

引張を受ける断面欠損鋼部材の当て板補修設計に関する研究

関西大学 学生員 ○竹内 太一

関西大学 正会員 石川 敏之

1. はじめに

鋼橋の損傷の一つに腐食損傷がある。一般に明らかな板厚減少が確認される場合は当て板補修が行われる。当て板補修において、断面欠損部の軸力分担は、断面欠損部と当て板の断面積比とならないことが明らかにされている¹⁾。これまでに断面欠損部の分担軸力に関する検討は進められているものの、死荷重を考慮した断面欠損部の補修の評価や、当て板補修した場合に、断面欠損部を無視すべきかどうかの評価がほとんど行われていない。本研究では、断面欠損が生じた場合の高力ボルト当て板補修設計のための基礎的な検討として、死荷重を考慮した断面欠損部の当て板補修に対する解析を実施する。そして、断面欠損部や純断面部の降伏荷重および主板と当て板のすべり荷重の関係を明らかにし、断面欠損部の当て板補修の適用範囲について考察する。

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)を行い、高力ボルト位置での主板と当て板間の相対変位、断面欠損部の分担軸力を評価する。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 0.5 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 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。また、死荷重 P_D の考慮は、初期荷重を与えた状態で高力ボルトを締めつけることによって再現し、断面欠損部の降伏荷重 $P_{Yd} (= b \times t_d \times \sigma_Y)$ の 0.25, 0.5, 0.75 倍として与えた。図-1 に示す通り、当て板端部側を Bolt1 として評価する。解析モデルは図-1 に示す寸法とした。一般部の主板厚 $t_s = 16$ mm, 当て板厚 $t_p = 9$ mm, 板幅 $b = 95$ mm, ボルト間長 $l_b = 105$ mm で一定とし、断面欠損部の板厚 t_d , 断面欠損長 l_d を変化させて解析を実施する。解析モデル名は $Pt_p(t_d - l_d - P_D)$ とした。

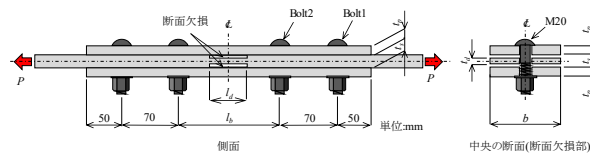
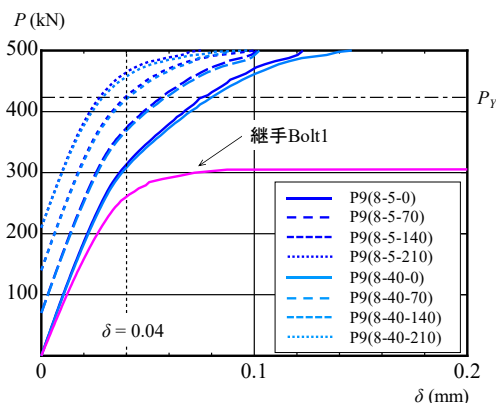


図-1 断面欠損を高力ボルト当て板補修の解析モデル

図-2 Bolt1 での P - δ 関係(断面欠損モデル P9(8 - l_d - P_D))

3. 解析結果

断面欠損を有するモデルの FEM 解析から得られた載荷荷重 P と Bolt1 位置の主板・当て板中央間の相対変位 δ の関係の一例を図-2 に示す。参考として、同寸法の継手モデルの解析結果も示している。図-2 からわかるように、当て板補強した場合は、継手形式とは異なり、明確なすべりは確認できない。一般に、すべりが明確でない場合、高力ボルト位置の主板と当て板の相対変位 δ が 0.2 mm となった場合の荷重を主板と当て板のすべり荷重としているが、当て板補修をした場合には適用出来ないことが明らかにされている²⁾。そこで、本研究では、Bolt1 の P - δ 関係の傾きに変化が見られる $\delta = 0.04$ mm の際の荷重をすべり荷重 P_S と定義する。死荷重が作用した場合、当て板端部側の Bolt1 の相対変位 δ が 0.04mm に達した荷重は、死荷重 P_D を導入していないモデルのすべり荷重 P_S よりも高くなる。これは文献²⁾でも明らかにされている。そこで、本研究では死荷重 P_D が導入された場合のすべり荷重 P_S を、 Bolt1 の相対変位 δ が 0.04 mm に達した荷重から死荷重 P_D を差し引いた値とする。ただし、 $\delta = 0.04$ mm に達した荷重が、純断面降

キーワード 死荷重, すべり荷重, 高力ボルト

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

伏荷重 P_Y より高い場合は、純断面降伏が先行するとしてすべり荷重を計算しない。

解析結果から得られた死荷重 P_D とすべり荷重 P_S の関係を図-3に示す。この図から、導入した死荷重 P_D が増加すると、すべり荷重 P_S が低下する傾向が見られた。

次に、死荷重 P_D を作用させた場合の P9(8-5- P_D) の載荷荷重 P と主板の分担軸力 N_s の関係を図-4に示す。図には、文献1)で提案されている分担軸力の推定式

$$N_{sc} = P/(1+\alpha\eta) \quad (1)$$

の主板の分担軸力 N_{sc} も示している。ここに、 $\alpha = 2A_p/A_s$ 、 $\eta = 1 - \gamma + \gamma/\beta$ 、 $\beta = A_d/A_s$ 、 $\gamma = l_d/l_b$ 、 A_s は主板の断面積 ($= b \times t_s$)、 A_p は当て板の断面積 ($= b \times t_p$)、 A_d は断面欠損部の主板の断面積 ($= b \times t_d$)、 l_b は高力ボルト間長、 l_d は断面欠損長である。

さらに、図-4には、断面欠損部の降伏荷重 P_{Yd} も示している。図-4から、死荷重 P_D が作用している場合でも、 $P-N_s$ 関係が線形性を示す範囲は、式(1)で計算される主板の分担軸力 N_{sc} によって推定できることがわかる。したがって、 $P-N_s$ 関係が線形性を示す範囲では、主板の分担軸力が、死荷重 P_D と式(1)の分担軸力 N_{sc} の和として推定できると考える。

4. 断面欠損部の当て板補修設計に対する一考察

単純なモデルに対して、死荷重 P_D を考慮した、断面欠損部の当て板補修時のすべりや降伏に対する考え方を検討する。ただし、安全係数を全て1とし、断面欠損部の降伏荷重が $P_{Yd} < P_Y$ の場合を考える。推定式(1)や、図-4に示すすべり荷重 P_S と死荷重 P_D の関係から損傷部降伏荷重 P_{Yd} 、すべり荷重 P_S 、純断面降伏荷重 P_Y と作用できる活荷重の最大値 P_{Lmax} の関係はそれぞれ次式で表せる。

$$P_{Lmax} = (1+\alpha\eta) \cdot (P_{Yd} - P_D) \quad (2)$$

$$P_{Lmax} = P_{S0} - kP_D \quad (3)$$

$$P_{Lmax} = P_Y - P_D \quad (4)$$

ここに、 P_{S0} は、死荷重 $P_D=0$ の際のすべり荷重で、図-3の結果に対して、最小二乗法を適用した値を用いる。また k は最小二乗法から得られた直線の傾きである。

縦軸に作用できる活荷重の最大値 P_{Lmax} 、横軸に死荷重 P_D を示した場合、図-1の寸法に対して式(2)~(4)から算出される P9(8-5- P_D) の $P_{Lmax} - P_D$ 関係を図-5に示す。死荷重 P_D と設計活荷重が図-5の赤いハッチング範囲にプロットされた場合、断面欠損部を有効として当て板厚を設計することができる。また青いハッチング

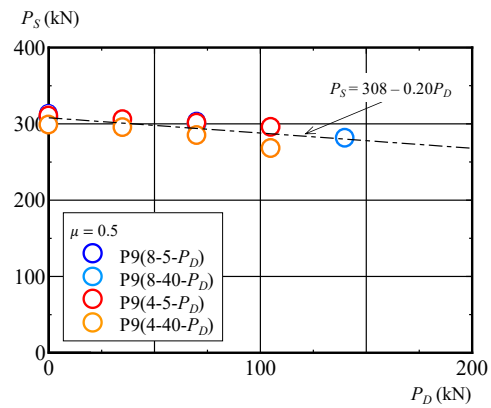


図-3 P_S と P_D の関係

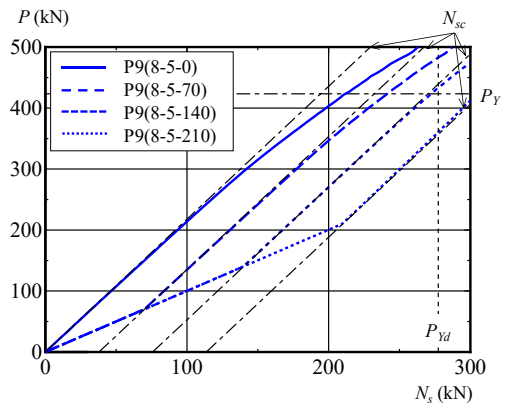


図-4 載荷荷重と分担軸力の関係(P9(8-5- P_D))

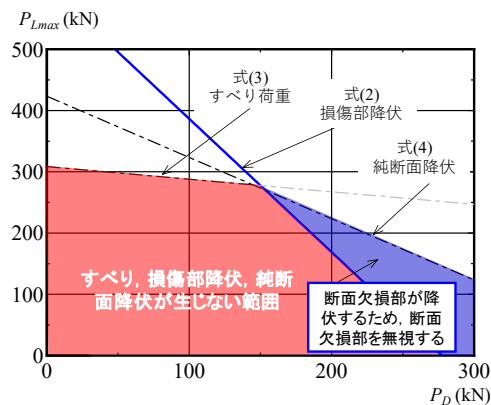


図-5 式(4)~(6)の P_{Lmax} と P_D の関係(P9(8-5- P_D))

範囲にプロットされた場合は、断面欠損部の降伏が先行するが、断面欠損部を無視した設計が可能であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、断面欠損部の当て板補修に対して、断面欠損部や純断面部の降伏荷重および主板と当て板のすべり荷重の関係を明らかにし、断面欠損部を有効にできる当て板補修の適用範囲について考察した。

参考文献

- 1) 石川敏之, 八重垣諒太: き裂部当て板補修に対する主板の分担断面力の推定, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.77, No.1, pp.93-106, 2021.
- 2) 神野巧矢, 山口隆司, 小笠原照夫, 内田大介, 森山仁志, 網谷岳夫: 引張荷重作用下で施工された高力ボルト摩擦接合当て板の力学的挙動, 構造工学論文集, Vol.66A, pp.466-474, 2020.