

高強度鋼材を用いた箱断面圧縮部材の耐荷力特性

首都大学東京 学生会員 山下 洋平
首都大学東京 フェロー会員 野上 邦栄

1. 研究の背景と目的

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、1970～1980年代の研究成果を基に、下限値相当の唯一1本の曲線を採用しているが、その後現在に至るまで見直しが行われていない。現在性能照査型設計法に移行しつつある中で耐荷力曲線の緩和見直しが可能な状況にある。現在、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。そこで、本研究では高強度材を採用している実際のアーチ橋のアーチリブ断面を対象にして、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、表1の2種類の実橋箱断面アーチリブである。それぞれの断面形状は、図1の無補剛断面および図2の補剛断面である。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、汎用弾塑性有限要素解析ソフトウェアMARC2008r1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、表3の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、表3の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、図3のように両端単純支持で、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な変形を防ぐため板厚1mmの剛体を配置した。また、SBHS鋼材の断面は、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	H1000×W1400	55～82	0	SM490Y, SM570	55～81	0	SM490Y, SM570
2	H1200×W800	22～35	1	SM490Y, SM570	22～27	2	SM490Y, SM570

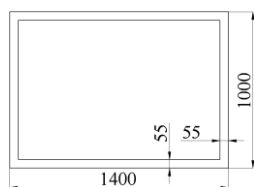


図1: No.1 断面

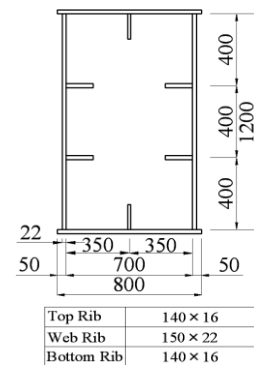


図2: No.2 断面

表2: 断面諸元(mm, N/mm²)

部材No.	1 ($\lambda=1.0$)	2 ($\lambda=1.0$)
部材長	27013	13921
材質	SM570	SM570
基準降伏点	450	450
有効座屈長	Ly: 27013, Lz: 27013	Ly: 13921, Lz: 13921
断面	Top-PL: 1400 × 55, L-Web: 1000 × 55, R-Web: 1000 × 55, Bottom-PL: 1400 × 55	Top-PL: 800 × 22, L-Web: 1200 × 22, R-Web: 1200 × 22, Bottom-PL: 800 × 22
断面諸量	Top-Rib: -, Web-Rib: -, Bottom-Rib: -	Top-Rib: 140 × 16, Web-Rib: 150 × 22, Bottom-Rib: 140 × 16
細長比	Ly/ry: 67.05, Lz/rz: 51.44	Ly/ry: 96.44, Lz/rz: 67.05
最大細長比	67.05 < 120	96.44 < 120
幅厚比	Top-PL: 24.45, L-Web: 17.18, R-Web: 17.18, Bottom-PL: 24.45	Top-PL: 18.18, L-Web: 15.15, R-Web: 15.15, Bottom-PL: 18.18
最大幅厚比	24.45 < 60	18.18 < 60
軸方向圧縮部材許容応力度	150.70	114.45
両縁支持板圧縮許容応力度	210	210
座屈パラメータ(柱)	1	1
座屈パラメータ(両縁板)R	0.63	0.45

表3: 解析パラメータ

項目	パラメータ	種類
断面	No.1 No.2(一部のみ)	
解析モデル	シェル要素タイザグラムなし	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	なし, 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	1種
鋼種	SM570, SBHS500	1種

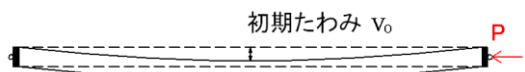


図3: 境界条件と荷重載荷方法

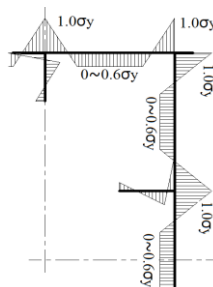


図4: 残留応力分布

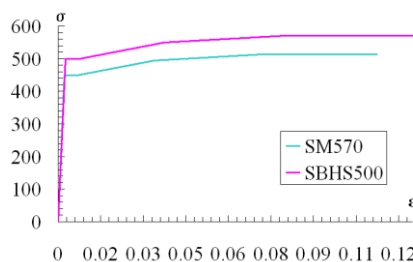


図5: 構成則

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, 高強度材

連絡先: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線(4564)

4. 弾塑性挙動と耐荷力特性

図 6, 図 7 はそれぞれ No.1 および No.2 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 SM570 材, 初期たわみ $v_0=L/1000$, 圧縮残留応力 $\sigma_{rc}/\sigma_y=0.2$ 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.1 断面の SM570, SBHS500 それぞれにおける初期たわみ v_0 と圧縮残留応力 σ_{rc} の変化による耐荷力を示している。同様に, No.2 断面における解析結果を図 10 に示す。図中の横軸は換算細長比 λ , 縦軸は耐荷力を降伏応力度で無次元化した値 σ/σ_y である。なお, 黒線は道示の耐荷力曲線を, さらに青色曲線は土木学会の Group-2 曲線²⁾、赤色曲線は SSRC-2²⁾ 曲線を示す。

図 8・9 から, 初期不整の増加に伴い耐荷力は低下するが, SM570 と SBHS500 の材質による耐荷力特性には大きな相違はない。また, 図 10 より, 補剛断面も耐荷力はやや低下したものの同様の挙動を示した。図 11 は図 8~10 までの中で初期不整として圧縮残留応力 $\sigma_{rc}/\sigma_y=0.2$, 初期たわみ $v_0=L/1000$ を全てまとめたものである。今回の解析結果に基づく下限値曲線として, Perry-Robertson 式を修正した式(1), 道示を修正した式(2)を求めた。

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) SM570 材を用いた無補剛断面アーチリブの耐荷力は, 初期不整の増加とともに低下しており, その下限値は, Group-2 曲線に漸近している。また, SBHS500 を用いた無補剛断面アーチリブの耐荷力の下限値は, SSRC-2 曲線に漸近しており, どちらも現在の道示の耐荷力を上回った。
- 2) SM570 材を用いた補剛断面アーチリブの耐荷力は, 無補剛断面と同様な傾向を示した。
- 3) アーチリブの耐荷力曲線として 2 本の新しい耐荷力曲線式を提示した。今回は, 僅か 2 タイプの箱断面でしたが, 今後さらに多くの実橋箱断面圧縮部材に対する解析を実施し, より信頼度の高い耐荷力曲線を求めていく予定である。

謝辞：本研究は「JSSC 鋼橋の合理化構造・設計法研究委員会(藤野委員長)/合理化構造・設計法研究部会(長井主査)」の委員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, 2002, 2) 土木学会：座屈設計ガイドライン, 2005

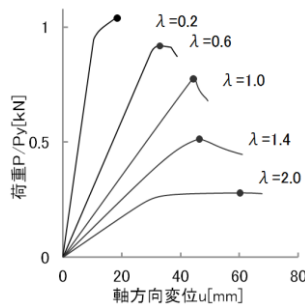


図 6 荷重変位曲線(No.3)

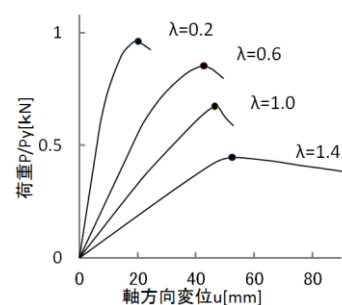


図 7 荷重変位曲線(No.5)

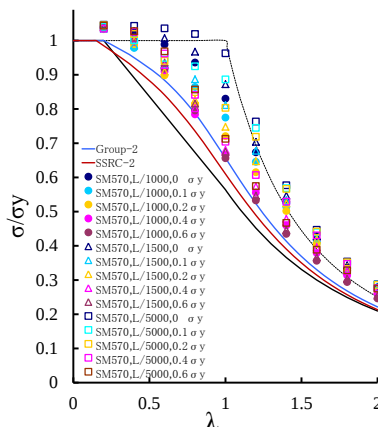


図 8: SM570 耐荷力曲線(No.3)

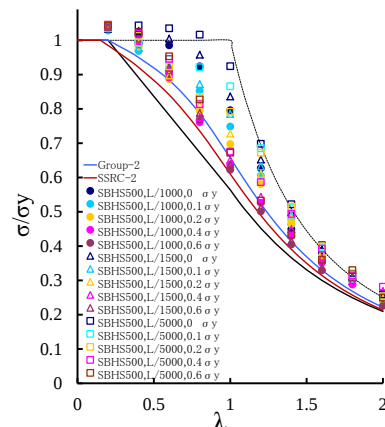


図 9: SBHS500 耐荷力曲線(No.3)

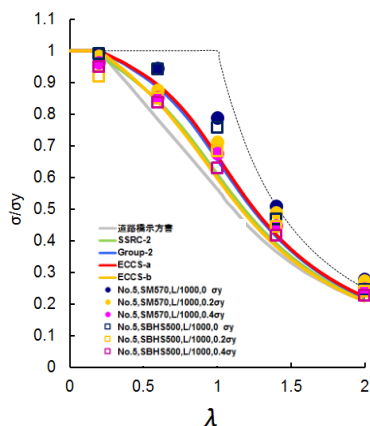


図 10: 耐荷力曲線(No.5)

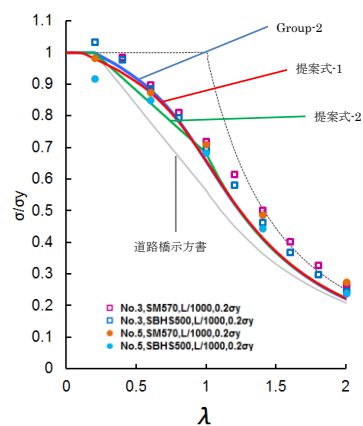


図 11: 提案式曲線

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = 1.0 \quad \lambda \leq 0.2$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = \frac{1}{2\lambda^2} [k - \sqrt{k^2 - 4\lambda^2}] \quad \lambda \geq 0.2 \quad (1)$$

$$k = 1 + 0.11(\lambda - 0.2) + \lambda^2$$

$$\sigma = 1.0 \quad (\lambda c \leq 0.2)$$

$$\sigma = 1.079 - 0.397\lambda c \quad (0.2 \leq \lambda c \leq 1.0)$$

$$\sigma = 1.0 / (0.4652 + \lambda c^2) \quad (0.2 \leq \lambda c) \quad (2)$$