

I - 494

絶縁摩擦接合継手の繰返し載荷試験報告

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

1. はじめに 21世紀の高速大量輸送手段として超電導磁気浮上式鉄道(リニアモーターカー・マグレブ)が脚光を浴びており、実用化を目指した山梨実験線の建設がいよいよ本格化してきた。超電導磁気浮上式鉄道の構造物に鋼橋を用いる場合、超電導磁石を搭載した車両が通過する際に鋼材には時間的に変動する磁界によって電流が誘起され、この誘導電流に起因して走行抵抗やエネルギー損失が発生することが知られている。この対策として、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絶縁摩擦接合継手を用いることが有効である¹⁾。これまで絶縁摩擦接合継手の性能試験として各種の絶縁材料(絶縁板、絶縁塗料、絶縁紙)について、すべり係数、電気抵抗値、ボルト軸力の低下率を計測し種々のデータを得た²⁾。これらの材料のうち、すべり係数が基準を上回り、安定した絶縁性が確保できる絶縁板について、繰返し荷重作用下での継手性能を確認し、絶縁摩擦接合継手の適用の可能性について報告する。

2. 繰返し載荷試験の概要 絶縁板はガラス不織布・ガラス布複合基材エポキシ積層板を使用した。この材料に繰返し荷重が作用した場合、問題点として①絶縁材の摩擦面に劣化・損傷は見られないか、②ボルト軸力の抜けの状況に変化はないか、ということが考えられた。これらの点を確認するために200万回の繰返し載荷試験を実施した。絶縁板の厚さは $t=0.5, 0.7\text{mm}$ の2種類とした。絶縁板の一般特性を表-1に示す。試験体形状を図-1

に示す。材質はSM490Yとし、主すべり発生時の応力度が降伏応力度の85%となるように断面を決定した。高力ボルトはM22(F10T)を使用した。ボルト孔径はボルト軸部に絶縁のためのゴムを巻き付けるため26.5φの過大孔としている。導入軸力

表-1 絶縁板の一般特性

特 性	単 位	標 準 値
色 相	-	淡い黄色
比 重	-	1.640
吸 水 率	%	0.05~0.07
膨張係数 (厚さ方向)	100℃以下	1.45×10^{-4}
	100℃以上	5.50×10^{-4}
曲げ強さ	垂 直	23.0
	平 行	21.0
引張り強さ	kg/mm^2	30.5

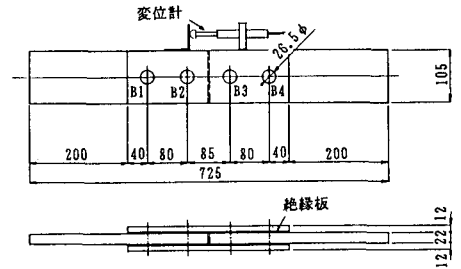


図-1 試験体形状

は22.5tfとし、ボルト軸部に歪みゲージを貼付け、歪み値により軸力の管理を行った。試験は動的最大荷重50tfの疲労試験機を使用して実施した。載荷速度は4Hzとし、継手に微少すべりが発生することを想定して

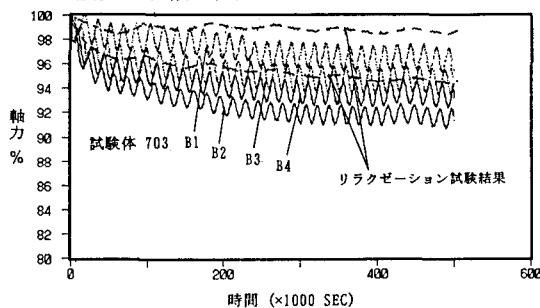


図-2 ボルト軸力

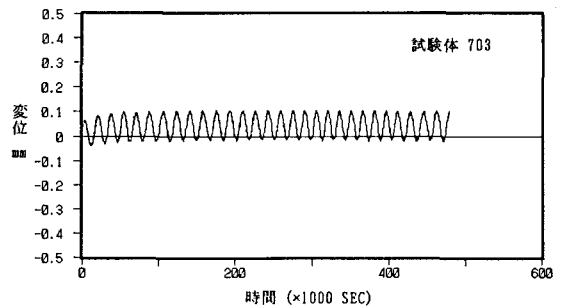


図-3 母材の相対変位

すべり荷重に近い引張力を片振り载荷した。試験後に摩擦面の状況を確認した。繰り返し载荷中のボルト軸力、母材間の相対変位および試験前後の電気抵抗値に着目して計測を行った。

3. 試験結果 試験は絶縁板厚 $t=0.5\text{mm}$ を5体、 $t=0.7\text{mm}$ を4体行った。図-2にボルト軸力の計測結果を示す。図-3に母材の相対変位計測結果を示す。疲労試験機と歪み計測器の内臓時計に日差約 $1/200$ 秒の誤差があり、徐々に計測時の荷重にずれが生じたために波形を示している。この結果、ボルト軸力と母材の相対変位の振幅範囲を確認することができた。ボルト軸力の変動（計測軸力の振幅範囲：約 0.5tf ）に関しては、表-2の式に示すようにポアソン比による板厚の変化に起因するものと考えられた。母材の相対変位の変動に関しては、表-3の式に示すように、変位計取り付け間隔での変位が計測されたものと考えられた。繰り返し载荷試験はボルト軸力導入後1時間後から開始したため、軸力の計測結果もその時点からの減少率を表わしている。実線は繰り返し荷重载荷時、破線はリラクゼーション試験結果を示している。繰り返し荷重を载荷する事によりボルト軸力の減少状況は、ほぼ変化のないことがわかった。

母材の相対変位は弾性範囲内での挙動を示し、安定した状況であり挟み込だ絶縁板が劣化、損傷していないことが確認できた。全試験体の载荷荷重と繰り返し回数を図-4に示す。载荷荷重 38t を境に、载荷直後（0～1分間）に主すべりが発生する場合と、200万回载荷完了する場合があることがわかった。このときのすべり係数は $\mu=0.42$ である。表-4に繰り返し試験結果一覧表を示す。主すべりの発生した試験体の絶縁板は孔へりに欠けが見られたり、ボルト孔を通る位置で割れたりした状況が認められた。200万回载荷完了後の試験体では、母材と絶縁板との摩擦面に特に損傷は見られず十分な強度が確認できた。また、繰り返し载荷後の電気抵抗値はすべて規定の 1Ω 以上を確保することができ、絶縁性能に問題はなかった。

4. おわりに 絶縁摩擦接合継手の繰り返し载荷試験を行った結果、絶縁板の劣化、損傷やボルト軸力の過大な減少は認められなかった。ただし、構造物への適用にあたっては、これまでの性能試験のなかで確認された、すべり係数が幾分低くなる点に配慮する必要があると思われる。今後これらの成果をもとに具体的な設計手法について検討して行きたい。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。

【参考文献】1)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 2)杉本、市川、穴見、山田、羽田、長嶋：絶縁摩擦接合継手の性能に関する試験報告、土木学会第47回年次学術講演会 3)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

表-2 振幅範囲の計算（ボルト軸力）

$$N' = A_e \times E \times \delta l' / l$$

$$\delta l' = \nu \times P / B / E$$

以上より

$$N' = A_e \times \nu \times P / A$$

ここに

N' : ボルト軸力 (振幅)
 E : ヤング係数 ($=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$)
 ν : ポアソン比 ($=0.3$)
 P : 载荷荷重
 A_e : ボルト純断面積 ($=3.03 \text{ cm}^2$)
 A : 総断面積 ($=48.3 \text{ cm}^2$)
 l : 全板厚 ($=4.6 \text{ cm}$)
 B : 試験体幅 ($=10.5 \text{ cm}$)

表-3 振幅の計算
(母材間変位)

$$\delta l = P \times l / A / E$$

ここに

δl : 変位 (振幅)
 P : 载荷荷重
 E : ヤング係数 ($=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$)
 A : 母材総断面積 ($=23.1 \text{ cm}^2$)
 l : 変位計の取付間隔 ($=10.0 \text{ cm}$)

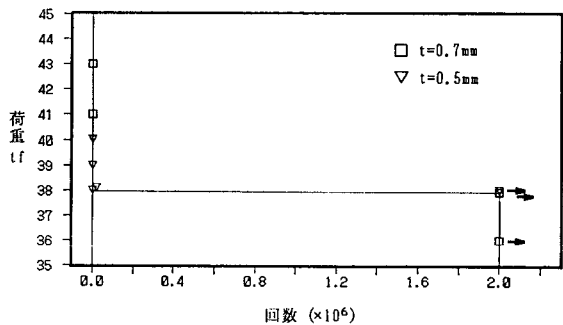


図-4 繰り返し载荷試験結果

表-4 繰り返し载荷試験結果一覧表

絶縁板厚 (mm)	試験体 No	応力範囲 (tf)	試験結果 (総回回数)	電気抵抗 前/後(Q)	備考
t = 0.5	501	39	すべり発生(160回)	∞ / ∞	※1
	502	38	200万回完了	∞ / ∞	※2
	503	40	すべり発生(20回)	∞ / ∞	※1
	504	38	すべり発生(110回)	∞ / ∞	※1
	505	38	すべり発生(50回)	∞ / ∞	※1
t = 0.7	701	43	すべり発生(160回)	∞ / ∞	※1
	702	41	すべり発生(30回)	∞ / ∞	※1
	703	36	200万回完了	∞ / ∞	※2
	704	38	200万回完了	∞ / ∞	※2

※1：試験後の絶縁板はボルト孔位置で割れが生じた。
 ※2：特に損傷は認められなかった。