

関西大学工学部 学生員○廣瀬恵子 松尾橋梁(株) 正会員 明田啓史
 関西大学大学院 学生員 荒木 崇 関西大学工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

国家の緊縮財政政策によって、社会資本整備に伴う経費の削減が強く求められている。鋼橋の製作・施工の合理化・省力化もその一環である。ところで、PC 箱桁橋の軽量化や合理化のため、コンクリート腹板に波形鋼板が採用されるようになった。波形鋼板は、その幾何形状上、フランジへのプレストレス導入の拘束が少なく、せん断強度上も有利である¹⁾³⁾。

本研究では、波形鋼板を腹板に用いた鋼 I 桁を対象に、その腹板の縦横比、幅厚比、波形腹板の形状がせん断座屈強度に及ぼす影響を解析的に明らかにする。

2. 腹板に波形鋼板を用いた鋼 I 桁の解析モデル

PC箱桁橋の腹板に波形鋼板がしばしば用いられる。そのせん断耐荷力と座屈後挙動を明らかにするため、Fig.1に示す解析パネル長 L' 、フランジ幅 b_f 、フランジ厚 t_f 、腹板高 h_w 、腹板厚 t_w の波形腹板を有する鋼 I 桁を用いる。なお、載荷点と支点上の腹板に垂直補剛材を、そのフランジに作用力分散用ソルプレートを設置した。Fig.2に波形鋼板の断面形状を示す。波板の断面形状は、凹凸の半波長における水平長 l' と実長 l_1 、 l_2 、 l_3 の合計との比、いわゆる形状係数 $\gamma = l'/(l_1 + l_2 + l_3)$ で表される。本研究では、採用実績の多い 1 パネル長が 430mm、形状係数が 0.93 の波板鋼板を標準断面にする。Fig.1 から明らかなように、支間中央で左右対称な桁を対象とするため、橋軸方向に半分を解析し支間中央で対称条件を考える。ちなみに、縦横比は波板の 1 パネル長 a と腹板高 h_w との比である。腹板に SM400、その他に SM490Y の鋼種を用い、そのヤング率は $E=210\text{GPa}$ 、ポアソン比は $\nu=0.3$ である。

3. 鋼 I 桁の弾塑性有限変位解析とその手法

せん断力を受ける鋼 I 桁の弾塑性有限変位解析に汎用有限要素プログラム“MARC2000”を利用する。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考察

4.1 幅厚比が鋼 I 桁のせん断耐荷力に及ぼす影響

腹板の幅厚比が $h_w/t_w=168$, 200, 250 の鋼 I 桁のせん断力-せん断変位の関係を図示すれば、Fig.3 を得る。ただし、波板の波長を 430mm、板厚を 8mm, 10mm, 12mm に固定した。腹板の幅厚比はせん断耐荷力に影響

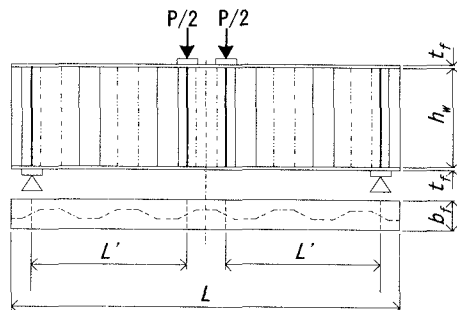


Fig.1 腹板に波板を用いた鋼I桁と載荷状態

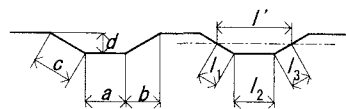


Fig.2 波板鋼板の断面形状

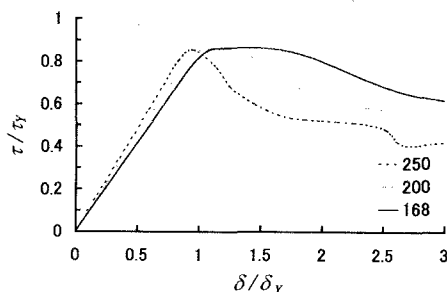


Fig.3 種々の幅厚比 h_w/t_w に対する鋼I桁のせん断力-せん断変位の関係

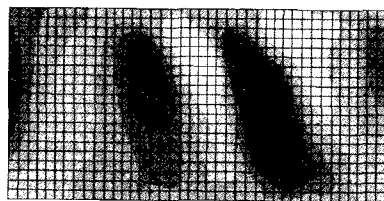


Fig.4 最高荷重時の腹板の面外たわみ分布

せず、鋼 I 桁はほぼ同程度のせん断強度を有することがわかる。しかし、腹板の幅厚比は最高荷重後の劣化挙動に大いに関係し、幅厚比が大きいと変形性能に劣る。

最高荷重時における腹板の面外たわみ分布を図示すれば、Fig.4を得る。ただし、波板の波長が430mm、板厚が10mmの場合である。図から明らかなように、腹板はせん断座屈特有の斜張力場を伴った座屈変形を呈する。また、波形鋼板の特徴も現れ、座屈変形は凹凸からなる波板の腹でほぼ1パネルごとに現れ、波板の斜辺はあたかも垂直補剛材のように働く。

4.2 波板の縦横比が鋼 I 桁の耐荷力に及ぼす影響

種々の縦横比に対するせん断力-せん断変位の関係を求めれば、Fig.5を得る。ただし、波板のパネル長は334mm、430mm、574mmで、板厚を10mmに固定した。図から明らかなように、波板の波長が長くなっても最高荷重は変化しない。ただし、波長が長くなると、波板腹板は扁平な無補剛腹板に近づき、最高荷重後の劣化域での強度低下が顕著になる。それゆえ、せん断力を受ける補剛腹板特有の張力場作用が十分に期待できない。

4.3 波板の形状係数が鋼 I 桁のせん断耐荷力に及ぼす影響

波板の形状すなわち波板の凹凸の深さと波長は、形状係数で表現される。種々の形状係数に対するせん断力-せん断変位の関係を図示すれば、Fig.6とFig.7を得る。ここに、波板の波長は430mm、574mmである。せん断強度は、形状係数が0.99の場合を除いて、形状係数に関わらず、ほぼ一定であることがわかる。

また、波板の波長が574mmの場合に対して、形状係数が小さい場合すなわち波板の凹凸が顕著な場合の荷重-変位関係をFig.8に示す。図から明らかなように、形状係数が0.90の、最も凹凸のある桁のせん断耐荷力の低下が著しい。これは、波長が広くなると、波高が大きくなり、構造上安定性が失われた結果と考えられる。それゆえ、強度上、最適な形状係数が存在する。以上のことから、採用実績の多いパネル長が430mm、形状係数が0.93よりも比較的パネル長が長く形状係数が高い、パネル長が500mmを越え、形状係数が0.96程度でも十分なせん断強度を有している。

5. あとがき

本研究では、採用実績の高い波長より長い波板からなる鋼 I 桁のせん断耐荷力と座屈後挙動を解析的に明らかにした。その結果、波長が長く、形状係数が高いすなわち扁平な波板でも垂直補剛材がないにも関わらず、十分なせん断耐荷力を有しており、より一層の省力化が可能であることが明らかになった。なお、最高荷重後の劣化域において、急激で

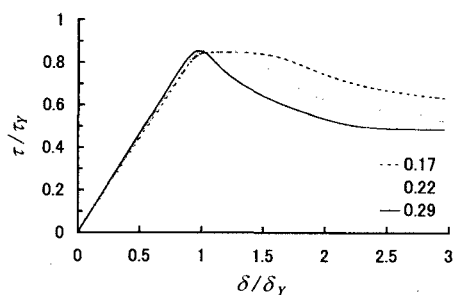


Fig.5 種々の縦横比(a/h_w)に対する鋼 I 桁のせん断力-せん断変位関係

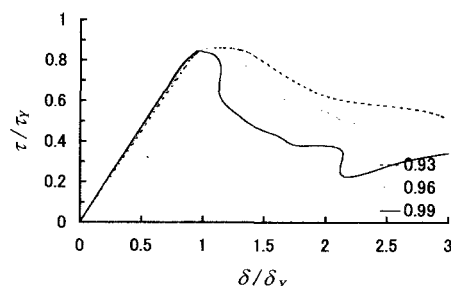


Fig.6 種々の波板形状に対するせん断力-せん断変位の関係(430mm)

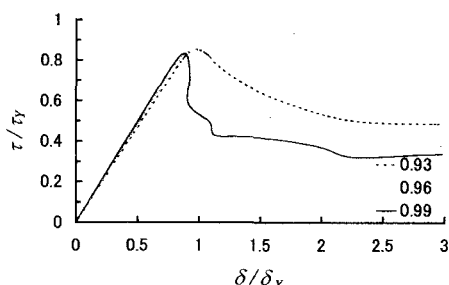


Fig.7 種々の波板形状に対するせん断力-せん断変位の関係(574mm)

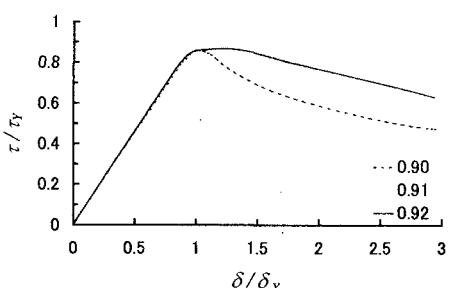


Fig.8 種々の波板形状に対するせん断力-せん断変位の関係(574mm)

参考文献 1)島田：土木学会論文集，No.124，pp.1-10，1965-12. 2)山崎：構造工学論文集，Vol.47A，pp.19-26，2001-3. 3)上村・松本・依田：土木学会第56回年次学術講演会講演概要集，pp.430-431，2001-10.