

磁歪式振動発電デバイスへの衝撃砕波力の活用に関する一考察

金沢大学大学院 学生会員○松井良允

金沢大学 正会員 斎藤武久

金沢大学 上野敏幸

1. 研究の目的

波浪エネルギーは化石燃料に代わる次世代エネルギーとして我が国で先駆的にその利用に関する研究開発が進められてきた再生可能エネルギーの一つである。その利用方法に関しては、OWC(Oscillating Water Columns) に代表される、波浪エネルギーを空気流に変換しタービンを回転させる方式が代表的であり、現在欧州での実用化が進んでいる。ただし、元の波浪エネルギーを複数の変換過程を経て電気エネルギーに変換するこのシステムでは、エネルギー変換に伴うエネルギー損失が大きい。このため、エネルギー損失の少ないデバイスの開発は将来の再生可能エネルギーの効率的な利用促進への鍵であり多くの研究が行われている。特に最近では、波動運動に追従した柔軟圧電材料の変形から電力を獲得する研究が進められている¹⁾。これに関連して、著者らは²⁾柔軟圧電材料よりも格段に大きな電位差の発電を可能とする磁歪材料を用いた発電デバイスの開発し、現在取得できている微小電力の有効活用に関して研究を進めている。この中で、海洋域³⁾海岸・港湾構造物前面⁴⁾での波力発電を想定して磁歪式振動発電デバイスの形状の改良を進め、前報において構造物前面での重複波を利用した方法を提示している。本研究では上述の研究成果を踏まえて、構造物前面での砕波を利用した波力発電方法について理論的および実験的に考究する。

2. 研究の内容

磁歪式振動発電デバイスとは、曲げなどの変形によって磁束密度変化を誘発する磁歪材料(鉄ガリウム合金)を用いて作られたものである。図-1(a)に示すようにデバイス内にコイルを巻いた磁歪素子を連結し、波浪によって得られた外力で磁歪素子を変形させる。この磁歪素子の変形に伴って磁場が変化し発電を行う。本研究では、デバイスへの作用外力として砕波に伴う衝撃波力を想定する。これに関連して、合田ら⁵⁾は衝撃砕波力によって柱体の構造物が受ける流体力を以下の理論式から推定している。

$$F_B = \gamma D H_B^2 (C_D K_D (1-\lambda)^2 + C_M \frac{D}{H_B} K_M \sqrt{1-(1-\lambda)^2} + K_B \lambda X_{\max}) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 F_B は砕波による全波力、 γ は水の単位体積重量、 D は直柱の直径または最大幅、 H_B は砕波波高、 λ は砕波巻き込み率と呼ばれ、図-2に示すように砕波の鉛直壁面の高さと波頂の高さ η の比を表す。 C_B は波速、 C_D は抗力係数、 C_M は質量係数である。また、 K_B は衝撃砕波力算出係数であり、砕波点における波形および波速から定まる無次元量である。さらに、 K_D は最大抗力算出係数であり、水深波長比と波高水深比との関数を表し、 K_M は最大質量力算出係数であり水深波長比の関数である。 $X_{\max}$ は柱体の形状によってことなる値

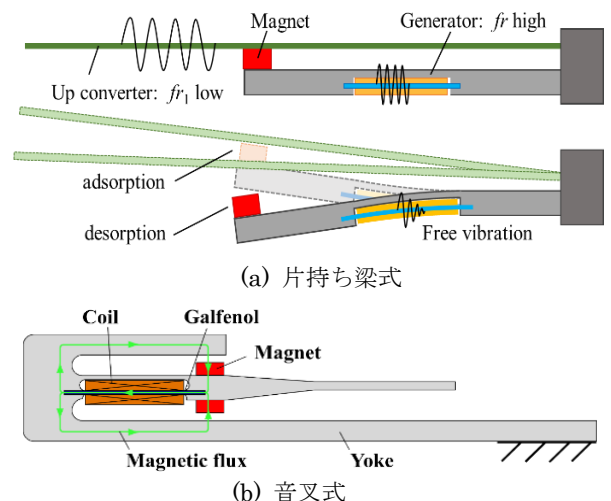


図-1 磁歪式振動発電デバイス

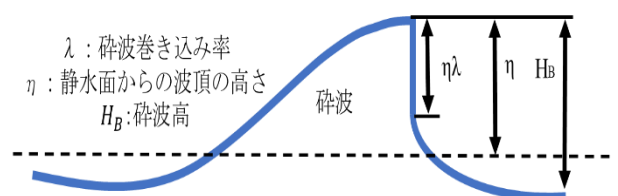


図-2 砕波巻き込み率 λ について

を持つ衝撃応答係数であり、角柱の場合は直柱を含む測定系の固有振動 f を用いて次式で与えられる。

$$X_{\max} = \left(\frac{\pi D f}{2 C_B} \right) \cdots \cdots (2)$$

なお、本研究では磁歪素子の振動継続時間を拡張し獲得できる電力量の増加を目的に磁歪式振動発電デバイスの形状を図-1(b)のように音叉形状へ改良している。加えて、既往研究では発電に必要な磁歪素子の高周波振動へ海洋波が有する低周波振動をアップコンバートしたが、衝撃砕波がデバイスへ作用する場合、上述の周波数アップコンバータを用いることなく磁歪素子のより長い振動継続時間を獲得できる可能性がある。そこで、図-3 に示すような音叉形状を模擬して改良したデバイスに作用する外力を合田ら⁵⁾の理論式(1)を用いて評価し、その外力が作用する場合に発生する振動数を算定する。

この時、本研究で対象とする実験スケールで外力を評価すると、入射波条件を波高 $H=16.5\text{cm}$ 、周期 $T=3\text{s}$ 、砕波波高 $H_B=23\text{cm}$ 、波速 $C_B=1.53\text{m/s}$ とし、角柱の最大径を 4cm 、角柱を含めた測定系全体の固有振動数を 70Hz と仮定した場合、衝撃砕波力 F_B は約 6.8Kg と推定された。上述の衝撃砕波力を図-3 に示すデバイスへ作用させた場合にデバイス自身に発生する振動数を磁歪素子の最大電位差の発生に必要な振動数を一致させるため、3次元CADソフトSolidworksを用いて振動解析を行う。

3. 解析結果および考察

図-4、図-5にそれぞれ1次モード、2次モードでの振動発電デバイスの振動変位図を示す。1次モードの振動では図より角柱部分の先端に行くにつれて大きく角柱が変形し、角柱部分が大きく左右に変形していることがわかる。2次モードの振動ではL字アーム部分が大きく上下に変形した振動の様子がみられる。この時デバイスの固有振動数は1次モードで 11.3Hz 、2次モードで 76.3Hz であった。なお、流体力の推定では、磁歪素子の固有振動数を 70Hz と設定している。以上の結果より、デバイス部で2次モードが発生する場合をターゲットに磁歪素子の固有振動数へ近づける工夫が必要となる。現在柱体のスケール等を調整した実験を進めており、詳細については当日発表する。

- 1) 陸田秀実・川上健太・黒川剛幸・土井康明・田中義和：弾性圧電デバイスを用いた波エネルギー利用技術の開発，土木学会 論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 65, No. 1, pp. 1296-1300, 2009.
- 2) 上野敏幸・河出卓也・山田外史：磁歪式振動発電の周波数アップコンバータによる広周波数帯域化，Dynamics and Design Conference 2013 講演論文集 in USB Flash Drive, 2013.
- 3) 斎藤武久・我妻純平・上野敏幸・北翔太：磁歪材料を用いた振動発電デバイスによる波浪エネルギー利用に関する研究，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.72, No.2, pp. I_1306 -I_1310, 2014.
- 4) 斎藤武久・我妻純平・上野敏幸・西本聖史：磁歪式振動発電デバイスを用いた海岸・港湾施設前面波浪エネルギーの利用に関する研究，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.72, No.2, pp. I_1543 -I_1548, 2016.
- 5) 合田良実・原中祐人・北畑正記：直柱に働く衝撃砕波力の研究，港湾技術研究報告書第5巻6号，1996

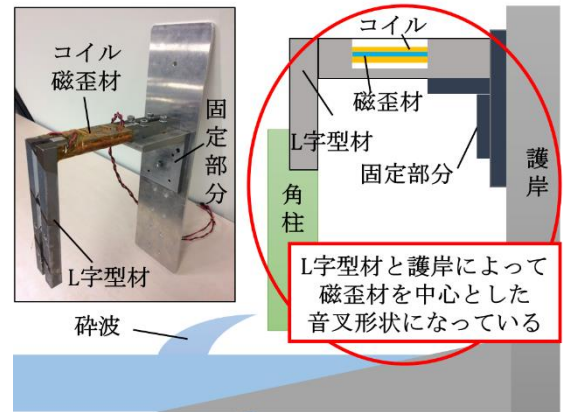


図-3 振動デバイス

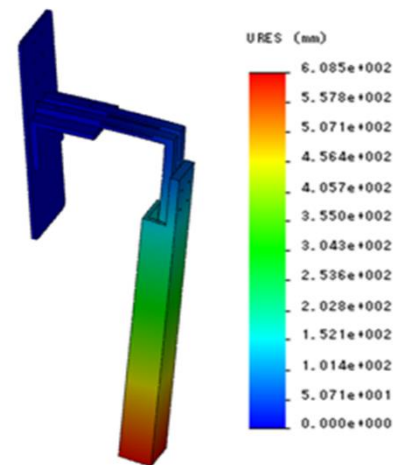


図-4 1次モード変位

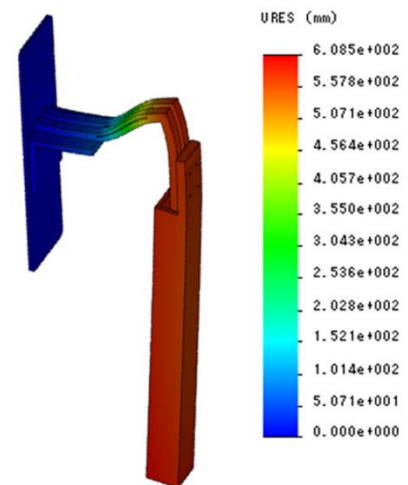


図-5 2次モード変位