21114 動吸振器を利用した電磁誘導型発電システムに関する研究

Study on an electromagnetic induction generator using a dynamic damper

○学 池田 大輔 (湘南工科大)
正 藤本 滋 (湘南工科大)

関口 達郎 (湘南工科大)

Daisuke IKEDA, Tatsuro SEKIGUCHI and Shigeru FUJIMOTO
Shonan Institute of Technology, 1-1-25 Tsujido-Nishikaigan, Fujisawa, Kanagawa

Power generation research using a variety of structure and machine vibrations is carried out in various institutions. Simultaneously, research with vibration suppression equipment is also being performed and there are numerous examples being put into practical use. This paper will describe a basic examination to determine the effectiveness of power generation and the attenuation effect when using a vibration power generator in a footbridge dynamic damper. Experiments were carried out with a power generation element to determine the basic characteristics of power generation and vibration using an electromagnetic induction-type power generation element. It was confirmed that voltage generation is almost proportional to velocity and the generated voltage has nearly no frequency dependency, while the effect of attenuation can be achieved by installing a resistor.

Key words: Footbridge, Dynamic damper, Generator, Electromagnetic induction, Vibration test

1. はじめに

近年、構造物や機械振動を利用したエネルギー有効活用のための発電の研究が行われるようになってきた¹⁾。特に、比較的大きな振動エネルギーを取り出しやすい動吸振器に様々な発電装置を組み込み、構造物の制振と発電を同時に行う試み多くなされているが²⁾、実用的な発電システムとして確立されるには至っていない。著者らは、道路振動や歩行者振動により常に揺れている鋼製歩道橋用の動吸振器³⁾に、電磁誘導型発電素子を組み込んだ発電装置を提案した⁴⁾。図1に歩道橋および発電装置を組み込んだ制振装置の構造概念を示す。本研究の目的は、歩道橋用動吸振器に適した電磁誘導型振動発電システムを提案するとともに発電による減衰効果を取り入れた動吸振器設計手法を確立することである。本稿では、磁石と誘導コイルを組み合わせた電磁誘導型発電素子の基本発電特性および減衰特性を把握するため、発電要素試験装置および発電要素を組み込んだ振動体試験装置を用いた振動試験を行い、振動時の発電特性および振動体の振動特性についてそれぞれ評価した結果について報告する。

2. 要素試験

磁石とコイルから構成される電磁誘導型素子の発電基本特性を把握するため要素試験を行った。試験装置の概要を図2に、発電回路を図3にそれぞれ示す。使用したコイルおよび磁石の主な仕様は次の通りである。

①コイル：エナメル線，1000 回巻， $d=23\text{mm}$ ， $\ell_1=32.2\text{mm}$

②磁石（ネオジウム磁石）：500mT， $d=19\text{mm}$ ， $\ell_2=28\text{mm}$

試験装置は、コイルを振動台外部の基礎上に固定され、一方の磁石は振動台に設置した支持台に取り付けられた。磁石を加速度一定、速度一定、変位一定などの条件下で振動試験を行った。振動数は1～10Hzで変化させ、そのときのコイル内に発生した電圧および整流後の電圧を測定した。また、振動台に加速度計 (Ch1) を設置し、磁石の速度および変位を算出した。発電回路においては発生した交流電圧に外部抵抗 ($R1=1\text{K}\Omega$) を介して発生電圧 V_1 の測定を行い、ブリッジダイオードを使用して整流した後、外部抵抗 ($R2=1\text{K}\Omega$) を介して整流後電圧 V_2 の測定を行った。要素試験の結果例として図4に変位一定4Hzで振動させた時の

Fig.1 Footbridge structure with dynamic damper and generator

Fig.2 Elementary test model

Fig.3 Circuit for generator (Type A)

加速度時刻歴，発生電圧時刻歴および整流後電圧の時刻歴を示す。図5にコイルの相対速度に対する発生電圧および整流後電圧の変化を示す。要素試験の結果，以下のことが明らかとなった。

- (1) 発生電圧は相対速度依存性を有する。
- (2) 発生電圧は本試験の範囲では振動数依性は小さい。
- (3) 本試験において整流回路として用いたブリッジダイオードの損失電圧は約0.7Vであった。

3. 振動体と組み合わせた自由振動試験

発電装置を実際に振動体に設置した場合の振動体の振動特性を把握するため，発電要素を組み込んだ振動体試験装置を用いた自由振動試験を行った。試験装置の概要を図6に，発電回路を図7にそれぞれ示す。使用したコイルおよび磁石は2組とした。主な諸元は次の通りである。

- ①コイル：エナメル線，1000回巻， $d=35\text{mm}$ ， $l_1=32.2\text{mm}$
 - ②磁石（ネオジウム磁石）：500mT， $d=19\text{mm}$ ， $l_2=28\text{mm}$
- 振動体は板ばね(SUS304， $t=3\text{mm}$ ， $w=50\text{mm}$ ， $L=1000\text{mm}$)を両端支持し，中央部に錘(3.047Kg)が設置されている構造である。また，錘から磁石が連結棒の先端に取り付けられている。その錘部に初期変位を与え自由振動させ，板ばね中央部錘の加速度の計測を行い，速度および減衰比を算出し，その結果より式(1)より振動一周あたりの運動エネルギーから減衰エネルギーへの変換率 ξ_{EC} を算出した。

$$\xi_{EC} = \frac{W_{CE\max}}{E_{\max}} \quad (1)$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{但し, } W_{CE\max} = \pi C \omega_n X_0^2 \\ E_{\max} = \frac{1}{2} m X_0^2 \omega_n^2 \end{array} \right]$$

ここで， $W_{CE\max}$ は振動一周あたりの減衰エネルギー， $E_{\max}$ は運動エネルギー， C は発電により発生する等価減衰係数， ω_n は振動体の固有振動数， X_0 は板ばねの変位振幅， m は振動体の質量である。また，減衰振動から算出した消費エネルギーに対して実際に発生した電力エネルギーへの電力変換効率 ξ_W を算出した。発電回路における外部抵抗は1Ωを使用し，抵抗器を介して電圧を計測した。自由振動試験の結果例として図8に1Ωの発電体を取り付けた場合の減衰変化および板ばねのみの場合の減衰変化を示す。自由振動試験の結果，以下のことが明らかとなった。

- (1) 1Ωの負荷を取り付けることにより減衰比は0.00764，減衰係数は $C=0.97[\text{Ns/m}]$ 相当の減衰効果が得られた。
- (2) 抵抗が1Ωにおける消費エネルギーへの変換効率 ξ_{EC} は，9.2%であった。
- (3) 抵抗が1Ωにおける電力変換効率 ξ_W は52.9%であった。

4. おわりに

発生電圧は，磁石とコイルとの相対速度に依存することが確認された。また，発電することにより減衰効果が得られることが確認された。磁石の磁束密度の増加，コイルの巻数増加および発電装置設置数の増加等を行うことにより発電効率および振動体減衰効果の向上が見込まれる。以上のことから動吸振器の錘部に電磁誘導型発電装置を設置した場合の発電および減衰効果の見通しが得られた。

5. 参考文献

- 1) 佐々木健，精密工学会誌 Vol. 70, No. 10, (2004), p1286.
- 2) 吉武他，機械学会論文集(C編) Vol. 66, No. 60, (2000-10), Pp. 3233-3241.
- 3) 藤本他 2005 D&D CD-ROM(2005), No. 446.
- 4) 池田他，山梨講演会講演論文集，Vol. 60-4, No108 (2006-10), Pp. 15-16.

Fig.4 Time history of acceleration, generated voltage and rectified voltage ($f=4\text{ Hz}$)

Fig.5 Effect of the relative velocity on generated voltage and rectified voltage

Fig.6 Experimental equipments for vibration tests

Fig.7 Circuit for generator (Type B)

Fig.8 Effect of generator on damping ratio