

破壊基準を導入した腐食鋼板の FEM 残存引張強度

愛媛大学大学院	学生会員	○桑山 大輔
徳山工業高等専門学校	正会員	海田 辰将
愛媛大学工学部	学生会員	丹野 航
愛媛大学大学院	正社員	大賀 水田生

1. はじめに

腐食鋼部材の残存強度を評価するために、現在さまざまな研究が行われている¹⁾。残存強度評価において、既存構造物から切り出した腐食供試体を用いた実験を行えば精度の高い残存強度評価ができるが、構造物を構成する部材を切り出すことは容易でなく、種々の構造物や応力状態について残存強度評価を広範囲に行うためには、信頼性のある解析法を用いた残存強度解析が有効である。しかしながら、ほとんどの研究が実験的または解析的に単独で行われており、実験結果との比較による残存強度解析法の精度についてはほとんど検討されていない。本研究では 102 年供用後撤去されたプレートガーターから切り出した腐食鋼板の引張試験結果と解析結果の比較から、非線形有限要素法による残存強度解析の信頼性を検討する。

2. 腐食鋼板の FEM 残存引張強度解析

2.1 解析モデル

腐食の程度を示す標準偏差が異なる 3 つの供試体 (図-1: (a)FT-14, (b)FT-15, (c)FT-19) について解析を実施した。図-2 に解析モデル例を示す。解析モデルは x-y 平面に 2 mm 間隔, z 軸方向に 4 層に分割し, 8 節点立体要素を適用した。腐食表面の凹凸は, 3 次元計測システムにより測定した密な表面形状データ (片面に約 100 万点) の z 座標 (図-3 赤印) から解析モデルの節点 (図-3 青印) の z 座標を決定することで再現した。本研究では測定点が非常に密であることや, 腐食深さを正確に表現するために, 節点に最も近い測定点のデータをその節点の座標として採用した。



248 μm)



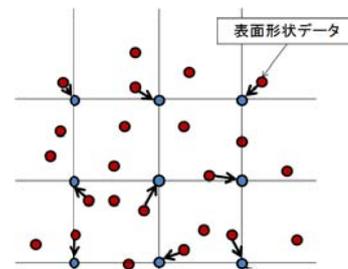
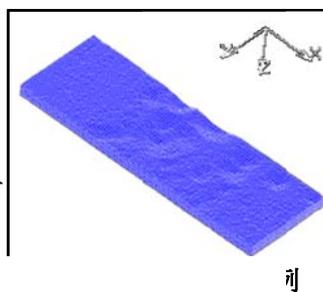
.0 mm)



mm)

2.2 解析条件

本解析には MSC/MARC を使用した。境界条件は, 腐食供試体両端にはつかみ部として鋼材 (SM490A) を全面溶け込み溶接により接続していることを考慮して (図-4), 一端を固定し, 他端は y, z 方向を固定し, x 方向に等分布強制変位を荷重として



与えた。材料特性は JIS 規格平滑供試体の引張試験から得られたデータを用いた。降伏条件には Von Mises の降伏条件を適用した。



3. 破壊基準の導入

腐食鋼板の引張試験から、腐食の程度が大きい場合、腐食鋼板の最小板厚付近にき裂が発生しピーク荷重に達する以前に破断に至ることが明らかとなった。しかし、き裂の発生を伴う破壊条件は未だ確立されておらず、一般的な解析ツールには反映されていない。そこで本研究では、式(1)に示すような Kanvinde, A. M によって定義された延性破壊理論の限界相当塑性ひずみ $\epsilon_{critical}^p$ を導入し、部材に生じる相当塑性ひずみ ϵ^p と限界相当塑性ひずみ $\epsilon_{critical}^p$ を比較することによりき裂発生荷重を決定した。

$$\epsilon_{critical}^p = \alpha \exp(-1.5T), \quad \text{ここに } \alpha = \epsilon_{critical}^{p*} / \exp(-1.5T^*), \quad T = \sigma_m / \sigma_e \quad (1)$$

α は材料定数、 T は応力 3 軸度、 σ_m および σ_e はそれぞれ 3 軸方向の垂直応力の平均応力と有効応力である。材料定数 α は、腐食状態に関係しない材料特有の係数であり、本研究では平滑部材の引張試験から得られる破断ひずみ $\epsilon_{critical}^{p*}$ と平滑部材の引張強度解析から得られる応力 3 軸度 T^* を用いて決定した。

4. 実験結果と解析結果の比較

非線形有限要素法による腐食鋼板の残存強度解析の精度を検証するため、腐食の程度が異なる 3 つの腐食鋼板 (FT-14, 15, 19) を用いて非線形有限要素解析を行い、得られた引張強度と実験結果との比較検討を行うとともに、延性破壊理論に基づく破壊基準を導入して求めた残存強度と実験結果との比較検討を行った。図-5 に例として FT-15 の実験及び解析により得られた荷重-変位関係を示すとともに、表-1 に残存強度の比較を示している。腐食の程度が小さい場合 (FT-14)、非線形有限要素法により得られたピーク荷重と実験結果は 2% 以内の誤差で一致しているが、腐食の程度が大きくなるとともに、たがいの誤差が大きくなる傾向を示している。

(FT-15:9.210%, FT-19:36.011%)。一方、破壊基準を導入した場合の残存強度は、実験結果との誤差が大きく改善する傾向を示すことが明らかとなった (FT-14:1.726%, FT-15:0.343%, FT-19:13.240%)。腐食の程度を示す標準偏差 $\sigma_{st}=1.0\text{mm}$ はかなりの腐食がすすんだ部材であることを考慮すると、破壊基準を導入した非線形有限要素解析を用いることにより、精度の高い残存強度を求めることが可能であることが明らかとなった。

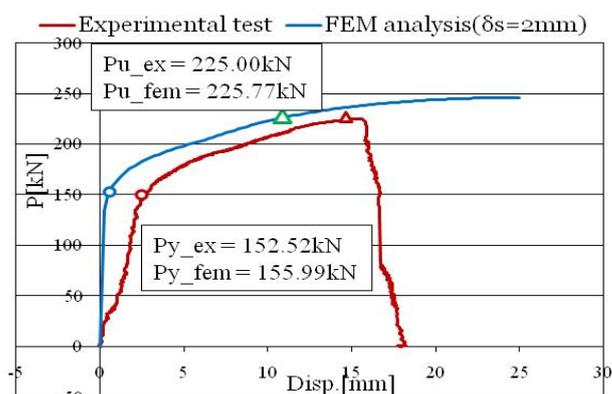


図-5 FT-15 の荷重-変位関係

表-1 引張強度における破壊基準導入前後の解析結果および実験結果

	標準偏差	FEM	FEM*	TEST	FEM-TEST	FEM*-TEST
	$\sigma_{st}(\text{mm})$	$Pu_f(\text{kN})$	$Pu_f^*(\text{kN})$	$Pu_t(\text{kN})$	error(%)	error(%)
FT-14	0.248	324.344	324.344	318.840	1.726	1.726
FT-15	1.010	245.722	225.773	225.000	9.210	0.343
FT-19	1.568	238.617	198.668	175.440	36.011	13.240

*・・・破壊基準導入後の結果

5. まとめ

- (1) 一般的な非線形有限要素解析を実施した場合、腐食の程度が大きくなるにつれて引張試験結果との誤差は大きくなった。
- (2) 現在供用中の橋梁部材の腐食程度は、標準偏差が 1.0 mm 以下の場合がほとんどであることを考慮すると、非線形有限要素解析に破壊基準の限界相当塑性ひずみを導入することで、腐食鋼板の残存引張強度評価に対して十分な信頼性を有していると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会鋼構造委員会：腐食した鋼構造物の残存性能評価および性能回復技術，2007. 5