

第 I 部門

死荷重を考慮した断面欠損当て板鋼板の分担軸力

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

一般に明らかな板厚減少が確認される鋼橋の腐食損傷に対しては、当て板補修が行われている。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、当て板補修された断面欠損部の分担軸力について死荷重の影響を明らかにする。

2. 有限要素解析

図-1 に示すような引張を受ける当て板補修された断面欠損部材を対象に、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(以下、FEM 解析)を行い、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。図-2 に要素分割の一例と境界条件を示す。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 0.4, 0.5, 0.6 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。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。

3. 解析結果

解析結果から得られた死荷重 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

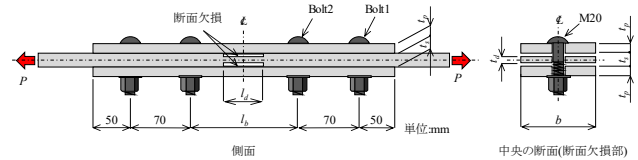


図-1 断面欠損を高力ボルト当て板補修の解析モデル

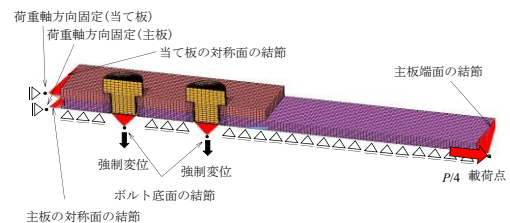


図-2 要素分割の一例と境界条件

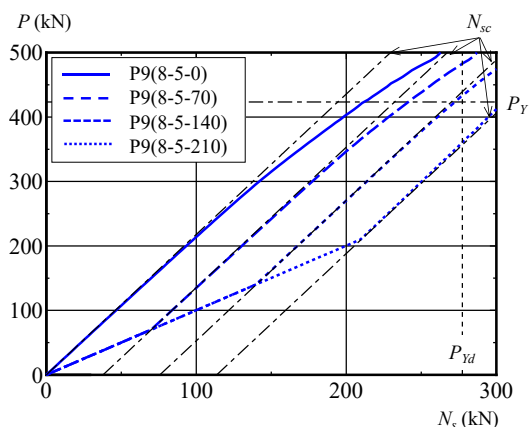
図-3 $P - N_s$ 関係(断面欠損モデル $P9(8-5-P_D)$)

図-3 に示す。図には、文献 1)で提案されている次式の主板の分担軸力 N_{sc} も示している。

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

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、この図には、断面欠損部の降伏荷重 P_{Yd} も示している。図-3 から、死荷重 P_D が作用している場合であっても、 $P - N_s$ 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。さらに、死荷重が大きくなった場合、関係が線形を示す荷重が高くなる事が分かる。したがって、断面欠損部に生じる分担軸力が線形性を示す範囲では、主板の分担軸力 N_s 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。

図-4 に断面欠損を長くした P9(8-40- P_D)、断面欠損を深くした P9(4-5- P_D) の場合の $P-N_s$ 関係を示す。図-4(a) から、合成断面とした場合と異なり、欠損長さが変化しても式(1)が有効であることが確認できる。断面欠損長さが長くなると、 $P-N_s$ 関係が線形を示す範囲が小さくなっている。これは、断面欠損部の長さが長い場合、断面欠損部の主板の伸びが大きくなり、継手状態に近づくためと考える。また、図-4(b) から、断面欠損が深い場合、損傷部の降伏荷重 P_{Yd} が低下するため、断面欠損部の降伏が先行することが分かる。

P9(8-5- P_D) について摩擦係数を変化させた場合の載荷荷重 P と主板の分担軸力 N_s の関係を図-5 に示す。図から摩擦係数が高いほど線形性を示す範囲が大きくなっていることがわかる。摩擦係数を変化させた場合も、断面欠損部に生じる分担軸力が線形性を示す範囲では推定式は有効であることが確認できる。

4. 断面欠損部に作用する分担軸力の推定

3章で得られた結果をもとに安全係数を 1 として、当て板補修時における断面欠損部の降伏に対する考え方を検討する。

死荷重 P_D が作用している状態で当て板補修を行った場合、断面欠損部が受け持つ荷重 P_{sd} は、次式で与えられる。

$$P_{sd} = P_D + N_{sc} \quad (2)$$

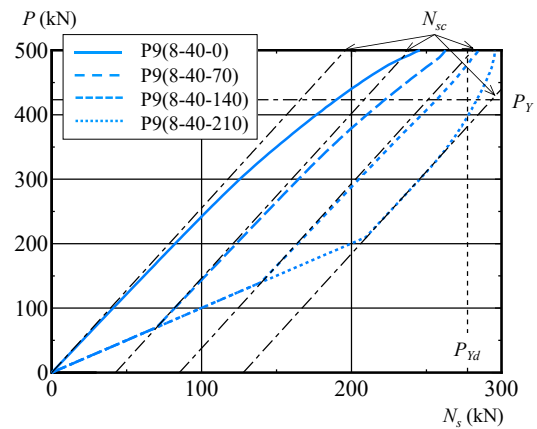
主板の分担軸力 N_{sc} が式(1)で与えられているので、載荷荷重 P を、作用できる活荷重の最大値 P_{Lmax} とした式(1)を式(2)に代入すると、断面欠損部の降伏荷重 P_{Yd} 、死荷重 P_D および作用できる活荷重の最大値 P_{Lmax} の関係が次式で与えられる。

$$P_{Lmax} = (1 + \alpha\eta) \cdot (P_{Yd} - P_D) \quad (3)$$

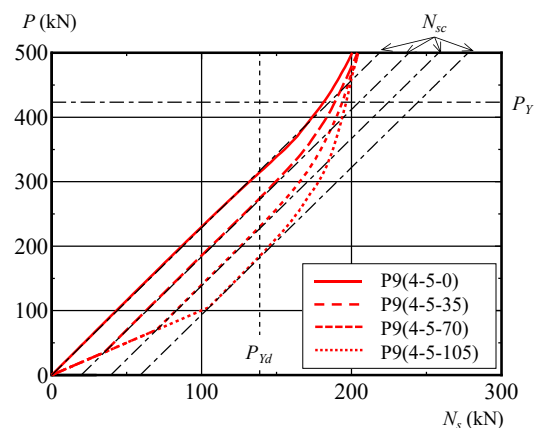
この式に加え、純断面降伏および主板と当て板のすべりに対する、作用できる活荷重の最大値 P_{Lmax} と死荷重 P_D の関係を考慮し、当て板補修の設計を行う必要がある。

5. まとめ

本研究では、断面欠損を有する鋼板の当て板補修に対して、死荷重を考慮した FEM 解析を行い、断面欠損部に生じる分担軸力は、作用している死荷重と推定式から算出される分担軸力の和として表せることを明らかにした。そして、安全率を 1 とした場合の当て板補修設計において、断面欠損



(a) 断面欠損が長い場合(P9(8-40- P_D))



(b) 断面欠損が深い場合(P9(4-5- P_D))

図-4 $P-N_s$ 関係

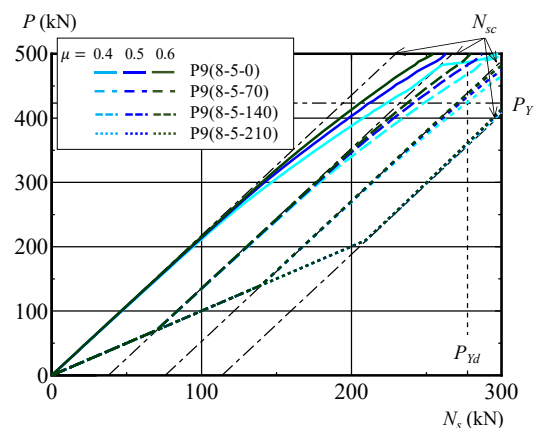


図-5 摩擦係数を変化させた場合の $P-N_s$ 関係
(断面欠損モデル P9(8-5- P_D))

部の降伏に対する、作用できる活荷重の最大値 P_{Lmax} と死荷重 P_D の関係を示した。

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.