

多列厚板高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動に関する引張載荷実験

大阪市立大学大学院工学研究科 学生会員 ○彭 雪 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口 隆司
大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀 (独)土木研究所 正会員 村越 潤
(独)土木研究所 正会員 梁取 直樹 (独)土木研究所 正会員 石澤 俊希

1. 研究背景および目的

近年、コスト縮減の観点から、75mmを超える厚板鋼板を主部材に用い、従来構造より部材数を低減し、製作性にも有利な橋梁が多数建設されている。厚板鋼板の接合に高力ボルト摩擦接合継手（以下、ボルト接合）を適用する場合、継手自体が多列化・大型化する傾向にあるが、すべり耐力、ボルト列数、初期不整等が継手性能に与える影響について定量的に明らかにされるには至っていない¹⁾。そこで、厚板鋼板にボルト接合を適用した場合を対象に、実物大継手部の引張載荷実験（標準すべり試験²⁾）を実施し、ボルト列数、母板厚、すべり/降伏耐力比（以下、 β 値）、肌隙がすべり挙動に及ぼす影響を検討することとした。本研究は、大阪市立大学と土木研究所の共同研究「高力ボルト摩擦接合継手設計法の合理化に関する研究」（平成21～22年度）の一環として実施したものである。

2. 実験概要

本実験では、文献 2) に示される標準すべり試験を参考に、供試体を製作して引張載荷実験を実施した。供試体のボルトの行数は 1 行としている。供試体は、表-1 に示すように母板厚、ボルト列数、 β 値、および肌隙の有無をパラメータとした。表中の下付添字 0.4 と 0.8 は、計算に用いたすべり係数の値を示している。供試体名の最初の英数字はボルトの呼び径を、次の数字が列数を、最後の数字が β 値を表している。表-2 に、本実験における比較項目と供試体との関係を示す。使用鋼材および使用ボルトは使用実態を考慮してそれぞれ SM490Y、M22 (F10T) とした。接合面処理は無機ジンクリッチペイント塗装とし、膜厚は合計 180 μ m になるように管理した。試験機は、各供試体の設計すべり耐力にあわせて、土木研究所所有の 30MN 大型構造部材万能試験機あるいは 2,000kN 疲労試験機を用いた。30MN 大型構造部材万能試験機を用いた試験時の様子を写真-1 に示す。

表-1 試験体の内訳（設計値）

試験体No.	1	5	6	7	15	12
試験ケース名	M22-3-0.38	M22-3-0.21	M22-8-0.49	M22-12-0.47	M22-12-0.95	M22-8-0.5H
試験体数	5	3	3	3	3	3
ボルト M22(F10T) 孔径 24.5mm	本数	3	3	8	12	12
	軸力(kN/本)	205	205	205	205	205
	すべり耐力 _{0.4} (kN)	492	492	1312	1968	1968
	すべり耐力 _{0.8} (kN)	984	984	2624	3936	3936
母材1 SM490Y	板厚(mm)	38	75			
	純断面積(mm ²)	3629	7163	7913	12413	6188
	降伏点(mm ²)	355	335	335	335	335
	降伏耐力(kN)	1288	2399	2651	4158	2073
母材2 SM490Y	板厚(mm)	38	75			
	純断面積(mm ²)	3629	7163	7913	12413	6188
	降伏点(mm ²)	355	335	335	335	335
	降伏耐力(kN)	1288	2399	2651	4158	2073
連結板 SM490Y	板厚(mm)	2*20	2*38	2*38	2*38	2*38
	純断面積(mm ²)	3820	7258	8018	12578	6270
	降伏点(mm ²)	355	355	355	355	355
	降伏耐力(kN)	1356	2577	2846	4465	2226
試験体幅(mm)		120	120	130	190	107
$\beta_{0.4}$		0.38	0.21	0.49	0.47	0.95
$\beta_{0.8}$		0.76	0.41	0.99	0.95	1
接合面の合計膜厚		180				
備考		すべり先行			母材降伏	肌隙

表-2 供試体の比較項目のまとめ

試験ケース名	M22-3-0.38	M22-3-0.21	M22-8-0.49	M22-12-0.47	M22-12-0.95	M22-8-0.5H
板厚の影響	●	●				
ボルト列数の影響		●	●	●	●	
母材降伏影響				●		
肌隙の影響			●			●



写真-1 試験状況

3. 実験結果と考察

供試体に用いた鋼材の材料試験結果を表-3に示す。図-1に母板と母板の相対変位の測定箇所①、および母板と連結板の相対変位の測定箇所②～⑥を示す。図-2に載荷荷重と母板と連結板の相対変位関係の一例を示す。図の縦軸は載荷荷重 P を実験で得られたすべり耐力 P_{sl} で無次元化した値 P/P_{sl} を、横軸はクリップ式変位計で計測した相対変位量を示している。図-2より、すべり先行型の場合、著しい荷重低下とともに変位が大きく増加しており、ここで主すべりが発生したことがわかる。一方、降伏先行型の場合、母板および連結板のボルト孔部において局部的に鋼材が降伏し相対変位が徐々に大きくなっている。そして、ある荷重レベルで相対変位が急増しており、そこで主す

キーワード 高力ボルト摩擦接合、すべり/降伏耐力比、すべり係数、厚板鋼板
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 橋梁工学分野 TEL&FAX 06-6605-2765

べりが発生したと判断できる。引張荷重実験結果のまとめを表-4に、ボルト列数とすべり係数の関係を図-3にそれぞれ示す。縦軸は荷重実験から得られたすべり係数 μ_e を3列の供試体であるM22-3-0.38の荷重実験から得られたすべり係数 μ_{e3} で無次元化した値であり、横軸はボルト列数である。本試験結果から、ボルト列数が8列と12列の比較では、列数がすべり係数に及ぼす影響は小さいものと考えられる。一方、母板厚の影響については、板厚75mmのM22-3-0.21と板厚38mmのM22-3-0.38とを比較すると、板厚75mmの場合のすべり係数が38mmの場合に比べて20%程度低下した。ボルト列数が3列と少ない場合、厚板鋼板の肌隙、そり、エッジの凸凹といった初期不整の影響が大きくなると考えられる。一方、ボルト列数が多い場合にはこの初期不整の影響は相対的に小さくなるものと考えられる。 β 値の影響については、文献2)に示されているすべり係数の低下率値(10%)と比べて、本実験の12列供試体のすべり係数低下率が14%とやや大きくなっており、厚板の影響が大きくなっていると考えられる。肌隙の影響については、M22-8-0.49に対してM22-8-0.5Hのすべり係数が11%低下しており、文献2)で示されている、板厚差1mmに対するすべり耐力の低下率が10%以下と同様の結果であった。

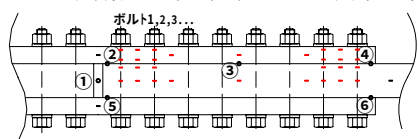


図-1 相対変位の測定箇所

表-3 材料試験の結果(平均値)

鋼種	板厚mm	降伏点 σ_y (N/mm ²)	引張強度 σ_u (N/mm ²)	降伏比 σ_y/σ_u	ポアソン比
SM490	75	377.86	546.46	0.69	0.28
SM490	38	388.82	535.75	0.73	0.27

表-4 実験結果のまとめ

ケース名		すべり耐力 P_{sl} (kN)		すべり係数 μ_e		軸力低下率	
		各体値	平均値	各体値	平均値	各体値	平均値
M22-3-0.38	1	794	828	0.646	0.673	0.07	0.070
	2	827		0.672		0.06	
	3	822		0.668		0.12	
	4	870		0.707		0.03	
	5	-		-		-	
M22-3-0.21	1	658	649	0.535	0.528	0.03	0.035
	2	623		0.507		-	
	3	665		0.541		0.04	
M22-8-0.49	1	2276	2328	0.694	0.710	0.07	0.074
	2	2381		0.726		0.08	
	3	2328		0.71		0.07	
M22-12-0.47	1	-	3452	-	0.702	-	0.085
	2	3529		0.717		0.09	
	3	3375		0.686		0.08	
M22-12-0.95	1	2975	2863	0.605	0.602	0.38	0.390
	2	2750		0.599		0.40	
	3	-		-		-	
M22-8-0.5H	1	2024	2064	0.617	0.629	0.09	0.105
	2	2103		0.641		0.12	
	3	-		-		-	

4. まとめ

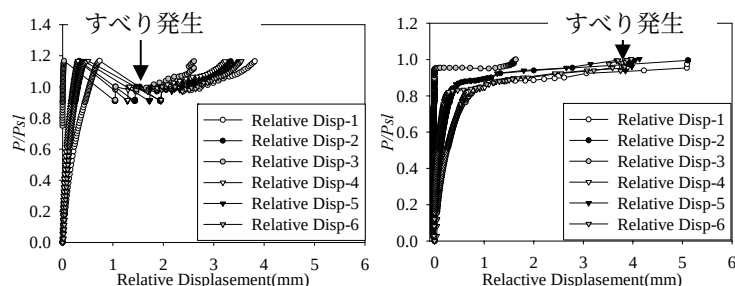
(1) 3列の供試体では、板厚38mmのものは75mmのものに比べて、すべり係数が約20%低下した。ボルト列数が少なく、板厚が厚い場合には肌隙、そり、エッジの凸凹といった初期不整の影響が大きくなり、すべり係数が低下したと考えられる。一方、ボルト列数8, 12列(母材板厚75mm)の場合では、3列(母材板厚38mm)に比べてすべり係数が低下することはなかった。これは、ボルト列が多い場合、上記の初期不整の影響が相対的に小さくなりすべり係数は大きく低下しなかったものと考えられる。

(2) β 値の影響として、母材板厚75mm、ボルト列数12列の供試体において、すべり先行型($\beta=0.47$)と降伏先行型($\beta=0.95$)の比較を行った。降伏先行型のすべり係数は、すべり先行型に比べて約14%低下した。これは、降伏先行型ではすべり発生前に、端部のボルト孔部において局所的な降伏が生じるためと考えられる。

(3) 肌隙によりすべり係数が低下した原因は、ボルト軸力の一部が肌隙分の連結板の弾性変形に使われるため、母板と連結板間の接触力が小さくなるためと考えられる。

今後は、塗膜厚の影響を評価した上で、実橋ボルト配置を想定した場合の初期不整(肌隙、そりなど)をパラメータとした追加実験数値解析を行い、すべり係数に与える影響を評価する。また、実験では、十分にとらえることのできなかった、多列継手におけるすべり発生のメカニズムについても数値解析により解明する必要がある。

参考文献 1)道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編 2002 2)土木学会:高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 2006.



すべり先行型 (M22-12-0.47) 降伏先行型 (M22-12-0.95)

図-2 荷重-相対変位の関係

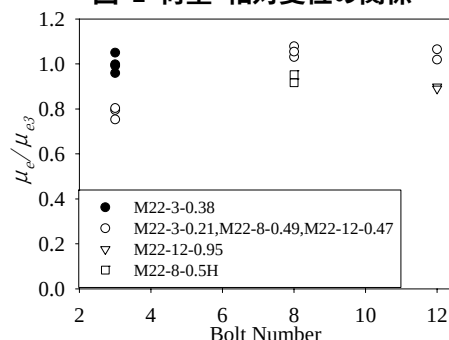


図-3 列数とすべり係数低下率の関係