

鋳鉄床版モジュールへの高力ボルト引張接合継手の適用に関する解析的検討

大阪市立大学大学院 学生員 ○廣澤 直人 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司
 日之出水道機器（株） 正会員 飛永 浩伸 日之出水道機器（株） 正会員 村山 稔

1. 研究背景および研究目的

近年、RC 床版の老朽化が問題となっており、将来、その更新が必要になることが想定される。そこで、軽量かつ耐疲労性の高い床版として、球状黒鉛鋳鉄を用いた鋳鉄床版¹⁾が着目されている。鋳鉄床版は、製作上の制約から複数のモジュールで構成され、その連結が避けられないが、溶接が難しいことから、その連結には高力ボルト継手が用いられる。現状では、橋軸方向接合線には摩擦接合継手が採用されているが、ボルト本数が多く、施工性に課題がある。

本研究では、鋳鉄床版モジュールの橋軸方向接合線を対象とし、施工性の改善を目的に、引張接合短締め形式を適用した新たな接合構造を提案した上で、FEM 解析を実施した。

2. 解析モデル

解析には汎用有限要素解析コード Abaqus 6.14 を用い、弾塑性有限変位解析を実施した。モデル化範囲は、橋軸方向に 1 パネル、橋軸直角方向に 3 パネルとした。解析モデルは図-1 に示すように、対称性より 1/2 モデルとした。要素は 8 節点低減積分ソリッド要素を用い、要素辺長は着目する接合部で 5mm とした。接合面には、すべりや離間を考慮できる接触境界を定義し、静止摩擦係数は 0.4 とした。境界条件は、主桁連結部に単純支持として与えた。荷重は、T 荷重 100kN に衝撃係数 0.4 を考慮し、500mm×200mm の範囲に載荷した。載荷位置は、中央の主リブ直上とし、図-1(c) に示すように、正曲げ、負曲げおよびせん断に対して、着目する接合部が最も厳しくなるように決定した。引張接合に用いる高力ボルトは M22(F10T)とし、ねじ部の断面積は、M22 の有効断面積 303mm²とした。ボルト孔は拡大孔 26.5mm とした。解析に用いた材料特性を表-1 に示す。

3. 解析ケース

ボルト配置は、文献 2)に基づく試設計の結果を踏まえ、2 行 5 列を基本とし、ボルト中心間隔、縁端距離、および施工性に配慮し決定している。また、ティーフ

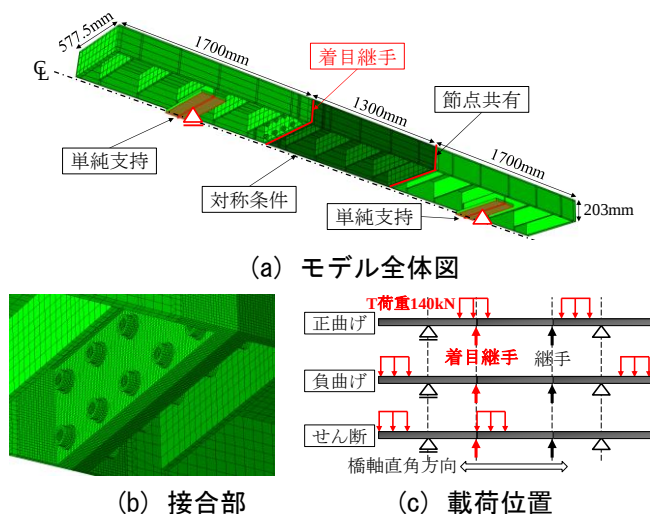
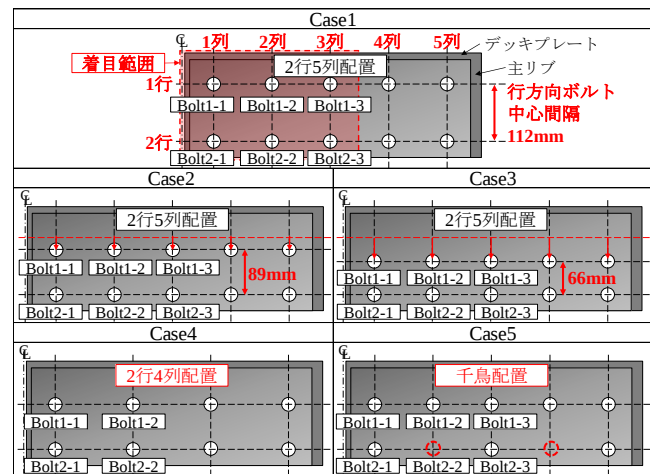


図-1 解析モデル

表-1 材料特性

	ヤング率 E (MPa)	ポアソン比 ν	降伏点 σ_y (MPa)	構成則
鋳鉄床版(FCD550)	170,000	0.28	350	完全弾塑性
高力ボルト(F10T) 座金	200,000	0.3	900	バイリニア型 $E/100$

表-2 解析ケース



ランジ厚は、別途行った解析結果から 32mm とした。

解析ケースを表-2 に示す。基準となる Case1 は、1 行目ボルトと 2 行目ボルトを、デッキプレートとリブ下端にそれぞれ寄せて配置した。Case2 と Case3 は、1 行目ボルト位置をリブ下端に寄せ、行方向ボルト中心間隔を Case1 の 112mm からそれぞれ 89mm, 66mm とした。さらに、ボルト本数の削減を目的に、Case4 の 2 行 4 列配置と、Case5 の千鳥配置を検討した。

4. 解析結果と考察

本検討では、接合部において断面力を確実に伝達できるように、主として、ボルト軸力および接合面の Mises 応力について照査した。ここで、ボルト軸力の制限値は、許容ボルト軸力 246kN ではなく、より厳しくなる疲労により定めることとし、文献 2) に示す一定振幅応力に対する打ち切り限界を軸力増加に換算した 218kN とした。一方、Mises 応力の制限値は、FCD550 の許容応力 205MPa とした。また、着目する範囲は、表 2 の Case1 に示すように、中央の主リブから 3 列目のボルトまでとした。

図-2 に、解析で得られたボルト軸力 B および Mises 応力を、制限値で無次元化してまとめた結果を示す。

(1) 接合部の荷重伝達メカニズム

Case1 における、荷重 P —ボルト軸力 B 関係を図-3 に、接触圧分布を図-4 に示す。軸力増加および接触圧の変化は、正曲げでは主リブ近傍の 1 列目ボルトにおいて、負曲げではデッキプレート側の 1 行目ボルトにおいて見られる。また、図-5 に示す主応力線図より、正曲げでは主リブから、負曲げではデッキプレートから引張力が伝達されていることが確認できる。したがって、正曲げでは主リブをティーウェブとする T 継手として、負曲げではデッキプレートをティーウェブとする L 継手として、荷重に抵抗すると考えられる。

せん断力が作用した場合、図-6 に示す接合面相對変位が 0.01mm 程度と小さいことから、接合部はすべりに対して十分安全であると考えられる。

(2) 行方向のボルト中心間隔

Case1 では、負曲げに比べ正曲げの方が厳しい結果となったことから、Case2 と Case3 では、1 行目ボルトを主リブ下端に寄せ、正曲げに対して 1 行目ボルトの荷重分担を増やすことを試みた。図-2 に示すように、正曲げに対しては制限値を下回ったものの、負曲げに対しては Case3 で制限値を上回る結果となった。

(3) ボルト本数の削減

行方向ボルト中心間隔を Case2 の 89mm とし、さらなるボルト本数の削減を試みた。図-2 に示すように、2 行 4 列配置とした Case4 では、負曲げに対して抵抗するボルト本数が減ることから、負曲げにおいて Mises 応力が制限値を上回った。一方、千鳥配置とした Case5 では、荷重を伝達しないボルトを削減したことから、Case2 とほぼ同じ挙動を示した。

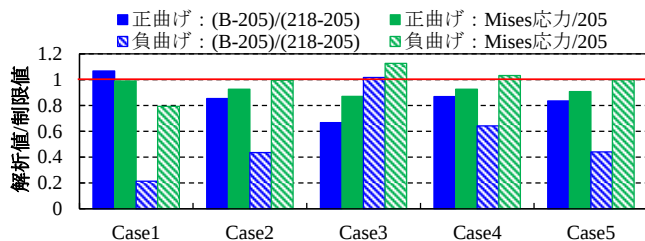
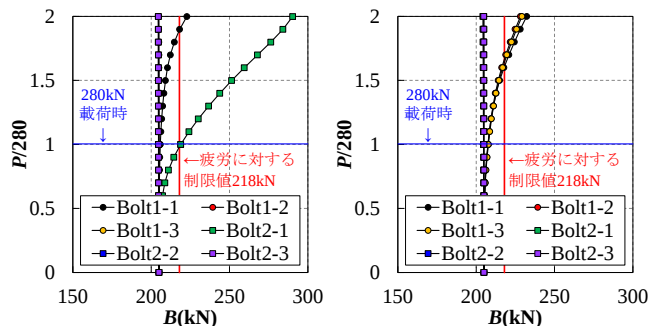


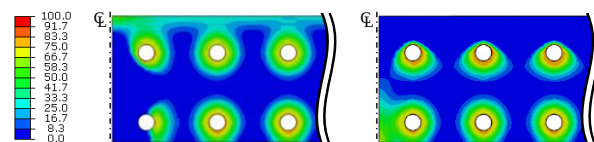
図-2 ボルト軸力 B と Mises 応力の照査



(a) Case1 正曲げ

(b) Case1 負曲げ

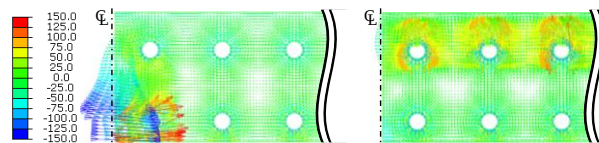
図-3 荷重 P —ボルト軸力 B 関係



(a) Case1 正曲げ

(b) Case1 負曲げ

図-4 接触圧分布(単位: MPa)



(a) Case1 正曲げ

(b) Case1 負曲げ

図-5 主応力線図(単位: MPa)

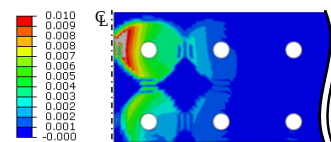


図-6 鉛直方向の相對変位分布(単位: mm)

5. まとめ

得られた主な結果を以下にまとめる。

- (1) 鋳鉄床版モジュール接合部において、高力ボルト引張接合継手が成立することを確認した。
- (2) 荷重伝達のメカニズムは、正曲げに対しては T 継手、負曲げに対しては L 継手である。
- (3) 効果的なボルト配置として、荷重伝達に寄与しないボルトを削減した千鳥配置が考えられる。

今後の課題として、接合面の離間量が舗装に与える影響について、検討を行う予定である。

<参考文献>

- 1) 飛永浩伸, 村山稔, 佐伯英一郎, 玉越隆史, 山口栄輝, 三木千壽: 球状黒鉛鋳鉄の道路橋床版への適用に関する基礎的研究, 鋼構造論文集, 第 24 巻第 95 号, pp.13-24, 2017.9.
- 2) 日本鋼構造協会: 橋梁用高力ボルト引張接合設計指針, 2004.5.