

高力ボルトを用いた当て板補強の端部のボルト間隔と主桁補強効果に関する解析的研究

大阪市立大学工学部      学生員    〇石田   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    厳

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<sup>1)</sup>グループでは、当て板補強した際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ているが、摩擦接合用高力ボルトによる当て板とウェブ間の摩擦力の影響を厳密に考慮しておらず、当て板端部のボルト間隔に着目した検討は行っていない．

本研究では、当て板端部のボルト間隔が主桁の断面補強効果に及ぼす影響を明らかにするため、当て板－ウェブ間の摩擦力の影響を考慮した FEM 解析を行う．

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クル材（上側：200x200x25，下側：130x130x15）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設計した．補強は、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<sup>2)</sup>（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．

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

ここに、 $\rho_h$ ：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、 $\rho_a$ ：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

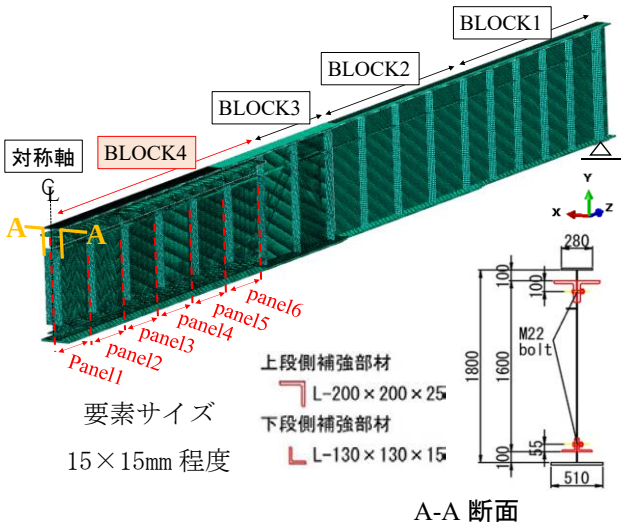


図-1 解析モデル（単位:mm）

表-1 材料構成

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

表-2 解析ケース

| ケース     | ボルト間隔 | 備考                    |
|---------|-------|-----------------------|
| p150    | 150mm | 道示の最大中心間隔             |
| p500    | 500mm | 式(1)より算出した間隔          |
| p500-75 | 500mm | panel6のみ道示の最小中心間隔75mm |

ブの接合面端部に作用するせん断力とし、接合線直角方向のボルト本数  $n$  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 Abaqus2018<sup>3)</sup>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、当て板接合部には 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．

座金およびボルトヘッド、ナットの接触面は結合し、

補強部材とウェブ間の摩擦係数は 0.45, その他接合面は 0.01 とした。境界条件は片側可動支承とし, 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, 表-2 に示す 3 ケースとし, 当て板とウェブの接触面を完全に剛結したケース (以下, 完全剛結) との比較も行った。

#### 4. 解析結果と考察

p500, p150, p500-75 の設計荷重時における当て板とウェブの接触状態を図-2 に示す。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。p500-75 では, p500 に比べて, 上側, 下側補強部材ともにすべりが生じている範囲が大幅に減少しており, p150 と比べてもすべり範囲が低減されている。

補強区間における橋軸方向の中立軸位置の変化を図-3 に示す。p500 では全パネルにおいて, 完全剛結の場合に比べて大幅に低下しているが, p500-75 では, 支間中央から 3 パネル目まで完全剛結の場合と同じであり, 一定の補強効果が得られている。また, p500-75 の中立軸位置は p150 の場合よりも上方に位置しており, p150 以上の補強効果が期待できる。

p500, p150, p500-75 の断面 1~3 のウェブ上下縁に作用する直応力を図-4 に示す。断面 1 は支間中央, 断面 2 は支間中央から 3000mm, 断面 3 は補強部材の最縁端ボルト位置である。同図には, 平面保持を仮定し, 初等梁理論から算出される補強後のウェブ上下縁に作用する直応力度(設計値)を示す。なお, 図中の数字は解析より得られた応力値である。

p500 では断面 1~3 の全てにおいてウェブ上端の発生応力が設計値より大きく, 所定の補強効果を得られていない。一方, p150, p500-75 では断面 1, 2 において設計値と同程度であり, 所定の補強効果を得られた。しかしながら, 断面 3 ではウェブ上端の発生応力は設計値より大きく, 所定の補強効果が得られなかった。

#### 5. まとめ

本研究で得られた主な結果を以下に示す。

- 1) ウェブに作用する水平せん断力に基づいて当て板補強のボルト間隔を決定した場合, 当て板端部のボルト間隔のみ縮小することで, 所定の補強効果を得られた。
- 2) 道示の最大中心間隔でボルトを均等配置するよ

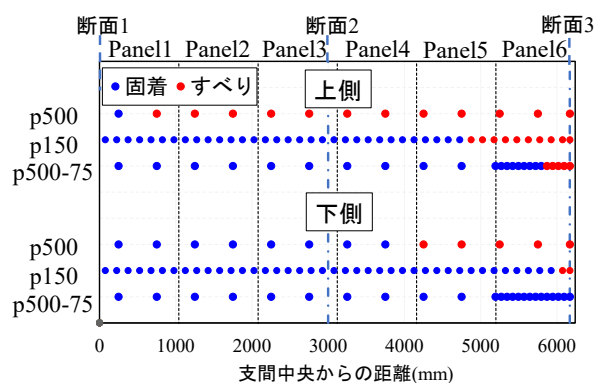


図-2 ウェブ-当て板間の接触状態

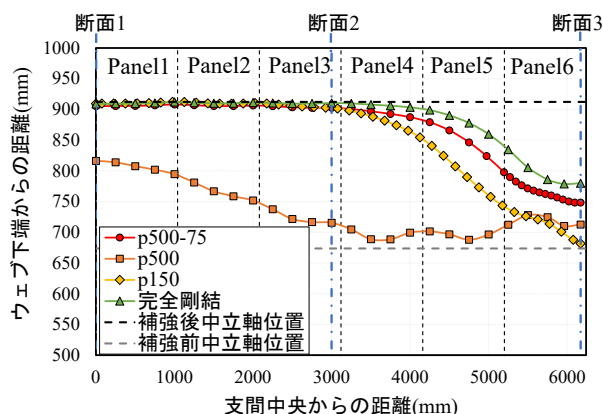


図-3 橋軸方向の中立軸位置の変化

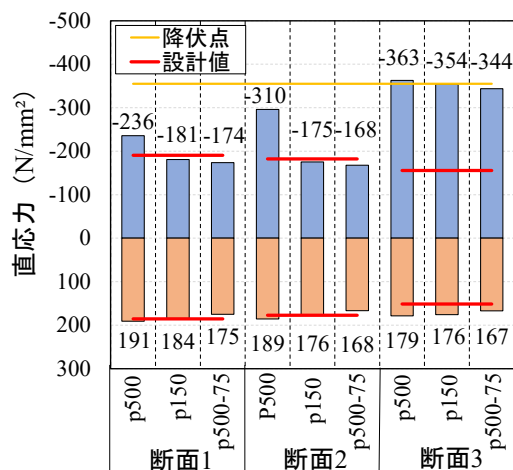


図-4 各断面におけるウェブ上下端の発生応力

りも, 当て板端部の 1 パネルのみ道示の最小中心間隔で配置する方が, 当て板とウェブ間のすべり範囲は低減し, 補強効果も大きくなった。

- 3) ただし, 当て板端部の 1 パネルを道示の最小中心間隔でボルト配置した場合でも, 当て板端部では, 所定の補強効果が得られず, 補強区間の延長などの検討が必要である。

#### <参考文献>

- 1) 松本崇志, 小林駿祐, 山口隆司: 現場接合部を含む当て板による主桁断面の曲げ補強効果と補強範囲に関する解析的検討, 鋼構造論文集, Vol.28, No.109, pp63-77, 2021.3
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説II鋼橋編, 2012.
- 3) Dassault Systemes: Abaqus 6.14ja オンラインドキュメンテーション, 2018