

模擬腐食を導入した箱断面圧縮部材の残存耐荷力に関する実験的・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 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

長期間供用された鋼橋において、主構部材に著しく腐食欠損の生じた事例が報告されている。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、耐荷力試験と解析を行い、圧縮部材の残存耐荷力特性に関する解析的検討を行う。なお、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に示すような無補剛箱形断面圧縮斜材である。表1には、その断面諸元、座屈強度 P_e 、道示¹⁾の柱の基準耐荷力曲線から算出した耐荷力 P_u および引張試験から算出した降伏軸力 P_y を示す。

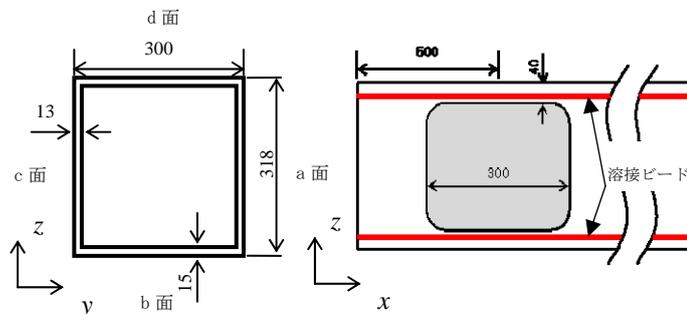


図1：部材断面と模擬腐食導入位置

表1：部材諸元一覧

		N
断面積	A[mm ²]	16488
部材長	L[mm]	3000
有効座屈長	L _x [mm]	3200
換算細長比	λ	0.295
	λ _k	0.315
換算幅厚比	R	0.362
鋼種		SM41A
座屈強度(L)	P _{ey} [kN]	56695
	P _{ez} [kN]	48646
座屈強度(L _k)	P _{ey} [kN]	49829
	P _{ez} [kN]	42755
耐荷力(L)	P _u [kN]	4309
耐荷力(L _k)	P _u [kN]	4258
降伏強度	P _y [kN]	4575
降伏応力	σ _y [N/mm ²]	277.5

3. 模擬腐食

模擬腐食形態は、局部腐食として4面全てに対して、図1に示す部材端部から500mmの位置を中心に幅300mmの領域に導入する。

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²⁾。

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

$$R_A = (A - A_{min}) / A \times 100 (\%) \quad (2)$$

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。板厚を減肉した表2に示すような4腐食ケースの試験体を作成した。

4. 圧縮載荷試験

両端単純支持された模擬腐食部材の圧縮載荷試験の全景が写真1である。この試験装置は載荷容量10MNで、変位制御方式、載荷速度0.01mm/secの試験条件下で漸増単調圧縮載荷を行った。得られた荷重-軸方向変位関係を図2に示す。腐食量の増加に伴い耐荷力は減少していき、 $R_t=50\%$ では



写真1：圧縮載荷試験

表2：試験体パターン

CASE No.	最小板厚 t _{min} [mm]		板厚欠損率 R _t [%]	断面欠損率 R _A [%]
	a, c 面	b, d 面		
CASE-1	13	15	0	0
CASE-2	11.7	13.5	10	7.8
CASE-3	9.1	10.5	30	23.3
CASE-4	6.5	7.5	50	38.8

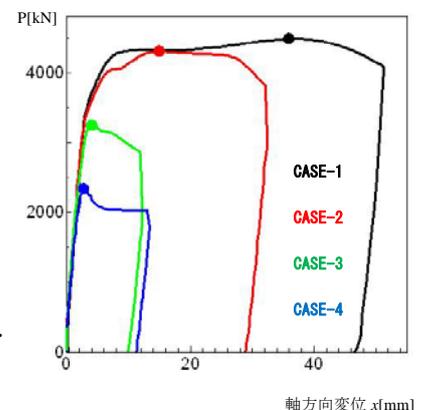


図2：荷重変位曲線(実験)

健全試験体の 0.48 倍に減少した。図 3 は、各試験体の残存耐荷力と最小板厚との相関関係を示している。縦軸に降伏軸力 P_y で残存耐荷力 P_{max} を無次元化した P_{max}/P_y 、横軸に最大板厚欠損率 R_t である。次式のような線形関係が得られた。

$$P_{max}/P_y = 1.00 - 0.0093R_t \quad (3)$$

5. FEM 解析

耐荷力解析では、Solid 要素を採用した。構成則は、2 体の引張試験結果を平均した図 4 に示す折線近似モデルを定義した。この時、表 1 にあるように降伏応力は平均値である $\sigma_y = 277.5 [N/mm^2]$ とした。境界条件は両端単純支持で、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 100mm の剛体を配置した。初期不整として、初期たわみは計測結果を導入した。残留応力は図 5 に示すように、計測結果から圧縮側が $0.13 \sigma_y$ の理想化した直線分布形状を用い、同様の分布形状を全面に導入した³⁾。

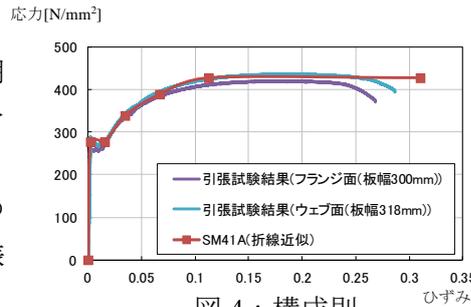


図 4：構成則

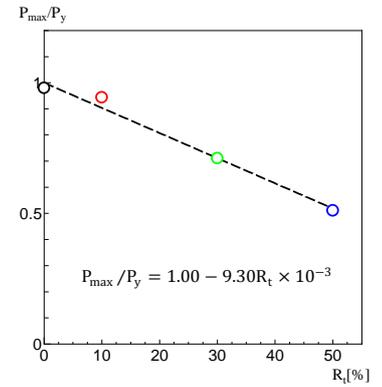


図 3： R_t と P_{max}/P_y の関係

図 6 は、解析で得られた荷重変位曲線を示している。図中の横軸は、x 軸方向変位、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。CASE-1, CASE-2 に関しては、軸方向変位が小さい段階で荷重の低下がみられた。実験と解析によって得られた残存耐荷力を比較したものが図 7 である。この図から、模擬腐食が少ないモデルでは、試験値と解析値が近い値となり、腐食量の増大に伴い解析値の方が高めにしている。最も差の大きい CASE-4 では、15%(400kN)ほど違いが生じた。

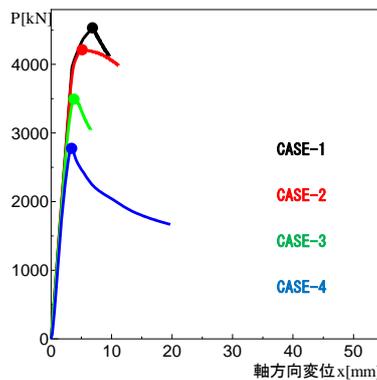


図 6：荷重変位曲線(解析)

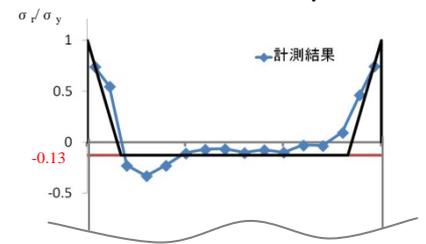


図 5：残留応力分布

実験と解析の減肉部の崩壊モードを比較したものが図 8 であり、どちらも局部座屈を起こしており、その座屈モードに同様の傾向があった。

6. まとめ

今回の検討の結果、次のようにまとめることができる。

1. 模擬的に均一な局部腐食を導入した場合、板厚欠損率と耐荷力には線形関係があることが明らかとなり、板厚欠損率 50% では、健全時に比べて 50% の低下がみられた。
2. 最大荷重後の除荷時における局部腐食領域の座屈変形に関して、解析結果は実験結果に近い崩壊モードを再現できた。

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)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.711-720, 2009, 3)宮下, 永田, 澤田, 野上, 長井：磁歪法による既設鋼橋の箱形断面部材の残留応力計測, 第 38 回土木学会関東支部技術研究発表会, I-15, 2011

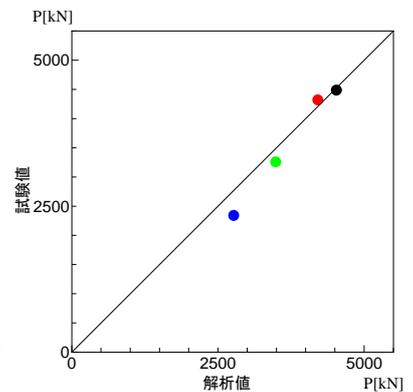


図 7：試験値と解析値の比較

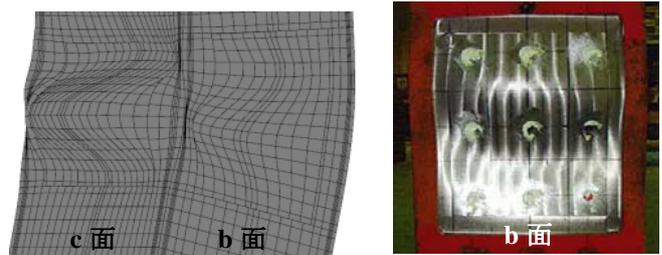


図 8：減肉部崩壊モード比較(CASE-4)