

せん断力を受ける高力ボルト当て板補修された断面欠損鋼板の分担せん断力

関西大学大学院 学生員 ○竹内 太一
 関西大学 正会員 石川 敏之

1. はじめに

鋼橋では多くの腐食損傷が報告されている。一般に、腐食に対しては高力ボルト当て板補修が行われている。軸力を受ける当て板補修された断面欠損鋼板に対して、断面欠損部に生じる軸力は当て板と断面欠損部の面積比にならないこと、腐食部を含むボルト間長に対して、主板と当て板の変位の適合条件から断面欠損部に生じる分担軸力が導出できることが明らかにされている¹⁾。これまでは、当て板補修の力学挙動に関して、軸力の作用に対する検討が多く、せん断力を受ける場合の検討がほとんど行われていない。

そこで、本研究では、せん断力を受ける高力ボルト当て板補修された断面欠損鋼板の分担せん断力を有限要素解析で評価し、理論式によって推定する。

2. 有限要素解析

本研究では、汎用の有限要素解析ソフト MARC を用いて当て板補修された断面欠損鋼部材の FEM 解析を行い、主板および当て板が分担するせん断力を評価する。

解析モデルの一例を図-1 に示す。ボルト軸力はボルト軸部の要素を一部熱収縮させることによって導入した。板幅方向のせん断力に対する検討を行うため、ボルトは2行2列としている。主板と当て板の降伏応力を 365N/mm^2 、高力ボルトの降伏応力を 900N/mm^2 とした。

解析では、図-1 に示すように、モデルの片端の主板断面の部材軸方向と板幅方向の変位を拘束し、もう片端の主板断面に板幅方向のせん断力 Q を与えている。解析モデルは図-2 に示す寸法とした。一般部の主板厚 $t_s = 16\text{ mm}$ 、当て板厚 $t_p = 9\text{ mm}$ 、板幅 $b = 165\text{ mm}$ 、ボルト間長 $l_b = 105\text{ mm}$ で一定とし、断面欠損部の板厚 t_d 、断面欠損長 l_d を変化させた。解析モデル名は $Pt_p(t_d - l_d)$ とした。

本研究では当て板のすべりおよび断面欠損部や純断面での降伏が生じない弾性範囲内で評価を行うため、載荷荷重は主板の平均せん断応力が 15N/mm^2 程度となる範囲で評価する。

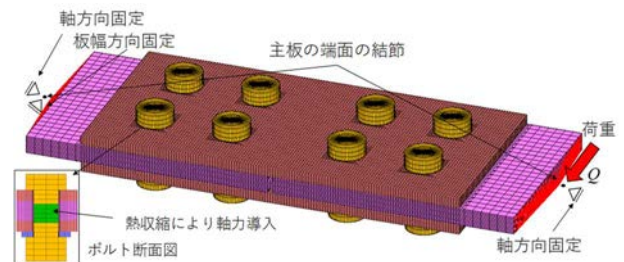


図-1 解析モデルの一例

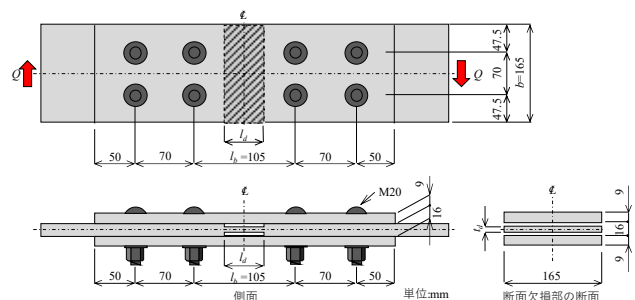


図-2 解析モデルの寸法

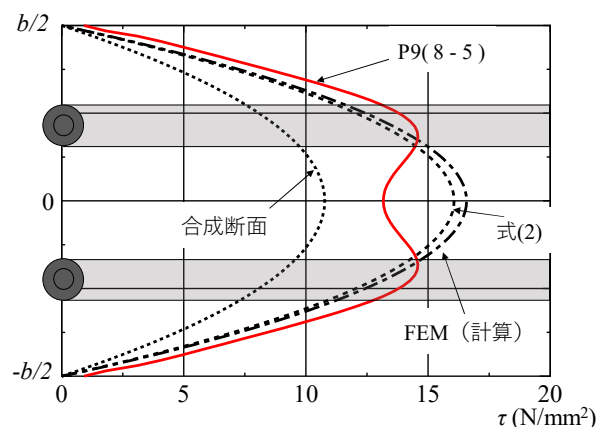


図-3 断面欠損部中央の主板のせん断応力分布(P9(8-5))

3. 解析結果

解析から得られた、P9(8-5)モデルの断面欠損部中央の主板のせん断応力分布を図-3 に示す。FEM 解析のせん断応力は板厚方向の平均値を示している。図には合成断面および FEM 解析のせん断応力を積分して得られた分担せん断力を用いて計算したせん断応力分布も示している。図から、断面欠損部に生じるせん断力は断面積比から算出される値より大きくなる事が分かる。また、板幅中央ではなくボルト位置においてせん断応力が最大となっている。これは、図-4 に示す、主板のせん断応力コンター図から分かるように、ボルト配置

キーワード せん断変位, 当て板補修, 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

の影響によって、主板幅中央のせん断応力が最大とならないためである。

図-5 に FEM 解析から得られた主板の分担せん断力 $Q_{s(FEM)}$ と合成断面から算出された分担せん断力 Q_{vs} の関係を示す。縦軸および横軸は荷重せん断力 Q で除して無次元化している。また、図には $Q_{s(FEM)} = Q_{vs}$ の直線およびその $\pm 10\%$ の範囲も示している。図から、FEM 解析から得られた主板の分担せん断力は合成断面から算出される値より高くなることが分かる。また、合成断面の計算では断面欠損長さの影響が考慮されていないため、欠損長さが短い場合に FEM 解析結果との差が大きくなることが分かる。

4. 分担せん断力の推定

主板に生じるせん断力は合成断面から算出される値と異なることが明らかになった。そこで、図-2 に示すような、矩形の断面欠損を有する鋼板に対して当て板補修を行ったときの分担せん断力を推定する。

図-6 に示す、断面欠損をまたぐ高力ボルト間長 l_b の主板および当て板のせん断変位 δ_s, δ_p が等しいと仮定して以下の式が得られる。

$$\frac{Q_s}{G_s A_s} (l_b - l_d) + \frac{Q_s l_d}{G_s A_d} = \frac{Q_p l_b}{G_p A_p} \quad (1)$$

ここで、 Q_s, Q_p は断面欠損部および当て板の分担せん断力、 l_b は断面欠損部を挟む高力ボルト間長、 l_d は断面欠損長さ、 G_s は鋼のせん断弾性係数、 A_s は一般部の主板の断面積、 A_d は断面欠損部の主板の断面積、 A_p は当て板の断面積である。

さらに、せん断力 Q と主板と当て板の分担せん断力の関係($Q_s + 2Q_p = Q$)から、主板の断面欠損部および当て板に生じる分担せん断力は次式で与えられる。

$$Q_{sc} = Q / (1 + \alpha\eta) \quad (2)$$

$$Q_p = \alpha\eta Q / \{2(1 + \alpha\eta)\} \quad (3)$$

ここに、 $\alpha = 2A_p/A_s$, $\beta = A_d/A_s$, $\gamma = l_d/l_b$, $\eta = 1 - \gamma + \gamma/\beta$ 。

図-7 に FEM 解析から得られた分担せん断力 $Q_{s(FEM)}$ と式(2)から得られた分担せん断力 Q_{sc} の関係を示す。この図から推定式は、FEM 解析結果を 10%以内の差で推定できることが分かる。また、図-3 に式(2)から算出した、断面欠損部のせん断応力分布を示す。高力ボルトの影響は考慮できていないが、合成断面から計算されるせん断応力よりも解析結果に近いことが分かる。

5. まとめ

本研究では板幅方向のせん断力を受ける当て板補修

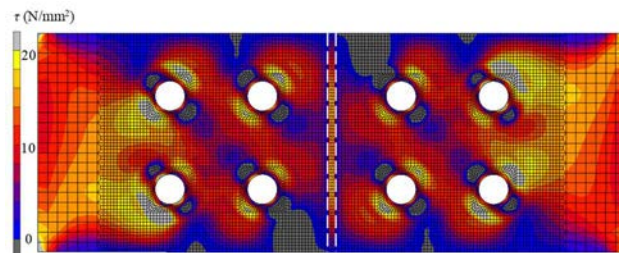


図-4 主板のせん断応力コンター図

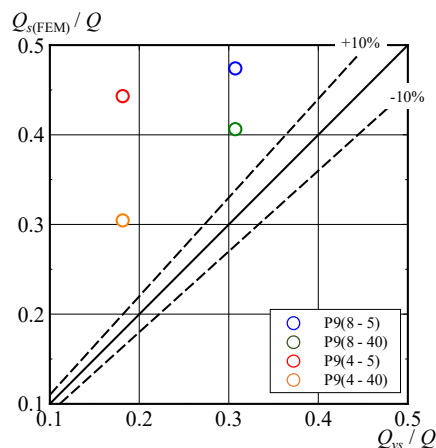


図-5 $Q_{s(FEM)} - Q_{vs}$ 関係

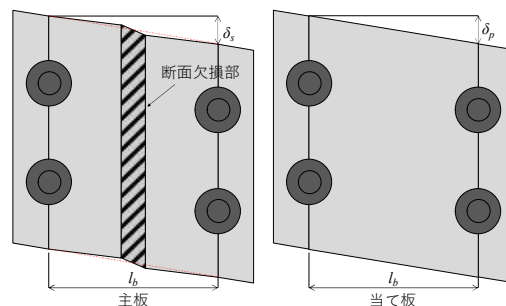


図-6 想定した主板および当て板のせん断変形

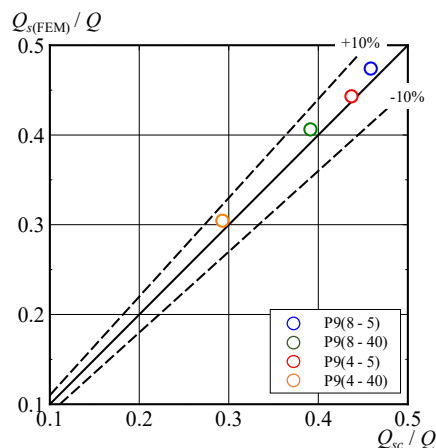


図-7 $Q_{s(FEM)} - Q_{sc}$ 関係

された断面欠損鋼部材の分担せん断力を FEM 解析から導出し、その推定式を提案した。

参考文献

- 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, pp.93-106, 2021.