

荷重偏心に着目した局所腐食鋼板の圧縮強度解析

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○中塚 萌
 徳山工業高等専門学校 正会員 海田辰将
 広島大学大学院 正会員 藤井 堅

1. はじめに

腐食鋼板の圧縮強度については、板の減肉による直接的な強度低下だけでなく、腐食減肉が引き起こす荷重偏心による間接的な強度低下も影響すると考えられる。しかし、腐食による荷重偏心が板の残存圧縮強度に与える影響については板の両面にほぼ同程度の腐食を有する場合について検討された例¹⁾はあるものの、腐食による偏心が最も顕著になるであろう板の片面に重度の局所腐食を有する場合については未解明である。

本研究では、局所的に激しい片面腐食を有する2辺単純支持板の圧縮強度解析を実施し、腐食減肉および荷重偏心が板の強度や座屈特性に与える影響について考察する。実際の腐食鋼板26枚の腐食状況について荷重偏心の観点から吟味し、解析に用いる腐食表面形状を決定した。相対的な荷重偏心の大きさを表す統計量として平均偏心量²⁾の概念を用いた。また、平均偏心量と強度の観点から、初期不整感度の2/3乗則を用いて圧縮強度の推定を試みた。

2. 腐食表面形状の測定と腐食形態の分類

2.1 解析に用いた腐食表面形状の概要

本研究の解析モデルに適用した腐食表面形状は、102年間供用後撤去されたプレートガーダーフランジから切り出した供試体($t_0=10.5\text{mm}$, $75\text{mm} \times 235\text{mm}$)のものである。腐食表面形状は3次元測定器により、鋼表面スキャンすることで1mm間隔以下の3次元座標値として測定された。鋼板両面の座標値データを統合し、各点のz座標値の差引から板厚を算出した。

2.2 腐食形態の分類

解析に先立ち、荷重偏心の観点から腐食表面形状を選定するため、全26体の腐食鋼板を①全面腐食タイプ②孔食タイプ③局所腐食タイプの3つの腐食形態に分類した(図-1)。各腐食形態の特徴から本研究の強度解析に適用する腐食表面形状を吟味した結果、片面に重度の局所腐食を有するフランジ供試体(FT-15)を解析モデルの腐食表面形状として採用した。図-2のFT-15の板厚ヒストグラムと板厚等高線図から、この供試体が板中央部に重大な腐食を有することが確認できる。

3. 偏心を考慮した腐食鋼板の圧縮強度解析

3.1 解析概要

図-3に解析モデルと要素分割を示す。解析は、弾塑性非線形有限要素解析である。要素は4節点アイソパラメトリックシェル要素、応力-ひずみ関係は完全弾塑性とし、Prandtl-Reussの流れ則およびMisesの降伏条件を用いた。材料特性は、SS400級鋼材の一般的な値とし、弾性係数 $E=206[\text{GPa}]$ 、降伏応力 $\sigma_y=300[\text{MPa}]$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ を用いた。荷重は、解析モデルにおける剛体要素の中心に载荷し、これを移動させることで、

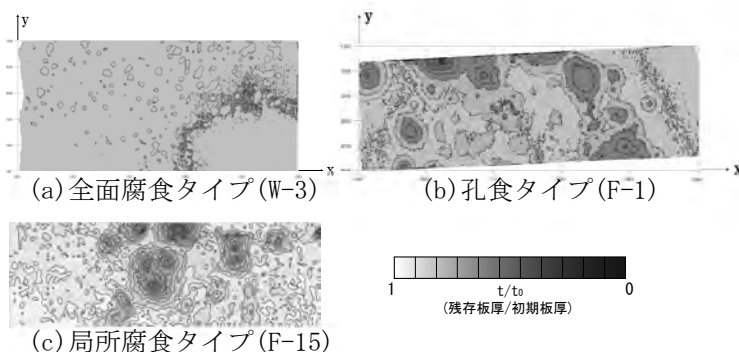


図-1 板厚等高線図の一例

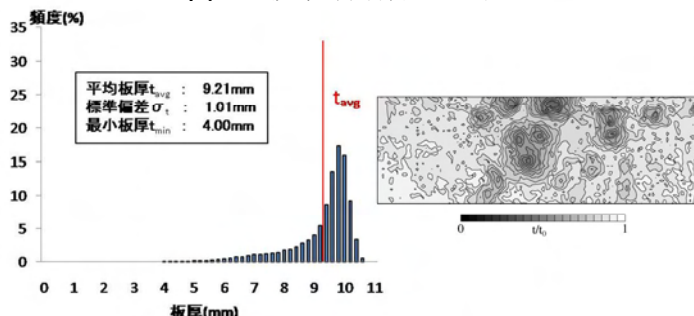
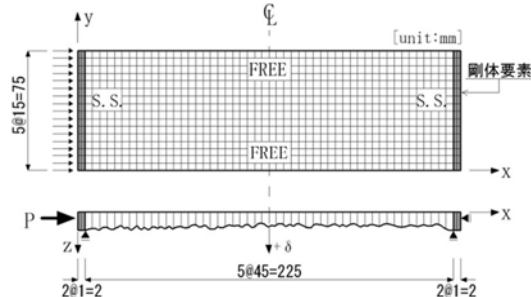


図-2 解析に適用した腐食鋼板 (FT-15)

図-3 解析モデルおよび要素分割



板の平均偏心量 e_{avg} (板厚の平均中央面と载荷平面との距離)を調節した。

3.2 解析結果と考察

図-4に $e_{\text{avg}}=0\text{mm}$ の場合の荷重-たわみ関係を示す。図の縦軸は無次元化した圧縮強度 σ/σ_y を示している。図から、板厚の減少により4%、腐食によって約40%の強度低下が見られた。これは、板全体の平均板厚よりも、腐食領域における凹凸状態と曲げ剛性が板の座屈性状を支配しているためと考えられ、板全体の平均板厚を用いての残存圧縮強度評価は、かなり危険である。

図-5に解析の最終ステップにおける腐食モデルの座屈性状(灰色:降伏した要素)と初期降伏点を示す。図では変形状態を強調するためにz方向変位を5倍に表示した。図から、本解析モデルの板中央部が塑性

キーワード

圧縮強度, 座屈, 荷重偏心, 片面腐食, 感度曲線

連絡先

〒745-8585 山口県周南市学園台 徳山工業高等専門学校 土木建築工学科
 TEL: 0834-29-6331 E-mail: c06nakatuka@tokuyama.ac.jp

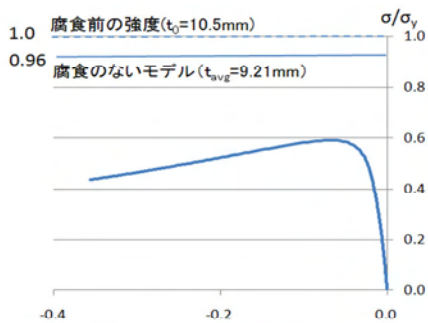


図-4 荷重-たわみ関係 (FT-15, $e_{avg}=0\text{mm}$)

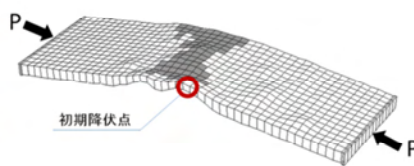


図-5 解析モデルの座屈性状

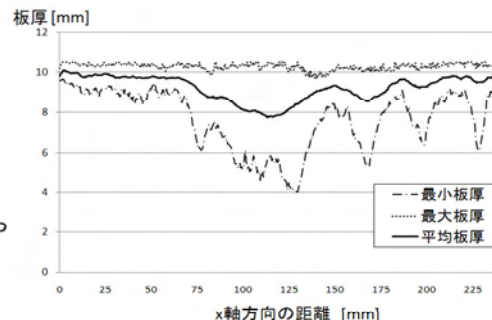


図-6 x 軸方向における板厚の分布状況

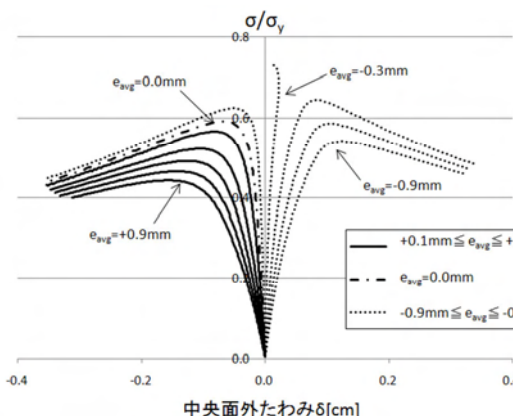


図-7 荷重-たわみ関係 (FT-15, $-0.9\text{mm} \leq e_{avg} \leq 0.9\text{mm}$)

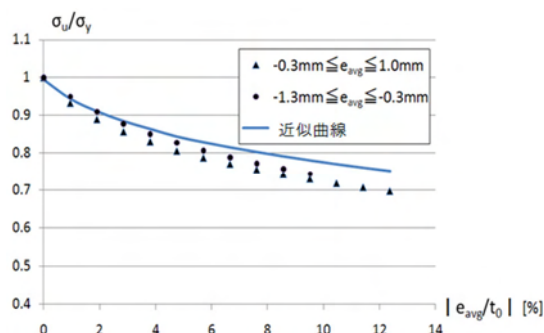


図-8 初期不整感度曲線 (2/3 乗則)

化しており、図-2(b)の板厚等高線図と比較すると、板の腐食領域が座屈を引き起こしている。また、座屈性状と図-6の板厚のx軸方向分布の比較から、このような腐食形態では、最小板厚近傍で板の降伏が進行し、荷重軸直角方向における最小断面が終局強度を決定すると考えられる。

図-7に平均偏心率を $-0.9\text{mm} \leq e_{avg} \leq 0.9\text{mm}$ の範囲で0.2mm毎に変化させた場合の荷重-たわみ関係を示す。図中、実線は正(腐食表面側)の偏心率を、点線は負(腐食のない表面側)の偏心率を与えたことを示している。図から、平均偏心率の絶対値が大きくなるほど終局強度および剛性の低下がみられた。これは、荷重初期段階から板端部に荷重偏心による曲げモーメントが付加されるためである。そのため、偏心が無い板の強度(剛性)が最も高くなるはずであるが、図-7に示す解析結果では、偏心が無い状態よりも $e_{avg}=-0.3\text{mm}$ の状態の方が強度が約16%も高く、面外たわみの方向(正負)も $e_{avg}=-0.3\text{mm}$ を境に変化している。これらの主原因として、本解析モデルが片面腐食であることが考えられる。片面腐食かつ局所腐食形態の場合は、断面ごとの板の曲げ剛性および表裏の鋼表面性状が異なるため、同じ断面でも曲げモーメントの正負によって板の剛性が変化すると考えられる。

4. 初期不整感度則からみた荷重偏心

荷重偏心率を初期不整とみなし、荷重偏心の相対的な大きさを表す平均偏心率を用いて、初期不整感度曲線²⁾から板の終局圧縮強度を評価することを試みた。図-8に初期不整感度曲線(2/3乗則)上に本解析結果をプロットした結果を示す。本研究では、横軸の初期

不整パラメータとして、平均偏心率と初期板厚の比(e_{avg}/t_0)を用いて整理した。図中の実線は、初期不整感度の2/3乗則を用いて σ_u/σ_y と e_{avg}/t_0 の関係を表した近似曲線である。また図の縦軸は、 $e_{avg}=-0.3\text{mm}$ の状態における強度を1として全解析モデルの強度を表している。図から、概ね2/3乗則の感度曲線に近い解析結果が得られているものの、平均偏心率が大きくなるにつれて感度曲線を下回る傾向にあることがわかる。これは、偏心率の増加に伴い、荷重初期段階から付加される曲げモーメントが大きくなるため、より早い荷重段階で局所的に降伏が始まることに起因すると考えられる。そうすると、鋼表面の凹凸状況を代表する統計量を用いて修正すれば、初期不整感度曲線から板の残存強度が簡便に推定できる可能性がある。

5. おわりに

- (1) 局所腐食を有する片面腐食の場合、同じ断面でも曲げモーメントの正負によって板の剛性が異なる。
- (2) 局所腐食形態では、板の降伏は最小板厚近傍で進行するものの、終局強度を決定する要因は、荷重軸直角方向における最小断面である可能性が高い。
- (3) e_{avg}/t_0 を初期不整パラメータとする2/3乗則の感度曲線によって終局強度を推定できる可能性を示した。

【参考文献】

- 1) 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. 766/I-68, pp. 59-71, 2004. 7.
- 2) 池田清宏, 室田一雄: 構造系の座屈と分岐, コロナ社, pp. 154-157, 2001. 11