

新型手延べ機の開発における引張継手部の実験的検討

EXPERIMENTAL STUDY OF TENSION JOINT IN THE DEVELOPMENT OF A NEW LAUNCHING MACHINE

長谷川 智* 高尾 智之** 橋 肇*** 吉岡 夏樹****
 Hasegawa Satoshi Tomoyuki Takao Hajime Tachibana Yoshioka Natsuki

従来の手延べ機は、上部工の橋脚到達時に自重によるたわみを調整する設備を事前に架橋位置に搬入・設置するため、大掛かりな機材やクレーンが必要となり、多大なコストと準備時間を要する。そこで、手延べ機の主構部材連結部に非突出型エンドプレート継手¹⁾²⁾を採用した新型手延べ機を考案した。非突出型エンドプレート接合は、短縮め形式の引張継手を応用した形式であり、既存の設計基準の適用範囲外とされている構造となるため安全性について著者らは各種取組を継続している。本報告では、新型手延べ機を実用化させるために実施した非突出型エンドプレート継手の要素試験とFEM解析について示す。

キーワード：高力ボルト、引張接合、弾塑性有限変位解析、一軸引張部材

1. はじめに

従来の手延べ機は、橋脚到達時に自重によるたわみを調整する設備を事前に架橋位置に搬入・設置するため、大掛かりな機材やクレーンが必要となり、多大なコストと時間を要する。そこで、手延べ機の上弦材側をレベルとしたトラス構造とし、上下弦材の現場継手に引張接合を応用した新しい手延べ機を考案した。引張接合形式を採用することで上弦材の上面および下弦材の下面にボルトや連結板の突起をなくし、上弦材上面の橋脚上に機材を搬入するための軌条を設けられる構造としている。著者らは、新型手延べ機の現場継手に用いる引張接合を応用した非突出型エンドプレート継手^{1) 2)}について、継手構造をモデル化した FEM 解析により、水平リブなどの構造諸元がその力学的挙動に与える影響について検討を進めている。その結果、50m 級の手延べ機が成立することを確認した。本報告では、新型手延べ機の実用化に向け実施した FEM 解析と非突出型エンドプレート継手の縮小模型を用いた実験により検証した内容について報告する。

2. 手延べ機と継手概要

今回検討した引張継手を有する新型手延べ機の概要を図-1 に示す。鋼桁架設時に用いる手延べ機は、上弦材側をレベルとしたトラス構造とし、上下弦材の現場継手部に非突出型エンドプレート継手を採用している。この継手構造は、短縮め形式の引張接合を応用した形式であり、継手部断面のエンドプレートの突出部を省略し、施工時の合理化を図った構造となっている。

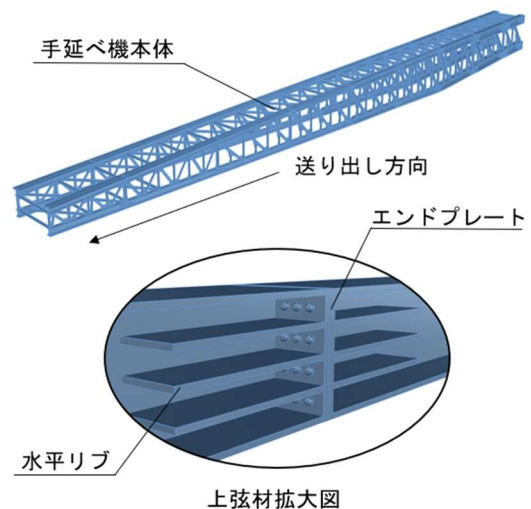


図-1 手延べ機概要と現場継手構造

3. 実験内容

非突出型エンドプレートの性能を確認するため一軸引張試験を実施した。载荷試験概要、試験体詳細、および実験状況を図-2、図-3 と写真-1 に示す。試験体は、50m 級の手延べ機の試設計結果より継手部断面を設定した。材質は、SN490 材とし、エンドプレートの板厚は既往の研究結果を参考に 32mm とした¹⁾。载荷実験では、载荷設備の容量を考慮し、試験体を縮小した。縮小方法は非突出型のエンドプレート継手構造におけるボルト軸力の変化およびエンドプレートの応力分布が縮小前と後で類似している報告事例³⁾を参考に、高力ボルト(S10T)の径を M22 から M16 に変更し、継手断面の縮尺も 16/22 程

* 技術開発本部 技術研究部 ** 橋梁工事本部 橋梁工事部
 *** 技術開発本部 ****技術開発本部 橋梁設計部 東京設計課

2)初期ボルト軸力導入方法と荷重条件

FEM 解析は、実験と対応させるため高力ボルトの初期ボルト軸力導入時と一軸引張試験を再現した強制変位を与えた時の2段階で行った。まず、初期ボルト軸力の導入は、一体化させたボルトとナットの全ての節点に温度差を荷重条件として考慮⁶⁾し、ボルトを収縮させることにより軸力を導入した。初期ボルト軸力は、M16(S10) 軸力の75%(設計ボルト軸力)である106kNに設定した。軸力導入後の一軸引張試験を再現する解析は、図-4に示すようにフランジとウェブの上下端コバ面をZ方向へ強制変位させた。

5.実験結果とFEM解析の比較

(1) 載荷荷重

製作した試験体3体に載荷実験を実施し、表-2のようにcase1~3とした。case1は試験装置の安全性を確認するため、ボルトの降伏荷重までの載荷とした。case2はボルトの破断直前までとし、case3はボルトが破断するまで載荷した。

表-2には実験及びFEM解析による降伏荷重および最大荷重を併せて示す。ここで示している降伏荷重は、継手部における、いずれかのボルト軸力が降伏軸力に到達した時点の荷重値を示す。引張耐力は、材料試験値とボルト本数の積であり、継手部を構成するボルトの全強を示す。まず、降伏荷重を比較するとFEM解析と実験値で500~1,000kN程度の乖離が生じている。降伏荷重の差は、FEMでは未考慮としたエンドプレート継手面の製作誤差が関係していると考えられる。つぎに、引張耐力は、case2及び3の実験値とボルト引張耐力の差は130kN程度であった。これは、試験体の終局状態は継手の部材間圧縮力ではなくボルトによる荷重伝達が支配的な状態と考えられる。

(2) 荷重変位関係

図-5に試験体に作用する載荷荷重と部材端での変位の実験値とFEM解析および弾性計算による値を示す。ボルト降伏軸力およびボルト引張耐力は、ボルト本数と材料試験値を反映させた値を示し、弾性計算はオイラー梁による計算値である。なお、FEM解析では、降伏荷重以降の塑性域のボルト軸部のモデル化仕様などにより評価が困難であるため、降伏荷重以降は参考値としている。case1~3の変位は、ボルト軸力計測値より降伏が確認された2,000kN程度までは線形性を有した挙動を示し、弾性範囲内であることがわかる。2,000kN以降は、接合面の離間に伴う非線形性の挙動が実験値、FEM解析とも確認され実験値とFEM解析の乖離は大きくなる傾向となった。

表-2 荷重一覧

載荷ケース	降伏荷重		最大荷重	ボルト引張耐力 (材料試験値)
	実験値	FEM	実験値	
case1	1954.9	2931.6	—	4046.8
case2	2124.8		3905.8	
case3	2462.6		3910.9	

(単位:kN)

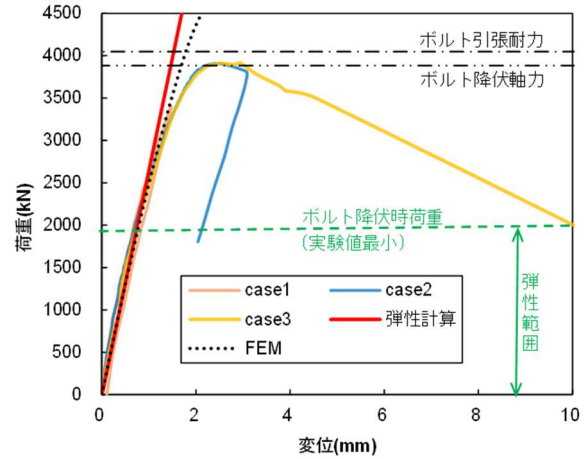


図-5 荷重-変位曲線

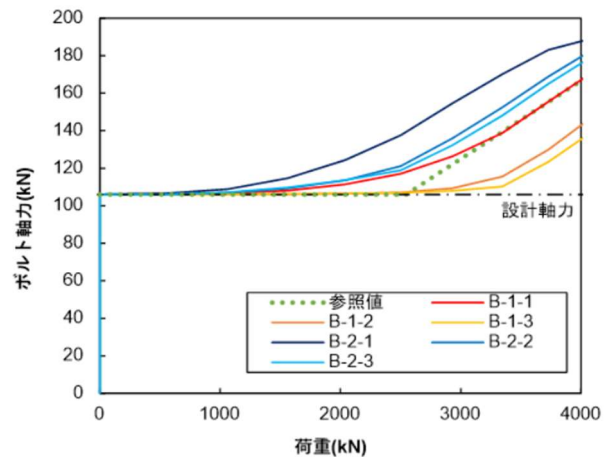


図-6 FEM解析によるボルト軸力と載荷荷重

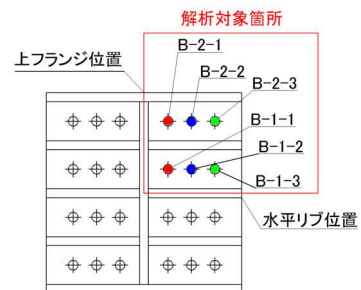


図-7 ボルト配置

(3) ボルト軸力と載荷荷重関係 (FEM解析)

図-6にFEM解析によるボルト軸力と載荷荷重、図-7にボルト配置図を示す。図-6に示す参照値は、試験体継

手部のエンドプレートを剛体と仮定した場合、すなわち、ボルト単体で荷重伝達させる場合の軸力の計算値を示している。FEM 解析では、荷重初期の段階では、6 本全てのボルト軸力の変動はなく一定である。荷重荷重が 600kN を超えたあたりで、てこ反力が関係した軸力変動が確認することができる。軸力変動の順序は、ウェブ近傍の B-2-1 ボルトの軸力に変動が見られ、その後、他のボルトも変動している。

(4) ボルト軸力と載荷荷重関係 (case2 実験値)

一例として、case2 に着目して示す。図-8, 9 には case2 の 1 列目と 2 列目のボルト軸力と載荷荷重の関係を示す。荷重載荷により 1 列目, 2 列目ともにウェブ近傍のボルト(B-2-1 および B-1-1)から降伏軸力に達していることを確認した。

解析値は、荷重が増加してもボルト軸力は設計軸力に沿った挙動となっているが、実験値のボルト軸力は載荷当初から増加している。その理由として、試験体製作時にフランジ、ウェブをエンドプレートに溶接したことでエンドプレートが変形し、継手面に隙間が発生し載荷当初より、てこ反力が生じて材間圧縮力による荷重伝達が行われなかったと考えられる。

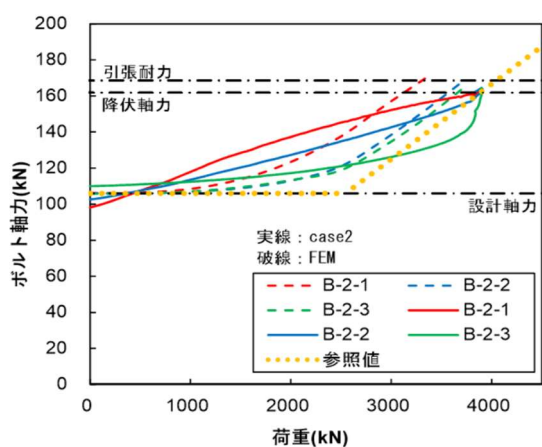


図-8 ボルト軸力-載荷荷重 (1 列目-case2)

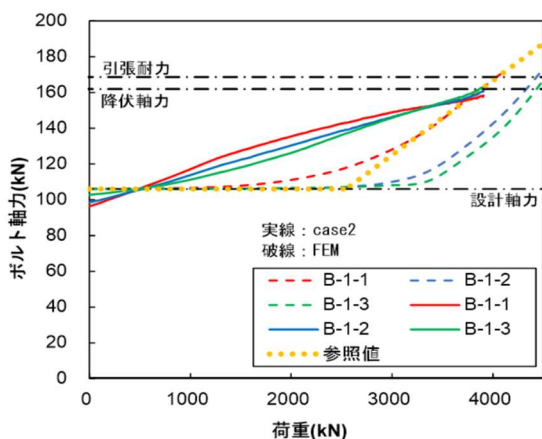


図-9 ボルト軸力-載荷荷重 (2 列目-case2)

なお、手延べ機的设计荷重時におけるボルト軸力は、全てのボルトにおいて安全側であることを確認している。エンドプレートの製作精度、剛性を改善すれば、継手効果の向上が期待できると考えており、FEM 解析と実験による検討を継続する。

6. おわりに

新型手延べ機の継手部に採用する非突出型エンドプレート継手部の実験による検証例について示した。今後は、手延べ機の実用化に向け、継手面の接触圧の確保方法の検討やボルト軸力のばらつきを設計に反映し、実工事への適用を図る。現状では、50m 級の新型手延べ機が実現可能であることを設計により確認しているが、大型の手延べ機が可能となるよう改良もさらに検討を進めていく。

参考文献

- 1) 岑山友紀, 橋肇, 高尾智之, 山口隆司: 一軸引張部材の連結構造に適用した非突出型エンドプレート接合に関する解析的研究, 構造工学論文集 Vol.67A, pp.412-420, 2021.3
- 2) 岑山友紀, 杉本悠真, 山口隆司: 水平リブを有するエンドプレート接合の曲げ強度およびそのボルト軸力簡易評価法に関する研究, 鋼構造論文集, Vol.27, No.106, pp.61-74, 2020.6
- 3) 廣澤直人, 山口隆司, 飛永浩伸, 村山稔: 高力ボルト引張接合継手を適用した鉄床版モジュール接合部の載荷実験, 構造工学論文集 Vol.66A, pp.497-506, 2020.3
- 4) 社団法人日本道路協会: 道路橋示方書 I 共通編・II 鋼橋編, 2012.11
- 5) 社団法人日本鋼構造協会: 橋梁用高力ボルト引張接合指針, 2004.8
- 6) 玉越隆史, 石尾真理, 横井芳輝, 山崎健次郎・水口知樹: 高力ボルト摩擦接合のボルト軸力導入に着目した解析モデルに関する研究, 鋼構造論文集, Vol.21, No.84, pp.95-110, 2014.12