

補剛箱形断面部材におけるダイヤフラムの有無が連成座屈強度評価方法に与える影響

首都大学東京

正会員 ○岸 祐介

首都大学東京

非会員 鵜池 政行

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. 著者らは, これまでに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てきた¹⁾. ただし, 既往の検討では剛比について考慮しておらず, ダイヤフラムの無い状態で耐荷力の評価を行っていた. 本検討では, 剛比についても考慮した上で, 連成座屈強度評価に関する検討を行い, 既往の研究成果との比較・検討を行う.

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. 数値解析モデル作成に当たり, 部材寸法は2つの座屈パラメータの値に基づいて求めた. 現行の道路橋示方書(以降, 道示)では, 連成座屈強度(σ_{cd})を柱の耐荷力(σ_{cag})と板の耐荷力(σ_{cal})の積によって評価している. これを踏まえ本検討では, 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 に応じて部材長と板厚を決めた. また, 文献1)では考慮していなかったが, 剛比(γ)についてはH24 道示および鋼道路橋設計便覧に従い, 補剛版の辺長比(α)について $\alpha \leq (1+n\gamma_s)^{1/4}$ となるようにリブおよびダイヤフラムの寸法を求めた. 対象断面については, 土研資料²⁾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を板厚中心とする補剛箱形断面とした. ただし, 本検討では縦リブについても断面設計を行っており, 文献1)と寸法が異なる.

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(図-2). 初期たわみについて, 柱全体の曲がり最大値を部材長 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.

境界条件は, 柱の両端を回転支持とし, 載荷点側では柱軸方向への並進移動するものとして, 柱軸方向に単調載荷した. 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を含む, 表-1に示すような値で検討を行うこととした.

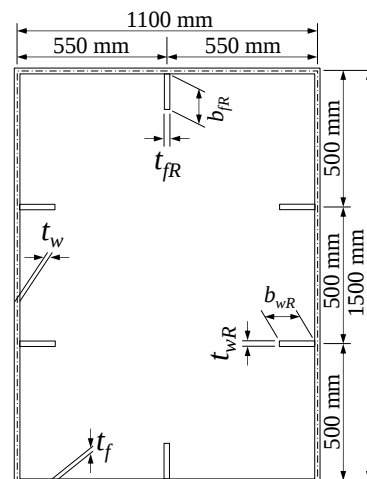


図-1 解析対象の補剛断面

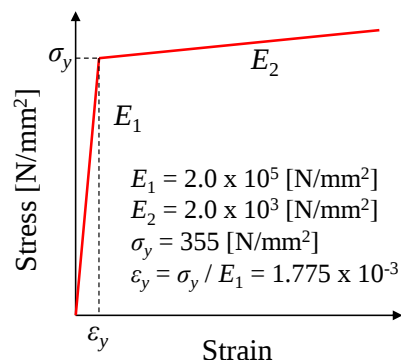


図-2 材料構成則(SM490Y 相当)

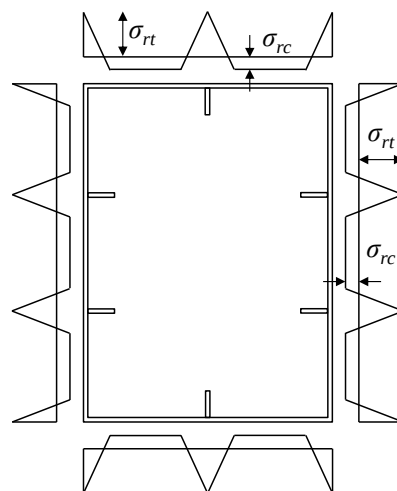


図-3 残留応力分布形状

キーワード 補剛箱形断面, 圧縮部材, 連成座屈, 座屈パラメータ, ダイヤフラム

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京都市基盤環境コース TEL 042-677-1111(内 4572)

3. 有限要素解析結果

図-4 は、縦軸に耐荷力 (σ_{cr} , σ_u) を降伏応力で正規化した値、横軸に細長比パラメータ λ の値を取って、各ケースの耐荷力 (無次元量) をプロットしたものである。ここで、 $R_R = 0.3$, 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、積公式の曲線と解析値が近似しており、 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いる。

図-5 は各モデルの解析結果を、道示の柱の基準耐荷力 (σ_{cr0}) 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、ダイヤフラムを設けていないケースでの検討に比べ、 λ の値による R_R に対する変化率の違いが明確に表れた。そこで、ダイヤフラムの有無による連成座屈強度の提案式への影響について検討を行った。

4. 連成座屈強度評価および既往の成果との比較

文献 1) 同様、 σ_{cr} は、 σ_{cr0} 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、 $\sigma_{cr} = \sigma_{cr0} (\alpha R_R + \beta)$ のように表した。また、 α , β についてもそれぞれ、 λ の関数として表すことを考え、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た。その結果、次式を得た。

$$\sigma_{cr} = \sigma_{cr0} \{(-0.46\lambda + 0.13)R_R + 0.04\lambda + 1.18\} \quad (1)$$

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 は解析結果の一部を(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。また、ダイヤフラムを設けない場合は、文献 1) より以下の式となる。

$$\sigma_{cr} = \sigma_{cr0} (-0.35R_R + 0.12\lambda + 1.07) \quad (2)$$

(1)式, (2)式を比較すると、 R_R の係数の形が異なる。ダイヤフラムを設けない場合は定数であるのに対し、ダイヤフラムを設けた場合は λ の関数形となった。係数の形式が異なったのは、ダイヤフラムの有無によって耐荷力の全体的な傾向が異なるためであるが、これはダイヤフラムを設けることによって、初期たわみとして導入する局所的な座屈モードの違いが影響していると考えられる。

5. まとめ

本検討では、ダイヤフラムを有する補剛箱形断面部材に関する連成座屈強度解析を行い、既往の研究成果との比較・検討を行った。その結果、ダイヤフラムの有無により座屈パラメータに対する耐荷力の傾向の違いが、連成座屈強度評価式の係数の違いに表れた。今後、断面形状を変えるなどして検討を進める予定である。

参考文献: 1) 岸, 片桐, 野上: 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, 平成 27 年度土木学会全国大会年次学術講演会概要集, 2015. 2) (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_R	0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5

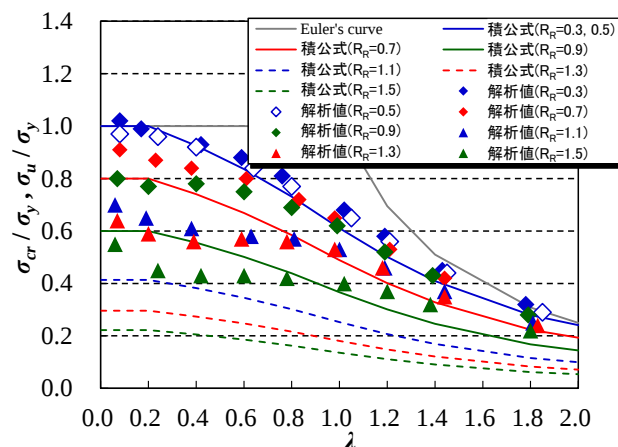


図-4 連成座屈強度曲線 (積公式比較)

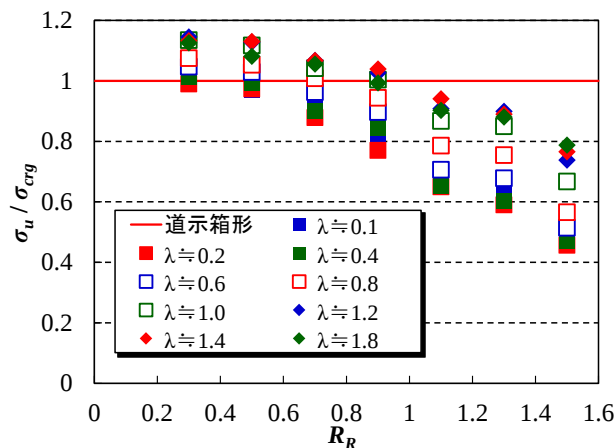


図-5 局部座屈による低減の影響

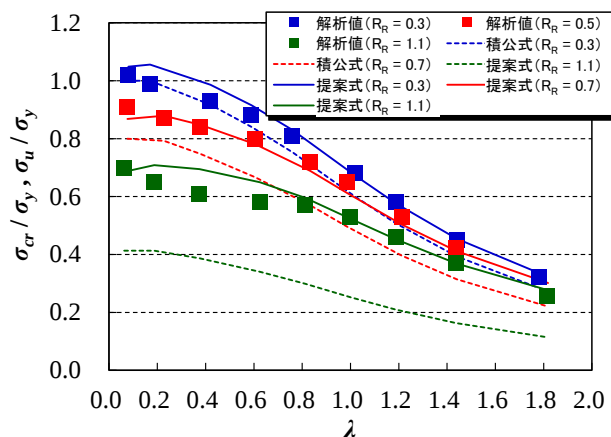


図-6 連成座屈強度曲線 (提案評価式比較)