

塗布型圧電素子を活用した鋼橋モニタリング手法に関する基本性能の検討

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○秋山 啓太
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 齊藤 岳季
 ムネカタインダストリアルマシナリー株式会社 正会員 海野 雄士
 ムネカタインダストリアルマシナリー株式会社 金澤 彰裕

1. 背景

鉄道鋼橋の変状の大部分を占める支点部の変状の中で、支点部の亀裂につながる鋼材の過大なひずみを早期に発見することが鋼橋の維持管理上重要であり、診断・劣化予測できる常時モニタリングシステムを構築する必要がある。

鋼橋のモニタリングシステムには多種多様なものが存在しているが、センサ自体に電源供給が必要なものがほとんどであるため、電源ケーブルなどの設置費等のコストが大幅にかかることが問題となっている。

そこでひずみが発生すると発電する特性を持っていて、スプレーによる塗布が可能であり複雑な形状にも対応できる特性を持っている塗布型の圧電素子を、支点部の劣化予測のセンサとして用いることにより、無電源センサとして活用することを期待している。今回は鋼橋の支点部の劣化予測のセンサとして基本性能を有しているか確認することを目的として試験を実施した。



図-1 塗布型圧電素子 (スプレー式)



図-2 適用想定箇所 (鋼橋支点部)

2. 検討内容と試験内容

(1) 検討内容

以下の項目について確認を実施した。また、表-1 に後述する三点繰り返し曲げ試験の各検討項目の試験条件を示す。

①圧電素子の膜厚の違いによる発電量

圧電素子の厚さを薄目 (40 μ m)、標準 (50 μ m)、厚目 (60 μ m) で実施した。

②圧電素子の長期耐久性

繰り返しひずみが発生することによる圧電素子の劣化を確認するため、ひずみ量 0.01%にて 230 本/日、25 年間列車が通過することを想定して実施した。

③センサとしての基本性能

鋼橋のアオリ発生時に生じる周波数を元に試験を実施した。アオリ発生時の卓越周波数が 1Hz 前後であることから 1Hz とした。

表-1 各検討項目の試験条件

No.	検討項目	試験体膜厚	試験条件
①	圧電素子の膜厚の違いによる発電量	薄目 (40 μ m狙い) 標準 (50 μ m狙い) 厚目 (60 μ m狙い)	ひずみ量: 0.01% 周波数: 40Hz
②	圧電素子の長期耐久性	標準 (50 μ m狙い)	ひずみ量: 0.01% 周波数: 40Hz
③	センサとしての基本性能	標準 (50 μ m狙い)	ひずみ量: 0.005%、0.010%、0.015%、 0.020%、0.050%、0.075% 周波数: 1Hz

(2) 試験体

①作製工程

圧電素子の上部・下部を電極で挟み込み、各々から電圧を測定し、その電圧差を発生電力とした。下部電極には鋼橋で使用されている SS400 を使用した。また、上部電極には銀ペーストを使用した。圧電素子基本構造、試験体作製フローおよび試験体形状を図-3～図-5 に示す。

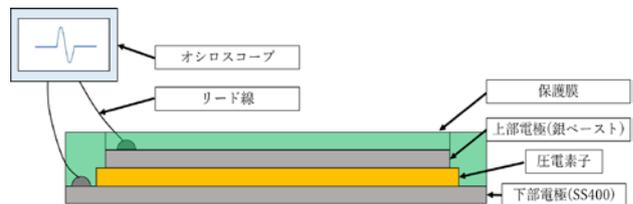


図-3 圧電素子基本構造



図-4 試験体作製フロー

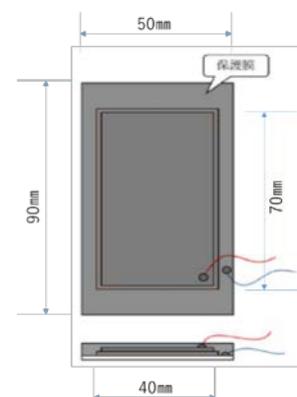


図-5 試験体形状

キーワード 鋼橋, 亀裂, ひずみ, 支点部, 圧電素子, センサ

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町二丁目 479 番地 J R 東日本研究開発センター TEL 048-651-2552

②試験方法

試験体に三点繰り返し曲げ試験でサイン波ひずみを与え、発生した電圧を測定した。

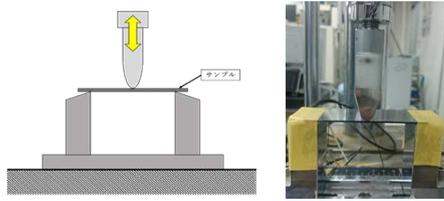


図-6 試験方法概略図と試験時の様子

3. 試験結果

(1) 圧電素子の膜厚違いによる発電量

図-7 に各試験体における膜厚と発電電圧の関係を示す。膜厚が厚くなるほど、発生電圧は上昇する傾向となった。また、各目標膜厚に対し、最大 10 μ m 程度のバラつきが発生していると共に発電量にもバラつきがあることが確認された。

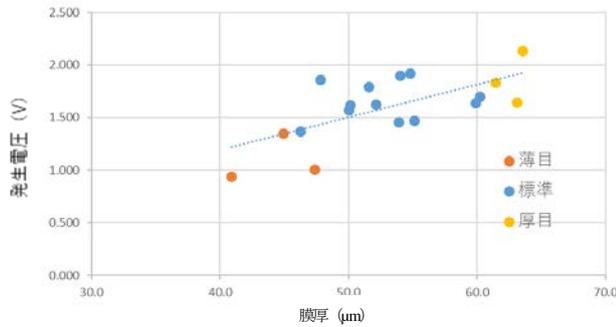


図-7 各試験体における膜厚と発生電圧の関係

(2) 圧電素子の長期耐久性試験

図-8 に長期耐久性試験結果を示す。25 年間分のひずみを圧電素子に加えたが、発電量の低下は見られず、ひずみに対しての長期耐久性があることが確認された。

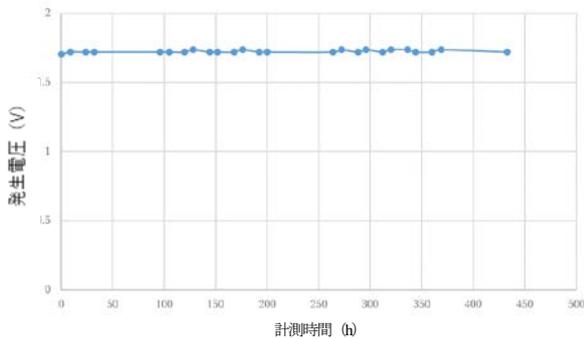


図-8 長期耐久性試験結果

(3) センサとしての基本性能評価

図-9 にひずみと発生電圧の関係を示す。ひずみと発生電圧とは比例関係にあり相関係数は 0.9983 と高かった。また、表-2 のひずみと発生応力の関係から鋼橋支点部の鋼材の打切り限界¹⁾が 53N/mm²なので、

IV 以上発電すればひずみが 0.027%以上発生したことになり、将来鋼橋支点部に亀裂が発生する可能性がある等、劣化予測のセンサとして活用できる可能性があることが確認できた。

表-2 ひずみと発生応力の関係

ひずみ (%)	鋼材発生応力 (N/mm ²)
0.005	10
0.010	20
0.015	30
0.020	40
0.027	53
0.050	100
0.075	150

※ヤング係数²⁾: 2.0 \times 10⁵N/mm²

打切り限界

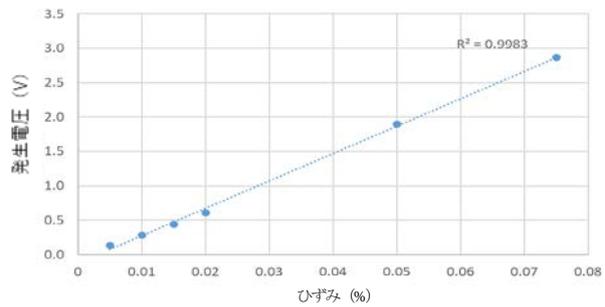


図-9 ひずみと発生電圧の関係

4. まとめ

今回の基本性能の検討において下記内容を確認することができた。

- ・膜厚が厚くなると、発生電圧は上昇する傾向であった。
- ・25 年間分のひずみ回数を与えたが、発電性能の劣化は見られなかった。
- ・実際の鋼橋支点部を想定した周波数においてはひずみに比例して発生電圧が大きくなることが確認できた。

上記結果から、無電源の劣化予測センサとして使用できる可能性がある。しかし、センサとして使用する上では、人の手によるスプレー塗布のため膜厚にバラつきが見られる課題が見られた。

課題については現場で膜厚を均一にコーティングできるように簡易設備を検討し、バラつきを低減させるような対策を行うことにより改善できる可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) (社) 日本鋼構造協会編：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，2012 年改訂版
- 2) (財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説鋼・合成構造物，平成 21 年 7 月