

関西大学 学生員 ○平井 大稀  
 関西大学 正会員 石川 敏之

1. はじめに

鋼橋では、鋼部材の腐食損傷が数多く報告されている。これまでに、両面に当て板補修された断面欠損を有する鋼板が引張を受ける場合に対して、断面欠損部に生じる応力が断面欠損部と当て板の合成断面の計算値よりも高くなる事が明らかにされている<sup>1)</sup>。さらに、変位の適合条件により、断面欠損部に生じる応力の推定方法が明らかにされている<sup>1)</sup>。しかし、片面当て板補修された断面欠損を有する鋼材が引張を受ける場合については明確にされていない。本研究では、軸力を受ける偏心した断面欠損部材を有する鋼板の片面当て板補修を対象に、断面欠損部に生じる応力を有限要素解析により評価する。そして、骨組構造解析を用いた断面欠損部の応力分布の簡易推定法を提案する。

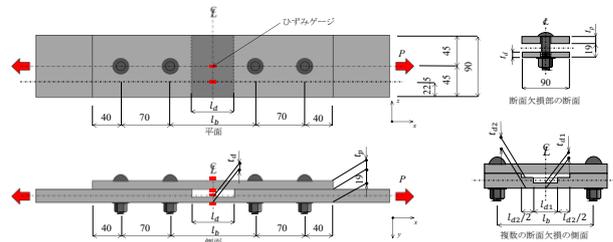


図-1 片面当て板補修された断面欠損部材のモデル

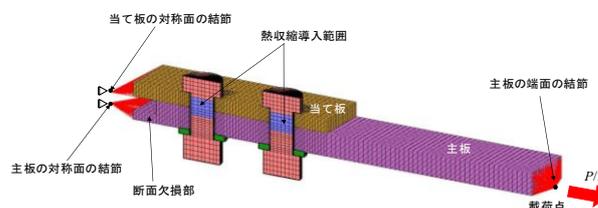


図-2 FEM モデルの一例(Model-D7P12(120-40))

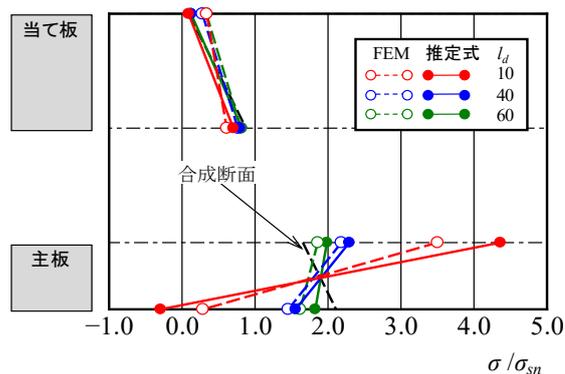
2. 有限要素解析

(1) 解析方法

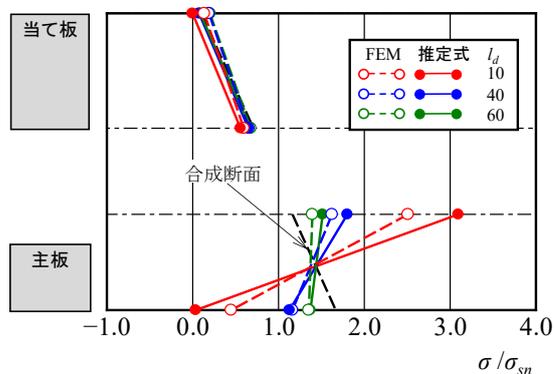
図-1 に示すように軸力を受ける片面当て板補修された断面欠損部材を対象に、汎用の有限要素解析プログラム Marc を用いて有限要素解析(以下、FEM 解析)を行い、断面欠損に生じる応力を評価する。解析では、図-1 に示す当て板厚  $t_p$ 、主板厚  $t_s$ 、残存板厚  $t_d$ 、ボルト間長  $l_b$ 、断面欠損長さ  $l_d$ 、板幅  $w$  を変化させた。また、解析モデルの境界条件と要素分割の一例を図-2 に示す。解析条件として、主板と当て板、当て板とボルトの接合面の摩擦係数は 0.45 とした。高力ボルトは S10T(M20)の利用を想定し、解析モデルの高力ボルト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。主板、当て板および高力ボルトは弾性体としてヤング係数  $200 \text{ kN/mm}^2$ 、ポアソン比  $\nu = 0.3$  とした。解析モデル名は、欠損形状が短形のモデル名は Model-D  $t_d P t_p (l_b - l_d)$ 、段差を設けた断面欠損のモデル名は Model-D  $t_{d1} - t_{d2} P t_p (l_{d1} - l_{d2} - l_b)$  とした。

(2) 解析結果

主板および当て板の縁応力は板幅方向に一定ではないので、要素分割を考慮した平均の縁応力を用いて断面欠損部の応力分布を評価する。図-3 に、解析から得



(a) Model-D7P12(120- $l_d$ )



(b) Model-D10P12(120- $l_d$ )

図-3 断面欠損中央の主板と当て板の断面の応力分布

られた断面欠損部の主板と当て板の応力分布の一例を示す。図では、断面欠損部中央の主板および当て板の板幅方向の縁応力  $\sigma$  の平均値  $\sigma_{sn} = 50 \text{ N/mm}^2$  で無次元化している。図には断面欠損部の主板と当て板の合成断面に対する計算値を破線で示している。図-3 から、片面当て板補修した際の断面欠損部の主板に生じる応力分布は、合成断面としての一様な分布(平面保持)ではなく、断面欠損部の主板と当て板で傾きが異なる応力分布となる。また、断面欠損長さ  $l_d$  が短いほど主板部の応力分布の傾きが小さくなる。さらに、主板残存板厚  $t_d$  が小さいほど、主板部の傾きが小さくなる傾向にあることがわかる。

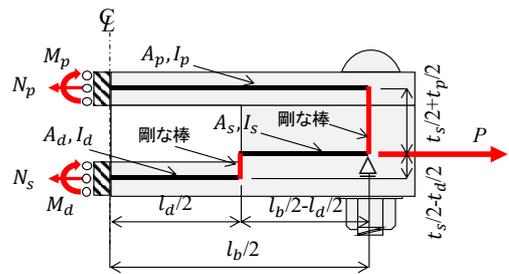


図-4 骨組構造解析

### 3. 軸力を受ける片面当て板補修された断面欠損部材の応力の推定

#### (1) 断面欠損部の主板と当て板の応力推定

偏心した断面欠損部を含むボルト間長の範囲において、主板と当て板を梁部材として仮定し、図-4 に示す骨組構造解析によって、断面欠損部の主板と当て板の断面力を求め、次式を用いて応力を推定する。

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{sd}}{A_d} + \frac{M_{sd}}{I_d} y_d \quad (1), \quad \sigma_{pd} = \frac{N_p}{A_p} + \frac{M_p}{I_p} y_p \quad (2)$$

ここに、 $N_{sd}$ ,  $N_p$ : それぞれ断面欠損部の主板と当て板の分担軸力,  $M_{sd}$ ,  $M_p$ : それぞれ断面欠損部の主板と当て板の分担曲げモーメント,  $I_d$ ,  $I_p$ : それぞれ断面欠損部の主板と当て板の断面2次モーメント,  $y_d$ ,  $y_p$ : それぞれ断面欠損部の主板と当て板の中立軸からの距離(図-1のyの向きを正)。

図-3 に骨組構造解析と式(1), (2)から求めた応力分布を示す。この図から提案方法によって、断面欠損部の応力分布がFEM解析結果と同様な傾向になることがわかる。

#### (2) 推定値とFEM解析結果との比較

式(1)から求められる断面欠損部の主板上面の推定値  $\sigma_{sdu}$  と FEM 解析結果  $\sigma_{su}$  の関係を図-5 に示す。図の縦軸と横軸は共に  $\sigma_{sn}$  で無次元化している。図には、 $\sigma_{sdu} = \sigma_{su}$  となるような直線とその $\pm 10\%$ の範囲を破線で示している。図-5 から  $\sigma_{sdu}/\sigma_{sn}$  の値が 2.5 以下の範囲であれば、式(1)から算出した断面欠損部の主板の応力と FEM 解析結果の誤差が $\pm 10\%$ 程度であった。 $\sigma_{sdu}/\sigma_{sn}$  の値が 2.5 以上の場合、提案方法で推定した応力は、FEM 解析結果  $\sigma_{su}$  の 1.1 倍よりも大きくなるが安全側の評価となる。式(2)から求められる当て板下面の推定値  $\sigma_{pdl}$  と FEM 解析結果  $\sigma_{pl}$  の関係を図-6 に示す。図-6 から当て板では式(2)の当て板の応力と FEM 解析結果は $\pm 10\%$ 程度の誤差であった。

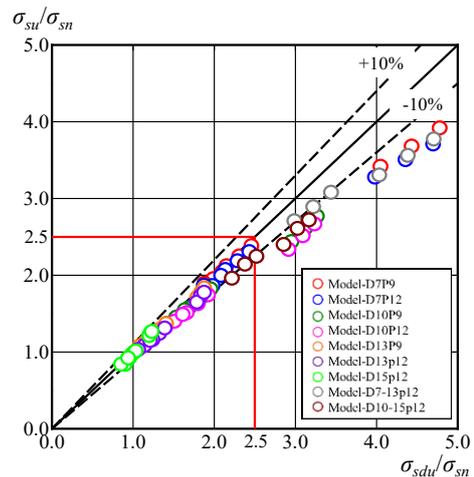


図-5 解析と式(1)の主板の縁応力の比較

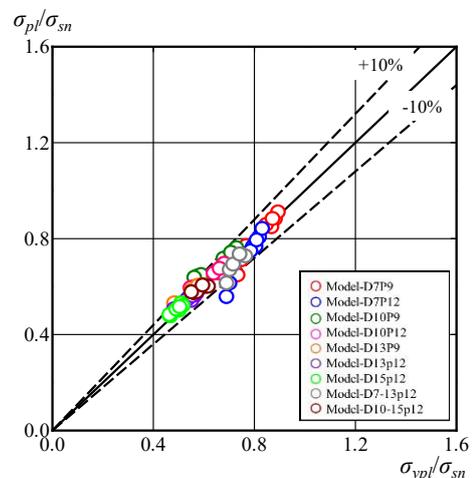


図-6 解析と式(2)の当て板の縁応力の比較

## 4. まとめ

本研究では、偏心した断面欠損を有する鋼板の当て板補修に対して、断面欠損部の主板および当て板の応力の推定方法を提案し、一定の条件下において、FEM解析結果と同程度の応力が算出できることが明らかになった。

### 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.