

腐食した圧縮部材の残存耐荷力の数値シミュレーション

首都大学東京 正会員 ○野上邦栄
鹿島建設(株) 正会員 山沢哲也
(株)ケイライン 正会員 園部裕也

1. 背景と目的

既存の公共構造物は、2010 年以降は急激な補修補強の増加が見込まれている。また、腐食・疲労現象による劣化が原因で発生した三重県でのトラスの斜材破断やミネソタ州での高速道路崩落事故など、橋梁の維持管理は極めて重要になっており、残存耐荷評価システムの開発が望まれている。そこで、本研究^{1)~3)}では、実際に約 40 年間腐食環境下におかれた実橋梁を構成する溶接H型、T型圧縮部材(全 6 体)を入手し、腐食形状計測を行い、その後、H型、T型部材それぞれ新規に健全部材を作成し、計 8 体の圧縮耐荷力実験を行った。そしてFEM解析を行い、部材の腐食量・腐食形状のFEMモデルへの再現性及び実験で得られたデータと比較し、圧縮残存耐荷力の精度について明らかにする。

2. 対象部材

対象とした供試体は、H 型部材 (5 体) と T 型部材 (3 体) との 2 種類の断面であり、一般寸法図を図-1 に示す。断面諸元と座屈強度は表-1 に示す通りで、溶接腐食部材は SM400 クラスの鋼材であり、新規に作成した部材は SS400 の鋼材を使用

表-1 断面諸元と座屈強度		H2A,H3A, H4C,H5C	H1	T7A,T8A	T6
断面積	A_g [mm ²]	4986	4878	3819	
部材長	L [mm]	2350		2100	
有効座屈長	L_k [mm]	2440		2724	
細長比	L_k / r_y	29.2		78.0	
	L_k / r_z	57.6		44.7	
鋼種		SM400	SS400	SM400	SS400
弾性係数	E [N/mm ²]	172555 ^(*)	200000 ^(**)	172555 ^(*)	200000 ^(**)
降伏荷重	P_y [kN]	1365 ^(*)	1463 ^(**)	1046 ^(*)	1146 ^(**)
座屈荷重	P_{cr} [kN]	9988	11304	1068	1238
	P_{cr} [kN]	2561	2904	3250	3767
基準耐荷力 (表示)	P_{cr} [kN]	971	1054	596	669

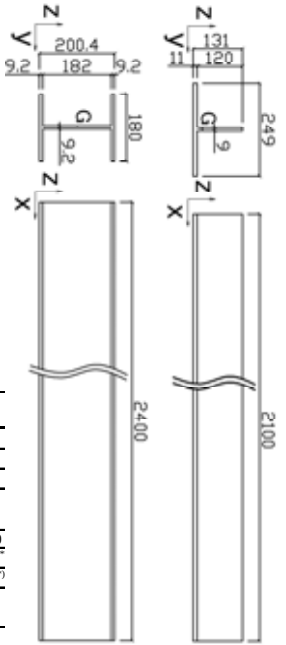


図-1 一般寸法図

した。腐食部材の弾性係数及び降伏荷重は、以前に行われた引張試験結果²⁾を用いた。また、レーザ式変位計による表面粗さ自動計測装置を用いた腐食形状計測から、腐食部材 6 体の残存板厚や最小断面積から求まる最大断面欠損率などが得られており、腐食ランク A 部材においては、ウェブと比較し、フランジが大きく腐食減厚している傾向が分かった。なお、計測間隔は X、Y 軸方向ともに 1mm とした。測定点は 1 部材あたり H 型断面部材が約 250 万点、T 型断面部材が約 150 万点になった。

3. FEM モデル化と解析条件

解析には、汎用弾塑性有限要素解析ソフト MARC2005r2 を使い、弧長増分法で解析を行った。引張試験により得られた材料物性、実測した初期撓み、倒れ、捩れ、残留応力を用い、Solid 要素で部材を作成し、また、部材端部から支点までは Shell 要素で簡易的に作成した。境界条件は実験同様に両端単純支持とし、荷重は集中荷重 P を図-1 の G 点(断面重心位置)に載荷した。H、T 型部材の実験から解析へのモデル化の様子を図-2 に示す。メッシュ分割はフランジ、ウェブ、部材軸方向を H 型部材、T 型部材それぞれ 10mm、8mm 間隔に分割した。ここで、腐食形状のモデル化は 1×1mm の表面腐食データを 10×10mm (H 型)、8×8mm (T 型) の節点データに変換し、健全モデルの表面節点を板厚方向に移動することにより、腐食形状を再現した。導入後のモデルの一例を

図-3 に示す(要素数 25002、節点数 38144)。構成則は $E/10000$ のひずみ硬化係数をもつバイリニア型、降伏条件には Von-Mises の降伏条件を用いた。

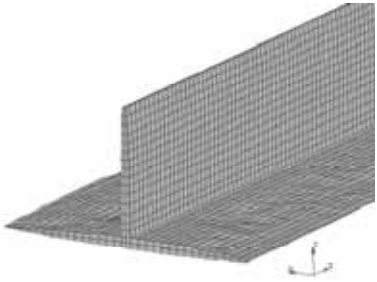


図-3 要素分割図

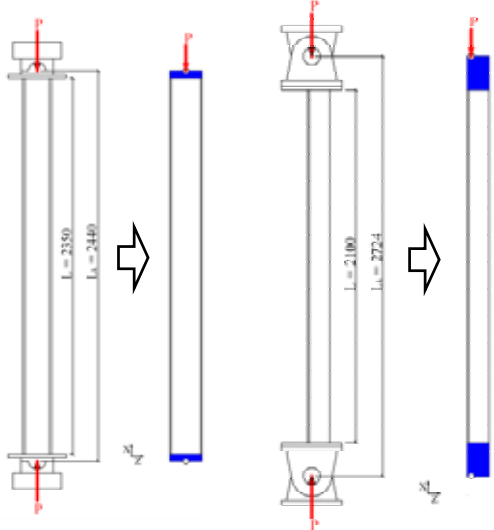


図-2 部材の FEM モデル化(左: H 型 右: T 型)

キーワード 腐食、H 型、T 型、残存耐荷力、レーザ式変位計、最小断面積
連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1 丁目 1 番地 TEL 0426-77-1111(代表)

4. 解析結果

図-4 は、縦軸に載荷荷重 P を、横軸に x 軸方向変位 u をとり、T7A 部材の実験と解析の荷重変位関係を示したもの(左図)と、横軸に z 軸方向変位 w をとり、T7A 部材の実験と解析の荷重変位関係を示したもの(右図)である。結果を比較すると、実験では、載荷荷重が250kNを過ぎたあたりからフランジ縁端部の腐食による減厚が比較的激しい部分に降伏が発生し、 z 軸方向変位が急激に大きくなっていることが分かる。解析では、載荷直後から徐々に変位が進行しており、350 kN 付近から変位の進行が大きくなり始めている。また、最大耐荷力に関しては、実験結果と比較し、解析結果の方がやや低めに出ているが、よく似た挙動を示していることが分かる。

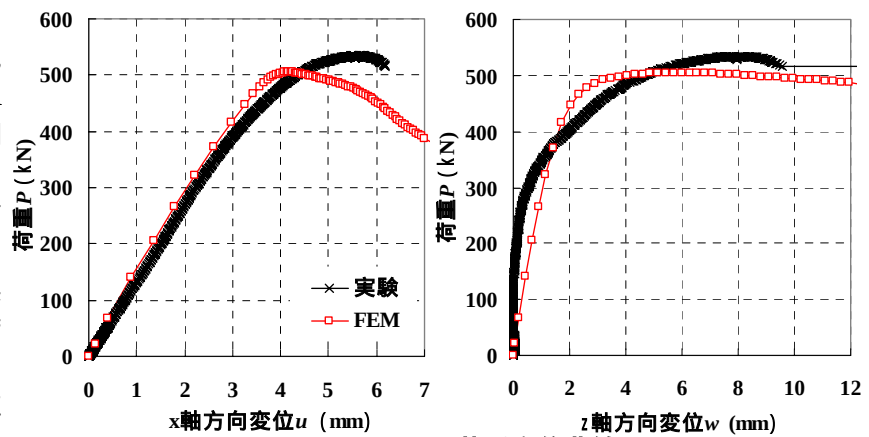


図-4 T7A 荷重変位曲線

図-5 は、H2A 部材の実験および FEM 解析による崩壊モードを比較したもの(左図)と T7A 部材の実験および FEM 解析による崩壊モードを比較したもの(右図)である。H2A 部材、T7A 部材ともに、実験・解析ともにフランジ縁端部の比較的腐食減厚が大きい箇所では波状の局部座屈変形を起こすとともに全体座屈変形を連成している様子が分かる。

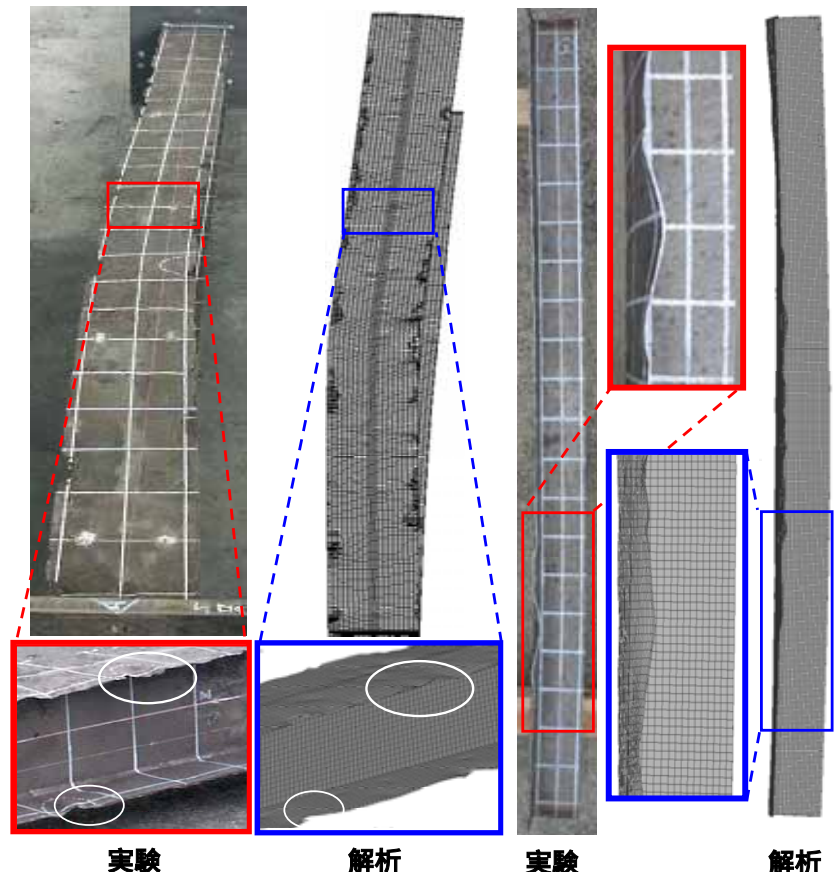


図-5 実験と解析による崩壊モード比較(左: H2A 右: T7A)

図-6 は、横軸に解析によって得られた最大耐荷力、縦軸には、実験によって得られた最大耐荷力を取り、各部材の結果をプロットしたものである。全体的に解析値は実験値よりやや低めの結果となっているが、全体的に解析結果は実験結果の耐荷力をほぼ捉えられていることが分かる。

5. まとめ

H 型部材、T 型部材をそれぞれ 10 mm、8 mm 間隔でメッシュ分割したモデルに、腐食計測データを導入して解析することにより、腐食圧縮部材の耐荷力や座屈モードが再現可能である。今後、実験データ、解析データの蓄積により、より精度の高い残存耐荷力評価が可能になる。

なお、ここで本研究にご協力いただいた(社)日本鉄鋼連盟と(社)日本橋梁建設協会に深く感謝します。

参考文献

- 1) 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, 2009
- 2) 森・橋・野上・山沢：腐食鋼板の引張・降伏耐力評価法の検討，土木学会論文集 A, Vol.64.No1, 2008
- 3) 園部・野上・山沢・片倉：腐食した T 型圧縮部材の残存耐荷力解析，土木学会全国大会，2008

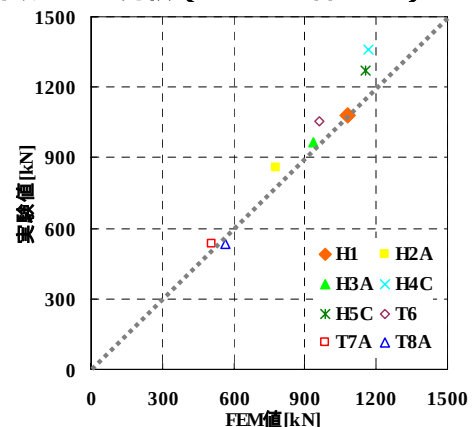


図-6 各部材の耐荷力比較