

SBHS 鋼材を用いたアーチリブの弾塑性挙動と耐荷力曲線

東日本旅客鉄道 正会員 ○山下 洋平
 首都大学東京大学院 フェロー会員 野上 邦栄

1. 研究の背景と目的

H14 の道路橋示方書(以下、道示と呼称)¹⁾が定める柱の基準耐荷力曲線は、それまでの研究成果を基に、下限値相当の唯一 1 本の曲線を採用していたが、H24 の道示改訂において箱断面部材に対する新しい耐荷力曲線が導入された。現在、さらなる性能照査型設計法への改訂に向けて検討しており、耐荷力曲線の緩和見直しが可能な状況にある。また、H14 道示に基づき設計された実際のアーチリブは、圧縮部材として安全側な箱断面が採用される傾向にあるとの報告がある。そこで、本研究では JIS 化され数橋に適応され始めている SBHS 鋼材を使用した箱断面部材における耐荷力曲線を提案するために、高強度鋼材 SM570 を使用した実際のアーチリブ断面に着目し、それらの柱としての弾塑性有限変位解析を実施し、弾塑性挙動および耐荷力特性を明らかにすると共に、道示の耐荷力曲線を緩和した新しい柱の基準耐荷力曲線の提案に向けた基礎的検討を行う。

2. 対象部材

対象部材は、日本橋梁建設協会から提供いただいた H14 道示に基づき設計された全 29 アーチ橋の中から 7 橋を選び、表 1 のアーチリブ断面を抽出した。断面形状は補剛・無補剛断面があり、それぞれ代表的な断面を No.3, No.5 とし図 1, 2 に示す。換算細長比 λ が 1.0 の断面諸元を表 2 に示す。

3. 解析モデル

解析には、汎用弾塑性有限変位解析ソフトウェア MARC2011 を用いた。解析パラメータを表 3 に示す。初期たわみは図 3 のような半波形状を仮定し、3 種類のたわみ量をパラメータとした。残留応力は、図 4 のような理想的直線分布とし、5 種類の圧縮残留応力度をパラメータとした。部材はシェル要素でモデル化し、全体座屈および局部座屈変形の考慮できる十分な要素分割をした。構成則は、図 5 に示す折れ線近似モデルを適用した。

また、境界条件は、両端単純支持で集中荷重 P を断面重心位置に載荷する。なお、両端部には荷重載荷時の応力集中による局所的変形を防ぐため、板厚 1 mm の剛体を配置した。なお、SBHS500 の断面は、SM570 の断面を準用している。非線形数値解析には弧長増分法を適用した。

表 1: 実橋アーチリブ

橋梁 No.	アーチリブ断面	フランジ			ウェブ		
		板厚(mm)	リブ本数	材質	板厚(mm)	リブ本数	材質
1	H2200×W1250	21~35	1	SM570	18~25	3	SM570
2	H2500×W1200	28~50	1	SM570	28~36	2	SM570
3	H1000×W1400	55~82	0	SM490Y, SM570	55~82	0	SM490Y, SM570
4	H550×W600	19~40	0	SM570	22~43	0	SM570
5	H1200×W800	22~35	1	SM490Y, SM570	22~27	2	SM490Y, SM570
6	H1800×W1400	32~40	1	SM490Y, SM570	32~41	2	SM490Y, SM570
7	H2400×W1300	21~42	1	SM490Y, SM570	20~42	2	SM490Y, SM570

表 2: 断面諸元(mm, N/mm²)

部材 No.	3	5
断面形状	無補剛断面	補剛断面
部材長	25627	26412
材質	SBHS500	SBHS500
基準降伏点	500	500
有効座屈長	25627	26412
L _y	25627	26412
L _z	25627	26412
Top-PL	1400 × 55	800 × 22
L-Web	1000 × 55	1000 × 22
R-Web	1000 × 55	1000 × 22
Bottom-PL	1400 × 55	800 × 22
T-PL-Rib	-	140 × 16
B-PL-Rib	-	140 × 16
Web-PL-Rib	-	150 × 22
Y ₀	0	0
Z ₀	0	0
A	251900	103744
I _z	69453899170	17885171525
最大細長比	L _y /r _y 48.80 < 120	L _y /r _y 63.61 < 120
Top-PL	12.73	18.18
L-Web	6.06	15.15
R-Web	6.06	15.15
Bottom-PL	12.73	18.18
最大幅厚比	12.73 < 60	18.18 < 60
軸方向圧縮部材許容応力度	190.31	159.22
両縁支持板圧縮許容応力度	210	210
座屈パラメータ(柱λ)	1.0	1.0
座屈パラメータ(両縁板)R	0.31	0.45

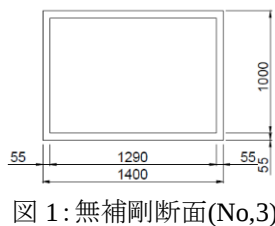


図 1: 無補剛断面(No.3)

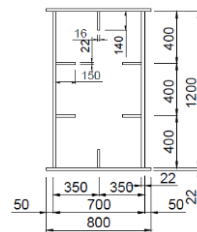


図 2: 補剛断面(No.5)

表 3: 解析パラメータ

項目	パラメータ	種類
断面	No.1, No.2, No.3, No.4, No.5, No.6, No.7	7種
解析モデル	シェル要素ダイアグラムなし	1種
座屈パラメータ	$\lambda=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0$	10種
残留応力	0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 σ_y (圧縮応力) 1.0 σ_y (引張応力)	5種
初期たわみ	L/1000, L/1500, L/5000	3種
鋼種	SM570, SBHS500	2種

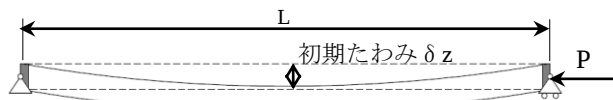


図 3: 境界条件と荷重載荷方法

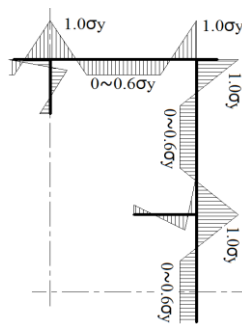


図 4: 残留応力分布

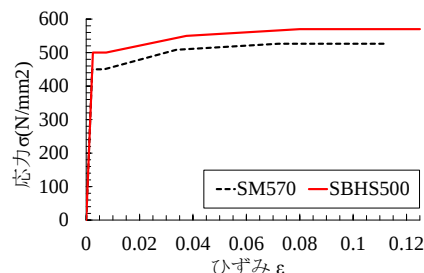


図 5: 構成則

key words : アーチリブ, 複数耐荷力曲線, 残留応力, 初期たわみ, 道路橋示方書, 高強度鋼材

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL042-677-1111 内線(4564)

4. 弾塑性挙動と耐荷力特性

図 6・7 はそれぞれ No.3 断面および No.5 断面における細長比ごとの荷重変位曲線を示す。ここに、使用鋼材 SBHS500、初期たわみ $\delta_z=L/1000$ 、圧縮残留応力 $\sigma_{rc}=0.2\sigma_y$ である。横軸は橋軸方向変位 u 、縦軸は載荷荷重の無次元量を示す。図 8・9 は、No.3、No.5 断面において SBHS500 を使用したモデルの初期たわみ δ_z と圧縮残留応力 σ_{rc} の変化による耐荷力を示している。図中の横軸は換算細長比 λ 、縦軸は載荷荷重の無次元量を示す。なお、黒色の曲線は H14 道示の耐荷力曲線¹⁾を、青色曲線は土木学会の Group-2 曲線²⁾、赤色は SSRC-2 曲線²⁾を示す。

図 8・9 から、初期不整の増加に伴い耐荷力は低下する。また、図 10 は全 7 断面について初期不整として圧縮残留応力 $\sigma_{rc}=0.2\sigma_y$ 、初期たわみ $\delta_z=L/1000$ の時の耐荷力をまとめたものである。図 10 から H24 に制定された溶接箱断面圧縮部材の耐荷力線でさえ $\lambda=0.6\sim 1.2$ の区間では未だ耐荷力が高い。なお、図中の▲印は過去の実験結果である。今回の解析結果に基づく下限値曲線として新しい耐荷力曲線として赤色の曲線を提案した。式(1)に示す。

$$\bar{\sigma} = 1.0$$

$$\bar{\sigma} = 1.0525 - 0.225\bar{\lambda} - 0.1875\bar{\lambda}^2 \text{ -式(1)}$$

$$\bar{\sigma} = 1.4400 - 1.000\bar{\lambda} + 0.2000\bar{\lambda}^2$$

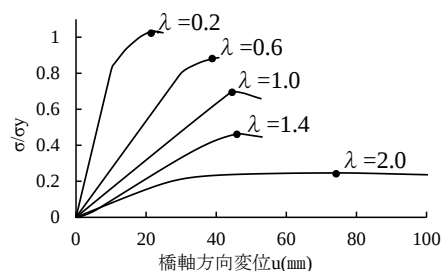


図 6：荷重変位曲線(No.3)

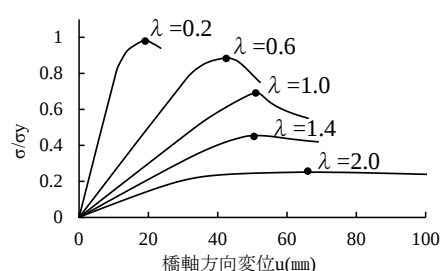


図 7：荷重変位曲線(No.5)

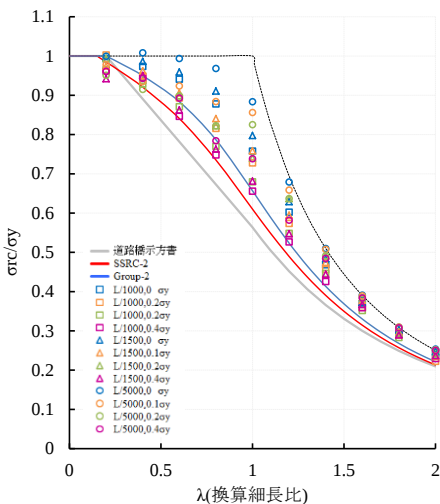
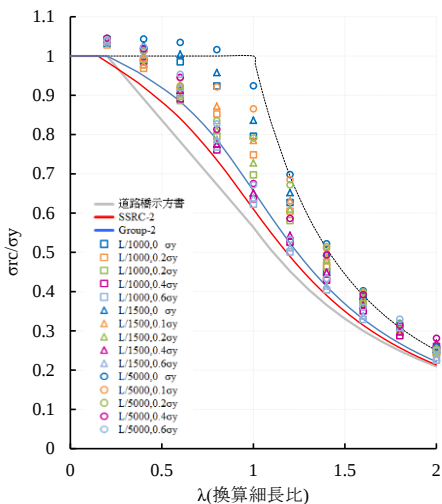


図 9：耐荷力曲線(No.5)

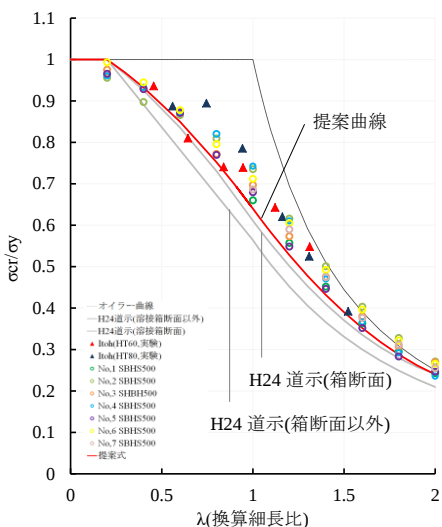


図 10：提案曲線

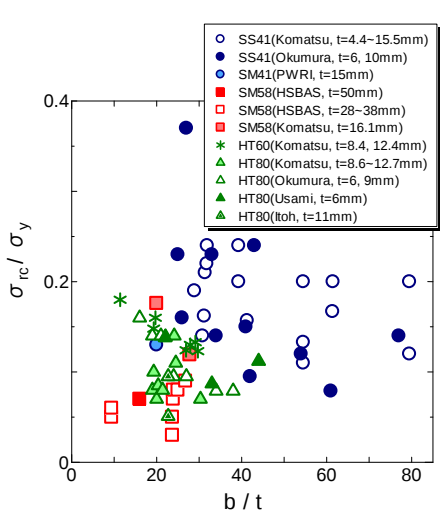


図 11：残留応力分布

5. 結論

箱断面アーチリブの耐荷力特性に関するパラメトリック解析結果は、以下のようにまとめることができる。

- 1) 既往の統計資料などを調査した結果、残留応力の値は、図 11³⁾に示すように圧縮応力として $\sigma_{rc}=0.2\sigma_y$ が適用できる。また、初期たわみは現場精度など参考資料が少ないため、従来の $\delta_z=L/1000$ を適用した。
- 2) 高強度鋼材である SBHS500 を使用した箱断面圧縮部材の耐荷力曲線は、H24 道示の箱断面を対象とした基準耐荷力曲線に対して、式(1)のような高強度耐荷力曲線を提案できた。

謝辞：本研究は、日本鋼構造協会/鋼橋の合理化構造・設計法研究委員会/合理化構造・設計法研究部会活動の一環として行ったものである。

参考文献：1)日本道路協会：道路橋示方書 I 共通編，II 鋼橋編，2012，2)土木学会：座屈設計ガイドライン，2005

3)(独)土木研究所：鋼箱形断面圧縮部材の耐荷力に関する検討，土木研究所資料 No.4221，2012,3