

高力ボルト引張接合と摩擦接合を併用した 鋼I桁連結部の力学挙動に与えるリブ配置の影響

宇都宮大学 学生員 ○ 柏 将徳
宇都宮大学大学院 正会員 鈴木康夫

1. 研究背景と目的

工事用栈橋等に利用されている仮設桁は、部材のリユースを前提としている。そのため、部材の現場接合には、溶接ではなく、組立てと解体が容易な高力ボルト摩擦接合継手（以下、摩擦接合と記す）が用いられることが一般的であるが、使用材片数の削減および工期短縮を図るために部材連結構造の簡素化が求められている。また、仮設桁は、大規模災害時に応急復旧橋梁として利用されることもあり、その際にはより短時間により多くの橋梁を架設する必要があるため、現地での部材組立て時間の短縮が求められている。

このような背景を受け、遠藤ら¹⁾は、使用ボルト本数およびボルト締結作業時間の縮減を目的として、ボルト一本当たりの荷重伝達効率の高い高力ボルト引張接合継手（以下、引張ボルト接合と記す）を摩擦接合と併用した図-1に示すような新たな連結構造を提案している。そして、その力学挙動を実大実験により検討し、提案連結構造が実構造物に適用できる可能性があることを確認している。

また、石島ら²⁾は、遠藤ら¹⁾が提案した連結構造の更なる高強度化と高変形能化を目指して、引張接合部のリブプレート配置等の構造詳細が継手強度および変形性能に与える影響について実験および3次元有限要素解析により検討している。石島ら²⁾の研究では、図-2に示す3つのタイプの継手形状について、引張接合部のみを対象とした検討を行っており、その結果、図-2(b)に示す縦リブモデルは、同図(a)に示す横リブモデルと比べて、最大荷重時の変形量が大きくなることを確認している。そして、縦リブモデルを摩擦接合と併用した場合、引張ボルトが破断する前に摩擦接合部が支圧状態に至るため、遠藤ら¹⁾が提案した横リブモデルを利用した連結構造より耐力が増大する可能性があることを示唆している。

本研究では、これらの既往の研究結果を踏まえ、引張接合部のリブ配置の違いが引張接合と摩擦接合を併用した連結構造の強度および変形性能などの力学挙動に与える影響を詳細に検討することを目的として3次元有限要素解析を実施した。

2. 解析モデル

(1) 解析ケース

本研究では、図-1に示したような、ウェブを摩擦接合で、上下フランジを引張ボルト接合でそれぞれ連結したI桁を対象として、図-3に示すように引張ボルト接合部のリブプレートの配置方向をパラメータとした3次元有限要素

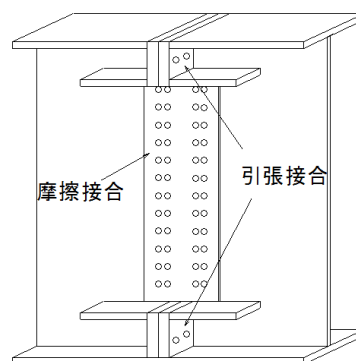


図-1 引張接合と摩擦接合を併用した桁連結構造¹⁾

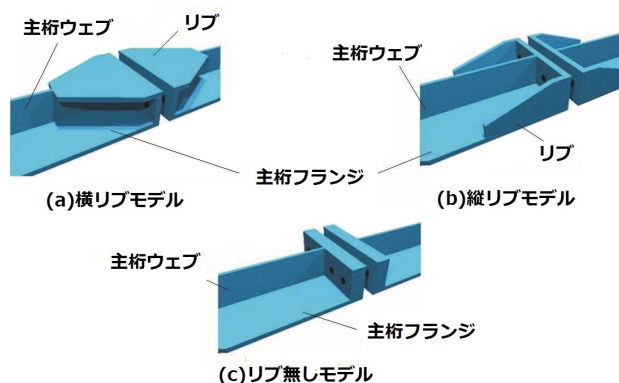


図-2 石島らが検討した部分モデル²⁾

素解析を実施した。図-3-aは、遠藤ら¹⁾が提案した連結構造と同様に引張接合部のリブプレートを桁の上下フランジと平行に配置した横リブモデルであり、図-3-bは引張接合部のリブプレートを桁のウェブと平行に配置した縦リブモデルである。また、比較のため、図-3-cに示すようなリブプレートを配置しないリブ無しモデルも対象とした。

解析対象は、図-4に示すように桁高1700mm、フランジ幅400mmの鋼I桁の連結部であり、ウェブ板厚およびフランジ板厚は、それぞれ12mmおよび19mmである。各モデルの引張ボルト接合部のボルト配置を図-5に示す。なお、使用ボルトは、摩擦接合および引張ボルト接合ともにM24(F10T)である。

(2) 使用要素と境界条件

解析モデルは、対称性を考慮して、図-3に示したようにエンドプレート接合面およびウェブ板厚中心を対称面とする1/4モデルとした。使用要素は、エンドプレート、連結板、および摩擦接合近傍のウェブをソリッド要素とし、フランジ、ウェブ（一般部）、リブプレートはシェル要素とした。エンドプレート、リブプレート、およびフランジプレートの材料特性は完全弾塑性体とし、連結板およびウェ

Key Words: 高力ボルト引張接合, 摩擦接合, 併用継手, 支圧耐力, すべり後

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6210

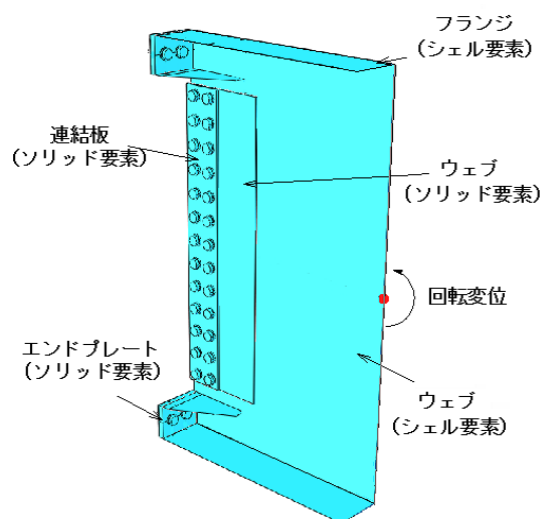


図-3-a 横リブモデル

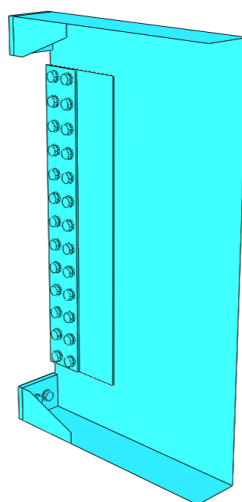


図-3-b 縦リブモデル

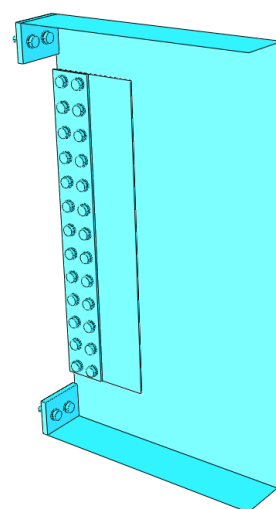


図-3-c リブ無しモデル

図-3 本研究の解析対象

リブプレートは塑性硬化係数をヤング率の1/100としたバイリニア型の材料特性とした。これらの材料の降伏応力および引張強さを表-1に示す。

一方、ボルトは、軸平行部とねじ部を同一径の円形断面として、ねじ形状を再現しない簡易モデル³⁾とし、座金はボルトヘッドと一体化して、これらをソリッド要素で分割した。摩擦接合部のボルトは軸平行部およびねじ部ともに弾性体とし、それらのヤング係数は206GPaとした。引張ボルト接合部のボルトについては、軸平行部は摩擦接合部のボルトと同様にヤング係数206GPaの弾性体としたが、ねじ部は文献³⁾を参考に、ヤング係数を33GPa、降伏応力を778MPaとしたマルチリニア型の弾塑性モデルとした。なお、座金は剛体と見なしてヤング係数206,000GPaの弾性体とした。

座金と連結板およびエンドプレート間には、接触/非接触および微小滑りを考慮できる接触面を設定し、これらの接触面間の摩擦係数は0.2とした。また、エンドプレートの継手面間および連結板とウェブ間にも接触/非接触および微小滑りを考慮できる接触面を設定し、これらの接触面間の摩擦係数は0.4とした。さらに、支柱挙動も考慮するため、ボルト軸表面とボルト孔壁間にも接触/非接触を考慮できる接触面を設定した。

解析は、ボルト軸力導入段階と曲げモーメント载荷段階に分けて行い、初期ボルト軸力は238kNとし、ボルト軸端部の全節点に強制変位を与えることで導入した。曲げモーメントは、桁端部の全節点を剛体梁要素で結合し、その代表節点に強制回転変位を与えることで载荷した。また、曲げモーメント载荷中に下側引張ボルト接合部が破断することを考慮して、引張ボルト接合部のボルト軸力が最大の95%まで低下した際に下フランジ側の引張ボルトの全要素を無効化することによりボルトの破断を再現した。解析は、強制回転変位が0.01rad.に達した段階で終了することにした。

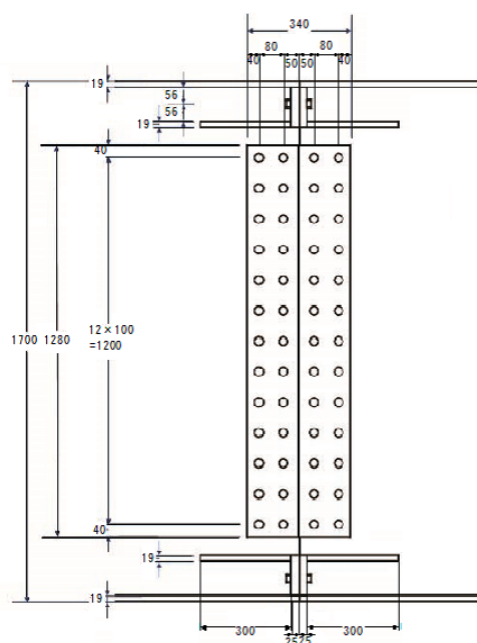


図-4 部材連結構造寸法

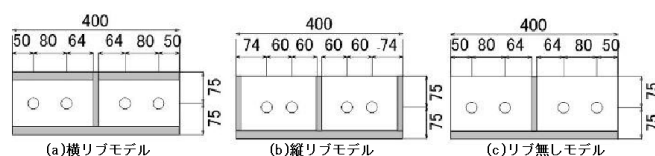


図-5 各モデルの引張ボルト接合部のボルト配置

表-1 解析に用いた鋼板の主な材料特性

	材質	板厚 (mm)	降伏応力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
フランジ	SM490	19	378	—
ウェブ	SM490	12	417	526
エンドプレート	SM490	25	348	—
リブプレート (横リブ)	SM490	19	378	—
リブプレート (縦リブ)	SM490	12	378	—
連結板	SS400	9	384	456

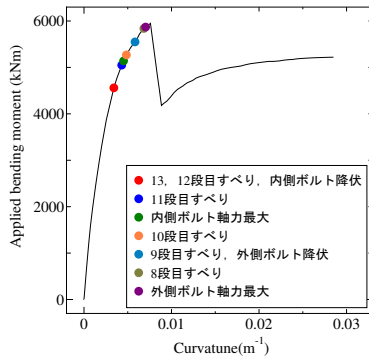


図-6-a 横リブモデル

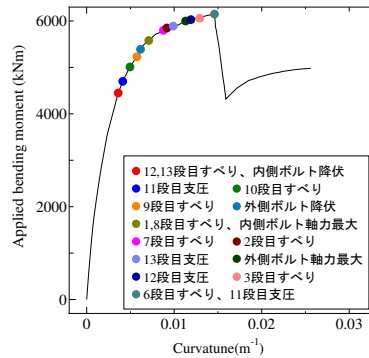


図-6-b 縦リブモデル

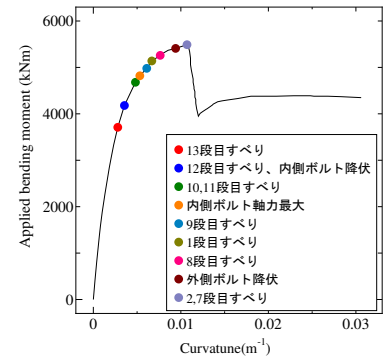


図-6-c リブ無しモデル

図-6 曲げモーメント - 曲率関係

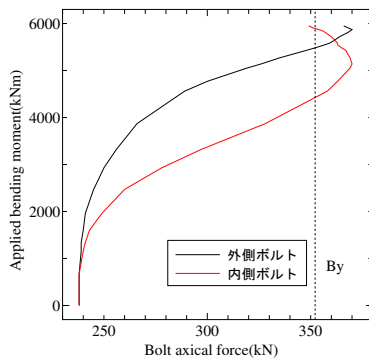


図-7-a 横リブモデル

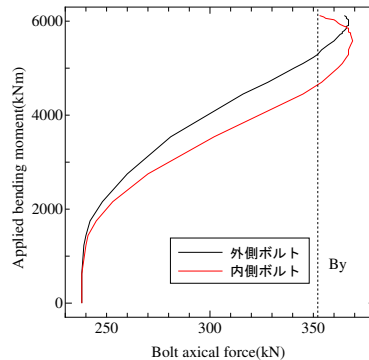


図-7-b 縦リブモデル

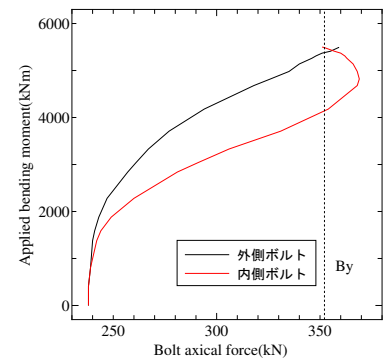


図-7-c リブ無しモデル

図-7 曲げモーメント - 軸力関係

3. 解析結果

(1) 曲げモーメント - 曲率関係

解析より得られた曲げモーメントと曲率の関係を図-6に示す。図の縦軸は作用曲げモーメントを、横軸はエンドプレートからリブプレート長 (300mm) の範囲で評価した曲率を表している。また、図には引張ボルトが破断に至るまでの崩壊過程をプロットしている。

全てのモデルで内側の引張ボルトが降伏した頃に、上から12～13段目ボルト位置でウェブと連結板間にすべりが発生し、その後下側引張接合部のボルトが破断して最大耐力に至った。その際の最大曲げモーメントは横リブモデルが5950kNm、縦リブモデルが6150kNm、リブ無しモデルが5500kNmであった。また、最大曲げモーメント時の曲率は、縦リブモデルが横リブモデルおよびリブ無しモデルよりも大きくなった。

横リブモデルとリブ無しモデルでは引張ボルト破断前に摩擦接合部で支圧状態に移行したボルトは見られなかったが、縦リブモデルでは13段目から11段目までのボルトが支圧状態に移行したことが確認できた。そのために縦リブモデルの最大曲げモーメントが他のモデルよりも大きくなったと考えられる。

(2) 曲げモーメント - ボルト軸力関係

曲げモーメントと下フランジ側引張ボルトの軸力の関係を図-7に示す。図より、横リブモデルとリブ無しモデルでは、内側のボルトの軸力が先に上昇し外側のボルトは後

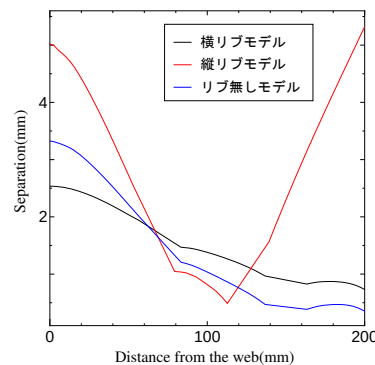


図-8 引張ボルト破断時のエンドプレート間離間量

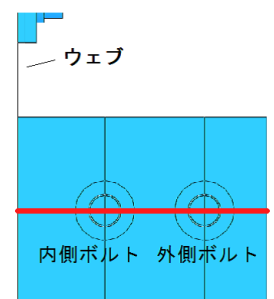


図-9 離間量評価位置

から上昇していることがわかる。これに対し、縦リブモデルでは内側のボルトと外側のボルトの軸力がほぼ同時に上昇し始め、その後も他のモデルと比べてより均等に軸力が作用していることがわかる。さらに、横リブモデルとリブ無しモデルでは、内側の引張ボルトが最大軸力を迎えてから外側のボルトが降伏軸力に達しているのに対し、縦リブモデルの引張ボルトは内側のボルトが降伏軸力に達した後、外側のボルトが降伏軸力に達してから内側のボルト軸力が最大に至ることが確認できる。これにより結果的に内側ボルトが最大軸力に達するときの載荷曲げモーメントが大きくなり、最大耐力も他のモデルより大きくなったと考えられる。

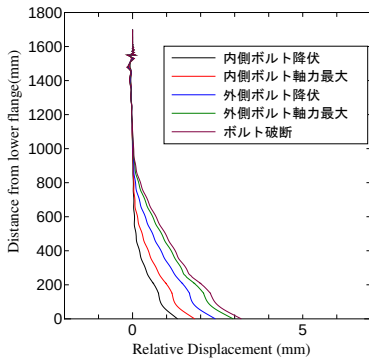


図-10-a 横リブモデル

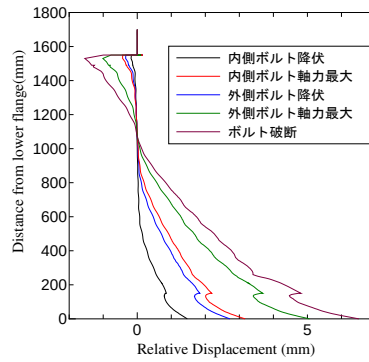


図-10-b 縦リブモデル

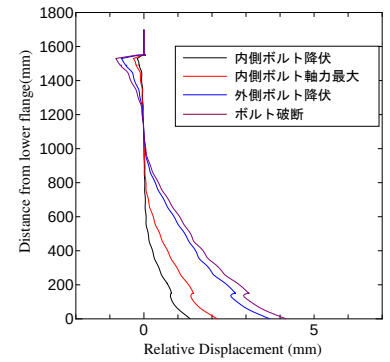


図-10-c リブ無しモデル

図-10 ウェブ端部における部材軸方向変位量の分布

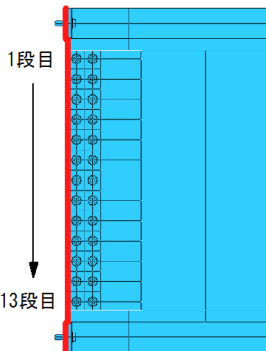


図-11 ウェブ変位量測定位置

(3) エンドプレート離間量

引張ボルト破断直前のエンドプレート間の離間量を図-8に示す。図-8の縦軸は引張側エンドプレート間の離間量を表しており、横軸はウェブから離間量評価位置までの距離を表している。なお、離間量評価位置は図-9の赤線で示すように、引張ボルトの軸心の高さとした。

図-8より、横リブモデルとリブ無しモデルでは、ウェブ側(0mmの位置)の離間量に対して反対側(200mmの位置)での離間量が小さいことがわかる。一方、縦リブモデルでは、両側に均等に離間が発生していることがわかる。これにより、2本のボルト軸力差が小さくなり、縦リブモデルの最大曲げモーメントが他のモデルより大きくなったと考えられる。さらに、縦リブモデルでは、ボルト位置での離間量は他のモデルより小さいが、エンドプレートの曲げ変形が大きいためウェブ位置での離間量が他のモデルよりも大きくなっていることがわかる。これにより、ウェブ位置での変形量が大きくなり、摩擦接合部で支圧状態に至ったと考えられる。

(4) 部材軸方向変位の分布

連結部側のウェブ端部における部材軸方向の変位量分布を図-10に表す。図の縦軸は図-11の赤線で示した変位量の評価位置を表しており、下フランジからの距離を表している。図-10より、縦リブモデルでは、内側ボルトが降伏したあたりから、下側引張接合部周辺のウェブの変形量が、横リブモデルおよびリブ無しモデルと比べて大きくなって

いることがわかる。そのため、縦リブモデルでは引張接合部ボルトの破断前に摩擦接合部ボルトの一部が支圧状態に移行し、最大耐力が他のモデルと比べて大きくなったと考えられる。

4. まとめ

本研究では、引張接合部のリブ配置の違いが高力ボルト摩擦接合と引張接合を併用した連結部の力学的挙動に与える影響を3次元有限要素解析によって検討した。本研究で得られた主な結論を以下に示す。

1. 縦リブモデルでは、2本の引張ボルト位置におけるエンドプレート間離間量が均等になることで2本の引張ボルトの軸力差が小さくなり、結果的に他のモデルより最大曲げモーメントが大きくなった。
2. 縦リブモデルでは、エンドプレートの曲げ変形が大きく、ウェブ位置での離間量が大きくなり、引張ボルト破断時には摩擦接合部でボルトの一部が支圧状態に移行し、他のモデルより最大曲げモーメントが大きくなった。
3. 本研究では、ウェブ摩擦接合部のすべり係数を0.4と仮定し、さらに初期不整を考慮しない解析を行った。今後は、より現実的な解析モデルでこれらがウェブ摩擦接合部の支圧挙動に与える影響を検討するとともに、連結板およびウェブの縁端距離が支圧強度に与える影響についても検討する必要がある。

参考文献

- 1) 遠藤和貴, 鈴木康夫, 中島章典, 山口隆司, 岩崎伸一, 郡 久人: 引張ボルト接合を用いた仮設橋梁(TMB)の主桁連結構造の提案, 第37回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 土木学会関東支部, I-1, 2010.
- 2) 石島萌衣, 鈴木康夫, 山口隆司, 岩崎伸一, 郡 久人: リブプレートの配置方向とエンドプレート厚が引張ボルトの力学挙動に与える影響に関する解析的研究, 第39回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 土木学会関東支部, I-23, 2012.
- 3) 藤谷健二, 渡邊英一, 杉山邦征, 山口隆司, 葛西俊一郎: ねじ部を考慮した高力ボルトの有効応力一ひずみ関係に関する考察, 鋼構造年次論文報告集, 第3巻, 日本鋼構造協会, pp.281-288, 1995.