

高力ボルト連結板近傍の母材減肉を有する鋼 I 桁の耐力評価に関する研究

琉球大学 ○田井政行, 下里哲弘, 安城市 磯村桃子
宮地エンジニアリング 山下修平, 沖縄しまたて協会 玉城喜章

1. はじめに

鋼橋の高力ボルト摩擦接合継手は、腐食減肉が著しい部位の一つである。高力ボルト摩擦接合継手は、鋼橋の安全上重要な部位であるため、既往研究において連結板や高力ボルトの減肉が耐力に及ぼす影響について検討した事例があるものの、図 1 に示すような連結板近傍の母材に生じる局所的な減肉に対する検討は、ほとんど行われておらず、過大な補強や対策の遅れなどの維持管理上の課題があると考えられる。

そこで本研究では、高力ボルト摩擦接合継手の母材部の局所減肉に対する耐力特性を明らかにすることを目的とする。検討にあたっては、鋼 I 桁モデルに母材の腐食減肉をパラメータとした弾塑性 FE 解析を実施した。

2. 解析モデルとパラメータ

(1) 解析モデル

解析モデルを図 2 に示す。床版は全てシェル要素、ボルト継手部周辺の鋼桁はソリッド要素を用い、それ以外についてはシェル要素を用いてモデル化を行った。なお、ソリッド要素とシェル要素の間には、カップリング要素を設定している。

各材料の構成則は、床版は弾性係数 20GPa、ポアソン比 0.2 の弾性体、鋼部材は弾性係数 200GPa、ポアソン比 0.3 とし、鋼桁及び連結板は降伏応力 325MPa、高力ボルトは降伏応力 900MPa の完全弾塑性体とした。境界条件は、シェル要素部の鋼桁の端補剛材下部を単純支持し、対象としているボルト継手部でのモーメントが最も大きくなるよう、継手接合部直上のシェル要素に鉛直下向きに強制変位を与えた。

解析ステップは、まず、全ての高力ボルトに設計軸力 205kN を導入し、その後、強制変位による荷重を与えることとし、載荷荷重と変位や応力性状の比較を行った。

(2) 解析パラメータ

解析パラメータと解析モデル例を図 3 に示す。実橋で生じているボルト継手下フランジ母材の腐食形態を参考に、その進展過程を想定して合計 7 ケースについて検討を行った。なお、局所減肉の範囲は母材の長手方向に 20mm の範囲を設定し、要素を削除することにより減肉や欠損の再現している。

3. 解析結果

(1) 荷重と載荷点変位の関係

解析結果より得られた載荷荷重と載荷点変位の関係を図 4 に示す。下フランジが全て欠損とした LFLG 全面欠損では剛性の低下がみられたが、それ以外のケースでは大きな剛性の低下はみられなかった。また、全てのケースで、荷重の増加に伴い、荷重と変位の関係において変曲点が生じ、変位の増大が生じる傾向にあるといえる。



図 1 連結板近傍の母材減肉

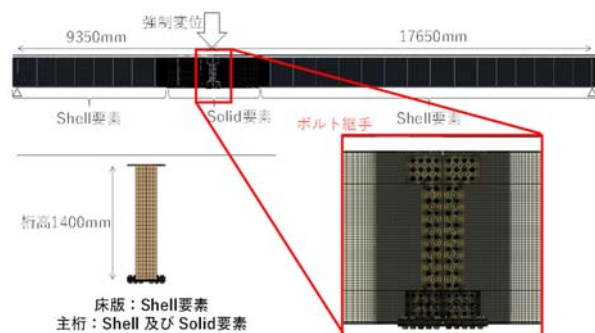


図 2 解析モデル例

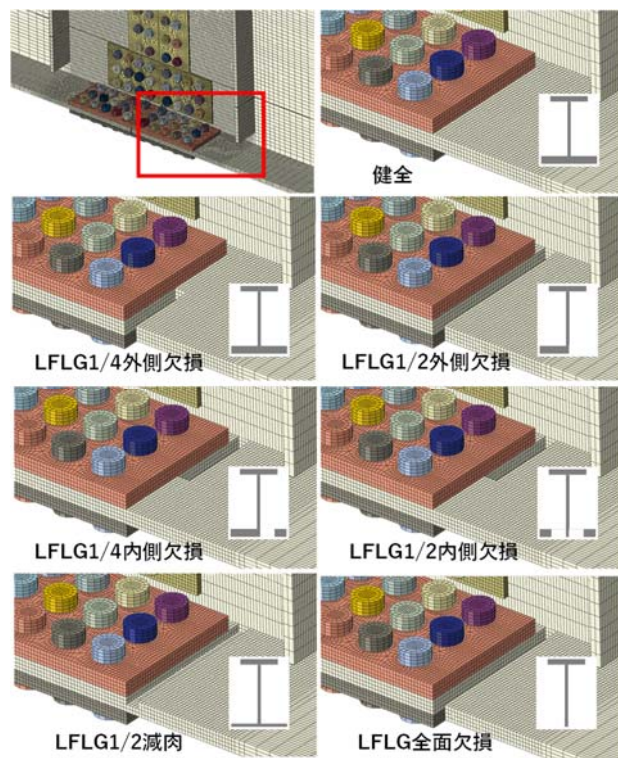


図 3 解析パラメータと解析モデル例

(2) 継手部の応力性状

健全ケースにおける継手下フランジ近傍の von Mises 応力性状の変化を図 5 に示す。応力性状の変化として

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手, 母材減肉, 耐荷力特性, 腐食

連絡先 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース (〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1番地)

は、①最初の降伏はボルト孔周りで生じる、②荷重増加に伴い、純断面位置全体で降伏が生じる、③その後、降伏域がウェブに広がる、といった変化が生じていた。この傾向は他のケースも同様である。

純断面位置の全ての要素が降伏を示した際の応力コンターを図6に、その際の荷重を図4中に●で示す。全てのケースで減肉・欠損を模擬した位置で降伏が生じており、また、純断面降伏後に荷重と変位の関係において変曲点が生じているといえる。そこで下フランジの降伏を耐力評価点として評価を行うこととした。

(3) 断面2次モーメントの変化との関係

曲げ剛性の支配諸元である断面2次モーメントを用いて、減肉・欠損後の断面と降伏荷重との関係について評価を行った。図7に断面2次モーメントと降伏発生時の荷重との関係を示す。なお、図の横軸は健全時の純断面位置の断面2次モーメントに対する各ケースの減肉・欠損時の断面2次モーメントの比、縦軸は健全時の降伏発生時の載荷荷重に対する各ケースの降伏発生時の載荷荷重との比を示している。図より、局部減肉が生じた位置の断面2次モーメントと降伏発生時の荷重は線形関係を示しており、今回検討した減肉範囲や欠損位置については、断面2次モーメントの減少量を評価することで、減肉や欠損の発生位置によらず耐力評価が可能であることが示唆された。

(4) 対策の必要性の検討

対策の必要性や優先順位の指標として、健全ケースに対する残存耐力の比が1-0.75を維持(緑)、0.74-0.5を警戒(黄色)、0.49-0.25を警告(赤)、0.24-0を危険(灰色)として、図7中に記載した。その結果、概ね1/4程度の断面欠損では明確な耐力低下は生じず、1/2程度の板厚減少が生じたとしても大幅な耐力低下を示さず、維持状態として扱える結果となった。一方、下フランジの1/2程度の断面欠損では健全ケースに対して7割程度、全てが欠損した場合は半分以下の耐力となり、それぞれ警戒や警告状態となった。

以上の結果から、連結板近傍の母材について、下フランジの断面が1/2以上減肉や欠損により減少した場合には、耐力の低下が大きい警戒・警告状態となり、対策の必要性やその優先順位について検討する必要があると考えられる。

4. まとめ

- 1) 鋼I桁橋の高力ボルト摩擦接合継手近傍の下フランジ母材に減肉や欠損が生じた場合、曲げ剛性の支配諸元である断面2次モーメントの減少に応じて耐力低下が生じる傾向を示した。
- 2) 下フランジ全厚が降伏した際の荷重(降伏荷重)の残存率と断面2次モーメントの残存率は概ね線形関係を示した。
- 3) 降伏荷重をベースに、対策の必要性等を検討した結果、下フランジの断面が1/2以上減肉や欠損により減少した場合に耐力の低下が大きい警戒・警告状態となることを示した。

参考文献

- 1) 山下ら：高力ボルト摩擦接合継手における連結板の腐食減肉形状とすべり耐力特性に関する研究，土木学会論文集A1，Vol.74 No.3，pp.359-375，2018。
- 2) 下里ら：実腐食減肉形状を有する摩擦接合用高力六角ボルトの残存軸力特性，構造工学論文集，Vol.62A，pp.503-513，2016。

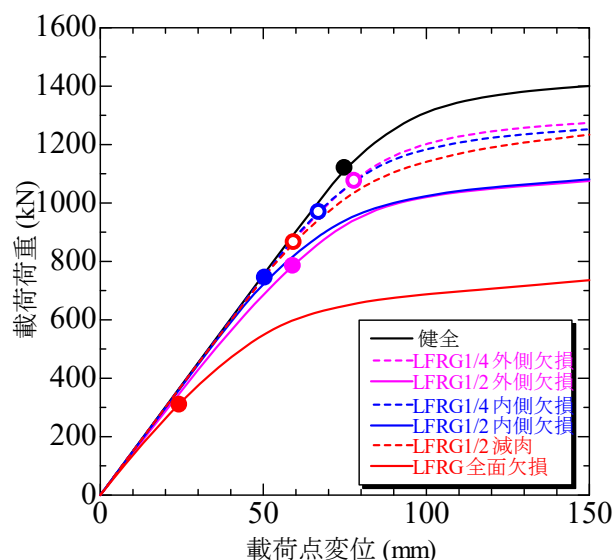


図4 荷重と載荷点変位の関係

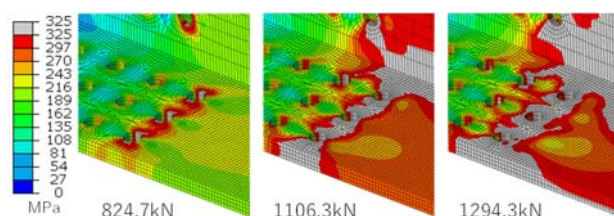


図5 応力性状の変化(健全ケース)

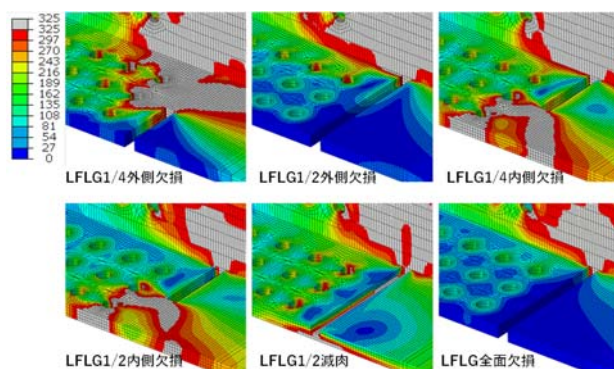


図6 各ケースの降伏荷重時の応力コンター図

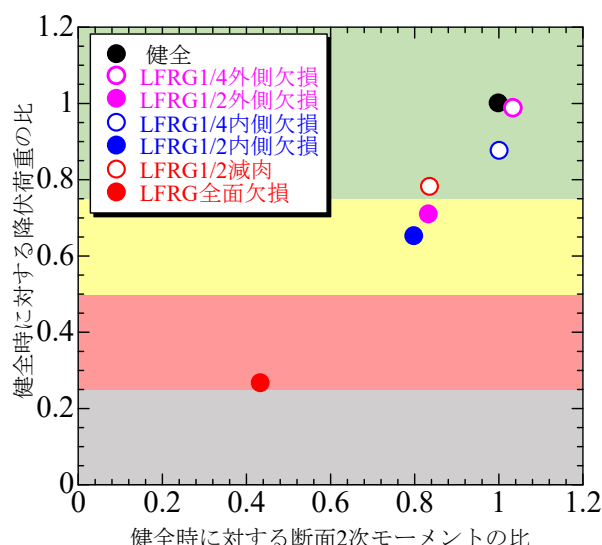


図7 荷重と載荷点変位の関係