

腐食鋼板の座屈強度解析における板厚測定データの適用に関する研究

広島大学工学部 学生会員 ○長瀬 竜一
 高知高専建設システム工学科 正会員 海田 辰将
 広島大学大学院工学研究科 正会員 藤井 堅
 (株)第一コンサルタンツ 正会員 刈谷 秋人

1. はじめに

腐食は鋼構造物における劣化現象であり、放置しておくといずれは強度不足など、構造物に危険な状態を引き起こすため、残存強度を正確に推定することは極めて重要と考えられる。このような背景を受けて、近年FEMにより腐食を考慮した強度解析が盛んに行われるようになった。この種の解析では、測定された板厚データのサンプリング間隔や、解析要素幅が結果に多大な影響を及ぼすと考えられるが、このような腐食鋼材の強度解析上の問題について検討された例はほとんど無い。そこで本研究では、詳細に測定された実際の腐食フランジについてパラメトリック強度解析を実施し、その解析結果から残存圧縮強度を推定する際の板厚データのサンプリング間隔や最適な要素幅について明らかにする。

2. 腐食したプレートガーダーフランジの腐食表面形状

本解析で用いた腐食表面形状（板厚データ）は、102年間供用され、著しい腐食のために撤去されたプレートガーダー（総リベット接合）フランジの実測定データである。これらのデータはフランジ上に2mm間隔で測定されている。表-1にその板厚統計量を示す。表から、フランジA1の平均腐食量および板厚標準偏差が最も大きく、腐食が進んだ状態であるといえる。図-1にフランジA1の板厚等高線図を、図-2に板厚ヒストグラムをそれぞれ示す。図-1から、フランジA1では孔食によって孔が開くほど腐食の進んでいる箇所が確認できるが、同時にほとんど腐食していない箇所も残されている。また、図-2から、フランジA1のように多数の孔食を有する腐食形態の場合には、最大頻度が最大板厚付近に偏り、標準偏差が大きくなるという統計的特徴が確認された。

3. 腐食したフランジの圧縮強度解析

3.1 解析概要

実測板厚データを用いて、フランジA1、B2に関する弾塑性有限要素解析を行った。解析は、座標更新法および増分理論による複合非線形解析である。要素は、4節点アイソパラメトリックシェル要素を用いた。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。

3.2 解析モデルと解析条件

図-3に供試体フランジの解析モデルを示す。モデルの境界条件は3辺単純支持1辺自由とした²⁾。荷重は、フランジの左辺に等分布強制変位を与えて载荷した。解析モデルの材料特性には、本鋼材の材料特性試験結果から得た値($\sigma_y=294\text{MPa}$, $E=196\text{GPa}$, $\nu=0.27$)を与えた。なお、本解析では残留応力および初期たわみは考慮していない。

本解析における腐食は、各要素の節点の板厚に考慮している。板厚サンプリング間隔よりも大きな要素幅で解析を行う場合、要素の各節点周りの板厚データの平均値を節点の板厚として与えた。また、腐食によって生じる鋼板各点の偏心量を各節点のZ座標値に与え、荷重偏心の影響を考慮している。

表-1 フランジの板厚統計量

		健全時板厚 t_0 [mm]	平均板厚 t_{avg} [mm]	平均腐食量 Z_{avg} [mm]	最小板厚 t_{min} [mm]	標準偏差 σ_t [mm]
供試体A	フランジA1	10.50	8.52	1.98	0.00	1.73
	フランジA2	10.50	8.60	1.90	2.48	0.96
供試体B	フランジB1	10.00	8.81	1.19	6.10	0.28
	フランジB2	10.00	8.12	1.88	3.43	0.68



図-1 板厚等高線図(A1)

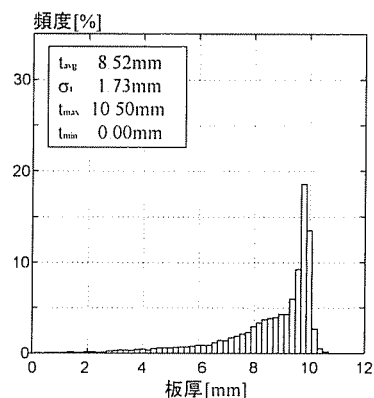


図-2 板厚ヒストグラム(A1)

キーワード 腐食、板厚サンプリング間隔、要素幅、強度解析、座屈

連絡先 〒783-8805 高知県南国市物部200-1 高知高専海田研究室 TEL088-864-5583

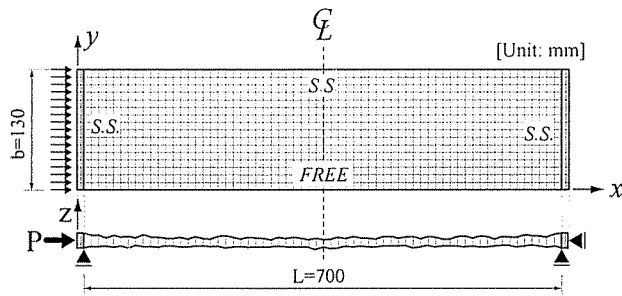


図-3 解析モデル

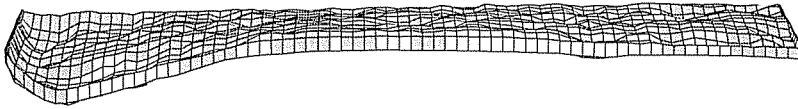


図-5 変形図および塑性域の状況(A1)

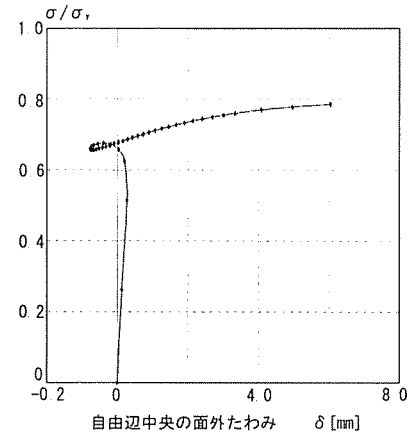
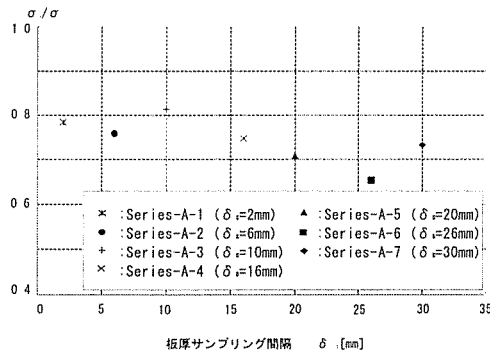
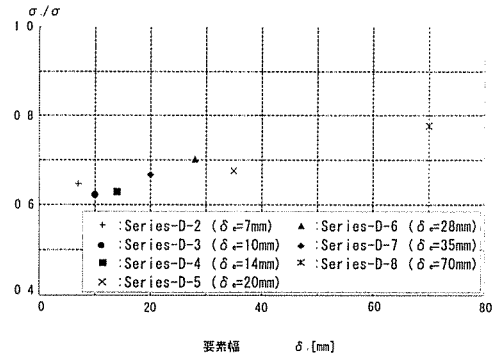


図-4 荷重 - 面外たわみ関係(A1)

図-6 σ_u/σ_y - δ_s 関係 (A1)図-7 σ_u/σ_y - δ_e 関係 (A1)

3.3 解析結果および考察

図-4に、フランジA1の荷重-たわみ関係を、図-5に解析の最終状態における変形図を示す。これらの図は、板厚データのサンプリング間隔 $\delta_s=2\text{mm}$ 、要素幅 $\delta_e=10\text{mm}$ とした場合の解析結果である。図-4から、 $\sigma/\sigma_y=0.7$ 付近で面外たわみが急増しているとともに、たわみの方向が変化していることがわかる。これは、フランジの左端で著しく腐食している箇所（図-1参照）が $\sigma/\sigma_y=0.64$ 付近で、局所的に座屈・変形し、その後、フランジ全体の崩壊に推移したためと考えられる。なお、フランジA1の圧縮強度（最高荷重）は $\sigma_u/\sigma_y=0.79$ であった。また、本解析結果は、海田ら¹⁾による本プレートガーダーの載荷試験結果（圧縮フランジ）とよく一致していた。

4. パラメトリック強度解析による板厚サンプリング間隔および解析要素幅に関する検討

解析に考慮する板厚データのサンプリング間隔および解析要素幅を変化させてパラメトリック強度解析を行った。図-6に σ_u/σ_y - δ_s 関係を示す。図は、2mm間隔の板厚データから任意の間隔でデータを抽出して解析したものである。このとき、解析モデルの要素幅は $\delta_e=10\text{mm}$ で一定とした。図から、 $\delta_s=10\text{mm}$ 程度までは強度にあまり差がみられないが、 $\delta_s>10\text{mm}$ では、圧縮強度に最大15%程度の差が生じていることがわかる。この結果は、実測板厚を腐食鋼板の圧縮強度解析に適用する場合、測定間隔を10mm程度にすれば精度良い結果が得られることを示している。図-7に、 σ_u/σ_y - δ_e 関係を示す。図は、解析に用いた正方形要素の幅を変化させた場合の解析結果であり、板厚サンプリング間隔はすべてのモデルで2mmを採用している。図から、 $\delta_e=10\text{mm}$ の結果と比較して $\delta_e=14\text{mm}$ 程度では強度にほとんど差がないものの、それ以上になると δ_e が大きくなるにつれて、圧縮強度が上昇する傾向にあることがわかる。つまり、大きな要素幅を用いて腐食鋼板の圧縮強度解析を行った場合、実際よりも大きな強度を見積もることになり、危険側の判断を与える可能性があることを図は示している。また、上記に示した傾向は他のフランジの解析結果との比較から、いずれも腐食が進展するほど顕著に表れる。

5. まとめ

- (1) 板厚データのサンプリング間隔が、 $\delta_s>10\text{mm}$ になると、圧縮強度に最大15%程度の差が生じると考えられる。
- (2) 大きな要素幅（ $\delta_e>14\text{mm}$ ）を用いて腐食鋼板の圧縮強度解析を行うと、危険側の判断を与える可能性がある。

参考文献

- 1) 海田辰将, 藤井堅, 宮下雅史, 上野谷実, 中村秀治: 腐食したプレートガーダーの残存曲げ強度に関する実験的研究, 構造工学論文, Vol. 51A, pp. 139-148, 2005. 3
- 2) 海田辰将, 藤井堅, 中村秀治: 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, No. 776, I-68, pp. 59-71, 2004. 7.