

鋼箱断面圧縮部材の耐荷力に関する一検討

(独)土木研究所 正会員 ○有村 健太郎 首都大学東京 フェロー 野上 邦栄
 (独)土木研究所 正会員 村越 潤 大阪大学大学院 正会員 小野 潔
 (独)土木研究所 正会員 遠山 直樹 (株)大日本コンサルタント 正会員 清水 英樹

1. はじめに

鋼橋の圧縮部材の耐荷力に関しては、海外の設計基準等では初期不整や断面形状等の条件に応じて区分された複数の耐荷力曲線が与えられている。道路橋示方書Ⅱ鋼橋編（以下、道示）における基準耐荷力曲線は、設計の煩雑さの回避から各種条件下の耐荷力曲線に対する下限値（圧縮側の残留応力（以下、残留応力）を $0.4\sigma_y$ （ σ_y ：鋼材の降伏点）、初期たわみを $L/1000$ （ L ：部材長）と仮定した I 形鋼の弱軸に関する耐荷力曲線）を基本に設定されたものである¹⁾。圧縮部材の耐荷力については数多くの研究があるが、本文では、設計の合理化の観点から、比較的多く採用されている溶接箱断面柱を対象として、初期不整や断面形状等が耐荷力に与える影響を解析的に検討するとともに、既往の研究成果を参考に耐荷力曲線について検討した。

2. 対象とする箱断面部材と検討内容

対象とする溶接箱断面部材は、軸方向圧縮力が支配的となるアーチ橋のアーチリブとした。断面形状については既往のアーチ橋事例を参考に 4 断面を設定し、補剛板として局部座屈しない断面構成としている。また、柱の耐荷力に影響の大きいと考えられる部材全体の初期たわみ、残留応力（図-2）等の因子をパラメータとし、それらの影響の感度解析を実施した。表-1 に因子および感度解析のパラメータを示す。初期たわみ、残留応力については既往の研究成果を目安に設定しており、材質については使用頻度の高い 2 鋼種を選定した。それぞれの因子について細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を変化させ解析を行ったが、 $\bar{\lambda}$ の最大値は道示における最大細長比から 1.8 とした。また、既往の研究成果で提案された耐荷力曲線の提案式と実験値および解析結果を比較し、耐荷力について考察した。FEM 解析は弾塑性有限変位解析とし、変位増分法を用いた。解析モデルはシェル要素とし、対象部材および解析条件の対称性から 1/2 モデルとした（図-1、図-3）。なお、解析ソフトは SeanFEM ver.1.22 を使用した。

3. 解析結果

図-4 に解析結果を示す。図は道示における基準耐荷力に対する比率として整理している。断面寸法の違いについて、幅厚比パラメータ R_R をほぼ一定とした断面 No.1～No.3 までは差異が 1%程度、 R_R を変化させた No.3 および No.4 を比較するとその差異は 3%程度であり、いずれも有意な差は見られない。鋼種の違いについても、その差異は 1～2%程度である。初期不整（残留応力および初期たわみ）については、残留応力の場合、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ が 0.6 の場

表-1 解析パラメータ

因子	解析パラメータ			
	No.1	No.2	No.3	No.4
断面形状	$R_R=0.44$	$R_R=0.47$	$R_R=0.49$	$R_R=0.24$
	800x1100	1800x2400	1100x1500	1100x1500
鋼材の材質	SM400, SM490Y			
初期たわみ	$L/1000, L/3000, L/5000$			
残留応力	無し, $0.2\sigma_y, 0.4\sigma_y, 0.6\sigma_y$			

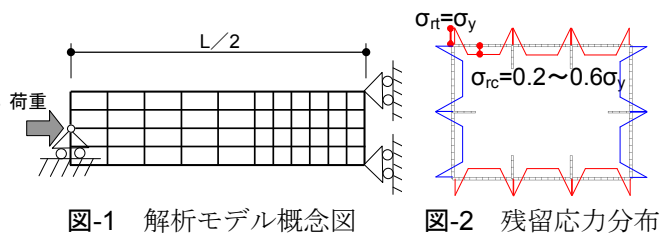


図-1 解析モデル概念図

図-2 残留応力分布

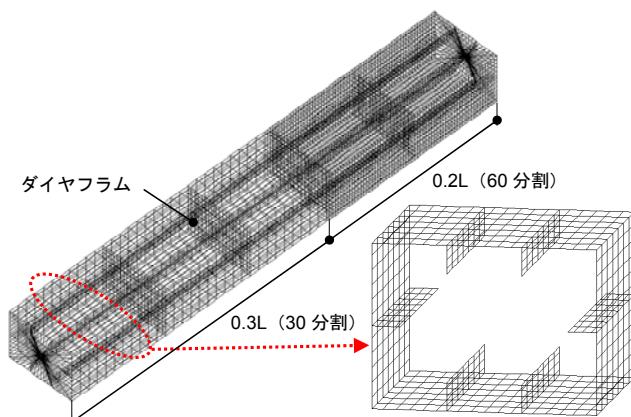


図-3 解析モデル

キーワード 箱断面, 柱, 耐荷力, 初期たわみ, 残留応力, FEM 解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

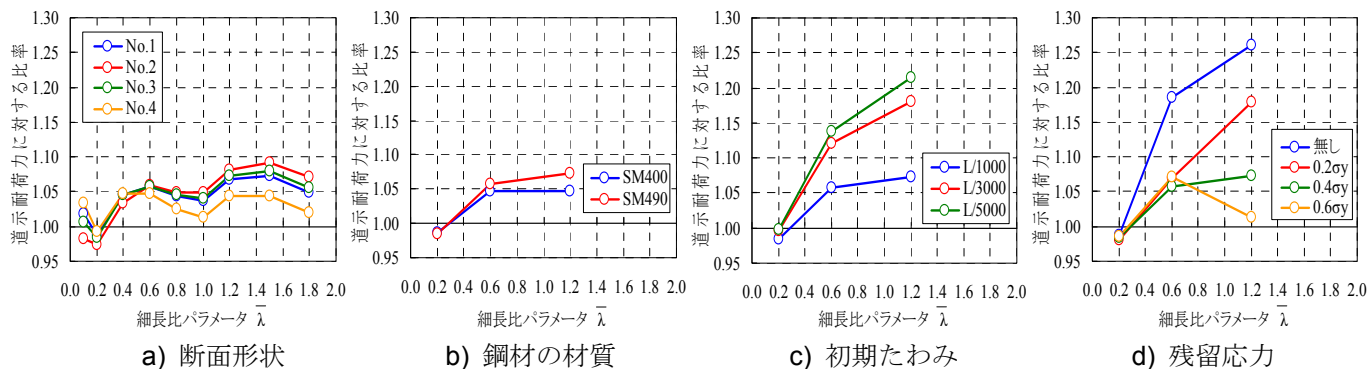


図-4 感度解析結果

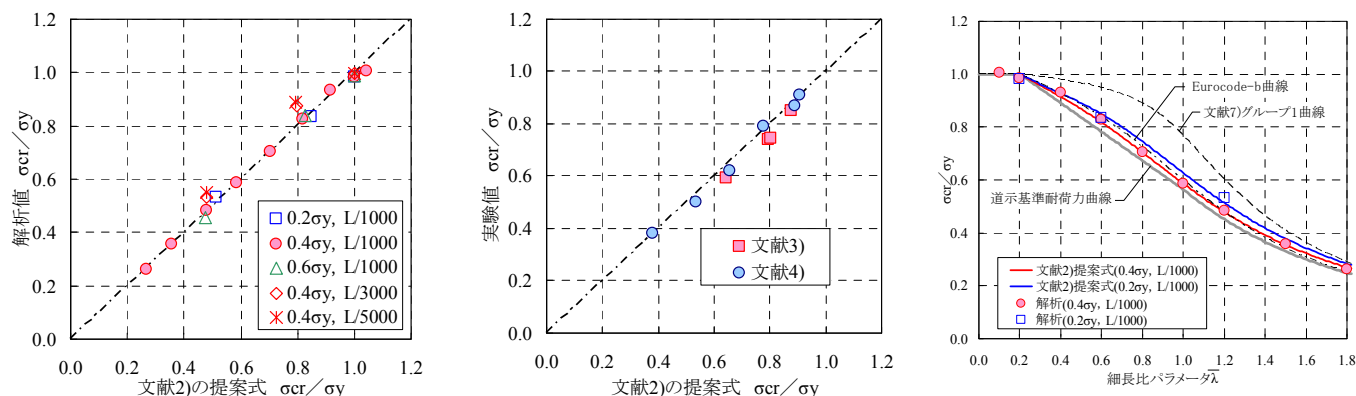


図-5 既往の提案式と解析値の相関図

図-6 既往の提案式と実験値の相関図

図-7 基準耐荷力曲線の比較

合に最大で 13% 程度、 λ が 1.2 の場合は最大で 25% 程度の差が生じ、耐荷力に及ぼす影響が大きい。初期たわみについても同様に最大で 14% 程度の差が生じ、耐荷力に及ぼす影響が大きい。これらの初期不整の影響が大きいことは、既往の研究成果と同様の結果である。

4. 既往の研究結果との比較・考察

図-5 に文献 2) の西村らによる初期不整（残留応力と初期たわみ）をパラメータとした溶接箱断面の耐荷力曲線の提案式と FEM 解析結果の相関を示す。ここで用いている解析値は、表-1 に示す No.3 断面で鋼材の材質は SM490Y の解析結果である。両者は良く一致しており、解析値と西村らの提案式がほぼ同等の耐荷力を示すことが確認できる。図-6 には既往の実験結果³⁾⁴⁾と西村らの提案式の相関を示すが、両者は良く一致している。なお、実験結果については、初期不整が明記され規定値内であり、局部座屈しない断面構成のものを抽出している。

図-7 に解析結果を示すとともに、それらを補間する観点から西村らの提案式による耐荷力曲線を示す。ここで示す耐荷力曲線は、溶接箱断面部材を対象に下限側の値となるように、初期たわみは現行道示の規定値である $L/1000$ とし、残留応力は、既往の文献⁵⁾を参考に、鋼種に低強度（SS400 級）を含まない場合の上限値となる $0.2\sigma_y$ 、やや安全側の評価としてそれらを含めた場合の $0.4\sigma_y$ と仮定した。耐荷力は、現行道示に比べて、残留応力が $0.2\sigma_y$ の場合には 10% 程度、 $0.4\sigma_y$ の場合には 5% 程度大きくなる結果となっている。なお、参考までに、図中には溶接箱断面を対象に含める Eurocode⁶⁾で用いられている b 曲線および文献 7) によるグループ 1 曲線を示している。

5. まとめ

溶接箱断面部材の耐荷力は、実際の柱部材に生じる残留応力の大きさや、それに起因する製作条件などの検討が必要と考えられるが、条件によっては道示の基準耐荷力曲線と比較して 5~10% 程度大きい耐荷力となる可能性を確認した。

参考文献： 1) 小松：道路橋示方書(1971 年)座屈関連規定の論拠（上），橋梁と基礎，vol.6，No.6，1972. 2) 西村ら：鋼柱部材の基本強度の統一評価，土木学会論文集，No.410，1989. 3) 宇佐美ら：溶接箱型断面柱の局部座屈と全体座屈の連成強度に関する実験的研究，土木学会論文報告集，No.308，1981. 4) 伊藤ら：高張力鋼を用いた溶接角柱の圧縮強さ，鉄道技術研究報告，No.516，1966. 5) 例えば小松ら：補剛板の溶接残留応力および初期たわみに関する実験的研究，土木学会論文集，No.265，1977. 6) CEN：Eurocode 3: Design of steel structures, prEN1993-1-1:2003, 2003. 7) 土木学会：鋼・合成構造標準示方書[設計編]，2007.