

当て板高力ボルト補修された断面欠損鋼板の分担軸力の推定

関西大学大学院 学生会員 ○八重垣 諒太
 関西大学 正会員 石川 敏之

1. はじめに

鋼橋では、断面欠損を伴うような腐食損傷に対して、当て板高力ボルト補修が行われる場合がある。一般に、断面欠損部に対して当て板高力ボルト補修を行う場合、断面欠損部を有効断面と換算せずに当て板のみで荷重を受け持つと仮定し、設計が行われる。しかし、実際には、断面欠損部にも荷重の分担が行われており、当て板高力ボルト補修部の荷重の伝達メカニズムに関する研究が行われている。

著者らは、当て板高力ボルト補修された断面欠損を有する主板的分担軸力を、断面欠損部に主板と当て板の変位の適合条件を与えることによって推定できることを明らかにしている¹⁾。しかし、これまで、接合条件(ボルト間長や当て板厚)が異なる場合や断面欠損の形状が変化する場合の推定式の推定精度は十分に検討されていない。

そこで本研究では、接合条件が異なる場合や断面欠損の形状が変化した場合に対して、有限要素解析と推定式から得られる当て板高力ボルト補修された主板的分担軸力を比較し、推定式の妥当性を評価する。

2. 当て板高力ボルト補修された断面欠損鋼板の主板的分担軸力

文献 1)では、断面欠損を有するボルト間長 l_b に主板と当て板の変位の適合条件を与え、作用荷重と主板と当て板の分担軸力のつり合いの関係から次式が導出されている。

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

ここに、 $\alpha = 2A_p/A_s$ 、 $\beta_i = A_{di}/A_s$ 、 $\gamma_i = l_{di}/l_b$ 、 N_s : 主板的分担軸力、 P : 載荷荷重、 A_s : 一般部の主板的断面積、 A_p : 当て板の断面積、 A_{di} : 断面欠損部 i の主板的断面積、 l_{di} : 断面欠損部 i の断面欠損長さ、 l_b : ボルト間長、

文献 2)では、当て板高力ボルト補修された断面欠損部の主板的分担軸力は、一般部の主板的断面積または

断面欠損部の最小断面と当て板を合成断面として算出した主板的分担軸力の間になることが明らかにされている。次式に、一般部または断面欠損部の主板と当て板を合成断面として算出したそれぞれの主板的分担軸力 N_{sc} 、 N_{sdc} を示す。

$$N_{sc} = \frac{A_s}{A_s + 2A_p} P = \frac{1}{1 + \alpha} P \quad (2)$$

$$N_{sdc} = \frac{A_d}{A_d + 2A_p} P = \frac{\beta}{\beta + \alpha} P \quad (3)$$

ここに、 $\beta = A_d/A_s$ 、 A_d : 断面欠損部の最小断面積

3. 有限要素解析

汎用の有限要素解析プログラム MARC を用いて弾塑性有限変位解析を行い、断面欠損を有する当て板高力ボルト補修された主板的分担軸力を明らかにする。解析モデルは、図-2 に示すように対称性を考慮した 1/8 モデルとし、要素には 8 節点 6 面体要素を用いた。高力ボルトは M20(S10T)を想定して円柱形で簡易的にモデル化し、ボルト孔は $\phi 22.5$ とした。高力ボルトと当て板、当て板と主板に接触を考慮し、摩擦係数を 0.45 としている。主板、当て板と高力ボルトの材料定数は、ヤング係数を 200kN/mm^2 、ポアソン比を 0.3 とした。主板と当て板の降伏応力には、道路橋示方書に示されている鋼種 SM490Y の材料特性値 $\sigma_Y = 355\text{N/mm}^2$ (主板)、 365N/mm^2 (当て板)をそれぞれ用いた。高力ボルトの降伏応力は $\sigma_Y = 900\text{N/mm}^2$ とした。鋼材の応力-ひずみ関係はすべて線形弾性完全塑性とした。解析ケースは様々な断面欠損の形状を想定して、主板に矩形の断面欠損を設けた TypeA、主板に深さの異なる断面欠損を設けた TypeB、断面欠損深さが主板軸方向に変化する TypeC とした。また、断面欠損部の残存板厚 t_d 、当て板厚 t_p 、断面欠損長さ l_d 、ボルト間長 l_b を変化させた。

解析では、最初に高力ボルトに設計ボルト軸力 (=165kN)を強制変位で与えて導入し、その後、主板に軸力を作用させた。また、主板的分担軸力は、解析モデルの主板対称面の全節点を、主板軸方向のみ変位を拘束した節点と結節して算出した。

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

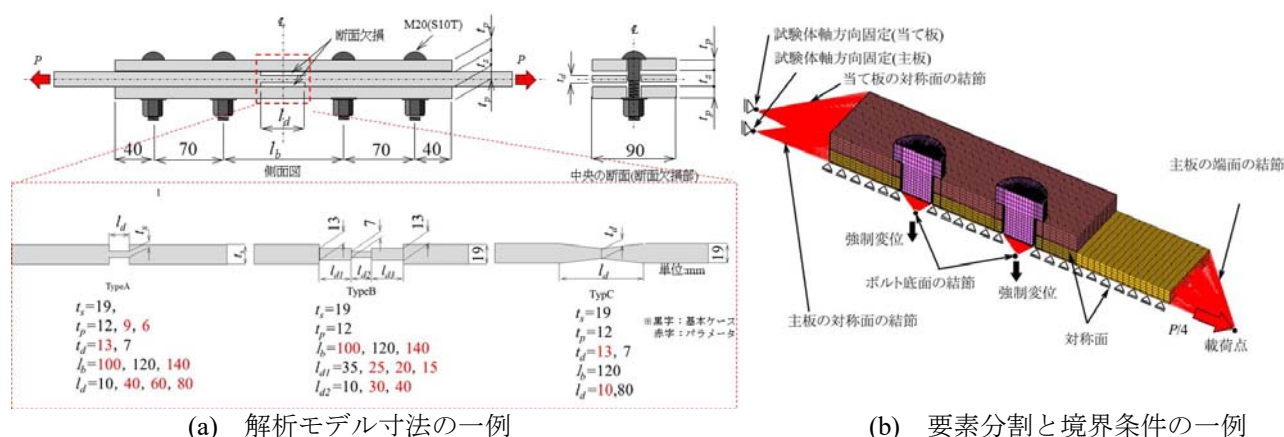


図-1 解析モデル概要

4. 有限要素解析の結果と推定式の比較

一例として図-2 に、TypeA~C の基本ケース($t_s=19$, $t_p=12$, $l_b=120$, 断面欠損部の最小断面の残存板厚は、断面欠損 Type に関わらず $t_d=7\text{mm}$)の载荷荷重 P と主板的分担軸力 N_s の関係を示す。図には、式(1)~(3)から得られる主板的分担軸力を破線で、主板純断面に対する降伏荷重 $P_Y (=455.3\text{kN})$ は一点鎖線で示している。図-2 から、有限要素解析と式(1)から得られる主板的分担軸力は、断面欠損部の最小断面積が断面欠損 Type に関わらず同様であるが、断面欠損 Type によって主板的分担軸力が変化しており、それらが式(2), (3)の N_{sc} と N_{sdc} 間になっていることがわかる。さらに、推定式と有限要素解析から得られる主板的分担軸力は、断面欠損 Type に関わらず、荷重と主板的分担軸力の関係が線形性を示す範囲でよく一致していることがわかる。

次に、断面欠損 TypeA~C の有限要素解析と、推定式から得られる $P/P_Y=0.2$ の際の主板的分担軸力の関係を示す。図では、縦軸と横軸をそれぞれ、式(3)から得られる主板的分担軸力 N_{sdc} で無次元化している。但し、断面欠損 TypeC は、断面欠損部の板厚が線形に変化しているので、式(1)を用いるために主板的断面変化部を分割する必要がある。そのため、図-3 では断面欠損長さ l_d を 100 分割して、式(1)から主板的分担軸力を算出した。図-3 から、式(1)と有限要素解析から得られる主板的分担軸力は、断面欠損部と当て板を合成断面として算出した主板的分担軸力 N_{sdc} より大きく、1.0 以上になることがわかる。また、式(1)から得られる主板的分担軸力は、解析値に対して $\pm 5\%$ の範囲で推定できていることがわかる。

5. まとめ

本研究では、当て板高力ボルト補修部の接合条件(ボルト間長や当て板厚)や断面欠損の形状を変化させた有

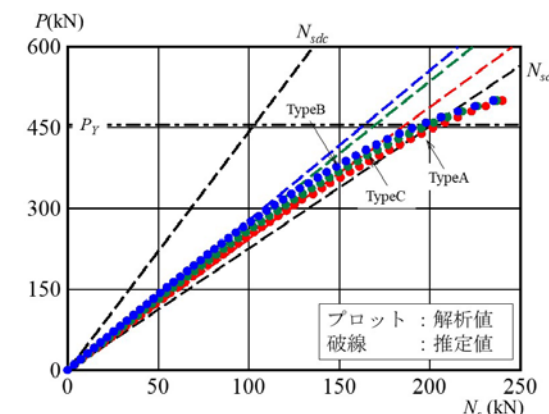
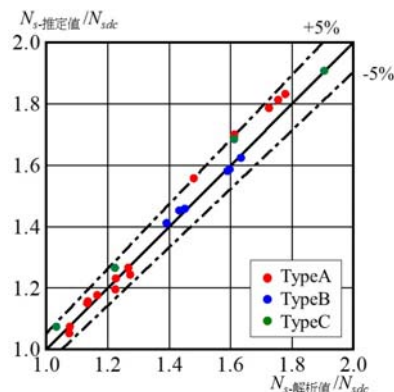
図-2 载荷荷重 P と主板的分担軸力 N_s の関係

図-3 解析値と推定値の比較

限要素解析から得られる主板的分担軸力と式(1)から得られる主板的分担軸力の比較を行った。その結果、式(1)を用いることによって、接合部の条件や断面欠損の形状に関わらず、当て板高力ボルト補修された断面欠損鋼板の主板的分担軸力が推定できることを明らかにした。

参考文献

- 1) 八重垣諒太, 石川敏之: 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, 土木学会第 73 回年次学術講演会, I-55, pp.109-110, 2018.
- 2) 石川敏之, 清水優, 服部篤史, 河野広隆: 断面欠損した鋼板の当て板補修効果, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.69, No.2(応用力学論文集 Vol.16), pp.I_595-604, 2013.