

模擬腐食を導入したトラス橋斜材の残存耐荷力

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 遠山直樹
鹿島建設 (株) 正会員 山沢哲也 (独) 土木研究所 正会員 澤田 守
早稲田大学 フェロー会員 依田照彦 (独) 土木研究所 正会員 有村健太郎
早稲田大学 正会員 笠野英行 (独) 土木研究所 郭 路

1. はじめに

鋼橋において、海外では鋼トラス橋の崩落事故¹⁾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ている。今後、このような劣化損傷に関して、その損傷程度に応じて、適切に構造安全性を評価することが重要であるが、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。

本研究では、約 50 年経過し、地震による被害のため撤去された鋼トラス橋の箱形断面を有する斜材を対象に、載荷試験の予備解析として圧縮部材の残存耐荷力特性に関する解析的検討を行う。撤去部材は、50 年経過しても腐食がほとんどなかったため、模擬的に腐食を導入した圧縮部材の弾塑性挙動および耐荷力特性を明らかにする。

2. トラス橋斜材

対象とした部材は、図 1 に示すような圧縮力を受ける無補剛箱形断面斜材である。表 1 には、その断面諸元、座屈強度 P_e 、道示²⁾の柱の基準耐荷力曲線から算出した耐荷力 P_u および降伏軸力 P_y を示す。

3. 模擬腐食と解析モデル

模擬腐食形態は、局部腐食として図 2 に示す 3 箇所(a, b, c)に橋軸方向 $dx=50, 150, 300\text{mm}$ の領域に導入する。また、断面内の腐食は、図 3 のように i 全断面、ii 上フランジのみ、iii 腹板のみに外縁から板厚を減肉させることにより発生させた 3 パターンを仮定する。

いま、腐食パラメータとして、最大板厚欠損率 R_t および最大断面欠損率 R_A を次式のように定義する³⁾。

$$R_t = (t - t_{\min}) / t \times 100 (\%), \quad R_A = (A - A_{\min}) / A \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここに、 t 、 A は各々健全時板厚、断面積、 $t_{\min}$ 、 $A_{\min}$ は各々最小板厚、最小断面積である。解析では、板厚を減肉した $R_t=0, 10, 20, 30, 40, 50$ の 6 腐食ケースについて検討する。 R_A と R_t との対応は、表 2 に示すとおりである。

部材は、Solid 要素でモデル化した。構成則は、引張試験から図 4 に示す折線近似モデルを定義した。境界条件は、図 2 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。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。初期不整として、残留応力は計測結果から、圧縮側が $0.2 \sigma_y$ となるような三角形分布を、さらに正弦半波の初期たわみ $v_0=L/10000$ を図 1 の y 軸方向に導入した。

4. 耐荷力特性

図 5~7 は、それぞれ(a)柱端部、(b)スパン中央部、(c)L/4 部における腐食範囲 300mm を有する全断面腐食タイプ(i)の荷重—変位曲線を示している。また、図 8~10 片側腹板腐食タイプ(iii)である。図中の横軸は、 x 軸方向

表 1：部材諸元一覧

断面寸法	$H \times B \times t_w \times t_f$ [mm]	N
		$318 \times 300 \times 15 \times 13$
断面積	A [mm ²]	16560
部材長	L [mm]	3000
換算細長比	λ	0.286
換算幅厚比	R	0.423
鋼種		SM400A
座屈強度	P_{ey}/P_y	12.561
	P_{ez}/P_y	12.190
耐荷力	P_u/P_y	0.953
降伏強度	P_y [kN]	4256

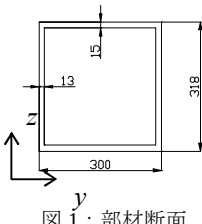


図 1：部材断面

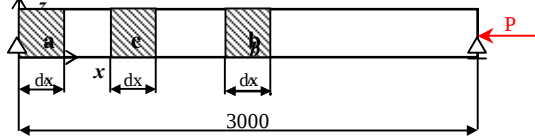


図 2：局部腐食領域モデル

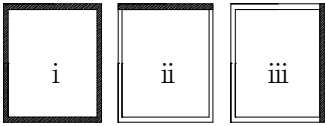


図 3：断面腐食領域

表 2：断面腐食領域による R_A の変化

板厚欠損率(%)	最大断面欠損率(%)			
	R _t	R _A		
		i	ii	iii
10	10.51	2.48	2.94	
20	20.83	4.87	5.79	
30	31.06	7.26	8.63	
40	41.19	9.64	11.47	
50	51.23	12.03	14.32	

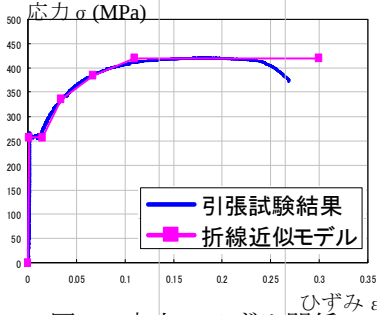


図 4：応力—ひずみ関係

変位、縦軸は荷重である。なお、図中のプロット点は各ケースにおける最大荷重点を示している。図から最大断面欠損率 R_A が増大するにつれて耐荷力が同じような割合で低下している。他の腐食範囲パターンのケースも同様の傾向を示した。なお、図5の端部腐食では $R_A=10\sim 20\%$ と腐食が少ない場合、耐荷力の低下が見られない。これは、腐食箇所での圧縮座屈後、健全な部分で全体座屈と塑性進展により崩壊するためである。また、(iii)のケースは(i)に比べて低下率が小さい。

全ケースの R_A と耐荷力の関係を示したのが図11である。横軸は R_A を、縦軸は降伏強度で無次元化した値を示す。この図を R_t に着目してまとめなおすと、図12のようになる。各ケースにおいて R_t の増大に伴って耐荷力が線形的に低下している。また、 R_t の値が同じでも腐食範囲、断面腐食領域によって低下の度合いに差が生じており、特に上フランジの腐食ケースの耐力低下が小さい。また、下限値は、以下の線形式で表すことができる。この式は、最大板厚欠損率 R_t が判れば、降伏強度から残存耐荷力を推定できることを意味する。

$$P/P_y = 1.048 - 0.011R_A \quad (R_A < 50\%, \text{ i タイプ}) \quad (2)$$

$$P/P_y = 1.048 - 0.026R_A \quad (R_A < 12\%, \text{ ii タイプ}) \quad (3)$$

$$P/P_y = 1.048 - 0.020R_A \quad (R_A < 14\%, \text{ iii タイプ}) \quad (4)$$

$$P/P_y = 1.048 - 0.011R_t \quad (R_t < 50\%, \text{ i タイプ}) \quad (5)$$

$$P/P_y = 1.048 - 0.006R_t \quad (R_t < 50\%, \text{ ii・iii タイプ}) \quad (6)$$

5. まとめ

今回の解析の結果、スパン中央部全断面腐食タイプの腐食範囲 300mm のケースにおいて最大で健全時から半分以下まで耐荷力が低下した。また、腐食範囲が 50mm のケースにおいて、柱端腐食タイプは断面内の腐食タイプに関わらず耐荷力の低下があまり見られなかった。

謝辞：本研究は、(独)土木研究所、早稲田大学、首都大学東京の3者による、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、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) 笠野、依田：米国ミネアポリス I-35W 橋の崩壊メカニズムと格点部の損傷評価，土木学会論文集 A, Vol.66, No.2, pp.312-323, 2010, 2) 日本道路協会：道路橋示方書 I 共通編, II 鋼橋編, 2002, 3) 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.711-720, 2009

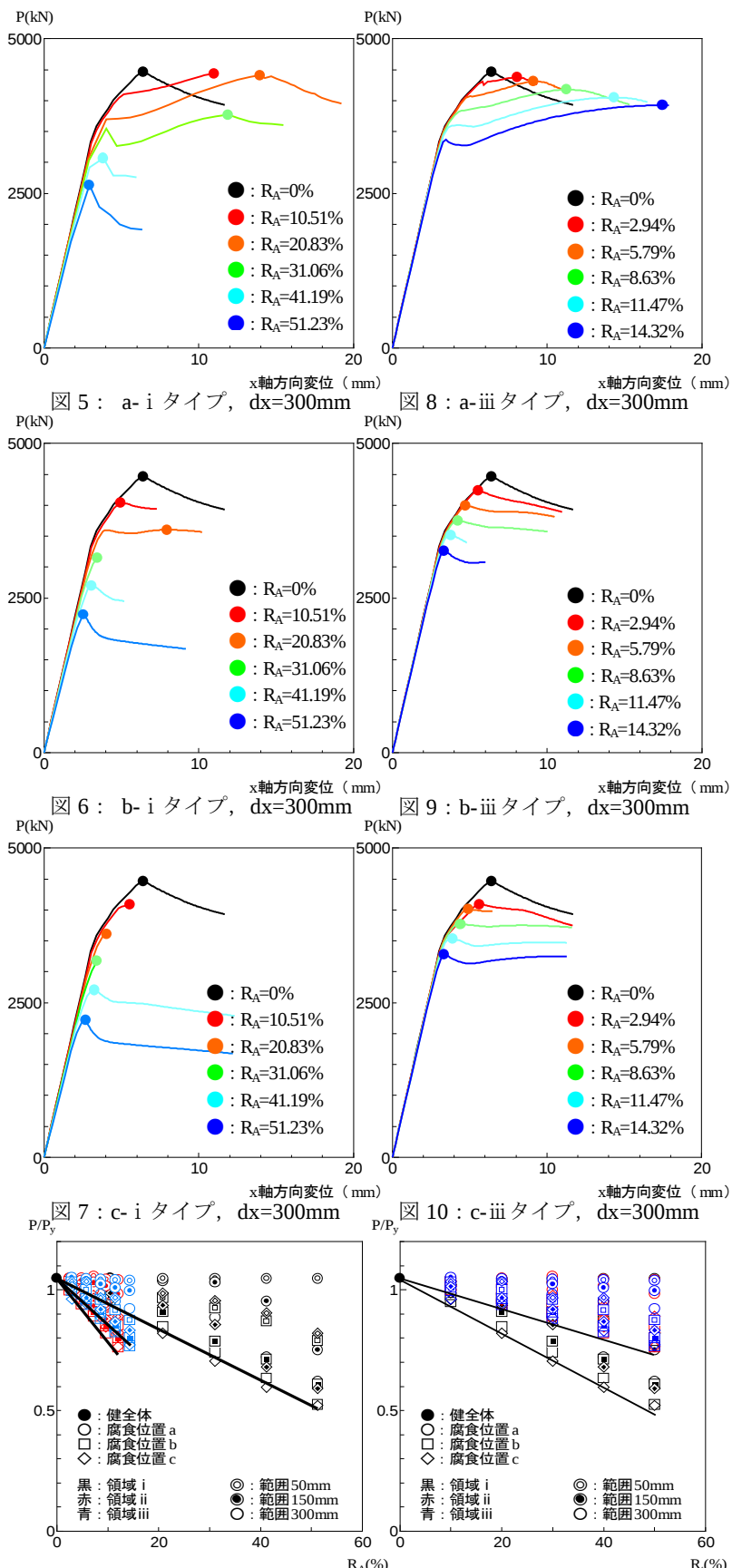


図 11：耐荷力曲線(横軸： R_A)

図 12：耐荷力曲線(横軸： R_t)