

鋼部材の連成座屈強度を近似的に考慮する等価初期たわみ式の提案

名城大学大学院
(株)地震工学研究開発センター

正会員
正会員

〇馬越 一也
野中 哲也

名城大学
名城大学

正会員
フェロー

葛 漢彬
宇佐美 勉

1. 背景

長大橋梁を含む特殊橋梁の耐震補強設計においては、一般に橋梁全体系のモデルを用いた地震応答解析が実施されている。近年では比較的安価なコンピュータで大規模な解析が可能となったものの、橋梁全体系をすべてシェル要素といった高次の有限要素でモデル化するのは現実的ではなく、構成部材のモデル化にははり要素が用いられることが多い。ここで、鋼部材においては、局部座屈、全体座屈及びそれらが連成する連成座屈が橋梁全体の耐震性能に大きな影響を及ぼすことから、座屈強度を適切に評価するために初期不整の影響を考慮する必要があると考えられる。しかしながら、長大橋梁全体系モデルのすべての部材に対して初期不整を考慮することは設定値の煩雑さを伴い、解析実行に関しても解析規模や評価の点で困難である。そこで本研究では、橋梁全体系モデルに対して、はり要素を用いた弾塑性有限変位解析における鋼部材の座屈強度が初期不整の影響を含む連成座屈強度と等価となるような初期たわみ式（以下、等価初期たわみ式）を提案するものである。この検討は文献 1)で提案されている、柱の基準耐荷力曲線と同じ耐荷力を与える初期横荷重の算定式を踏襲するものであり、本研究ではさらに局部座屈による影響も考慮して等価初期たわみ式に置き換えている。

2. 等価初期たわみ式における適用基準

ここでは、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編²⁾で規定される柱の全体座屈と局部座屈の連成強度公式（積公式）による連成座屈強度 P_u を適用基準として、鋼部材モデルの耐荷力が適用基準の連成座屈強度と等しくなるような等価初期たわみ式を算出する。鋼部材モデルの初期条件として等価初期たわみを与えることは、連成座屈強度に対する残留応力と初期たわみといった初期不整が鋼部材の耐荷力に及ぼす影響を、等価な初期たわみに置き換えることを意味する。

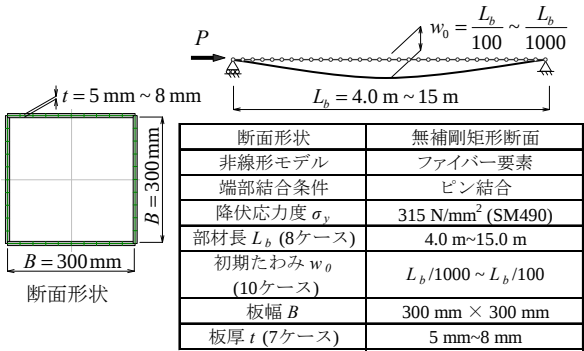
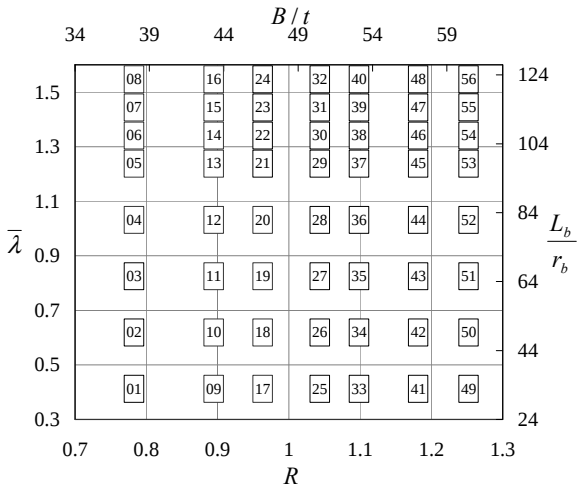


図-1 検討モデル諸元

3. 等価初期たわみ式の算定

等価初期たわみ式を算定するにあたって用いた解析モデルは図-1に示すように、ファイバー要素を用いた中心軸圧縮柱とした。設定する材料構成則は2次勾配を $E/100$ としたバイリニアモデルを用いるが、圧縮側の降伏点を、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編に示される耐荷力曲線から算出される局部座屈強度に公称降伏応力度を乗じた応力度とすることで、局部座屈の影響を近似的に考慮するものとした³⁾。等価初期たわみ式の算定は、解析モデルの板厚と部材長を種々に変化させた56ケース（図-2）を用いて、次の手順により行った。①解析モデルの初期たわみ w_0 を $L_b/1000$ から $L_b/100$ まで変化させた単調増大圧縮複合非線形解析から柱の耐荷力 P_{max} を算定する。例としてケース08 ($\bar{\lambda} = 1.55, R = 0.78$)



ここに、 $\bar{\lambda}$:細長比パラメータ、 R :幅厚比パラメータ、 L_b/r_b :細長比、 B/t :幅厚比、 r_b :断面2次半径

図-2 検討ケースの座屈パラメータ

キーワード 橋梁全体系、弾塑性有限変位解析、ファイバーモデル

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学大学院理工学研究科 TEL 052-838-2342

について図-3に軸圧縮力 P —柱中央の横たわみ w 曲線を示す。② P_{max} と w_0 の対数近似曲線から適用基準の P_u に対応する等価初期たわみ w_e を算定する。例として図-3のモデルによる対数近似曲線を図-4に示す。③上記①と②をすべてのケースについて実施し、縦軸に得られた w_e 、横軸に幅厚比パラメータ R 及び細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を採ったプロットから、Marquardt-Levenberg法による非線形最小二乗法によって近似曲線を求める。以上の過程によって求められた曲線(等価初期たわみ式)は次のようになる(図-5内の曲線)。

$$L_b/w_e = 122.5R^2 + 173.0\bar{\lambda}^2 - 579.5R\bar{\lambda} + 525.9 \quad (1)$$

この等価初期たわみ式は橋梁全体系モデルにおける鋼部材への適用性も考慮して、座屈パラメータの $\bar{\lambda}$ と R の関数とした。図-5内の点は検討ケースから得られた w_e であり、曲線は式(1)から得られる検討ケースの座屈パラメータにおける等価初期たわみを示している。図-5(a)より、 $\bar{\lambda}=0.41$ のケースに w_e と R の相関は小さいが、その他のケースでは線形的な相関が見られる。図-5(b)からは、 $\bar{\lambda}$ が大きくなると初期不整の影響は大きくなるため、 w_e は大きくなる傾向にあり、式(1)は概ねその傾向を近似できている。なお、ここには紙面の都合上省略したが、 $\bar{\lambda}$ が全体座屈強度の低減を受けない部材($\bar{\lambda} \leq 0.2$)の等価初期たわみを同様に求めると $L_b/1000$ 程度かそれよりも小さいものであったことから、そのような部材は柱の連成座屈強度に対して初期不整の影響は小さいと考えられる。

4. まとめ

道路橋示方書Ⅱ鋼橋編²⁾で規定される積公式による連成座屈強度と等しい耐荷力を与える初期たわみの算定式(1)を求め、これを橋梁全体系モデルの鋼部材に初期たわみとして用いることを提案した。解析モデルに連成座屈強度の影響を組み込むことで対象部材の周辺部材への影響も考慮できるため、合理的な耐震補強設計ができると考えられる。

今後、提案した等価初期たわみ式を橋梁全体系モデルに採用した検討を行い、端部の結合条件やたわみの方向等も含めて、その影響度や妥当性を検証していきたい。

参考文献

- 1) 宇佐美勉, 馬越一也, 斉藤直也, 野中哲也: 鋼橋の耐震解析におけるブレース材のモデル化, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.381-392, 2010.3.
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編, Ⅱ鋼橋編, 丸善(株), 2012.3.
- 3) 杉岡弘一, 松本茂, 大石秀雄, 金治英貞, 馬越一也, 長井正嗣: 局部座屈を簡易に考慮するファイバーモデルを用いた橋梁全体系解析に関する基礎的検討, 構造工学論文集, No.57A, pp.703-714, 2011.3.

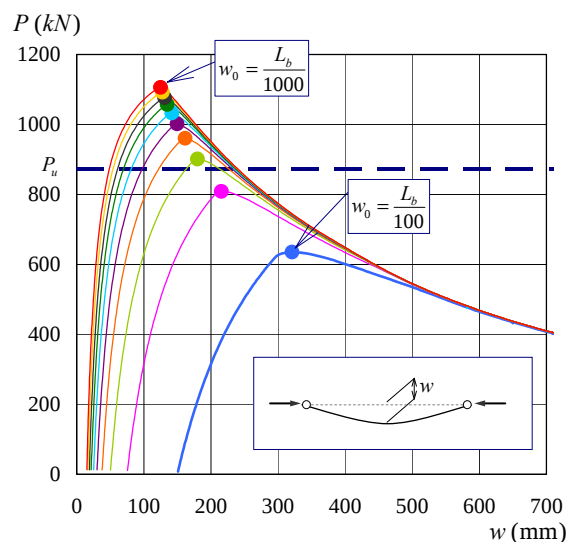


図-3 耐荷力 P_{max} の算定(ケース08)

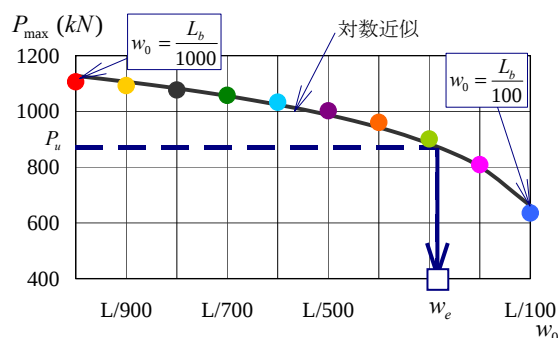


図-4 初期たわみ w_0 の算定(ケース08)

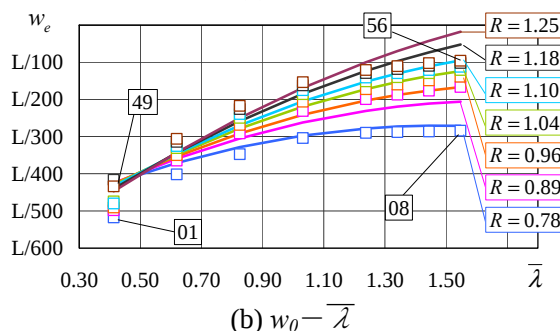
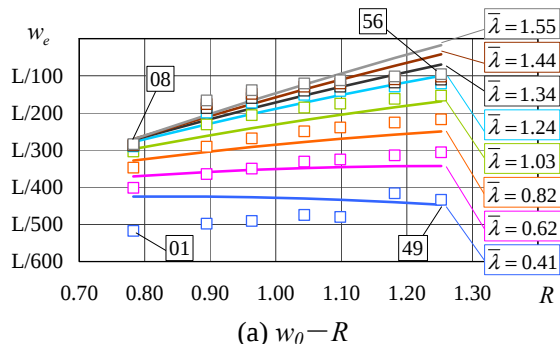


図-5 等価初期たわみ