

当て板高力ボルト補修された断面欠損鋼板に生じる応力

関西大学 学生会員 ○八重垣 諒太
正会員 石川 敏之

1. はじめに

腐食による断面欠損が生じている鋼部材では、高力ボルト摩擦接合による当て板補修が行われる場合がある。一般に当て板補修を行う場合、健全部の母材と同等以上となるような厚さの当て板が用いられることが多い。また、損傷箇所と補修部材が完全に合成していると仮定して、補修部の応力が算出される場合がある。しかし、当て板補修を行った損傷部の応力が、損傷箇所と補修部材が完全に合成していると仮定した場合の応力より高くなることが明らかにされており、文献 1) では矩形の断面欠損を有する鋼板が当て板補修された場合に対して、断面欠損部の応力を推定する方法が提案されている。しかし、一般に腐食は不均一に生じるため、本研究では、腐食を模擬した一様でない断面欠損を有する高力ボルト当て板補修の断面欠損部の応力推定式を提案する。

2. 当て板補高力ボルト補修された断面欠損を有する鋼板の一軸引張試験

(1) 試験体概要

当て板高力ボルト補修された断面欠損鋼板に生じる応力を評価するために、図-1 に示すように、鋼板の素地調整にブラスト処理を施した主板($\sigma_f=448\text{N/mm}^2$)と当て板($\sigma_f=440\text{N/mm}^2$)を用いて、トルシア形高力ボルト

S10T(M20)で接合を行った試験体を用意した。主板中央には断面欠損を設け、断面欠損の板厚 $t_d=7\sim 13\text{mm}$ 、欠損長さ $l_d=10\sim 80\text{mm}$ の試験体を 4 ケース用意した。一軸引張試験は、ボルトの締め付け後 1 週間以上養生した後、万能試験機を用いて行った。試験では図-1 に示す断面欠損部主板中央側面のひずみを計測した。

(2) 試験結果

図-2 に一軸引張試験から得られた荷重 P とひずみ ε の関係を示す。図には、主板と当て板が完全に合成している場合の荷重と主板欠損部の最小断面に生じるひずみの関係($P-\varepsilon_{sd}$)と主板純断面降伏荷重($P_f=575\text{kN}$)をそれぞれ破線と一点鎖線で示している。図から、ほとんどの試験体の欠損部のひずみの値が、 $P-\varepsilon_{sd}$ の関係より大きくなっており、主板から当て板に十分に荷重が伝達されていないことがわかる。Case1, 4 の比較と Case2, 3 の比較から、断面欠損深さが同じ場合、主板中央側面のひずみの値が、欠損長さが短いケースの方が長いケースと比べて大きく、欠損長さによって主板と当て板の分担軸力が変化することがわかる。また、図-1 に示すように Case1, 2 では主板中央の欠損部が破断することで終局状態を迎えたのに対して、Case3, 4 はボルト 1 列目の主板のネッキングで終局状態を迎えた。

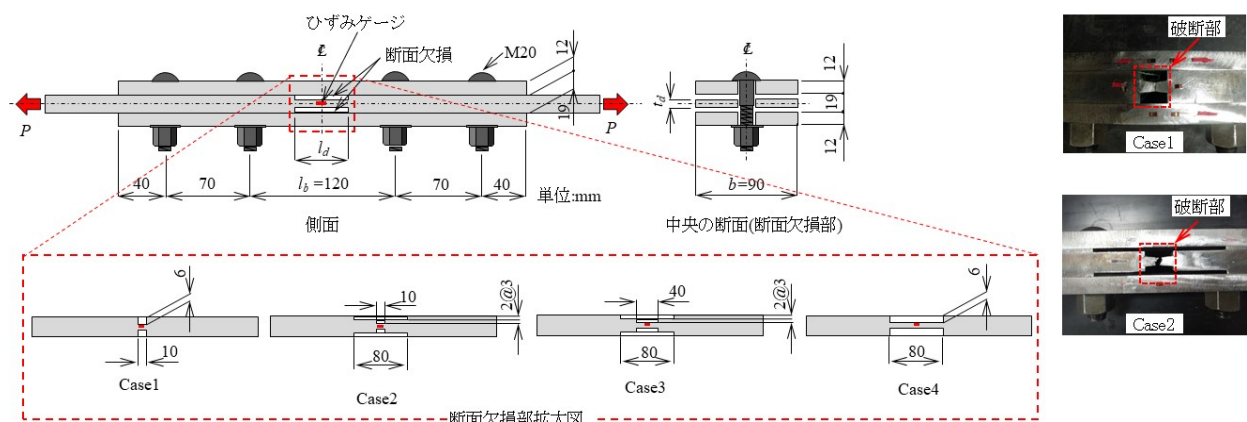


図-1 試験体寸法と主板中央欠損部の破断状況

キーワード 断面欠損, 当て板補修, 高力ボルト, 分担軸力
連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL 06-6368-0926

3. 断面欠損を有する当て板補修部の応力推定

図-2 から、主板欠損部の最小断面のひずみが主板と当て板が完全に合成されている場合のひずみより小さくなっており、Case1, 4 は文献 1) で示されている次式を用いて、欠損部の分担軸力が推定できる。

$$N_s = \frac{P}{1 + \{1 - (1 - 1/\beta)\gamma\}\alpha_e} \quad (1)$$

ここで、 P ：载荷荷重、 $\alpha_e : (1 - \zeta + \alpha)/\zeta$ 、 $\alpha : 2A_p/A_s$ 、 $\beta : A_d/A_s$ 、 $\gamma : l_d/(kl_b)$ 、 A_p ：当て板の断面積、 A_s ：主板の断面積、 A_d ：主板断面欠損部の断面積、 ζ ：当て板の有効断面に関する補正係数、 l_d ：断面欠損長さ、 l_b ：ボルト間長さ、 k ：ボルト間長さの補正係数。

式(1)は、矩形の断面欠損を有する場合の推定式であるため、本研究では式(1)の断面欠損部の断面積に関するパラメータ β と欠損長さに関するパラメータ γ を式(2)の様に変更することで当て板高力ボルト補修された一様でない断面欠損を有する主板の分担軸力を推定する。また、推定式の高精度化を図るために、文献 1) で示されているボルト間長さの補正係数 $k=1.228$ と当て板の有効断面に関する補正係数 $\zeta=0.958$ をそれぞれ用いた。

$$N_s = \frac{P}{1 + \left[1 - \sum_{i=1}^n \left\{ \left(1 - \frac{1}{\beta_i} \right) \gamma_i \right\} \right] \alpha_e} \quad (2)$$

ここに、 γ_i ：断面欠損 i の断面欠損長さ l_{di} を補正ボルト間長さ kl_b で除した値、 β_i ：断面欠損 i の断面積 A_{di} を健全全部の主板の断面積 A_s で除した値。

図-3 に、荷重とひずみの関係が線形性を示す $P = 50\text{kN}$ の各試験ケースの実験値から得られた主板中央側面の応力の値と主板の分担軸力の推定式から得られる応力の比較を示す。図には、主板と当て板が完全に合成している場合の $\sigma_{sd} (= \epsilon_{sd} \times 200\text{kN/mm}^2)$ を一点鎖線で示している。また、図中には別途行った FEM 解析から得られる本研究の試験ケースの欠損部最小断面の平均応力の値も示している。図-3 から、各試験ケースの推定値と FEM 解析の結果では、断面欠損長さが短い Case1 が最も応力が高く、欠損長さが長い Case4 は最も応力が低くなることわかる。実験値と推定式を比較すると、主板側面の応力と主板断面の平均応力が異なるため、若干の差があるが、Case1, 3, 4 では概ね実験値と推定式が一致しており、推定式を用いることで当て板補修

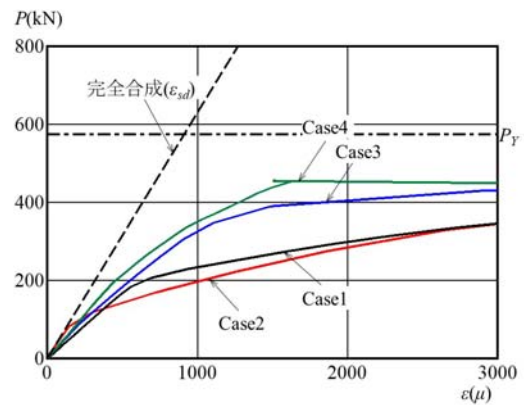


図-2 荷重とひずみの関係

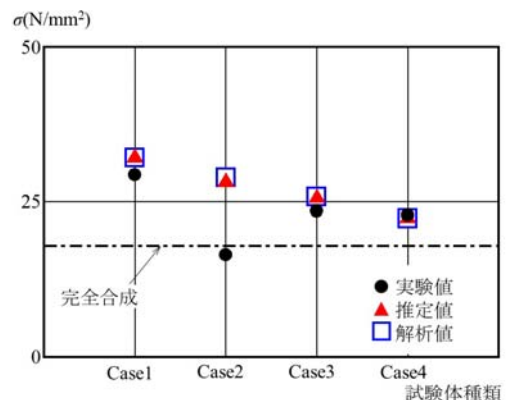


図-3 各ケースの推定応力と実験値の比較

された断面欠損部に生じる応力が推定できることがわかる。ただし、断面欠損部で破断した Case2 も他の試験体同様に断面欠損部の応力が高いと思われるが、载荷初期の荷重では計測したひずみが小さいため、実験値と推定値の誤差が大きくなっている。

4. まとめ

本研究では、一様でない断面欠損を有する主板に当て板高力ボルト補修を行った場合の主板の分担軸力の推定式を提案した。その結果、試験体数が少ないものの実験値、推定式と FEM 解析から得られる欠損部に生じる応力の傾向は概ね一致しており、推定式で欠損部主板の応力が推定できることが明らかとなった。

謝辞

本研究は、科学研究費助成事業(16k06479)の助成を受けて実施した。

参考文献

- 1) 石川敏之，八重垣諒太：当て板高力ボルト補修された断面欠損鋼板に生じる応力の推定，構造工学論文集，Vol.64A，pp.409-420，2018。