

関西大学大学院  
関西大学

学生員 ○八重垣 諒太  
正会員 石川 敏之

1. はじめに

鋼橋では、腐食損傷や疲労損傷に対して当て板高力ボルト補修が行われる場合がある。著者らは、当て板高力ボルト補修された断面欠損を有する主板に、主板と当て板の変位の適合条件を与えることによって、断面欠損部の主板と当て板の分担軸力が推定できることを明らかにしている<sup>1)</sup>。しかし、き裂のような損傷に対して当て板高力ボルト補修を行った場合の主板と当て板の分担軸力は明らかにされていない。本研究では、当て板高力ボルト補修部に主板と当て板の変位の適合条件を与えることによって、き裂を有する主板の分担軸力を推定する。

2. 当て板補修されたき裂を有する主板の分担軸力

一般に、き裂を有する主板では、き裂先端にストップホール(以下、SHと記す)を設けた後に、当て板高力ボルト補修が行われる。そのため、本研究では眼鏡型のSHを有する主板の当て板高力ボルト補修を仮定して、主板の分担軸力の導出を行う。き裂を有する主板に軸力が作用した場合、き裂の影響によって主板の一部が作用軸力を受け持たないと考えられる。そのため、図-1に示すように、当て板高力ボルト補修されたき裂を有する主板に対して軸力を受け持たない範囲(ハッチング部分)を2次曲線で仮定する。軸力を受け持たない範囲は、き裂半長さ $a$ と、き裂からの距離 $b$ で与える。次に、当て板補修部のボルト間長 $l_b$ では、主板と当て板の分担軸力が一定であると仮定し、ボルト間長 $l_b$ の主板と当て板に対して、主板と当て板の変位の適合条件を与えることによって次式を得る。

$$N_s = \begin{cases} \frac{P}{1 + \left[ 1 - \gamma \left\{ 1 - \sqrt{\frac{1}{\eta(\eta-1)}} \tan^{-1} \left( \sqrt{\frac{\eta}{1-\eta}} \right) \right\} \right] \alpha} & (\gamma \leq 1) \\ \frac{P}{1 + \alpha \gamma \sqrt{\frac{1}{\eta(\eta-1)}} \tan^{-1} \left( \frac{1}{\gamma} \sqrt{\frac{\eta}{1-\eta}} \right)} & (\gamma > 1) \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 $\alpha = 2A_p/A_s$ 、 $\gamma = 2b/l_b$ 、 $\eta = 2a/w$ 、 $N_s$ ：主板の分担軸力、 $A_s$ ：一般部の主板の断面積、 $A_p$ ：当て板の断面

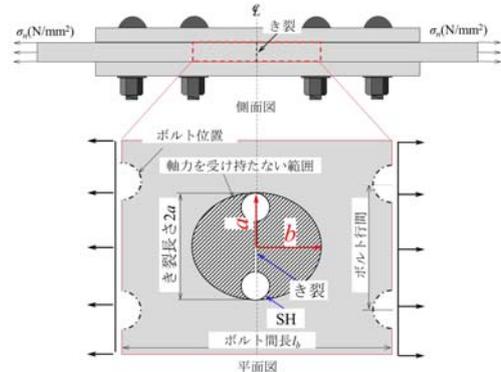


図-1 主板の有効断面とき裂位置の関係

積、 $b$ ：図-1に示すき裂からの距離、 $a$ ：き裂半長さ、 $w$ ：板幅、 $l_b$ ：ボルト間長、 $P$ ：作用軸力

式(1)では、き裂からの距離 $b$ がボルト間長 $l_b$ より小さい $\gamma \leq 1$ の場合、ボルト間長 $l_b$ では健全な主板とき裂の影響によって軸力を受け持たない範囲を有する主板をそれぞれ仮定する。 $\gamma > 1$ の場合、ボルト間長 $l_b$ では、主板に健全な範囲がないと仮定する。さらに、き裂長さによって、主板の軸力を受け持たない範囲のき裂からの距離 $b$ は変化すると考えられる。そのため、き裂からの距離 $b$ とき裂半長さ $a$ を一次関 $b = ka$ ( $k$ ：形状係数)で仮定する。

3. 形状係数の決定

形状係数 $k$ を決定するために、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を実施した。解析モデルは図-2に示す寸法として、当て板厚 $t_p$ 、主板厚 $t_s$ 、ボルト間長 $l_b$ 、板幅 $w$ 、ボルト列数、ボルト行数、SHサイズ、き裂長さ $2a$ を変化させた。また、解析モデルの境界条件と要素分割の一例を図-3に示す。解析条件として、主板と当て板の接合面と、当て板とボルトの接合面の摩擦係数は0.45、それ以外の摩擦係数は0.001とした。高力ボルトはS10T(M20)の利用を想定し、解析モデルの高力ボルト頭部を円柱形でモデル化した。また、ボルト孔のサイズは $\phi 22.5$ とした。ボルト軸力は、設計ボルト軸力(=165kN)となるように強制変位を与えた。各部材の材料定数は、弾性係数 $E=200\text{kN/mm}^2$ 、ポア

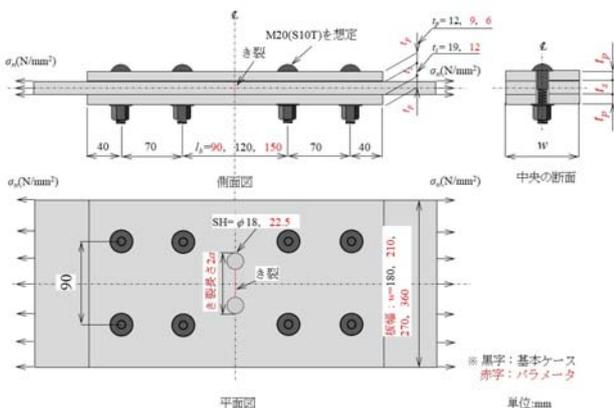


図-2 解析モデルの寸法例(2行の場合)

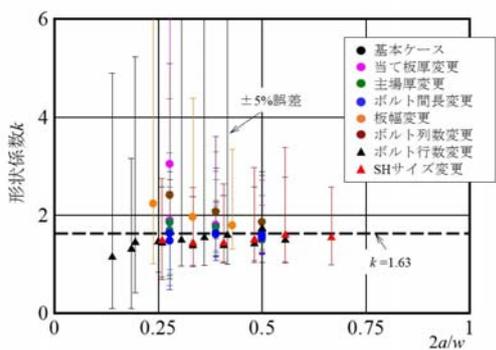


図-4 各解析ケースの形状係数とき裂長さの関係

ソン比  $\nu=0.3$ , 主板と当て板の降伏応力  $\sigma_Y=355$ ,  $365\text{N/mm}^2$  として, 降伏後は完全弾塑性とした.

き裂の模擬は, 主板対称面の節点を自由とし, 解析モデル中央から側面に向かって行った. 载荷荷重は, ボルト軸力導入後, 一般部の主板に等分布応力で  $100\text{N/mm}^2$  を与えた.

次に, 有限要素解析から得られた主板の分担軸力と式(1)から得られる主板の分担軸力が等しくなるように, 形状係数  $k$  を決定する. 図-4 に, 各解析ケースから得られる形状係数  $k$  とき裂長さ  $2a$  の関係を示す. 図では, 横軸を主板幅  $w$  で無次元化している. また, 図には, 有限要素解析から得られる主板の分担軸力に対して式(1)から得られる主板の分担軸力が  $\pm 5\%$  になる形状係数  $k$  のエラーバーも示している. 図-4 から, き裂長さによって, 形状係数  $k$  の値が変化することがわかる. また, 各解析ケースから得られる形状係数は, き裂長さが短い場合, ばらつきが大きい, き裂長さが長くなるに従って, ばらつきが小さくなっている. さらに,  $\pm 5\%$  の推定精度を示すエラーバーの範囲は, き裂長さが長くなるに従って小さくなることから, き裂長さが長い場合, 式(1)から得られる主板の分担軸力は, 形状係数の影響を受けや

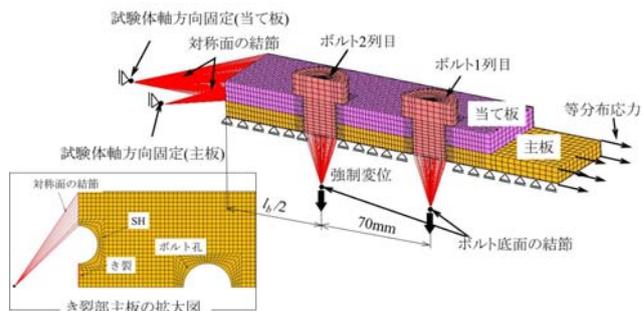


図-3 解析モデルの要素分割例(1行の場合)

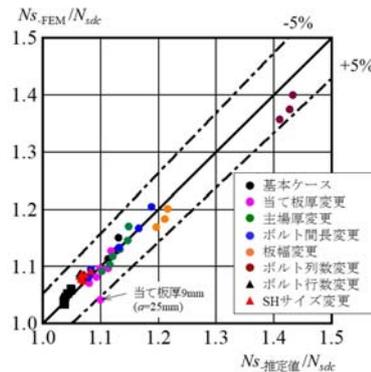


図-5 分担軸力の比較

すいことがわかる. そのため, 本研究では, き裂長さ  $2a/w=0.5$  の各解析ケースの形状係数を平均して, 形状係数を  $k=1.63$  と決定した.

#### 4. き裂部の主板の分担軸力の推定精度

図-5 に有限要素解析と形状係数の値を  $k=1.63$  とした式(1)から得られるき裂部の主板の分担軸力の関係を示す. 縦軸と横軸はともに, き裂部の主板と当て板を合成断面として算出した主板の分担軸力  $N_{sc}$  で無次元化している. 図-5 から, 有限要素解析から得られる主板の分担軸力  $N_{s-FEM}$  に対して式(1)から得られる主板の分担軸力  $N_{s-推定式}$  は,  $\pm 5\%$  程度の誤差で推定できていることがわかる.

#### 5. まとめ

本研究では, き裂を有する主板の当て板高力ボルト補修部に, 主板と当て板の変位の適合条件を与えることによって, 主板の分担軸力が推定できることを明らかにした.

#### 参考文献

1) 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, pp409-420, 2018.