

I-385

絶縁摩擦接合継手の性能に関する試験報告

(財)鉄道総合技術研究所 正員 杉本 一朗 東日本鉄工(株) 正員 山田 稔  
 同 上 正員 市川 篤司 同 上 正員 羽田 政浩  
 同 上 正員 穴見 源八 東京都立大学 正員 長嶋 文雄

1. はじめに 超電導磁気浮上式鉄道の構造物に鋼構を用いる場合、超電導磁石から近い部材には低磁性鋼材を使用すること、構造物にループ電流が発生しないように継手を絶縁することが、磁気抗力対策上必要である<sup>1)</sup>。継手を絶縁する方法としては、絶縁材(エポキシ樹脂板)を挟み込む方法と、絶縁性を有する塗料(一般のエポキシ系プライマー)を摩擦面に塗布する方法が提案されている<sup>2), 3)</sup>。この場合前者では、ボルト軸力のリラクゼーションに問題があり、後者ではすべり係数が0.4を確保できず、すべり係数の確保を目的にジंकリッチ系プライマーを使用すると、絶縁性の確保が困難であった。これらの点を解決するために今回、絶縁性があり、すべり係数を高め得る素材としてチタン酸カリウムを用いて継手を試作し、すべり試験、電気抵抗値の計測およびリラクゼーション試験を実施した。

2. 絶縁材料 今回用いたチタン酸カリウム(以下“チタン酸”と呼ぶ)の物理的性質を表-1に示す。一般的には摩擦材として自動車のブレーキパッドなど、また、絶縁材として電線被覆などに用いられているもので、摩擦と絶縁という特性が絶縁摩擦接合継手に対して適用の可能性があると思われる。この素材は、プライマーに配合することにより塗料として、また、ペーパー状に加工することにより、摩擦面に挟み込む絶縁紙として使用した。今回の試験対象とした絶縁材料を表-2に示す。塗料は、無機質ジंकリッチ系プライマーに2種類のチタン酸(aタイプ・saタイプ)を配合したものと、エポキシ樹脂系プライマーに同じく2種類のチタン酸を配合したものとした。aタイプは一般的なもので素材形状は板状、saタイプは試作品として素材形状を扁平にしたものである。無機質ジंकリッチ系プライマーは、亜鉛粉末とチタン酸の配合比率を変化させた6種類とした。エポキシ樹脂系プライマーでは、チタン酸の配合比率を変化させた6種類とした。絶縁紙はチタン酸にタイプの異なる伸展材(アラミド、バルブ)を加え、ペーパー状に加工した5種類とした。絶縁板はガラス繊維不織布を基材としたエポキシ樹脂板とし、厚さはリラクゼーション特性を考慮して、既往の研究より薄い0.5mmとした。

表-1 チタン酸の物理的性質

項目	物性値
化学組成	$K_2Ti_6O_{13}$
真比重	3.53
引張強度	500~700(N/mm <sup>2</sup> )
縦弾性係数	28000(N/mm <sup>2</sup> )
線膨張係数	$6.8 \times 10^{-6}/^{\circ}C$
融点	1310~1350 <sup>o</sup> C

表-2 絶縁材料

試験体	絶縁種類	形状・寸法	種類
A	塗料	無機質ジंकリッチ系プライマー 配合: 亜鉛粉末/チタン酸	6
B	"	エポキシ樹脂系プライマー 配合: チタン酸/液	6
C	絶縁紙	チタン酸 + (アラミド、バルブ)	5
D	絶縁板	ガラス繊維不織布を基材としたエポキシ樹脂 ( $t=0.5\text{mm}$ )	1

3. 試験の概要 試験体形状を図-1に示す。鋼材の材質はSM490Y、高力ボルトはM22(F10T)を使用した。ボルト導入軸力は設計軸力の1割増しとし、トルクレンチを使用して軸力を導入した。ボルト胴部には、ボルトと母材・添接板との絶縁のために絶縁ゴム(カワ'レ'ン'ゴ'ム)を巻き付けた。電気抵抗値の計測はテスターおよび低抵抗計により行った。絶縁性能としては、1Ω以上の電気抵抗値が確保できるか否かを目安とした<sup>4)</sup>。リラクゼーション試験においては、ボルト胴部に歪ゲージを貼り付けたボルトを使用し、歪ゲージによる軸力管理を行った。

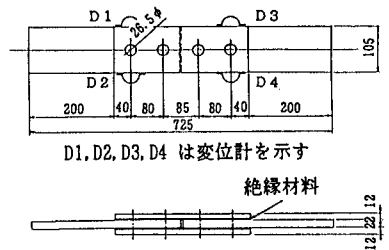


図-1 試験体形状

4. 試験結果 表-3にすべり試験、電気抵抗値の計測結果を示す。以下に試験から明らかになった事柄を、絶縁材料別に列記する。

無機質ジंकリッチ系プライマーでは、すべり係数は配合したチタン酸の種類・割合に関わらず0.4を上回る高い値が得られた。電気抵抗値については亜鉛粉末の割合により変化し、亜鉛粉末が多い場合には絶縁性の確保が困難であった。ただし、亜鉛粉末が微量の場合には、試験体に錆の発生が認められ、防錆性の面で問題のあることが判明した。主すべり後の摩擦面には塗膜が変化した微量の粉が認められた。

エポキシ樹脂系プライマーでは、すべり係数は配合したチタン酸の種類によって異なり、aタイプの方がsタイプに比べ高い値を得られることが判明した。電気抵抗値は塗膜厚により変化する傾向があった。塗膜厚100 $\mu$ 程度を境に絶縁性能の確保に差異が認められた。主すべり後の摩擦面は僅かに塗膜の剝離が見られた。

絶縁紙では、すべり係数0.4を確保することができた。主すべり後の絶縁紙は劣化が見られた。電気抵抗値を確保するために絶縁紙の厚さを450 $\mu$ 程度に設定したが、確実な絶縁性能を得るためには更に検討の余地がある。また、加工性、作業性の面で改良すべき点があった。

エポキシ樹脂板では、すべり係数はやや低めながらも0.4を確保することができた。電気抵抗値は、他の絶縁材料に比べ安定した値であった。主すべり後のエポキシ樹脂板は、ボルト位置で断裂した。この断裂は主すべり発生と同時に生じたものか、主すべり発生後変位を増加させた際に生じたものか明らかではないが、絶縁性能に対する影響はないものと判断した。

リラクゼーション試験の計測開始より1ヶ月後の状況を表-4に示す。比較のために摩擦面をショットブラストした一般的な継手についても計測を行った。エポキシ樹脂板では一般の継手とほぼ同じ5%程度の軸力低下であった。無機質ジंकリッチ系プライマー及びエポキシ樹脂系プライマー(75 $\mu$ )では8%程度の低下、エポキシ樹脂系プライマー(125 $\mu$ )及び絶縁紙では10%程度の低下であった。

5. おわりに チタン酸カリウムを素材とした絶縁材料(塗料、絶縁紙)は、すべり係数を十分確保することが可能であった。絶縁性能については確実性に問題があり今後改善の必要があると判断した。エポキシ樹脂板は、確実に絶縁することが可能であるが、すべり係数が低い傾向にあった。これらの材料には一長一短があり、今後は、耐候性、繰り返し荷重下におけるすべり挙動、低磁性鋼材を用いた場合の継手特性等を確認し、絶縁摩擦接合継手の確立を目指したいと考えている。なお、本研究は運輸省の補助対象事業の一環として実施したものである。また本実験に際し、銻クボタ、関西ペイント銻、関係各位の協力を得た。

【参考文献】1)市川、穴見、田村：磁気の影響から見た鋼橋の浮上式鉄道への適応性、土木学会第45回年次学術講演会 2)鳥取、志村、菊川：FRPを挿入した高力ボルト摩擦継手の力学的特性、土木学会第42回年次学術講演会 3)山田、長嶋、赤崎、成田：高マンガン非磁性鋼継手及び絶縁継手に関する一試験報告、土木学会第46回年次学術講演会 4)市川、穴見：鋼構造物と超電導磁気浮上式鉄道、橋梁と基礎 92-4

表-3 すべり試験・抵抗値計測結果

種類	試験体 No	すべり荷重 (tf)	すべり係数	電気抵抗値	備考	
塗料	ジंकリッチ	A-4-1	55.1	0.61	1400 $\Omega$	亜鉛粉末少ない
		A-4-2	52.7	0.58	20 $\Omega$	
		A-6-1	51.2	0.57	167 m $\Omega$	亜鉛粉末多い
		A-6-2	52.2	0.58	175 m $\Omega$	
	エポキシ	B-2-1	38.2	0.42	9.7 m $\Omega$	塗膜厚75 $\mu$
		B-2-2	39.2	0.43	22.3 m $\Omega$	
		B-6-1	45.1	0.50	4.5 $\Omega$	塗膜厚125 $\mu$
		B-6-2	47.9	0.53	2.5 $\Omega$	
絶縁紙	C-3	50.7	0.56	50 k $\Omega$	厚さ480 $\mu$	
	C-5-1	43.3	0.48	9.7 m $\Omega$	厚さ410 $\mu$	
	C-5-2	43.1	0.48	22.3 m $\Omega$		
絶縁板	D-1-1	38.1	0.42	$\infty$	厚さ0.5mm	
	D-1-2	37.1	0.41	$\infty$		

表-4 軸力低下率(1ヶ月目)

絶縁種類		軸力低下率(%)	
塗料	ジंकリッチ	0.92	
	エポキシ	75 $\mu$	0.92
		125 $\mu$	0.90
絶縁紙		0.90	
絶縁板		0.95	
無処理		0.95	