

マクラギにおける発電を利用したモニタリングシステムの電源の開発

公益財団法人 鉄道総合技術研究所 正会員○吉田善紀, 正会員 小林裕介

1. はじめに

電池を電源とするセンサネットワークなどのモニタリングシステムでは、長期間の運用において、電池交換に多大なランニングコストを要することが課題となる。そこで本研究では、マクラギに設置した圧電素子の発電を、電池の代替電源として利用することを試みた。本手法により、鉄道沿線の構造物に、センサネットワークなどのモニタリングシステムを適用することが極めて容易になると考えられる。本研究では、バラスト軌道のマクラギに各種条件を変えて圧電素子を設置し、列車が通過する際に得られる電力を測定し、圧電素子による発電を効率化する方法を検討した。そのうえで、モニタリングシステムの電源への本手法の適用可能性を検証した。

2. 発電および実軌道における試験の概要

(1) 発電の概要

本手法は、マクラギの下に圧電素子を設置することで、列車通過時にマクラギから加わる力で圧電素子に応力を生じさせて発電する。圧電素子は、生じた応力に応じた電圧を発生する材料である。

圧電素子のマクラギへの設置方法を図1に示す。圧電素子は、圧電定数¹⁾の大きい圧電セラミクスを使用した。圧電セラミクスは割れやすいため、バラストの接触によって圧電素子が損傷しないよう、圧電素子とバラストの間に鋼製の受圧板を設置した。

(2) 試験概要

レール継目近傍のマクラギに、面積と厚さの異なる圧電素子を、受圧板の面積を変えて設置して、実列車の通過により圧電素子から発生する電力を測定することで、本手法による圧電素子の発電性状を分析し、発電を効率化するための受圧板の面積や、圧電素子の形状を明らかにする。

圧電素子による発電では、一般に、圧電素子に整流・平滑回路を接続し、コンデンサに蓄積された電力(図2参照)を利用してセンシングや通信に用いる電子機器を動作させる。本研究では、発電性状を分析するため、列車通過時に圧電素子に生じる応力と、圧電素子から発生する電流、コンデンサに蓄積された電力を測定して評価することとした。ここで、圧電素子に生じる応力と圧電素子から発生する電流は、それぞれ $1\text{M}\Omega$ と $4.7\text{k}\Omega$ の負荷抵抗を接続し、負荷抵抗に発生する電圧を測定することにより推定している¹⁾。また、コンデンサに蓄積された電力は、コンデンサの電圧を測定して評価した。なお、本試験の列車は、2両編成の通勤型電車であり、走行速度は概ね 40km/h である。

3. 実軌道における発電試験

(1) 圧電素子の発電性状

図3に、列車通過時に(a)圧電素子(面積 $60\text{mm} \times 60\text{mm}^2$) に生じたと推定される応力と、(b)圧電素子から発生した電流、および(c)コンデンサ電圧を示す。図3(a)より、圧電素子に生じる応力には、車輪の通過に伴い緩やかに立ち上がる応力(①)と、振動数が 35Hz 、 60Hz の近辺で卓越する応力(②)、レール継目を通過する際に立ち上がる単発の応力(③)の3つの成分が見られる。①と③はそれぞれ、マクラギが車輪に押されて生じた応力と、車輪がレール継目を通過する際の衝撃により生じた応力であると考えられる。②の応力は、レールがマクラギ間でうねることで、マクラギを上下に振動させて生じたものではないかと考え

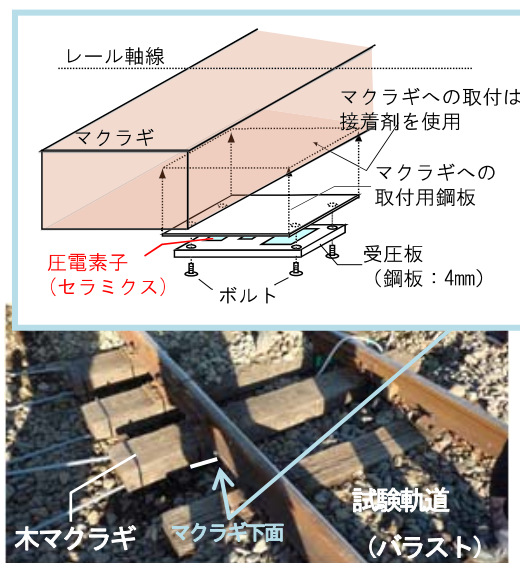


図1. 圧電素子のマクラギへの設置方法

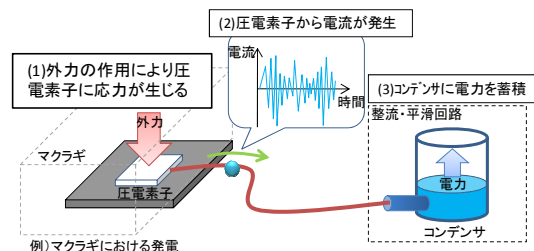


図2. 圧電素子の発電によるコンデンサへの電力の蓄積

連絡先 東京都国分寺市光町 2-8-38 財団法人 鉄道総合技術研究所鋼・複合構造研究室 TEL042-573-7280

キーワード モニタリングシステム, マクラギ, 圧電素子, 振動発電, バラスト軌道

られる。

図3(b)より、圧電素子から発生する電流は、②'と③'の2つの成分が見られる。車輪がマクラギを通過する際に発生する電流(②')は、卓越する振動数が概ね一致する②の応力によると推察される。鋭く立ち上がった単発の電流(③')は、レール継目通過時の衝撃による③の応力で発生したと考えられる。上述した①～③の応力のうち、マクラギが車輪に押されて生じる応力(①)では、電流が発生しなかった可能性が高い。これは、圧電素子から発生する電流が、応力の速度に依存して大きくなるためであると考えられる。

図3(c)より、車輪がマクラギ上を通過する間、コンデンサ電圧が時間の経過とともに上昇し、レール継目を通過する際、短い時間でコンデンサ電圧が大幅に上昇している。このことから、圧電素子から発生した②'、③'の電流がコンデンサに流れたことで、コンデンサに電力が蓄積されたと考えられる。

以上の結果より、マクラギに設置した圧電素子は、②の応力と、車輪がレール継目を通過する際の衝撃による応力が生じて電流を発生し、コンデンサに電力が蓄積されたと考えられる。本手法により多くの電力を得るためには、発電に寄与する上記2つの応力の振幅や振動数を大きくする必要があると考えられる。

(2) 受圧板面積および圧電素子の形状と発電量の関係

図4に、2種類の受圧板(100x100mm², 180x120mm²)を使用した圧電素子について、a)一両あたりに得られたコンデンサ電圧と、b)圧電素子に生じたと推定される応力と発生した電流を示す。図4a)より、コンデンサ電圧は、ばらつきが大きいものの、各受圧板で得られた最大値を比較すると、面積の小さい受圧板のコンデンサ電圧が小さい結果となった。図4b)より、面積の小さい受圧板は、車輪がレール継目を通過する以外、圧電素子に応力が生じておらず、電流を発生していない。これは、レール継目以外の車輪位置において、受圧板にバラストが接触していなかったと推察される。受圧板の面積が小さいと、バラストの不陸によって受圧板がバラストに接触しない可能性がある。したがって、受圧板は面積の大きいものを使用するのがよいと考えられる。

図5に、面積が20x20mm²～60x60mm²で異なる3種類の圧電素子について、一車両あたりに得られたコンデンサ電圧を示す。コンデンサ電圧は、圧電素子の面積に依存して大きくなる傾向が見られた。コンデンサに多くの電力を蓄積するためには、面積の大きい圧電素子を使用するのが望ましい。

4. まとめ

バラスト軌道のマクラギに、各種条件を変えて圧電素子を設置し、列車通過時に圧電素子から得られる電力を測定した。その結果、本手法では、列車速度や列車重量が大きいと応力の振幅と振動数が大きくなり、発電量が向上すると考えられる。さらに、受圧板および圧電素子は、面積の大きい方が多くの電力を得られることがわかった。本試験では、180x120mm²の受圧板を使用した60x60mm²の圧電素子から最も多くの電力が得られ、この条件での発電量は、10両編成の列車であれば2～3本の通過により、試作した無線センサ¹⁾を動作させる程度の電力を見込めることを確認した。

参考文献

1)吉田, 小林, 内村: 鋼鉄道橋における部材の振動発電を利用したモニタリングシステムの構築, 土木学会年次講演会, 2010

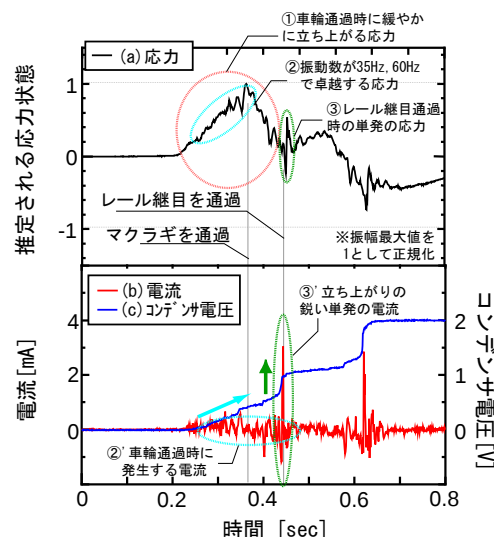


図3. 圧電素子の応力性状と発生する電力

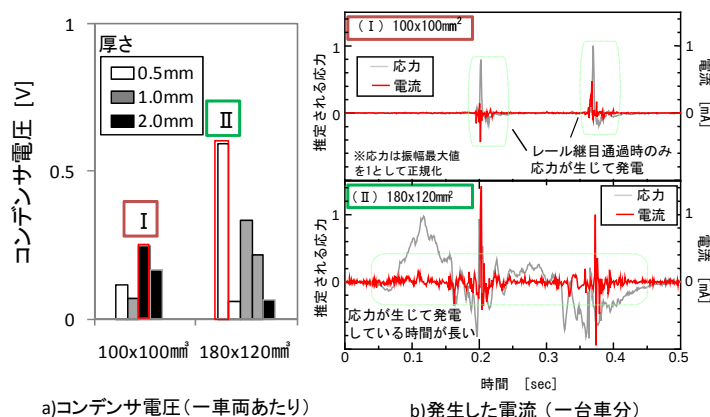


図4. 受圧板の面積と発生する電力の関係

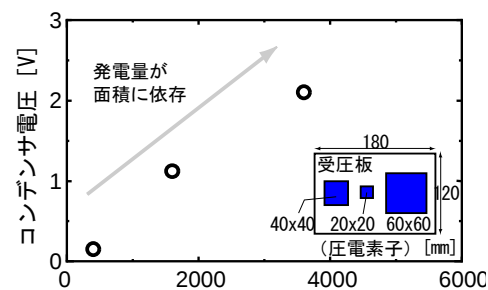


図5. 圧電素子の面積とコンデンサ電圧