

腐食鋼板の残存強度評価

愛媛大学大学院 学生会員 ○吉井 大地
 愛媛大学大学院 正会員 大賀水田生
 愛媛大学大学院 学生会員 池田 裕幸

1. はじめに

腐食鋼板の残存強度評価について、構造物から供試体を切り出し、実験を行うことにより精度のよい残存強度評価を行うことができるが、腐食鋼部材を構造物から切り出すことが困難な場合が多い。そのため、多くの構造物において残存強度評価を行うためには、信頼性のある数値解析法を用いた強度解析が有効であると考えられる。しかしながら、腐食鋼板の残存強度に関する研究は実験的または解析的にそれぞれ単独で行われているのがほとんどであり、実験結果との比較による残存強度解析法の精度に関する検討は行われていないのが現状である。そこで本研究では、102年間供用後撤去された鋼橋から切り出した腐食鋼板の FEM 残存引張強度解析を行い、得られた結果と引張試験結果を比較することにより、FEM 残存強度解析の信頼性の検討を行う。

2. FEM 残存引張強度解析

2. 1 供試体概要

腐食程度の異なる 18 体の供試体について、FEM 残存強度解析を行った。解析には、MSC/MARC を使用し、要素は複雑な腐食表面形状を正確に表現するために、3次元 8 節点アイソパラメトリック任意形状六面体要素を採用した。図-1 に解析モデルを示す。解析モデルは x、y 平面方向に 2mm 間隔、z 軸方向に 4 層に分割した。(約 18000 要素)

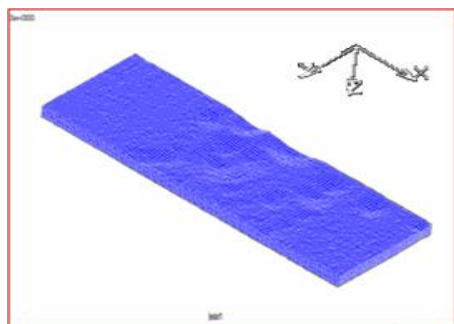


図-1 解析モデル

2. 2 材料特性および境界条件

本研究の FEM 残存強度解析に用いた材料特性において、ヤング係数 E およびポアソン比 ν は JIS 規

格平滑供試体の材料特性試験から得られたデータを用い、その他の材料特性値 (σ_y : 降伏応力, σ_u : 引張応力, $\epsilon_p^{\text{critical}}$: 破断ひずみ) は最も腐食程度の小さい供試体である FT14(標準偏差: $\sigma_s=0.25\text{mm}$) の引張試験結果を用いた。降伏条件には Von Mises の降伏条件を適用した。

本研究の FEM 残存強度解析で用いた境界条件は、腐食供試体両端に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-2)、一端は全方向固定、他方は y、z 方向固定し、x 方向に一樣な等分布強制変位を与えることにより荷重を載荷し、荷重がほぼ一定になるまで解析を行った。

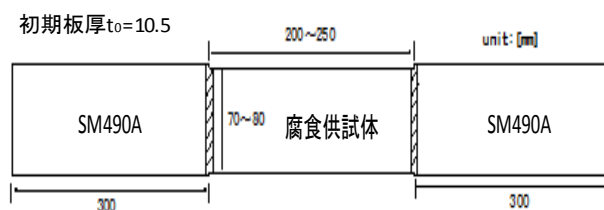


図-2 供試体概略

2. 3 破壊基準の導入

腐食が進行した部材の引張強度は、ピーク荷重に達する以前に板厚の小さい部分にクラックが発生し破壊することが明らかとなっている¹⁾。これは、腐食が最も激しい部分(最小板厚付近)に応力集中が発生し、その部分が延性破壊を起こしたためと考えられる。そこで本解析では式(1)に示すような、延性破壊理論の限界相当塑性ひずみ²⁾を導入して、部材の最大ひずみと比較し、破断時の荷重を決定した。

$$\epsilon_p^{\text{critical}} = \alpha \cdot e^{-1.5T}, \alpha = \epsilon_p^{\text{critical}} / e^{-1.5T}, T = \sigma_m / \sigma_e \quad (1)$$

ここに、 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 $\epsilon_p^{\text{critical}}$ 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。

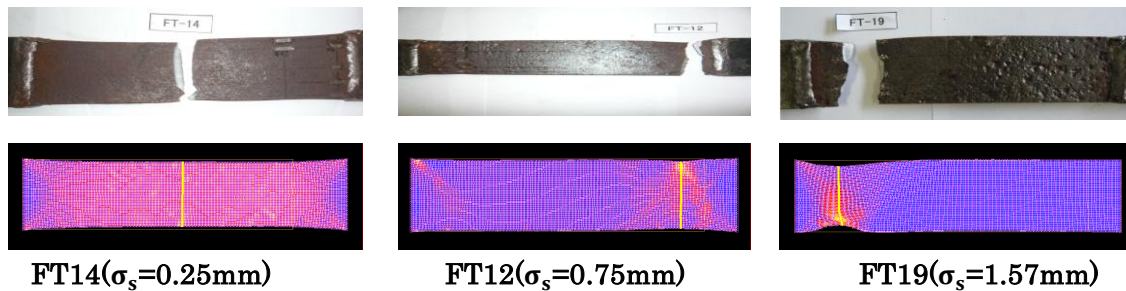


図-4 破断位置の比較

3. 解析結果と実験結果の比較および検討

3. 1 残存引張強度および非線形挙動

FEM 残存強度解析を行った 18 体の供試体の中から、腐食程度の小さい FT14($\sigma_s=0.25\text{mm}$)、腐食程度が中位の FT12($\sigma_s=0.75\text{mm}$)、腐食程度の大きい FT19 ($\sigma_s=1.57\text{mm}$)について、FEM 残存強度解析および実験結果より得られた荷重・変位曲線を図-3 に示す。FEM 残存強度解析において、破壊基準を導入した引張強度の位置を▲で示している。表-1 に引張強度と降伏荷重の比較を示す。図-3 および表-1 から明らかなように、降伏荷重は腐食程度に関わらず FEM 残存強度解析と引張試験は良く一致していたが、引張強度では、腐食程度が大きい供試体である FT19 において 21.47%もの誤差が生じている。しかしながら、現在供用中の橋梁部材の腐食程度は標準偏差が 1.0mm 以下の場合がほとんどであることを考慮すると、本研究での破壊基準を導入した FEM 残存強度解析は、腐食鋼板の引張強度の評価に対して十分な信頼性を有していると考えられる。

3. 2 破断位置の比較

FT14($\sigma_s=0.25\text{mm}$)、FT12($\sigma_s=0.75\text{mm}$)、FT19($\sigma_s=1.57\text{mm}$)についての FEM 残存強度解析と引張試験での破断位置の比較を図-4 に示す。FEM 残存強度解析での破断位置は解析後の供試体の変形図により、板幅が最も小さい断面（以下最小板幅断面）とした。腐食程度が小さい場合(FT14)では、最小板幅断面がほとんど供試体全体に存在するので、破断は供試体のほぼ中心で起きているとみなした。腐食程度が中位以上の場合(FT12,FT19)では腐食程度が小さい場合(FT14)と異なり、最小板幅断面を決定することができたため、破断位置をより明確に求めることができた。図-4 から明らかなように、FEM 残存強度解析での破断位置は引張試験結果と良く一致している。

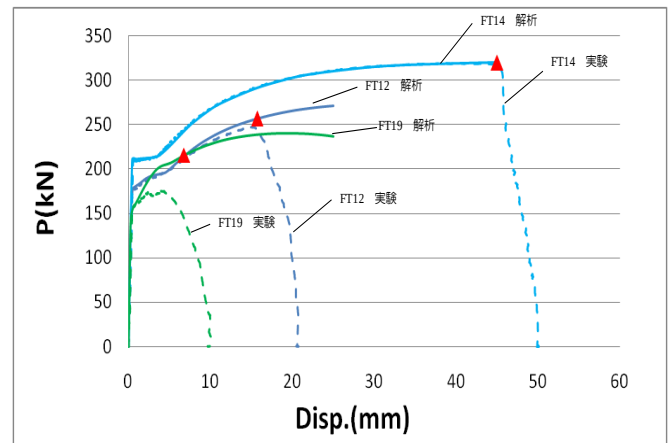


図-3 荷重・変位曲線

表-1 解析結果と実験結果の比較

	標準偏差 (mm)	実験引張 強度(kN)	解析引張 強度(kN)	誤差(%)	実験降伏 荷重(kN)	解析降伏 荷重(kN)	誤差(%)
FT12	0.75	247.60	256.88	-3.75	178.20	177.25	0.54
FT14	0.25	319.00	320.15	-0.36	210.20	210.90	-0.33
FT19	1.57	174.20	211.61	-21.47	160.40	155.05	3.33

4. 結論

- (1) 本研究での破壊基準を導入した FEM 残存強度解析は、腐食鋼板の引張強度の評価に対して十分な信頼性を有していると考えられる。
- (2) FEM 残存強度解析と引張試験での破断位置は、良く一致していることが明らかとなった。

参考文献

- 1) Ohga M, et al : EVALUATION OF TENSILE STRENGTH DETERIORATION OF STEEL BRIDGE PLATES DUE TO CORROSION ,ICSBE ,pp.521-528 , 2010.
- 2) A.M.Kanvinde ,G.G. Deierlein : Void growth model and stress modified critical strain model to predict ductile fracture in structural steels , JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERINGASCE, pp.1907-1918 , 2006.