

当て板補修された断面欠損鋼部材の再劣化に対する力学特性の評価

関西大学 学生員 ○菱田 空斗 学生員 竹内 太一
 関西大学 正会員 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。断面欠損部を当て板補修した場合、断面欠損部の分担軸力が、断面欠損部と当て板の断面積比に合致しないので、断面欠損部を含むボルト間長の影響を考慮して、分担軸力が導出されている。これまでに死荷重が作用した断面欠損部を当て板補修した評価¹⁾は行われているが、補修後に主板的断面欠損部が再劣化した場合の力学挙動は評価されていない。そこで、本研究では、死荷重を受けた状態で当て板補修された断面欠損鋼部材の断面欠損部が再劣化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再劣化の評価を行う。

2. 当て板補修された断面欠損鋼板の有限要素解析

本研究では、汎用有限要素解析プログラム MARC を用いて、当て板補修された断面欠損鋼板の弾塑性有限変位解析(以下、FEM 解析)を行う。FEM 解析では、対称性を考慮して 1/8 モデルとした。主板と当て板、当て板と高力ボルトの間は接触条件を用い、摩擦係数は 0.45 とした。主板と当て板および高力ボルトの降伏応力 σ_y をそれぞれ 355, 365, 900 N/mm² とし、ヤング係数 $E_s = 200$ kN/mm²、ポアソン比 $\nu = 0.3$ の完全弾塑性体とした。死荷重 $P_D (= 100$ kN)を与えた状態で高力ボルトを締めつけ、その後、荷重 P をさらに 100 kN($=P_L$) 載荷・除荷した。除荷後の死荷重状態の際に、要素の削除

(DEACIVATION)を行うことで断面欠損部の再劣化を再現した。要素の削除後に再び荷重を 100 kN 載荷・除荷した。これらを繰り返して再劣化を進行させた。解析モデルの寸法を図-1 に示す。図-2 に示すように、主板軸方向に再劣化させたモデルは、断面欠損部の板厚 t_d を 13 mm とし、断面欠損長 l_d を 10 mm から 40 mm まで変化させたケース、40 mm から 70 mm まで変化させたケースとした。断面欠損長 l_d は 10mm 間隔で変化させている。板厚方向に再劣化させたモデルでは、断面欠損長 $l_d = 10, 40$ mm に対して、断面欠損部の板厚 t_d を 13 mm から 7 mm に、2 mm 間隔で変化させている。

3. 解析結果

図-3 に解析結果から得られた板厚方向に再劣化した場合の載荷荷重 P と断面欠損部の主板的分担軸力 N_S を示す。縦軸・横軸ともに最大荷重 $P_{max} (= P_D + P_L = 200$ kN) で無次元化している。この図から、当て板補修された断面欠損鋼部材が板厚方向に再劣化すると死荷重時の主板的分担軸力 N_S が小さくなり、載荷荷重と分担軸力の関係の傾きが大きくなることわかる。

載荷荷重 $P - P_D$ と分担軸力 N_S の関係のみを評価するために、死荷重時の状態を原点とした $(P - P_D) - N_S$ の関係を図-4 に示す。縦軸・横軸とも $P_L (= 100$ kN) で無次元化している。この図には、文献 1) の載荷荷重と分担軸力の関係も示している。図-4 から、断面欠損部が板厚

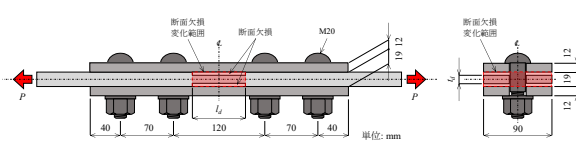
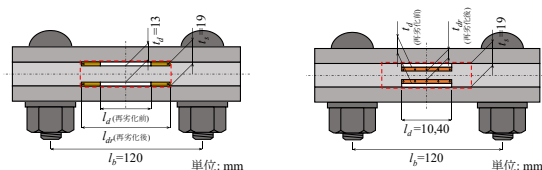


図-1 解析モデルの寸法



(a) 主板軸方向

(b) 板厚方向

図-2 再劣化パターン

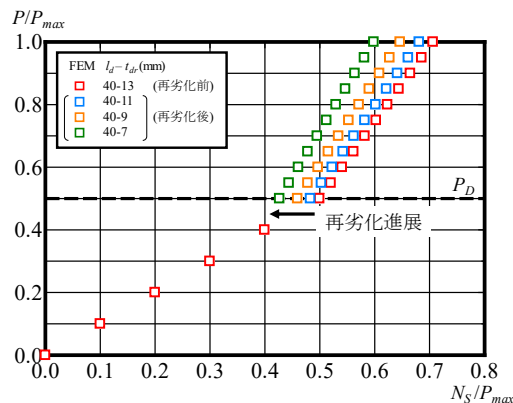


図-3 $P - N_S$ 関係(板厚方向)

キーワード 再腐食, 死荷重, 分担軸力, 再分配

連絡先

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL 06-6368-0926

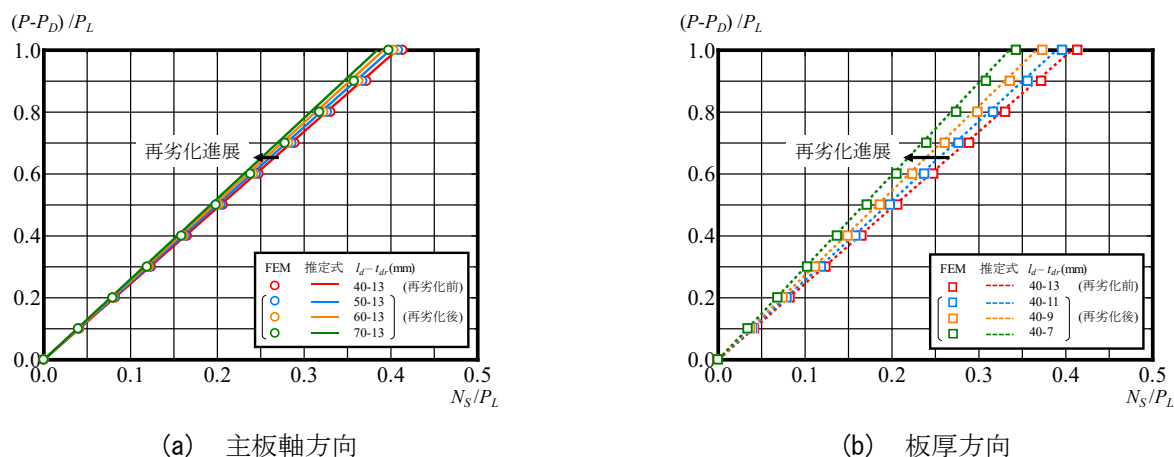
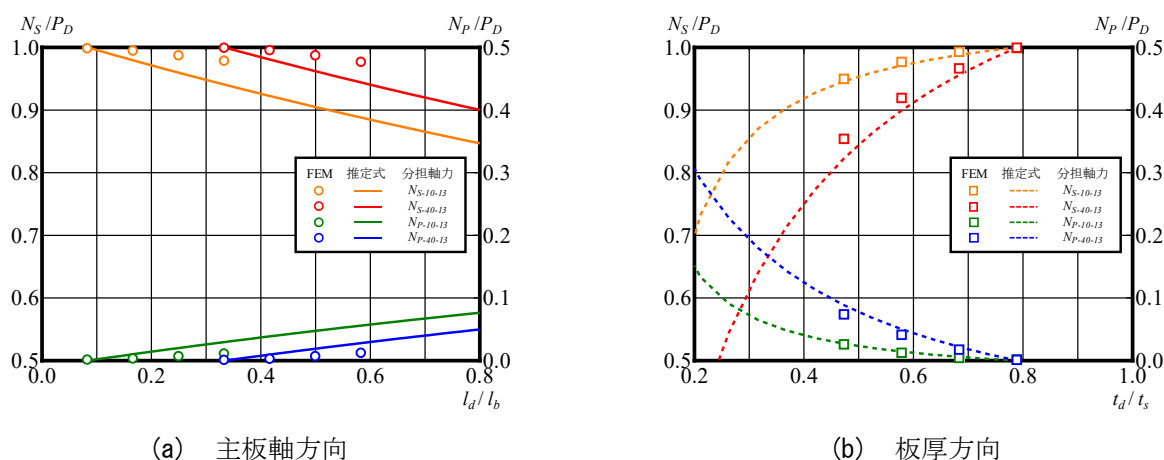
図-4 载荷荷重 $P-P_D$ と分担軸力 N_S の関係

図-5 死荷重の再分配による分担軸力の変化と断面欠損部の各パラメータの関係

方向、主板軸方向に再劣化しても、その後の载荷荷重($P-P_D$)と分担軸力 N_S の関係は、文献 1) の提案式で評価できていることが分かる。

次に、図-3 に示したような、死荷重状態 P_D で当て板補修を行った後に再劣化した場合、主板が受け持っていた死荷重 P_D が当て板に再分配される現象を評価する。死荷重 P_D の再分配によって変化した主板の分担軸力 N_{Sr} と当て板の N_{Pr} の関係は、 $N_{Sr} + 2N_{Pr} = 0$ となる。再劣化による断面欠損部を含む主板の死荷重による伸びの変化が、当て板によって拘束されるため、再劣化後にボルト間長 l_b で、主板と当て板の伸びが等しい条件から、再分配された主板の分担軸力 N_{Sr} は次式となる。

$$N_{Sr} = -\alpha(\eta_r - \eta)P_D / (1 + \alpha\eta_r) \quad (1)$$

ここに、 $\alpha = 2A_P/A_S$ 、 $\beta = A_d/A_S$ 、 $\beta_r = A_{dr}/A_S$ 、 $\gamma = l_d/l_b$ 、 $\gamma_r = l_{dr}/l_b$ 、 $\eta = 1 - \gamma + \gamma/\beta$ 、 $\eta_r = 1 - \gamma_r + \gamma_r/\beta_r$ 、 A_P は当て板の断面積、 A_S は健全部の主板の断面積、 A_d は断面欠損部の面積、 A_{dr} は再劣化した断面欠損部の面積、 l_{dr} は再劣化した断面欠損長さ。

図-5 に再劣化による死荷重の再分配によって変化

した分担軸力 N_{Sr} 、 N_{Pr} と再劣化の各パラメータとの関係を示す。縦軸の分担軸力は死荷重 P_D で無次元化している。図-5(a) の横軸は、再劣化した断面欠損長さ l_{dr} をボルト間長 l_b で無次元化し、図-5(b) の横軸は、再劣化した断面欠損部の板厚 t_{dr} を健全部の板厚 t_s で無次元化している。これらの図から、再劣化が進展すると主板が担っていた死荷重が当て板に再分配されるが、主板軸方向の再劣化に比べ、板厚方向に再劣化した場合の方が、主板の分担軸力 N_S の減少が大きいことがわかる。

図-5 には、式(1)から求まる N_{Sr} 、 N_{Pr} も示している。図から再劣化の進展に対して、推定式と解析結果は同様な傾向を示すが、 N_S の減少は推定式の方が大きかった。

4. まとめ

本研究では、死荷重状態で当て板補修された断面欠損鋼部材が再劣化した場合を有限要素解析で再現し、再劣化による死荷重の分担軸力の変化を式(1)で与えた

参考文献

- 1) 石川ら：引張を受ける断面欠損鋼部材の補修設計に対する一考察，構造工学論文集.Vol.68A，pp82-92，2022.