が座屈した実験はなく、今回の実験がその初めての事例となった。その座屈挙動は波形鋼板のみのせん断座屈実験のような脆性的な座屈ではなく、穏やかな (緩やかな) 座屈進行であり、波形鋼板ウェブ橋のせん断破壊に対する冗長性が確認された。また、せん断分担率の変化については、波形鋼板が降伏するまでは大きな変化がなく、波形鋼板がせん断降伏した後は、波形鋼板が負担できるせん断力がほぼ一様となるため、荷重の増加分だけ分担率が下がってくる傾向を示した (図-4)。

4. 考察

4.1 せん断分担率の評価

前述のように、現在の設計では波形鋼板の板厚を決める際に、作用するせん断力すべてを波形鋼板が受け持つ (せん断分担率 100%) として設計している。ただし、実際にはコンクリート部分もせん断力を分担するため、実際の波形鋼板のせん断分担率は 50~80%程度になっていると考えられる。このことを設計に考慮すれば、波形鋼板の板厚の設定など、波形鋼板ウェブ橋のより合理的な設計が可能となると思われる。

ここで、せん断力の分担率は波形鋼板とコンクリート部のせん断剛性の比率に起因するが、実橋の終局荷重時を考える場合、コンクリート部にひび割れが生じ、見かけのせん断剛性が低下するため、波形鋼板のせん断分担率が増加することが、既往の実験で確認されている²⁾。また、今回の実験より、波形鋼板がせん断降伏した後は波形鋼板のせん断分担率が低下していくことが明らかになった。

今後、非線形の FEM 解析などでこのせん断分担率の推移を把握することにより、実際の設計においてせん

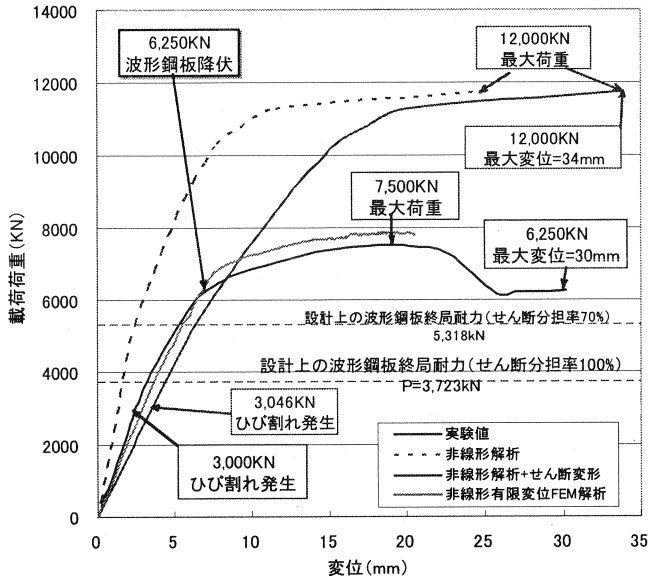


図-3 鉛直荷重とたわみの関係



写真-2 せん断座屈状況

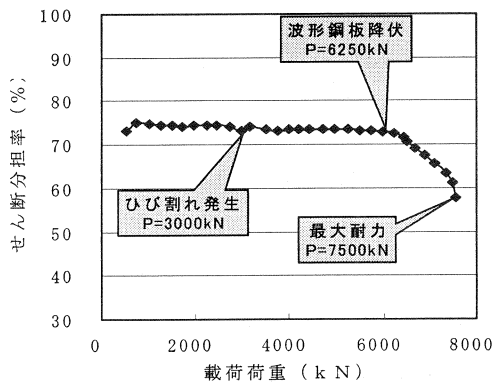


図-4 波形鋼板のせん断分担率

断分担率を考慮することが可能になり、より合理的な設計を行えるようになると考えられる。

4.2 接合部構造について

今回の実験では、接合部構造を比較するために図-5 に示すようにアングル接合とスタッド接合の2種類を用いた。なお、アングル接合については、既往の知見より、疲労強度および経済性の観点から、U字筋を溶接しない構造を採用した。また、スタッド接合に関しては、通常の橋梁において面外曲げモーメントへの抵抗が必要となる本数を配置した³⁾。

試験体の破壊順序は、①下床版コンクリートに曲げひび割れが発生し、②波形鋼板が6250kNから降伏し始め、③続いてせん断座屈が進行するものであった。また、フランジ、スタッド、アングルは波形鋼板が降伏した6250kNを超えた後に降伏しており、波形鋼板と比較しても十分な安全性をもっていたといえる(図-6, 7)。

また、橋軸方向の水平ずれ変位に関しても、最大荷重の7500kNまでは両接合部とも0.2mm程度とごく微小なずれ変位量であった。また、波形鋼板がせん断座屈した後でもそのずれ量は0.6mm程度であり、構造系が変化

図-5 接合部構造図

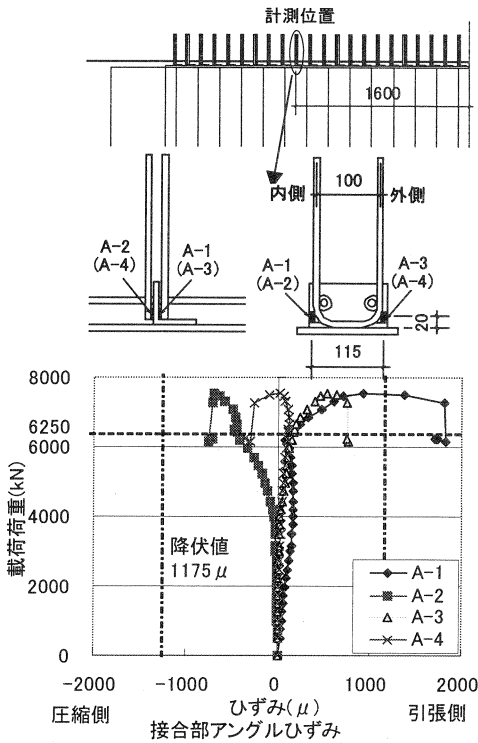


図-6 アングルジベルのひずみ計測結果

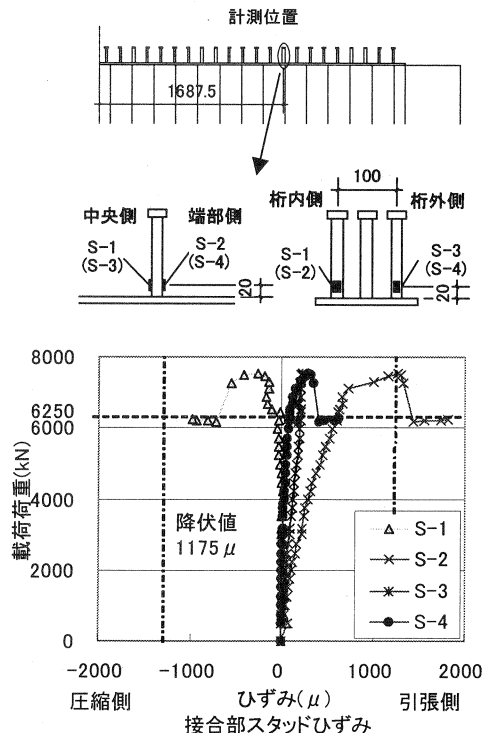


図-7 スタッドジベルのひずみ計測結果

するようなずれ変形は認められなかった (図-8)。

このことから、アングル接合、スタッド接合とも適切な設計を行うことによって十分なせん断伝達性能が確保できるといえる。また、既往の研究成果³⁾ からアングル接合、スタッド接合とも面外曲げに対して十分な安全性を確保できることが明らかになっていることも考慮すると、双方の構造とも実橋への適用が可能と考えられる。

5. まとめと今後の展望

今回の実験では、上述のようにコンクリートで4辺を囲まれた波形鋼板のせん断座屈挙動が緩やかに進行すること、設計で考慮しているせん断耐力までの挙動はファイバーモデルを用いた非線形解析と弾性 FEM 解析を組み合わせることで評価が可能であることなどが明らかとなった。今後、波形鋼板ウェブ橋の計画、設計を合理的に行うために、以下のことが望まれる。

(1) コンクリートの損傷とせん断分担率の変化

コンクリート部と波形鋼板とのせん断分担率は、それらのせん断剛性の比率に起因する。今回の実験ではせん断破壊先行型の設定としたため、波形鋼板がせん断降伏に至るまでにコンクリート部のひび割れが少なかった。このため、コンクリート部の見かけのせん断剛性の低下が少なく、波形鋼板が降伏するまでせん断分担率はほぼ一定の値を示していた。一方、実際の橋梁においては、波形鋼板が降伏する前にコンクリート部に曲げひび割れ、せん断ひび割れが発生し、コンクリート部の見かけのせん断剛性が低下する。このことによって、波形鋼板のせん断分担率が増加する²⁾。

今後、このせん断分担率の変化を明らかにすることによって、現在の波形鋼板ウェブ橋の設計で行っている作用せん断力すべてを波形鋼板で抵抗する (せん断分担率 100%) として波形鋼板の板厚を選定する手法から、実際のせん断分担率を考慮した設計へ移行することが可能となり、より経済的な設計が行えるようになると考えられる。

(2) 上下床版との接合構造

今回の実験では、アングル接合とスタッド接合の2種類を用いた。その何れも波形鋼板がせん断座屈するまで耐力は確保されており、ずれ変形量も微少であった。さらに、既往の面外曲げに対する研究成果において、両構造とも十分な耐力を有することが確認できていることも考慮すると、アングル接合、スタッド接合とも適切な設計を行うことによって実橋への適用が可能であるといえる。

6. 謝辞

今回の研究は、平成13年度～平成14年度行われた日本道路公団試験研究所と社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会の共同研究「波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋の大偏心 PC ケーブル適用に関する研究」の一環として行われたものである。本研究に際して貴重なご意見、ご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

<参考文献>

- 1) 藤岡正男、中菌明広、春日昭夫、永元直樹：小犬丸川橋 (波形鋼板ウェブ橋) の設計、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論文集、2001.10
- 2) Sogo, F. Abe, T. Kasuga, A. Nagamoto, N.: Design And Construction of Koinumarukawa Corrugated Steel Web Bridge, fib2002 Osaka Congress, 2002 Oct.
- 3) K. Shito, Y. Kamihigashi, N. Suzuki, T. Tsujimura, M. Sakurada, F. Machida : Study on Transverse Behavior of Connection Between Concrete Slab And Corrugated Steel Web, fib2002 Osaka Congress, 2002 Oct.

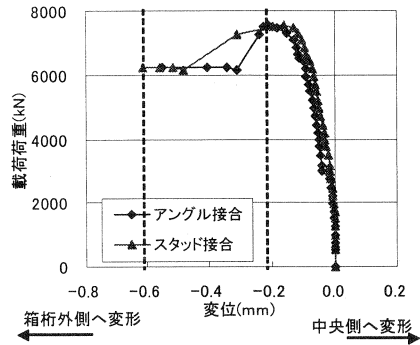


図-8 接合部の橋軸方向水平ずれ変位