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

宇都宮大学	学生員	○ 石島萌衣	宇都宮大学大学院	正会員	鈴木康夫
大阪市立大学大学院	正会員	山口隆司	ジェコス株式会社	正会員	岩崎伸一
ジェコス株式会社		郡 久人			

1. はじめに

建設現場で用いられている仮設桁や災害時などに利用される応急復旧橋梁は、リユースを前提としているため、部材の連結には、溶接ではなく、解体が容易な高力ボルト継手が用いられている.高力ボルト継手には、摩擦接合継手、引張接合継手などがあるが、仮設桁の部材連結には、現在では摩擦接合継手が用いられる場合が多い.しかし、引張接合は作用力がボルト軸方向に直接作用するため、摩擦接合のようにすべり係数に関与することがなく、ボルトー本あたりで伝達できる作用力が大きい.したがって、引張接合継手を用いると、ボルト本数を減らすことができるため、部材の組立や解体が更に容易になり、架設時間およびコスト縮減が可能になると考えられる.

そのような背景から、遠藤ら¹⁾は、図-1に示すような摩 擦接合と引張接合を併用した新たな連結構造を提案し、そ の力学挙動を実大実験で検討している.その結果、提案連 結構造を実構造物に適用するに当たり、十分に安全である ことを確認する一方で、引張側に配置された引張接合用の ボルトは、配置位置により軸力差がみられることも確認し、 リブプレートやエンドプレートなどの引張接合継手部の構 造詳細を変更することで、更なる高強度化と高変形能化を 実現できる可能性を示唆している.

そこで、本研究では、遠藤ら¹⁾によって提案された摩擦 接合と引張接合を併用した I 形断面部材連結部の更なる高 強度化を目指し、引張接合継手におけるリブ配置の変更や エンドプレート板厚などの構造詳細の違いが継手強度や変 形性能などの力学挙動に与える影響を検討する.



図-1 引張接合と摩擦接合を併用した主桁連結構造¹⁾

2. 解析モデル

(1) 解析対象

本研究では、図-1に示した主桁連結構造から引張接合 部を取り出した部分モデルを対象とし、図-2に示す3タ イプのモデルを用いて、リブ配置およびエンドプレート厚 による影響を検討した.遠藤らの研究¹⁾で用いられたフラ ンジに対して水平にリブプレートを付けたモデルを横リブ タイプ、フランジに対して直角にリブプレートを付けたモ デルを縦リブタイプ、リブプレートを取り付けないモデル をリブなしタイプと呼ぶこととする.

なお、図-2に示す部分モデルでは、ボルト軸心とフラ ンジ板厚中心との偏心の影響でフランジに曲げが発生する が、図-1の主桁連結構造に対する実大実験¹⁾ではこのよう な曲げは発生していないことが確認されてる.そこで、本 研究では、図-3に示すように、フランジ面を対称とした 両締めモデルを検討対象とすることとした.



図-2 本研究で対象とした部分モデル



(2) 解析ケース

本研究で検討した解析ケース一覧を 表-1 に示す. 解析 ケース名の最初の数字はエンドプレートの板厚 (単位:mm) を,英字はリブ配置 (HR:横リブ, VR:縦リブ, NR:リブな し)を,最後の数字はリブプレートの板厚 (単位:mm)を 示す.

エンドプレート厚およびリブプレート厚は,以下のよう に決定している.まず,横リブタイプの解析ケース25HR19 は遠藤らの研究¹⁾で用いられたモデルと同一寸法であり,板 厚 25mm のエンドプレートに 19mm のリブプレートをフ ランジと平行に取り付けたモデルである.

縦リブタイプの解析ケース 25VR12 は、板厚 25mm の エンドプレートにリブプレートをウェブと平行に取り付け たモデルであるが、ボルト配置の関係上、リブプレートの 板厚は 12mm としている.なお、横リブタイプと縦リブ タイプでリブ配置による違いを比較検討するため、横リ ブタイプにおいてもリブプレート厚を 12mm とした解析 ケース (25HR12) 別途設定している.また、縦リブタイプ の解析ケース 40VR12 は、横リブタイプである解析ケー ス 25HR19 (現行モデル) と同一重量となるようエンドプ レート厚を調整したモデルである.なお、横リブタイプに おいてもエンドプレート厚による影響を検討するため、エ ンドプレート厚を 40mm とした解析ケース 40HR19 も別 途設定している.

リブなしタイプの解析ケース 25NR および 40NR は、リ ブの有無による影響を検討するため、縦リブモデルと横 リブモデルで設定したエンドプレート厚(25mm および 40mm)と同厚のエンドプレートとしている。解析ケース 50NR は、「橋梁用高力ボルト引張接合設計指針(案)」²⁾に 示されているてこ反力係数算定式に基づいて計算されるて こ反力が 0 となるようにエンドプレート厚を 50mm とし ている. さらに、比較のため、エンドプレート厚を 60mm と極厚にした解析ケース 60NR も検討対象とした。

各リブ配置に対するボルト間隔およびエンドプレートの 寸法を図-4に示す.

(3) 解析モデルの概要

解析モデルは、構造の対称性を考慮して図-5に示すように図-3に示したモデルの1/4の領域をモデル化した.

解析モデルは、フランジプレート、ウェブプレート、お よびリブプレートを4節点低減積分シェル要素で、ボルト およびエンドプレートは8節点低減積分ソリッド要素で、 座金は4節点剛体シェル要素で要素分割を行っている.な お、エンドプレート、ボルト、および座金間の接触面は、 微小すべりおよび接触/非接触を考慮できる接触面を設定 し、境界非線形性を考慮している.また、ボルトは、ねじ 形状を再現せず軸平行部と同一断面とした簡易モデル³⁾を 用いてモデル化している.

解析に用いた主な鋼材の降伏応力を表-2に、ボルトね

じ部の応力-ひずみ関係を図-6に示す.

解析は、ボルト軸力導入段階と引張荷重導入段階に分け て行った.初期ボルト軸力(238kN)は、ボルト軸部とねじ 部の境界面の全節点に内力を与えて導入し、引張荷重はフ ランジ端部の全節点に等しい強制変位を与えることにより 載荷した.

なお、本研究の解析には、汎用有限要素解析プログラム ABAQUS を用いた.

表-1 解析ケース一覧 リブ配置 エンド厚 リブ厚 解析ケース名 重量比 (mm)(mm)構リブ 25HR19 2519 1.00 タイプ 2525HR12120.8140HR19 40 19 1.29縦リブ 25VR12 2512 0.72タイプ 40VR12 40 121.0025NR25 なし 0.48 リブ無し 40NR 40 なし 0.77 タイプ 50NR 50なし 0.9660NR 60 なし 1.15





(a)横リブタイプ

(b)縦リブタイプ

12

75

400 50 80 64 64 80 50 0 0 0 0

(c)リブなしタイプ

図-4 各部分モデルのボルト間隔(単位:mm)



図-5 解析モデル (1/4 モデル)

表_2	解析に用いた主た鋼材の降伏広力
11 - 4	所知に用いた工な判例のアモバルレノ

材料	鋼種	板厚 降伏応力	
		(mm)	(N/mm^2)
フランジプレート	SM490	19	378
ウェブプレート	SM490	12	417
エンドプレート	SM490	$25 \sim 60$	348
リブプレート	SM490	19	378
リブプレート	SM490	12	417



図-6 ボルトねじ部の応力-ひずみ関係(塑性域)



図-10 変位量測定位置

Displacement(mm) 図-9 荷重-変位量関係 (リブな し)

10

3. 解析結果および考察

(1) 荷重-変位量関係

0

横リブタイプ,縦リブタイプ,およびリブなしタイプの 荷重と変位量の関係をそれぞれ図-7,図-8,および図-9に示す.なお,図の縦軸は1/4モデルにおける載荷点の 反力,すなわちボルト2本分に相当する荷重であり,横軸 は,継手の伸び変位量を表す.なお,継手の伸び変位量は 図-10に示すように載荷点の変位としている.

図-7に示す横リブタイプの25HR19と25HR12を比較 すると、これらの荷重-変位曲線にはほとんど差がなく、 リブプレート厚による大きな違いはみられない.リブプ レートはエンドプレートの曲げ変形を抑制する目的で取り 付けたものであり、リブプレート厚による補剛効果の違い はないといえる.また、解析ケース25HR19とエンドプ レートを厚くした40HR19を比較すると、初期剛性はエン ドプレート厚が40mmの40HR19の方が高いものの、最 大荷重はほとんど差異がみられない.横リブタイプの場合 は、エンドプレート厚が25mm以上であれば、エンドプ レートの曲げ変形はほとんど発生しないため最大荷重時に はてこ反力もほとんど発生しないと言え、横リブタイプの 場合は、エンドプレート厚を25mm以上にしても重量増 につながるのみで強度上昇は期待できないと言える.

次に、図-8に示す縦リブタイプの25VR12と40VR12 を比較すると、初期剛性および最大荷重ともにエンドプ レート厚の大きい40VR12の方が高くなっていることがわ かる.横リブタイプでは、エンドプレート厚による影響は ほとんど見られなかったのに対し、縦リブタイプはその影 響が大きい.これは、横リブタイプの方がエンドプレート の補剛効果が高いためであり、縦リブタイプは横リブタイ プと比べてエンドプレートの曲げ変形が大きく、強度と剛 性ともにエンドプレート厚の影響をうけやすいと言える. なお、25VR12と40VR12の最大強度の差はおよそ3%程 度のみである一方で、25VR12の方が最大荷重時の変位量 は大きく、変形性能に優れた継手とも言える.

最後に、図-9に示すリブなしタイプの25NRと40NR を比較すると、初期剛性および最大荷重ともに40NRの方 がはるかに高く、横リブタイプおよび縦リブタイプよりエ ンドプレート厚による影響が大きいことがわかる.これは、 エンドプレートの変形を抑制するリブプレートがないた め、てこ作用の影響を受け易いためである.リブなしタイ プでエンドプレートの変形を抑制するには、エンドプレー ト厚が40mm以上必要ということである.また、40NRと 50NR および 60NRとを比較すると、40NRは50NRと 60NRに比べて、初期剛性および最大荷重ともに若干低下 するが、その差は小さい.

(2) リブ配置による影響に関する比較

リブプレートの有無およびリブプレートの配置方向に よる影響を比較考察をするため、図-7~図-9に示した荷 重-変位関係からエンドプレート厚が 25mm の解析ケー ス 25HR19, 25VR12, および 25NR の荷重と変位量の関 係を抜粋して図-11に示す.

図-11を見ると、横リブタイプ(25HR19)および縦リ ブタイプ(25VR12)の最大荷重に比べて、リブ無しタイ プ(25NR)の最大荷重は大幅に低くなっており、リブプ レートによるエンドプレートの補剛効果は大きいことがわ かる.一方、解析ケース25HR19と25VR12を比較する と、縦リブタイプの25VR12の最大荷重は、横リブタイプ の25HR19に比べて2.8%程度低くなっているものの、最 大荷重時の変位量が大きいことがわかる.これは、縦リブ タイプの方が、横リブタイプよりエンドプレートの自由辺 の長さが長いためである.すなわち、自由辺長の長い縦リ ブタイプ(25VR12)は横リブタイプ(25HR19)と比べてエ ンドプレートの曲げ変形が生じやすく、てこ反力が発生し やすいためである.一方で、エンドプレートが変形しやす いため、最大荷重時の変位量が大きくなったと考えられる.

遠藤らによって行われた摩擦接合と引張接合を併用した 部材連結部の載荷実験¹⁾では,最大荷重時に引張接合用ボ ルトが破断すると同時に,ウェブに配置された摩擦接合に



主すべりが生じ、大幅な荷重低下とともに連結部の変形が 急激に増大し、支圧状態に至ったことが確認されている. したがって、摩擦接合との併用継手に最大荷重時の変位量 が大きい縦リブタイプ(25VR12)を引張接合として用い ると、ウェブの摩擦接合がより早期に支圧状態に移行し、 現行の横リブタイプ(25HR19)と比べてボルト破断後の 荷重低下も抑えられると考えられる.

最後に、25HR19、25VR12、および 25NR の荷重とボ ルト軸力の関係を、それぞれ図-13、図-14、および図-15 に示す. 図中には、参考のため M24(F10T) 高力ボルト の降伏ボルト軸力 (*B_y*) も破線で示している.また、図中 の凡例 (Bolt1,Bolt2) は図-12 に示している.

図-13と図-14を比べると、縦リブタイプの25VR12の 方がBolt1とBolt2の軸力差が小さく、ボルト配置位置に 関わらず全てのボルトに均等に荷重が伝達されていること がわかる.また、横リブタイプの25HR19はボルト軸力 最大時に最大荷重に達しているのに対し、縦リブタイプの 25VR12はボルト軸力が最大に達した後に僅かながら作用 荷重の上昇がみられる.これは、てこ反力が減少している ことを示しており、ボルト軸力が最大に達した後にボルト の伸び変形およびエンドプレートの曲げ変形が大きくなっ ていると考えられる.また、リブ無しタイプの25NRと 25HR19および25VR12とを比べると25NRはボルト降伏 時の荷重が他と比べて小さく、さらにBolt1とBolt2の軸 力差が大きくなっている.したがって、リブプレートによ る補剛効果は大きいと言える.

4. おわりに

本研究では、引張接合におけるリブプレートの板厚と配置方向、およびエンドプレート厚が継手の挙動に与える影響を3次元 FEM により検討した.本研究で得られた主な成果と今後の課題を以下にまとめる.

- リブプレートをフランジに平行に配置した場合,エン ドプレート厚が25mm程度であれば、リブプレート厚 は継手の力学挙動に影響を与えないことを確認した.
- リブプレートをフランジに垂直に配置したモデル (25VR12)は、平行に配置したモデル(25HR19)と 比べて最大荷重は2.8%程度低下するものの、最大荷 重時の変位量が大きくなり、変形性能の優れた継手に なることがわかった。
- 3. リブプレートをフランジに垂直に配置したモデル (25VR12)の最大荷重時変位量が大きいことから、こ れをウェブ摩擦接合継手と併用した場合、ウェブの摩 擦接合がより早期に支圧状態に移行し、遠藤らの横リ ブタイプモデル¹⁾と比べて、引張接合用ボルトの破断 時の荷重低下が少なくなると考えられるが、今後、詳 細な検討が必要である.

参考文献

- 遠藤和貴,鈴木康夫,中島章典,山口隆司: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, 1-1, 2010.
- 日本鋼構造協会:橋梁用高力ボルト引張接合設計指針(案), 1994.
- 3)藤谷健二,渡邉英一,杉浦邦征,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ーひずみ関係に関する考 察鋼構造年次論文報告集,第3巻,pp.281-288,1995.