

軸力を受ける損傷鋼部材の当て板高力ボルト補修に対する軸力推定

関西大学 ○八重垣 諒太 石川 敏之

1. はじめに

鋼橋では、一般に著しい板厚減少を伴うような損傷部には、高力ボルト摩擦接合による当て板補修が実施される場合がある¹⁾。しかし、既往の研究において、主板と当て板の軸力の分担が両者の断面積比と異なり、当て板高力ボルト補修した断面欠損部の応力が、主板と当て板の合成断面から計算される応力まで低下しないことが明らかにされている²⁾。本研究では、損傷を含むボルト間で主板と当て板の変位の適合条件を与え、当て板高力ボルト補修した損傷部の主板と当て板の分担軸力の推定式を提案する。次に、FEM解析を用いて主板と当て板の分担軸力と推定式から計算される分担軸力を比較して、どの程度の誤差で分担軸力を推定できるか明らかにする。

2. 主板と当て板の分担軸力の推定

当て板高力ボルト補修された主板と当て板の分担軸力を推定するために、図-1に示すように、断面欠損部を含むボルト間長 l_b において主板と当て板の分担軸力 N_{sd} 、 N_p が一定、すなわち、断面欠損前後の高力ボルト間では、主板および当て板のそれぞれの分担軸力が変化しないと仮定する。さらに、ボルト間 l_b において、当て板の伸びと断面欠損部を含む主板の伸びが等しくなる変位の適合条件から、主板の分担軸力 N_{sd} は次式で与えられる。

$$N_{sd} = \frac{P}{1 + \left\{ 1 - \gamma_0 + \sum_{i=1}^n (\gamma_i / \beta_i) \right\} \alpha} \quad (1)$$

ここに、 $\alpha = A_p / A_s$ 、 $\beta_i = A_{di} / A_s$ 、 $\gamma_0 = l_d / l_b$ 、 $\gamma_i = l_{di} / l_b$ 、 A_s : 主板の断面積、 A_p : 当て板の断面積、 A_{di} : 欠損部 i の断面積 ($b \times t_{di}$)、 b : 主板と当て板の板幅(90mm)、 t_{di} : 欠損部 i の主板厚、 l_d : 欠損長さの総和、 l_{di} : 欠損部 i の欠損長さ、 l_b : ボルト間長、 P : 載荷荷重、 i : 断面欠損部の番号(1 から n までの整数)

3. 断面欠損を有する当て板高力ボルト補修された断面欠損鋼板の有限要素解析

2章で導出した主板と当て板の分担軸力がどの程度の誤差で推定できているのかを明らかにするため、汎用の有限要素解析プログラムMARCを用いてFEM解析を実施する。

FEM解析では、図-2に示すような当て板高力ボルト補修された断面欠損を有する解析モデルに対して有限要素解析を実施して主板の分担軸力を明らかにする。解析モデルは表-1に示すように、断面欠損部主板厚 t_d 、当て板厚 t_p 、

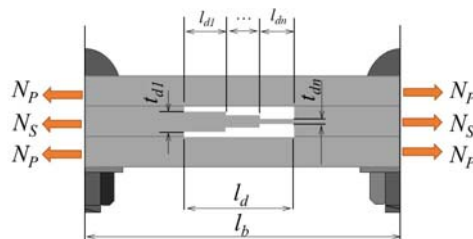


図-1 主板と当て板の分担軸力の仮定

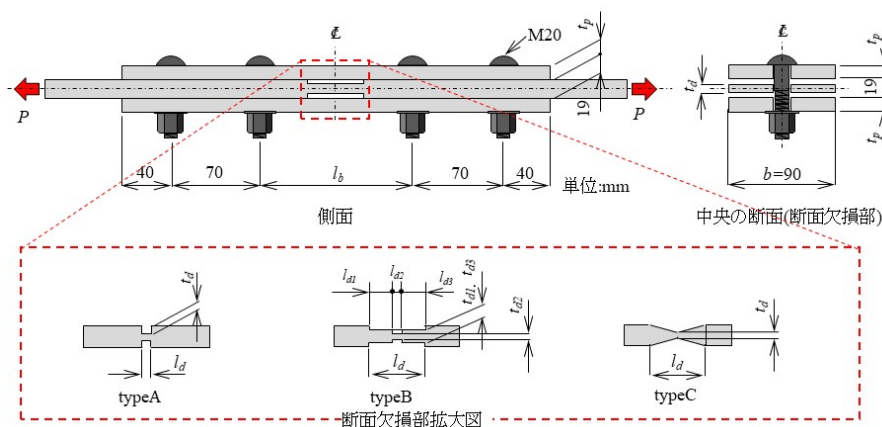


図-2 解析モデル

欠損長さ l_d を変化させた。解析ケースは様々な断面欠損の形状を想定して、主板上に矩形の断面欠損を設けた typeA、主板上に欠損深さの異なる断面欠損を設けた typeB、欠損深さが板厚方向に異なる typeC とした。解析モデルは、対称性を考慮した 1/8 モデルとし、要素には 8 節点ソリッド要素を用いた。また、高力ボルトは M20(S10T)を想定して、トルシア形高力ボルトの頭部と鋼板の接触面に相当する円柱形を簡易的にモデル化して、ボルト孔は $\phi 22.5$ としている。高力ボルトと当て板、当て板と主板上に接触を考慮して、それらの摩擦係数は 0.45 としている。主板上、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。主板上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 $\sigma_Y=355\text{N/mm}^2$ (主板上)、 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。

解析では、最初にボルト軸に設計ボルト軸力(=165kN)を強制変位で与えて導入し、その後、主板上に軸力を導入した。

4. 主板上の分担軸力

主板上と当て板の分担軸力は、文献 2)において、荷重が小さい範囲(摩擦係数 0.45 の場合 $P/P_Y \leq 0.6$)では線形性を示すが、荷重が大きくなるに従って主板上と当て板の相対ずれが生じ、非線形性を示すことが明らかにされている。そのため、本研究では、 $P/P_Y=0.2$ の際の式(1)と FEM 解析から得られる主板上の分担軸力について検討する。

図-3 に $P/P_Y=0.2$ の際の式(1)から計算される主板上の分担軸力 N_{Sd} と FEM 解析から得られる主板上の分担軸力 N_{Sd-FEM} の関係を示す。また、式(1)と FEM 解析から得られた主板上の分担軸力 N_{Sd} 、 N_{Sd-FEM} は、断面欠損部の主板上と当て板が完全に合成している場合の主板上の分担軸力 N_{Sc} で無次元化されている。図には、 $\pm 5\%$ の範囲も一点鎖線で示されている。typeC の主板上の分担軸力の推定は、欠損部を 20 分割(片側 10 分割)して算出した。図-3 から、全てのケースにおいて、推定式と FEM 解析共に主板上の分担軸力は 1 以上であることがわかり、断面欠損部の主板上の分担軸力が、断面欠損部の主板上と当て板が完全に合成された場合の主板上の分担軸力よりも大きいことがわかる。また、 $P/P_Y=0.2$ の範囲では本研究で提案した主板上の分担軸力の推定式(1)と FEM 解析から得られる主板上の分担軸力が $\pm 5\%$ の精度で算出できることがわかる。これから、主板上と当て板の分担軸力が線形性を示す範囲においては式(1)を用いることで断面欠損部の主板上の分担軸力が $\pm 5\%$ の範囲で推定できることがわかる。

表-1 解析ケース

モデル	当て板厚 $t_p(\text{mm})$	欠損部主板上厚 $t_d(\text{mm})$	欠損長さ $l_d(\text{mm})$
typeA	6	13	10,80
		7	10,80
	9	7	10,80
		12	13
typeB	12	$td_1 = td_3 = 13, td_2 = 6$	$ld_1 = ld_2 = 40$
		$td_1 = td_3 = 13, td_2 = 6$	$ld_1 = 80, ld_2 = 10$
typeC	12	13	80,60,40,10

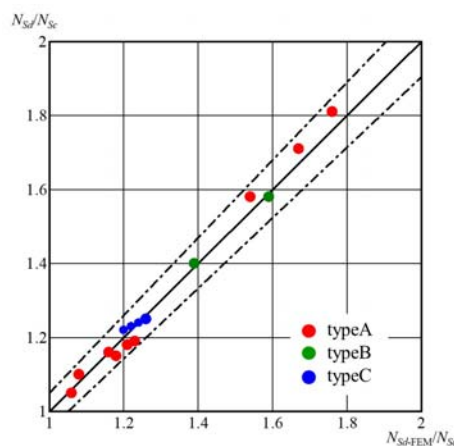


図-3 N_{Sd}/N_{Sc} と N_{Sd-FEM}/N_{Sc} の関係

5. まとめ

当て板高力ボルト補修された断面欠損を有する主板上と当て板の分担軸力は、高力ボルト間の変位の適合条件から推定できることがわかった。但し、本研究では主板上と当て板の分担軸力が線形性を示す範囲を対象としているため、荷重が大きくなった場合(摩擦係数が 0.45 の場合 $P/P_Y > 0.6$)、実際の主板上の分担軸力は本研究で示した推定値よりさらに大きくなると考えられる。

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。ここに記して、謝意を示す。

参考文献

- 1) 土木学会鋼構造委員会 腐食した鋼構造物の長寿命化のための性能回復技術検討小委員会:腐食した鋼構造物の性能回復事例と性能回復設計法, 鋼構造シリーズ23, 土木学会, 2014.
- 2) 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.