

純せん断を受ける腹板の垂直補剛材

岐阜大学工学部 正 員 奈良 敬
岐阜大学大学院 学生員 小倉 勉

1. まえがき

将来に備えた高耐久性橋梁建設のため技術革新を進めていくことが要求されている。一般的な多主钣桁橋では、腹板に溶接された垂直補剛材下端の溶接部から疲労亀裂が生じ、それが引張フランジに進展して重大な損傷となって耐久性を損なう場合が多い。そこで、座屈強度のみならず疲労強度向上の観点からも腹板の補剛設計を見直し合理的な垂直補剛材の位置について検討する必要がある。本研究では純せん断を受ける腹板の垂直補剛材を対象に、補剛材長さを変化させて腹板の極限強度の解析を行った。そして腹板および補剛材の挙動を明らかにし、補剛材長さと腹板の極限せん断強度との関係を定量的に評価することにより、疲労に有利な補剛設計について検討する。

2. 解析モデル

Hybrid displacement modelを用いた弾塑性有限変位解析法¹⁾により数値計算を行った。純せん断荷重を受ける腹板の解析モデルを図-1に示す。解析モデルの鋼種は一般的なSM400（降伏応力度 $\sigma_y=2400\text{kgf/cm}^2$ ）を採用した。

(1)断面パラメータ

幅厚比パラメータ R_τ は式(1)で表される。

$$R_\tau = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\tau_y 12 (1-\nu^2)}{E \pi^2 k_\tau}}, \quad k_\tau = 5.34 + 4.0/\alpha^2 \quad (1)$$

E はヤング率、 ν はポアソン比、 $\tau_y = \sigma_y/\sqrt{3}$ である。腹板の縦横比 α は $a/b=1$ とし、腹板厚 t については実橋断面調査²⁾より $t=1.2\text{cm}$ とする。補剛材剛比は式(2)で定義される。

$$\gamma = \frac{E I}{b D} = \frac{12 h_r^3 t_r (1-\nu^2)}{3 b t^3} \quad (2)$$

ここに、 h_r ：補剛材の高さ、 t_r ：補剛材の厚さ。

補剛材長さ s については、補剛材長さを腹板高 b で無次元化した s/b をパラメータとする。

(2)初期たわみ

せん断パネルの初期たわみ波形について縦横2半波形の正弦波形が極限強度に不利な波形である³⁾と考えられるので、次式で与える。

$$W_0(X, Y) = W_{0, \max} \sin(2\pi X/a) \sin(2\pi Y/b), \quad W_{0, \max} = b/150 \quad (3)$$

3. 結果と考察

(1)垂直補剛材の挙動

図-2に示した点における垂直補剛材の X 方向垂直応力度とせん断荷重の関係を図-3に示す。補剛材長パラメータ $s/b=0.75, 0.5, 0.25$ では、垂直補剛材に大きな曲げ応力度が発生する。特に、 $s/b=0.75$ では、 $R_\tau=0.9, 1.1, 1.3$ の場合に補剛材先端部で塑性化する。一方、垂直補剛材が腹板高全長に配置された $s/b=1.0$ では、曲げ応力度はほとんど発生しなかった。以上のことから補剛材長を短くすることにより補剛材には曲げ応力度が発生するものの一部の場合を除き塑性化するほどに顕著ではないことがわかる。

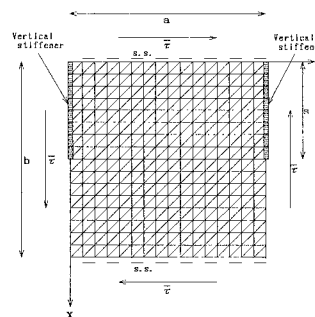


図-1 解析モデル

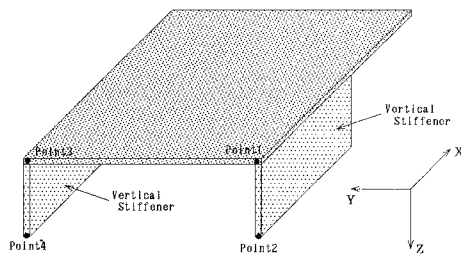


図-2 垂直補剛材の応力を取り出す位置

(2)腹板の挙動

図-4に、極限状態での付加たわみ波形を板厚 t で無次元化して示す。また、極限状態での最大付加たわみ量と補剛材長の関係を図-5に示す。最大付加たわみ量が $s/b=0.5$ または $s/b=0.75$ の場合で大であることが認められる。垂直補剛材が取り付けられている $Y=0$ の辺上でたわみ波形が1半波形となり Z 軸の負方向にたわみが偏るためであると考えられる。また $s/b=0.25$ と $s/b=0.0$ の場合では垂直補剛材で拘束されていない部分の波形が2半波形となり Z 軸の負方向と正方向の両側にたわむ。このため最大付加たわみ量が $s/b=0.5, 0.75$ より小さくなることが理解できる。

(3)補剛材長パラメータが極限強度に与える影響

幅厚比パラメータと極限強度の関係を図-6で示す。 $s/b=1.0$ の場合は幅厚比パラメータを大きくしても他の補剛材長を短くしたものより極限強度はそれほど大きく低下していない。またこの図より $s/b=0.0$ の場合の方が $s/b=0.5, 0.25$ の場合より極限せん断荷重が高いことがわかる。

(4)疲労を観点においた極限強度の検証

疲労に有利な補剛設計を考えたとき、垂直補剛材を短く切り上げることが得策である。さらに製作の省力化も考慮すれば垂直補剛材を省略することが一番有利である。そこで、 $s/b=0.0$ の場合について考える。 $s/b=1.0$ で $R_r=1.1, 1.3$ の場合の極限強度はそれぞれ $s/b=0.0$ で $R_r=0.5, 0.7$ の場合の極限強度より低い。また、 $s/b=0.0$ の場合の極限強度は $s/b=1.0$ の場合の極限強度の8割程度である。このことより R_r や設計荷重を小さくすることにより垂直補剛材を省略することも可能であると考えられる。

4. 結論

計算結果より得られた結論を以下に列挙する。

- (1) $s/b=0.75$ のとき、垂直補剛材に大きな曲げ応力度が発生し補剛材の塑性化が進行する。よって補剛材剛比を上げることにより極限強度の上昇が期待できる。
- (2) $s/b=0.75$ および $s/b=0.5$ のとき、極限状態での付加たわみが他の場合と比較して大きくなる。
- (3) $s/b=0.0, s/b=0.25$ および $s/b=0.5$ の極限強度について比較すると斜め張力場が顕著に現れる $s/b=0.0$ の場合が最も極限強度が高い。
- (4) R_r や設計荷重を小さくすることにより垂直補剛材を省略できる可能性がある。また、垂直補剛材剛比を大きくすることにより垂直補剛材の長さを制御可能であると考えられる。

参考文献 1)Nara, S. and Yamaguchi, H.:Elasto-Plastic Finite Displacement Analysis of Steel Plates under In-Plane Combined Loading, Research Report of the Faculty of Engineering, Gifu University, No.44, pp.25-45, 1994. 2)奈良 敬: 面内力を受ける鋼板および補剛板の極限強度に関する研究, 大阪大学学位論文, 1986年12月. 3)奈良 敬・出口恭司・福本啓士: 純せん断応力を受ける鋼板の極限強度に関する研究, 土木学会論文集, 第392号/1-9, pp.265-271, 1988年4月.

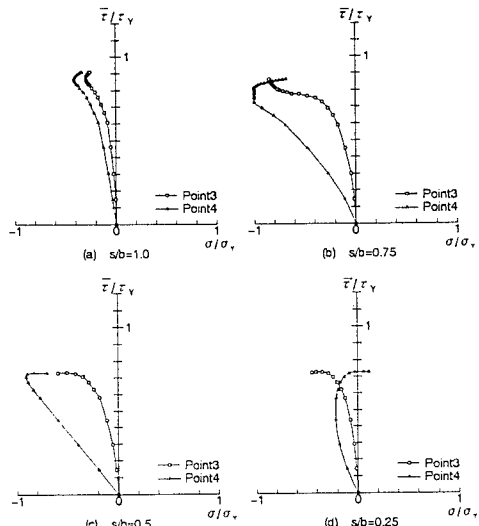


図-3 せん断荷重 - 垂直応力度曲線 ($R_r=1.1$)

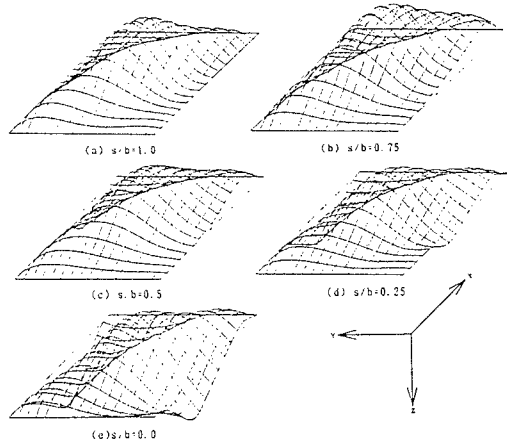


図-4 極限状態の付加たわみ波形 ($R_r=1.1$)

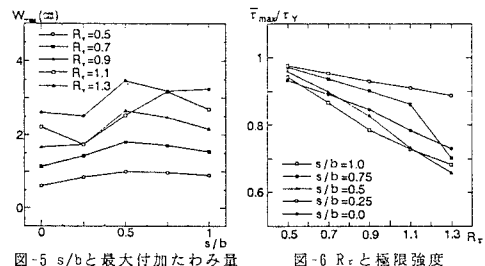


図-5 s/b と最大付加たわみ量

図-6 R_r と極限強度