第Ⅰ部門　　当て板補修された断面欠損鋼板の主板再腐食による死荷重再分配の評価

関西大学　学生員　○竹内　太一　　菱田　空斗　　正会員　　水谷　壮志　　石川　敏之

1.　はじめに

断面欠損が生じるような腐食した鋼構造物は，一般に，高力ボルトを用いた当て板補修が行われる．近年，断面欠損した鋼部材の当て板補修に関する研究が多く行われており，当て板補修された断面欠損鋼板に作用する分担軸力が，断面欠損部の主板と当て板の面積比（両者の合成断面）とならないことが明らかにされている．また，断面欠損を含む高力ボルト間において，主板と当て板の変位の適合条件を用いて，断面欠損鋼板が分担する軸力の推定式が提案されている [1]．さらに，断面欠損が偏心している場合に対しては，骨組構造解析によって評価できることが明らかにされている [2]．他方，腐食鋼部材を当て板補修する場合は，腐食部をケレンするが，完全に腐食因子を取り除くことが困難な場合が考えられ，当て板補修後に，断面欠損部が再び腐食し，板厚が減少する可能性が考えられる．しかし，当て板補修された断面欠損部材の再腐食に関する検討はほとんど行われておらず，死荷重下で当て板補修された断面欠損部が再腐食することによって，死荷重がどのように再分配されるかは不明である．そこで，本研究では，当て板補修された断面欠損鋼板の主板が再腐食した場合の力学挙動を明らかにすることを目的とする．

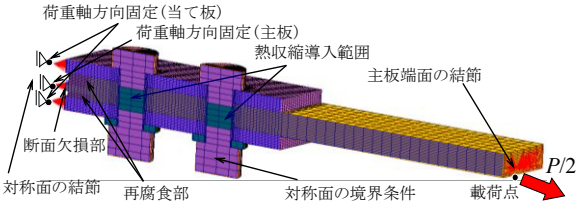

図-1　要素分割の一例と境界条件

2.　有限要素解析

解析モデルは対称性を考慮して 1/4 モデルとし，6 面体要素を用いた．解析モデルの要素分割および境界条件を図-1 に示す．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．100kN の死荷重 P_D を与えた状態でボルト軸力を導入し，その後載荷・除荷を行ったのち，要素の一部を削除（Deactivation）することで，主板の再腐食を再現した．ボルト軸力に関しては，ボルト軸部の要素の一部を熱収縮させることによって，M20 の設計ボルト軸力 165kN を導入した．解析モデルの寸法を図-2 に示す．一般部の主板厚 t_s，当て板厚 t_p，板幅 b = -90mm，ボルト間長 l_b を一定とし，主板の断面欠損部の残存板厚 t_s，断面欠損長さ l_d，偏心量 e を段階的に変化させた解析(表-1 参照)を行った．

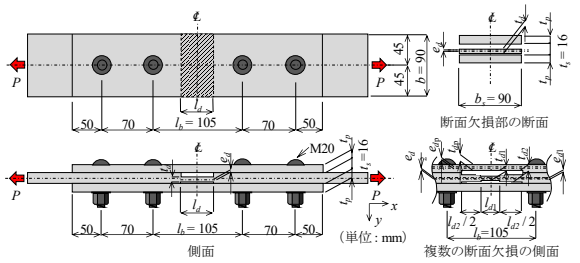

図-2　高力ボルト当て板補修の解析モデル

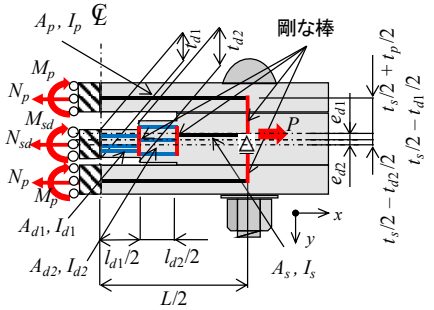

図-3　骨組構造解析のモデル化

3.　骨組構造解析

断面欠損が偏心している場合に対して，骨組構造解析を用いた分

表-1　解析モデルの一覧

model	主板厚 t_s (mm)	当て板厚 t_p (mm)	板幅 b (mm)	ボルト間長 l_b (mm)	断面欠損長さ l_{di} (mm)	残存板厚 t_{di} (mm)	偏心量 e_{di} (mm)
A’	16	t_p=9	90	105	l_{d1}=5→10→20→40, l_{d2}=0	t_{d1}=8, t_{d2}=0	e_{d1}=0, e_{d2}=0
C’	16	t_p=9	90	105	l_{d1}=5, l_{d2}=0	t_{d1}=8→6→4→2, t_{d2}=0	e_{d1}=0, e_{d2}=0
A	16	t_p=9	90	105	l_{d1}=5→10→20→40, l_{d2}=0	t_{d1}=8, t_{d2}=0	e_{d1}=2, e_{d2}=0
B	16	t_p=9	90	105	l_{d1}=5→10→20→40, l_{d2}=0	t_{d1}=4, t_{d2}=0	e_{d1}=2, e_{d2}=0
C	16	t_p=9	90	105	l_{d1}=5, l_{d2}=0	t_{d1}=8→6→4→2, t_{d2}=0	e_{d1}=0→1→2→3, e_{d2}=0
D	16	t_p=9	90	105	l_{d1}=40, l_{d2}=0	t_{d1}=8→6→4→2, t_{d2}=0	e_{d1}=0→1→2→3, e_{d2}=0
E	16	t_p=9	90	105	l_{d1}=5, l_{d2}=5	t_{d1}=8→6→4→2, t_{d2}=12→10→8→6	e_{d1}= e_{d2}=0→1→2→3
F	16	t_p=9	90	105	l_{d1}=20, l_{d2}=20	t_{d1}=8→6→4→2, t_{d2}=12→10→8→6	e_{d1}= e_{d2}=0→1→2→3

Taichi TAKEUCHI,　Kuto HISHIDA, Morimune MZUTANI, Toshiyuki ISHIKAWA
k294388@kansai-u.ac.jp

担断面力の推定法が提案されている [2]．主板の再腐食による死荷重の再分配についても，同様に Marc を用いた骨組構造解析により簡易に推定することを考えた．

骨組構造解析では，**図-3** に示すように，主板および当て板を梁部材としてモデル化し，ボルトおよび板厚が変化する位置に変形の生じない剛な棒を設けている．骨組構造解析においても，死荷重作用下でモデル化した梁部材の一部を削除することで再腐食を再現した．ただし，再腐食する箇所では，複数の梁部材を設けて，徐々に梁部材を削除して再腐食を再現した．

4. 断面欠損部に作用する分担軸力の推定

図-4 に有限要素解析から得られた，当て板補修された断面欠損鋼板に対して偏心がない状態で主板が再腐食した場合の載荷荷重 P と主板の分担軸力 $N_{s(FEM)}$の関係を示す．図には断面欠損部の主板と当て板の合成断面および，骨組構造解析から得られた主板の分担軸力も示している．図から骨組構造解析の $P-N_{s(FEM)}$関係は合成断面の計算結果より，FEM 解析結果に近いことが分かる．

図-4 から，死荷重作用下で当て板補修された断面欠損部の主板が再腐食した場合，主板が受け持つ死荷重が若干減少していることが分かる．断面欠損から近い高力ボルト位置では，ボルト締めによって主板と当て板がずれなくなっている．したがって，断面欠損部を含むボルト間長では，主板と当て板の変位が等しくなる．断面欠損部が再腐食することで主板の変位が増加するが，高力ボルト位置で主板と当て板の変位が等しくなるため，主板が受け持っていた死荷重の一部が当て板に伝達されることになる．

図-5 に FEM 解析および骨組構造解析から得られた当て板補修された断面欠損鋼板の主板が再腐食した場合の主板の分担軸力 $N_{s(FEM)}$, $N_{s(FRAME)}$と断面欠損量（断面欠損長さ l_d）の関係を示す．縦軸は死荷重 P_D，横軸はボルト間長 l_b で除して無次元化している．図から，断面欠損長さ l_d が著しく低下すると主板の死荷重の分担軸力の減少量が大きくなることが分かる．骨組み構造解析結果が，FEM 解析結果よりも死荷重の減少量が若干大きいが，両者は，同様な傾向を示している．**図-5** から，偏心を有するモデル A の死荷重の減少量が，偏心のないモデル A’の場合と比べて大きくなることが分かる．また，断面欠損量が大きくなると，偏心の有無による死荷重の再分配量の差が大きくなることが分かる．

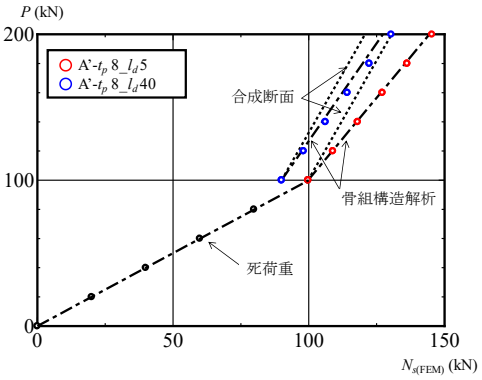

図-4 P - N_{su} 関係

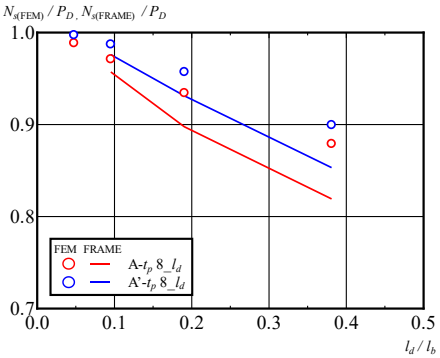

図-5 死荷重の変化量と断面欠損量の関係

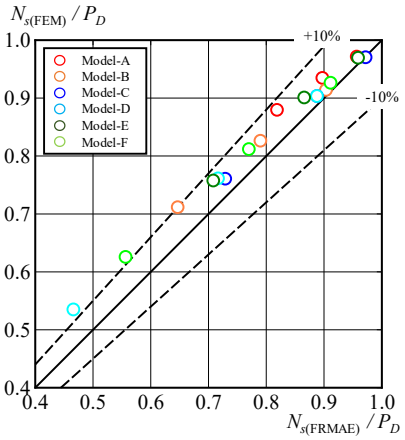

図-6 $N_{s(FEM)}$ - $N_{s(FRAME)}$関係

図-6 に，FEM 解析から得られた再腐食した主板の分担軸力 $N_{s(FEM)}$と骨組構造解析から得られた再腐食時の主板の分担軸力 $N_{s(FREAM)}$の関係を示す．図の縦軸および横軸は死荷重 P_D で除して無次元化している．図から，腐食量が大きくなると，骨組構造解析結果と FEM 解析結果の誤差は 10%以上になるが，腐食量が小さい範囲では骨組構造解析によって 10 %以内の誤差で FEM 解析による死荷重の再分配を推定できる．

5. まとめ

本研究では当て板補修された断面欠損鋼板が再腐食した場合の力学挙動を FEM 解析と骨組構造解析を用いて評価し，再腐食により主板の死荷重の一部が当て板に再分配され，その量が骨組構造解析から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：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評価, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.77, No.1, pp.93-106, 2021.
2) 石川敏之：当て板補修された偏心欠損を有する鋼板の応力評価，構造工学論文集，Vol. 67A，pp.374-383，2021.