

補剛箱形断面の鋼部材に対する新たな連成座屈強度評価方法の一検討

首都大学東京 正会員 ○岸 祐介
 国土交通省関東地方整備局 非会員 片桐 愛理
 首都大学東京大学院 フェロー会員 野上 邦栄

1. はじめに

我が国では従来、許容応力度設計体系に基づき多くの構造物が建設されてきたが、世界的な趨勢としてはISO2394に見られるように「性能照査型設計」への移行が進められている。そのような中、従来設計による構造物の力学的挙動においては、設計と実挙動の間に乖離が見られることが指摘されている。そこで本研究では、鋼アーチリブなどに用いられる補剛箱形断面部材を対象に、弾塑性有限要素解析によって連成座屈強度を求め、現行基準との比較を行った。また、耐荷力特性の違いを評価した上で、新たな連成座屈強度評価法の提案を行う。

2. 検討概要

有限要素解析では、曲面シェル要素を用いて補剛断面部材をモデル化した。道路橋示方書では、柱の耐荷力(σ_{cr})と板の耐荷力(σ_{cr1})の積によって連成座屈強度(σ_{cr})を評価している。そのため本検討では、座屈耐荷力の支配的な要因である細長比パラメータ λ および幅厚比パラメータ R_R を応じて部材長と板厚を変化させた。補剛断面では、剛比(γ)も重要なパラメータであるが、今回の検討においては考慮していない。対象断面については、土研資料¹⁾を参考にH8, H14道示によって設計された鋼トラス橋部材の実績データから、図-1に示す1100×1500mmを板厚中心とし、部材幅130mmの縦リブを有する補剛箱形断面とした。

材料構成則は、上述の実績調査結果より代表的な鋼種であるSM490Y材相当の移動硬化型バイリニアモデルとした。弾性係数、降伏応力および2次勾配については図-2に示す通りである。初期たわみについて、柱全体の曲がりは最大値を部材長 L の1/1000、補剛板の平面度は最大値を板幅全体の1/1000および縦リブ間隔の1/150を正弦半波で仮定した。残留応力は、図-3に示すように溶接部が $\sigma_{rt}=1.0\sigma_y$ 、圧縮側が $\sigma_{rc}=0.25\sigma_y$ となり、断面内で自己釣り合いが成立する三角形分布で仮定した。柱軸方向には図-3に示す応力が一様に生じているものとする。

境界条件は、柱の両端を回転支持とし、荷点側では柱軸方向への並進移動するものとした。回転は、柱全体の初期たわみに対して変形が拘束されない方向を許容するものとした。また、荷点は柱軸方向への単調荷重とした。検討ケースの決定に際しては、対象が補剛断面であることを考慮し、道示における補剛板の耐荷力基準を踏まえ、連成挙動によって座屈強度の低減が予想される部材寸法の範囲で検討を行うこととした。その結果、表-1に示すような値でパラメトリックスタディを実施した。

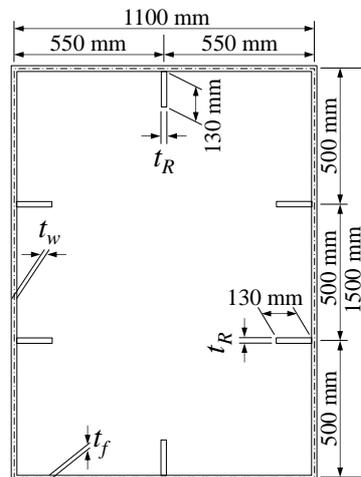


図-1 解析対象の補剛断面

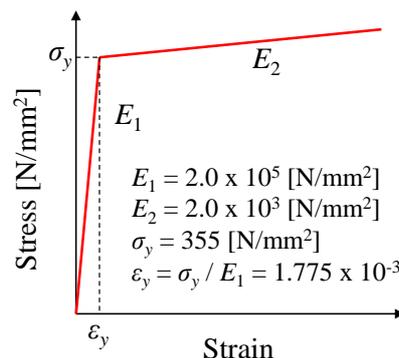


図-2 材料構成則(SM490Y)

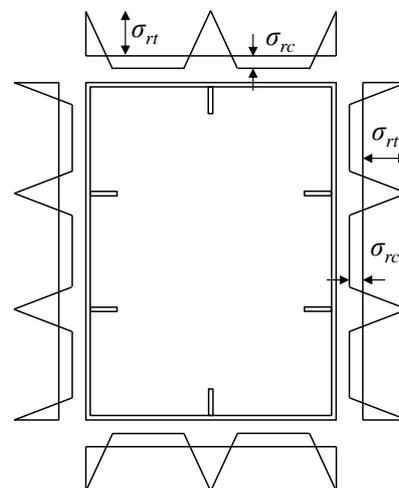


図-3 残留応力分布形状

キーワード 補剛箱形断面, 鋼圧縮部材, 連成座屈, 座屈パラメータ, 初期不整

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 TEL 042-677-2782

3. 有限要素解析結果

図-4 は、縦軸に耐荷力を降伏応力で正規化した値 (σ_{cr}/σ_y)、横軸に換算細長比 λ の値を取って、オイラー曲線、道示の積公式の曲線とともに、各ケースの荷重-変位関係より求めた耐荷力(無次元量)をプロットしたものである。ここで、 $R_R=0.5$ は道示の柱の耐荷力基準(溶接箱形)に一致する。 R_R の値が小さいほど耐荷力が大きく、積公式による評価値と解析値が近似している。ただし、 λ の値が 0.6 以下の範囲で道示基準に比べて解析結果は低い値となっている。これに対し、 R_R の値が大きいケースでは積公式と解析値が乖離しており、現行基準では過度に安全側の評価となっていることがわかる。

図-5 は各モデルの解析結果を、道示の柱の基準耐荷力 (σ_u) で正規化し、横軸に R_R を取って整理したものである。図を見ると、 λ の値によって割合が異なるものの、いずれのモデルにおいても R_R が大きくなるに伴い、柱の耐荷力基準に対する連成座屈強度の割合が小さくなった。また、この傾向は R_R を変数とする 1 次関数に近似しているように見受けられる。

4. 補剛箱形断面材の連成座屈強度評価

上記の傾向より σ_{cr} は、 σ_{crg} に R_R を変数とする関数を乗じることで評価できる可能性がある。そこで、図-5 に示す各 λ の値を線形近似し、 $\sigma_{cr} = \sigma_{crg} (\alpha R_R + \beta)$ のように表すことを試みた。ここで、 α および β についてはそれぞれ、 $\alpha = a\lambda + b$ 、 $\beta = c\lambda + d$ のように表すことを考え、連成座屈強度が 2 つの座屈パラメータによって求められるような形で考えることとした。その結果、得られたのが次式である。

$$\sigma_{cr} = \sigma_{crg} (-0.35R_R + 0.12\lambda + 1.07) \quad (1)$$

上記で求めた評価式について、解析結果との比較を行う。図-6 は図-4 と同様に解析結果を(1)式上にプロットしたものである。積公式による評価と比べ、解析結果との整合性が全体的に改善されている。一方で、 λ の値の小さい短柱領域での推定値には乖離が見られる。これは、道示の柱の耐荷力曲線において $\lambda < 0.2$ が一定となることにより、 σ_{crg} に補正する関数を乗じた場合に座屈強度を低減する影響が大きく表れることが要因である。

5. まとめ

本検討では、補剛箱形断面材に関する連成座屈強度解析を行い、各座屈パラメータの値に対する結果の分布より、現行基準による評価との整合性を確認した。その結果を踏まえ、補剛断面材の連成座屈強度に対する新たな評価方法について、道示の柱の基準耐荷力をベースとして座屈パラメータを取り込んだ評価式を提示した。今後は剛比や初期不整、断面形状の違いによる耐荷力への影響について検討を進める予定である。

参考文献：1) (独)土木研究所，鋼箱形断面圧縮部材の耐荷力に関する検討，土木研究所資料第 4221 号，2012。

表-1 数値計算で変化させたパラメータの値

λ	0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.8
R	0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5

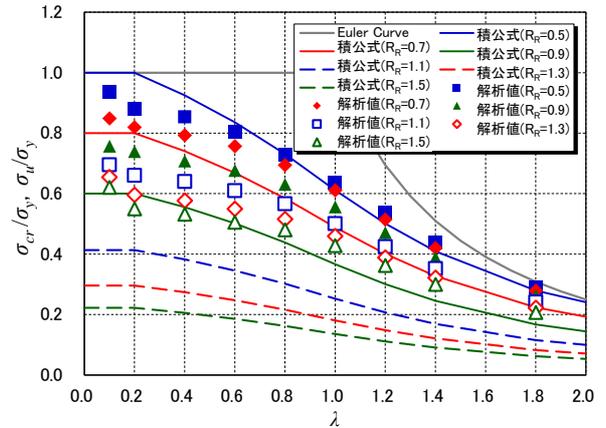


図-4 連成座屈強度曲線 (積公式比較)

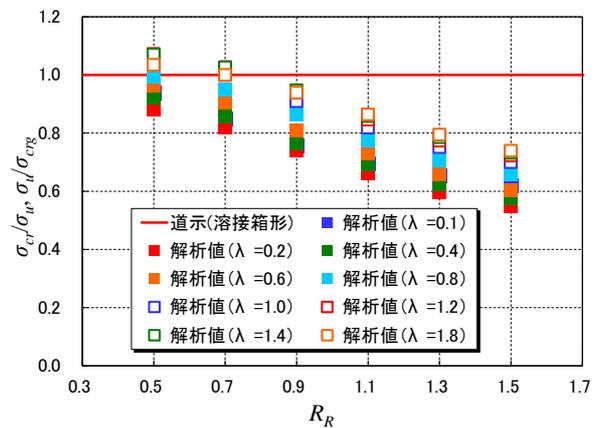


図-5 局部座屈による低減の影響

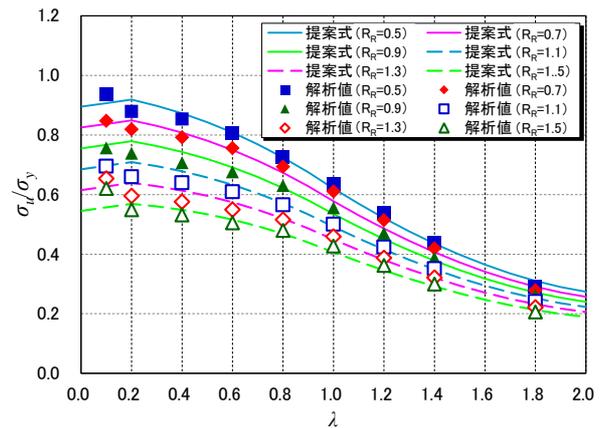


図-6 連成座屈強度曲線 (提案評価式比較)