

腐食鋼板の残存圧縮強度解析に関する基礎的研究

○愛媛大学大学院 学生会員 糸川 和樹
愛媛大学大学院 正会員 大賀水田生
愛媛大学大学院 正会員 全 邦釘

1. 序論

近年、鋼構造物の老朽化に伴い腐食損傷事例が増加している。鋼部材の腐食は強度や剛性の低下などを引き起こすことから、効率のよい維持管理のために腐食部材の残存強度評価法の確立が急務となっており、多方面からの検討と資料の蓄積による信頼性や一般性の確保が重要である。また、腐食部材に対する残存強度評価において、種々の部材や応力状態について残存強度評価を広範囲に行うためには、信頼性のある残存強度解析評価法の構築が有効である。そこで、本研究では圧縮力を受ける腐食鋼板を対象とし、弾塑性有限要素解析による残存圧縮強度評価法について検討を行った。

2. 腐食鋼板の残存圧縮強度解析手法と妥当性の検討

腐食鋼板の残存圧縮強度評価における本解析手法の妥当性を検討するために、既往の腐食供試体(短冊腐食鋼板)の圧縮強度試験結果¹⁾と本研究による解析結果の比較を行った。

既往の研究における表面形状測定結果から、5mm 間隔の板厚データを用いて腐食表面形状を再現し、弾塑性有限要素解析による残存圧縮強度解析を行った。図-1 に短冊腐食鋼板の圧縮強度試験結果と解析結果の比較を示す。図-1 から解析結果は試験結果とよく対応しており、安全側にばらついている供試体がいくつか存在するが、おおむね良く一致している。本解析は圧縮強度試験をよく再現できており、本解析手法の妥当性を示した。

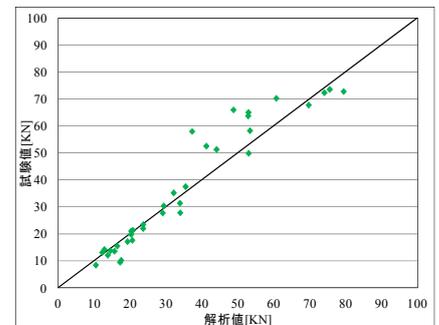


図-1 試験値と解析値の比較

3. 腐食鋼板の残存圧縮強度と板厚統計量の関係

部材に対する残存強度評価は、測定から得られた板厚統計量を用いた残存強度評価式により推定することが、簡便で有用な方法である。そこで、新たに作成した様々な腐食形態を有する供試体(幅広腐食鋼板)に対して残存圧縮強度解析を行い、残存圧縮強度と板厚統計量の関係を検討する。

解析は測定した 2mm 間隔の板厚データを用いて腐食表面形状を再現し、前章で妥当性を示した解析手法を用いている。幅広腐食鋼板の解析結果を図-2～図-4 に示す。グラフの縦軸は公称降伏強度を除いて無次元化された強度、横軸はそれぞれの代表板厚を用いて算出した幅厚比パラメータである。また、図中の曲線は腐食の無い平滑板の解析から得られた圧縮強度曲線を示す。腐食鋼板の代表板厚を平均板厚(図-2)や最小板厚(図-3)としたとき、残存圧縮強度は圧縮強度曲線を捉えることが出来ていないが、最小断面の平均板厚である最小平均板厚(図-4)を代表板厚としたとき、腐食鋼板の残存圧縮強度は腐食の無い平滑板の解析から得られた圧縮強度曲線を用いれば、ある程度の評価が可能であることが分かる。しかし、図-4 に丸で示しているように、同程度の幅厚比パラメータであっても残存圧縮強度に大きな差が生じていることから、より正確

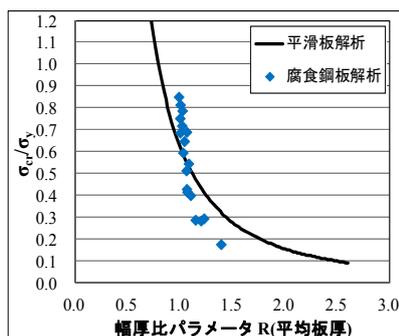


図-2 平均板厚を用いた検討

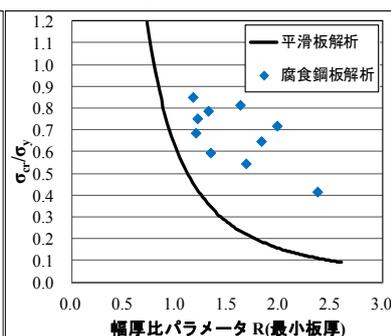


図-3 最小板厚を用いた検討

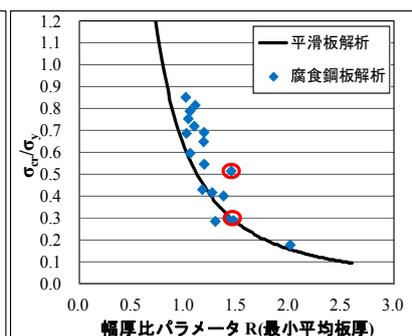


図-4 最小平均板厚を用いた検討

に評価するためには、表面形状を考慮した残存圧縮強度解析を行うべきであると考えられる。次章では残存圧縮強度解析のための解析モデルについて検討を行う。

4.弾塑性有限要素解析による残存圧縮強度評価のための解析モデル

精度良く腐食鋼板の残存強度解析を行うためには、鋼板の腐食表面形状を正確に表現することが重要であるが、鋼構造物に対して広範囲・高密度の測定データを取得することは、現場では困難である場合も多い。そこで、詳細な測定データによる残存圧縮強度解析と同程度の結果を得ることができる、最小限の測定データ数で腐食表面形状を再現した解析モデルを検討する。

ここで、測定点を減少させることが残存圧縮強度解析に及ぼす影響は、腐食表面形状によって異なることが考えられるため腐食形態を全面腐食タイプ(overall collosion), 孔食腐食タイプ(pitting collosion), 複合腐食タイプ(compound collosion)の3つに分類した。次に、等間隔に測定点を減少させた残存圧縮強度解析をパラメトリックに行い、腐食形態ごとにその特徴を考察した結果から、4つの解析モデル(名称は腐食形態の頭文字から)を提案した。以下に各解析モデルの測定点について示す。

(1) Model-o : 荷重軸直角方向に端部と中央で3点を基準に、長さ方向に等分割して計18点。

(2) Model-pl : 最小板厚を含む孔食の中心と両軸方向縁で5点、さらに断面形状と偏心の影響を考慮するため、荷重軸方向と直角方向の端部をそれぞれ測定して計17点。

(3) Model-p2 : 最小板厚を含む孔食が存在する荷重軸直角方向断面で、他に大きな孔食が存在する場合はその2つの孔食についてModel-plと同様に測定する。

(4) Model-c : Model-oに加え、最小板厚も測定して計19点。

表-1に各解析モデルの解析結果と3章で用いた詳細な測定データ(Pattern I)の比較を示す。また、以下にModel-p2の代表的な供試体(AF-15)について詳しく考察する。なお、要素幅による誤差を考慮しないため、測定点間を直線補間として要素分割は同じとしている。

図-5にModel-p2とPattern Iそれぞれの解析モデルおよび面外変位-荷重関係を示す。解析モデルの色付けはピーク荷重時の相当応力を示しており、最小断面近傍では孔食による応力集中の影響がよく再現されていることが分かる。Pattern IではModel-p2において考慮しなかった小さな孔食による応力集中も見られるが、面外変位-荷重関係から残存圧縮強度評価に影響はないことが確認できる。また、表-1から全ての供試体で誤差は小さく、本解析モデルの適用が有用であることを示している。以上のことから、本研究の解析モデルを用いれば、20点程度の測定データのみで4000点以上の詳細な測定点を用いて解析を行った場合と、同程度の残存圧縮強度評価を得ることができた。

5.結論

- (1) 本研究の解析結果は圧縮強度試験結果をよく再現できており、解析手法の妥当性を示した。
- (2) 腐食鋼板の残存圧縮強度評価は最小平均板厚の大きさが強く関係していることを示した。
- (3) しかし、最小平均板厚が同程度でも腐食形態によっては、残存圧縮強度が大きく異なるため、表面形状を考慮した解析を行う必要がある。(4) 20点程度の測定点から再現した解析モデルで、4000点以上の詳細な測定点を用いた解析と同程度の残存圧縮強度評価を得ることができた。

参考文献

1) Fujii,K., Satoh,M., Minata,O., Ohmura,H.and Muranaka,A, :A Proposal on Effective Thickness for Evaluation of Buckling Strength of Corroded Steel Plate, Proc. Of the 5th Ease Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, pp.2105-2110, 1995.

表-1 各解析モデルの検討結果

供試体	腐食形態	解析モデル	データ取得数	平均板厚 t_{avg} [mm]	最小板厚 t_{min} [mm]	最小平均板厚 $t_{avg,min}$ [mm]	耐力 [KN]	誤差 [%]
AF-5	全面腐食タイプ	Pattern I	4218	7.767	2.032	7.196	60.928	-5.810
		model-o	18	7.562	3.516	6.998	57.388	
AF-14	全面腐食タイプ	Pattern I	4560	10.090	8.426	9.921	158.624	-1.603
		model-o	18	10.074	9.549	9.931	156.081	
AF-15	孔食腐食タイプ	Pattern I	4446	9.202	4.137	7.783	93.842	0.684
		model-p2	25	8.990	4.137	7.727	94.484	
AF-17	孔食腐食タイプ	Pattern I	4560	9.170	2.378	7.354	94.754	0.160
		model-pl	17	9.097	2.378	7.318	94.906	
AF-19	孔食腐食タイプ	Pattern I	4560	9.524	1.137	6.977	118.887	0.383
		model-pl	13	9.282	1.137	7.006	119.342	
AF-11	複合腐食タイプ	Pattern I	4446	8.004	1.776	6.950	66.619	-6.653
		model-c	19	7.811	1.776	6.603	62.187	
AF-20	複合腐食タイプ	Pattern I	4446	7.062	0.513	4.885	40.073	4.855
		model-c	19	7.552	0.513	5.688	42.018	

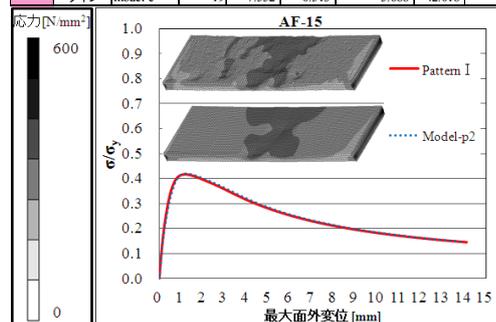


図-5 Model-p2の検討