

波形鋼板ウェブのせん断耐荷力に関する解析的研究

早稲田大学大学院理工学研究科 学生会員○土屋 奏
早稲田大学大学院理工学研究科 会員 上村 知範
早稲田大学大学院理工学研究科 フェロー 依田 照彦

1. はじめに

近年の建設業界では、熟練現場労働者不足・建設コスト縮減・作業環境の改善・安全性の向上等の問題に直面している。その解決策として、施工性・安全性に優れ、さらには工期の短縮化を可能とする構造形式が重要視され、それに答えうるものとして、鋼・コンクリート複合構造が期待されている。

一つの複合構造の橋梁形式として、主桁に波形鋼板ウェブを用いた箱桁断面を有する鋼・コンクリート複合構造橋梁が挙げられるが、波形鋼板の力学的挙動はすべてが定量化されているとは言えず、未解明の段階にあるものが多い。

そこで、本研究ではこのような背景を踏まえ、有限要素法の汎用ソフト“ABAQUS”を用いて弾塑性非線形解代表的な力学的挙動であるせん断による全体座屈・連成座屈挙動の評価、次に波形鋼板ウェブを用いた全体構造へと拡大し、その安全性等の検討を行う。

2. 解析モデル

図1に本解析の対象である供試体の諸元図を示し、それを元に作成した解析モデル図を図2に示す。波形鋼板ウェブの橋軸方向の波数は11.5波であり、1波長は400mmである。また、本解析において用いた有限要素法の汎用コードABAQUSにおいては、材料定数を決定する際、降伏強度を一意にしか定義できないため、コンクリート破壊後の弾塑性非線形解析が的確に計算できない。そこで本解析において、コンクリート床版の材料定数については、表2に示す2TYPEのコンクリート構成則を定義した。さらに両TYPEともに、波高d=20, 30, 40, 60mmの4種類のモデルを作成し解析を行い比較検討した。なお、本構造において波形鋼板ウェブと上下コンクリート床版とは孔あきジベルにより接合されているのであるが、本解析においてはバネ要素を用いて工学的に近似した。その際、過去の研究結果より、表2に示すバネ定数を用いた。さらに鋼・コンクリート間の付着については、様々な比較検討の結果、付着力 ≈ 0 (隙間を空ける)と近似し解析することが最も妥当であると判断し、本解析では、波形鋼板ウェブの要素とコンクリート床版の要素は互いに節点を共有していない。つまり、波形鋼板ウェブとコンクリート床版とは、孔あきジベルバネによってのみ接合されているということになる。

3. 解析概要

各モデルとも中央2本のリブ直上の中央2点において鉛直方向に強制変位を与え、両方の支点において反力を計算し、荷重を逆算した。境界条件としては、両端固定ヒンジとした。ただし、回転に対する支持条件については橋軸および鉛直方向回りの回転は固定し、面外方向回りの回転は可動とした。

また、左右支点上のリブの上端を2点ずつ、合計4点において面外方向を固定し、横倒れ防止措置をとった。

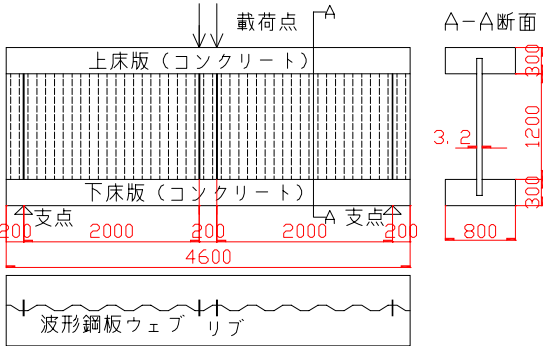


図1 解析対象の供試体諸元図(単位：mm)

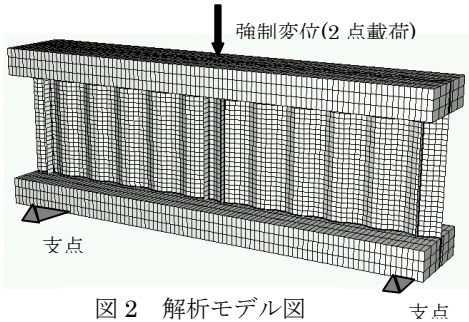


図2 解析モデル図

表1 引張側(下)コンクリート床版の材料定数

TYPEA	引張強度=20N/mm ²
TYPEB	プレストレス分+引張強度=12N/mm ²

表2 バネ定数

	バネ定数
橋軸方向	1.1×10 ⁶ (N/mm)
面外方向	1.1×10 ⁸ (N/mm)
鉛直方向	1.1×10 ⁶ (N/mm)

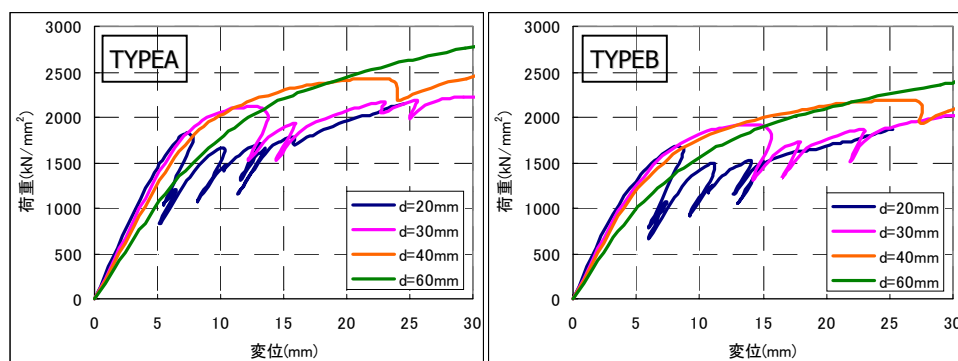


図3 TYPE・波高別 荷重－変位曲線

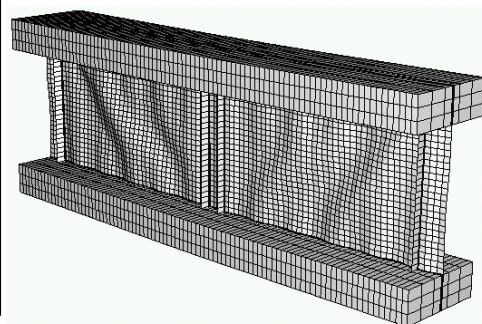


図4 波高 d=20mm における変形図

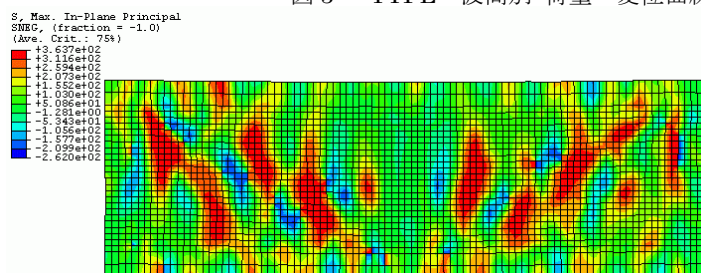


図5 波高 d=20mm における最大主応力図 (N/mm²)

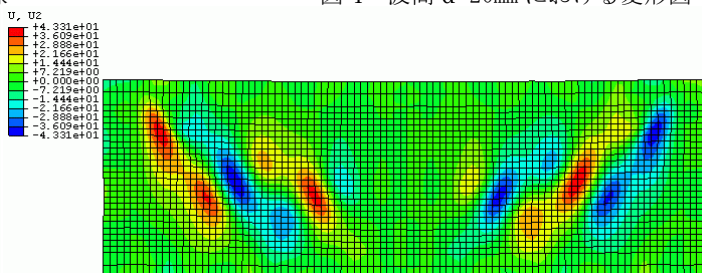


図6 波高 d=20mm における面外方向変位図 (mm)

4. せん断耐力解析における解析結果

図-3 に TYPE・波高別の荷重－変位曲線を示す。まず共通していることとして TYPEA, TYPEB とともに波高 d が大きくなる程耐力が向上していることが分かる。ともに波高 $d=20, 30\text{mm}$ では、座屈直後に急激な耐力の低下がみられる。波高 $d=40\text{mm}$ のモデルでは座屈後の耐力の低下がみられるものの急激なものではないことが分かる。それに対して波高 $d=60\text{mm}$ では、ジベル付近で塑性ひずみがみられるものの、座屈はしておらず、全く耐力の低下がみられない。このことから、波形鋼板ウェブでは波高によっては後座屈強度が期待できないこともあり得る。また、波高 $d=20, 30\text{mm}$ では全体的な座屈を、 $d=40\text{mm}$ では局所的な座屈を呈した。

さらに後座屈強度が低下するモデルにおいても耐力を持ち直しているが、図 5, 6 等からも座屈後に波形鋼板パネルに斜め張力場が生じていることが分かる。

また両 TYPE も波高が大きくなるに従い剛性が低下しているが、このことから、本解析では、波形鋼板特有のアコーディオン効果の影響を適切に表していることが分かる。また両 TYPE とともに、波高 $d=20, 30, 40\text{mm}$ において、座屈し耐力が低下した後の荷重－変位レベル・剛性ともにほぼ等しいものとなっていることが分かる。

また、波高 $d=20, 30\text{mm}$ の荷重－変位曲線において、座屈後の変位の減少がみられるが、これは本解析においては孔あき鋼板ジベルをバネで表現したため、波形鋼板ウェブに座屈が生じた際にバネの反力の影響が生じたものと思われる。

5. 結論

①波形鋼板ウェブでは波高によっては後座屈強度が期待できないこともあり得るので注意が必要である。②桁高／波高比($=\lambda$)をパラメータにとり、座屈強度を検討した結果、波高は 60mm 以上、つまり λ を 20 以下とすることが望ましい。③波形鋼板においては、波高により初期剛性・座屈荷重値・座屈モードは異なるが、座屈後の形式は、波高によらないといえる。

－参考－

波高 $d=20\text{mm}$ の解析終了時における波形鋼板ウェブの最大主応力線図を以下に示す。ただし、引張応力値が最大付近 ($330\sim 360\text{N/mm}^2$) の主応力線のみを取り出した。この図から、解析終了時、波形鋼板ウェブに斜め張力場が存在していることがわかる。

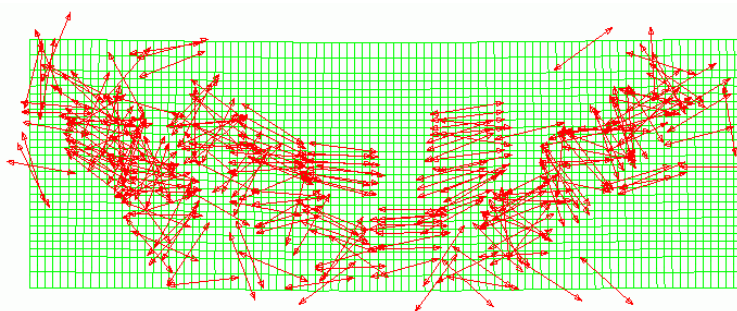


図6 波高 d=20mm における最大主応力線図 (N/mm²)