

腐食欠損を有する鋼板の圧縮およびせん断耐荷力に関する解析的研究

神戸大学大学院工学研究科
神戸大学大学院工学研究科

学生員 ○坂口 大生
正会員 橋本国太郎

1. 研究背景および目的 鋼構造物の劣化・損傷の要因の一つに腐食損傷が挙げられ、近年、腐食鋼構造物の耐荷力に関する研究は多くされてきている。腐食に関する耐荷力評価の研究は、板要素、部材、橋梁全体構造の3つに分類されるが、現段階ではこれらの耐荷力に関する関連付けはほとんど行われていない。また、板厚が完全に0の場合の腐食(腐食欠損)を有する鋼部材に関する研究は桁の一部をモデル化した場合では行われているものの、部材を構成する板要素レベルでは行われていないのが現状である。そこで、本研究では腐食欠損が板要素、部材、橋梁全体構造の各段階における耐荷力の関連付けを行うことを目標とし、その前段階として、腐食欠損を有する板要素においていくつかの腐食欠損のケースを想定して、圧縮およびせん断耐荷力を解析的に評価することとした。

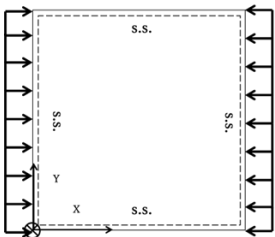


図1 圧縮力負荷

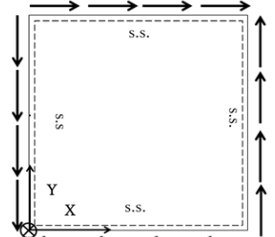


図2 せん断力負荷

2. 解析モデル概要および解析ケース FEM 解析には汎用有限要素解析コード ABAQUS を用いて、解析モデルは4辺単純支持板とし、形状は、X方向の長さ a 、Y方向の長さ b ともに 1000mm で縦横比 a が1の正方形板とし、等方硬化に従う材料として仮定する。また、初期たわみは最大初期たわみ量を圧縮の場合に $b/150$ 、せん断の場合に $b/250$ とした sin 半波形で導入した。ただし、残留応力については考慮しないこととした。また、解析パラメータとして板厚は以下の式(1)に示す幅厚比パラメータを 0.3 から 1.5 まで 0.2 刻みで変化させた。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。また、解析モデルの材料特性を表1に示し、圧縮負荷およびせん断負荷の簡単な解析概要を図1,2にそれぞれ示す。

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

式(1)

表1 モデルの材料特性

荷重タイプ	板幅 b (mm)	ポアソン比 ν	座屈係数 k	降伏応力 $\sigma_y(\text{N/mm}^2)$	ヤング率 $E(\text{N/mm}^2)$	鋼種
面内純圧縮	1000	0.3	4.0	235	210000	SM400
面内純せん断			9.34			

また、解析ケースは腐食の状況を以下の3通りのケースで想定した。

- (1) 縦の腐食欠損幅を 100mm 一定にして、横の腐食欠損幅を 100,200,300,400 および 500mm と変化させる。
- (2) 横の腐食欠損幅を 100mm 一定にして、縦の腐食欠損幅を 100,200,300,400 および 500mm と変化させる。
- (3) ケース(1)とケース(2)を複合させて、縦・横ともに腐食幅を 100,200,300,400 および 500mm と変化させる。

3. 解析結果および考察

解析結果として圧縮およびせん断の $R = 0.5$ (板厚 35.2mm) の場合における各欠損ケースの最大荷重を、腐食が

ない場合の最大荷重で除した耐力低下率と欠損幅の関係を図3および図4に示す。図3や図4より、欠損幅が増加するにつれて最大耐力は減少傾向にある。圧縮負荷の場合では、横方向の腐食ケースは耐力力の低下が縦方向および両方向の腐食ケースに比べてかなり緩やかであるが、縦方向および両方向の腐食ケースは欠損幅にほぼ比例して耐力力が減少しており、最大腐食幅の500mmの腐食欠損のケースで健全時の耐力力のちょうど50%程度まで低下している。圧縮負荷の場合には応力伝達方向の板幅が耐力力の低下に大きく影響を及ぼすと考えられる。また、せん断負荷の場合では、横方向および縦方向腐食の2つのケースはほとんど同じ耐力力低下を示した。しかし、両方向腐食のケースは横方向および縦方向腐食の場合より大きく耐力力が低下し、500mm腐食の場合には健全時の耐力力の20%程度まで減少している。せん断負荷では腐食の向きによっては耐力力の変化がないが、斜め方向の張力場の断面積が耐力力の低下に大きく影響を及ぼすと考えられる。

また、既往の研究により、簡易かつ精度の良い腐食鋼板の強度評価法として耐力力曲線での評価が行われてき。例えば、杉浦ら¹⁾は腐食状況によって耐力力曲線がばらばらであると評価することが困難であることから、平板解析結果を真値としその座屈曲線に合うような有効板厚の評価法の検討を行った。そこで、本論文では有効な板幅での評価を検討した。図5に示すように、圧縮負荷を受ける場合では欠損幅にほぼ比例して耐力力が低下しているため、両方向および縦方向の腐食ケースでは残存板幅で耐力力曲線を描くことで、ほとんどのケースではほぼ元の平板の耐力力曲線で評価できることがわかる。しかし、図6に示すように、せん断負荷を受ける場合においては欠損幅と耐力力に関連性がないため、すべてのケースで健全時の耐力力曲線と全く違う挙動を示し、残存幅での有意な評価を行うことはできなかった。そこで、せん断に関しては座屈曲線での評価は無理があるため、斜め張力場の断面積で評価を検討した。図7は各Rごとのすべてのケースについて斜め張力の作用する残存断面積と耐力力の関係を散布図で示している。相関係数が0.96で両者に強い相関があることがわかった。

4. 結論 圧縮負荷の場合では耐力力の低下は応力伝達方向の板幅に大きく影響を受けるが、せん断の場合では耐力力の低下は板幅とは関連性がなく、斜め方向の張力場の断面積に大きく影響を受けると考えられる。したがって、圧縮負荷における両方向・縦方向腐食では残存幅で評価することで健全時の耐力力曲線1本で評価ができ、せん断負荷では残存幅による有意な評価を行うことができないが、斜め張力の作用する残存断面積で評価できることがわかった。

参考文献

1) 杉浦邦征, 田村功, 渡邊英一, 伊藤義人, 藤井堅, 野上邦栄, 永田和寿: 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, Vol.63 No.1 pp.43-55, 2007.

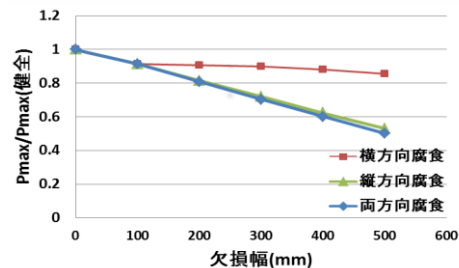


図3 荷重と欠損幅との関係
($R = 0.5$ 圧縮負荷)

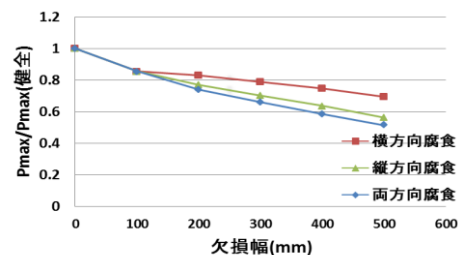


図4 荷重と欠損幅との関係
($R = 0.5$ せん断負荷)

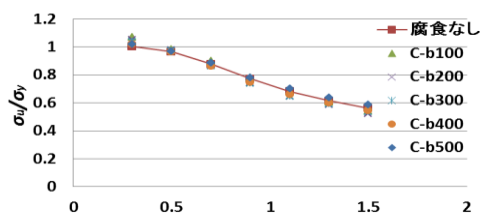


図5 両方向腐食の耐力力曲線(圧縮負荷)

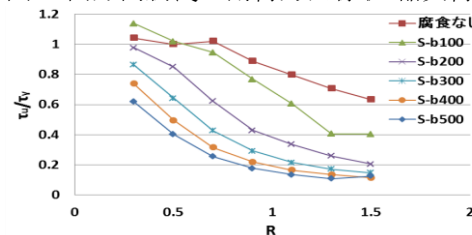


図6 両方向腐食の耐力力曲線(せん断負荷)

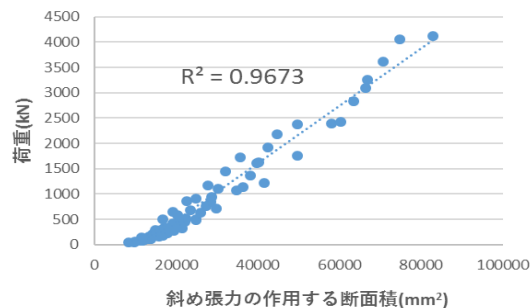


図7 耐力力と斜め張力場の相関