

複合非線形解析による波形鋼板ウェブのせん断座屈耐力評価

日本道路公団 中部支社
日本道路公団 技術部
鹿島 IT ソリューション部
鹿島 土木設計本部

正会員 池田 博之*1
正会員 青木 圭一*1
正会員 沖見 芳秀*2
正会員 山野辺 慎一*2

1. はじめに

これまでの波形鋼板ウェブの PC 箱桁橋は適用支間が 80m 程度と比較的中規模であり，波形鋼板ウェブのせん断座屈が設計上支配的となることは少なく，座屈が問題となる桁高が大きい場合においては，コンクリートを裏打ちすることにより座屈に対する安全性を確保してきた。

しかしながら，今後の支間の長大化に伴い，大断面の桁を合理的に設計するには，せん断座屈の評価精度を向上させる必要がある．そこで，複合非線形解析法を設計に適用するために，波形鋼板ウェブのせん断座屈実験とそれに基づくシミュレーション解析を行い，解析手法の妥当性を確認した。

2. 解析方法と試験体の選定

波形鋼板ウェブのせん断座屈の評価に対しては，幾何学的非線形性を考慮した 3 次元有限要素解析が必要と考えられる．本検討では，複合非線形解析プログラム「SLAP¹⁾」を用いることとした。

表-1 に示す No.1 および No.2 の既往の試験体²⁾について，シミュレーション解析を行い，鋼板の応力-ひずみ関係(バイリニアモデルまたは明確な降伏点を持たない多折線)，および初期不整(実測による初期形状を考慮または非考慮)の影響などについて検討した．その結果，幾何学的非線形性を考慮した有限要素法プログラムにより，座屈荷重が精度良く解析できること，荷重-変位曲線は鋼板の応力ひずみ関係に大きく影響されること，および，初期不整は面外変形挙動および座屈モードに与える影響が大きいことが分かった。

既往の試験体諸元が，せん断降伏あるいは弾性座屈のどのような領域にあるかを示したのが，図-1 である．桁高 1.2m で波高 20mm の試験体は非弾性座屈し，同波高 60mm の試験体はせん断降伏が先行した後に座屈する諸元を有している．なお，波高 60mm は実橋と同程度の位置にある。

桁高と波高をパラメータとした解析を行った結果，桁高 1.2m 波高 60mm の試験体は材料非線形性の影響が卓越しており座屈点近傍までは幾何学的非線形性の影響はほとんどないこと，桁高 2.1m 波高 20mm の試験体は，その逆で，幾何学的非線形性の影響が卓越し材料非線形性の影響はほとんどないこと，桁高 1.2m 波高 20mm の試験体は，それらの中間的な挙動を示すことがわかった．解析方法の妥当性の確認としては，幾何学的非線形性の強い領域において妥当性を確認することが重要であると考え，試験体の諸元を支間長 4.2m，桁高 2.1m，波高 20mm，波長 400mm，板厚 3.2mm とした．図-2 に試験体の波形形状を示す。

3. 座屈実験とシミュレーション解析

実験は，図-3 に示すように，単純支持した試験体支間中央を油圧ジャッキにより載荷して行った．試験体のウェブには，面外の変形を測定するために変位計を設置した．解析では，鋼材の応力-ひずみ関係に，テストピースを採取し 1 軸状態の応力-ひずみを測定した結果を用い，初期不整に

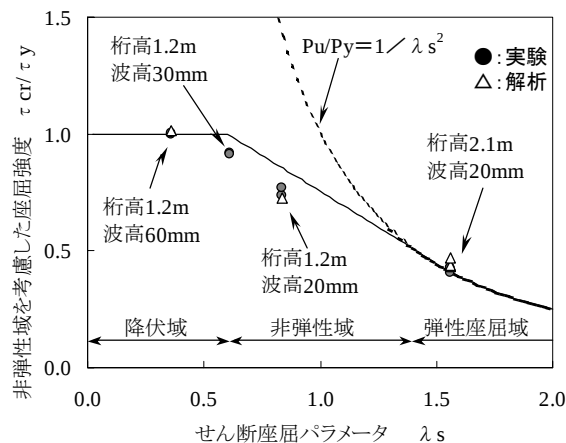


図-1 非弾性を考慮した座屈強度

キーワード：波形鋼板ウェブ，せん断座屈，幾何学的非線形，FEM 解析

連絡先 *1 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 2-18-19 TEL054-222-1699 FAX052-232-3719
*2 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 TEL03-5561-2188 FAX03-5561-2156

表-1 試験体諸元と実験・解析結果

	ウェブ高 h (mm)	板 厚 t(mm)	波 長 p(mm)	波 高 d(mm)	実験結果 (座屈荷重:kN)	解析結果 (kN) *
No.1-1 ²⁾	1200	3.2	400	20	907	894
No.1-2 ²⁾				60	1153	1172
No.2-1	20			998	1003	
No.2-2				941	1020	
No.2-3				995	1087	

*解析結果は、初期不整を考慮した場合

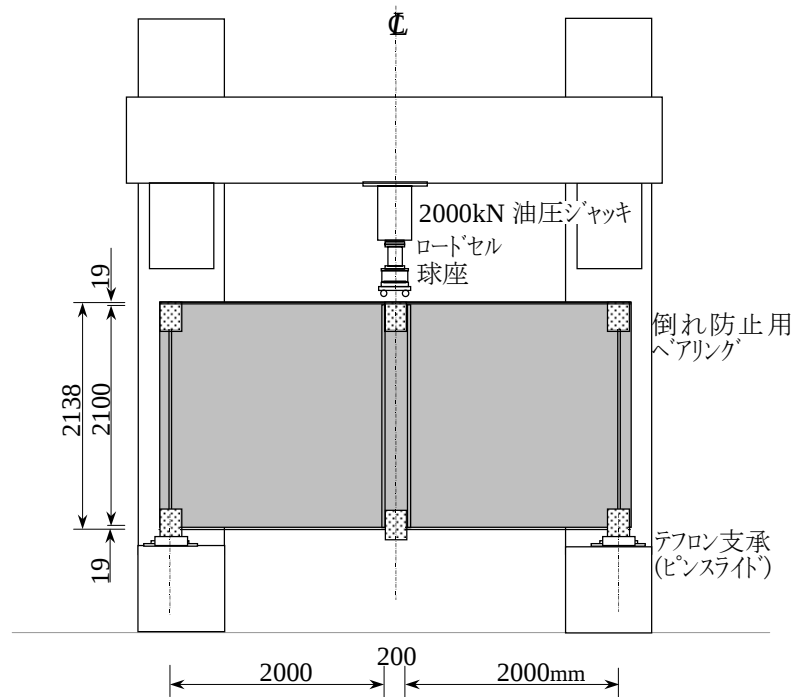


図-3 載荷方法

は実測値を入力した。また、要素分割は、折り目と折り目の間を水平方向に4分割し、鉛直方向にはほぼ正方形メッシュとなるよう86分割(17325節点, 17076要素)とした。

表-1 および図-4～5に、荷重と鉛直変位の関係の一例を、解析結果と比較して示した。解析による座屈耐力は、実験値の±10%以内にあり、十分な精度で予測可能であることが確認できた。また、試験体の初期形状を忠実に考慮することで、座屈を支配する面外変形を精度よく解析できていることが確かめられた。

以上のことから、幾何学的非線形がこれまでの実橋に比べはるかに強い領域においても、せん断座屈耐力や荷重と変形の関係を十分な精度で解析できることが確かめられ、解析手法の妥当性が確認できた。また、初期不整の有無による解析を比較した結果、初期不整を考慮した解析の方がより精度良く解析できるがその差異は小さいこと、面外変形挙動には初期不整が大きく影響していることがわかった。ただし、本検討では支間方向と平行なパネル部で600箇所の初期形状を測定したが、こうした初期不整の評価方法では面外変形挙動や歪分布に対する全体的な解析精度を改善できるものの、実際の初期不整を全て考慮するには不十分であり、今後、設計においてどのように初期不整を設定するかについて検討する必要があると考えられた。

本検討は、(財)高速道路技術センターの「波形鋼板ウェブを有する鋼コンクリート複合構造橋梁の長支間化に伴う技術検討(委員長:渡辺英一京都大学教授)」の指導のもとに行われたものである。ご指導頂いた方々に感謝の意を表します。

[参考文献] 1)沖見他: 複合非線形フレーム解析システムの開発, 土木学会誌, Vol.80, 1995, 2)高速道路技術センター: 波形鋼板ウェブを有する鋼コンクリート複合構造橋梁の長支間化に伴う技術検討, 平成11年度報告書

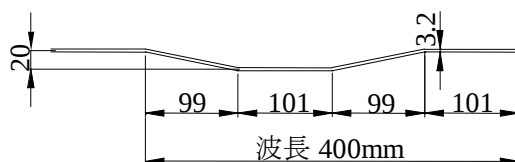


図-2 波形形状

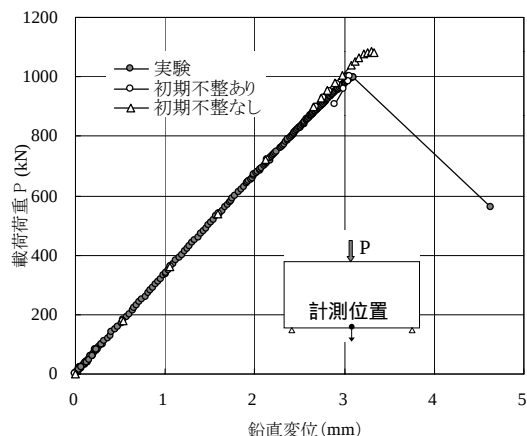


図-4 荷重-変形関係(No.2-1 試験体)

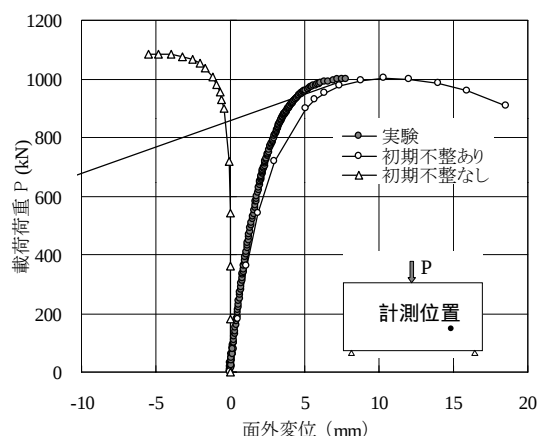


図-5 荷重-面外変形(No.2-1 試験体)