

腐食鋼板のせん断強度解析における板厚測定間隔と要素サイズの影響

PC橋梁(株) 学生会員 ○山下 恭平

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

正会員 勇 秀憲

1. はじめに

近年、腐食した鋼部材の残存板厚または腐食表面形状を測定した結果を用いて有限要素法による強度解析を実施し、保有強度を推定する研究が精力的に行われている。腐食による表面不整を有する部材の強度解析では、①鋼表面の凹凸をできるだけ正確に考慮すること②応力状態に応じて適切な要素分割を用いること、などが正確な結果を得るために不可欠と広く認識されているが、具体的な検討が行われた例はない。そこで本研究では、解析要素の大きさに着目して、実測板厚データを用いた腐食周辺単純支持板のせん断強度解析をパラメトリックに実施し、解析要素の大きさが板の終局せん断強度や力学挙動に与える影響について明らかにする。解析に使用する腐食表面形状データは、実際に102年間供用後に撤去されたプレートガーダーより採取したウェブプレートに5mm間隔で測定した結果である。

2. 腐食したプレートガーダーウェブの板厚測定結果

本解析で用いる残存板厚データは、腐食したプレートガーダーウェブにおける腐食表面形状測定結果¹⁾の一部を取り出したものである。図-1に板厚等高線図および板厚ヒストグラムを示す。図(a)から、板全体に腐食が広がっているが、上辺から下辺に向かって腐食が顕著になるという全体的な腐食の偏りが確認できる。とくに板左下隅各部の腐食損傷が激しく、この部分では貫通孔を有している。図(b)の板厚ヒストグラムから、平均板厚と最大頻度発生板厚は一致しておらず、また板厚のばらつきも多くなっていることからウェブの全面腐食にしてはかなり腐食が進んだ状態にあるといえる。

3. パラメトリックせん断強度解析

図-2に本解析モデルを示す。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(正方形要素)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。解析モデル外周には等分布せん断応力 τ を作用させ、図中に示す右辺中央の節点における鉛直変位 δ を徐々に増加させる形の変位制御により载荷している。腐食は、各節点の板厚を変動させることで考慮した。材料特性は降伏応力 $\sigma_y=270\text{MPa}$ 、弾性係数 $E=206\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ を用いた。残留応力は考慮せず、板の中央で最大たわみ(1mm)となるようなsin半波形の初期たわみを導入した。

解析モデルは全6種類で、正方形シェル要素の1辺の大きさ δ_e のみを20~100mmまで逐一変化させている。これらのモデルでは、 δ_e 以外の解析パラメータ(残存板厚データ数、板のサイズ、材料特性、境界条件、初期不整など)は全て同じに設定している。

4. 解析要素の大きさの影響

図-3に解析から得られた荷重-たわみ関係を示す。縦軸は、降伏せん断強度で無次元化した板のせん断強度

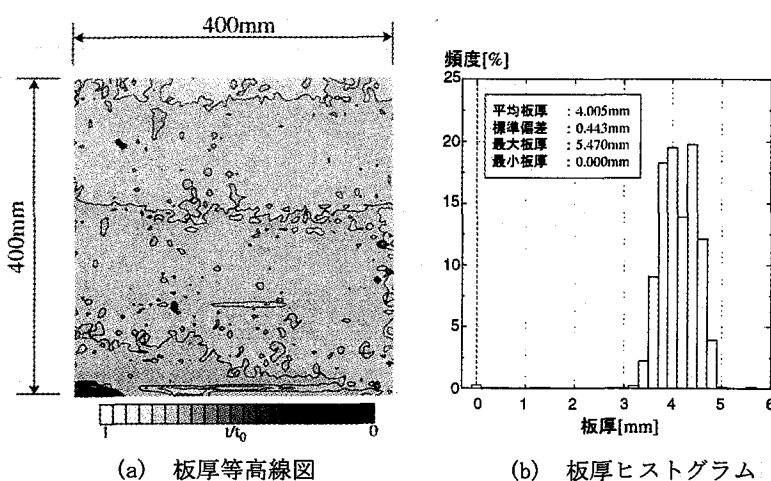


図-1 板厚等高線図および板厚ヒストグラム

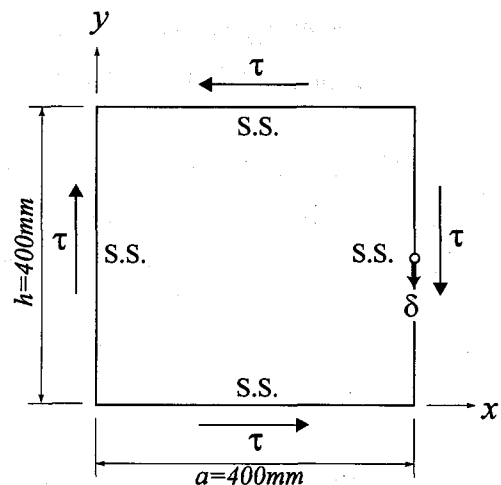


図-2 解析モデル

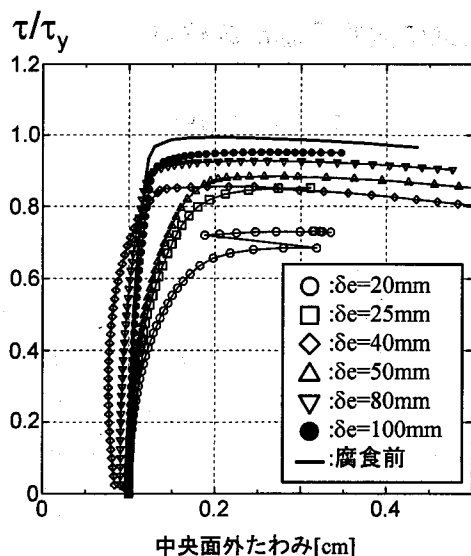


図-3 荷重-たわみ関係

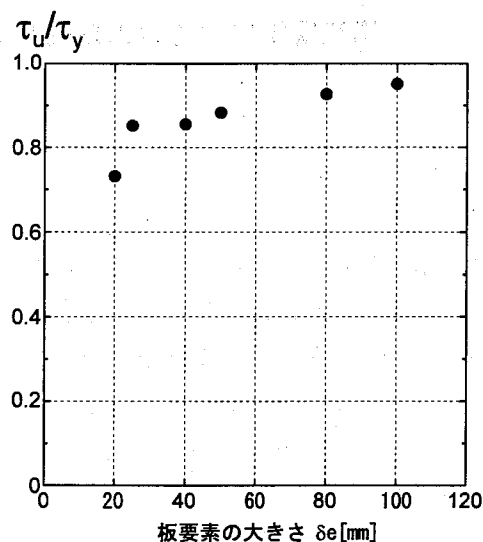
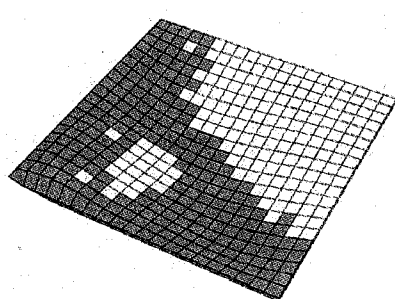
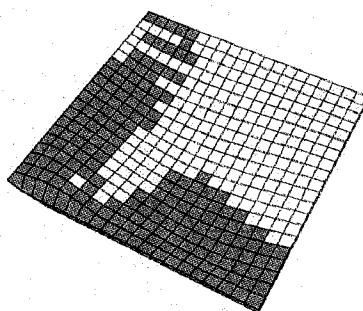


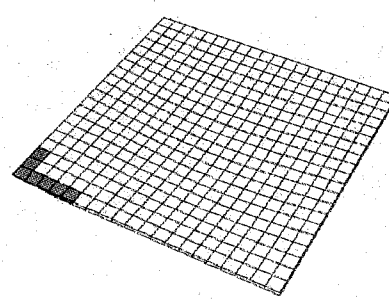
図-4 τ_u/τ_y - δ_e 関係



(a) 初期降伏



(b) 局部座屈後



(c) 終局状態

図-5 変形図と塑性域

を、横軸は板の中央面外たわみをそれぞれ示している。図から、最高荷重（終局せん断強度 τ_u/τ_y ）は δ_e の拡大と共に高くなっており、ピークまでの板の剛性や力学挙動もかなり異なっていることがわかる。このことから、同じ腐食鋼板の解析結果でも、 δ_e の選択によって強度に大きな違いが発生することが確認できる。図-4に τ_u/τ_y - δ_e 関係を示す。本解析で扱った腐食形態の場合、終局せん断強度に最大22%の差が生じる可能性があることが図より明らかになった。ここで、 $\delta_e=20\text{mm}$ のモデルに着目すると $\tau/\tau_y=0.70$ 付近で板の力学挙動が大きく変化していることに気づく。そこで、図-5に $\delta_e=20\text{mm}$ モデルの変形図と塑性域（薄灰色部）の進展状況を示す。図(a)より、まず貫通孔を有する板の隅各部から降伏が始まり、その後、塑性域は板の左辺と下辺方向に進展していく。そして $\tau/\tau_y=0.70$ 付近で腐食の激しい左下の領域で一度局部座屈を起こしたため、中央面外たわみが減少したと考えられる。最終的には、斜張力場上の対角要素が全て降伏することによる全体座屈で板は崩壊する。このことは、 $\delta_e>20\text{mm}$ のモデルには確認できなかった。これらの結果から本解析モデルに適用したような腐食形態を有する場合、少なくとも解析要素の大きさ δ_e を 20mm よりも小さくすることが、実現象をより正確に追跡するという意味において重要と考えられる。

5. まとめ

- (1) 今回の腐食形態では、 $\delta_e>20\text{mm}$ にすると応力集中の影響により終局強度に最大22%の差が生じた。
- (2) 大きな δ_e を解析に適用すると、終局強度を過大評価する傾向にあるため、板の応力状態や腐食状態に応じた要素分割を行う必要がある。

参考文献

- 1) 藤井堅, 原考志, 海田辰将, 上原谷実, 有尾一郎: 腐食した総リベット橋のせん断耐力試験, 鋼構造 年次論文報告集, 第11巻, pp. 495-502, 2003. 11.
- 2) T. Kaita, H. Isami, K. Fujii and R. Nagase: The study on application of the remaining thickness data to the buckling strength analysis of corroded plate, Proceedings of International Conference on Civil and Environmental Engineering, pp. 89-96, 2006. 9.