

実橋箱断面圧縮部材の弾塑性挙動と耐荷力特性

首都大学東京 学生会員 竹内幸治  
首都大学東京 フェロー会員 野上邦栄  
首都大学東京 学生会員 山下洋平

1. 目的

現在、道路橋示方書は、部分係数法を用いた性能照査型設計法への改訂に向けた作業が進められている。このような状況において、わが国の鋼橋を構成する圧縮部材（柱）は、鋼橋全体系の安全性に対して最も重要な部材の一つである。これまで鋼橋の座屈設計は、部材の座屈強度照査、応力度照査、構造系の全体座屈強度照査などを実施して安全性を確保しているが、これらの照査に置いて重要な柱の基準耐荷力曲線は、これまで唯一の基準耐荷力曲線を採用してきた。一般に、柱の耐荷力は初期不整、降伏点のばらつき、断面形状、製作法などに影響を受けることから、諸外国の基準類においては複数の設計公式が提案され、規定化されている。本研究では、圧縮力が支配的な箱断面部材に着目し、実績調査を実施する。その後、採用された強度レベルごとの実橋箱断面圧縮部材に対する耐荷力特性を解析的に明らかにし、現行の基準耐荷力曲線に対する比較検討を行い、余裕度の要因を明確にするとともに箱断面部材の新たな耐荷力曲線の提案に向けた検討を行う<sup>1)</sup>。

2. 対象橋梁

現行道路橋示方書(H14)<sup>2)</sup>に基づき架設された20種のトラス橋梁から5橋を選択する。5橋の無補剛断面を有する圧縮部材を表-1のようにまとめる。表-2は、断面諸元を示す。図1, 2はそれぞれNo. 1, No. 2の断面である。

表-1 対象橋梁の一覧

| No | 断面外形寸法    | フランジ   |                           | ウェブ    |                           |
|----|-----------|--------|---------------------------|--------|---------------------------|
|    |           | 板厚(mm) | 材質(クラス)                   | 板厚(mm) | 材質(クラス)                   |
| 1  | H400×W380 | 9~22   | SMA490W                   | 9~19   | SMA490W                   |
| 2  | H400×W462 | 9~29   | SMA490W, SMA400W          | 10~23  | SMA490W, SMA400W          |
| 3  | H450×W598 | 12~19  | SM400, SM490Y             | 12~19  | SM400, SM490Y             |
| 5  | H310×W458 | 10~20  | SMA400W, SMA490W          | 10~20  | SMA400W, SMA490W          |
| 19 | H460×W550 | 12~30  | SMA400W, SMA490W, SMA570W | 12~25  | SMA400W, SMA490W, SMA570W |

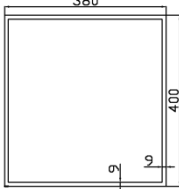


図-1 No.1 断面

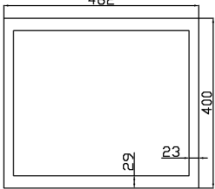


図-2 No.2 断面

3. 耐荷力解析

解析には、MARC2011(汎用弾塑性有限要素解析ソフトウェア)を用いた。FEM要素にはシェル要素を採用し、予想される座屈モードが表現できるように要素を細分割する。非線形数値計算には弧長増分法を適用した。解析パラメータを表-3に示す。構成則は、図-3に示す折れ線近似モデルを適用した。残留応力分布は、図-4のような理想的直線分布とする。圧縮残留応力度 $\sigma_{rc}$ は、 $\sigma_{rc}=0 \cdot 0.25 \cdot 0.4 \sigma_y$ を採用する。初期たわみは図-5の正弦半波を仮定し、表-3の3種類の初期たわみをパラメータとした。また、境界条件は、図-5のように両端単純支持で、集中荷重Pを断面重心位置に载荷する。

表-2 断面諸元

| 橋梁No                       | 1       | 2       | 3     | 5       | 19      |
|----------------------------|---------|---------|-------|---------|---------|
| 部材長 L [mm]                 | 9300    | 13100   | 8500  | 8000    | 12900   |
| 細長比 $\lambda$              | 0.8     | 1.2     | 0.55  | 0.7     | 0.9     |
| 材質                         | SMA490W | SMA490W | SM400 | SMA400W | SMA570W |
| 基準降伏点 [N/mm <sup>2</sup> ] | 355     | 355     | 235   | 245     | 450     |
| 細長比 $L/r_y$                | 75      | 69      | 83    | 91      | 67      |
| $L/r_z$                    | 79      | 64      | 67    | 67      | 66      |
| 幅厚比 $(b/t)_{flg}$          | 42      | 16      | 50    | 46      | 18      |
| $(b/t)_{web}$              | 44      | 17      | 38    | 31      | 29      |

表-3 解析パラメータ

| 項目      | パラメータ                                                        |
|---------|--------------------------------------------------------------|
| 断面      | No.1 No.2 No.3 No.5 No.19                                    |
| 解析モデル   | シェル要素ダイヤフラムなし                                                |
| 座屈パラメータ | $\lambda = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0$ |
| 残留応力    | なし, 0.25, 0.4 $\sigma_y$ (圧縮応力) 1.0 $\sigma_y$ (引張応力)        |
| 初期たわみ   | L/1000, L/1500, L/5000                                       |
| 鋼種      | SM400, SMA400W, SMA490W, SMA570W                             |

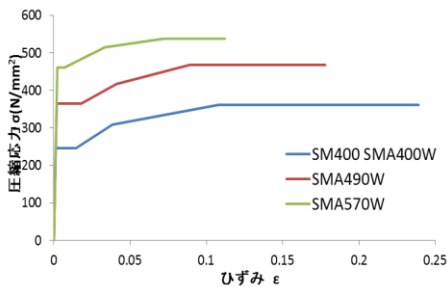


図-3 構成則

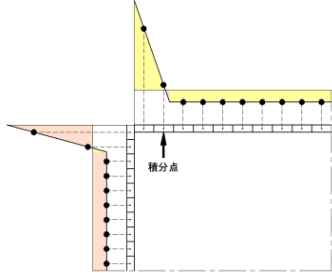


図-4 残留応力分布

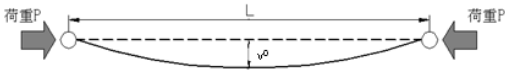


図-5 初期たわみと境界条件

キーワード 実トラス橋, 箱断面圧縮部材, 耐荷力曲線, 弾塑性有限要素解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京

#### 4. 耐力力特性

図-6 および図-7 は、No. 1 断面および No. 2 断面に関する SMA490W 材、初期たわみ  $v_0 = L/1000$ 、圧縮残留応力なしにおける細長比ごとの荷重変位曲線を示している。横軸に橋軸方向の変位  $u$ 、縦軸は降伏荷重に対する載荷荷重  $P$  の無次元量を示す。図中の●点は各  $\lambda$  における耐力力を示す。図-8 は No. 2 断面、圧縮残留応力なしにおける初期たわみ  $L/1000$ ,  $L/1500$ ,  $L/5000$  の耐力力への影響を示したものである。初期たわみが増大するにつれて耐力力が低下している。また、 $\lambda$  の増加によっても同様に耐力力が低下しており、 $\lambda$  ごとに見ても初期たわみ  $L/1000$  のときに最小値をとる。

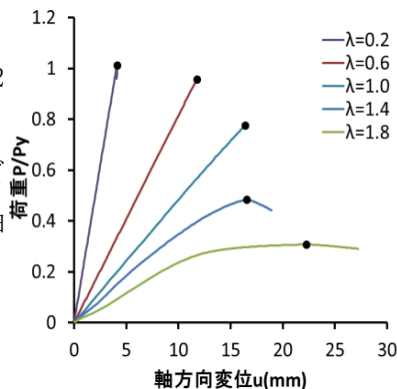


図-6 荷重変位曲線 No.1 断面

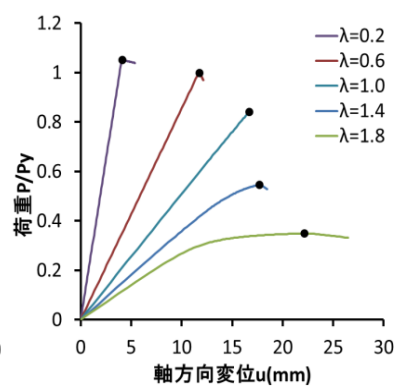


図-7 荷重変位曲線 No.2 断面

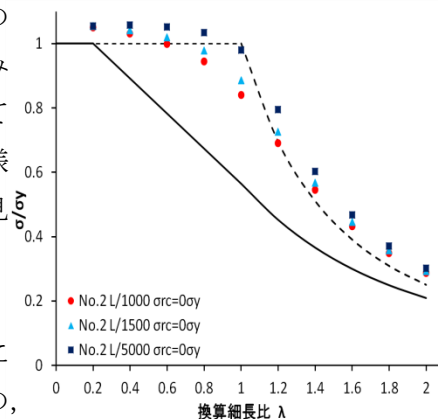


図-8 耐力力曲線 No.2 断面

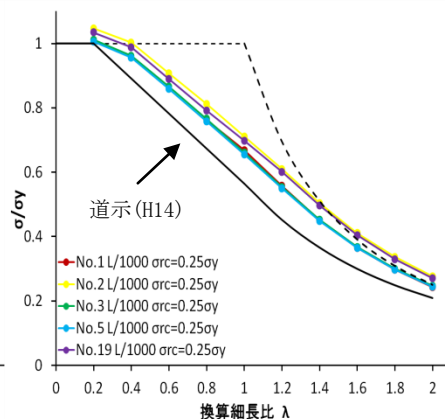
図-9 耐力力曲線  $L/1000$ ,  $0.25 \sigma_y$ 

図-9 および図-10 は、各斜材断面に関する初期たわみ  $v_0 = L/1000$  の場合の、各々圧縮残留応力  $\sigma_{rc} = 0.25 \sigma_y$  および  $0.4 \sigma_y$  の耐力力を示している。図中の横軸は換算細長比  $\lambda$ 、縦軸は降伏応力に対する耐力力の無次元量  $\sigma / \sigma_y$  である。なお、図中の破線はオイラー座屈曲線を、黒線は道路橋示方書(H14)の耐力力曲線を示している。圧縮残留応力  $\sigma_{rc}$  の増加にともない耐力力が低下しているが、どの断面においても類似した形状の曲線を描いている。道路橋示方書(H14)の基準耐力力曲線に比較して5断面の耐力力は高い値をとっている。さらに、No1, 3, 5断面とNo2, 19断面の耐力力曲線は2つに分離できる。前者の断面群の幅厚比は31~50、後者の断面群の幅厚比は17~29となっている。

#### 5. まとめ

箱断面圧縮部材の耐力力解析解より次のような結果が得られた。①箱断面圧縮部材において、初期たわみ・圧縮残留応力の値が増加するにつれて、耐力力が低下する。②道路橋示方書(H14)の基準耐力力曲線と比較して、耐力力解析解の分布はより高い曲線となる。③No1, 3, 5断面群とNo2, 19断面群が2つに分離でき、その要因は幅厚比にある。④初期たわみ  $L/1000$ 、圧縮残留応力  $\sigma_{rc} / \sigma_y = 0.25$  における下限値の耐力力曲線として下記の二次式を提案できる。(図11の赤線)

$$\begin{aligned} \sigma &= 1.0 & (\lambda \geq 0.2) \\ \sigma &= 1.067 - 0.317\lambda - 0.1\lambda^2 & (0.2 < \lambda \leq 1.0) \\ \sigma &= 1.489 - 1.052\lambda + 0.213\lambda^2 & (1.0 < \lambda) \end{aligned}$$

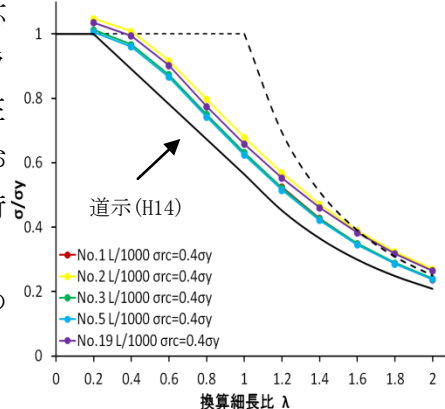
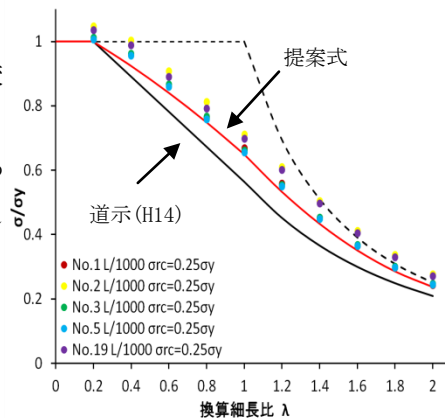
図-10 耐力力曲線  $L/1000$ ,  $0.4 \sigma_y$ 

図-11 耐力力曲線の提案式

謝辞：本研究は2011年度日本鉄鋼連盟鋼構造研究・教育助成(一般研究)を受けて実施したものである

参考文献：1) 山下・野上：高強度鋼材を用いた箱断面圧縮部材の耐力力特性，土木学会，全国大会 2011

2) 日本道路協会：道路橋示方書Ⅰ共通編，Ⅱ鋼橋編，2002