

腐食鋼板の圧縮強度に及ぼす腐食パラメータの影響に関する研究

大阪大学大学院 学生会員 ○SYPHAVANH SONGKEO

高知工業高等専門学校 正会員 勇 秀憲

徳山工業高等専門学校 正会員 海田 辰将

1. はじめに

本研究では、空間的自己相関（SAC）による腐食表面形状を有する腐食鋼板の終局圧縮強度を、汎用有限要素解析ソフトウェア *MARC* を用いて解析し、板厚損失比、最小断面積損失比や体積損失比などの各板腐食パラメータと終局圧縮強度の関係を評価し、簡易な強度評価式を提案する。ここでは、鋼板両面はそれぞれ独立して腐食しているものとする。既往の研究で考慮されている初期たわみや残留応力を、本研究では考慮せず、腐食鋼板モデルの終局強度に及ぼすいくつかの腐食パラメータの影響だけを取り出して終局圧縮強度式を提案する。

2. 腐食鋼板の有限要素モデルと腐食パラメータ

本研究で用いた有限要素腐食鋼板モデル（板長 $a = 0.4m$ ，板幅 $b = 0.4m$ ，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。材料は、完全弾塑性体、*von Mises* の降伏条件、*Plandtl-Reuss* の流れ則、等方硬化を仮定する（降伏応力 $\sigma_y = 235.2MPa$ ，ヤング率 $E = 205.8GPa$ ，ポアソン比 $\nu = 0.3$ ）。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} と材料特性値から、幅厚比パラメータ R_{ave} と板厚損失比 r_c を、次のように定義する。

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

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

ここに、幅厚 $b = 0.4m$ および座屈係数 $k = 4$ である。本研究においては、与えられた幅厚比パラメータ R_{ave} と板厚損失比 r_c に対して、平均板厚 t_{ave} と初期板厚 t_0 を求め、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。*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実施し、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 $0.4/mm$ と固定した。鋼板モデルの両面に独立して腐食を生成し、中央面からの偏心距離と板厚の形で腐食鋼板モデルを作成した。

MARC による弾塑性大変形解析は、周辺単純支持、 x 方向一様面内圧縮変位の条件で実行し、腐食鋼板モデルの終局圧縮強度 σ_u を評価した。なお、残留応力と初期たわみは考慮していない。腐食鋼板の塑性座屈、弾塑性座屈および弾性座屈は式(1)の幅厚比パラメータ R_{ave} によって支配されている。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 $R_{ave} = 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1$ ，弾性座屈に対応して $R_{ave} = 1.2, 1.3, 1.4, 1.5$ と合計10通りに変化させる。また、それぞれの幅厚比パラメータ R_{ave} に対して板厚損失比 r_c 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、解析を行う。なお、終局状態における面外たわみは、いわゆる1次座屈モードのみを対象とする。

3. 解析結果および考察

本研究で得られた終局圧縮強度 σ_u / σ_y を、既往の研究の種々の耐荷力曲線²⁾との比較する（図-2）。図中で比較する耐荷力曲線は、腐食による残留応力の再分配を考慮した弾塑性有限変位解析プログラム *CYNAS* を用いて数値計算を行ってきた奈良ら³⁾の評価式曲線，*Euler* 弾性座屈曲線，道路橋示方書で規定されている耐荷力，*BS449* (1959) の公式を基に決められた三上曲線，初期不整のない圧縮版に有効

幅の概念を導入して誘導された *Karman* 曲線, 初期不整の影響を導入した宇佐美らによる実験式である. それぞれの強度評価式は, 式 (1) と同様の幅厚比パラメータ R の関数として表される.

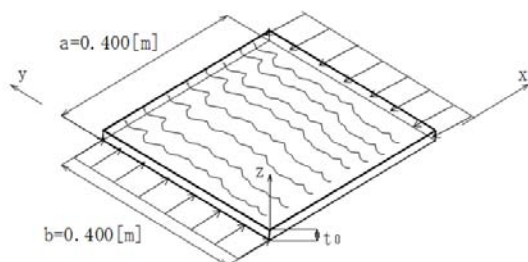


図-1 腐食鋼板モデル

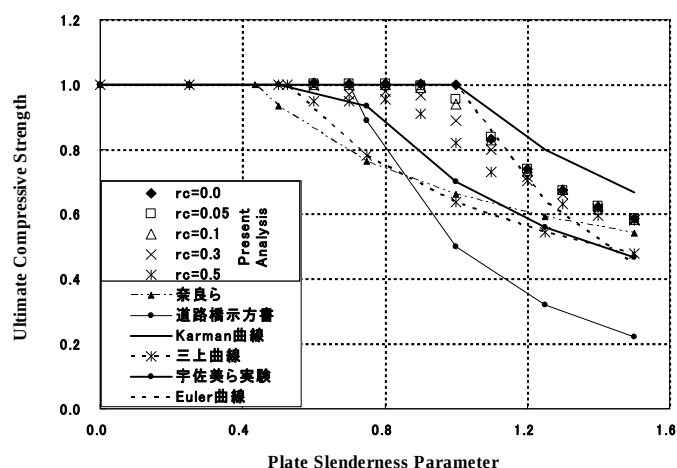


図-2 終局圧縮強度曲線

図-2 より, 本研究の終局圧縮強度は既往研究のどの耐荷曲線より高い評価となっている. これは本研究では, 初期たわみと残留応力を考慮していないためと思われる. 本研究は, 終局圧縮強度に及ぼすいくつかの腐食パラメータのみを取り出して評価するのを目的としており, この結果からは逆に, 初期たわみや残留応力が終局圧縮強度に及ぼす影響は, 腐食パラメータの及ぼす影響に加えて付加的な評価でき, 終局強度に及ぼすいろいろなパラメータの影響を分離して評価できる可能性があることを示している. 既往の研究^{1)~3)}では, 腐食鋼板の終局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, 幅厚比パラメータ R_{ave} と最小断面損失比 $1 - A_{min}/A_0$ (A_{min} は鋼板モデルの腐食後の最小断面積, A_0 は腐食前の断面積) を用いて, 終局圧縮強度評価式 σ_u/σ_y を式(3)と式(4)のように提案する.

$$\left(\frac{\sigma_u}{\sigma_y}\right) = \left(\frac{a}{R_{ave}}\right)^b \quad \text{for} \quad \begin{cases} a = 0.825 - 0.19r_c \\ b = 0.795 - 0.106r_c \end{cases} \quad \dots (3) \quad \left(\frac{\sigma_u}{\sigma_y}\right) = 1.404 - 0.529R_{ave} - 0.119\left(1 - \frac{A_{min}}{A_0}\right) \quad \dots (4)$$

式(3)は回帰分析および近似曲線を用いて得られ, それらの決定係数はいずれも高く, 非常に強い相関が得られた. 板厚損失比 r_c さえ分かれば式(3)に基づいて終局圧縮強度を簡易に評価することができる. 式(4)は, 重回帰分析により, 幅厚比パラメータ R_{ave} と最小断面損失比 $1 - A_{min}/A_0$ を用いて得られた終局圧縮強度の評価式である. それも非常に強い相関が得られた. 同様に, 回帰分析, 重回帰分析および近似曲線により平均板厚 t_{ave} , 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) などの腐食パラメータを用いて終局圧縮強度が評価できた.

4. まとめ

SAC による腐食表面を有する周辺単純支持正方形鋼板モデルの一樣面内変位拘束による弾塑性大変形有限要素解析 MARC により, 終局圧縮強度を算定することができた. 重回帰分析, 回帰分析および近似曲線を用いて幅厚比パラメータ, 板厚損失比, 平均板厚, 最少断面積損失比, 体積損失比などの各種の腐食パラメータにより, 終局圧縮強度を評価することができた.

参考文献

- 1)海田ほか, 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)藤井ほか, 腐食鋼板の圧縮強度の容易評価法に関する検討, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.1, (2007), pp. 43-55.
- 3)奈良ほか, 腐食した圧縮鋼補剛板の終局強度評価法, 構造工学論文集, Vol.55A, (2009), pp. 61-67.