

第 I 部門

当て板補修された断面欠損鋼部材の当て板腐食が力学特性に与える影響

関西大学大学院 学生員 菱田 空斗

関西大学 正会員 水谷 壮志, 石川 敏之

1. はじめに

一般に、断面欠損を伴う腐食損傷が発見された場合、当て板補修が行われる。偏心した断面欠損部を当て板補修した場合、断面欠損部に生じる分担断面力は、断面欠損部と当て板の断面積比から計算される値と合致しない。そこで、文献 1) では、偏心した断面欠損部を含む主板と当て板を、骨組構造としてモデル化し、骨組構造解析によって断面欠損部の分担断面力が導出されている。

他方、断面欠損箇所は、腐食しやすい環境であるため、当て板補修後に当て板が腐食する可能性が考えられる。当て板が腐食した場合、载荷荷重に対して、断面欠損部の分担軸力が再度変化するが、そのような状態に対する力学挙動は評価されていない。そこで、本研究では、当て板補修された断面欠損鋼部材の当て板が表面から断面減少した場合の有限要素解析を行い、当て板補修された断面欠損鋼板の当て板腐食が力学特性に与える影響を評価する。

2. 有限要素解析

本研究では汎用の有限要素解析ソフト Marc を用いて弾塑性有限変位解析(以下、FEM 解析)を行い、当て板が減肉した場合の断面欠損部の分担断面力を評価する。解析モデルは図-1 に示すような、断面欠損を有する主板が両面当て板補修されたモデルに対して、当て板の表面から腐食が進展する状態を対象とした。FEM 解析では、最初に設計ボルト軸力(165 kN)となるようにボルト軸力を導入した後、载荷荷重 P (=50 kN) を载荷・除荷した。除荷後に、要素の削除(DEACTIVATION)を行うことで当て板の減肉を再現した。要素の削除後に再び荷重を 50 kN 载荷・除荷し、これらを繰り返して減肉を進行させた後の断面欠損部の分担断面力を評価する。欠損部の形状は主板側、当て板側ともに矩形状とし、主板側の断面欠損長とその残存板厚($l_{ds} - t_{ds}$)を 10–13 mm、10–7 mm、40–13 mm、40–7 mm の 4 ケースに対して、図-2 に示すように、当て板の減肉を主板軸方向と板厚方向にそれぞれ進展させている。主板軸方向に減肉させたモデルでは、当て板側の断面欠損部の板厚 t_{dp} を 10 mm とし、当て板側の断面欠損長 l_{dp} を 0 mm から 40 mm まで 10 mm 間隔で変化させた。板厚方

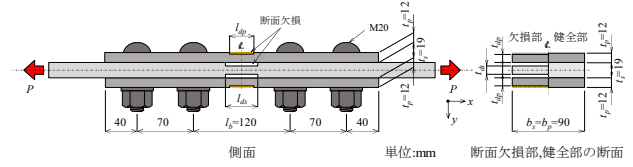
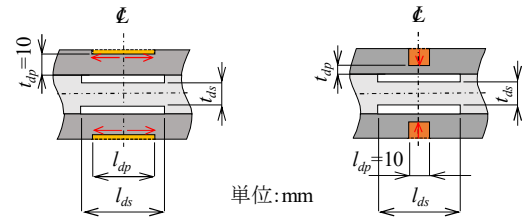


図-1 解析モデルの寸法



(a) 主板軸方向

(b) 板厚方向

図-2 当て板の腐食パターン

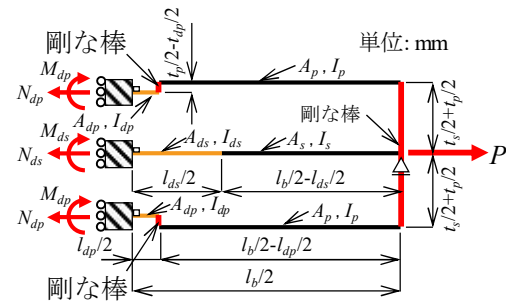


図-3 骨組構造解析モデル

向に減肉させたモデルでは、当て板側の断面欠損長 l_{dp} を 10 mm とし、当て板厚 t_{dp} を 12 mm から 4 mm に、2 mm 間隔で減少させた。

3. 骨組構造解析

本研究では当て板の外側から減肉が生じるモデルであるため、一般部と減肉部で当て板の図心軸が異なる。図心軸が偏心する場合の当て板の応力の導出方法として、文献 1) では、骨組構造解析が提案されている。そこで、本研究でも同様に、図-3 に示すモデルの骨組構造解析を行い、算出された断面欠損部の当て板の分担断面力から次式により当て板の応力を算出する。

$$\sigma_{dp} = \frac{N_{dp}}{A_{dp}} + \frac{M_{dp}}{I_{dp}} y_{dp} \quad (1)$$

ここに、 N_{dp} は当て板の分担軸力、 A_{dp} は断面欠損部の当て板

の断面積, M_{dp} は断面欠損部の当て板の分担曲げモーメント, I_{dp} は断面欠損部の当て板の断面 2 次モーメント, y_{dp} は断面欠損部の当て板の中立軸からの距離(図 2 の y の向きを正).

4. 解析結果

図-4 に FEM 解析から得られたすべてのモデルに対して, 最大荷重 50 kN の際の当て板の断面欠損部の応力が高い外側の縁応力 σ_{su} (FEM) と断面欠損部を合成断面として断面積比から算出した値 σ_{vsu} の関係, および σ_{su} (FEM) と図-3 の骨組構造解析から得られた分担断面力を式(1)に代入して算出した σ_{dsu} の関係を示す. これらの値を主板的みの公称応力 σ_{sn} (= 29.2 kN) で除して評価する. 図-4 には σ_{su} (FEM) = σ_{vsu} , σ_{dsu} の直線およびその $\pm 10\%$ の範囲も示している. 図より, 骨組構造解析で得られた結果は合成断面の値より FEM 解析の結果に近いことがわかる.

5. 当て板の断面欠損部の最大応力の変化と断面欠損部(当て板側)の各パラメータの関係

図-5 に, FEM 解析および骨組構造解析から得られた載荷荷重 $P = 50$ kN の際の当て板の腐食進行によって変化した当て板の断面欠損部の応力が高い外側の縁応力 σ_{dpu} と, 当て板の断面欠損部の各パラメータとの関係を示す. 図の縦軸の最大応力 σ_{dpu} は公称応力 σ_{sn} (= 29.2 kN) で無次元化している. 図-5 (a) の横軸は, 腐食により減肉した当て板の断面欠損長 l_{dp} をボルト間長 l_b で無次元化しており, 図-5 (b) の横軸は, 腐食により減肉した当て板の断面欠損部の板厚 t_{dp} を当て板の健全部の板厚 t_p で無次元化している. 図には, 骨組構造解析から算出された, 当て板の最大応力の結果も示している. 図-5 (a) より, 主軸方向に当て板の腐食を進行させたモデルに対しては, 最初の腐食進行 $l_{dp} / l_b = 0.083$ で当て板の最大応力は増加するが, その後の腐食進行では最大応力はほぼ線形に減少していることがわかる. 図-5 (b) より, 板厚方向に当て板の腐食を進行させたモデルに対しては, 腐食進行により当て板の最大応力 σ_{dpu} は増加し, その変化が大きいことがわかる. σ_{dpu} は, 主軸の断面欠損部の欠損が大きいモデルほど, 大きくなる傾向を示した. このような現象は, 当て板の腐食進行によって偏心した当て板に発生する曲げモーメントが, 当て板の断面欠損長 l_{dp} が長いほど小さくなり, 当て板の断面欠損部の板厚 t_{dp} が小さいほど大きくなるのが原因である.

6. まとめ

本研究では, 当て板補修された断面欠損鋼部材の当て板が

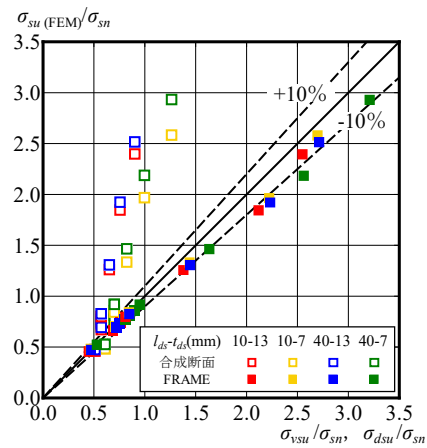
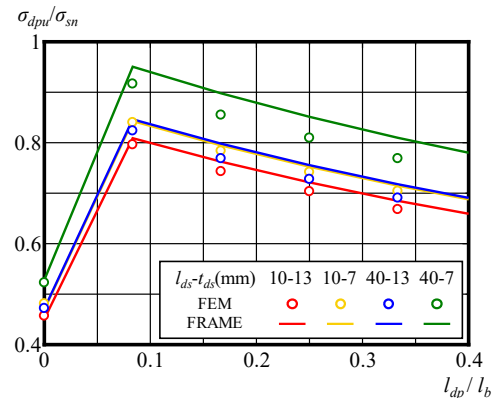
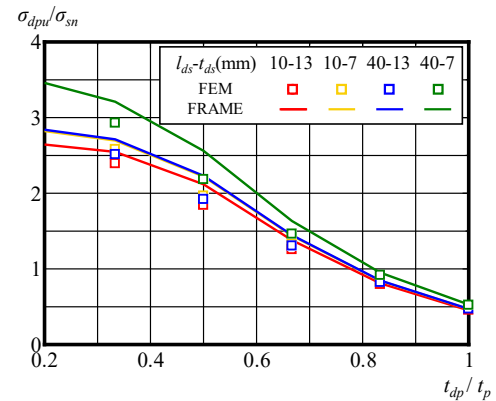


図-4 σ_{su} (FEM) - σ_{vsu} , σ_{su} (FEM) - σ_{dsu} 関係



(a) 主軸方向腐食進展



(b) 板厚方向腐食進展

図-5 当て板の断面欠損部の最大応力の変化と断面欠損部(当て板側)の各パラメータの関係

腐食により減肉した場合に対して, 断面欠損部中央から一列目のボルト間の主軸と当て板を梁部材としてモデル化した骨組構造解析によって, 断面力を算出し, 各部材に生じる縁応力を算出することで, 断面欠損部の当て板に生じる応力が高い外側の縁応力が, FEM 解析結果に近い値を示すことを明らかにした.

参考文献

- 1) 石川敏之: 当て板補修された偏心欠損を有する鋼板の応力評価, 構造工学論文集, Vol.67A, pp.374-383, 2021.