

第 I 部門

局部的に腐食減肉した鋼板の耐荷力評価に関する解析的検討

神戸大学工学部

学生員 ○辰巳 貴裕

神戸大学大学院工学研究科

正会員 橋本国太郎

1.研究目的

日本では戦後の復興から高度経済成長期にかけて多くの構造物が建設された。それらの構造物が約 50 年の間に劣化・損傷し、現在、更新時期を迎え、維持管理が極めて重要な課題となっている。劣化・損傷は鋼材の腐食が原因の一つに挙げられる。腐食により鋼材が減肉・欠損すると、構造物の強度は著しく下がる可能性がある。そこで、腐食による減肉・欠損を有する構造物の安全性を判断するために、耐荷力を推定し、強度を評価する必要がある。腐食を有する構造物の耐荷力評価の研究は、大きく板要素レベル、部材レベル、橋梁全体の3つに分けられるが、板要素レベルに着目し、様々なケースの腐食欠損を有する部材の現時点で保有している強度、すなわち残存耐荷力を解析的に評価した既往の研究が多くある¹⁾。しかし、局部的に大きな減肉がある場合の耐荷力評価に関する検討はあまり行われていない。そこで著者らは桁端部を構成する板要素での腐食による完全欠損を有する部材の残存耐荷力評価を試みており²⁾、その研究成果の課題として、評価法の精度向上、および板厚が0でない局部減肉のケースでの検討などがあつた。本論文では、それらの課題を解決し、さらなる高精度な評価法の検討を目的として研究を行った。

2.研究方針

FE解析には汎用有限要素解析コード ABAQUS を用い、4 辺単純支持板を解析モデルとした。モデルの形状は X 方向の長さ a 、Y 方向の長さ b ともに 1000mm の縦横比 $\alpha=1$ である正方形平板で、等方硬化に従う材料として仮定する。本研究では、面内純圧縮荷重を受ける場合には端補剛板を、面内純せん断荷重を受ける場合には腹板を想定したため、初期たわみを圧縮荷重の場合には最大初期たわみ量を $b/150$ とした \sin 半波形で、せん断荷重を受ける場合には $b/250$ とした \sin 半波形で導入した。なお、残留応力については考慮していない。また、鋼材 SM400 の材料特性を用いて解析を行った。基準降伏点 σ_y は 235N/mm^2 、引張強さは 400N/mm^2 で、ポアソン比 ν は 0.3、ヤング率 E は 210000N/mm^2 である。応力-ひずみ関係は降伏点を塑性開始点とした応力-塑性ひずみ関係を用いて、降伏応力 235N/mm^2 で塑性ひずみ 0、 400N/mm^2 で 0.2 となるバイリニア型で与えている。

解析ケースは板厚、腐食サイズおよび腐食箇所の鋼板の残存率をそれぞれ変化させる。板厚 t は式(1)で示す幅厚比パラメータ R を 0.3, 0.7, 0.9, 1.5 に変化させて算出する。腐食サイズは鋼板左下部から横、縦および両方向に 100, 200, ..., 500mm と変化させる。なお、横および縦方向腐食の、サイズを大きくしない辺の幅は 100mm で一定とする。腐食箇所の鋼板の残存率は健全部分の 75, 50, 25%(減肉)、0%(欠損)にそれぞれ変化させる。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_\sigma}} \quad \text{または} \quad R_t = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\tau_y}{E}} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_\tau}} \quad \text{式(1)}$$

3.解析結果および評価法の検討

(1)面内純圧縮荷重を受ける鋼板

図 1 に、各腐食方向ごとの $R=0.9$ 、腐食サイズが 500mm、残存率が 50% の場合の最大荷重時のミーゼス応力コンター図を示す。横方向腐食の場合は、圧縮力が作用する $X=0$ の面の腐食が少ないため、鋼板に比較的均等に圧縮力が伝達し、全体的に応力が高く、腐食箇所も完全に降伏していた。一方で、縦、両方向腐食の場合は、腐食サイズが大きくなるほど、 $X=0$ の健全板厚の辺に圧縮力が集中し、最大荷重時に降伏が見られるのに対し、それ以外の部分は、応力が低く、腐食箇所も完全に降伏していない。腐食鋼板の耐荷力評価には耐荷力曲線が用いられる。横軸には幅厚比パラメータ R の、縦軸には圧縮強度 σ_u/σ_y の値をとっているが、この 2 つの値にはどちらも板厚 t が

含まれている。ケースごとによるデータのばらつきを抑えるために有効な板厚を採用することが必要である。本研究では、既往の研究より、側辺部分が中央部分よりも腐食による耐荷力低下の影響が大きいことから、式(2)、図2で表されるような重み関数を用いて重み

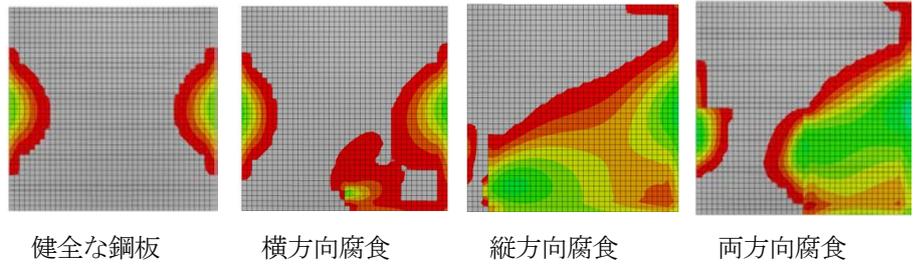


図1 R=0.9, 500mm 腐食, 残存率 50%の各コンター図

付け平均板厚を算出した。この値を用いて R を求め、 σ_w/σ_y を腐食側面の平均板厚を用いて算出した。図3に示すように、これによってプロットした値を最小2乗法で累乗根近似した曲線

$$\sigma_w/\sigma_y = \left(\frac{0.418}{R}\right)^{0.391} \quad \text{を面内純圧縮負荷を} \quad w_i = 12.48 \left(\frac{x}{A}\right)^2 \left(\frac{y}{B}\right)^2 + 1.24 \left(\frac{x}{A}\right)^2 + 0.12 \left(\frac{y}{B}\right)^2 + 0.80 \quad \text{式(2)}$$

受ける、腐食による局部減肉、完全欠損を有する鋼板の残存耐荷力の評価式として提案する。

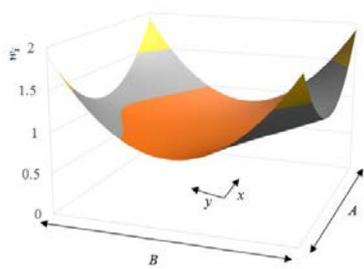


図2 重み関数

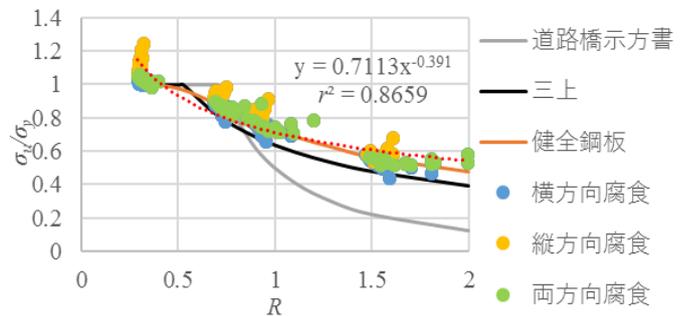


図3 圧縮負荷を受ける鋼板の耐荷力曲線

(2)面内純せん断負荷を受ける鋼板

図4に(1)と同条件のコンター図を示す。図より横、縦方向腐食は向きを変えただけと分かる。図6に、せん断強度 τ_w/τ_y と R を求める板厚に斜張力場の平均板厚を採用した場合の評価式

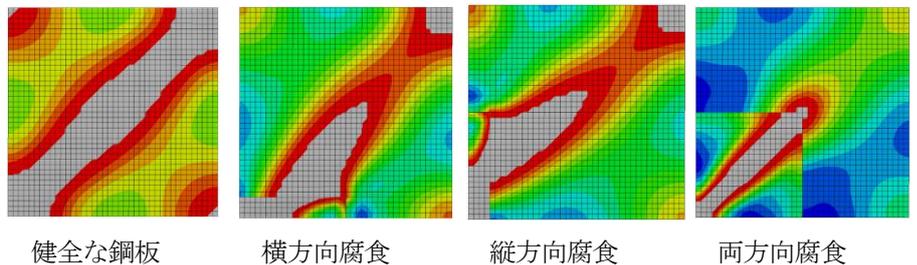


図4 R=0.9, 500mm 腐食, 残存率 50%の各コンター図

$\tau_w/\tau_y = \left(\frac{0.415}{R}\right)^{0.681}$ を面内純せん断負荷を受ける、腐食による局部減肉、完全欠損を有する鋼板の残存耐荷力の評価式として提案する。

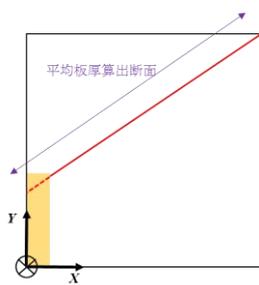


図5 斜張力場の断面

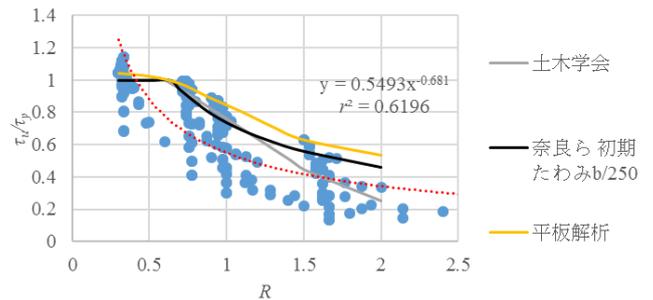


図6 せん断負荷を受ける鋼板の耐荷力曲線

4.結論

圧縮強度 σ_w/σ_y を求める際の板厚 t に、欠損側の平均板厚を、幅厚比パラメータ R を求める際の板厚 t に、鋼板を重みづけして求めた平均板厚を採用したところ、高い精度で1つの耐荷力曲線で評価することができた。また、せん断強度 τ_w/τ_y と幅厚比パラメータ R を求める際の板厚 t に、斜張力場が作用する断面積の平均板厚を採用したところ、ややばらつきはあるが1つの耐荷力曲線で評価することができた。

参考文献 1) 杉浦ら：腐食鋼板の圧縮強度の簡易評価法に関する検討，土木学会論文集 A, Vol.63, No.1, pp.43-55, 2007.1, 2)坂口ら：腐食欠損を持つ鋼板の圧縮およびせん断耐荷力に関する解析的研究，第73回土木学会年次学術講演会概要集, I-564, pp.1127-1128, 2018.9