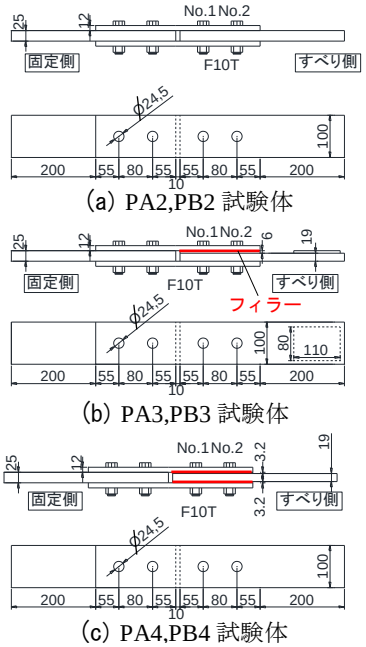
高力ボルト継手の接触面数と無機ジンクの膜厚がボルト軸力の低下に及ぼす影響

法政大学　学生会員○村井武尊　　法政大学　正会員　内田大介
鉄道・運輸機構　正会員　南　邦明　　横浜国立大学　正会員　田村　洋
駒井ハルテック　正会員　吉岡夏樹

1．はじめに　道路橋示方書（以下，道示）において，高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数は 0.4 であったが，H24 年度の改定により，摩擦面に厚膜型無機ジンクリッチペイント（以下，無機ジンク）を所定の条件で塗布した場合のすべり係数が 0.45 となった．このような背景もあり昨今の新設の鋼橋の高力ボルト摩擦接合継手では，そのほとんどが無機ジンクを塗布した摩擦面が適用されている．無機ジンクを適用した場合には，摩擦面を粗面状態とした場合と比べてボルト締付け後のリラクセーションが大きいことも知られており，道示で規定するボルト締め付け時の 10%の締付軸力の増し締め率を 15%にするという提案もある[1]．そして，継手部にフィラープレートを挿入し，実質的な接触面数が増加した継手では，さらにリラクセーションが大きくなることも確認されており，**表 1** に示すようなフィラー枚数に応じた導入ボルト軸力の増し締め率が提案されている[2]．一方では，無機ジンクを塗布した場合のリラクセーションについては，膜厚が厚くなるほど大きくなるということも報告されているが[3]，**表 1** の提案は標準的な膜厚での検証結果に基づいている．本研究では，高力ボルト摩擦接合継手の接触面数と無機ジンクの膜厚がボルト軸力のリラクセーションに及ぼす影響を確認すること目的とした．そのために，すべり係数 0.45 を確保できる無機ジンクの所定の膜厚範囲内において，塗膜厚を厚膜と薄膜とした継手試験体を製作し，リラクセーション試験とすべり試験を行った．

表 1 導入ボルト軸力の推奨値[2]

接触面数（フィラー枚数）	増し締め率［%］
1(0)	**15**
2(1)	**15**
3(2)	**20**



(a) PA2,PB2 試験体
(b) PA3,PB3 試験体
(c) PA4,PB4 試験体
図 1 試験体

2．試験体　試験体の形状と寸法を**図 1** に示す．文献 2)で使用した 2 面摩擦の試験体と同様の試験体であり，フィラーのない試験体 2，フィラーが 1 枚の試験体 3 と 2 枚の試験体 4 の 3 種類である．高力ボルトには F10T（M22）を使用し，母板と連結板には SM490Y を用いた．試験体はすべり先行型とし，試験体 3 と試験体 4 のすべり耐力降伏比 β が 0.8 程度となるように設計した．無機ジンクの塗布量は各接触面において片面あたりの最小乾燥塗膜厚である 50 μ m を目標とした試験体 PA（実平均膜厚 59 μ m）と接触面の合計乾燥塗膜厚の 1/2 である 100 μ m を目標とした試験体 PB（実平均膜厚 108 μ m）の 2 種類である．各試験体では着目側のすべり側と非着目側の固定側を設けた．ボルトの締付けはトルク法によって行い，すべり側の導入ボルト軸力は設計ボルト軸力（205kN）に対し**表 1** に示す増し締め率を目標とし，固定側ではさらに 10%の増し締めを行っている．

3．リラクセーション試験　リラクセーション試験はすべり側の 2 本のボルトを対象とし，ボルト軸部に貼付したひずみゲージのひずみの推移を測定した．**表 2** に試験結果の一覧を，**図 2** に試験体形状毎のボルトの軸力残存率の推移を示す．**図 2** 中には文献 2)で得られた目標膜厚を標準膜厚の 75 μ m（実平均膜厚 83 μ m）で，同じ増し締め率の試験体 P の回帰直線も示している．残存軸力は薄膜の試験体 PA では PA2≒PA3＞PA4，厚膜の試験体 PB では PA2＞PA3＞PA4 となり，接触面数が増えるほど残存軸力が小さくなる傾向が確認できる．また，**図 2** より試験体 P，PA と比較して試験体 PB の軸力の低下は大きく，その傾向は接触面数が増えるほど顕著になることがわかる．

4．すべり試験　すべり試験には載荷能力 2000kN の万能試験機を用い，載荷速度を 2kN/s 程度，サンプリング周波数を 100Hz として荷重計測を行った．すべり耐力は大きな音を伴って荷重が下がったとき，あるいは荷重と変位の関係に大きな変化が見られた際を主すべりと判断した．**表 3** に試験結果の一覧を示す．すべり係数 μ s，μ b は軸

キーワード　高力ボルト摩擦接合継手，リラクセーション，ボルト軸力，フィラー，無機ジンク
連絡先〒162-0843　東京都新宿区市ヶ谷田町 2-33　TEL 03-5228-1453

© Japan Society of Civil Engineers

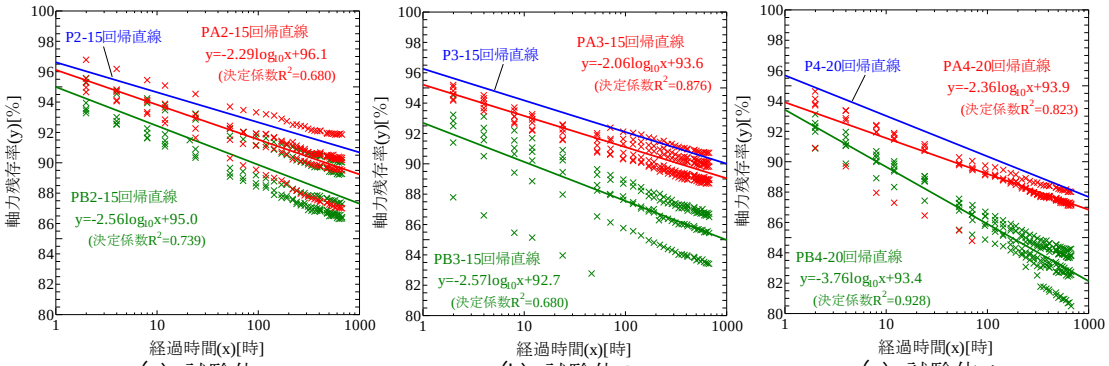
力を設計軸力の 205kN として評価した場合とすべり試験開始時のボルトの残存軸力で評価した場合の値である．全ての試験体ですべり耐力は設計値の 369kN を上回り，すべり係数は道示の規定の 0.45 を満足した．すべり係数とすべり耐力は，双方とも試験体 PB が試験体 PA よりも大きくなる傾向が，確認できるが接触面数との相関は認められない．

5．接触面の数に応じた導入ボルト軸力の増し締め率　図 3 に試験体毎の導入軸力と 1 万時間後の軸力の設計軸力に対する比率の平均値を示す．1 万時間後の軸力は文献 2)と同様に約 700 時間の回帰直線（図 2）を外挿して求めた．図中には文献 2)で得られた標準膜厚の試験体 P の結果も示している．試験体 PA，PB では，接触面数によらず全ての試験体で 1 万時間後の軸力が設計軸力を下回っている．この理由として導入軸力が目標とした値よりも小さかったことが挙げられ，試験体 PA では目標とした増し締め率で軸力が導入されていれば 1 万時間後の軸力は設計軸力を上回ったと推察できる．しかし，試験体 PB2，PB3，PB4 では，目標とした増し締め率で軸力が導入されたと仮定しても，設計軸力に対する 1 万時間後の軸力はそれぞれ 97.9%，95.5%，94.9%となる．このため，厚膜の場合にはさらなる増し締めも考えられるが， 通常の管理が行われていれば，これらの 4，6，8 面ある塗装面の全てが厚膜となる可能性は低いと想定され，表 1 に示す増し締め率を推奨する．

謝辞
本研究は鋼橋技術研究会「高力ボルト継手施工部会（部会長：南 邦明)」の活動の一環で実施されたものである．ここに記して関係各位に深謝します．

参考文献

1) 南：厚膜型無機ジンクリッチペイントを施した摩擦面で 15%増し締めした高力ボルト試験，土木学会論文集 A1，Vol. 73，No. 1，pp. 32-39，2017.
2) 南ら：高力ボルト継手における摩擦面の数に応じた導入ボルト軸力に関する検討，土木学会論文集 A1，Vol. 75，No. 1，pp.46-57，2019.
3)日本鋼構造協会：高力ボルト接合技術の現状と課題，JSSC テクニカルレポート No.96，2013.



(a) 試験体 2　(b) 試験体 3　(c) 試験体 4

図 2 リラクセーション試験における軸力残存率の推移

表 2 リラクセーション試験結果

試験体			ボルト軸力[kN] 締め付け直後	ボルト軸力[kN] 28日後	軸力残存率[%] 試験体毎	軸力残存率[%] 平均
無機ジンク 50μm	PA2-15	-1	223	194	87.0	89.4
		-2	219	200	91.1	
		-3	220	198	90.2	
	PA3-15	-1	229	207	90.4	89.5
		-2	225	200	88.7	
		-3	234	210	89.5	
	PA4-20	-1	236	207	87.7	87.9
		-2	236	209	88.7	
		-3	238	208	87.4	
無機ジンク 100μm	PB2-15	-1	236	212	89.8	87.7
		-2	229	198	86.7	
		-3	226	196	86.7	
	PB3-15	-1	229	195	85.1	83.8
		-2	222	191	86.0	
		-3	230	184	80.2	
	PB4-20	-1	235	192	81.9	83.0
		-2	242	201	83.2	
		-3	237	199	84.0	

表 3 すべり試験結果

試験体		すべり耐力 [kN]	すべり係数 μs	すべり係数 μb
無機ジンク 50μm	PA2-15	453.7	0.579	0.553
	PA3-15	455.7	0.555	0.556
	PA4-20	514.0	0.620	0.627
無機ジンク 100μm	PB2-15	525.3	0.655	0.641
	PB3-15	480.0	0.627	0.585
	PB4-20	514.3	0.655	0.627

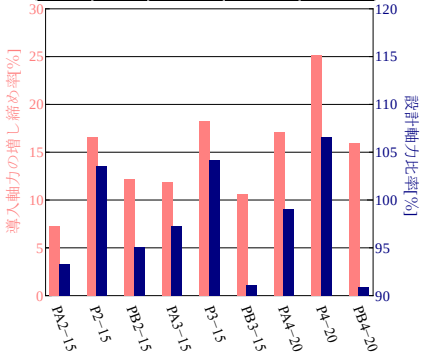


図 3 導入軸力の増し締め率と 1 万時間後における設計軸力比率

© Japan Society of Civil Engineers