

腐食鋼板の圧縮強度に及ぼす各種腐食パラメータの 影響に関する基礎的研究

高知工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○ SYPHAVANH SONGKEO
高知工業高等専門学校 正会員 勇 秀憲

1. 緒 言

現在、高度経済成長期に建設された多くの構造物が老朽化し、特に、その腐食と疲労が供用期間における劣化原因の一つになり、様々な損傷事例が報告されてきている。構造物の維持管理においては、この腐食と疲労の管理の問題をいかに評価するかが重要な課題である。特に、鋼構造物の終局強度に及ぼす鋼材の腐食の影響が深刻な問題となっている¹⁾。

本研究では、空間的自己相関(SAC)によりモデル化された腐食表面を有する鋼板の終局圧縮強度を、有限要素法コード MSC.Marc を用いて評価し、各種の腐食パラメータと圧縮強度の関係を調べる。

2. 腐食鋼板モデル

2.1 解析手法

本研究で用いた有限要素腐食鋼板モデル(板長 0.4m, 板幅 0.4m, 初期板厚 t_0)を、**図 1** に示す。要素分割は 40×40 で 4 節点四辺形薄肉線形シェル要素 139 (各節点 6 自由度) を用いた。この鋼板モデル両面に SAC により初期板厚 t_0 から平均板厚 t_{ave} となるような独立した腐食を生じさせた。材料は、完全弾塑性体、von Mises の相当応力、Plandtl-Reuss の流れ則、等方硬化を仮定する(降伏応力 $\sigma_y = 235.2\text{MPa}$, ヤング率 $E = 205.8\text{GPa}$, ポアソン比 $\nu = 0.3$)。弾塑性大変形解析は、周辺単純支持、一様面内圧縮変位 U/U_{cr} (U : x 方向面内変位, U_{cr} : 弾性座屈時の x 方向面内変位) のもとで実行し、腐食鋼板モデルの終局圧縮強度を評価する。

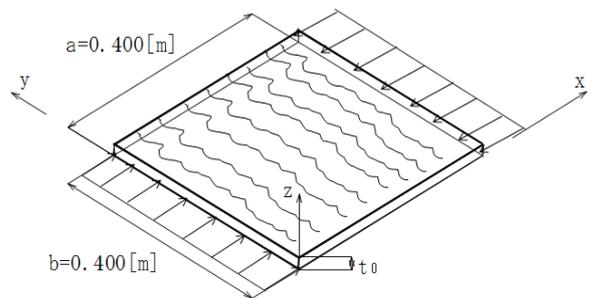


図 1 腐食鋼板モデル

図 2 はシェル要素の腐食後の板厚分布の一例を示す。ここに、 R_{ave} , r_c は腐食パラメータで、後述する式 (1), (2) で与えられる。標準偏差が大きいほど腐食による凹凸が激しく、実際の腐食鋼板において腐食がかなり進展した状況に対応している。

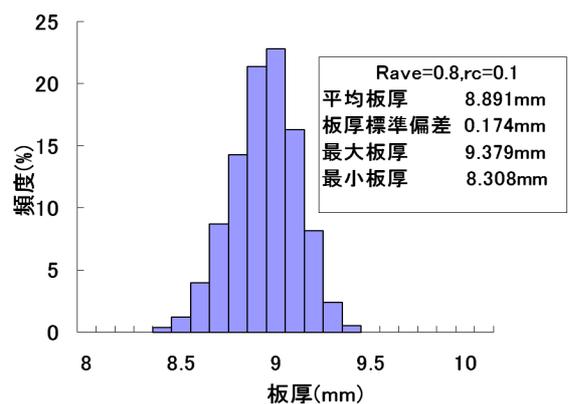


図 2 腐食後板厚の分布例

2.2 腐食面の生成と腐食パラメータ

SAC による腐食面の生成は、ポアソン乱数を用いた独立腐食深に対し距離減衰を施し、空間的に互いの腐食深に影響させることで各点の腐食深が決定される。本研究では独立腐食深間 隔を 5mm とし、距離減衰に関するパラメータ β は既往の研究¹⁾から $0.4[\text{mm}]$ と固定した。鋼板モデルの両面に独立して腐食を生成した。

腐食鋼板モデルの腐食前の初期板厚 t_0 , 腐食後の平均板厚 t_{ave} および材料特性値を用いて、幅厚比パラメータ R_{ave} および板厚損失比 r_c 次のように定義する。

$$R_{ave} = \frac{b}{t_{ave}} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (1)$$

$$r_c = \frac{t_0 - t_{ave}}{t_0} \quad (2)$$

ここに、幅厚 $b = 0.400[\text{m}]$ および座屈係数 $k = 4$ である。本研究においては、これらのパラメータと終局強度の関係を見いだすため、あらかじめ R_{ave} および r_c を決定したのち、それに一意的に対応する平均板厚 t_{ave} と初期板厚 t_0 を求

める。本研究では、塑性座屈や弾塑性座屈に対応して幅厚比パラメータ $R_{ave} = 0.8, 1.0, 1.1$ 、弾性座屈に対応して $R_{ave} = 1.3, 1.5$ とした。また、板厚損失比を無腐食 $r_c = 0$ から、腐食板は $r_c = 0.05, 0.1, 0.3, 0.5$ と変化させて、終局圧縮強度を求めた。

3. 解析結果と考察

3.1 終局圧縮強度の算定

終局圧縮強度 σ_u は、図 3 に示す荷重 σ_u / σ_y -面内変位曲線および U/U_{cr} から、その荷重最大値として求めることができる。腐食鋼板モデルの弾塑性挙動および終局圧縮強度は、幅厚比パラメータ R_{ave} によって決まる弾性座屈、弾塑性座屈、塑性座屈に対応して決定される。これは、平均板厚 t_{ave} が腐食により変化すると、 R_{ave} が変化するので、塑性座屈を示す腐食前鋼板が、腐食後に弾塑性あるいは弾性座屈を起こす可能性があることを示す。この場合、弾性座屈強度や終局圧縮強度が腐食前に比べて腐食後に低下する。なお、本研究では、終局状態において 1 次座屈モードが卓越する場合を対象とした。

図 4 は、終局圧縮強度 σ_u と体積損失比 $1 - V/V_0$ (V は鋼板モデルの腐食後の体積、 V_0 は腐食前の体積) の関係を、与えられた幅厚比パラメータ R_{ave} ごとに示す。 $R_{ave} = 0.8, 1.0, 1.1$ の塑性座屈や弾塑性座屈の場合は、体積損失比が大きくなるにつれ、終局強度が低下している。一方、 $R_{ave} = 1.3, 1.5$ の弾性座屈の場合は、体積損失比が大きくなっても、終局強度はあまり影響を受けずその低下量は小さい。

3.2 終局圧縮強度の評価

既往の研究¹⁾では、腐食鋼板の圧縮強度は腐食後の平均板厚と板厚標準偏差を用いて評価できるとされてきた。本研究では、重回帰分析により幅厚比パラメータ R_{ave} と体積損失比 $1 - V/V_0$ とを用いて、終局圧縮強度評価式 $(\sigma_u / \sigma_y)_E$ を提案する。

$$\left(\frac{\sigma_u}{\sigma_y}\right)_E = 1.5204 - 0.6115R_{ave} - 0.1514\left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \quad (3)$$

図 5 は、終局圧縮強度の有限要素法による計算値 $(\sigma_u / \sigma_y)_C$ と式 (3) の評価値の関係を示す。この回帰式の決定係数は $R^2 = 0.9538$ で、非常に強い相関が得られた。

鋼板モデルの最小断面積損失比などの腐食パラメータに対しても、同様に終局圧縮強度が評価できる。

文献

1) 海田他, 腐食したフランジの簡易な圧縮強度評価法, 土木学会論文集, No766/I-68(2004), pp. 59-71.

2) 上杉他, 一樣圧縮腐食鋼板の終局強度に及ぼす腐食パラメータの影響に関する基礎研究, 土木学会第 64 回学術講演会講演概要集, I-097(2009), pp. 193-194

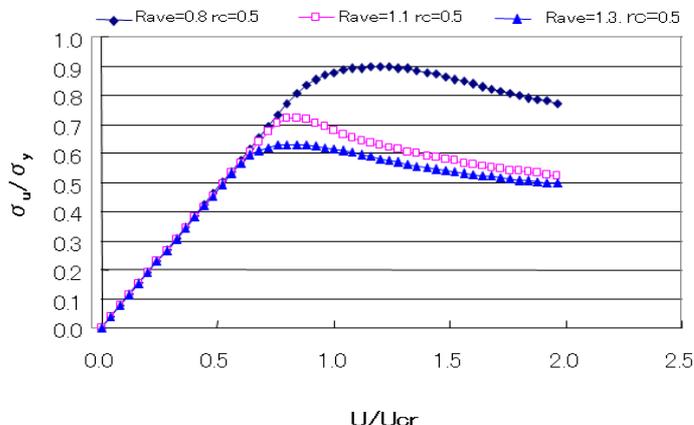


図 3 荷重—面内変位曲線例

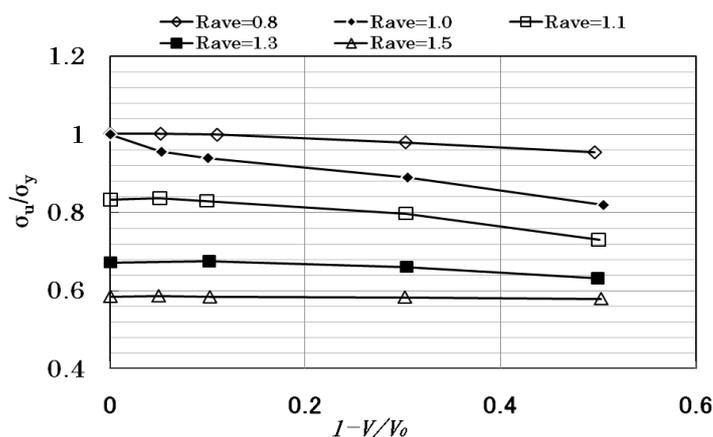


図 4 終局圧縮強度—体積損失比曲線

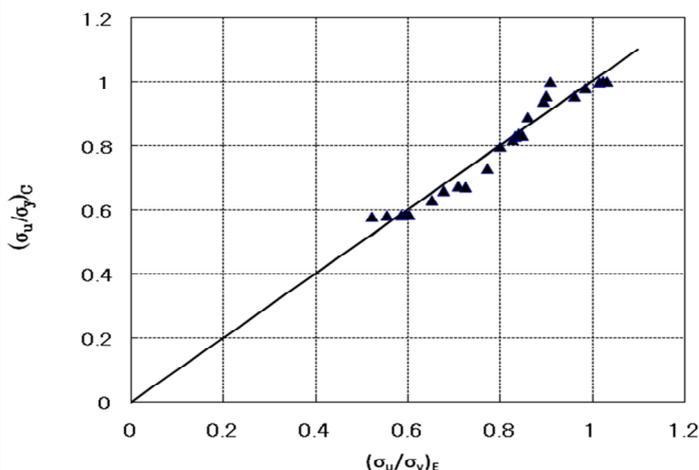


図 5 終局圧縮強度評価式