

幅厚比の比較的大きい部材を持つ橋梁全体系の耐震解析モデル化手法の一提案

(株)耐震解析研究所 正会員 ○馬越 一也 名城大学 フェロー 宇佐美 勉
 (株)耐震解析研究所 正会員 菅付 絃一 (株)耐震解析研究所 正会員 野中 哲也

1. はじめに

比較的安価なパーソナルコンピュータやワークステーションで大規模な解析が可能となった現代であるが、一般的にはまだ橋梁全体モデルをすべてシェル要素とするのは非現実的である。そこで鋼橋全体系の耐震解析では、1次元の有限要素法であるファイバーモデル¹⁾を用いた複合非線形解析²⁾がよく用いられるようになってきている。ここで、文献²⁾では、部材座屈は幾何学非線形性を考慮することにより解析の中で自動的に考慮されるとあるが、適切に初期不整を考慮しないと有限変位解析は耐荷力を高く評価してしまう³⁾。しかし、橋梁全体系モデルへ部材単位の初期不整の設定は多大な労力と設定値の煩雑さを伴う。

そこで本研究では、橋梁全体系モデルに組み込まれる比較的幅厚比の大きいブレース材を想定して、複合非線形静的解析によって評価される初期不整の影響を考慮した連成座屈強度の確認を既存の実験結果との比較によって行い、端部を剛結とした場合に発生する両端からの付加曲げモーメントが、設定が容易でない全体座屈強度に対する初期不整の代替となるか検討を行った。

2. 解析モデル及び解析手法

本検討では、最も単純な両端ピンの柱をファイバー要素を用いてモデル化し、変位増分による複合非線形解析を行う。解析ソフトは SeanFEM(耐震解析研究所, 2007)を用いて、幾何学的非線形性は有限変位・有限ひずみ・有限回転(Updated Lagrange 法)までを考慮し、反復計算は Newton-Raphson 法を用いている。

局部座屈に対する初期不整の影響は座屈強度推定式に考慮するものとし、構成板要素別に算出された座屈強度に対応するだけ軸圧縮降伏応力度を低減した材料構成則をファイバー要素にそれぞれ設定することで考慮する⁴⁾。

3. 実験値との相関

既存の中心軸圧縮柱の実験⁵⁾と偏心軸圧縮柱の実験⁶⁾から得られた耐荷力(以下、実験強度)と複合非線形解析から算出された耐荷力(以下、解析強度)の相関を調べる。中心軸圧縮柱は、材質が HT80 で、幅厚比は 22 から 44 の間で変化している。偏心軸圧縮柱は、材質が SM570 材で、幅厚比は 29 から 58 の間で変化している。解析強度を算定する際の初期不整の影響は、局部座屈に対する残留応力および板の初期たわみは座屈強度推定式に含まれるものとし、全体座屈に対しての柱中央のたわみは実験時の初期たわみを座標に設定して、残留応力は考慮しないものとした。

図-1 は、縦軸に中心軸圧縮柱と偏心軸圧縮柱の実験強度 $(P_u/P_y)_{exp}$ 、横軸に解析強度 $(P_u/P_y)_{pre}$ を採り、連成座屈強度の相関を比較したものである。図中の破線は誤差が 10%となる境界線である。この図から解析強度は非常によく精度で実験強度と一致しており、初期不整を考慮することで、幅厚比の比較的大きい部材に対しても連成座屈強度は妥当に評価されていることが示されたと考えられる。なお、文献⁷⁾ではこの実験値と Q-factor 法による連成座屈強度の推定値が高い精度で一致していることが実証されている。

4. 提案手法

提案手法は、ブレース材の両端を剛結とすることにより端部からの付加曲げモーメントによる耐荷力低下を期待するものである。従来よりブレース材は両端をピン結合にしてトラス部材としてモデル化することが一般的であったが、大きな塑性挙動を追随して評価する耐震解析は非線形性の強い解析と言えるため、大規模モデルに対してはピン結合よりも剛結合が収束性の観点より優位である。

キーワード ファイバーモデル, 橋梁全体系, 複合非線形解析, ブレース材, 連成座屈強度

連絡先 〒466-0059 愛知県名古屋市中区福江 2-9-33 株式会社 耐震解析研究所 TEL 052-883-0100

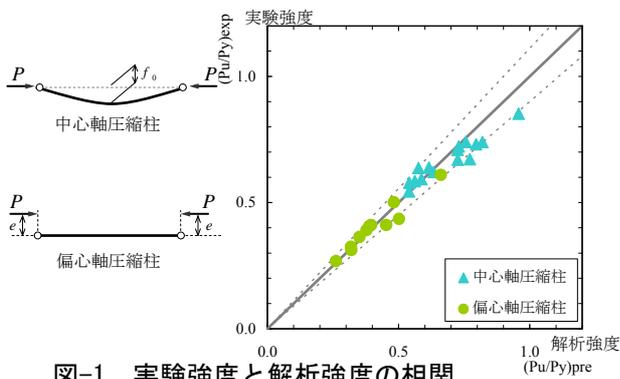


図-1 実験強度と解析強度の相関

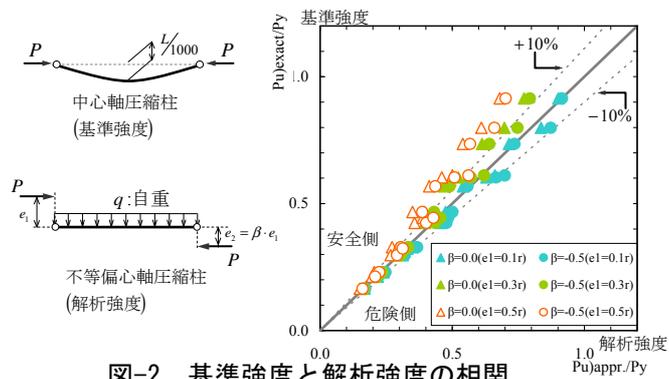


図-2 基準強度と解析強度の相関

橋梁全体系モデルに組み込まれたブレース材の両端を剛結とすることによる付加曲げモーメントの大きさは部材両端で異なるため、不等偏心軸圧縮柱に近いと考えられるが、幅厚比が大きい不等偏心軸圧縮柱の実験は行われていない。そこで、本提案手法の妥当性を検証するため、Q-factor 法⁸⁾により使用頻度の高い細長比を持つ仮想部材の連成座屈強度（以下、基準強度）を算定し、不等偏心軸圧縮柱の解析強度との相関を確認した。検討ケースは文献 3)を参考に細長比 L/r が 50 から 150 の間で変化させた 17 ケースとした。基準強度算定には、全体座屈強度及び局部座屈強度についてそれぞれ文献 7), 文献 9)に示される推定式を用いた。両端剛結とした場合に発生する付加曲げモーメントを想定した不等偏心量は、著者が実施した両端剛結でモデル化したトラス橋（3 橋）に道路橋示方書に示される標準地震波を入力したときの部材両端に発生した曲げモーメントをそのときの軸力で除した等価偏心量の発生頻度より、0.1r, 0.3r, 0.5r の 3 種類に決定した。不等偏心の与え方は、左端の偏心量を 1 とした場合に、右端の偏心量を 0 と -0.5 とした 2 種類とした。

検証に用いる初期不整の条件を整理すると、局部座屈に対する初期不整は基準強度、解析強度算定時ともに局部座屈強度に考慮（板の初期たわみ： $b/150$ 、残留応力： $0.1\sigma_y$ ）して、全体座屈に対する初期不整は、基準強度は残留応力 $0.1\sigma_y$ 、柱中央のたわみ $L/1000$ を推定式にて考慮し、解析強度は残留応力を零、柱のたわみを自重によるたわみとした。

図-2 に基準強度と解析強度の相関を示す。右側にプロットがあると解析強度は基準強度に比べ過度な強度を有していることになり（危険側）、左側だと強度を低く見積もっている（安全側）ことになる。境界条件、荷重条件が異なるものの、偏心量の小さいケースで解析強度は最大で基準強度の 14% 大きい程度で、ほとんどは危険側でも 10% 以下であり、偏心量が 0.3r 以上であれば危険側となるケースはなかった。

5. おわりに

初期不整を考慮したファイバーモデルによる複合非線形解析から得られる耐力と、中心軸圧縮柱と偏心軸圧縮柱の実験から得られた耐力の相関を調べることにより、幅厚比の比較的大きい連成座屈強度の近似的な解析法の妥当性を評価した結果、十分な精度で実験強度を再現することを確認した。更に、橋梁全体系モデルに組み込みやすいように部材端部を剛結とした提案手法で算出した耐力を Q-factor 法による推定強度と比較したところ、提案手法では偏心量が小さい場合に 14% 程度耐力を過度に評価するものの、偏心量が 0.3r 以上であれば $L/1000$ の初期たわみを持つ両端ピンの柱の耐力と等価かそれ以下となる。

本研究は、名城大学「高度制震実験・解析研究センター」の研究課題「高機能制震ダンパーの開発と鋼橋の耐震補強への適用」の一環として行われたものである。

参考文献

1) Nonaka, T. et al., J. of Bridge Engineering, ASCE, Vol.6, pp.482-488, 2001. ; 2) 宇佐美勉編著: 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 2006. ; 3) 宇佐美勉ら, 構造工学論文集 Vol.56A, pp.381-392, 2010.3. ; 4) 野中哲也ら, 第 13 回地震時保有耐力シンポジウム, pp.283-290, 2010.2. ; 5) 宇佐美勉ら, 土木学会論文集, No.308, pp.47-58, 1981.4. ; 6) 宇佐美勉ら, 土木学会論文報告集, No.326, pp.41-50, 1982.10. ; 7) 織田博孝ら, 土木学会論文集, No.543/ I -36, pp.31-40, 1996.7. ; 8) 土木学会: 座屈設計ガイドライン, 土木学会, 2005. ; 9) 宇佐美勉ら, 土木学会論文集, No.441/ I -18, pp.77-85, 1992.1.