

合計板厚差が1mm程度ある高力ボルト摩擦接合継手部のすべり確認試験と一考察

JFEエンジニアリング(株) 正会員 ○ 榎 一
JFEエンジニアリング(株) 非会員 石田明照

JFEエンジニアリング(株) 非会員 後藤直幸
JFEエンジニアリング(株) 非会員 永島寛之

1. はじめに

鋼道路橋設計ガイドライン（案）¹⁾ が示されて以降、断面変化位置を現場継手位置に合わせ、高力ボルト摩擦接合継手（以下、HTB 継手と呼ぶ。）の場合は左右の板厚差にフィラープレートを用いて合計板厚を揃える設計が主流となっている。しかし、左右の板厚差が6mm未満や、7mm差の場合は1mm刻みの鋼板が入手できないため、HTB 継手部のフィラープレートを含めた板厚差を0とすることは困難である。一方、文献2)によると、接触面が赤錆状態であれば、2mm程度の板厚差に対してもすべり係数が設計上の0.4を超える値を安定して確保できていることが記されている。そのため、慣用的に設計上1mm程度の板厚差については許容した設計も行なわれている。

この度、1mm差を許した設計が行なわれていた工事において、添接板の板厚が文献2)よりも厚いため、実験によりすべり係数が0.4以上確保できるかを調べることにした。また、接触面の仕様は赤錆であるが、防錆向上のために採用が増えている厚膜型無機ジンクリッチペイント仕様についても同時に調べ、今後の参考資料とするとともに、板厚差、添接板の板厚、ボルト間隔などに着目した簡易のすべり係数低下推定式を検討した。

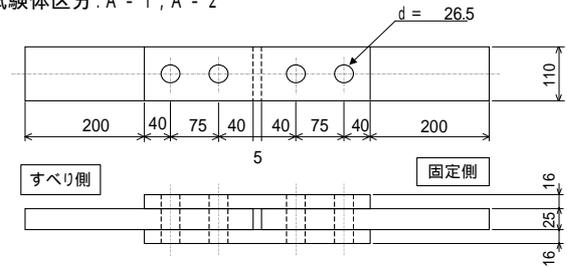
2. 実験概要

試験体を図-1に、試験体諸元および種類を表-1に示す。記号の-1は接触面が赤錆状態を示し、-2は無機ジンクリッチペイントを塗装した試験体を示す。ブラスト時の平均表面粗さと塗装の平均膜厚を表-1に示す。HTB 継手にはトルクシア形ボルト M22 を2本使用し、孔径は拡大孔 26.5φとした。高力ボルトにはひずみゲージを貼付け、本締めを専用締め付け機で行なった後、2週間のリラクセーションを確認し、すべり試験を行った。試験は各3体について実施した。

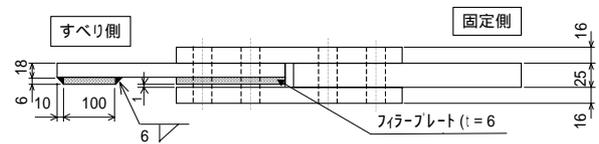
表-1 試験体諸元（単位：mm）

試験体番号	母材	母材	フィラー	添接板	板幅	HTB	
A	板厚	25	25	16	110	TCB M22 孔径 26.5	
	材質	SM490YB	SM490YB	SM490YA			
B	板厚	25	18	6			
	材質	SM490YB	SMA490YA	SS400			SM490YA
C	板厚	28	18	4.5×2枚			19
	材質	SM490YB	SM490YB	SS400			SM490YA
D	板厚	28	18	4.5×2枚			16
	材質	SM490YB	SM490YB	SS400			SM490YA
表面粗さ(μm)		—	60.0	61.7	66.2	目標 80μm	
塗装膜厚(μm)		—	90.5	88.8	91.5	目標 75μm	

試験体区分：A - 1, A - 2



試験体区分：B - 1, B - 2



試験体区分：C - 1, C - 2, D - 1, D - 2

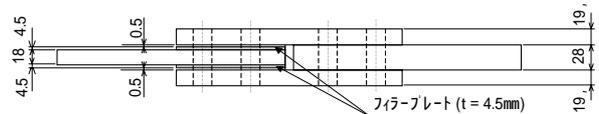


図-1 試験体図（単位:mm）

3. 実験結果

すべり試験の結果を表-2に示す。すべり係数 $\mu 1$ 、 $\mu 2$ は以下の式による。

$$\mu 1 = P / (m \cdot n \cdot N1) \quad \dots (1), \quad \mu 2 = P / (m \cdot n \cdot N2) \quad \dots (2)$$

ここに、 $N1$ ：締め付け直後（約1分後）のボルト軸力（2本の平均値）、 $N2$ ：すべり試験直前のボルト軸力（2本の平均値）、 P ：すべり荷重、 n ：ボルト本数（2本）、 m ：摩擦面数（2面）である。

今回の実験範囲では、すべり係数 $\mu 1$ 、 $\mu 2$ 共、道路橋示方書・同解説³⁾に記された「摩擦接合面のすべり係数が0.4以上確保できていること」が確認できた。また、厚膜型無機ジンクリッチペイント仕様はリラクセーションが大きいものの、すべり係数は増加する傾向にあり、すべり耐力はブラスト後赤錆と同程度を有していることが判った。しかし、添接板が16mmのすべり係数が、確保すべき0.4に対して10%程度しか余裕が無いため、施工のばらつきを考慮すると、隙間1mmに対してはこの板厚程度が限界と考えられる。

キーワード：高力ボルト継手、摩擦接合継手、すべり試験

連絡先：JFEエンジニアリング(株) 津橋梁設計室（〒514-0393 津市雲出鋼管町1番地 TEL 059-246-2374 FAX 059-246-2783）

表-2 すべり試験結果

試験体区分	摩擦面の表面処理条件			締付け軸力 (kN)				減少率 (%)	ボルト本数 n	すべり荷重 (kN) P	すべり係数			実測板厚差	添接板		
	母材	フィラー	添接板	締付直後 N ₁	平均値	2週間後 N ₂	平均値				μ ₁ 0.4	平均値	μ ₂			平均値	
A-1	1	ブラスト処理		ブラスト処理	229		218	4.9	6.0	630	0.688	0.645	0.722	0.686	0.0	16	
	2				217		203	6.3									
	3	無塗装・赤錆		無塗装・赤錆	225		210	6.7									
B-1	1				220		205	6.8	6.4	403	0.458	0.453	0.491	0.484	1.0	16	
	2	ブラスト処理 (無塗装・赤錆)		片側フィラー付き (t=6mm)	230	224	215	209									6.5
	3				221		208	6.0									
C-1	1				226		213	5.8	6.4	384	0.425	0.424	0.451	0.453	1.0	19	
	2	ブラスト処理 (無塗装・赤錆)		両側フィラー付き (t=4.5mm)	234	231	218	216									6.8
	3				232		217	6.5									
D-1	1				233		218	6.7	6.5	422	0.453	0.442	0.484	0.472	0.7	16	
	2	ブラスト処理 (無塗装・赤錆)		両側フィラー付き (t=4.5mm)	225	229	212	215									5.9
	3				230		214	7.0									
A-2	1	厚膜型無機ゾウ処理 (75μm)		厚膜型無機ゾウ処理 (75μm)	224		201	10.3	9.9	571	0.637	0.649	0.710	0.720	0.3	16	
	2				234	228	212	205									9.5
	3				225		203	10.0									
B-2	1				231		209	9.7	10.1	478	0.517	0.481	0.572	0.535	0.9	16	
	2	厚膜型無機ゾウ処理 (75μm)		片側フィラー付き (t=6mm)	220	226	198	204									10.0
	3				228		204	10.5									
C-2	1				229		205	10.4	10.5	452	0.493	0.485	0.551	0.543	0.7	19	
	2	厚膜型無機ゾウ処理 (75μm)		両側フィラー付き (t=4.5mm)	226	227	202	203									10.5
	3				226		202	10.7									
D-2	1				219		194	11.3	10.8	387	0.442	0.442	0.499	0.496	0.6	16	
	2	厚膜型無機ゾウ処理 (75μm)		両側フィラー付き (t=4.5mm)	222	220	199	196									10.3
	3				218		194	10.8									
道路橋示方書・同解説 規定値				212~249						0.4以上							

4. 板厚差に対するすべり係数推定式の検討

文献2)によると、板厚差が大きいほど、ボルト縁端が短いほどすべり耐力は低下する。これは、導入されたボルト軸力の一部が添接板の曲げに費やされ、その結果として、厚い側の摩擦面に反力として流れるためと考えられる。そこで、図-2 に示すように、第2ボルトに対しては厚い側の縁端を支点とした張出し梁の計算から、第1ボルトに対しては厚い側の縁端と第2ボルトを単純支持した梁の計算から厚い側の反力を求めると式(3)が得られる。

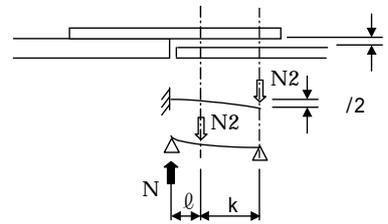


図-2 添接板モデル

$$\Delta N = E \cdot B \cdot t^3 \cdot \delta / 8 / (l + k) + ((\delta / \delta_0) \cdot k / (l + (\delta / \delta_0) \cdot k)) \cdot N_2 \dots (3)$$

ここに、E：ヤング率 (N/mm²)、B：分担幅(mm)、t：添接板板厚(mm)、δ：隙間(mm)、l：厚い側の縁端から第1ボルトの間隔(mm)、k：ボルトピッチ(mm)、N₂：リラクセーション後のボルト1本の平均軸力 (N)、δ₀：第1ボルトと第2ボルトがkとなる時の隙間(mm)である。

表-3 すべり係数の推定

また、摩擦係数 μ₀ が接触面の状態に固有のものとする、板厚差によってすべり係数が低下するのは接触面に作用する面圧の減少と捉えることができ、導入したボルト軸力 N₂ と、添接板の曲げ抵抗などに費やされた軸力 ΔN を用いると、μ₂ は式(4)で表すことができる。

$$\mu_2 = \mu_0 \cdot (n \cdot N_2 - \Delta N) / (n \cdot N_2) \dots (4)$$

ここに、μ₀ は板厚差の無いときの μ₂ であり、接触面に固有の摩擦係数と考えてよいものとする。

式(3)と式(4)より、B=110、l=45、k=75、δ₀=1 としてすべり係数 μ₂ を求め、実験値と比較すると表-3 に示すように 10%程度の幅で近似できる。文献2) については、B=95、l=40、k=65 とした計算値と実験値を比較すると 20%程度の幅を考慮すれば近似できることが判る。これらの幅は推定式の精度と実験データのばらつきによるものと考えられるが、20%程度の安全率を見込めば、ここで提案したすべり係数推定式が適用できる可能性がある。なお、ボルト軸力のリラクセーションが決まれば式(1)と式(2)より μ₁ も求めることができる。

試験体	添接板厚	隙間	ボルト軸力 (N ₂)	摩擦係数 μ ₀	式(3)第1項	式(3)第2項	減少量 N	計算すべり係数 μ ₂	実験すべり係数 μ ₂	比率
B-1	16	0.97	209.0		6323	129127	135450	0.464	0.484	0.96
C-1	19	0.90	216.0	0.686	9824	129600	139424	0.465	0.453	1.03
D-1	16	0.67	215.0		4367	113425	117793	0.498	0.472	1.06
B-2	16	0.97	204.0		6323	126038	132361	0.486	0.535	0.91
C-2	19	0.60	203.0	0.720	6549	101500	108049	0.528	0.543	0.97
D-2	16	0.60	196.0		3911	98000	101911	0.533	0.496	1.07
文献2)	12	1.00	157.3	0.707	3545	97376	100921	0.480	0.617	0.78
文献2)	12	1.00	157.3	0.680	3545	97376	100921	0.462	0.537	0.86

注: 文献2)はリラクセーションを3%と推定してボルト軸力N₂とすべり係数μを補正した。

5. まとめ

- (1) 高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験結果より、左右の合計板厚差が 1mm 程度ある場合は、塗装の有無に関わらず添接板厚が 16mm 程度までは設計すべり耐力を確保できると考えられる。
- (2) 20%程度の安全率を考慮すれば、簡易式によってすべり係数を推定できる可能性がある。

参考文献

1) 建設省：鋼道路橋設計ガイドライン (案)，1995.10, 2) 宮崎，他：板厚の異なる材片を接合した高力ボルト摩擦接合継手の滑り耐力，構造工学論文集，1998.3, 3) 日本道路協会，道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，2002.3