

第 部門 **矩形断面鋼部材の部材座屈に対する安定性照査についての検討**

大阪大学工学部	学生員	徳永 宗正
大阪大学大学院工学研究科	学生員	橋本 亮
大阪大学大学院工学研究科	正会員	小野 潔
大阪大学名誉教授	フェロー	西村 宣男
大阪大学大学院工学研究科	正会員	奈良 敬

1. はじめに

阪神淡路大震災後、我が国の橋脚の設計は、弾性設計法から塑性化を認めた設計法に移行してきた。しかし、鋼製アーチ橋等の複雑な構造物に対しては終局限界に関する研究が少なく、その塑性域までの耐力及び変形性能は十分に解明されていない。よって、設計実務者レベルのアーチ橋の耐震設計においては現在でも安全性を考慮し、作用させた水平地震力による作用応力度が降伏応力以下となるように設計し、効率的、経済的な設計が行われていない。従って本検討では、既往の鋼製橋脚の実験結果、解析結果を部材座屈に対する安定照査式に適用することで安定照査式の妥当性を検証すると共に、より合理的な照査法の提案を行った。

2. 鋼部材の座屈に対する安定照査式について

道路橋示方書・同解説 鋼橋編¹⁾ (以下「道示」) では、式(1)を応力度表示した式によって部材の安定が照査されている。

$$\frac{P}{P_u} + \frac{M_y}{M_{uy} \{1 - (P/P_{Ey})\}} + \frac{M_z}{M_{uz} \{1 - (P/P_{Ez})\}} \leq 1.0 \quad (1)$$

P : 部材に作用する軸力, P_u : 純圧縮の時の終局荷重

$M_{(y,z)}$: 部材に作用する等価曲げモーメント(図-1のy,z軸回り)

$M_{u(y,z)}$: 軸力が作用しない場合の終局曲げモーメント(y,z軸回り)

$P_{E(y,z)} = \pi^2 EI_{(y,z)} / l^2$: オイラーの座屈荷重(y,z 軸回り)

3. 安定照査式の妥当性の検証方法

本検討では、大阪大学で行われた実験²⁾ (以下「阪大実験」), シェル要素によるFEM解析²⁾ (以下「阪大解析」), 土木研究所等の共同研究で行われた実験³⁾ (以下「土研実験」), 名古屋大学で行われたシェル要素によるFEM解析⁴⁾ (以下「名大解析」) による単柱式矩形断面鋼製橋脚の実験結果, 解析結果を採用した。これらの鋼製橋脚には、圧縮軸力と1軸曲げモーメントが作用していることに留意する必要がある。今回採用した鋼製橋脚の各パラメータの範囲は以下ようになる。

$$0.05 \leq N/N_y \leq 0.50, 0.20 \leq \bar{\lambda} \leq 0.55, 0.28 \leq R_R \leq 0.58, \\ 0.21 \leq R_R \leq 0.61, 0.36 \leq \bar{i} / i^* \leq 4.32$$

本稿で対象とした単柱式鋼製橋脚は図-2 のように片持ちはりモデルとなっている。片持ちはりモデルの有効座屈長は $l=2L$ となるので、図-2 のような、両端ヒンジの部材に置き換えることができる。両端ヒンジで中央部に載荷がある場合、式(1)は式(2)のように表すことができる⁵⁾。

$$\frac{P}{P_u} + \frac{M \{1 - 0.2(P/P_E)\}}{M_u \{1 - (P/P_E)\}} = 1.0 \quad (2)$$

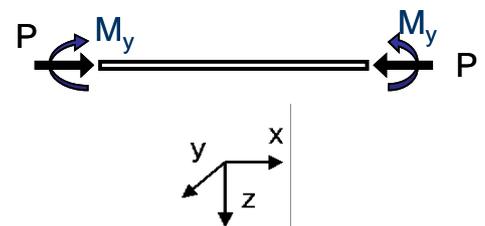


図-1 圧縮軸力と曲げを受ける部材

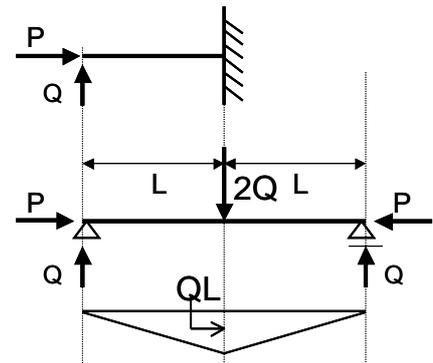


図-2 モデルの置換

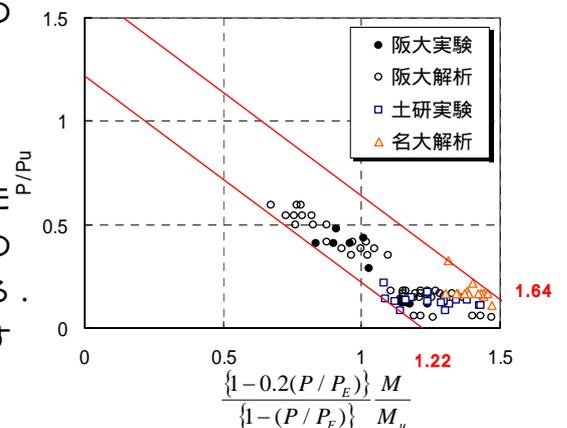


図-3 道示の規定通りに適用した結果

ここで P, P_u, P_E, M は以下のように求めた。

σ_{cr} は軸方向圧縮強度である。

$$P = N, P_u = A\sigma_{cr}, P_E = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}, M = P_{\max} L$$

4. 安定照査式への適用及び安定照査法の提案

鋼製橋脚の終局時の断面力を、式(2)の左辺に代入した時の結果を図-3～図-5に示した。

道示の規定通りに適用した結果

道示の規定に基づき軸方向圧縮強度を算出し、終局モーメントとしては降伏モーメントを採用した時の結果を図-3に示した。横軸は $M \{1 - 0.2(P/P_E)\} / M_u \{1 - (P/P_E)\}$ 、縦軸は P/P_u とした。図-3から、照査式の左辺の値の最小値が 1.22、最大値が 1.64 となった。従って単純に考えると、本検討で対象とした鋼部材の範囲では照査式の右辺を 1.2 まで緩和することができると考えられる。

軸方向圧縮強度、終局曲げモーメントの影響

全体座屈強度、局部座屈強度、共に道示に規定されている下限値曲線ではなく平均値曲線^{6), 7)}を採用し、これらの連成座屈強度は Q-factor 法により求めた。また終局モーメントには、ひずみ硬化を考慮しない全塑性モーメントを採用した。図-4 から照査式の左辺の値の最小値が 1.04 となり、ばらつきを小さくより適切に終局強度を評価できていると言える。

安定照査式の提案

終局時に軸力比が小さく曲げモーメントが卓越する場合は、曲げモーメントが幅厚比パラメータ R_R, R_F の影響を受け、幅厚比パラメータによってばらつくことが分かった。本検討ではそれらの影響を考慮した式(3)のような安定照査式を提案する。横軸を $(R_R R_F)^{0.1} (M/M_u)^{0.9}$ 、縦軸を P/P_u として式(3)に既往のデータを適用した時の結果を図-5に示したところ、最小値が 1.00、最大値が 1.25 となり、ばらつきが 25% と小さくなった。従って提案した照査式は、道示の規定通りに適用した図-3に較べて、圧縮軸力と 1 軸曲げモーメントを受ける部材の終局強度をより適切に評価できていると言える。

$$\left(\frac{P}{P_u}\right)^{1.1} + (R_R R_F)^{0.1} \left(\frac{M}{M_u}\right)^{0.9} = 1.0 \quad (3)$$

5. まとめ

本稿では部材の安定照査法としていくつか照査法を提案した。なお、提案した手法は本稿で対象とした実験供試体、解析モデルと同等の力学パラメータを有し、同等の作用断面力を受ける鋼部材について適用可能であり今後詳細に検討を行う予定である。

【参考文献】1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 鋼橋編，2002年3月。2) 岡田誠司：高軸力が作用する矩形断面鋼部材の耐震性能および評価手法に関する研究，大阪大学博士論文，2005年1月。3) 建設省土木研究所ほか：道路橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書（総括編），共同研究報告書第219号，1999年3月。4) Tsutomu Usami, Shengbin Gao and Hanbin Ge：Stiffened steel box columns. Part 2：Ductility evaluation, EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS, Vol.29, pp.1707-1722, 2000。5) 土木学会：座屈設計ガイドライン，丸善，2005年10月。6) 福本啓士：鋼骨組構造物の極限強度の統一評価に関する総合的研究 研究成果報告書，1989年3月。7) Dwight, J.B.：Collapse of Steel Compression Panels, in “Developments in Bridge Design and Construction”, Crosby Lockwood & Son, 1971。

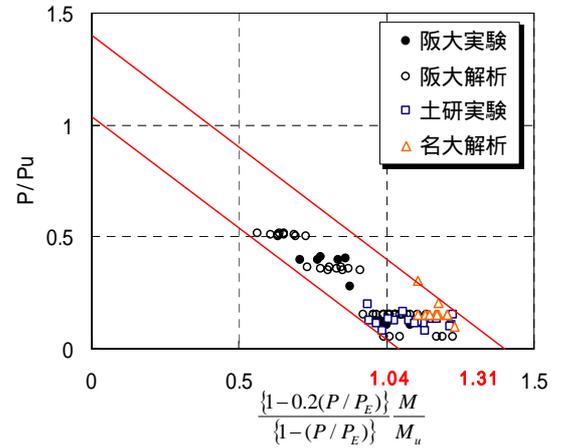


図-4 軸方向圧縮強度、終局曲げモーメントの影響

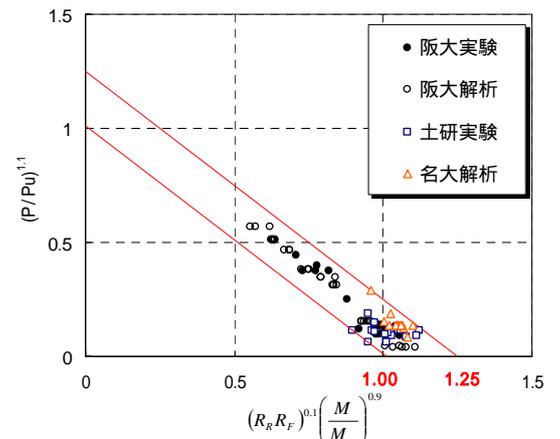


図-5 提案した照査式(3)に適用した結果