仕様が異なる摩擦面を有する高力ボルト継手のすべり挙動

瀧上工業　正会員　天野貴文
鉄道・運輸機構　正会員　筒井康平
鉄道・運輸機構　正会員　南　邦明
鉄道・運輸機構　正会員　横山秀喜
横浜国立大学　正会員　田村　洋

1．はじめに

高力ボルト摩擦接合継手において，表面と裏面(例えば，箱桁の外面と内面)で摩擦面の仕様が異なる異種継手を用いることがあるが，同継手のすべり挙動は明確でなかった．本研究は，異種継手のすべり挙動および適用性を明確にすることを目的に，表面に溶射，裏面に無機ジンクを施した高力ボルト継手試験体を用いて，すべり耐力試験を実施した．その際，すべり時の変位計測を行い，異種継手のすべり挙動および適用性を明確にした．

2．試験体の説明およびすべり耐力試験方法

(1) 試験体の種類および形状　図-1に試験体形状を示す．試験体は，同一継手として溶射(Z)および無機ジンク(P)とし，異種継手(ZP)は表面を溶射，裏面を無機ジンクとした．鋼材はSM490Y，ボルトはすべり側ではM22-F8T(めっきボルト)，固定側ではM22-F10Tを用いた．試験体数は各ケースで3体製作し，合わせて9体を試験に供した．表面処理は，素地調整後，Zは溶射を設計膜厚100μmとし，封孔処理は行わなかった．Pは無機ジンクを標準膜厚75μm塗布した．なお，ZPはZとPと同じ条件とした．

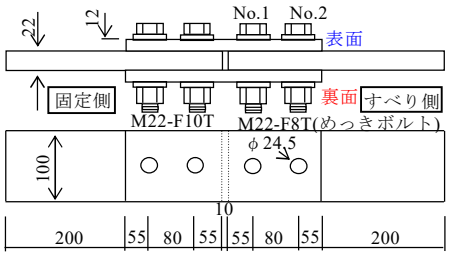


図-1　試験体形状　　単位:mm

(2) ボルトの締付け　一次締めはトルク法を用い150N･mで締付け，本締めはナット回転法を用い90°で締付けた．固定側については+20kN増し締めした．

(3) ボルト軸力のひずみ計測　ボルト軸部にひずみゲージを取り付け，ボルト軸力の計測を行った．計測は，すべり側のすべてのボルト(F8Tめっきボルト)，18本とした．

(4) すべり耐力試験方法　試験は，ボルト締付け後，468時間(19.5日)経過後に実施した．試験時には，図-2に示すように，表面と裏面における母板と添接板間のNo.1ボルト位置(内側ボルト部)での相対変位を測定するため，変位計を設置した．変位計測には動ひずみアンプ(DRA-107A)を用い，0.1秒毎に荷重と変位を測定した．試験は載荷能力4000kNの万能試験機を用い，主すべりが生じるまで荷重を与えた．すべり耐力は，継手部がすべった時に荷重が下がる直前の荷重(最大荷重)とした．なお，すべり時の変位の明確な定義はなく，本研究では，最大荷重から荷重が低下したときの母板-添接板間の相対変位量をすべり時の変位とし，その時の荷重値をすべり時荷重と定義した．

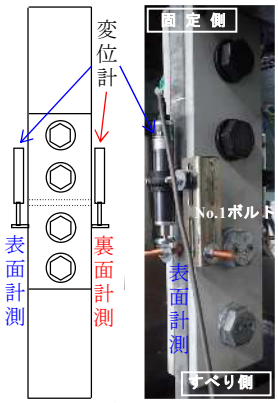


図-2　変位計測

3．すべり耐力試験結果

(1) ボルト軸力計測結果　計測結果を表-1に示す．締付け軸力N_aは，Zが最も小さく，設計値比率で示すと125.5%，Pでは133.8%であった．一方，ZPは，ZとPの両者の中間値より若干低い128.3%であった．試験直前の軸力N_bでは，Zは105.0%，Pは117.4%であり，ZPでは109.1%であった．

表-1　ボルト軸力計測結果

試験体		締付け後 N_a [kN]					試験直前(468時間後) N_b [kN]				
分類	名称	ボルトNo. No.1	ボルトNo. No.2	平均	設計値比率 (%)		ボルトNo. No.1	ボルトNo. No.2	平均	設計値比率 (%)	
溶射	Z1	201.6	211.2	206.4	125.1	125.5	170.3	177.8	174.1	105.5	105.0
	Z2	207.0	206.7	206.9	125.4		171.2	174.0	172.6	104.6	
	Z3	205.5	210.5	208.0	126.0		170.5	175.4	172.9	104.8	
無機ジンク	P1	217.1	218.7	217.9	132.1	133.8	192.5	191.6	192.1	116.4	117.4
	P2	223.4	226.1	224.8	136.2		196.0	196.8	196.4	119.0	
	P3	223.2	216.1	219.7	133.1		197.3	188.5	192.9	116.9	
異種継手	ZP1	206.7	213.0	209.9	127.2	128.3	176.6	180.2	178.4	108.1	109.1
	ZP2	214.3	215.4	214.8	130.2		183.0	181.9	182.5	110.6	
	ZP3	208.6	211.7	210.1	127.4		178.1	180.0	179.1	108.5	

注）設計値比率とは設計ボルト軸力(165 k N)に対する比率

(2) すべり時の変位量計測結果　すべり時荷重とすべり発生時の変位量を表-2に示す．すべり発生時の変位量は，Zで0.136mm，Pでは0.066mmであり，摩擦面により平均値で約2倍の違いが生じた．一方，ZPにおいては，すべり耐力が低い無機ジンク側（裏面）でのすべり発生時の変位量は0.072mm，溶射側（表面）では0.027mmと無機ジンク側がすべった時には溶射側はすべりが生じていない状況であった．

表-2 荷重と変位

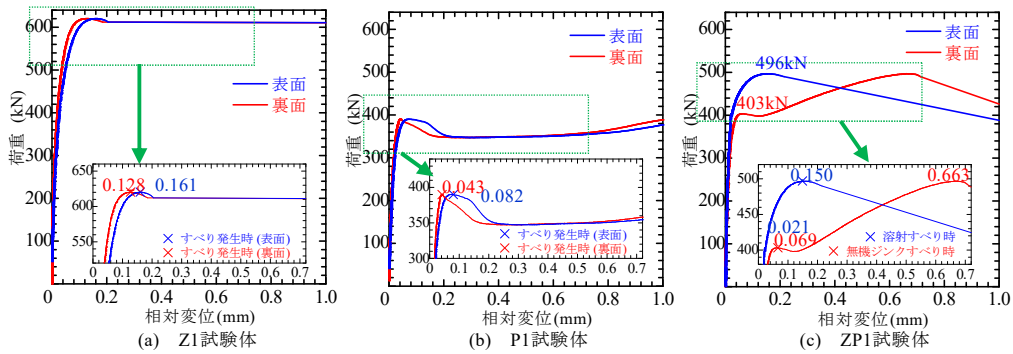
試験体	すべり時 荷重 [kN]	変位量[mm] 表面	裏面
Z1	620.0	0.161	0.128
Z2	629.9	0.146	0.123
Z3	639.2	0.130	0.129
平均	629.7	0.146	0.127
		0.136	
P1	389.6	0.082	0.043
P2	435.4	0.063	0.076
P3	421.6	0.064	0.070
平均	415.5	0.070	0.063
		0.066	
ZP1'	402.9	0.021	0.069
ZP2'	435.2	0.031	0.079
ZP3'	415.2	0.030	0.067
平均	417.8	0.027	0.072
ZP1"	496.4	0.150	0.663
ZP2"	488.8	0.141	0.491
ZP3"	487.7	0.189	0.496
平均	491.0	0.160	0.550

' は無機ジンク側のすべり時
"は溶射側のすべり時

(3) 異種継手のすべり挙動　荷重と変位の関係の一例(Z1，P1，ZP1)を図-3 に示す．図に示すように，摩擦面の違いにより荷重と変位の関係が大きく異なっていた．図-3(c)に示す ZP1 では表面と裏面で挙動が大きく異なり，裏面である無機ジンク側がすべり耐力に達しても，表面である溶射側はすべりが生じることはなく荷重の低下は見られなかった．荷重が 403kN の時に無機ジンク側ですべりが生じ，その時の変位量

キーワード：高力ボルト，すべり，変位，異種継手
連絡先：〒475-0826　愛知県半田市神明町1-1　瀧上工業　TEL 0569-21-4112

© Japan Society of Civil Engineers



(a) Z1試験体　(b) P1試験体　(c) ZP1試験体

図-3　荷重と変位の関係

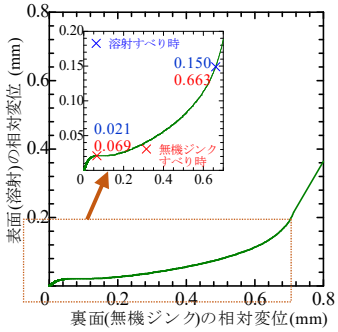


図-4　ZP1での表面変位量と裏面変位量の関係

は無機ジンク側では 0.069mm であるが，溶射側では 0.021mm であり，すべりは生じていなかった．なお，P のすべり時の変位量の平均値（**表-2**）は 0.066mm であり，ZP1 の無機ジンク側のすべり時変位量(0.069mm)とほぼ一致した．その後，無機ジンク側はすべりを伴いながらも荷重は上昇するが，溶射側はすべりが生じることはなく荷重は上昇していった．ただし，496kN に達したときに溶射側もすべりが発生し，その時の変位量は溶射側で 0.150mm，無機ジンク側では 0.663mm と表裏面で変位量に大きな違い生じる結果となった．**図-4** には，ZP1 における変位量を縦軸に表面（溶射），横軸に裏面（無機ジンク）で示した．図に示すように，変位は表裏面で異なっていることが判り，無機ジンク側がすべった後は曲線分布での変位の関係を示した．ただし，溶射側のすべりが生じた場合には，直線分布での変位との関係を示し，この時点（0.66mm 付近）から表面と裏面で同じ挙動となることが確認できた．

表-3　すべり係数算出結果

試験体	試験直前の軸力 N_b[kN]	最大荷重 P[kN]	すべり係数 μ_b (N_bで算出)	
Z1	174.1	620.3	0.891	0.909
Z2	172.6	630.2	0.913	
Z3	172.9	639.4	0.925	
P1	192.1	389.9	0.507	0.536
P2	196.4	435.8	0.555	
P3	192.9	421.8	0.547	
ZP1	178.4	403.2	0.565	0.581
ZP2	182.5	435.4	0.596	
ZP3	179.1	415.8	0.580	

$$\mu = \frac{P}{m \cdot n \cdot N} \cdots (1)$$

μ:すべり係数, P:すべり荷重, m:摩擦面数, n:ボルト本数, N:ボルト軸力

(4) すべり係数算出結果　すべり係数算出結果を**表-3** に示す．ここでは，最大荷重をすべり耐力としており，**表-2** で示したすべり時荷重とは若干異なっている．すべり係数 μ_b は，式(1)を用い試験直前のボルト軸力 N_b を用いて算出した．Z における μ_b の平均値は 0.909，P では 0.536 であり，溶射のすべり耐力は高かった．ZP の μ_b の平均値は，0.581 と P に比べ若干高い値となった．これは ZP のすべり係数は，先にすべりが生じる無機ジンク面の最大荷重（すべり耐力）で評価しているからである．

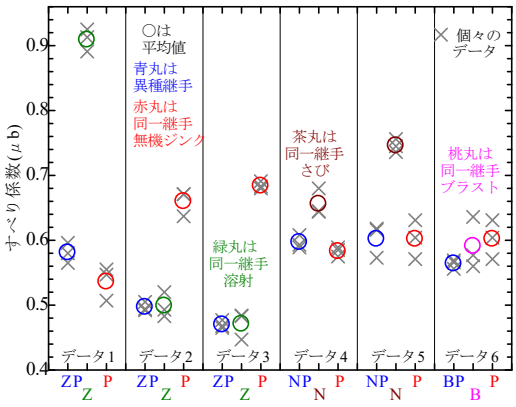


図-5　本試験と文献データ[1),2),3)]の比較

4．異種継手の適用性

図-5に本試験結果(データ1)も含め，これまで報告されている異種継手の試験結果[1),2),3)]を示す．これらの研究では，何れの試験も1面には無機ジンクを適用し，もう1面を溶射(封孔処理あり) (Z)(データ2,3) [1)]，さび(N) (データ4,5) [2),3)]およびブラスト(B) (データ6) [3)]で行った結果である．本試験結果では，異種継手のすべり係数は，同一継手における低い側のすべり係数（無機ジンク）より若干高くなったが，同様の結果となったのはデータ4のみであり，データ2, 3, 5では低い側とほぼ一致した．ただし，データ6では逆に同一継手の低い側(B)より異種継手(BP)の方が若干すべり係数が低くなった．その要因として，データ6の低い側の同一継手，すなわち，ブラスト(B)の結果ではデータにばらつきがあり，1つのデータですべり係数が高く，その影響ですべり係数の平均値が高くなり，このデータを除けば，概ね異種継手のすべり係数と低い側と同等となった．この状況から判断すると，逆の傾向となったのは，ばらつきの範囲と考えるのが妥当である．以上のように，異種継手は，適用した同一継手の低い側のすべり係数と同等もしくは若干高くなり，これらの結果から判断すると，低い側のすべり係数（適切なすべり耐力を有する）が明らかな場合には，異種継手を適用することは実用上問題ないと考えられる．

5．まとめ

異種継手のすべり挙動は，すべり耐力が低い側から発生し，その後，すべり耐力が高い側のすべりが生じる挙動を示した．また，異種継手のすべり耐力は，低い側のすべり係数と同等もしくは若干高くなった．

【参考文献】

1) 南邦明，斉藤雅充，横山秀喜，杉本一朗，能島隆男，増永寿彦，長崎英二：亜鉛アルミ擬合金溶射を施した高力ボルト摩擦接合継手に関する研究，土木学会論文集A1, Vol. 68, No. 2, pp. 427-439, 2012.6.
2) 清水織恵，石崎雄一：仕様の異なる摩擦接合面の継手性能に関する試験報告，土木学会第67回年次学術講演会I-340, pp679-680, 2012.9.
3) 田村洋，南邦明，内田大介，濱達矢：母板表裏面で接触面仕様が異なる高力ボルト継手の適用性，土木学会第74回年次講演会I-422, 2019.9.

© Japan Society of Civil Engineers