

第 I 部門

当て板補修された断面欠損を有するトラス部材の分担軸力の評価

関西大学大学院 学生員 平井 大稀
 関西大学 正会員 石川 敏之

1. はじめに

鋼橋ではある程度進行した腐食損傷を、高力ボルトで鋼板を当て板補修する場合がある。これまでに軸力を受ける断面欠損を有する鋼部材に当て板補修を行った場合、断面欠損部に生じる応力が断面欠損部の主板と当て板の合成断面の計算値よりも高くなる事が明らかにされている¹⁾。断面欠損部材の当て板補修に関する研究は、帯板鋼板モデルに対する力の伝達メカニズムの検討が多いが²⁾、実構造のモデルは、帯板鋼板モデルの評価よりも複雑になる。

本研究では、軸力を受ける高力ボルト当て板補修された断面欠損を有する H 形断面のトラス部材に着目し、断面欠損部の分担軸力の推定式を導出する。そして、有限要素解析を用いて、推定式の妥当性を評価する。

2. 当て板補修されたトラス部材の分担軸力の推定

断面欠損部を含むボルト間長で、断面欠損を有するトラス部材の各当て板の分担軸力が一定であると仮定し、断面欠損部と各当て板に対する変位の適合条件を用いる。さらに、载荷荷重 P と断面欠損を有するトラス部材と各当て板の分担軸力の関係から、次式のトラス部材の分担軸力 N_s と各当て板の合計の分担軸力 N_p が導出される。

$$N_s = \frac{(z_1 + 2z_2)l_b}{2z_1l_b + 2z_2l_b + z_1z_2} P \quad (1) \quad N_p = \frac{z_1l_b + z_1z_2}{2z_1l_b + 2z_2l_b + z_1z_2} P \quad (2)$$

$$z_1 = \left\{ l_b - \sum_{i=1}^n (l_{di}) \right\} / A_f + \sum_{i=1}^n (l_{di} / A_{fdi}) \quad (3)$$

$$z_2 = \left\{ l_b - \sum_{i=1}^n (l_{di}) \right\} / A_w + \sum_{i=1}^n (l_{di} / A_{wdi}) \quad (4)$$

ここに、 l_b はボルト間長、 l_{di} は i 番目の断面欠損長さ、 A_w 、 A_f はそれぞれウェブ、フランジの断面積、 A_{wdi} 、 A_{fdi} はそれぞれ i 番目の断面欠損部のウェブ、フランジの断面積、 i は断面欠損の分割番号、 n は断面欠損の分割数である。

3. 有限要素解析

図-1 に示す高力ボルトを用いて当て板補修された断面欠損トラス部材が軸力を受ける場合を対象に、有限要素解析(以下、FEM 解析)を行い、分担軸力を評価する。

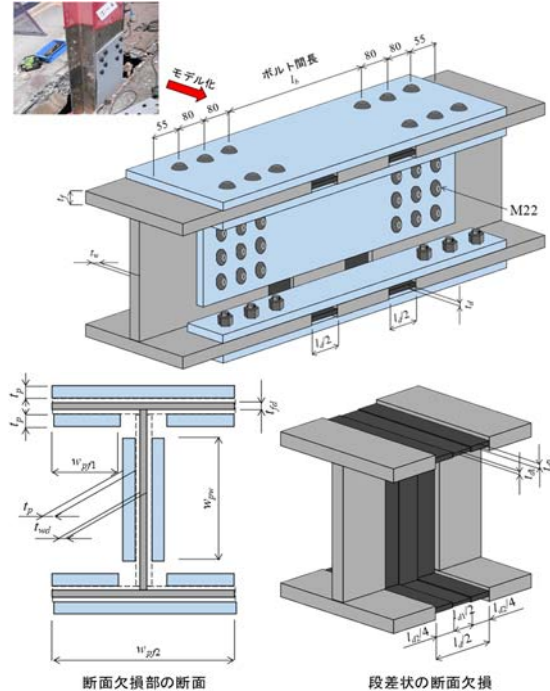


図-1 高力ボルト当て板補修されたトラス部材のモデル

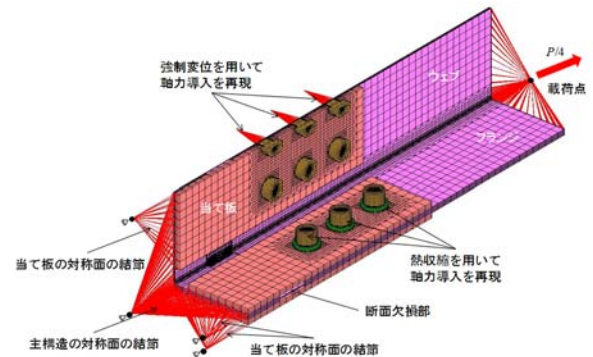


図-2 解析モデルの一例

図-2 に示す解析モデルでは、ウェブ厚 $t_w = 9$ mm、フランジ厚 $t_f = 11$ mm、ウェブ、フランジの板幅をそれぞれ 326, 300 mm、ウェブとフランジ部の内側および外側の当て板の幅 w_{pw} 、 w_{pf1} 、 w_{pf2} はそれぞれ 270, 60, 300 mm と一定とし、当て板厚 t_p 、残存ウェブ厚 t_{wd} 、残存フランジ厚 t_{fd} 、断面欠損長さ l_d を変化させた。図-1 に示す段差状の断面欠損も考慮した。解析モデルの境界条件と要素分割の一例を図-2 に示す。解析条件は、トラス部材と当て板、当て板と高力ボルトの接触面の摩擦係数を 0.45 とし、接触条件を考慮した。

高力ボルトは M22 を使用し、解析モデルの高力ボルト頭部を円柱形で再現した。鋼のヤング率を $E=200\text{kN/mm}^2$ 、ポアソン比を $\nu=0.3$ とした。また、ボルト孔のサイズは $\phi 24.5$ とした。解析モデル名は Model-D ($t_{wd}-t_d$) P t_p (l_b-l_d) とした。

4. 解析結果

図-3 に、載荷荷重 P とトラス部材の分担軸力 N_s との関係の一例を示す。図には断面欠損部のトラス部材と全ての当て板の合成断面から算出されるトラス部材の分担軸力 N_{vs} を破線、式(1)から算出される断面欠損を有するトラス部材の分担軸力を実線で示している。図の縦軸は、トラス部材純断面降伏荷重 $P_Y (=1,910\text{kN})$ で無次元化している。断面欠損部のトラス部材と全ての当て板の合成断面から算出されるトラス部材の分担軸力 N_s は FEM 解析結果と異なる傾向を示す。一方、式(1)から算出される断面欠損を有するトラス部材の分担軸力 N_s は、線形性を示す範囲で FEM 解析結果に近いことがわかる。また、図-3 から、断面欠損長さ l_d が短くなるとトラス部材が分担する軸力が大きくなることがわかる。

図-4, 5 に、 P/P_Y-N_s が線形性を示す荷重 ($P/P_Y=0.2$) に対して、式(1), (2)の断面欠損を有するトラス部材に生じる分担軸力 N_s 、当て板の合計分担軸力 N_p と、FEM 解析結果 $N_s(\text{FEM})$, $N_p(\text{FEM})$ の比較を示す。図-4, 5 には、断面欠損部のトラス部材と全ての当て板の合成断面から算出されるトラス部材の分担軸力 N_{vs} と、各当て板の合計分担軸力 N_{vp} と、FEM 解析結果との比較も示している。図の縦軸および横軸はともに載荷荷重 P で無次元化している。図には、 $N_s(\text{FEM})=N_s$, $N_p(\text{FEM})=N_p$ とその $\pm 10\%$ の範囲を実線と破線でそれぞれ示している。図から、合成断面から算出される分担軸力 N_{vs} , N_{vp} は、断面欠損部のトラス部材と全ての当て板の断面積から算出されるためボルト間長 l_b や断面欠損長さ l_d に依存しない一定の値を示すため、FEM 解析結果と異なる結果になる。また、図-4, 5 から本研究の解析範囲では、式(1), (2)を用いることで、断面欠損を有するトラス部材と全ての当て板に生じる分担軸力 N_s , N_p は FEM 解析結果の分担軸力の $\pm 10\%$ の誤差範囲になることがわかる。

5. まとめ

本研究では、軸力を受ける高力ボルト当て板補修された断面欠損を有するトラス部材に対して、トラス部材および当て板に生じる分担軸力の推定式を導出し、それらが FEM 解析結果に近いことを明らかにした。

参考文献

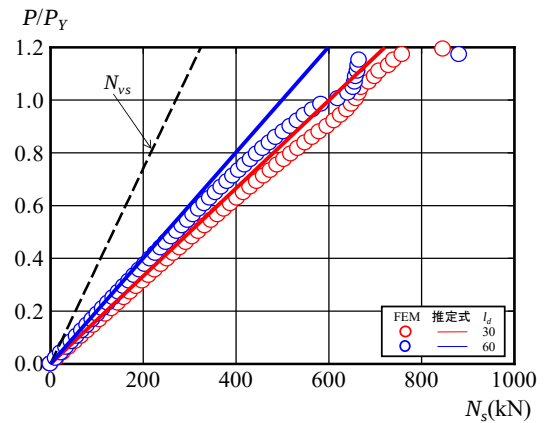


図-3 P/P_Y-N_s 関係(Model-D(2.25-2.75)P9(420- l_d))

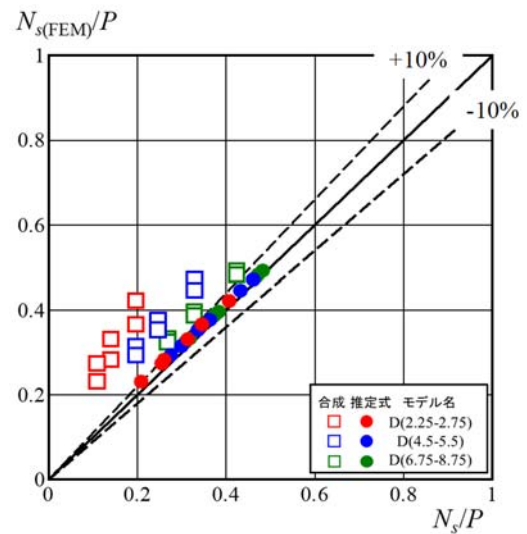


図-4 $N_s(\text{FEM})-N_{vs}$, $N_s(\text{FEM})-N_s$ 関係

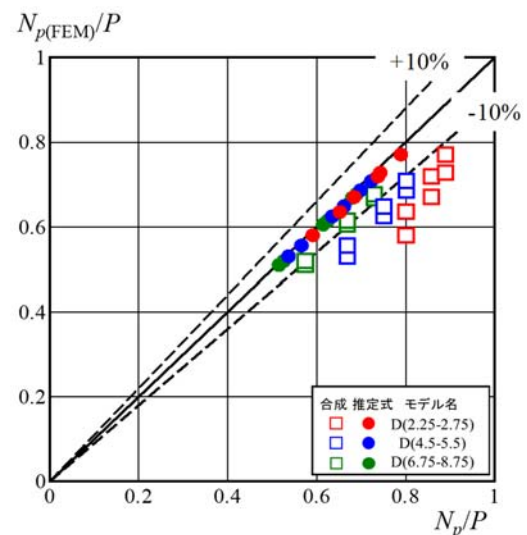


図-5 $N_p(\text{FEM})-N_{vp}$, $N_p(\text{FEM})-N_p$ 関係

- 1) 石川敏之, 八重垣諒太: 軸力を受ける高力ボルト添接補修された断面欠損鋼部材の分担軸力の推定, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 77, No. 1, pp93-106, 2021.