

局所腐食鋼板の残存強度における荷重偏心の影響

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フランジ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から局所的に重度の腐食が進行した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⁾の概念を用いている。

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

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を用いた。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

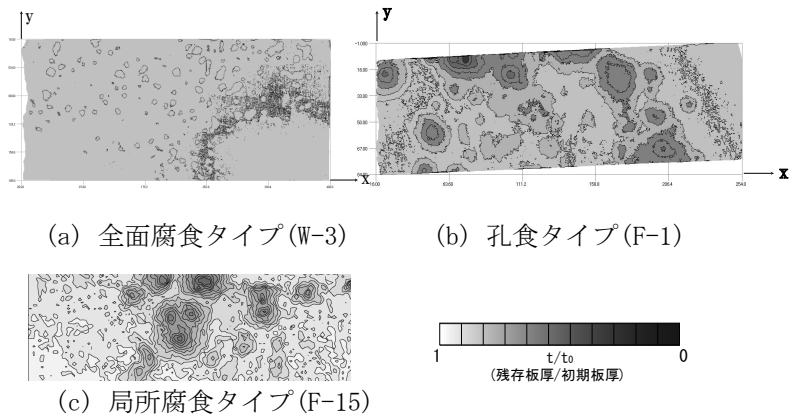
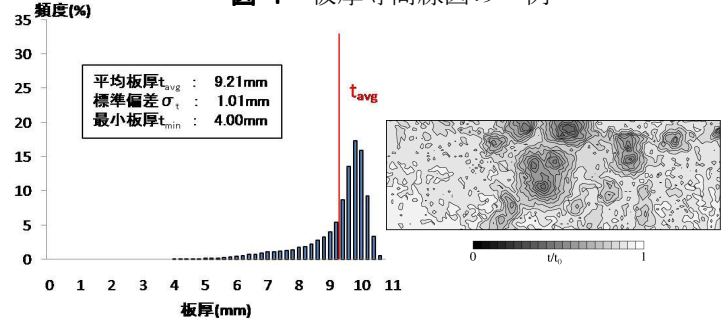


図-1 板厚等高線図の一例



(a) 板厚ヒストグラム (b) 板厚等高線図

図-2 解析に適用した腐食鋼板 (FT-15)

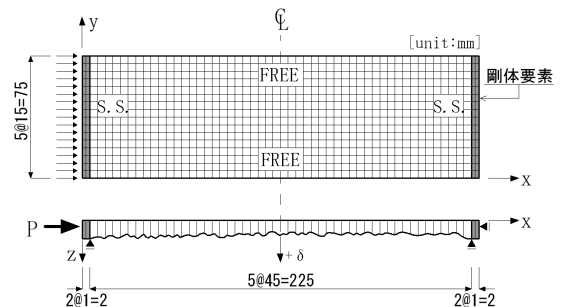


図-3 解析モデルおよび要素分割

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。解析モデルの影付きの要素は剛体要素であり、荷重はこの要素の中心に載荷し、この剛体要素を移動させることで、板の平均偏心量 e_{avg} を調節した。ここで、平均偏心量とは、板厚の平均中央面と載荷平面との距離である。

4. 解析結果と考察

4.1 局所的な腐食減肉の影響

図-4に $e_{\text{avg}}=0\text{mm}$ の場合の荷重-たわみ関係を示す。図の縦軸は解析モデルの平均圧縮応力 σ を降伏応力 σ_y で除して無次元化した圧縮強度 σ/σ_y を示している。図中の破線 ($\sigma/\sigma_y=1.0$) は供試体 FT-15 における腐食前の板の強度である。また、図中実線の本供試体の平均板厚

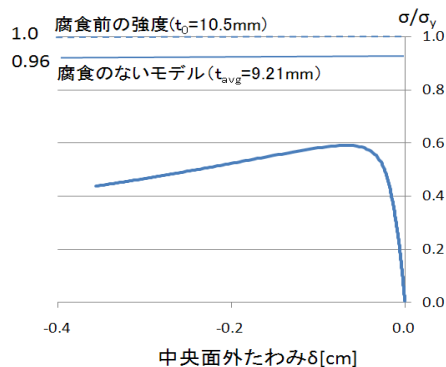


図-4 荷重-たわみ関係
(FT-15, $e_{avg}=0mm$)

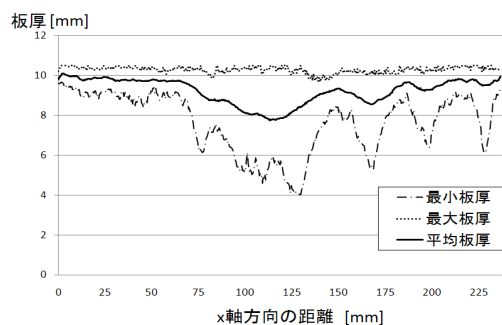


図-6 x軸方向における板厚の分布状況

($t_{avg}=9.21mm$) と同じ板厚を有する腐食の無い板の強度は $\sigma_u/\sigma_y=0.96$ である。この結果から、板厚の減少により4%の強度低下、腐食によって約40%の強度低下が見られた。これは、板全体の平均的な板厚よりも、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残存圧縮強度を評価することは、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と初期降伏点を示す。図の灰色の要素は降伏した要素を示している。また、図では変形状態を強調するために z 方向変位を5倍にして表示した。図から、本解析モデルの板中央部のほぼ全断面が塑性化しており、図-2(b)の板厚等高線図と比較すると、板の腐食領域が引き金となって座屈している。また、座屈性状と図-6の板厚のx軸方向分布との比較から、このような腐食形態では、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と考えられる。

4.2 荷重偏心の影響

図-7 に平均偏心量を $-0.9mm \leq e_{avg} \leq 0.9mm$ 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。平均偏心量の正負は $e_{avg} > 0$ の場合、板の平均中央面より腐食表面に近い位置に荷重平面があることを示しており、 $e_{avg} < 0$ では逆に腐食していない鋼表面に近い位置に荷重平面がある。図中、実線は正の偏心量を、点線は負の偏心量を解析モデルに与えたことを示している。

図から、平均偏心量の絶対値が大きくなるほど終局強度

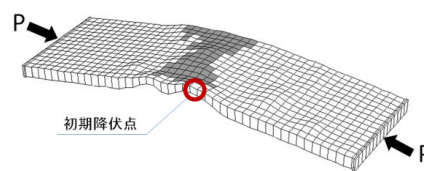


図-5 解析モデルの座屈性状

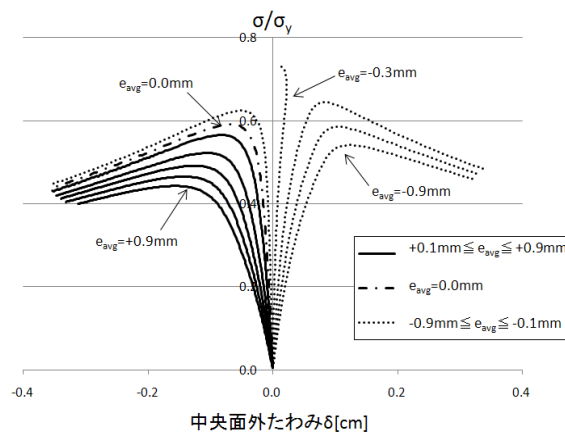


図-7 荷重-たわみ関係
(FT-15, $-0.9mm \leq e_{avg} \leq 0.9mm$)

(最高荷重)は低下し、最高荷重までの傾も小さくなっていることに気付く。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。このことは、海田らの研究¹⁾においても指摘されており、偏心が無い板の強度(剛性)が最も高くなるはずである。ところが、図-7に示す解析結果では、偏心が無い状態よりも $e_{avg}=-0.3mm$ の状態の方が強度が約16%も高いことが確認できる。さらに、面外たわみの方向(正負)も $e_{avg}=0mm$ ではなく $e_{avg}=-0.3mm$ を境に変化している。これらの現象の主原因として、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著しく異なるために、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。つまり、本解析モデルの場合、板の裏面に大きな凹凸を有しているので、平均中央面に載荷したとしても、負曲げに対する板の剛性が低いため、負の方向の面外たわみを生じやすい。

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。

【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.