

腐食した鋼板の座屈強度解析に関する一考察

広島大学大学院 学生会員 ○海田 辰将 広島大学大学院 正会員 藤井 堅
 広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治 復建調査設計(株) 正会員 鈴木 智郎

1. はじめに

腐食部材の残存強度を正確に評価することは鋼構造物の維持管理上、非常に重要である。今までに腐食鋼板の残存強度に関する実験的研究¹⁾がいくつか行われているが、解析による強度評価は十分なされていない。これに対し、過去に著者らは腐食鋼板の残存強度解析のための表面形状モデルとして、空間的自己相関モデル²⁾を提案した。そこで今回は空間的自己相関モデルを用いた座屈強度解析結果と座屈試験結果を比較し、座屈強度解析法および強度評価のための統計指標について検討する。

2. 腐食鋼板の座屈試験

腐食鋼板を短冊状に切り出した試験片を用いて過去に著者らが行った座屈試験¹⁾の概略を図-1に示す。試験片の幅は全て30mmに統一し、試験片長を $L=100\sim450\text{mm}$ としたものを35体作成した。板厚および偏心量は試験片の片面に5mm間隔で設けた格子点上にて計測した。荷重は試験片断面内に設けた仮想中立面に載荷し、この仮想中立面から板厚中央までの距離を偏心量と定義した。崩壊性状は全体座屈と局部座屈に大別され、局所的に著しく腐食することによって引き起こされた局部座屈試験片の数は15体であった。

3. 解析概要

(1) 解析モデルと解析条件

本研究では、図-2に示すようにモデル化された35体の全試験片について4節点アイソパラメトリックシェル要素を用いて弾塑性解析を行った。解析は、座標更新法および増分理論による複合非線形有限要素解析である。応力-ひずみ関係は完全弾塑性とし、Misesの降伏条件を用いた。材料特性は両面平滑仕上げした試験片の引張試験から得た値($\sigma_y=270\text{[MPa]}$, $E=206\text{[GPa]}$)を与えた。境界条件は短辺を単純支持、長辺を自由とした。また、短辺の片方に等分布強制変位を与えて載荷し、節点反力から軸圧縮力を求めた。

鋼板が腐食減肉すると図-3に示すように板の中央面が凸凹になるため、鋼板の各点で偏心 e_i が生じる。そこで本研究では偏心の影響を解析に考慮するためのパラメータとして、平均偏心量 e_{avg}

$$e_{avg} = \sum_{i=1}^N \frac{e_i}{N} \quad (1)$$

を用いる(N :腐食を与えた全格子点数)。 e_{avg} は図-2中に薄灰色で示したダミー要素によってモデルに与えた。

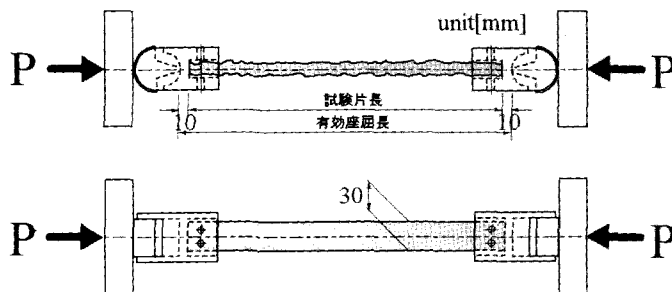


図-1 座屈試験概略

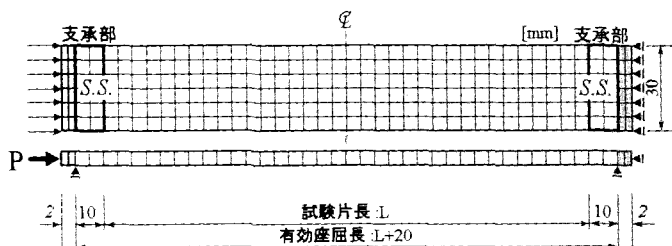


図-2 解析モデル

表-1 解析ケース

	要素幅[mm]	腐食表面
CASE1	5	実測値
CASE2	10	実測値
CASE3	10	空間的自己相関モデル

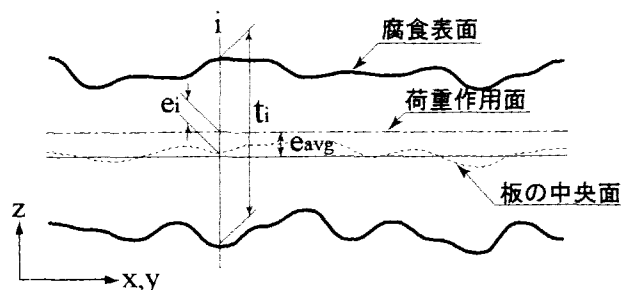


図-3 平均偏心量の定義

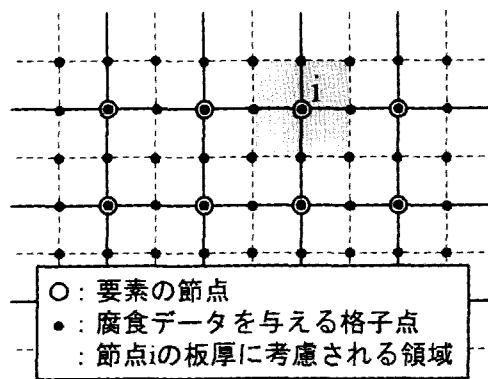


図-4 要素の節点と格子点

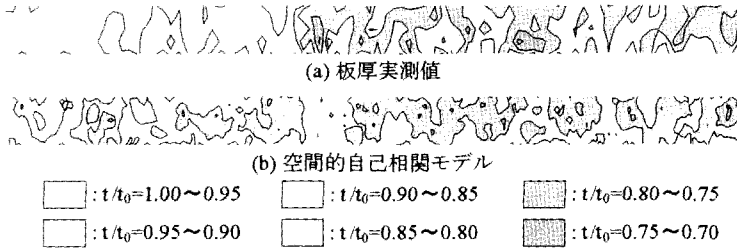


図-5 板厚等高線図(L=450mm, 元の板厚 $t_0=9.5\text{mm}$)

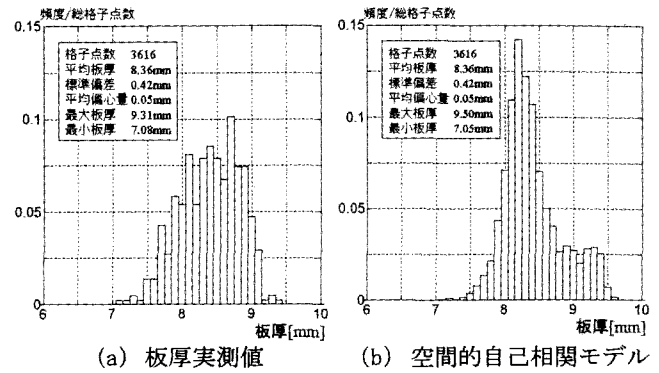


図-6 板厚ヒストグラム(L=450mm, 元の板厚 $t_0=9.5\text{mm}$)

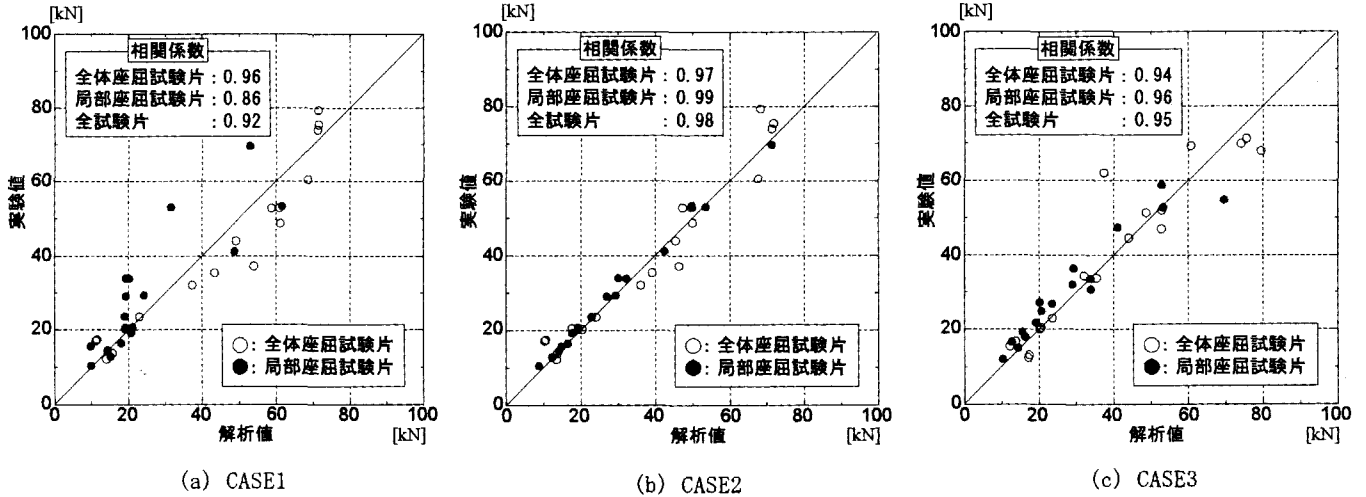


図-7 最高荷重における実験値と解析結果の相関

(2)解析ケース

表-1に示す3ケースについてFEM解析を行った。CASE1では各試験片の板厚実測値を解析モデルに与え、要素幅も測定間隔と同じ5mmとすることで板要素の適用性を検討する。CASE2では要素幅を10mmとし、各節点での板厚は図-4に薄灰色の領域で示すように節点周りの平均板厚を与えた。CASE3では腐食表面形状に空間的自己相関モデルを適用し、2mmの格子間隔で片面ずつ作成した腐食深データをCASE2と同様の方法で節点の板厚として考慮した。なお、CASE3では平均板厚、標準偏差および平均偏心率が板厚実測値と一致するように解析モデルを作成した。比較のために図-5に実際の試験片と空間的自己相関モデルを用いて作成した解析モデルの板厚等高線図の一例を、図-6にその板厚ヒストグラムを示す。

4. 弾塑性有限要素解析結果

図-7に各解析モデルの最高荷重と実験結果の相関を示す。図-7(a)はCASE1の解析値と実験値の相関を示しており、全体としては良い相関(0.92)が得られているが、若干ばらつきが大きい。

図-7(b)はCASE2の解析値と実験値の相関を示す。このモデルは全体座屈および局部座屈試験片ともに実験値と最も良い相関(0.98)を示している。これは、板の圧縮強度は主として曲げ剛性に依存するため、図-4で示した

ような方法により板厚データを求めて解析に反映すれば、腐食鋼板の残存圧縮強度は十分評価可能であることを示している。

図-7(c)はCASE3の解析値と実験値の相関を示しており、良い相関(0.95)が得られた。これは、腐食表面形状は実際と異なっている(図-5,6参照)、平均板厚、標準偏差および平均偏心率が同一ならばほぼ同じ強度を有していることを示す。したがって、これらの統計指標を用いることで精度の良い座屈強度評価が可能であると考えられる。

5. まとめ

- 1) FEM解析による腐食鋼板の座屈強度は、板要素を適用しても十分推定可能であると考えられる。
- 2) 腐食鋼板の座屈強度評価のための統計指標として、平均板厚、標準偏差および平均偏心率を提案する。

[参考文献]

- 1) 大村裕, 皆田理, 藤井堅, 村中昭典: 腐食環境下の鋼部材の残存耐荷力, 第46回土木学会中国四国支部研究発表会概要集, WS-1, pp. 742-751, 1994.
- 2) 藤井堅, 海田辰将, 平井勝志, 奥村誠: 腐食鋼板表面形状モデル作成における空間的自己相関モデルの適用性, 構造工学論文集, Vol. 48A, pp. 1031-1038, 2002.