当て板補修部の荷重分担に関する解析的研究

名古屋工業大学　学生会員　○小川　和花　名古屋工業大学大学院　正会員　永田　和寿
大阪市立大学　学生会員　藤本　高志　大阪市立大学大学院　正会員　山口　隆司

1. 研究の背景と目的

腐食した鋼構造物への対策として用いられる方法の一つに当て板補修がある．しかし，当て板補修部の荷重分担については解明されていない点が多く，設計方法が確立されていない現状がある．本研究では，特に母材と当て板の接合面の表面状態によって変化するすべり係数に着目し，当て板補修部が引張荷重を受ける場合の荷重分担の仕組みを解明することを目的とした．

2. 解析手法

本解析では，汎用有限要素法解析ソフト ABAQUS を用いて弾塑性有限変位解析を行った．解析対象は，鋼材の腐食に伴い減肉した部分に当て板を当て高力ボルト接合を行う当て板補修部を想定したモデルである（図-1）．

解析モデルは，2 面摩擦，ボルト 1 行配置，片側あたりボルト 3 本の当て板補修部の 1/4 モデルを用いた．解析モデルの中央部は腐食を模擬し，片側25%ずつ(計50%)減肉させた．母材と当て板の鋼種は SS400 を用いた．ボルトは等級 F10T，サイズをM20，ボルトピッチ 70mm とし，設計ボルト軸力 165kN をボルト荷重として加えた．引張荷重は母材端部に強制変位として与えた．その他の項目は道路橋示方書に準じて作成した．

解析モデルケースは，母材板厚 2 種類（12，24mm）と当て板板厚 4 種類（片側 6，9，12，15mm）を組み合わせて 8 種類用意した．また，パラメータとしてすべり係数（0.15，0.2，0.3，0.4，0.8 の 5 種類）を変化させ，比較を行った．解析上ですべり係数を定義することは出来ないため，接触面にはたらく相互作用特性を摩擦係数μに変換して設定した．高力ボルト摩擦接合継手の標準すべり試験を解析で再現し，求めたすべり荷重より対応する摩擦係数を求めた． 8 種類のモデルケースはすべり係数 0.4 の場合を例として表-1 に示す．モデルケース名は，[t(引張)]-[ボルト本数]-[母材板厚]-[当て板板厚]-[摩擦係数]を表している．

3. 解析結果と考察

(1)断面積率と荷重分担率の関係

図-2 に母材断面積率と母材荷重分担率の関係を示す．設計荷重を純断面降伏強度の 75%とし，設計荷重時の母材荷重分担率を採用する．また，すべり係数ごとに断面積率と母材荷重分担率の関係を直線近似し，その近似式を表-2 に示す．母材荷重分担率は 45° の直線より上側にあり，母材は断面積率以上の荷重を受け持っている．すべり係数 0.3，0.4，0.8 の場合，母材荷重分担率と断面積率の関係は母材の板厚に関係なくほぼ一直線上に位置し，近似式の傾きは一定の値で表されることが分かる．しかし，すべり係数 0.15，0.2 の場合，母材荷重分担率はすべり係数 0.3 以上の場合と比較して大きくなり，直線近似式のあてはまりが悪くなる．したがって，今回のケースにおいては，すべり係数が 0.2 より大きければ，すべり係数が 0.2 以下の場合と比較して，母材から当て板へ荷重を効率よく伝達することが出来ると考えられる．

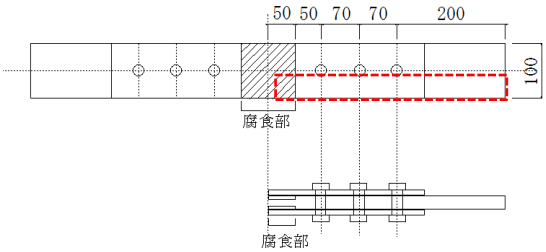


表-1 解析モデルケース（すべり係数 0. 4）

図-1 モデル概略図（単位：mm）

case	腐食率(%)	母材板厚(mm)	当て板板厚(mm)	断面積率(%)
t-3-24-6-04	50	24	6	50.0
t-3-24-9-04			9	40.0
t-3-24-12-04			12	33.3
t-3-24-15-04			15	28.6
t-3-12-6-04		12	6	33.3
t-3-12-9-04			9	25.0
t-3-12-12-04			12	20.0
t-3-12-15-04			15	16.7

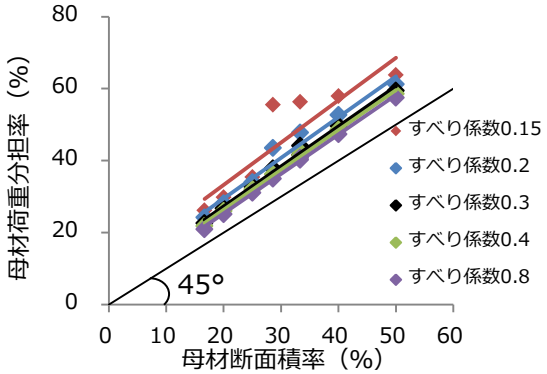


図-2　母材荷重分担率と母材断面積率の関係

キーワード　すべり係数　高力ボルト　当て板補修
連絡先　〒466-8555　愛知県名古屋市昭和区御器所町　名古屋工業大学　TEL052(735)5482

(2)降伏位置

強制変位 U=0.7mm を与えた時（載荷終了時）の解析モデルの Mises 応力のコンター図を図-3 に示す．コンター図の赤色部分が降伏強度 235N/mm^2 に達している部分である．当て板は，すべり係数が大きくなるほど広範囲に荷重がかかっている． 母材は，すべり係数が大きい場合は純断面のみ降伏するが，すべり係数が小さい場合では，腐食部も降伏に至っていることが分かる．

図-4 は，腐食部，純断面それぞれの荷重-変位曲線を示している．荷重は断面の各要素にかかる力を合計した断面力を用いている．すべり係数 0.15 の場合は，腐食部が先行降伏し，純断面は荷重が頭打ちになっている．すべり係数 0.4 の場合（すべり係数 0.3, 0.8 の場合も同様）は，純断面が先行降伏となっている．また，すべり係数が 0.2 の場合は，純断面と腐食部がほぼ同時に降伏強度に達した．

この結果より，すべり係数が小さい場合は腐食部降伏先行，大きい場合は純断面降伏先行となる傾向が見られた．

(3)すべりと相対変位

図-5 に示す点 a~d の変位と相対変位関係を図-6 にグラフで示す．相対変位は，母材と当て板の引張方向変位の比較により算出している．すべり係数が 0.15 の場合，変位を大きくしていくと， 4 点がすべて傾きの等しい直線的なグラフを描き，主すべりが起こっている．すべり係数が 0.4 の場合（すべり係数 0.3，0.8 の場合も同様）は，4 点すべてで一度に相対変位が出るような動きは見られず，端部のみゆっくりと相対変位が増加し続けている．また，すべり係数が 0.2 の場合，グラフが曲線を描いた後に傾きが等しい直線に変化しているため，各点で大きさの異なる部分すべりが起こった後に，主すべりが起きていると考えられる．これらの結果から，当て板補修部に生じるすべりは，主すべりと部分すべりの2種類があり，すべり係数により変化すると考えられる．

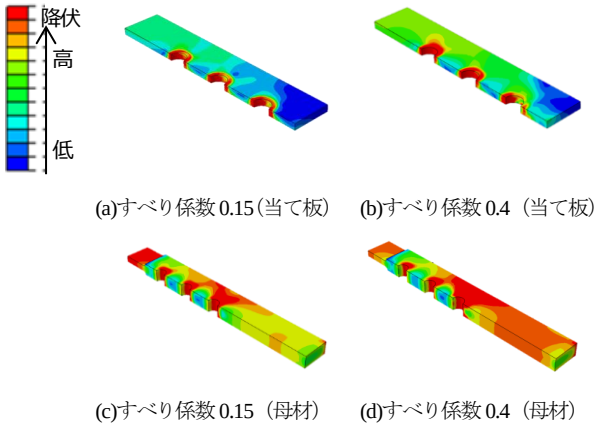
4. 結論と今後の課題

1) すべり係数が一定値以上確保された場合，当て板補修部の母材には断面積率の1割増し程度の荷重が伝達された．この関係性を用いて，母材断面積率から荷重分担率を算出することが可能であると考えられる．
2) 当て板補修部に引張荷重を加えた時，すべり係数が大きい場合には純断面先行降伏，すべり係数が小さい時は腐食部先行となり，その境界はすべり係数 0.2 前後であった．
3) 当て板補修部に起こるすべりは，主すべりと部分すべりの 2 種類があった．すべり係数が大きい場合，明確なすべりを起こらず，徐々に相対変位が大きくなった．
4) 今後は，パラメータを増やして解析を行い，降伏と相対変位の関係性を明らかにすることで，当て板補修部の挙動を分類できるようにする必要がある．また，高力ボルトが複数行の場合の検討も行う予定である．

表-2 母材荷重分担率と断面積率の近似式

すべり係数	直線近似式	決定係数R^2
0.15	Y＝1.18X＋9.77	0.80
0.2	Y＝1.13X＋6.90	0.96
0.3	Y＝1.11X＋5.06	0.99
0.4	Y＝1.11X＋4.28	1.00
0.8	Y＝1.10X＋3.41	1.00

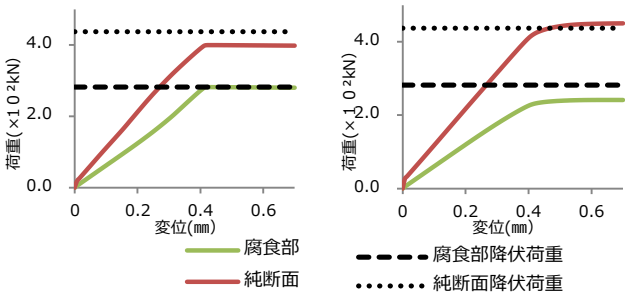
（x：母材断面積率，y：母材荷重分担率）



(a)すべり係数 0.15（当て板） (b)すべり係数 0.4（当て板）

(c)すべり係数 0.15（母材） (d)すべり係数 0.4（母材）

図-3 応力分布



(a) すべり係数 0.15 (b) すべり係数 0.4

図-4 荷重-変位関係

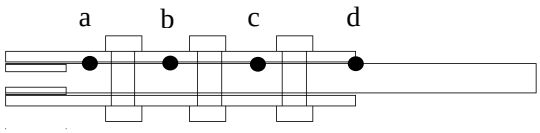
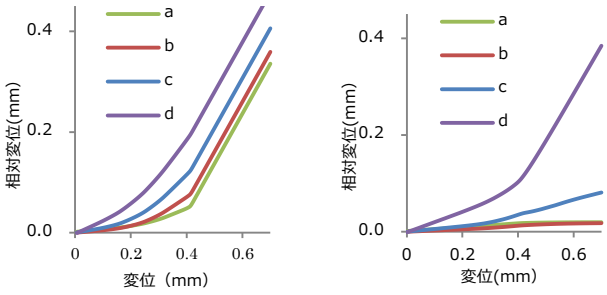


図-5 相対変位測定位置



(a) すべり係数 0.15 (b) すべり係数 0.4

図-6 変位-相対変位関係