

1. まえがき

近年、PC箱桁橋の腹板に多用されつつある波形鋼板は、高いせん断耐荷力やアコーディオン効果といった特徴を有している。しかし、そのほかの橋梁形式と比較すると、その歴史は比較的浅い。本研究では、腹板に波形鋼板を用いた長方形や逆台形の合成箱桁を対象に、その終局せん断強度を幅厚比や波形の形状などパラメーターに有限要素法による数値解析で明らかにする。

2. 解析モデル

解析モデルの側面図を図-1に示す。このモデルはせん断強度実験でしばしば用いられている形状で、実験供試体を参考に作成した。わが国における代表的な波形鋼板を用いた合成箱桁橋を参考に、図-2のような断面とした。ただし、解析対象の支点と載荷点には、そこでの応力集中を防ぐため、ソールプレートを用いる。また、桁が中央断面で左右対称であること、箱桁の断面が左右対称であることを考慮し、桁の1/4断面を解析モデルとする。波の形状は、図-3に示す形状を基本形とする。この形状はしばしば用られており、形状係数が0.93である。ここに、形状係数とは、水平長 l と実長 l_1 、 l_2 、 l_3 の合計との比 $\gamma = l/(l_1 + l_2 + l_3)$ である。

3. 数値解析法

せん断力を受ける鋼箱桁の弾塑性有限変位解析に汎用有限要素プログラム“MARC 2001”を採用した。用いた薄肉シェル要素はUp-dated Lagrangian手法で定式化され、非線形代数方程式をNewton-Raphson法と弧長増分法で解いた。また、降伏条件にvon Misesの等価応力式、流れ則にPrandtl-Ruissの塑性流れ則、硬化則に混合硬化則を選択した。せん断力の載荷法として、降伏変位 $\delta_y = 2L\tau_y/G$ を基準に、スパン中央の荷重点に鉛直変位を与えた。

4. 数値解析結果とその結果

(1) 波形鋼板の変形挙動とせん断強度特性：図-3に示す基本形状の合成箱桁において、腹板のせん断応力を検討すれば、図-4に示すせん断応力-鉛直変位の関係を得る。ここに、①は「支点直上付近」、②は「面外変形最大点付近」、③は「載荷点直下付近」である。図-4から明らかなように、②の領域では、せん断応力が最高荷重後に急減する。これに伴って、③の領域ではせん断応力がさらに増え続ける。これは、応力の再配分によるものと考えられる。載荷点直下の下コンクリート床版は、他の部分に比べて曲げモーメントによって早期に降伏する。これによってせん断応力分布が変化したためと思われる。

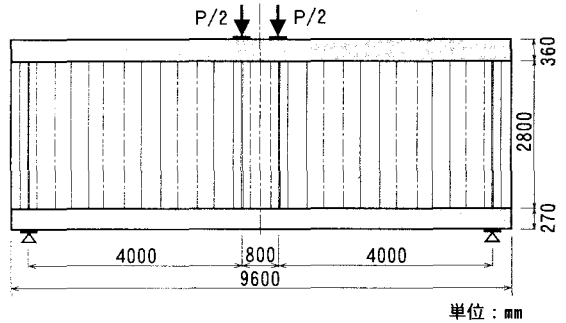


図-1 解析モデル（側面図）

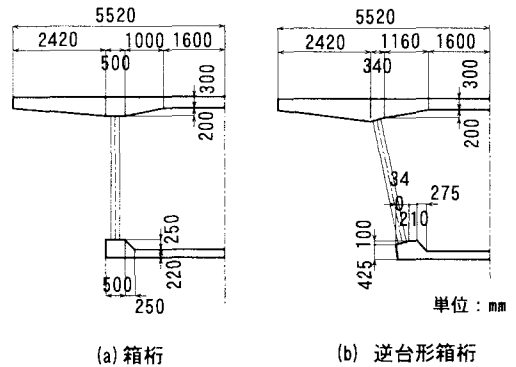


図-2 解析モデル（断面図）

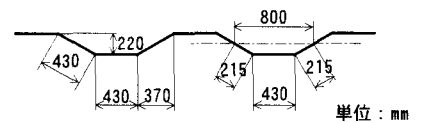


図-3 波の基本形状

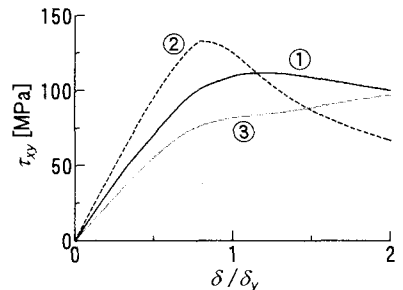


図-4 せん断強度とせん断変位の関係

(2) 幅厚比と波の形状がせん断強度に及ぼす影響：波形腹板の幅厚比が桁のせん断強度に及ぼす影響を明らかにするため、腹板の幅厚比を $h_w/t_w=233, 280, 350(t_w=12, 10, 8\text{mm})$ に変化させて解析した。その結果、図-5 のせん断応力-鉛直変位曲線を得る。ここに、図-3 に示す基本形状の波板を用いた。図からわかるように、幅厚比が大きくなるとともに降伏変位が小さくなり、せん断強度が低下する。同様に、波の形状がせん断強度に及ぼす影響を検討した。その結果、図-6 に示す荷重-変位曲線を得た。図から明らかなように、形状係数が大きく扁平な腹板に近い波板は、劣化域での強度の低下が著しい。すなわち、幅厚比や形状係数が増加するにしたがって、腹板の面外変形が隣接のパネルに超越しやすくなり、波形鋼板特有の波付け加工による補剛材効果がほとんど発揮されずに、腹板が座屈する。そこで、腹板が負担するせん断力を調べた。その結果を表-1 に示す。表から明らかなように、腹板厚の減少や形状係数の増加によって、負担率は減少する。波形鋼板は波付け加工によって高いせん断耐荷力を示す構造形式であるため、腹板のせん断力負担率が低下しすぎると、その利点を最大限に利用できないことになる。したがって、上下床版の断面積が大きい合成箱桁を用いる場合には、腹板のせん断力負担率に注意を要する。

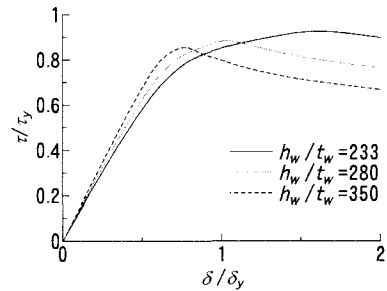


図-5 せん断強度と鉛直変位の関係(幅厚比)

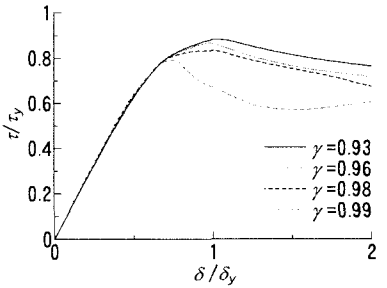


図-6 せん断強度と鉛直変位の関係(形状係数)

(3) 逆台形合成箱桁のせん断強度：腹板の傾斜角を $50^\circ \sim 90^\circ$ の間で 4 種類に変化させ、せん断強度と鉛直変位の関係を調べると、図-7 のせん断応力-鉛直変位の曲線を得る。図から明らかなように、腹板が $\theta = 60^\circ$ 以上に傾くと、極端に強度が低下する。さらに、図-8 の面外変形図からもわかるように、腹板が傾斜するとともに面外変形の発生位置が下床版の方に移動している。これは、せん断応力の最大点が腹板の傾斜とともに下方へ移動したためと考えられる。

5. あとがき

本研究では、腹板に波形鋼板を用いた合成箱桁の変形と強度を有限要素解析によって明らかにした。その結果、上下床版の断面積が大きい波形鋼板は床版が負担できるせん断力も多いため、波形腹板の最大の利点すなわち高いせん断耐荷力を効率的に働かすためには、腹板が分担するせん断力に注意を要する。

参考文献：1) 西田ら：波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋の弾塑性 3 次元非線形解析，鋼構造年次論文報告集，日本鋼構造協会，pp.575-581，2002-11。

表-1 腹板のせん断力負担率

t_w (mm)	形状係数 γ	P_{max}/P_y	τ_{max}/τ_y	腹板 せん断力 負担率
8	0.93	1.161	0.856	0.737
10		1.180	0.883	0.748
12		1.206	0.925	0.767
		1.180	0.883	0.748
10	0.96	1.166	0.867	0.744
	0.98	1.145	0.833	0.727
	0.99	1.104	0.793	0.718

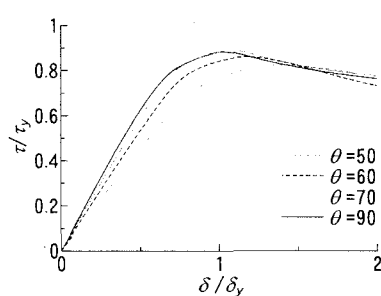


図-7 せん断強度と鉛直変位の関係

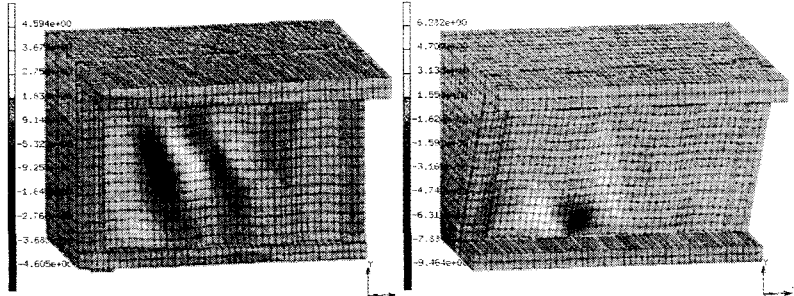


図-8 最高荷重時の面外変形図 ($\theta = 90^\circ$ と 50°)