

腐食鋼 I 桁端部の当て板ボルト補修に関する研究

構造設計工学研究室 横田拓己

1. はじめに

鋼橋の桁端部は腐食減肉が生じやすく、減肉に伴いせん断耐荷力の低下が報告されている。このような腐食に対する補修法の一つに、当て板ボルト補修があるが、補修に使用する当て板のすべり耐力がせん断耐荷力の回復効果に及ぼす影響は明らかとなっていない。そこで本研究では、当て板ボルト補修のすべり耐力が、せん断耐荷力の回復効果に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。検討にあたっては、まず、すべり耐力（ボルト軸力）をパラメータに当て板を適用したせん断耐荷力試験を行った。次に当て板ボルト補修による回復効果を評価可能な FEA モデルを構築し、すべり耐力が回復効果に及ぼす影響を検討した。

2. すべり耐力が異なる当て板ボルト補修の回復効果の実験的検討

(1) 試験方法

せん断耐荷力試験の载荷状況を写真1に示す。この試験は2点载荷及び2点支持、中央の着目パネルで曲げが小さく、せん断力が卓越する桁端部の断面力をできるだけ再現した試験装置としている。载荷試験は2本の1000kN油圧载荷機を用い、変位制御により行った。

(2) 試験体概要

試験体は写真2に示すような減肉による下フランジウェブ首溶接部近傍の破断を再現した切り上げモデルと、写真3に示すような切り上げモデルにF10TM20の高力ボルトに軸力45kNもしくは90kNとして当て板ボルト補修を適用した軸力45kNモデル及び軸力90kNモデルの3体とした。なお、着目パネルのウェブの板厚は3.2mm、当て板の板厚はウェブ側を4.5mm、下フランジ側を9mmとした。降伏応力は着目パネルが328MPa、フランジは297MPa、着目パネル横の補剛材と着目パネルのウェブは384MPa、着目パネル以外の補剛材は322MPaである。

(3) せん断力-鉛直変位関係

図1に各試験から得られたせん断力と鉛直変位の関係を実線で示す。鉛直変位は载荷装置2の直下変位を使用した。切り上げモデルと比較すると、各当て板モデルの剛性に差異はなく、当て板による剛性の回復効果はそれほど期待できないといえる。一方、最大耐荷力に関しては、ボルトの締め付け軸力が45kN、90kNと増加するにつれて、最大耐荷力も増大傾向を示しており、すべり耐力が増加することで当て板ボルト補修による回復効果が増加すると考えられる。

この回復効果の差異について、次章のFEAにより検討を行う。

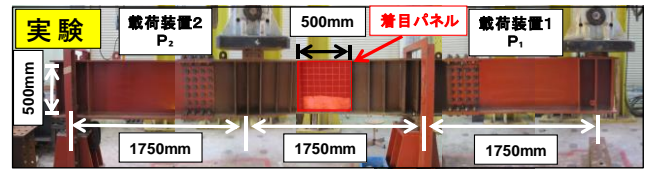


写真1 せん断耐荷力実験载荷状況

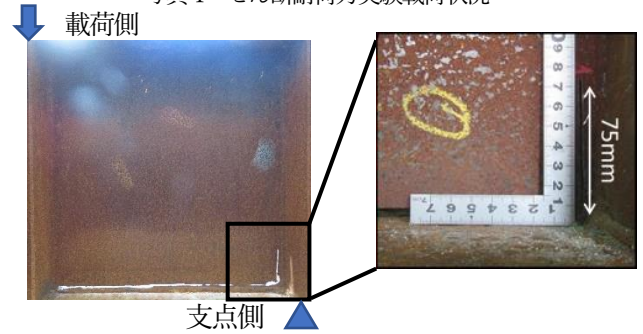


写真2 着目パネル



写真3 当て板ボルト補修

表1 試験パラメータ

1	切り上げのみ
2	締め付け軸力45kN
3	締め付け軸力90kN

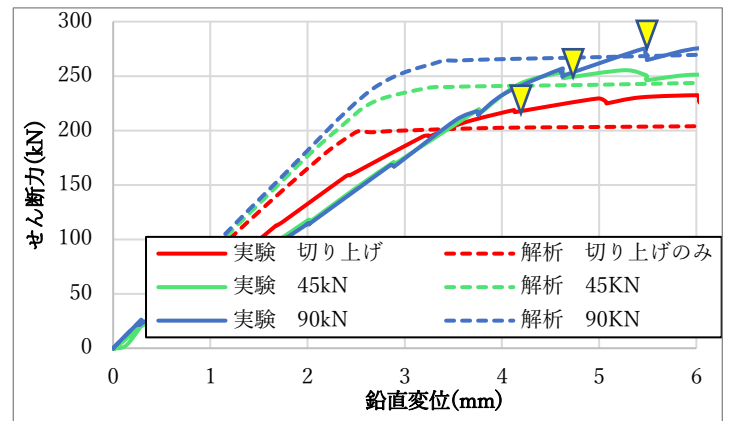


図1 せん断力-鉛直変位の関係（実験及び解析）

3. FEAによる耐荷力回復効果に及ぼす当て板すべり耐力の影響

(1) 解析モデル概要

前章で試験を行った試験体を再現した解析モデルの着目パネルを図2に示す。このモデルでは当て板ボルト補修のすべり挙動を解析的に再現するために試験体と当て板をshell要素、ボルトにはsolid要素を用いて解析モデルを作成した。材料定数はヤング率200GPa、ポアソン比0.3とし、着目ウェブの降伏応力は前章の载荷試験体と同じ結果を用いた。着目ウェブ、母材と当て板の間には接触を定義し、その摩擦係数は2種ケレン時のすべり係数を参考に0.25とした。本研究ではすべり耐力のボルトの締め付け軸力をパラメータとし、締め付け軸力には45kN、90kN、135kN、180kNを用いた。

(2) 解析モデルの再現性の検討

前節で提案した解析モデルの再現性を検証するために実験結果と解析結果との比較検証を行った。図1に実験値と解析値で比較を示す。図より、初期剛性に関しては差異があるものの、最大荷重などはいずれのケースにおいても概ね等しい結果が得られており、本解析モデルにより当て板補修の耐力特性は概ね再現可能できると考えられる。

(3) 当て板のすべり耐力の影響

解析結果のせん断力-鉛直変位関係を図4に示す。各モデルを比較すると、載荷試験時と同様に剛性の回復はほぼ見られなかった。また、締め付け軸力が高い方がせん断耐力の回復効果は上昇する傾向が見られたが、軸力135kNと軸力180kNでは違いがあまり見られなかった。

締め付け軸力の違いによるせん断耐力の回復効果の差異を検討するために、せん断力-面外変形及び当て板相対変位関係を図5に示す。これより、当て板の相対変位の急激な増大に伴い、ウェブの面外変形も同様に増大していることがわかる。つまり、当て板の急激な相対変位の増大により面外変形も増大し、締め付け軸力が高い場合は面外変形を抑制するといえる。

面外変形の大小がせん断耐力に及ぼす影響を検討するために、せん断力240kN時の着目ウェブの軸力45kN及び135kNのモデルのvon Mises応力分布を図6に示す。なお、図中の灰色は降伏領域を示している。この図より、導入軸力が低い、すなわちすべり耐力が低い場合、高い場合と比べウェブの降伏が激しいことがわかる。図7には変形倍率を上げた、当て板内部のウェブの変形図を示す。この図から締め付け軸力が高いとウェブ内部の変形が抑制されていることがわかる。これらの結果より、すべり耐力が低い場合、当て板内部ですべりが生じることでウェブの面外変形を誘発し、その面外変形により生じる曲げ応力がウェブ斜張力場の降伏を助長するため、すべり耐力によりせん断耐力の回復効果に差異が生じたと考えられる。

4. まとめ

- (1) 当て板のすべり耐力(ボルト軸力)が増加するほどせん断耐力の回復効果は高い。
- (2) 当て板内部ですべりが生じると、ウェブの面外変形が助長され、面外変形に伴う曲げ応力の増大が斜張力場の塑性化を助長するため、当て板のすべり耐力によりせん断耐力の回復効果に差異が生じると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 2007.

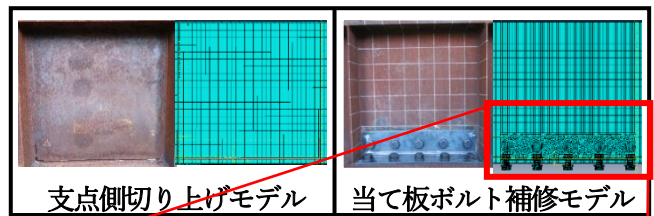


図2 解析 着目パネル

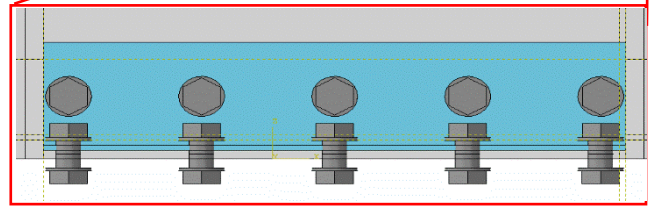


図3 ボルト軸力導入図

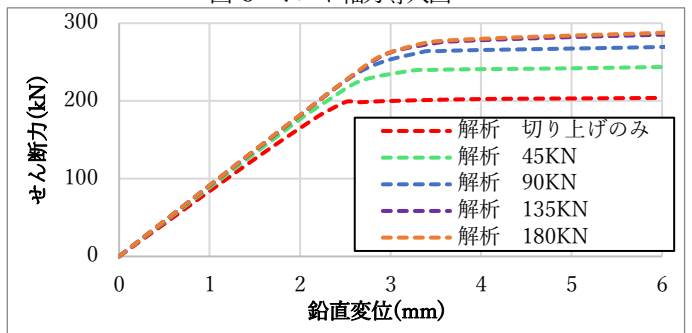


図4 せん断力-鉛直変位の関係 (解析)

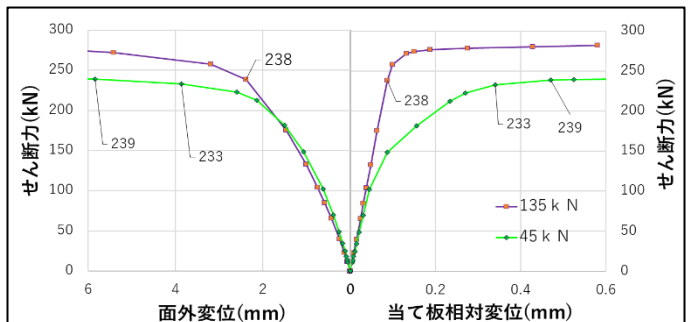


図5 せん断力-面外変形及び当て板相対変位関係 (解析)

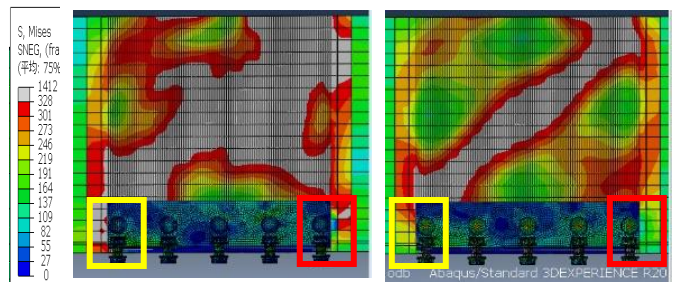


図6 せん断力240kN時のvon Mises応力分布図

(左:軸力45kN, 右:軸力135kN)

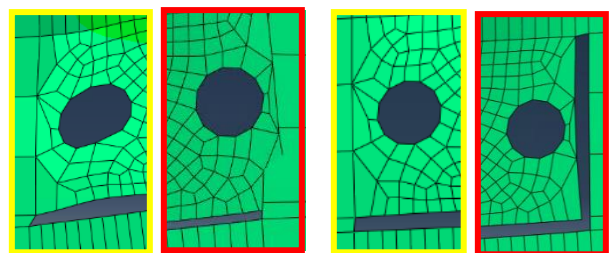


図7 せん断力240kN時の当て板内部のウェブ変形図

(左:軸力45kN, 右:軸力135kN)