

戻り止め機能を有する高強度ワンサイドボルトの耐力評価

正会員 ○中島一浩^{*1} 同 武田淳^{*1}

ワンサイドボルト	戻り止め	許容耐力
軽鋼構造	引張耐力	せん断耐力

1. 序論

建築構造において片側から締付けが可能なメカニカルファスナーとして、薄板軽量形鋼造や軽鋼構造ではドリルねじが、鉄骨造では高力ワンサイドボルト¹⁾などが使用されているが、これらの中間的な位置づけとなる中ボルト程度の強度を有するワンサイドボルトは限られている。

本報では、2 ピース型の高強度ワンサイドボルト(以下、ワンサイドボルト)の概要と許容耐力の検討結果を報告する。

2. ワンサイドボルトの概要

2-1. 構成と締付け方法 ワンサイドボルトは M10 のボルトと $\phi 14.2$ のスリーブの 2 部品で構成され、めねじが成形されたスリーブ内にボルトが予め組付けられている。スリーブの材料は冷間圧造用炭素鋼、ボルトの強度区分は 10.9 である。スリーブのフランジ部分を固定してボルトを締付けると軸力が導入され、写真 1 のようにスリーブが部材の裏側で変形し、ナットに相当する部分を成形する。締付け板厚の範囲は 3.0mm であり、締付け総板厚が 5.5～8.5mm 用と 8.5～11.5mm 用がある。下孔条件は $\phi 14.4 \sim \phi 15.1$ である。

2-2. ホールフィル効果 写真 2 に、ワンサイドボルトのスリーブが鋼板の下孔内でホールフィル(スリーブの塑性変形による鋼板下孔への充填)している状態(赤色部分)を示す。スリーブと鋼板が支圧状態になることで高い耐振動性を発揮する。

2-3. 戻り止め機能 ワンサイドボルトに用いられているボルトは、ねじの谷部が左右非対称の特殊なねじ形状²⁾である。図 1 にボルトの戻り止めの原理を示す。締め付けの際に、傾斜したねじ山がわずかに弾性変形することでばね反力を発生させ、強力な緩み防止力を実現する。米国航空宇宙規格 NAS3350/3354 の振動試験で 30,000 サイクルにおいて緩みや割れ、亀裂等が無いことを確認している。

3. 許容耐力の評価

3-1. 評価方法 本検討では、ワンサイドボルト単体の引張試験及びせん断試験と、ワンサイドボルトで接合された薄板(t1.0～t4.5)のせん断試験を行い、ボルト M14 の許容耐力と比較することでワンサイドボルト接合部の許容耐力を評価する。

ワンサイドボルトの許容耐力は、実験による最大耐力の保証値を実験値の最大荷重の平均値(\bar{x})と標準偏差(σ)から $\bar{x} - 3\sigma$ で評価し、長期安全率を 2.25 として算出³⁾する。

3-2. ワンサイドボルトの許容耐力 ワンサイドボルト単体の耐力を確認するために、引張試験及びせん断試験を

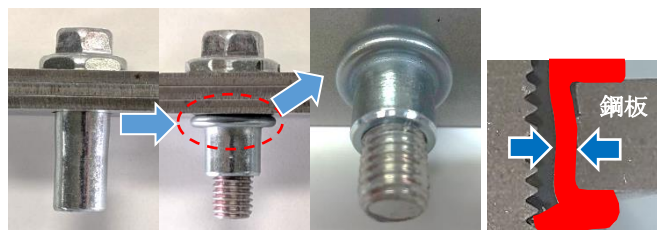


写真1 ワンサイドボルトの締付け 写真2 ホールフィル

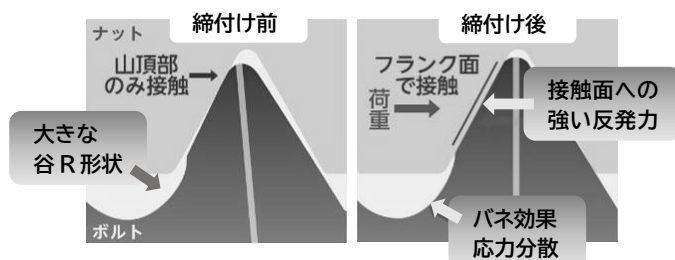


図1 戻り止めの原理

表1 ワンサイドボルトとボルト M14 の許容耐力比較

荷重	ワンサイドボルト			ボルト M14		許容耐力比 ①/②
	最大荷重 平均 \bar{x} (kN)	標準偏差 σ	最大荷重 $\bar{x} - 3\sigma$ (kN)	①長期許容耐力 ($\bar{x} - 3\sigma$)/2.25 (kN)	②長期 許容耐力(kN)	
引張	49.32	0.46	47.93	21.30	18.4	1.16
せん断	54.25	0.60	52.45	23.31	13.8	1.69

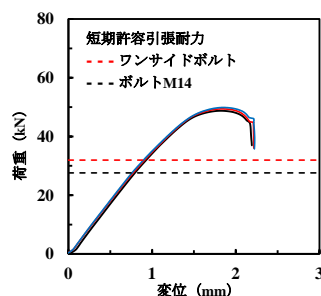


図2 引張試験結果

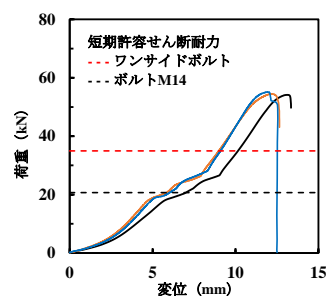


図3 せん断試験結果



写真3 引張破壊性状



写真4 せん断破壊性状

各3本行う。表1に試験結果から算出したワンサイドボルトの許容耐力と、建築基準法に基づくボルト M14 の許容耐力を示す。ワンサイドボルトの最大引張耐力はボルト M14 強度区分 4.6 の最小引張荷重 46kN よりも大きい。また、ワンサイドボルトの許容引張耐力はボルト M14 の許容引張耐力の 1.16 倍、許容せん断耐力は 1.69 倍となった。

図 2 に引張試験，図 3 にせん断試験における荷重と変位の関係を示す．図中には，ワンサイドボルトとボルト M14 の短期許容耐力も示している．写真 3 及び写真 4 にワンサイドボルトの試験後の破壊性状を示す．

ワンサイドボルトは引張荷重に対して，写真 3 のようにスリーブの変形部分がせん断破壊する．また，せん断荷重に対しては，写真 4 のようにボルトとスリーブがせん断破壊する．引張荷重に対するスリーブ破断部の断面積は 115.99mm^2 であり，ボルト M14 の有効断面積 115mm^2 よりも僅かに大きい．また，ワンサイドボルトのボルト M10 の有効断面積は 58mm^2 ，スリーブの断面積は 52.68mm^2 なので，せん断荷重に対する有効断面積は 110.68mm^2 であるが，ワンサイドボルトのせん断荷重に対する有効断面積はボルト M14 の有効断面積 115mm^2 よりも小さい．しかし，ワンサイドボルトは強度区分 10.9 のボルト M10 を用いているため，ボルト M14 のせん断耐力よりも大きくなる．

これらの検討結果から，ワンサイドボルト単体の許容耐力は，呼び径が近いボルト M14 の許容耐力よりも大きく，特にせん断力に対して有効である．

3-3. ワンサイドボルト接合部の許容耐力 ワンサイドボルト接合部の許容耐力を確認するために，薄板のせん断試験を行う．試験片の形状を図 4 に示す．図 5 に示すせん断試験体を万能試験機で引張载荷を行う．鋼板は JIS G 3323 の溶融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき鋼板を用いる．薄板側の鋼板の板厚は 1.0，1.2，1.6，2.3，3.2，4.5mm の 6 種類である．試験に用いたワンサイドボルトは，板厚範囲が 8.5～11.5mm であり，接合部の締付け総板厚が，板厚範囲の下限 8.5mm と上限 11.5mm になるように固定側鋼板の板厚を調整した．試験は各板厚につき 4 体行い，総板厚 8.5mm と 11.5mm の試験結果のうち小さな値を採用する．

図 6 に板厚 1.0mm，図 7 に板厚 4.5mm のせん断試験の荷重と変位の関係を示す．図中には，ワンサイドボルトとボルト M14 の短期許容せん断耐力も示している．図 7 において，荷重が 20kN から 30kN の間で荷重と変位の挙動が変化しているのは，ワンサイドボルトのスリーブがせん断力で変形し，ボルトの側面にスリーブが密着し，その後，スリーブとボルトが一体となって抵抗していることを表している．

写真 5 に板厚 1.0mm，写真 6 に板厚 4.5mm のせん断試験後の試験体の破壊性状を示す．板厚 1.0mm ではせん断力によって鋼板が支圧破壊しているが，板厚 4.5mm ではワンサイドボルトがせん断力で破断した．

表 2 にワンサイドボルト接合部のせん断耐力と，軽鋼構造設計施工指針⁴⁾により算出したボルト M14 の許容せん断耐力及び破壊性状を示す．板厚 1.0mm 以外は，ワンサイドボルトの許容せん断耐力の方がボルト M14 の許容せん

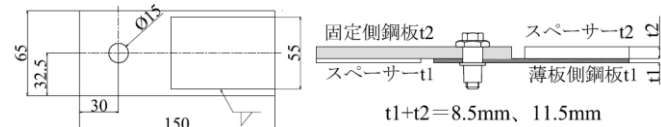


図 4 せん断試験片

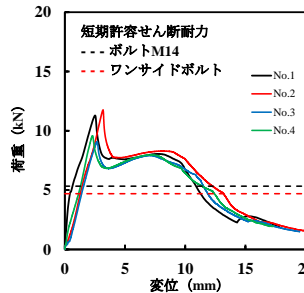


図 6 せん断試験結果 t1.0



写真 5 破壊性状 t1.0

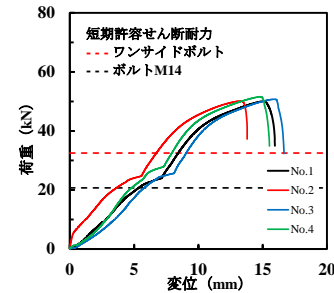


図 7 せん断試験結果 t4.5



写真 6 破壊性状 t4.5

表 2 ワンサイドボルト接合部の許容耐力及び破壊性状

板厚 (mm)	ワンサイドボルト					ボルトM14		①/②
	最大荷重 平均 x (kN)	破壊 性状	標準偏差 σ	変動係数 CV	最大耐力 x -3σ (kN)	①長期許容 せん断耐力 (x -3σ)/2.25 (kN)	②許容せん断 耐力(kN)	
1.0	10.42	鋼板支圧	1.13	10.8%	7.05	3.13	3.55	0.88
1.2	14.59	鋼板支圧	0.95	6.5%	11.74	5.22	4.26	1.22
1.6	18.62	鋼板支圧	0.53	2.8%	17.04	7.57	5.68	1.33
2.3	28.66	鋼板支圧	1.68	5.9%	23.63	10.50	8.17	1.29
3.2	47.29	ボルトせん断	0.19	0.4%	46.70	20.76	11.37	1.83
4.5	50.64	ボルトせん断	0.61	1.2%	48.80	21.69	15.99	1.36

断耐力よりも大きくなった．一方，板厚 1.0mm では，ワンサイドボルトの許容せん断耐力は，ボルト M14 よりも小さくなった．表 2 の最大荷重の変動係数は，板厚 1.0mm が他の板厚に比べて大きく，最大荷重のばらつきが大きい．これは，ワンサイドボルト接合部の鋼板に，ホールフィルによる支圧力が発生し，薄板ではその影響が大きかったためだと考えている．

4. 結論

ワンサイドボルトの引張試験，せん断試験及び薄板接合部のせん断試験を行い，ワンサイドボルトの許容耐力と，ボルト M14 の許容耐力を比較した結果，ワンサイドボルトの許容耐力は，呼び径が近いボルト M14 の許容耐力と概ね同等であることが分かった．

参考文献

- 1) 鈴木博之，川辺裕一，藤永政司，中島一浩：高力ワンサイドボルト摩擦接合継手の基礎的特性，鋼構造年次論文報告集第 15 巻，pp.401-408，2007 年
- 2) 松林興：締結部材および締結構造，特許公報(B2)，特許第 4806103 号，2011 年 11 月
- 3) 日本建築センター：鉄鋼系施行規則，第 1 条の 3 性能評価業務方法書(別記) 建築物の保有水平耐力及び部材の許容耐力等の評価方法
- 4) 日本建築学会：軽鋼構造設計施工指針，2024 年 3 月

*1 ロブテックス

*1 Lobtex Co.,Ltd.