

均一腐食劣化したトラス橋箱断面斜材の残存耐荷力に関する解析的検討

首都大学東京 学生会員 ○小峰翔一 (独)土木研究所 正会員 村越 潤  
 首都大学東京 フェロー会員 野上邦栄 (独)土木研究所 正会員 梁取直樹  
 鹿島建設(株) 正会員 山沢哲也 (独)土木研究所 正会員 前田和裕  
 早稲田大学 フェロー会員 依田照彦 (独)土木研究所 正会員 澤田 守  
 早稲田大学 正会員 笠野英行

1. はじめに

現在、高度経済成長期に建設された橋梁が供用開始から40年近く経ち、急速な高齢化に加えて、重大損傷の発生が懸念されている。そのような中、特に鋼橋においては、海外では鋼トラス橋の崩落事故や、国内では腐食による主構造部材の破断事故が相次いで発生した。今後、このような致命的な事故に至る危険性の高い橋が増えてくることが想定されるが、腐食損傷した主構造部材の耐荷性能を評価する手法は確立されていないのが現状である。そこで本研究では、厳しい腐食環境下において供用50年を目前として腐食劣化により撤去された鋼トラス橋の斜材に着目し、今後の腐食形状計測、載荷試験の予備解析として健全な圧縮部材と仮想的に腐食を導入した圧縮部材の弾塑性有限変位解析を行い、残存耐荷力特性について比較検討する。

2. 対象部材

対象とした部材は、圧縮力を受ける箱型断面斜材であり、図1に示すような2種類の幅厚比を有する部材である。表1には2部材の断面諸元および座屈強度 $P_e$ および道示<sup>1)</sup>の柱の基準耐荷力曲線から算出した耐荷力 $P_u$ をまとめた。さらに、これらの2つの基本部材に表2のパラメータの部材を対象にする。仮想的に与える腐食は、健全状態から全長に一樣に減少させた均一腐食である。いま、腐食パラメータとして次式の最大断面欠損率 $R_A$ を定義する<sup>2)</sup>。

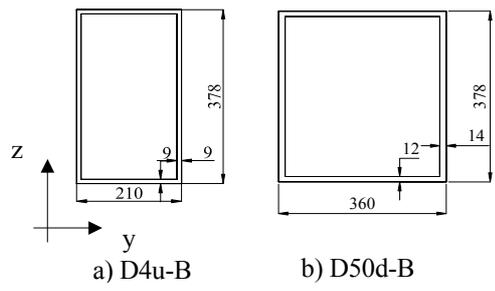


図1：部材断面図

表1：部材諸元一覧

	D4u-B	D50d-B
断面積	$A[\text{mm}^2]$ 10260	18552
部材長	$L[\text{mm}]$ 5800	5800
換算細長比	$\lambda$ 0.719	0.436
換算幅厚比	$R$ 0.721	0.532
鋼種	SS400	SS400
座屈強度	$P_{ey}/P_y$ 1.932	5.251
	$P_{ez}/P_y$ 4.835	5.289
耐荷力	$P_u/P_y$ 0.717	0.871
降伏強度	$P_y[\text{kN}]$ 2411	4360

さらに、これらの2つの基本部材に表2のパラメータの部材を対象にする。仮想的に与える腐食は、健全状態から全長に一樣に減少させた均一腐食である。いま、腐食パラメータとして次式の最大断面欠損率 $R_A$ を定義する<sup>2)</sup>。

$$R_A = (A - A_{\min}) / A \times 100 (\%) \quad \dots \dots \dots (1) \quad A_{\min} : \text{最小断面積}$$

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 MARC2005r2 を用いた。圧縮部材は、Solid 要素でモデル化した。構成則は、 $E/100$  のひずみ硬化係数を有するバイリニア型を仮定する。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。非線形数値解析には弧長増分法を適用した。

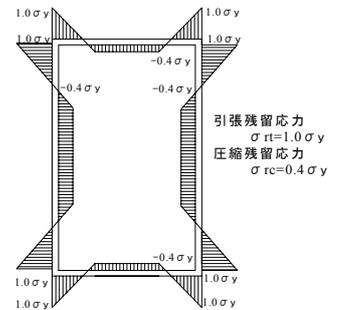


図2：残留応力分布

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。

4. 解析結果

図4は、D4u-B 部材における換算細長比 $\lambda$ ごとの荷重変位曲線を示している。図中の横軸は  $y$  軸方向のたわみ、縦軸は荷重である。図のプロット点は各 $\lambda$ におけるピーク値を示している。

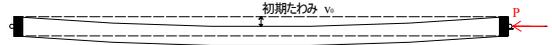


図3：境界条件と荷重載荷方法

表2：解析パラメータ

部材長 $L(\text{mm})$	D4u-B	2000, 5800, 10000, 16000
	D50d-B	3000, 5800, 15000, 25000
初期たわみ $L/v_0$		1000, 2000, 5000, 10000
残留応力 $\sigma_{rc}/\sigma_y$		0.1, 0.2, 0.3, 0.4
最大断面欠損率 $R_A(\%)$		0, 10, 20, 30

キーワード 腐食, トラス橋斜材, 残存耐荷力, FEM 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

図5は、初期不整と最大断面欠損率  $R_A$  の変化による耐荷力曲線を示している。図中の横軸は換算細長比  $\lambda$ 、縦軸は解析で得られた耐荷力を降伏強度  $P_y (= \sigma_y * A)$  で無次元化した値である。なお、図中の点線はオイラー座屈曲線を、太実線は道示の基準耐荷力曲線を示している。図から最大断面欠損率  $R_A$  が增大するにつれて(黒色から青色に変化)耐荷力が低下していることが判る。

図6は、 $v_0=L/1000$  の時の  $R_A$  と耐荷力の関係を示している。横軸に  $R_A$  をとり、縦軸に耐荷力を降伏強度で無次元化した値をとった。この図から、各  $\lambda$  において  $R_A$  の増大に伴って耐荷力が低下しており、特に  $\lambda=0.24$  では板厚を30%まで減らすと急激に耐荷力が落ちている。また、 $\lambda$  の違いによる傾きの変化を  $\beta$  で表すと次の式で  $R_A$  によって残存耐荷力を推定することができる。

$$P/P_y = P_{u0}/P_y - \beta R_A \dots \dots \dots (2)$$

$$\beta = 0.0113 - 0.0046 \lambda \dots \dots \dots (3)$$

$P_{u0}$  : 健全部材の耐荷力

図7は、横軸に  $\lambda$  をとり、縦軸に解析で得られた耐荷力を健全状態における道示の耐荷力  $P_{cr}$  で無次元化した値をとった。この図から、 $R_A=30$  においてほぼ全てのケースで道示の耐荷力を下まわっている。

図8は、横軸に  $R_A$  をとり、縦軸に解析で得られた耐荷力を健全状態における道示の耐荷力で無次元化した値をとった。対象とした部材の残存耐荷力は図中の上下限直線の範囲にあり、 $R_A$  と道示の耐荷力から推定できる。

図9は、健全部材の FEM 解析から得られた耐荷力  $P_{u0}$  に対する全ケースの残存耐荷力  $P$  の低下率  $\alpha = (P_{u0}-P)/P_{u0} * 100$  (%) を、各  $R_A$  に対してまとめたものである。図中の横軸は  $R_A$ 、縦軸は残存耐荷力の低下率を意味する。 $R_A=30$  において多少のばらつきが見られるが、およそ  $\alpha = R_A$  の線形関係にある。

5. 結論

$R=0.72$  と  $0.53$  を有する箱断面圧縮部材が均一全面腐食した場合の残存耐荷力に関するパラメトリック解析を実施した結果、健全部材の耐荷力に比して最大断面欠損率  $R_A$  の増大に伴って、残存耐荷力の低下率は最大35%程度低下し、おおむね  $R_A$  と同じ割合で低下することを示した。さらに、最大断面欠損率  $R_A$  の線形式により残存耐荷力を推定することができる。

謝辞：本研究は、3者（独）土木研究所、首都大学東京、早稲田大学）による、腐食劣化の生じた橋梁部材の耐荷性能の評価手法に関する共同研究の一環として行っており、平成21年度建設技術研究開発助成を受けて実施されたものである。

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)山沢・野上・園部・片倉：厳しい腐食環境下にあった鋼圧縮部材の残存耐荷力実験, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.52-60, 2009

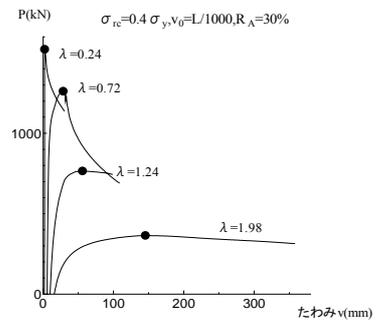


図4：D4u-B 荷重変位曲線

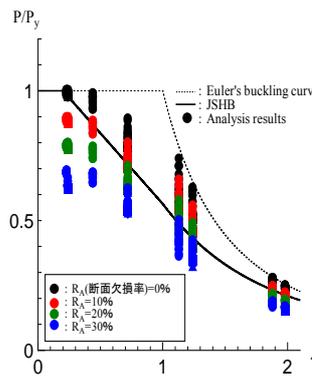


図5：耐荷力曲線

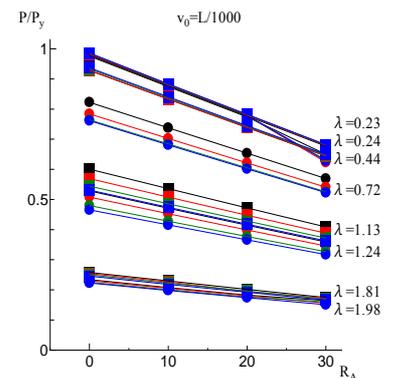


図6：RA と耐荷力の関係

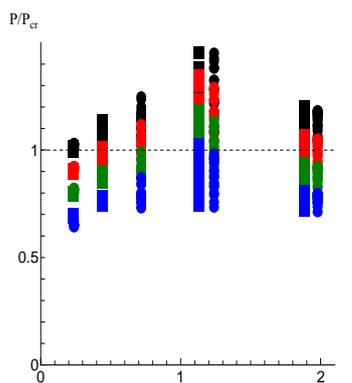


図7：耐荷力曲線

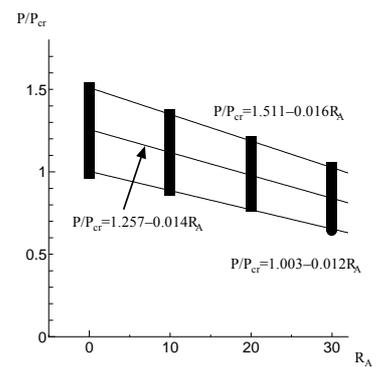


図8：RA と耐荷力の関係

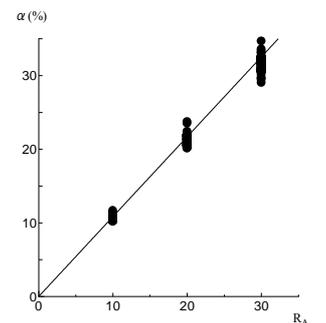


図9：耐荷力低下率