

第 I 部門

高力ボルト間隔に着目した鋼 I 桁腹板の当て板断面補強に関する研究

大阪市立大学工学部 学生員 ○石田 健人
(株)建設技術研究所 正会員 松本 崇志

大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司
大阪市立大学大学院 正会員 林 巖

1. はじめに

近年増加する床版取替え工事において、設計活荷重の引き上げや既設合成桁の非合成化により、既設鋼桁の耐荷力不足が問題となっている。その補強工法として摩擦接合用高力ボルトを用いた当て板工法が多く採用されているが、現状では高力ボルトの配置間隔などの構造詳細に関する基準は整備されていない。著者らは、当て板補強した際の高力ボルト間隔と補強範囲が主桁の断面補強効果に及ぼす影響について検討しているが、部材の塑性化や摩擦接合用ボルトによる当て板とウェブ間の摩擦力の影響は考慮していなかった。

本研究では、当て板とウェブ間のすべりを考慮した解析モデルにより、当て板補強の高力ボルト間隔が主桁の断面補強効果に及ぼす影響について検討した。

2. 当て板補強設計

対象橋梁は 4 主桁の鋼単純活荷重合成桁であり、図-1 に示す G1 主桁に着目した。鋼桁の補強部材はアングル材とし、補強後のフランジ縁端の発生応力が許容応力度に対して 10% 程度の余裕を確保できるようにした。補強は、補強遷移区間を検討することも勘案し、図-1 に示す BLOCK4 のみとし、それ以外は現況断面とした。高力ボルトの配置間隔は、平成 24 年道路橋示方書¹⁾ (以下、道示) で規定されている曲げによるせん断力を受ける板を水平方向に連結する場合の式(1)を参考に決定した。

$$\rho_h = \frac{S \cdot Q}{I} \cdot \frac{p}{n} < \rho_a \quad (1)$$

ここに、 ρ_h ：水平方向に接合するボルトに作用する力、 S は計算する断面に作用するせん断力、 Q ：部材の総断面の中立軸周りのせん断力を計算する接合線の外側の断面 1 次モーメント、 I ：部材の総断面の中立軸回りの断面 2 次モーメント、 p ：ボルトピッチ、 n ：接合線直角方向のボルト本数、 ρ_a ：ボルトの許容力である。

なお、式(1)における S は死活荷重時に当て板とウェブの接合面端部に作用するせん断力とし、接合線直角

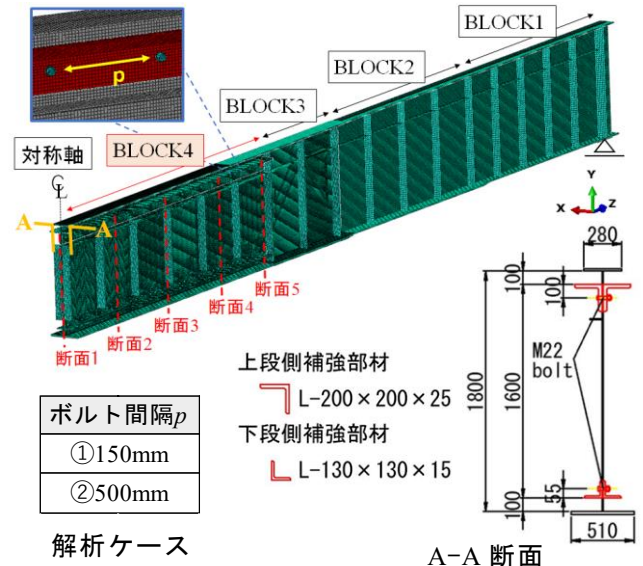


図-1 解析モデル (単位:mm)

表-1 材料特性

部材	材質	ヤング係数 E(N/mm ²)	降伏点 σ_y (N/mm ²)	ひずみ硬化係数 (N/mm ²)
上下フランジ、 ウェブ、補強部材	SM490Y	2.0×10^5	355	2.0×10^3 (E/100)
水平・垂直補剛材、 ソールプレート	SS400		235	
高力ボルト(M22)	F10T		900	

方向のボルト本数 n は 1 本とした。計算した結果、道示の最大中心間隔 150mm を大幅に上回る 500mm のボルトピッチでも式(1)を満足した。

3. 解析モデル

解析には、汎用有限要素解析コード Abaqus2018²⁾を用い、弾塑性有限変位解析を実施した。解析モデルは、図-1 に示すように G1 主桁の支間中央に対称条件を付与した 1/2 モデルとし、当て板接合部は 8 節点低減積分ソリッド要素、その他の部材は 4 節点低減積分シェル要素によりモデル化した。解析に用いた材料特性を表-1 に示す。構成則は、鋼材の降伏および加工硬化を考慮したバイリニア型の弾塑性体とした。

座金-ボルトヘッド間、およびナット間の接触面は結合し、補強部材-ウェブ間には摩擦係数 0.45、その他接合面のそれは 0.01 としてクーロン摩擦を与えた。境界条件は両端可動支承とし、載荷荷重は、断面計算で算出される上下フランジの直応力が FE 解析の結果と

同等となるように、死荷重強度と活荷重強度を決定し、付与した。

解析ケースは、道示で規定される高力ボルト摩擦接合の最大中心間隔 150mm（以下、p150）と式(1)より算出したボルト中心間隔 500mm（以下、p500）とした。

4. 解析結果と考察

図-2 には、図-1 における断面 1~5 の腹板上下縁の直応力を示す。断面 1 は支間中央、断面 2~4 は支間中央からそれぞれ 1500、3000、4500mm の位置、断面 5 は補強部材の最縁端ボルト位置である。なお、図中の数値は直応力の値を示している。図-3 には、補強区間における橋軸方向の中立軸位置の変動を示す。

図-2 より、p150 の断面 1~4 では、腹板の発生応力は許容応力度以下となっているが、断面 5 では許容応力度を超過している。一方、p500 では全ての断面において許容応力度を超過している。

図-3 より、断面中立軸については、p150 では、支間中央から 2 パネル目まで完全剛結の場合と同じであり、支間中央から 3~6 パネル目にかけては完全剛結の場合に比べて徐々に低下している。一方、p500 では、全断面において、完全剛結時に比べて大幅に低下している。

以上のことから、式(1)より算出したボルト間隔では全断面において、道示で規定される最大中心間隔では補強区間の端部において、所要の断面補強効果を得ることができなかった。

図-4 に p150、p500 それぞれの当て板とウェブの接触状態を示す。凡例の「固着」は接合面に作用する摩擦応力が臨界せん断応力未満の状態、「すべり」はそれが臨界せん断応力に達している状態を表す。

p500 において、上側補強部材ではほぼ全ての高力ボルト位置で、下側補強部材では端部から 5 本目の高力ボルトまですべりが生じている。一方、p150 において上側補強部材では端部から 10 本目まで、下側補強部材では端部から 2 本目まですべりが生じている。

5. まとめ

本研究では、当て板とウェブ間のすべりを考慮した解析により、当て板補強のボルト間隔の違いによる補強効果について検討した。得られた結果を以下に示す。

1) 腹板に作用する水平方向のせん断力に基づいて当て板補強の高力ボルト間隔を決定した場合、当て板のすべりに起因して、所要の断面補強効果を得ることができなかった。

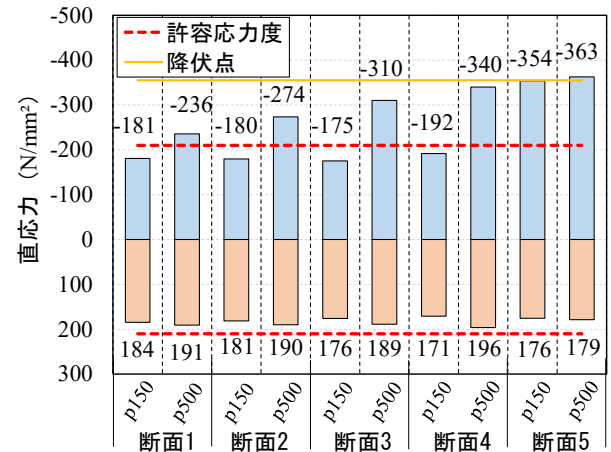


図-2 各断面におけるウェブ上下端の発生応力

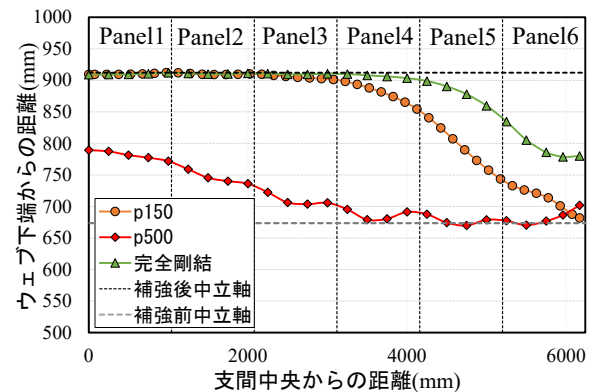


図-3 橋軸方向の中立軸位置の変動

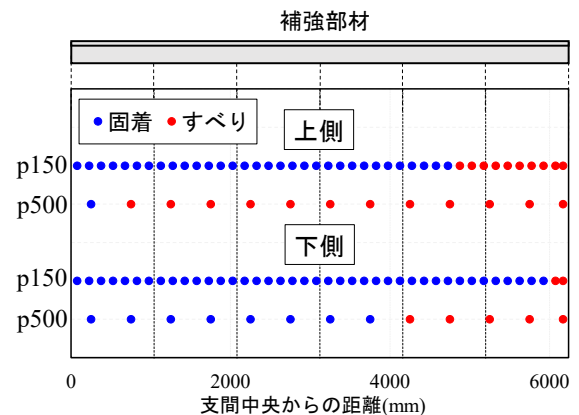


図-4 ウェブ-当て板間の接触状態

- 高力ボルト摩擦接合の最大中心間隔で当て板補強をした場合、補強端部において所要の断面補強効果を得ることができなかったが、補強区間の中央部では所要の断面補強効果を得ることができた。
- 今後は、所要の断面補強効果を得るために必要な高力ボルト間隔や端部補強の方法、さらには端部補強を考慮した補強遷移区間の設定など、荷重伝達メカニズムの解明とともに検討する必要がある。

<参考文献>

- 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2012。
- Dassault Systemes：Abaqus 6.14ja オンラインドキュメンテーション，2018。