

第 I 部門 曲げとせん断を受ける高力ボルト摩擦接合鋼桁連結部の協働すべり挙動に関する基礎的検討

大阪公立大学大学院 学生員 ○佐倉 亮
 阪神高速道路 (株) 正会員 谷口 祥基

大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司
 阪神高速道路 (株) 正会員 西村 美紀

1. 研究背景および目的

鋼 I 桁高力ボルト摩擦接合連結部 (以下, 桁接合部) はフランジ継手とウェブ継手の断面全体ですべりに抵抗する協働作用を有している¹⁾. 道路橋示方書 (以下, 道示)²⁾では, 曲げモーメントを受ける桁接合部の場合, 継手各部の曲げ応力分布に従って設計され, せん断力を受ける場合は, ウェブ継手のボルトが均等に負担するものとして設計される. 協働作用を考慮した桁接合部全体のすべり挙動 (協働すべり挙動) を解明するためには, 曲げとせん断が同時に作用する場合のせん断力の分担やすべりによる摩擦力の再分配を把握する必要がある.

本研究では, ウェブ継手の列数と曲げモーメントとせん断力の比率を変化させた FEM 解析を実施し, それらが桁接合部の協働すべり挙動や総すべりモーメントに及ぼす影響を評価することを目的としている.

2. 解析モデル

表-1, 2 に対象とした桁接合部の構造諸元, ボルト本数, 導入ボルト軸力を示す. 継手タイプの Type A は接合部を道示に従って設計したもの, Type B は Type A か

表-1 主桁接合部の構造諸元

対象	部位	板幅w (mm)	板厚t (mm)
主桁	上下フランジ	170	19
	ウェブ	800	9
連結板	フランジ1枚もの	170	12
	フランジ2枚もの	70	16
	ウェブ	660	9

表-2 継手タイプ

継手タイプ	Type A		Type B	
	フランジ	ウェブ	フランジ	ウェブ
継手位置	フランジ	ウェブ	フランジ	ウェブ
行数	2	8	2	8
列数	3	3	3	2
合計本数	6	24	6	16
使用ボルト	M16 F10T			
導入ボルト軸力	53 (kN)		53 (kN)	

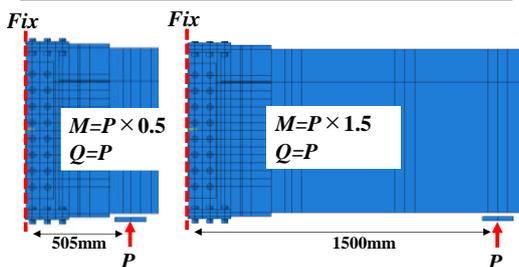


図-1 解析モデル

らウェブ列数を 1 列削減したものである. 設定した曲げモーメントとせん断力の比率は, 図-1 に示すように, $M/Q=0.5, 1.5$ の 2 種類である.

解析ソルバーは Abaqus / standard2018 を用いた. 解析モデルは, 図-1 のように遊間部中央を完全固定とし, 遊間部からの载荷点までの距離を変化させることで, 継手部に作用させる曲げモーメントとせん断力の比率を変化させている. 遊間部中央から 405mm までの範囲を 8 節点低減積分ソリッド要素, その他の範囲を 4 節点シェル要素でモデル化した. メッシュサイズはそれぞれ 1 辺 3mm, 50mm とした.

接触条件には, 等方性クーロン摩擦を用いた. 母材-連結板間の静止摩擦係数は, 文献 1) と同様に 0.85 を採用し, 連結板-座金間と座金-ボルト頭部間の静止摩擦係数は 0.01 とした. 導入した材料特性については, 基礎的研究として, 摩擦力の分担およびすべり荷重のみに着目するため, ヤング率 200GPa, ポアソン比 0.3 の弾性解析とした.

3. 解析結果

図-2 にすべり荷重時の载荷荷重から算出した作用せん断力 Q と作用モーメント M を示す. 縦軸は式(1)から算出した設計総すべりモーメント M_{SL} で, 横軸はウェブ継手の設計すべり耐力 Q_{SL} で無次元化している.

$$M_{SL} = \sum(\rho_{li} \times d_i) \tag{1a}$$

$$Q_{SL} = m_w \times \rho_{li} \tag{1b}$$

ここに, ρ_{li} : i 行目すべり耐力 (フランジ継手, ウェブ継手), d_i : 中立軸から i 行目までの距離, m_w : ウェブ継手の行数である.

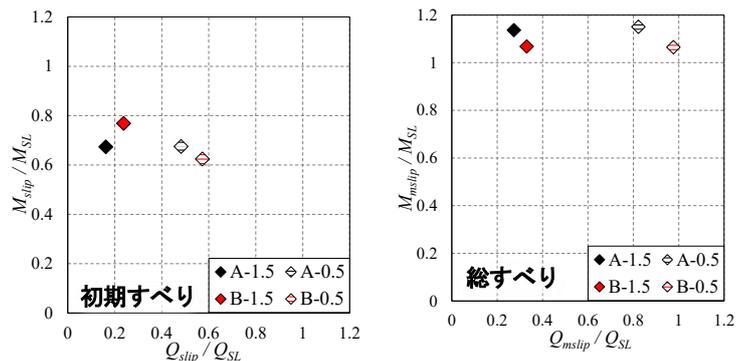


図-2 すべり荷重と曲げモーメント-せん断力の関係

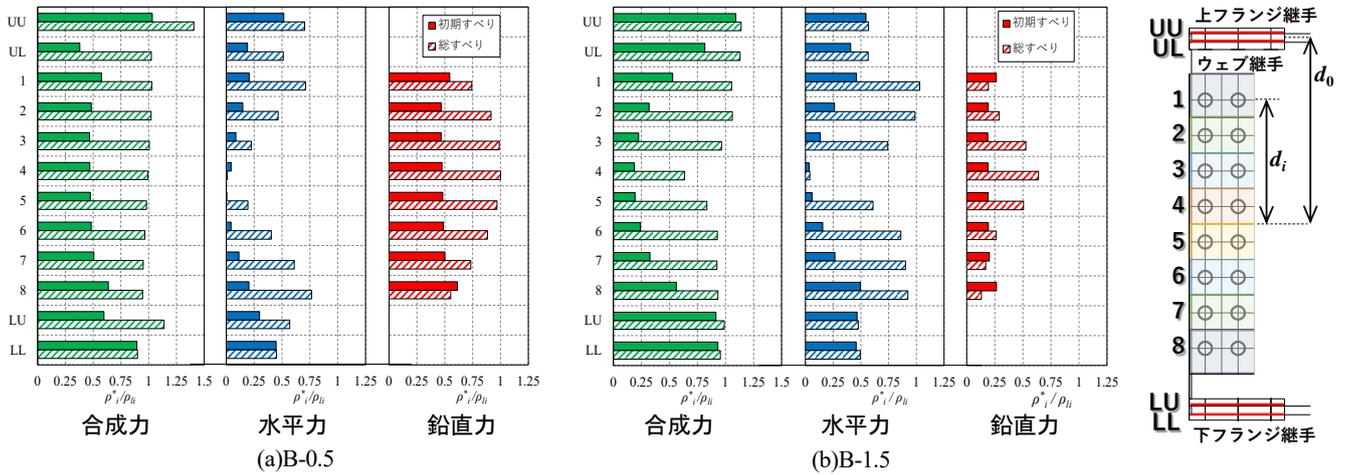


図-3 フランジ継手およびウェブ継手各行の伝達摩擦力

また、すべり荷重は文献 1)と同様に下フランジ継手中側ボルトと、ウェブ継手 5 行目 (図-3) のボルト軸力の変動により判定した初期すべりと総すべりの 2 種類を定義した。

図-2 より、ウェブ列数が 3 列の Type A はせん断力の割合が増加しても初期すべりモーメント M_{slip} / M_{SL} はほとんど変化していないが、ウェブ列数が 2 列の Type B のそれは 0.1 程度低下しており、せん断力が作用することによる、ウェブ継手の最外縁ボルトの作用力が増加する影響が表れている。一方、総すべり時においては、ウェブ列数が減少してもせん断力の割合による M_{mslip} / M_{SL} の変化はほとんど見られず、せん断力の比率が大きくなる影響が小さくなっていることがわかる。

図-3 に Type B の初期すべり時と総すべり時のフランジ継手とウェブ継手各行の伝達摩擦力を示す。

図-3 より、鉛直方向 (せん断力) の伝達摩擦力は、初期すべりまで道示で想定されている挙動と同様に各ボルト行で均等に伝達している。その後、総すべり時には、曲げによる作用力が小さい中立軸周辺での鉛直方向の伝達摩擦力が大きくなっている。このように、曲げとせん断が作用する桁接合部の協働すべり挙動は、曲げによる作用力 (水平方向) との合成力が最も大きくなる最外縁行においてすべりが先行し、その後未すべり部の中立軸周辺が摩擦力に抵抗しながら総すべりに到達する。

図-4 に Type B のウェブ継手のみを接合した場合のすべり荷重を示す。ウェブ最外縁行のすべりが発生すると、ウェブ継手のすべりが進行し、せん断力の影響が大きくなる前に、大きく剛性が低下する挙動を示した。よって、上述したウェブ継手のせん断力への抵抗メカニズムは、フランジとウェブの両方を接合した状態でのみ成立す

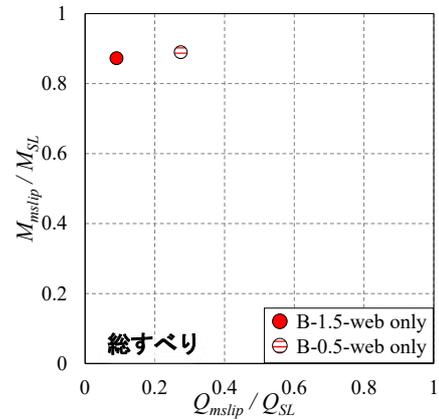


図-4 ウェブ継手のみを接合した場合のすべり荷重

ると考えられる。

4. まとめ

本研究は鋼 I 桁摩擦接合継手を対象に FEM 解析を行い、ウェブ継手の列数と曲げモーメントとせん断力の比率が協働すべり挙動に及ぼす影響を考察した。

- 1) せん断が作用する桁接合部は、初期すべりまでウェブ継手のボルトがおおよそ均等にせん断力に抵抗し、その後未すべり部の中立軸周辺が摩擦力に抵抗しながら総すべりに到達する。
- 2) せん断が作用することで、曲げによる作用力 (水平方向) との合成力が最も大きくなる最外縁行のすべりが誘発されるため、せん断力の比率が増加すると初期すべり荷重は 10%程度低下した。一方で、総すべりに対しては、曲げのみの場合において有効に働かない中立軸周辺がせん断力に抵抗するため、せん断力がすべり荷重の低下に及ぼす影響は小さい。

参考文献

- 1) 佐倉亮, 山口隆司: ウェブ継手のボルト配置が高力ボルト摩擦接合鋼桁連結部の協働すべり挙動に及ぼす影響に関する解析的検討, 構造工学論文集, Vol. 69A, pp. 487-499, 2023.
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II鋼橋・鋼部材編, 2017.