

強度解析による腐食鋼板の降伏強度評価と力学特性

愛媛大学工学部 学生会員 ○田邊 靖博

高知工業高等専門学校建設システム工学科 正会員 海田 辰将

高知工業高等専門学校建設システム工学科 正会員 勇 秀憲

泉鋼業(株) 正会員 田中 豪

1. はじめに

腐食鋼材の降伏強度については、近年、多くの腐食鋼材の引張試験結果から、引張軸直角方向断面における平均断面積の最小値（最小平均板厚）を有効板厚に用いた強度評価法が広く認識されつつある¹⁾。ここで、降伏強度だけでなく腐食鋼板の降伏過程における力学特性を把握しておくことは、強度評価精度の向上や破断位置の予測等に直結するだけでなく、補修・補強といった具体的な維持管理作業に対しても重要な情報を与えるであろう。本研究では、腐食した鋼材表面の実測3次元座標データを用いた腐食鋼板の弾塑性有限要素解析を実施し、応力集中の影響を含めた鋼材内部の応力分布および局所的な変形といった、板の力学特性について明らかにする。また、腐食鋼板の降伏強度評価法や強度解析における問題点についても考察する。

2. 腐食鋼板の引張強度解析

2.1 解析概要

引張強度実験²⁾で用いた試験片の平行部について、腐食による板厚変動を考慮した弾塑性非線形有限要素解析を実施した。解析モデルは8節点立体要素(要素タイプ7)により構築した。解析には、MSC/MARCを使用した。

図-1に板厚変動を考慮した試験片の解析モデル例を示す。モデルの境界条件は図中左端を固定し、右端軸方向を等分布強制変位でコントロールしながら载荷した。解析モデルの材料特性には、引張強度実験の材料試験結果から得た値を用いた。解析モデルは図-2に示すJIS5号試験片の影部領域を再現している。腐食表面の凹凸における3次元座標は、xy平面に1mm間隔の等間隔メッシュデータである。これに合わせて解析モデルの要素を分割した。板厚方向は、各点の板厚に応じて6層に分割している。

2.2 引張を受ける腐食鋼板の力学特性

図-3に、鋼板の裏側に大きな孔食を有するFT-18試験片と全体的に緩やかな腐食を有するWT-8試験片のMises応力分布を示す。FT-18では孔食箇所に応力が集中しているのに対し、WT-8のような腐食形態の試験片は応力集中

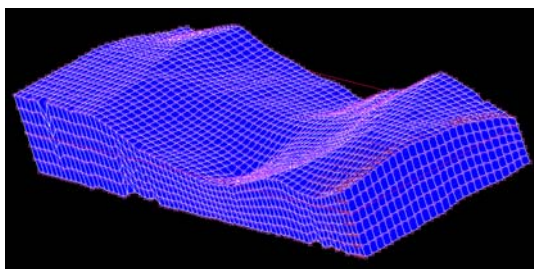


図-1 解析モデルの一例

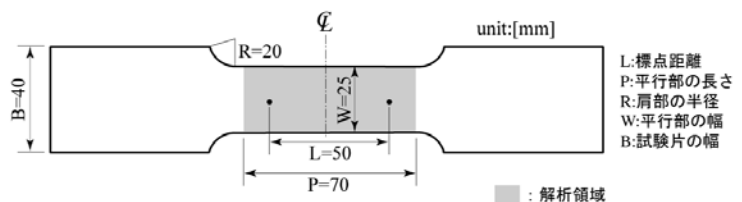
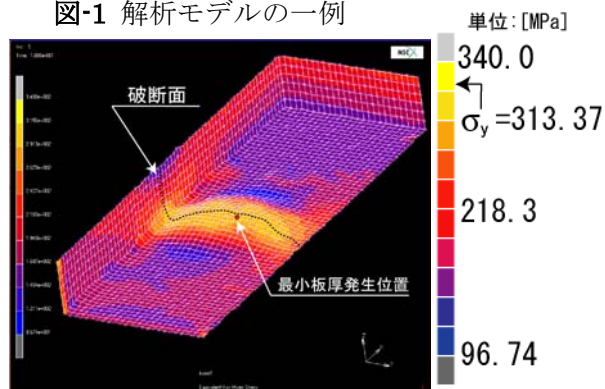
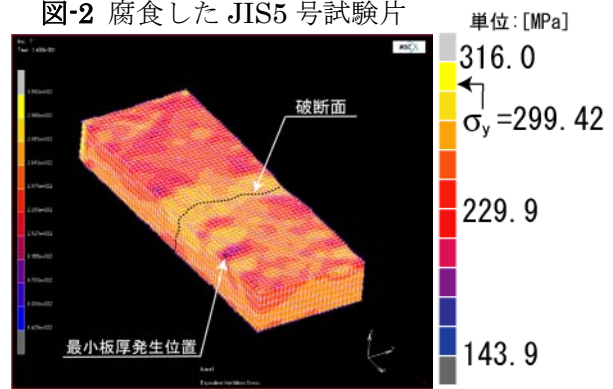


図-2 腐食したJIS5号試験片



(a) FT-18



(b) WT-8

図-3 Mises 応力分布

キーワード 腐食, 引張, 降伏強度, 有限要素解析, 立体要素

連絡先 〒783-8508 高知県南国市物部乙200番1 高知高専建設システム工学科 TEL 088-864-5583

による降伏域が1つの断面に定まらず、板の至る所に分布している様子が確認できる。また、図-1や図-3(a)に示したような大きな孔食による局所的な断面欠損を有する鋼材では、孔食部断面にわずかではあるが「くびれ」が発生することが、 y 方向変位の分布から確認できた。このわずかな「くびれ」の発生位置は多くの試験片で破断位置とよく対応していたが必ずしもそうとは限らず、破断位置を特定する因子としては難しい。また、図-3に示す両試験片とも実験における最小板厚発生点を含む破断位置に応力が集中していたが、全面腐食のWT-8では応力集中位置と最小板厚発生位置は全く一致していなかった。

3. 解析結果と実験結果との対応および降伏強度評価

図-4に解析結果から得られた荷重-伸び関係を示す。図から、局所腐食したFT-18試験片の降伏強度は、実験結果と解析結果でほぼ一致しているものの、降伏までの板の剛性は解析結果の方が実験結果を上回っている。また、WT-8試験片では、降伏強度・剛性ともに解析結果の方が高くなっている。今回の解析では、全体的に降伏強度・剛性ともに解析結果が実験結果を上回る傾向にあった。これは、局所的に腐食した鋼材内部の実際の応力状態は極めて複雑であり、実現象を忠実に表現しようとするならば、腐食が著しい箇所の要素分割は、他の部分よりかなり細かくする必要があることを示している。しかし、本解析のように xy 平面に1mm等分割としても、図-4に示す程度の精度で降伏強度とそれまでの力学挙動は追跡できる。また、WT-8のような全面腐食した板では、降伏域が板の至るところに発現するため、応力集中による要素分割の影響は際立つと考えられ、その結果、降伏強度・剛性ともに解析結果が実験結果を大きく上回ったと考えられる。

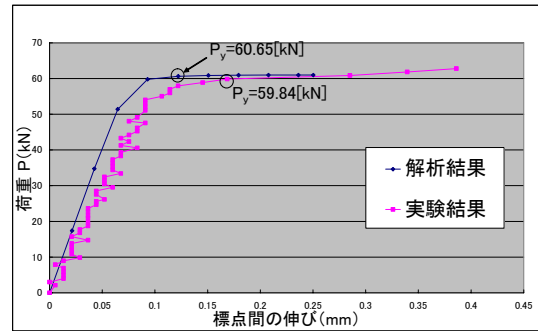
図-5に実験結果、解析結果、最小平均板厚 $t_{\text{avg_min}}$ による強度評価結果の降伏強度における相関図を示す。図(a)より、解析では実験結果よりも若干高めに強度が推定されているが、全体としては比較的良好な相関(相関係数0.958)を示している。図(b)より、 $t_{\text{avg_min}}$ による評価結果と解析結果はほぼ完全に一致した。従って、 $t_{\text{avg_min}}$ を用いて降伏強度を評価することは、解析の面からみても妥当性の高い方法といえる。

4. まとめ

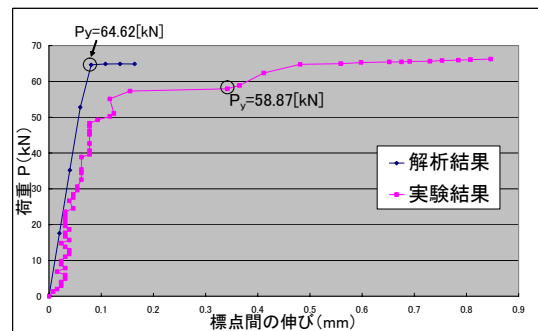
- (1) 本解析では、試験片の降伏強度および板の剛性は解析結果が実験結果を若干上回る傾向にあったものの、1mmの要素分割の解析でも強度や力学特性は比較的良好に対応していた。
- (2) 実際の破断位置と解析で確認された降伏強度以下で生じるわずかな「くびれ」の発生位置は、密接に関係していると考えられるが、両者は必ずしも一致しない。
- (3) 最小平均板厚を用いた降伏強度の評価結果は、本解析によって降伏強度を求めた結果とほぼ一致した。

参考文献

- (1) 松本勝, 白井義朗, 中村幾雄, 白石成人: 腐食鋼板の有効板厚評価法の一提案, 橋梁と基礎, Vol. 23, No. 12, pp. 19-25, 1989.
- (2) 海田辰将, 藤井堅, 多賀谷宏三, 刈谷秋人: 引張試験による腐食鋼板の力学特性および強度評価法, 第56回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, I-22, pp. 43-44, 2004.

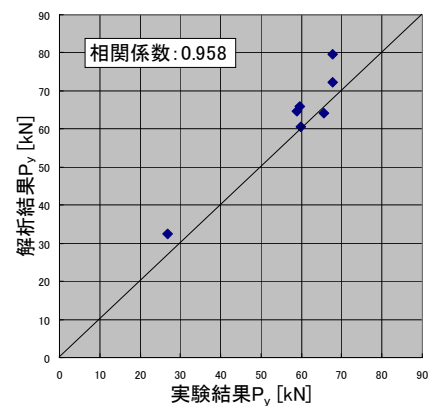


(a) FT-18

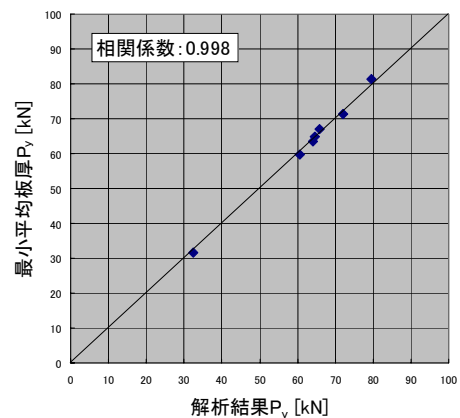


(b) WT-8

図-4 荷重-伸び関係



(a) 解析結果



(b) 最小平均板厚 P_y

図-5 降伏強度の相関図