

実験による新型高力ワンサイドボルトの検討 (その3 すべり試験)

正会員 ○武田淳^{*1} 同 堂庭共凱^{*1} 同 岸本武^{*1}
同 中島一浩^{*2} 同 桑原進^{*3}

高力ワンサイドボルト トルシア形高力ボルト 高力ボルト接合
二面摩擦接合継手 すべり試験 すべり係数

1. はじめに

新型高力ワンサイドボルト（以下、新型ボルト）（写真1）の摩擦接合としての応力伝達機構は高力ボルトと同様であるが、構成する部品、締付け機構、締付け方法等は異なる。このような要因がすべり係数に与える影響を明らかにするため二面摩擦接合継手のすべり試験（写真2）を実施する。

2. すべり試験概要

試験方法：すべり試験には、1,000kN 万能試験機を用いて単調引張載荷する。試験は各条件において3本ずつ載荷し、3本目の試験体に関しては、すべりが生じた後の挙動を確認するためにせん断破断が生じない範囲内で載荷を継続する。ボルト張力のリラクセーションを考慮して、ボルト締付け後24時間以上経過後に載荷する。なお、すべりの判定については、鋼構造接合部設計指針¹⁾に準拠する。
試験体：試験体はすべり側と固定側を設定し、すべり側のボルトは新型ボルトと比較のための高力六角ボルトM16,F10T とし、それぞれにボルト張力測定のためのひずみゲージを埋め込む。固定側のボルトは高力六角ボルトM22,F10T とし、固定側がすべり側よりも後にすべるようになる。

新型ボルトではボルト張力と材間圧縮力の関係（以下、材間圧縮力導入率）が板厚条件で異なることと、バルブスリーブによるボルト頭の形状が異なることから、試験体の総板厚は薄板条件(44mm)と厚板条件(49mm)を用意する。試験体の板幅は薄板条件と厚板条件と同じにして、すべり耐力比(ξ)が0.8以上になり、薄板条件においてほぼ1となるようすべり先行型に設定する。高力六角ボルトの試験体もすべり耐力比(ξ)がほぼ1となるように板幅を設定する。正味断面の算出には図1に示す試験体の寸法を用いる。すべり耐力比(ξ)の算出に用いた引張降伏耐力(P_{ny})とすべり耐力(P_{so})は鋼構造接合部設計指針¹⁾に準拠してそれぞれ算出する（表1）。

材質はSS400（黒皮）であり、接合面はローラーグラインダで黒皮を除去後に、赤さび促進剤を塗布して2日間養生し十分に赤さびを発生させる。



写真1 新型高力ワンサイドボルト (新型ボルト)
写真2 新型ボルトを使ったすべり試験体

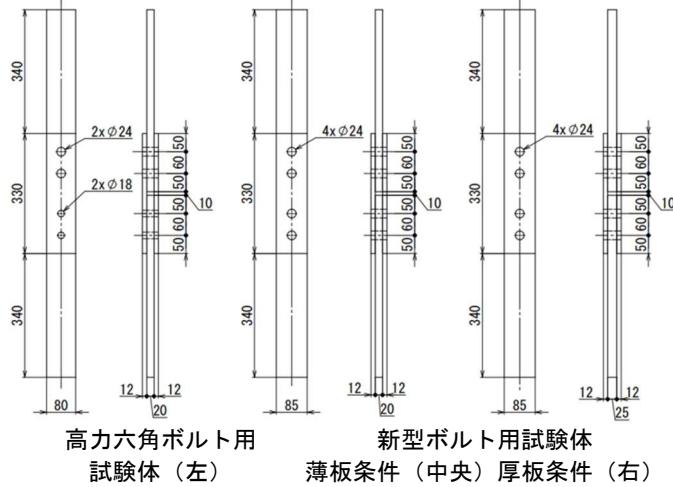


図1 すべり試験体の形状および寸法

表1 すべり試験体一覧とすべり耐力比

試験体	正味断面 [mm ²]	引張降伏耐力 (P _{ny}) [N/mm ²]	すべり耐力 (P _{so}) [N/mm ²]	すべり耐力比 (ξ) P _{so} /P _{ny}
高力六角ボルト M16	1240	291.4	280.8	0.964
新型ボルト 薄板条件	1220	286.7		0.979
新型ボルト 厚板条件	1464	344.0		0.816

3. すべり試験結果

継手の挙動：各試験体3本目の荷重-すべり量の関係を図2～図4に示す。変位は変位計を添板に固定し、母材との相対変位を測定する。赤丸はすべりの発生した点であり、すべりの判定は表2に示す。新型ボルトの厚板条件では明確なすべりが見られずに荷重が上昇し続けていく挙動が見られる。その原因はボルト孔径と呼び径の隙間が小さいことで少量のすべりが生じただけで支圧に至ったと考えられる。そのため、すべり係数の平均値には反映していない。

すべり係数の算出：すべり試験で得られたすべり荷重(e_s)と2本のボルトの初期導入張力(B0)の平均値を用いてすべり係数(μ)を式(1)から算出する。すべり係数はいずれの試験体でも0.45以上である（表2）。

表2 すべり係数とすべり判定

試験体	No.	挿入位置	ボルト張力				すべり荷重 eP_s [kN]	すべり係数 $e\mu$	すべり係数平均値 $e\mu_{avg}$	すべり判定	
			初期導入張力B0 [kN]	30秒後 B1 [kN]	載荷直前 B2 [kN]	すべり Bs [kN]					
高力六角 ボルト	1	内側	120.69	119.15	114.08	98.90	341.8	0.706	0.673	最大荷重	
		外側	121.23	120.58	115.66	106.62				最大荷重	
	2	内側	116.90	115.93	110.20	99.33	301.2	0.643		最大荷重	
		外側	117.44	116.21	110.20	103.82				最大荷重	
	3	内側	117.21	116.60	113.37	99.61	312.54	0.669		最大荷重	
		外側	116.21	114.91	110.51	106.77				最大荷重	
新型ボルト 薄板条件	1	内側	117.81	116.31	112.76	107.94	273.89	0.582	0.570	主すべり	
		外側	117.30	112.65	109.24	106.03				0.2mm地点	
	2	内側	117.56	114.91	111.89	106.55	269.46	0.571		最大荷重	
		外側	118.49	113.19	111.58	105.93				最大荷重	
	3	内側	120.58	115.80	113.68	109.46	269.43	0.558		主すべり	
		外側	121.01	116.53	114.75	112.14				0.2mm地点	
新型ボルト 厚板条件	1	内側	130.01	125.57	123.25	118.11	267.98	0.536	0.544	最大荷重	
		外側	120.05	115.65	115.65	112.90				最大荷重	
	2	内側	121.39	117.06	114.44	109.33	262.03	0.552		最大荷重	
		外側	115.81	111.12	109.48	106.76				0.2mm地点	
	3	内側	125.03	120.60	117.08	110.72	301.79	0.622		最大荷重	
		外側	117.47	115.18	110.71	106.24				主すべり	

$$e\mu = \frac{eP_s}{2(B_0_{\text{内側}} + B_0_{\text{外側}})} \quad (1)$$

ボルト張力比：表2のボルト張力を初期導入張力(B0)で無次元化したボルト張力比の平均値を図5に示す。新型ボルトにおいて板厚条件による違いは見られない。また、締結30秒後のボルト張力比(B1/B0)は高力六角ボルトの試験体の方が大きいが、載荷直前のボルト張力比(B2/B0)には差は生じていない。よって、ボルトや板厚条件でリラクセーションが及ぼすすべり耐力への影響は小さいことが確認できる。なお、すべり時のボルト張力比(Bs/B0)は高力六角ボルトの試験体の方が小さいのは、高力六角ボルトのすべり耐力が大きいと考えられる。

ボルトによるすべり係数への影響：リラクセーションが及ぼす差は生じていないが、高力六角ボルトに対する新型ボルトのすべり係数は0.1程度低下する。この結果は本報のその1で得られた材間圧縮力導入率を考慮しても低いことから、新型ボルトではボルト孔径やボルト頭が異なることによる影響が考えられる。

板厚条件によるすべり係数への影響：新型ボルトのすべり係数は板厚条件によってわずかであるが差が見られる。鋼構造接合部設計指針¹⁾によると、すべり耐力比(ξ)が0.8~2.8の範囲ではすべり耐力比(ξ)が増大するとすべり係数低減率(λ)は小さくなりすべり係数は低下すると記述されている。表3ではすべり耐力比の影響を除いてすべり係数を算出する。さらに本報のその1で得られた材間圧縮力導入率と比較したところ、材間圧縮力導入率に関連付けら

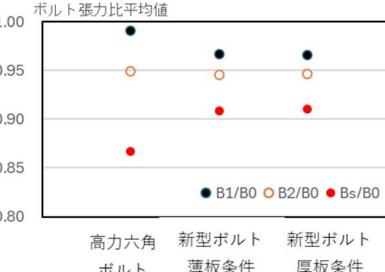


図5 ボルト張力比

表3 すべり係数低減率を考慮したすべり係数

試験体	すべり係数低減率(λ) 1.2~0.25* ξ	すべり耐力比の影響を除いたすべり係数 $e\mu_{avg}/\lambda$	材間圧縮力導入率の平均値 (その1より再掲)
新型ボルト 薄板条件	0.955	0.597	0.970
新型ボルト 厚板条件	0.996	0.546	0.886
厚板条件/薄板条件		0.915	0.913

れることが確認できる。

4.まとめ

本報その3で得られた結論を以下に示す。

- 摩擦接合継手の設計で要求されるすべり係数0.45を十分に上回った。
- ボルトや板厚条件でリラクセーションが及ぼす差は生じないが、高力六角ボルトに対する新型ボルトのすべり係数は0.1程度低下した。
- すべり係数の板厚条件による差は、すべり耐力比の影響を除くことで材間圧縮力導入率と関連付けられる。

参考文献

- 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針、2021.2

謝辞

本研究の実施にあたり、同研究室の篠原健人氏と神鋼ボルトの関係各位には多大なるご協力をいただきました。ここに深謝の意を表します。

*1 大阪大学大学院 大学院生

*2 株式会社ロブテックス

*3 大阪大学大学院 教授・博士（工学）

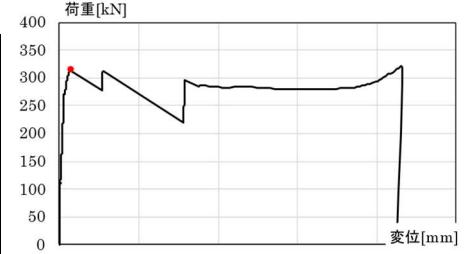


図2 高力六角ボルト継手

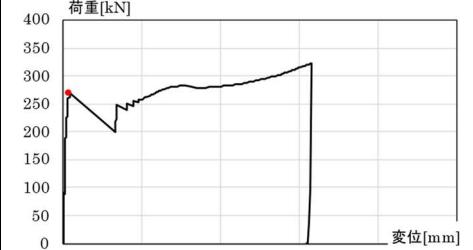


図3 新型ボルト継手（薄板条件）

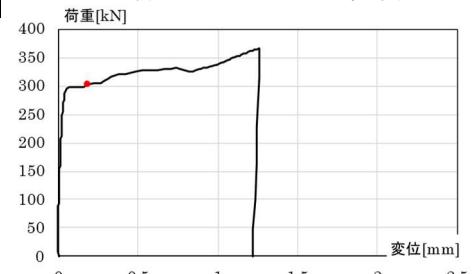


図4 新型ボルト継手（厚板条件）