

高力ボルト軸力のばらつきが摩擦接合継手のすべり耐力に及ぼす影響

片山ストラテック 正員 小林 剛 片山ストラテック 正員 石原靖弘
 日本構研情報 正員 狩野正人 大 阪 市 正員 亀井正博
 近 畿 大 学 正員 谷平 勉

1. まえがき

鋼橋の代表的な接合構造である高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力は、継手の形状が決まれば基本的にボルト軸力とすべり係数の積で表される。これらは施工当初からばらつきを有しており、経年的にも変化することが知られている。著者らは高力ボルト摩擦接合の耐久性評価を目的に、実橋を中心としてボルト軸力やすべり係数の経年変化状況を調査してきたが、現実には残存ボルト軸力が低く、またばらつきも意外に大きいことがわかってきた¹⁾。

そこで、高力ボルト軸力の低下やばらつきが継手のすべり耐力に及ぼす影響を調査すべく、実物大の桁継手を用いた載荷実験を行った²⁾。その結果、変動係数 10% 程度のばらつきでは継手のすべり耐力に影響しないという結果になった。しかし、実橋調査結果においては最大で変動係数 30% 程度のばらつきが見られるため、変動係数をパラメータ (0% ~ 30%) とした FEM 解析を実施し、ばらつきの影響を確認することとした。

さらに、高力ボルト摩擦接合継手のすべり以降の終局耐力についても言及したので以下に報告する。

2. 解析概要

図-1 に解析モデルを示す。ここでは対称性を考慮して、桁全体の 1/2 を解析対象とした。母材、添接板および補剛材は平面の 4 節点アイソパラメトリックシェル要素でモデル化し、材料の降伏は考慮していない。高力ボルトは、母材 - 添接板間のせん断力を伝達し、かつすべり挙動が表現できる非線形のばね要素でモデル化した。図-2 に模式図を示す。

せん断ばねの非線形性は図-3 に示すように³⁾、ボルト軸力(N)×すべり係数(μ)に相当するすべり限界せん断力(S_0)までは、ばね定数 $k = \infty$ とし、すべり限界せん断力(S_0)に達すると、すべりが発生し、ばね定数 $k = 0$ とする。板のせん断変形、鋼板のポアソン比に起因するボルト軸力の変動、およびすべり限界せん断力の変動は考慮していない。すべり係数は文献(4)を参考に 0.59 とした。またボルト径およびボルトの孔径を考慮して支圧状態の判定を行い、支圧状態に達すると同時に解析終了とした。なお解析には MSC/NASTRAN を用いた。解析に用いたパラメータは変動係数であり変動係数を 0%(ボルト軸力のばらつきなし)、10%、20%、30%に変化させて解析を行った。

3. 解析結果

導入軸力 130kN および 90kN における解析結果と実験結果をそれぞれ図-4、5 に示す。また表-1 に支圧状態となった時の曲げモーメントと回転角の値を示す。両図および同表より、ボルト軸力のばらつきの影響に

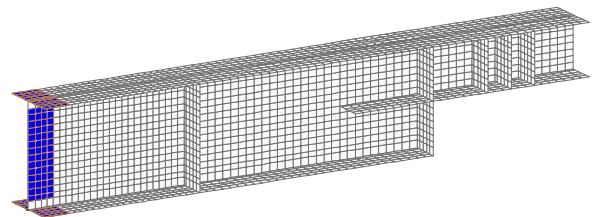


図-1 FEM 解析モデル

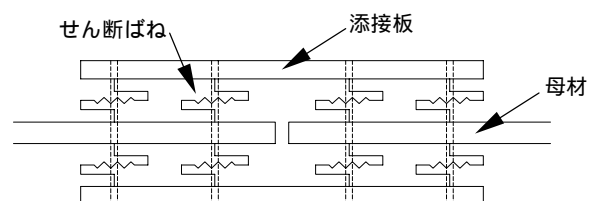


図-2 非線形ばね要素によるボルトのモデル化

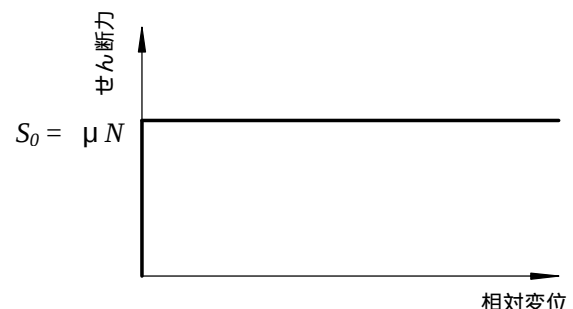


図-3 せん断ばねの特性

キーワード：高力ボルト摩擦接合、軸力低下、ばらつき、FEM 解析、すべり耐力

連絡先：片山ストラテック(株) 〒551-0021 大阪市大正区南恩加島 6-2-21 TEL 06-6552-1235 FAX 06-6551-5648

ついて、何れの解析結果においても変動係数を増加させるにしたがって初期のすべりが発生する荷重の低下は見られるものの、すべり耐力の低下は非常に小さいことが分かる。

すべり耐力の評価について、導入軸力 130kN の実験では、支点部付近でウェブのせん断座屈が発生したため、荷重 - 変位曲線が比較的早い段階から非線形性を示しているが、この点を割り引けば、すべり耐力の評価という点では、解析結果は比較的簡単なモデル化にも関わらず、まずまずの精度を有していると言える。

せん断ばねの非線形特性について導入軸力 90kN の実験では、部分的なすべりが生じることによって荷重が大きく減少し、部分的な支圧状態に至った後、さらに荷重が増加している。このような複雑なすべり挙動を解析的に捉えるためには、図-3 に示した非線形特性モデルをすべり発生によってせん断力が低下し、かつ支圧状態を表現できるようなモデルに改良する必要があると思われる。

上記の結果より、高力ボルト摩擦接合継手においてすべり以降の耐荷性能を有効に評価するためには、例えば図-6に示すように $M \sim \theta_r$ 関係を定式化し、許容残留回転角(θ_{ra})を決めることにより終局限界状態を定義するといったことも考えられる。一時的な荷重により継手にすべりが生じても残留回転角が許容値以内であり、全体構造系の耐荷力に問題がなければ、補修は不要とする考えも可能である。今後の課題として、残留回転角が構造全体系の安全性に及ぼす影響も検討する必要がある。

4.まとめ

ボルト軸力のばらつきが高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に及ぼす影響を検討するため、ばらつきの程度（変動係数）をパラメータとし、ボルト部を非線形ばね要素でモデル化した3次元立体FEM解析を行った。その結果、変動係数が0%～30%と大きくなるに従い、すべり強度は若干低下するものの、それ程大きな影響を及ぼさないことが明らかとなった。

なお、本研究は関西道路研究会 道路橋調査委員会 耐久性小委員会（委員長：谷平勉）で行ったものであり、著者らが代表してとりまとめたものである。ご協力をいただいた委員各位に感謝の意を表します。

《参考文献》 1)谷平，亀井，石原，田井戸：17 年間供用された高力ボルト摩擦接合継手のすべり特性に関する実験，土木学会構造工学論文集，Vol.36A,1990.3. 2)小林，石原，谷平，亀井：高力ボルト軸力の低下を考慮した摩擦接合継手部の純曲げ試験，第 56 回土木学会年次学術講演会講演概要集,2001.10. 3)長嶋，伊藤：剛体 - ばねモデルを用いた高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動解析，土木学会論文集，No.350, pp.341-350, 1984.10 4)西村，秋山，亀井：高力ボルト摩擦接合継手に関する最近の研究動向，土木学会論文集，No.675, pp.1-14, 2001.4.

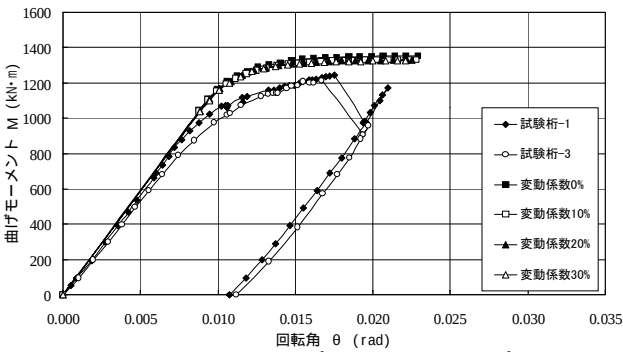


図-4 解析結果（導入軸力 130kN）

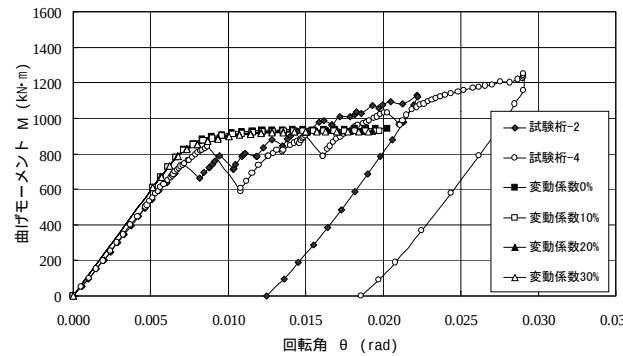


図-5 解析結果（導入軸力 90kN）

表-1 解析結果一覧表（支圧状態）

変動係数		0%	10%	20%	30%
ボルト軸力 130kN	M	1351.4	1330.7	1328.7	1325.7
	θ	0.0229	0.0228	0.0225	0.0221
ボルト軸力 90kN	M	941.1	930.0	928.2	924.3
	θ	0.0203	0.0198	0.0193	0.0190

【単位：M (kN・m) , θ (rad)】

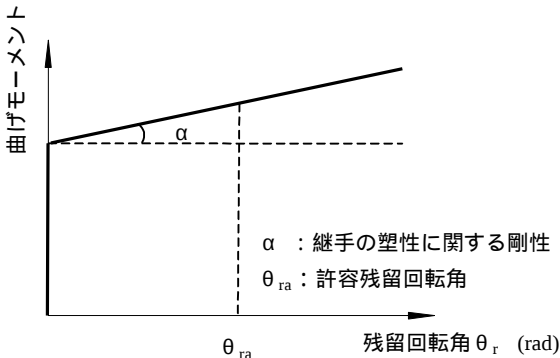


図-6 $M \sim \theta_r$ 関係の定式化