

氏名	森山 仁志
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	第 6436 号
授与報告番号	(甲)第 3661 号
学位授与年月日	平成 29 年 9 月 29 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当者
学位論文名	高力ボルト摩擦接合継手のすべり後支圧限界状態に関する研究
論文審査委員	主査 教授 山口 隆司 副主査 教授 鬼頭 宏明 副主査 准教授 角掛 久雄

## 論文内容の要旨

我が国の道路橋の技術基準である道路橋示方書は限界状態設計法への移行が決まり、部材の塑性変形能を活かした設計方法の検討が進められているが、部材の全塑性モーメントに対応した接合部の設計終局限界は明確となっていない。本研究は、全塑性モーメントに到達するコンパクト断面桁の接合部を対象に、使用限界をフランジ継手とウェブ継手の協働作用を考慮したすべり限界とし、終局限界を変形支圧限界とする限界状態設計法の確立を目指し、引張継手部の変形支圧限界とその耐力評価式の提案、および協働作用を考慮したすべり限界およびすべり耐力評価式の提案を行ったものである。

第 1 章では、摩擦接合継手の力学的挙動および国内外の設計基準を整理し、現状の主桁接合部が有する課題を抽出した上で、本研究の目的および研究の流れを示した。

第 2 章では、ウェブ列数とフランジ継手に配置されるボルトの軸力をパラメータとした I 桁接合部の純曲げ試験を行い、フランジとウェブの協働作用を解明し、それを考慮したすべり限界とすべり耐力評価式を提案した。また、フランジ継手の 5% 変形支圧限界モーメントが桁の全塑性モーメントより大きく、変形支圧限界がコンパクト断面桁の設計終局限界となり得ること、また復旧性を確保していることを示した。

次に、継手構造諸元がボルト孔の変形量と変形支圧限界応力に及ぼす影響を明らかにするために、1 行 2, 3, 5 列継手の引張試験を行った。第 3 章では、ボルト配置間隔に着目してピッチと列数をパラメータとし、ピッチと変形支圧限界応力が線形関係になることを示した。また、各ボルト孔が均等に变形しつつ、変形支圧限界応力が列数によらないためには、端しあき距離とピッチを一致させボルト軸径の 4.5 倍以上とすればよいことを示した。第 4 章では、特に断面形状に着目して板幅・板厚・列数・ボルト軸力をパラメータとし、板幅を端抜け破断耐力と純断面破断耐力の比率が 1.0 となるように調整することで、ボルト 1 本あたりの変形支圧限界応力が最大になることを示した。

第 5 章では、製作・施工誤差に着目して、高力ボルトの片当たり状態をパラメータとし、片当たりが支圧状態におけるボルト孔の変形量に影響を及ぼし、変形支圧限界は各ボルト孔が均等に变形する応力状態が望ましいことを示した。

第 6 章では、1 行 1 列、2 列、4 列継手を対象としたパラメトリックな静的引張解析を行い、引張試験で得られた継手構造諸元と変形支圧限界応力の関係を数値解析により補間した。その結果、変形支圧限界は、各ボルト孔の変形量の差がボルト軸径の 10% 以内となるように、すべてのボルト孔の変形量が 5% に到達した状態、あるいは、いずれかのボルト孔の変形量が 10% に到達した状態とすることを提案した。また、望ましいボルト配置間隔は、端しあき距離とピッチが一致し、端抜け破断耐力・純断面破断耐力・ボルトのせん断耐力が一致する間隔であること、最小端しあきおよび縁りあき距離はボルト軸径の 2.5 倍とすることが望ましいことを示した。さらに、引張試験およびパラメトリック解析の結果に対して重回帰分析を行い、10% 変形支圧限界における設計支圧限界耐力の評価式を提案した。

最後に、第 7 章では、本研究で得られた結論と今後の課題をまとめた。

## 論文審査の結果の要旨

我が国の道路橋の技術基準である道路橋示方書は、許容応力度設計法から限界状態設計法への移行が決まり、部材の塑性変形能を活かした設計も可能となる。限界状態設計法は、部材だけでなく、それらを接合する接合部にも導入されるが、部材の全塑性モーメントに対応した接合部の終局限界は明確にされていないのが現状である。また、現状の桁接合部は、フランジ継手とウェブ継手を個々に設計し、ウェブ列数を最外縁行の必要ボルト本数から決定しており、使用限界の必要ボルト本数が多くなっている。本論文は、今後採用が進むと考えられるコンパクト断面桁の接合部を対象に、使用限界をフランジ継手とウェブ継手の協働作用を考慮したすべり限界とし、終局限界をボルト孔の変形量を指標としたすべり後支圧限界（変形支圧限界）とする限界状態設計法の確立を目標とし、引張継手部の変形支圧限界とその耐力評価式の提案、および協働作用を考慮したすべり限界とすべり耐力評価式の提案を行っている。

はじめに、桁接合部の純曲げ試験を行い、変形支圧限界モーメントが桁の全塑性モーメントより大きく、変形支圧限界がコンパクト断面桁の終局限界になり得ること、および変形支圧限界が復旧性も有していることを示している。すべり限界ではフランジ継手とウェブ継手の協働作用を解明し、それを考慮することでウェブ列数が削減できることを示し、すべり限界とその耐力評価式を提案している。次に、支圧耐力の向上を目的に、引張フランジ継手の構造諸元と変形支圧限界応力の関係を明らかにするために、1行2, 3, 5列継手の要素引張試験を行っている。また、製作・施工誤差に起因する高力ボルトの片当たりが、変形支圧限界の指標であるボルト孔の変形量に及ぼす影響を引張試験で検討している。さらに、1行1列, 2列, 4列継手を対象としたパラメトリック解析を行い、継手の構造諸元と変形支圧限界応力の関係を数値解析により補間し、変形支圧限界およびその設計支圧耐力評価式を提案している。変形支圧限界は各ボルト孔の変形量の差がボルト軸径の10%以内となるように、すべてのボルト孔の変形量が軸径の5%に到達した状態、あるいは、いずれかのボルト孔の変形量が軸径の10%に到達した状態とすることを提案している。また、ボルト配置間隔は、端しあき距離とピッチが一致し、端抜け破断耐力、純断面破断耐力、ボルトのせん断耐力が一致する間隔が望ましいことを明らかにしている。

以上より、本論文は、これまで定性的であったすべり後の支圧状態をボルト孔の変形量を定量評価することで限界状態として成立させ、変形支圧限界と協働作用を考慮したすべり限界によるコンパクト断面桁の接合部の限界状態設計法が実現できることを示しており、新規性・有用性が高く、橋梁工学の発展に寄与するところが大きい。したがって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格を有すると認める。