

箱断面圧縮部材の連成座屈強度評価に関する国内外基準の比較調査

横河ブリッジ 正会員 〇池末 和隆 横河ブリッジ 正会員 水口 知樹
 大日本コンサルタント 正会員 平山 博 首都大学東京 正会員 岸 祐介
 長崎大学大学院 正会員 中村 聖三 首都大学東京 正会員 村越 潤
 日本ファブテック 正会員 小峰 翔一 首都大学東京 フェロー 野上 邦栄

1. はじめに

近年、鋼橋の圧縮部材の設計は、幅厚比制限を緩和し、局部座屈を許容する設計方法が多く採用されている。しかし、圧縮部材の連成座屈挙動は現象として複雑であり、柱部材としての全体座屈強度に対する構成板要素の局部座屈の影響を厳密に評価することは容易でない。このため、我が国の道路橋示方書(以下、「道示」という)では、柱部材としての耐荷力と構成板要素としての耐荷力の積の形(一般に積公式と呼称)で連成座屈強度を評価している¹⁾。しかし、この評価式は適用範囲によっては過度に安全側となることが指摘され、これまでに多くの解析的・実験的研究が行われている。そこで本研究では、現在の圧縮部材の連成座屈強度照査法に関する国内外基準の調査を実施し、箱断面圧縮部材を対象にして各設計基準により算出される連成座屈強度とFEM解析結果との比較検証を行った。

2. 各基準における連成座屈強度の比較

対象とした国内外の基準は、道示、AISC、Dast-012、BS EN1993-2である。ここでは道示とEN1993-2の連成座屈強度の評価法を以下に紹介する。なお、圧縮部材の耐荷力に着目のため、各基準の部分係数は考慮していない。

(1)道示 (2017)¹⁾

道示の積公式を式(1)に、柱の座屈に関する細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を横軸に局部座屈に関する幅厚比パラメータ R を縦軸として降伏応力で無次元化した連成座屈強度を図1に示す。積公式とは、柱部材としての座屈強度と、柱断面を構成する板の局部座屈強度の積により連成座屈強度を求めるものである。

$$\sigma_{cu} = \rho_{crg} \rho_{crl} \sigma_{yk} \quad (1)$$

ここに、 σ_{cu} ：軸方向圧縮応力度の限界強度、 ρ_{crg} ：全体座屈に対する圧縮応力度の特性値に関する補正係数、 ρ_{crl} ：局部座屈に対する圧縮応力度の特性値に関する補正係数、 σ_{yk} ：鋼材の降伏強度の特性値

(2)BS EN 1993-2 (2006)²⁾

EN1993-2における連成座屈強度は、式(2)により規定されている。

$$N_{b,R} = \chi A_{eff} f_y \quad (2)$$

ここに、 $N_{b,R}$ ：座屈抵抗強度、 χ ：全体座屈に対する低減係数、 A_{eff} ：部材の有効断面積、 f_y ：降伏応力、 ρ ：板座屈の低減係数(総断面積に対する有効断面積の比)、 N_y ：総断面に対する降伏軸力。

Class 4断面の圧縮部材は、総断面積に対する有効幅に基づく断面積の比を考慮した細長比パラメータにより評価し、得られた柱としての全体座屈強度と板要素の局部座屈の低減係数の積により評価している。圧縮部材の連成座屈強度を含む限界状態を図2に示す。

3. 無補剛箱断面圧縮部材の弾塑性有限変位解析

国内外基準との比較・検討を行うために無補剛箱断面圧縮部材を対象に連成座屈現象を解析的な検討³⁾を行う
 キーワード 連成座屈、積公式、道路橋示方書、ユーロコード、無補剛箱断面圧縮部材

連絡先 〒273-0026 千葉県船橋市山野町27 (株)横河ブリッジ TEL047-435-6277

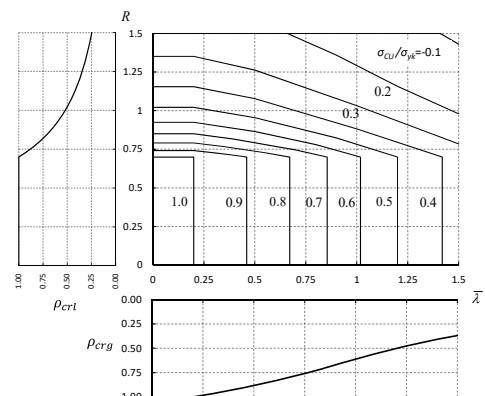


図1 道示の連成座屈強度

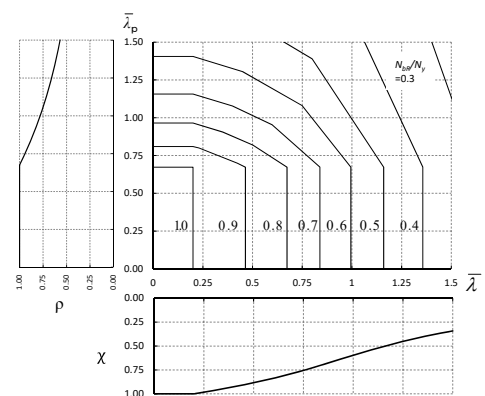


図2 BS EN1993-2の連成座屈強度

った。対象断面は、500×500mm の無補剛箱形断面である。材料構成則は、SM490Y 材を想定し、移動硬化型のパイリニアモデルとした。また初期不整として初期たわみと残留応力を考慮した。板厚を変化させた幅厚比パラメータに対する耐力曲線を図3に示す。解析値は、 R の増加に従って基準耐力曲線からの低下が大きい。特に R が大きい部材は短柱領域に置いて局部座屈および塑性進展により、耐力の低下が激しい。

4. 連成座屈強度の比較

国内外基準より算出した連成座屈強度 σ_{cu} および解析結果と細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ との関係を代表的に幅厚比パラメータ $R=0.5, 1.1$

に対してまとめたのが図4である。一方、図5は代表的に細長比パラメータ $\bar{\lambda}=0.2, \bar{\lambda}=1.0$ に対する連成座屈強度と幅厚比パラメータの比較結果を示す。

局部座屈しない領域である $R=0.5$ の圧縮部材は、図5の板の耐力曲線から各設計基準および解析結果では変化がないため、各設計基準に基づく終局強度は解析結果とほぼ一致しており、図4の柱の基準耐力曲線も同様な傾向を示した。

道示の無補剛両縁支持板で構成される板要素に局部座屈の発生の有無の境界領域である幅厚比パラメータ $R=0.5$ の部材では、図4により各設計基準間の終局強度曲線は良い一致を示している。しかし、海外基準の場合 $\bar{\lambda} < 0.7$ の領域では解析結果に比べて高い終局強度を示し、危険側の値となっている。これは、短柱領域において板としての局部座屈に支配されて、柱としての耐力が低下したためである。

解析結果に比べて、海外基準による連成座屈強度は高めの値、道示に基づく連成座屈強度は低めの値となっている。なお、DASt012 に比べて EN 1993-2 は連続的な曲線になっており、解析結果に近い曲線になっており精度の高い評価を示している。

局部座屈を許容する $R > 0.7$ の領域では、道示に基づく連成座屈強度は、AISC, DASt-012 および EN 1993-2 の海外基準および解析結果に比べて小さく、安全側な評価をしている。これは、板の両縁支持板の基準耐力曲線が他の設計基準に比較して大幅に低めの曲線になっているためである。

5. まとめ

鋼橋の圧縮部材の連成座屈強度の評価方法について国内外基準の比較調査を行った。各設計基準に基づく連成強度と FEM 解析の比較結果、局部座屈の発生し難い部材範囲において各連成強度式はほぼ一致した。一方で、連成座屈の発生し易い部材領域において、各設計基準の強度式には相違が現れており、道示は安全側な評価となっている。今後圧縮部材の設計合理化に向けた解析的・実験的検討が望まれる。

参考文献：1) (公社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，II鋼橋・鋼部材編，2017.11，2) Eurocode 3：Design of steel structures- Part2: Steel bridges, European Standard, EN 1993-2, 2006，3) 池末ら：鋼橋に用いる無補剛箱形断面部材の連成座屈強度評価法の提案，土木学会 第70 回年次学術講演会講演概要集，pp.465-466，2015.9

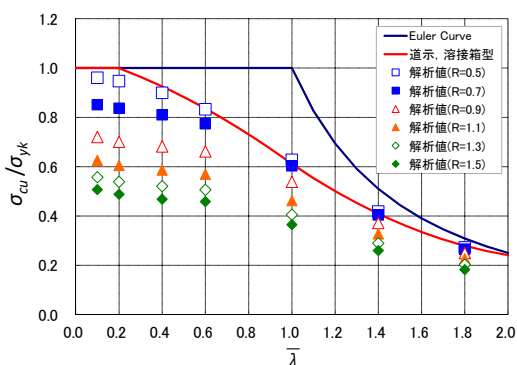


図3 解析結果

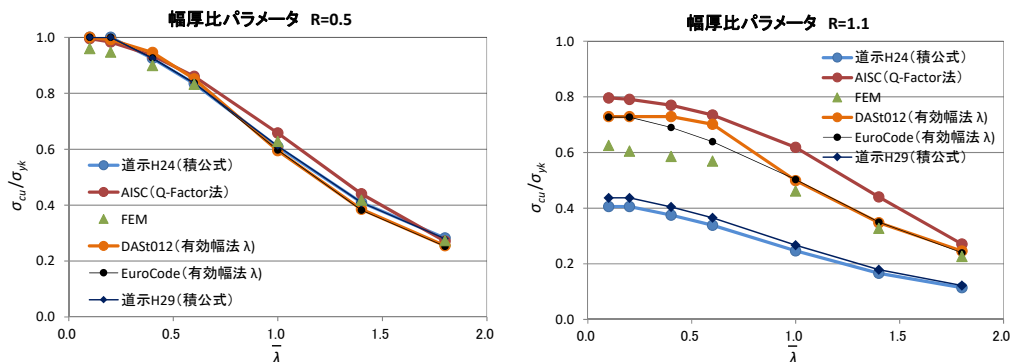


図4 細長比パラメータと連成座屈強度の関係

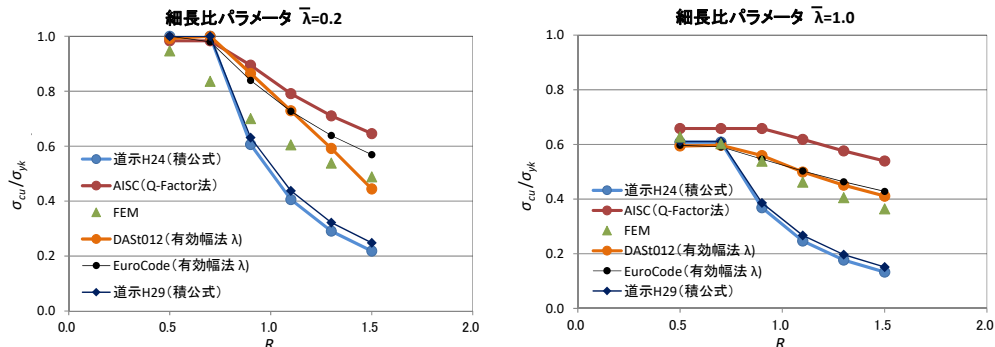


図5 幅厚比パラメータと連成座屈強度の関係