

鋼 I 桁高力ボルト摩擦接合継手の協働作用を考慮した設計法に関する基礎的実験

大阪市立大学大学院

学生会員

○佐倉 亮

大阪市立大学大学院

正 会 員

山口 隆司

阪神高速道路 (株)

正 会 員

青木 康素

1. 目的

道路橋示方書(以下、道示)¹⁾では、曲げモーメントを受ける鋼 I 桁の高力ボルト摩擦接合継手を設計する場合、フランジおよびウェブのボルト本数は曲げ応力分布に従って個々に算出される。また、ウェブ継手の形状は最外縁行の必要ボルト列数によって決定される。しかし、実際の I 桁接合部のすべり挙動はフランジ継手とウェブ継手の協働作用によって接合部全体ですべりに対して抵抗すると考えられており、文献 2)では、協働作用を考慮した桁接合部全体のすべり耐力評価法として式(1)の総すべり耐力 M_{SL} 算出方法が提案されている。

$$M_{SL} = \sum \varphi_m \cdot \varphi_s \cdot \rho_{li} \cdot d_i \quad (1)$$

ここに、 φ_m : 曲げモーメント補正係数(フランジ:1.0, ウェブ:0.8), φ_s : すべり耐力補正係数, ρ_{li} : i 行目すべり耐力, d_i : 中立軸から i 行目ボルト位置までの距離である。

式(1)の想定する桁接合部のすべり挙動は、すべてのボルト行が同時にすべり限界に到達することを想定しているが、実際の桁接合部のすべり時変位分布は均一

にならないため、すべり挙動は不明確であり、実務設計において式(1)の適用には至っていない。

本研究では、鋼 I 桁高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動を評価するため、ウェブ継手のボルト列数とフランジボルト軸力をパラメータとした鋼 I 桁摩擦接合継手の純曲げ載荷実験を行った。

2. 実験概要

表-1 に示すように供試体は 3 体用意した。Type A は道示に従ってフランジとウェブを個々に設計したもの、Type B は Type A のウェブ列数を 1 列削減し、フランジ継手とウェブ最外縁行の群としてのすべり耐力が Type A と同じになるように設計したもの³⁾、Type C は Type A のウェブ列数を 1 列削減したものである。なお、Type B では群としてのすべり耐力を同じとするため、フランジ継手の締付けボルト軸力を増加させた。

図-1 に供試体の構造諸元を、表-2 に設計耐力を示す。載荷方法は 4 点曲げ載荷を行った。

3. 結果と考察

フランジ継手すべり荷重をフランジ継手の端部(計

表-1 供試体の比較

ケース名	Type A	Type B	Type C
連結板形状	フランジ: $6\rho_s$ ウェブ最外縁行: $3\rho_s$ 着目部合計: $9\rho_s$ ρ_s : ボルト 1 本あたりのすべり耐力	フランジ: $6\rho_s \times 123.7 / 106 = 7\rho_s$ ウェブ最外縁行: $2\rho_s$ 着目部合計: $9\rho_s$	フランジ: $6\rho_s$ ウェブ最外縁行: $2\rho_s$ 着目部合計: $8\rho_s$
ボルト配置	道示設計接合部 U-FLG: 2 行 8 列 3 本 WEB: 3 行 3 列 3 本 L-FLG: 2 行 8 列 3 本 合計本数: 6 24 6	協働作用考慮 U-FLG: 2 行 8 列 3 本 WEB: 2 行 2 列 3 本 L-FLG: 2 行 8 列 3 本 合計本数: 6 16 6	協働作用考慮 U-FLG: 2 行 8 列 3 本 WEB: 2 行 2 列 3 本 L-FLG: 2 行 8 列 3 本 合計本数: 6 16 6
ボルト諸元	使用ボルト: M16(F10T) 導入ボルト軸力 N_d (kN): 106	使用ボルト: M16(F10T) 導入ボルト軸力 N_d (kN): 123.7 106 123.7	使用ボルト: M16(F10T) 導入ボルト軸力 N_d (kN): 106

表-2 供試体の設計耐力 (材料試験結果に基づく)

試験ケース	すべり係数 (フランジ要素継手 試験結果) μ_1	フランジすべり P_{fs} (kN)	ウェブ最外縁行 すべり P_{ws} (kN)	総すべり P_{SL} (kN)	総すべり φ_s 考慮 P_{SLs} (kN)	総すべり式(1) φ_s, φ_m 考慮 P_{SLsm} (kN)	フランジ/ウェブ すべり抵抗モーメント比 $\Sigma M_f / \Sigma M_w$	純断面 降伏 P_{yn} (kN)	総断面 降伏 P_y (kN)	純断面 全塑性 P_{pn} (kN)	総断面 全塑性 P_p (kN)
Type A	0.70	1317	1839	1714	1565	1419	1.31	1583	1941	1794	2185
Type B		1537	1226	1629	1529	1432	2.30				
Type C		1317	1226	1467	1367	1306	1.97				

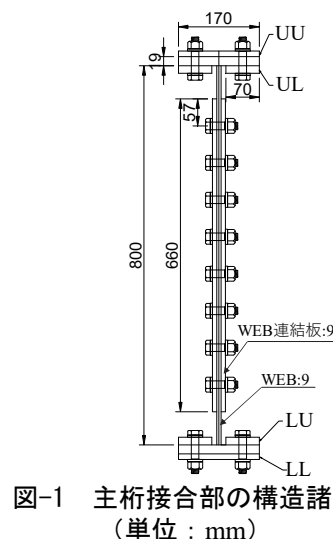


図-1 主桁接合部の構造諸元 (単位: mm)

キーワード 高力ボルト摩擦接合, すべり挙動, 協働作用

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 Tel&Fax06-6605-2765

測位置:LL)における母板-連結板のすべり変位 $\delta_s=0.2\text{mm}$ により判定した P^*_{slip} と下フランジ継手ボルト軸力の低下量がすべり前の2倍となった点 P^*_{slip-b} と定義した。また、主すべり荷重(フランジ継手との協働作用を發揮しながらウェブ継手がすべりに到達した時)をすべり変位増分/荷重増分がフランジとウェブともに増加する点(フランジすべり荷重時のその3倍となった点) P^*_{mslip} と定義した。

図-2に荷重と支間中央鉛直変位の関係を示す。
図-2より、フランジすべり荷重 P^*_{slip-b} における接合部の剛性低下はわずかであり、主すべり荷重 P^*_{mslip} においては接合部の剛性が大きく低下している。

図-3に示すフランジすべり荷重時と主すべり荷重時における高さ方向のすべり変位分布より、フランジすべり荷重におけるすべり変位は中立軸からの距離に比例せず、下フランジのすべりが先行して発生した。また、主すべり荷重時において、ウェブ最外縁行が大きく増加した。よって、桁接合部のすべりはフランジ→ウェブ最外縁行→中立軸周辺の順に発生すると考えられる。

表-3に定義したすべり荷重と設計値との比率をそれぞれ示す。

表-3より、フランジすべり荷重の P^*_{slip} と P^*_{slip-b} はおおよそ同じ荷重となった。また、フランジすべり荷重と主すべり荷重はType B>Type A>Type Cの順となった。主すべり荷重と設計フランジすべり耐力の比率 P^*_{mslip}/P_{fs} は1.35~1.5となった。すなわち、主すべり荷重 P^*_{mslip} が設計フランジすべり耐力 P_{fs} より大きく、フランジ継手とウェブ継手の協働作用が確認できる。

主すべり荷重と総すべり耐力の比率 P^*_{mslip}/P_{SL} は1.15~1.27となり、Type B>Type C>Type Aの順となった。この順はフランジとウェブのすべり抵抗モーメント比 $\Sigma M_f/\Sigma M_w$ の大小関係と同じである。これは、Type Cのようにウェブ列数を削減することによって、中立軸回りのボルトがすべりに対して有効に働くと考えられること、ウェブ列数を削減し、フランジすべり耐力を増加させることでフランジへの荷重分担を増加させることができると考えられるためである。

3. まとめ
- 1) 桁接合部のすべりはフランジ→ウェブ最外縁行→中立軸周辺の順に発生する。また、曲げ剛性が大きく低下するのは、ウェブ最外縁行がすべり始める主すべり時であり、その荷重は設計フランジすべり耐力より大きい。
- 2) フランジとウェブのすべり抵抗モーメント比 $\Sigma M_f/\Sigma M_w$ が増加すると、主すべり荷重と総すべり耐力の比率 P^*_{mslip}/P_{SL} は大きくなった。
- 3) 道示設計からウェブ列数を削減し、ウェブ最外縁行の削減したボルト本数に相当するすべり耐力をフランジに割り増すことで、すべりに対する協働作用が大きくなり、桁接合部全体のすべり耐力は増加する。

謝辞
本実験の実施にあたって、小野秀一氏をはじめとする(一社)施工技術総合研究所の皆様にご協力いただいた、ここに記して謝意を示す。

参考文献

1.(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I共通編 II鋼橋編，2017.11.

2.土木学会 鋼構造委員会：高力ボルト摩擦接合継手の設計法に関する調査検討委員会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案)

3.石川誠，亀井義典，西村宣男：曲げを受ける鋼1桁高力ボルト継手部の限界強度に関する解析的検討，土木学会論文集，No. 759/I-67, pp. 157-170, 2004.4.

