

大阪市立大学工学部 学生会員 〇森山 仁志 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 松村 政秀 阪神高速道路（株） 正会員 田畑 晶子

1. 研究背景および目的

我が国での、鋼道路橋の高力ボルト摩擦接合部は、道路橋示方書¹⁾に従って、主すべりと部材降伏に対して安全となるように設計が行われている。一方、国外の設計規準^{2,3)}によれば、使用限界状態ではすべり耐力に対して、終局限界状態では支圧耐力あるいはボルトのせん断耐力に対して設計することも可能である。しかしながら、摩擦接合継手のすべり後挙動には未解明な部分が多く、どのような状態を支圧限界とするか、国外の設計基準には明示されていない。戸田ら⁴⁾は、支圧限界状態をボルト孔の変形量で定義し、ボルト孔から縁端までの距離 e をパラメータとする1行1列継手の支圧変形測定実験から支圧限界応力を明らかにした。

本研究では、荷重方向のボルト中心間隔 p (以下、ピッチと呼ぶ)をパラメータとした1行2列継手で戸田らと同様の実験を行い、ピッチがボルト1本当りの支圧限界応力と支圧変形性状に及ぼす影響を検討した。

2. 支圧変形測定実験

2.1 実験方法と供試体設計

図-1に供試体の形状を、表-1に供試体の構造諸元と設計耐力をそれぞれ示す。本実験では、試験機の載荷能力も考慮してM16高力ボルトを使用し、1行2列の2面せん断型継手を対象とした。なお、本実験のパラメータであるピッチ p は、42, 56, 72mmとした。ピッチ56mmは、道路橋示方書で規定されるM22ボルトの標準的な最小ピッチ75mmをM16ボルトのサイズに縮小したものに相当する。ピッチ42mm, 72mmは、規定される最小ピッチより小さい場合と大きい場合に相当する。また、ボルト孔径も同様の考えで17.5mmとしている。

表-1 供試体の構造詳細と設計耐力

鋼種	σ_y	σ_t	N	b	t	e	p/d	P_{slip}	P_{bolt}	P_{e+p}	P_y	P_u
-	N/mm ²	N/mm ²	-	mm	mm	mm	-	kN	kN	kN	kN	kN
SM400A	311	449	2	220	9	56	2.625	170	413	396	623	817
							3.5			453		
							4.5			517		

N : 試験体数, e : 荷重方向の縁端距離 P_s : すべり耐力, P_y : 純断面降伏耐力, P_t : 純断面引張耐力, P_{e+p} : 端抜け破断耐力

支圧変形量 δ は、図-2に示す治具をボルト頭部に装着し、クリップ型変形計によりボルト頭部と母板の相対変位を測定し評価した。なお、試験ではピッチ42mmの端抜け破断耐力(P_{e+p} =396kN)で除荷した。

3. 実験結果

図-3に荷重-継手全体変位の関係を示す。継手全体変位は、図-4に示すように、母板間中央から当て板部までの区間を標点間距離として変位計で計測した。すべてのピッチにおいて、主すべり発生まで変位はほとんど生じず、その剛性はほぼ同じ傾きとなっている。主すべり後は荷重低下の後支圧状態に移行し、ピッチが小さいものから継手全体の剛性が低下した。これは、支圧力により母板が降伏したことが原因と考えられる。

外側ボルト孔の支圧変形量 δ がボルト軸径 d の10,20%に達した時の荷重をボルト本数で除したものを

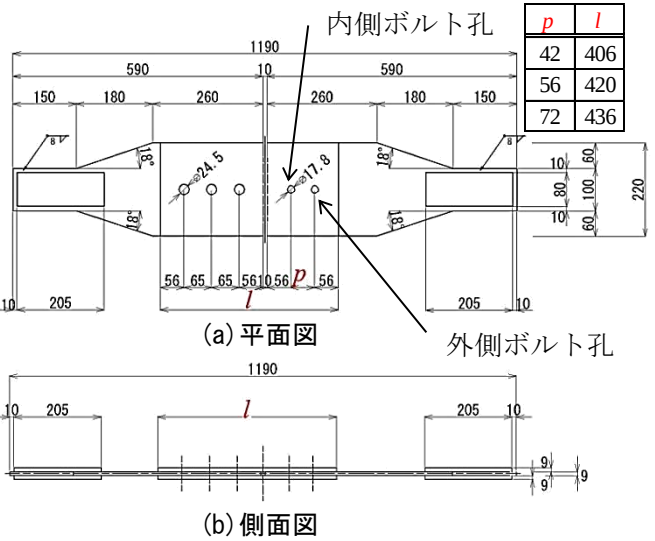


図-1 供試体形状（単位：mm）



(a) 計測状況 (b) 頭部側計測治具
図-2 支圧変形計測用治具

ボルト1本当りの10%, 20%支圧限界耐力とし、これを図-5に示す公称支圧面積で除したものを10%, 20%支圧限界応力とし、無次元化応力でプロットしたものを図-6に示す。

無次元化応力は母板の降伏応力 σ_y で無次元化した。横軸はピッチをボルト軸径で無次元化した。図には各2体の平均値をプロットしている

ボルト1本当りの支圧限界応力は、ピッチが減少するにつれて低下している。 p/d が2.625($p=42\text{mm}$)の場合、ボルト1本当りの支圧限界応力は、戸田らの1行1列試験の結果に比べて、10%変形時では5%程、20%変形時では10%程それぞれ低下している。

図-7に試験後の支圧変形量、図-8に供試体の試験後の変状を示す。ピッチが減少するにつれて、外側ボルト孔と内側ボルト孔の支圧変形量の差は大きくなり、内側ボルト孔は荷重直角方向に変形している。これはピッチが減少することにより、内側ボルトへの荷重分担が小さくなり、外側ボルトに多くの荷重が分担されたこと、また支圧変形を抑えるボルト孔周辺の弾性域が減少したことが原因と考えられる。

4. 結論

本研究では、すべり後耐力にも着目した摩擦接合継手の設計法の確立を目指し、1行2列継手の支圧変形測定実験を行い、ピッチがボルト1本当りの支圧限界応力に及ぼす影響を考察した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 主すべり発生までは、継手全体の剛性はピッチの影響を受けないが、主すべり以降はピッチが短いほど低い荷重レベルで剛性が低下していき、継手全体変位は増加する傾向にある。
- 2) ボルト1本当りの10, 20%変形支圧限界応力は $p/d = 2.625$ ($p=42\text{mm}$)の場合、戸田らの1行1列試験の結果よりも小さくなった。一方、 $p/d = 3.5$ ($p=56\text{mm}$)以上であればそれよりも大きくなった。

今後は、本実験よりボルト本数を増やした1行複数

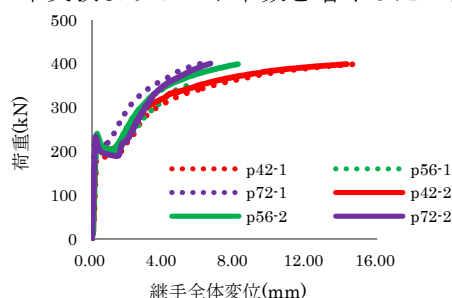


図-3 荷重-継手全体変位関係

列継手で実験を行い、数値解析により支圧状態の母板の応力性状や塑性域の広がり、各ボルトの支圧力を求め、これらより、複数列の支圧限界応力に対応した最適なピッチについて、ボルトの強度と母板の板厚の関係に着目して検討したい。



図-4 継手全体変位の

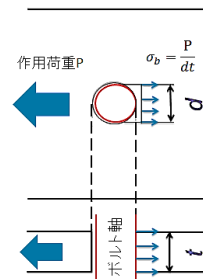


図-5 公称支圧面積

計測方法 (ナット側)

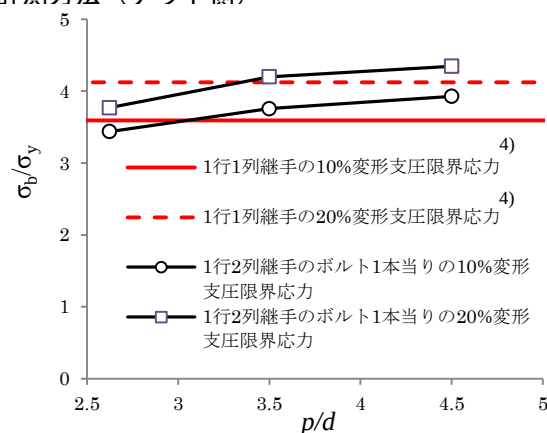


図-6 ボルト1本当りの10%, 20%変形支圧限界応力

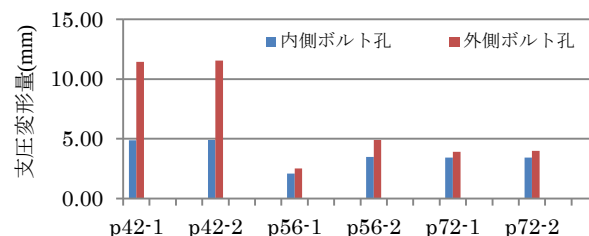


図-7 試験後の支圧変形



(a) ピッチ 42mm



(b) ピッチ 56mm



(c) ピッチ 72mm

図-8 供試体の試験後の変状

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅰ共通編 Ⅱ鋼橋編，2012.3.
- 2) AASHTO：LRFD Bridge design specifications，-2005interim revisions，Washington，D.C.，2012.
- 3) European Committee for Standardizations (CEN)：Eurocode 3，Design of steel structures，Part1.8，Design of joints，EN 1993-1-8，2005.
- 4) 戸田圭彦，山口隆司，松村政秀，直江康司，岑山友紀：高力ボルト摩擦接合継手のすべり以後の支圧変形量と残存摩擦力の定量評価，第66回土木学会年次講演会概要集，2011.9.