

腐食した T 型圧縮部材の残存耐荷力解析

首都大学東京大学院

パシフィックコンサルタンツ(株)

鹿島建設(株)

首都大学東京大学院

学生会員 ○園部裕也

正会員 片倉健太郎

正会員 山沢哲也

正会員 野上邦栄

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、今後は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),2)}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 T 型断面部材を入手し、まず腐食形状計測を行い、その後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、溶接 T 型断面圧縮部材 2 体 (T1B, T2B) と新規に作成した N 部材 (T0) の計 3 体であり、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、T1B, T2B は SM400 クラスの鋼材であり、T0 は SS400 の鋼材を使用した。また、T1B, T2B 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³⁾を用いた。

3. 部材腐食形状計測

腐食形状計測には、レーザー式変位計を取り付けた表面粗さ自動計測装置を用いた。この表面粗さ自動計測装置は、1000mm(X)×1000mm(Y)×30mm(Z) の立体空間の表面形状を自動計測可能である。腐食部材 2 体 (T1B, T2B) の腐食形状計測は、長さ 2100mm の供試体を 700mm ずつ 3 分割し計測を行い、計測間隔は X, Y 軸方向ともに 1mm とした。測定点は 1 部材あたり約 150 万点になった。計測結果の一例として T2B のフランジ表面腐食深さ(t_d)をコンター図に示したものが図-2 である。全体的に両縁端部の腐食が激しく、ところどころに孔食があり、 $x = 800 \sim 900$ mm 辺りに大きく断面欠損している様子が見て取れる。また、表-2 には計測結果を整理したものと T1B, T2B の平均 T 断面積 A_s と最小 T 断面積 A_{min} を示す。最も断面欠損の激しい断面 (最小 T 断面位置の断面) では健全時断面積 A_0 と比較して T1B, T2B とともに約 70% まで断面積が減少している。

表-2 平均 T 断面積 A_s と最小 T 断面積 A_{min}

部材名	T1B	T2B
平均 T 断面積 A_s [mm ²]	2902	3003
標準偏差 s [mm ²]	75.34	128.5
最小 T 断面積 A_{min} [mm ²]	2627	2609
最小 T 断面位置 x [mm]	1959	891
A_{min} / A_0 [%]	69	68

表-1 断面諸元と座屈強度

部材名		T1B, T2B	T0
断面積	A_0 [mm ²]	3819	
部材長	L [mm]	2100	
有効座屈長	L_k [mm]	2724	
細長比	L_k / r_y	78.09	
	L_k / r_z	44.74	
鋼材の材質		SM400	SS400
弾性係数	E [N / mm ²]	200000	172555
降伏荷重	P_y [kN]	1146	1046
弾性座屈荷重	P_{ey} [kN]	1236	1067
	P_{ez} [kN]	3767	3250

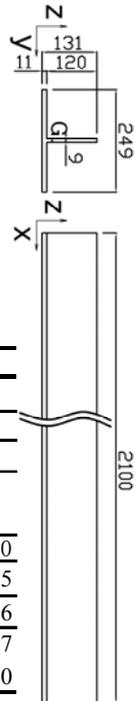


図-1 一般寸法図

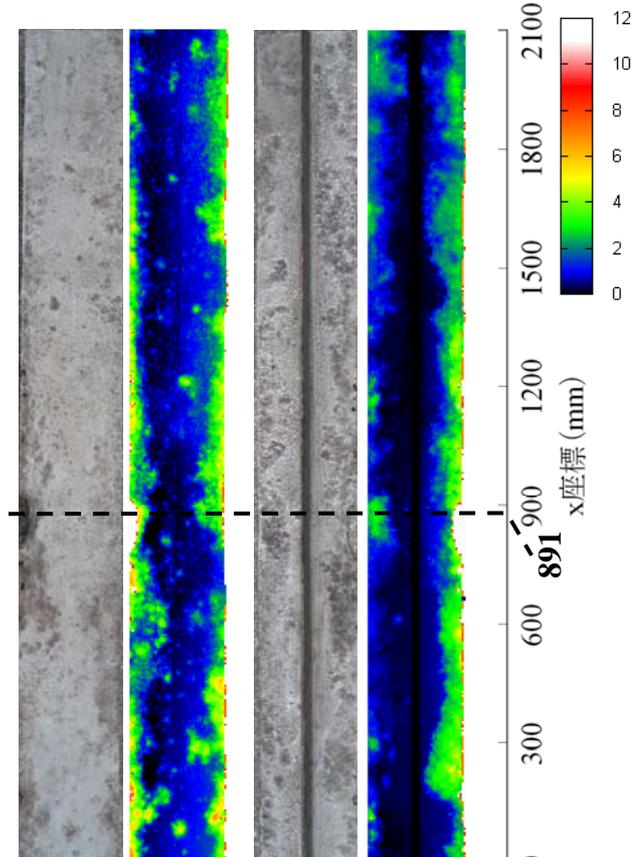


図-2 表面腐食深さコンター図 (左:表面, 右:裏面)

キーワード 腐食, T 型, 残存耐荷力, レーザー変位計, 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. 圧縮耐荷力解析条件

数値解析には汎用有限要素解析ソフトウェア MSC.MARC2005r2 を使用した。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。境界条件は両端単純支持である。腐食を表現するために部材を Solid 要素でモデル化した。また部材両端には応力集中を緩和する目的で剛体を取り付けた。腐食形状計測結果を導入した FEM モデルを図-3 に示す(要素数 24816, 節点数 38160)。これは図-4(a),(b)のように計測した部材表面, 裏面の腐食深さ(t_{d1} , t_{d2})だけ健全時モデルの表面節点を板厚方向に移動したものである。要素分割はフランジ, ウェブともに部材軸方向を基本 8mm 間隔に分割した。腐食形状のモデル化は 1×1mm の腐食計測データを 8×8mm の範囲で平均値を取って節点データに変換し, 腐食形状を再現した。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。また, 初期不整はトランシット

などで計測した初期撓み・初期倒れ・初期振れは実測値【初期撓み($y_{max} = 0.5\text{mm}$, $z_{max} = 0.5\text{mm}$)・初期倒れ($y_{max} = 2.5\text{mm}$, $z_{max} = 2.0\text{mm}$)・初期振れ(x 軸周り $\phi_{max} = 1.85^\circ$)を導入了。ただし, 残留応力は導入していない。

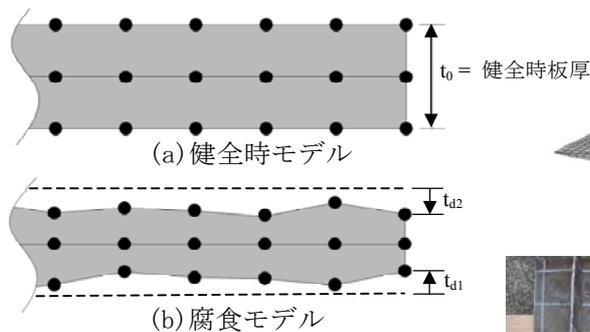


図-4 節点移動図

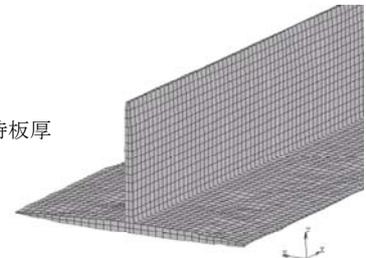


図-3 要素分割図

5. 実験・解析の結果と比較

図-5 は T2B 部材の荷重変位曲線である。載荷荷重が 200kN 付近でフランジの板厚の激しい部分に降伏が発生して面外変位が進展している。さらに荷重の増加にともない実験・解析ともに載荷荷重が 500kN を越えた辺りから変形が加速し, 終局に至っている。実験及び解析による崩壊モードを比較したのが図-6 であり, 右の解析結果の黒色部分は降伏部分である。フランジが局部座屈を起こし, 縁端部が微小ながら波打つように変形しており, 同時に全体座屈変形を連成している様子が分かる。また, 表-3 に示す他の供試体の耐荷力も非常に近い値を示しており, 解析結果は実験結果を十分再現していることが分かる。

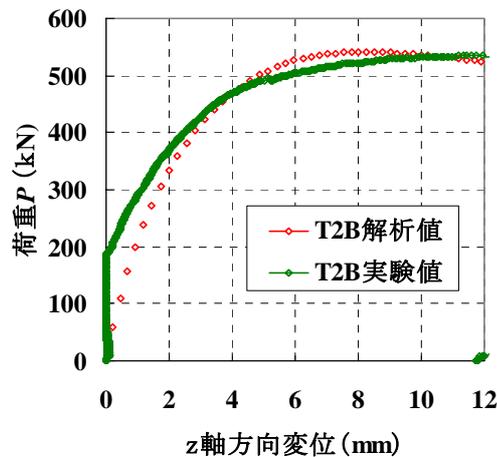


図-5 T2B 荷重変位曲線

表-3 各部材の耐荷力

部材名	T1B	T2B	T0
実験値[kN]	534	536	1052
解析値[kN]	539	541	1072
誤差[%]	0.9	0.9	1.9

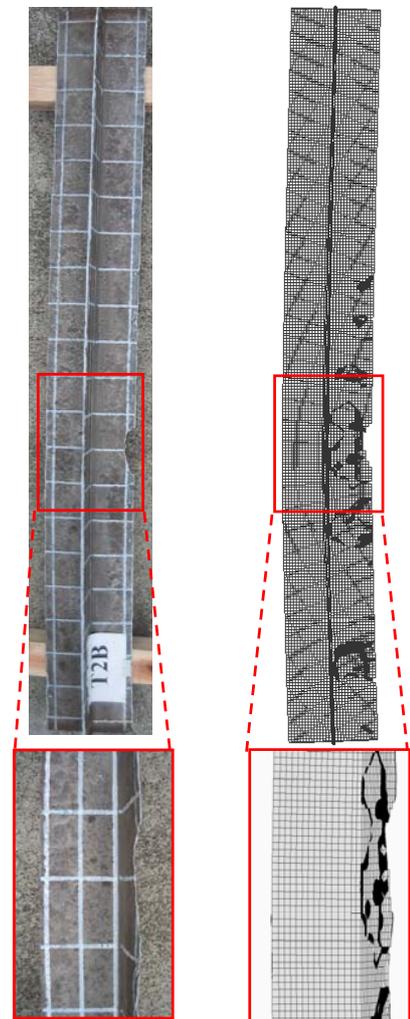


図-6 実験と解析による崩壊モード比較(T2B)

6. まとめ

- (1) レーザー変位計を用いた腐食形状計測から精度の良い腐食形状を再現することができた。
- (2) 腐食計測データを 8 mm 間隔でメッシュ分割したモデルに導入して解析することにより, 座屈モードや耐荷力を把握することができる。

参考文献

- 1) 山沢・野上・森・塚田：腐食鋼部材の腐食形状計測と曲げ耐荷力実験, 構造工学論文集, Vol. 52A, 2006
- 2) 園部・野上・山沢・若林：腐食した T 型圧縮部材の残存耐荷力に関する研究, 第 62 回土木学会年次学術講演会, 2007
- 3) 森・橘・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 No. 1, 38-47, 2008, 1