

波形鋼板ウェブをもつ PC はりの三次元非線形構造特性

九州大学大学院 学生会員 松本 高德

九州大学 フェロー会員 彦坂 熙

九州大学 正会員 黄 玲

1. 緒言

近年、橋梁の設計・施工の合理化とコスト削減を目的とした技術開発の一環として、フランジにコンクリート、ウェブに波形鋼板を用いる複合プレストレストコンクリート箱桁橋が採用されるようになった。本研究では、載荷試験結果が報告されている波形鋼板ウェブを持つ PC はり供試体について、ウェブの面内変形と面外変形及びせん断変形とアコーディオン効果の複合作用を正確に把握することを目的として、三次元弾塑性有限要素解析を行い、そのひずみ分布、変形、座屈性状及び耐荷力について考察を行った。

2. 解析モデル

対象とした構造は、図 1 に示すように上下にコンクリート床版を有する波形鋼板 PC はり供試体である。支間長 4.2m、桁高 173.2cm、上下床版は厚さ 25cm、幅 80cm である。支間中央に関して橋軸方向の対称条件を考慮し、1/2 長を解析対象とした。波形鋼板は波高 60mm、板厚 3.2mm、高さ 120cm で、波形パネル長は軸方向、斜方向ともに 109mm である。波形鋼板の上下端には 250×16mm の鋼フランジが溶接され、アングルジベルを介して床版と接合されている。支間中央付近の載荷点、支点上に板厚 22mm の鉛直補剛材が配置されている。上床版には 2 本の PC 鋼棒が配置され、1 本当たり 294kN の緊張力、また下床版には 3 本の PC 鋼棒が配置され、1 本あたり 563kN の緊張力が導入されている。

要素分割を図2に示す。床版・フランジは8節点ソリッド要素、波形鋼板・鉛直補剛材は4節点シェル要素、鉄筋・PC鋼棒はトラス要素でモデル化した。総要素数は約14000であり、そのうち8節点ソリッド要素は約13000、4節点シェル要素は約1000である。

それぞれの材料定数を表1に示す。解析には汎用プログラム Marc 2001 を使用し、各材料の応力-ひずみ関係を図3のようにモデル化した。鋼材にはミーゼスの降伏条件を用い、コンクリートに関しては同条件を引張り域で修正して適用した。

ウェブ	降伏強度	297 (N/mm ²)
	ヤング率	210000 (N/mm ²)
	ポアソン比	0.3
フランジ	降伏強度	403 (N/mm ²)
	ヤング率	210000 (N/mm ²)
	ポアソン比	0.3
	降伏強度	345 (N/mm ²)

表 1 材料定数

ウェブ	降伏強度	297 (N/mm ²)
	ヤング率	210000 (N/mm ²)
	ポアソン比	0.3
フランジ	降伏強度	403 (N/mm ²)
	ヤング率	210000 (N/mm ²)
	ポアソン比	0.3
鉄筋	降伏強度	345 (N/mm ²)
	ヤング率	210000 (N/mm ²)
	ポアソン比	0.3
コンクリート	圧縮強度	58 (N/mm ²)
	引張強度	4 (N/mm ²)
	ヤング率	40000 (N/mm ²)
	ポアソン比	0.234

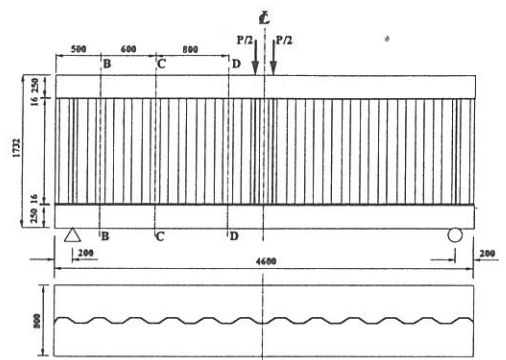


図 1 構造寸法

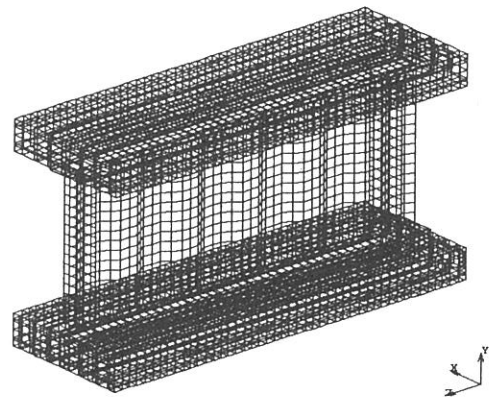


图 2 要素分割图

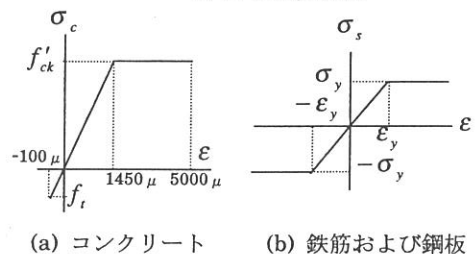


図 3 材料のモデル化

3. 数値解析結果および考察

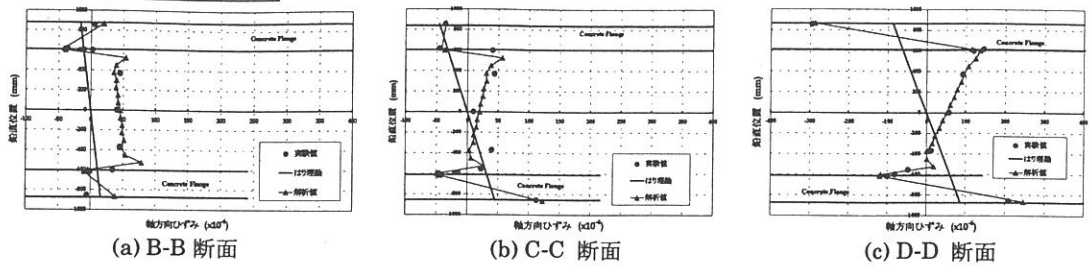


図4 軸方向ひずみ分布(P=1314kN)

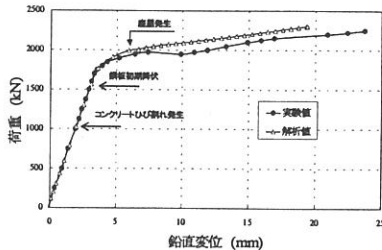


図5 荷重-鉛直変位曲線

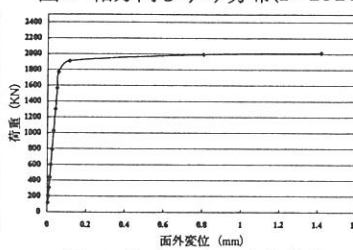


図6 荷重-水平変位曲線

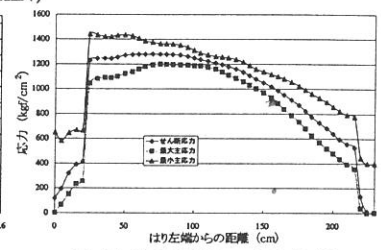


図7 波形鋼板の応力状態

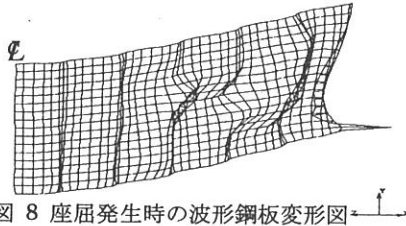


図8 座屈発生時の波形鋼板変形図

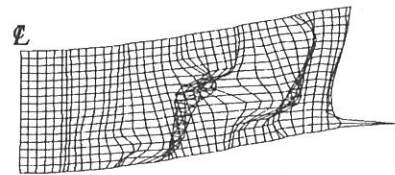


図9 2100kN 載荷時の波形鋼板変形図

P=1314kN 載荷時の軸方向ひずみ分布を図4に示す。図1に示す全ての断面位置において、解析値は実験値とよく合っている。実際の設計に用いられるはり理論値は波形鋼板が曲げに抵抗しないと仮定し、床版のみを考慮して求められている。はり理論値と解析値を比較すると、床版の板厚中心において両者は一致していることがわかる。図5に支間中央における床版最下点の荷重-鉛直変位曲線を示す。解析値はほぼ実験値をシミュレートできている。P=1030kN 載荷時に下床版下面にひび割れが発生し、1570kN 載荷時に波形鋼板に初期降伏が生じ、2000kN 載荷時にせん断座屈が生じたが、座屈後に耐力低下は見られなかった。座屈の判定は図6に示す鋼板の荷重-水平変位曲線により行った。最大水平変位を生じた着目点で、座屈後に急激に変位が増加している。図7にはりの中立面に沿う波形鋼板のせん断応力および主応力の変化を示す。支点と載荷点の中間部では各応力の絶対値がほぼ等しく、純せん断応力場であることがわかる。また波形ウェブの軸方向パネルと斜方向パネルにおけるせん断応力の差異は見られず、支間中央に近いほどせん断応力が減少している。このことより、図8に示すように支点側の波形鋼板にせん断座屈が生じたと考えられる。図9に示すように、荷重がさらに増加すると座屈形状は斜め方向パネルがねじられるように面外変形を起し、ウェブの断面形状が大きく変化していく。

4. まとめ

図3の材料モデルを用いて求められた波形鋼板ウェブをもつPCはりのひずみ分布・耐力は、実験値をほぼ再現することができ、また座屈モードも実験で生じたモードをシミュレートできた。はりに作用するせん断力が一定でも波形鋼板ウェブのせん断応力は一定でなく、支点近傍から支間1/4点の間で高い値を示すことが明らかになった。

参考文献 1) (財) 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報告書，平成13年3月