

振動発電を充電利用した構造物の長期計測システムの開発

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 吉田 善紀, 正会員 ○和田 一範, 正会員 小林 裕介

1. はじめに

構造物のモニタリングでは、可動沓等の経時的な状態変化を捉えるために、温度と変位の関係や、活荷重と動的応答の関係を長期に渡って計測することがある。そのような計測を行うにあたり、商用電源の確保する場合、配線や設置等に多大なコストがかかるし、電池を利用した場合も定期的に足場を組んで電池を交換する作業に多大なコストがかかる。著者らは振動で発電する圧電素子を用いて、列車通過時の構造物の振動から得られる電力を代替電源として利用するシステムを提案している¹⁾²⁾が、列車通過時のみしか計測できないため、夜間の計測や、ローカル線での密な計測ができないなどの問題がある。また、列車通過時の発電では、数十秒かかる列車通過の活荷重応答を動的に計測するだけの電力は賄えない。線区のダイヤに依存せず計測したり、より大きな電力を要する計測を行うためには、列車振動で得られる電力を溜めこみ、電力を自由に利用できるシステムにする必要がある。

そこで本研究では、圧電素子からの発電をコンデンサに充電することで、電力を自由に利用できるバッテリーレスな長期計測システムを開発した。温度変化による日変動を定期的に計測できるシステムと、活荷重による変動を動的計測できるシステムを開発し、実構造物の列車振動発電を模擬した加振試験によってシステムの適用性を検証した。

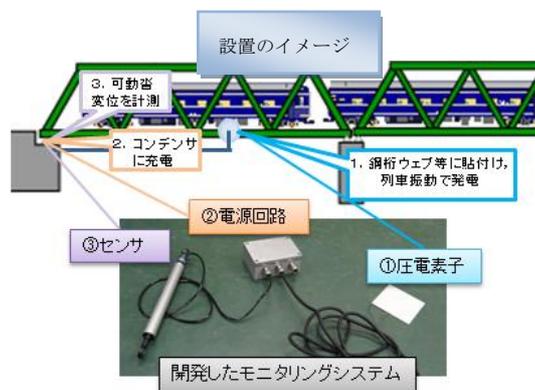


図1 開発したシステムと設置のイメージ

2. モニタリングシステムの概要

開発したシステムと設置のイメージを図1に示す。鋼鉄道橋の可動沓変位の長期計測を想定しており、①ウェブに貼った圧電素子が列車振動で発電し、②コンデンサに電力を溜め、CPUで計測を制御し、③センサで計測するという構成である。コンデンサを使用するのは、一般的な充電電池では内部抵抗が大きく、圧電素子からの発電では溜められないためである。コンデンサは溜めやすいものの、放電量が多いので、システムの適用性を検証するには、充電量と放電量の収支バランスが重要となる。

図2, 3にそれぞれのシステムの計測過程を示す。日変動計測システムは、1時間に1回定期的に計測を行う。一方、活荷重変動計測システムは、コンデンサ電圧が規定値を越えた直後の列車に対する可動沓の活荷重変動を動的に計測する。営業時間帯は充電と放電を繰り返し、夜間は放電のみとなるので、収支バランスとして営業時間帯の充電量 V_1 が夜間の放電量 V_2 を上回る ($V_1 > V_2$) 必要がある。また、活荷重変動計測システムについて計測の頻度を確認するには、計測時の消費電力 V_3 と1日で溜まる電圧 $V_1 - V_2$ を比較する必要がある。

また、CPUは動作できる電圧範囲が決まっているが、長期的な計測の上では、荒天による運休や間引き運転等で一時的に $V_1 < V_2$ となったり、列車本数の増発等で想定を越える充電量が得られ $V_1 \gg V_2$ となるなど動作電圧の範囲を逸脱することが懸念される。そこで、電源

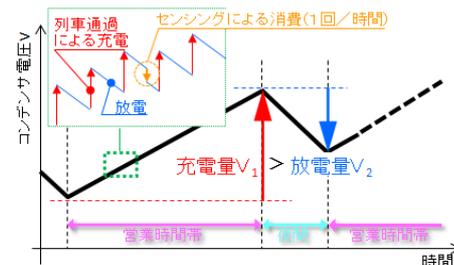


図2 日変動計測システム

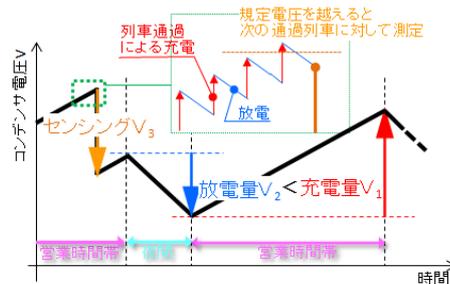


図3 活荷重変動計測システム

回路にバックアップ電源を付与することで動作限界の下限電圧を下回らないようにした。また、動作限界の上限電圧よりも低い電圧に規定電圧を設定し、規定電圧を越えると、規定電圧値まで降下させる機能を導入した。

3. 実橋での計測を想定した加振試験

システムの適用可能性を検証するために、列車通過による定期的な充電を模擬し、充・放電の収支バランスを確認する。図4に示すように模型桁のウェブに圧電素子を貼り、重錘落下試験機を用いた加振試験を実施した。重錘落下で生成される振動波形と、列車通過で生成される実橋の振動波形とは異なるが、図5に示すように1回の加振での発生電荷が、実橋で1両通過時の発生電荷と概ね等しくなるように試験機の落下高さを調整した。列車本数と圧電素子の枚数をパラメータとし、A:列車本数12本/時、圧電素子2枚、B:列車本数6本/時、圧電素子2枚、C:列車本数12本/時、圧電素子1枚の3ケースで検討した。なお、列車本数12本/時は都市内の過密線区、列車本数6本/時は一般的な都市内の線区を想定している。



図4 加振試験の概要

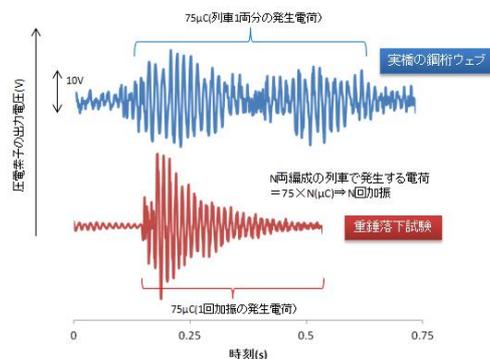


図5 列車振動の模擬

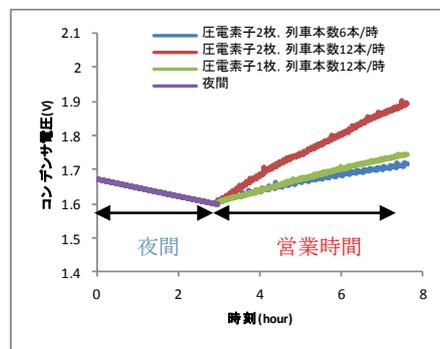


図6 コンデンサ電圧の時刻歴

充電量と放電量の時刻歴を図6に示す。ケースA、Bより、列車本数が倍増すると、充電量も約2倍程度に増加することがわかる。ケースA、Cより、圧電素子の枚数についても同様の傾向がある。充・放電の収支バランス結果を表1にまとめる。いずれのケースも営業時間帯の充電量 V_1 が夜間(4時間)の放電量 V_2 を上回っているため、本システムは適用できるものと思われる。本結果から、都市内の過密線区は圧電素子1枚、一般的な都市内の線区では圧電素子2枚で適用できるものと思われる。また、圧電素子の枚数と充電量の関係から、列車本数が3本/時(ローカル線程度)の場合も圧電素子の枚数を3枚以上用いれば、本試験条件と同等の充電量を見込め、適用可能と思われる。また、活荷重変動計測システムについて、計測時の消費電力 V_3 は約0.5V程度だったので、充電量、放電量の収支からケースAの場合は1日に一回程度、ケースB、Cの場合は2、3日に一回程度計測が見込められると思われる。

4. おわりに

圧電素子による列車通過時の振動発電を溜めこむことで、線区のダイヤに依存せず定期的に計測したり、1編成の列車通過で得られる電力では賄えない動的計測が行えるバッテリーレスな長期計測システムを開発した。システム適用の上で、充電と放電の収支バランスが重要となるため、実橋での計測を想定し、列車振動による充電を模擬した加振試験を実施し、本システムの適用性を検証した。今後は実橋に設置し、長期計測の信頼性、耐久性等を検証する予定である。

参考文献

- 1) 小林：鋼鉄道橋における振動発電を利用したモニタリングシステム，橋梁と基礎，2010，8。
- 2) 吉田，小林：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，土木学会年次講演会，2011

表1 充電・放電の収支バランス

ケース	V_1	V_2	適用性
A(列車本数12本/時、圧電素子2枚)	1	0.1	OK
B(列車本数6本/時、圧電素子2枚)	0.3		OK
C(列車本数12本/時、圧電素子1枚)	0.3		OK