

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420125

研究課題名(和文)小水力発電エネルギー存在量計測装置の開発

研究課題名(英文)Development of a device for measuring small hydro power resources

研究代表者

岩本 幸治 (Yukiharu, Iwamoto)

愛媛大学・理工学研究科・講師

研究者番号：80325357

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：水中に差し込んだ障害物が流れによって振動する振動数が流速に比例する性質を利用して、スマートフォンに内蔵されている加速度センサで水路の流速を求める装置を開発した。障害物の選定では、幅18mm、高さ54mm、厚さ1mmの平板であれば流速0.3~1m/sの範囲で比例関係が得られることが分かった。アプリケーションの開発では、高速フーリエ変換に最大エントロピー法を採用することで時間応答性を良くできた。試作機を用水路で試用してみたところ、電磁流速計との誤差が10%以内に収まることが分かった。

研究成果の概要(英文)：We developed a device that measured a flow velocity in a water channel by an acceleration sensor built in a smartphone, utilizing a property that an obstacle immersed in a flow vibrates with frequencies proportional to flow velocities. We found that a small flat plate as an obstacle with a width, height and thickness of 18, 54 and 1mm, respectively, had the proportional relationship under flow velocities between 0.3 and 1 m/s. We also made an application that adopted the maximum entropy method as a fast Fourier transform showing quick response. We tested our prototype device in an actual water channel and found that the errors compared with outputs of electromagnetic flow meter were within 10%.

研究分野：流体工学

キーワード：流速測定 小水力エネルギー

1. 研究開始当初の背景

我が国では再生可能エネルギーの開発が活発化している。しかし主要国で化石燃料依存度が未だに 80%程度もある(エネルギー白書 2011) ことから分かるように、運用実績のあまりない再生可能エネルギーの開発には克服すべき問題が多い。克服すべき問題の一つとして、「再生可能エネルギーがどの程度各地に存在しているか」という調査が十分でないことがある。我が国でも環境省が「再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」を行っているが、それを見ると正確にポテンシャルを評価するにはデータ不足である場合も多い。特に本研究で扱う小水力の分野では季節、取水、分水による流量の変化に対してたくさんの仮定が盛り込まれている。そのため、現在のデータだけで発電機の設置を検討するのは難しい。データ不足になる理由の一つとして、測定には通常、非常に高価な測定機器が必要なため、測定が一部の研究機関に限られ、測定地域も限られていたことが挙げられる。

2. 研究の目的

そこで本研究では、スマートフォンに内蔵されている加速度センサや GPS、通信機能を利用して、河川や水路のエネルギー存在量を手軽に測定できる装置を開発する。この装置ならば、多くの人が特別な技能を持たずとも手軽に測定できるため、従来は捉えることが困難であった流量の変化を仮定なしで捉えることができるようになり、再生可能エネルギーの開拓に不可欠な、採算性を正確に見積もるデータを提供する手段になる。

3. 研究の方法

(1) 障害物選定のための実験 回流式の開水路(西日本流体技研簡易型パーソナルタンク P-90)に水を流して実験を行った。図 1 に試験部の概略図を示す。試験部はアクリル製であり、水深、スパン、流れ方向長さはそれぞれ 200, 300, 880mm である。この試験部の上から模型工作用のカーボンパイプ(図 1 の ⑤)をつけた障害物(⑥)を水中に差し込んだ。水が流れると障害物の下流に渦が放出され、障害物が振動する。その振動を加速度センサ(共和電業 AS-ITG)によって測定し、流速との関係を調べた。流速を測定する際には、差圧計(横河電機 EJA120)に接続されたピトー管(岡野製作所 LK-1S)を使用した。加速度、流速いずれの測定の場合もサンプリング周波数は 200Hz、サンプル数は 13000 とした。本実験では流速を変化させて障害物の振動数の関係を明らかにし、適切な障害物の形状を調べた。

実験当初は障害物にステンレスパイプやアクリル棒を接続し、パイプの反対側をしっかりと固定していた。それでも流れによって障害物は振動するが、その振動数は流速を変えても変化がなかった。詳しく調べた結果、

この振動はステンレスパイプやアクリル棒の固有振動であり、流れによる強制振動とは関係がなかった。実際の装置で想定している時と同様にパイプを手で持って障害物の振動を観察すると、流速の変化とともに振動数が変化する。この状況と同じにするため、図 2 に示すようなパイプをヒンジ留めする支持具を作成した。キャスターとして販売されているボールベアリングを用いることでパイプの傾きを抑えつつ滑らかに回転できるようにしてある。さらにパイプの固有振動を発生しにくくするため、より固有振動数が高い模型工作用のカーボンパイプを用いることにした。

- 1: Open channel
- 2: Aluminum frame
- 3: Height gauge
- 4: Tool for rotary support
- 5: Carbon pipe
- 6: Obstacle
- 7: Wave suppression plate

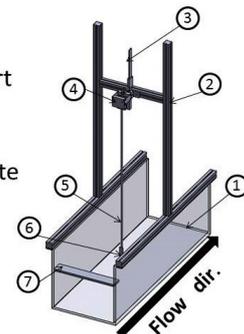


図 1 試験部概略図

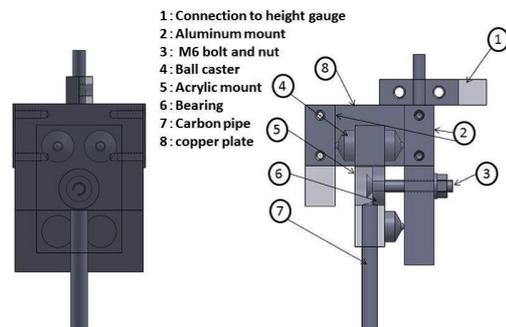


図 2 支持具

(2) アプリケーションの作成 スマートフォンにカーボンパイプを接続した障害物を取り付け、障害物を水路の水中に差し込むと、実験と同じように障害物が振動する。この振動をスマートフォンに内蔵されている加速度センサによって検出する。加速度センサのデータを FFT 解析して卓越周波数を求め、実験で求めた流速と振動数の関係から流速を求めることができる。この機能をスマートフォンに持たせるために必要なアプリケーションを作成した。プログラムは iPhone/iPad 向けの iOS API で実装したが、機種に特有な機能を利用しているわけではないので Android API でも実装できる。

4. 研究成果

(1) 2つの障害物の実験結果 図 3 に示すよう

な2つの障害物を試した。一つは13Aの塩ビパイプを半分に分断してその裏側に平板を貼り付けた障害物(以下D形障害物と呼ぶ)、もう一つは厚さ1mmの亚克力平板である。流れ方向からの投影面積は両者とも同じく18mm×54mmである。

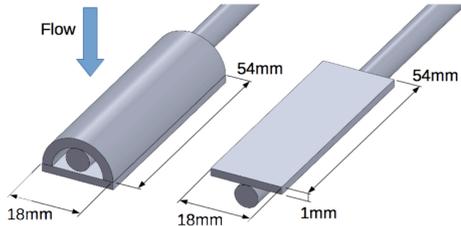


図3 障害物, 左; 13Aの塩ビパイプを利用したD形障害物, 右; 厚さ1mmの平板

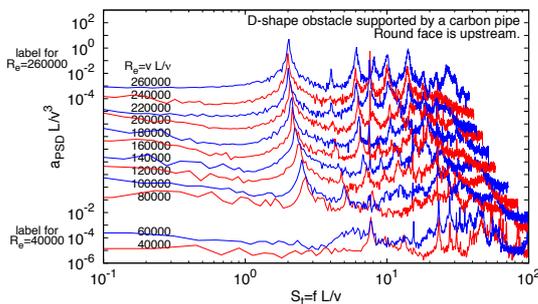


図4 D形障害物(図3左)の振動のパワースペクトル密度関数

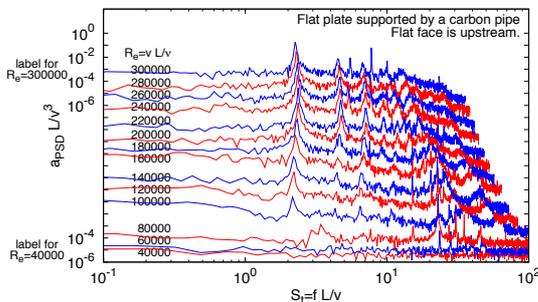


図5 厚さ1mmの平板(図3右)の振動のパワースペクトル密度関数

図4,5にそれぞれの障害物の振動をパワースペクトル密度関数(PSD)で整理した結果を示す。図は流路の水力直径(342mm)を代表長さとするレイノルズ数 Re を一定にして加速度を測定し、それぞれのレイノルズ数でPSDを描き、さらに見やすくするためにPSDを縦方向にスライドさせたものである。横軸はストローハル数(無次元周波数) St であり、レイノルズ数と同様に水力直径を代表長さにしてある。図4,5ではピークがあるところのストローハル数を持つ振動が主に起こっていることを示す。それぞれのPSDで $St > 6$ で常に見られるピークがある。これは流れを駆動するインペラの回転に起因するものであり、障害物の振動はそれよりも小さいストローハル数におけるピークに対応する。

D形障害物による結果(図4)を見ると、 $Re > 80000$ で渦放出による障害物の振動が確認でき、レイノルズ数の増加にともなって2.6から2.0のストローハル数の変化がある。振動数から流速を求めることを考えると、ストローハル数に変化があると流速と振動数の間に比例関係がなくなるのであまり望ましくない。

平板による結果(図5)を見ると、 $Re > 100000$ で渦放出による障害物の振動が確認でき、ストローハル数は一定値をとることが分かる。実験を行った全てのレイノルズ数に関して平均をとってストローハル数を求めると、その値は2.27,分散は0.0025になった。この結果を利用して振動数から流速を求める式を作成すると、

$$\text{流速} = 0.151 \times \text{周波数}$$

が得られた。振動が確認された範囲を流速および振動数に直すとそれぞれ0.3~1m/s, 2~6Hzであった。

図3の他にも円柱, 台形柱などの障害物も試したが、ストローハル数が一定にならなかったため平板が最も良いと判断した。

(2) アプリケーションの性能評価

実験で観測された振動数は高々10Hzあった。アプリケーションにおいて流速測定の誤差を10%以下にするためには、高速フーリエ変換の分解能は少なくとも0.1Hzにしなければならない。そのためには総測定時間はその逆数の10秒以上になり、これでは時間応答性が悪い。よって本研究では総測定時間が短くても安定したスペクトルが求まる最大エントロピー法を用いた。加速度のサンプリング周波数を100Hzとし、2秒間のデータに対して最大エントロピー法を用いることにした。シミュレータで10.1Hzの正弦波信号を擬似的に入力したところ、開発したアプリケーションでは卓越周波数10.05~10.2Hzを表示した。よって0.1Hzの解像度は確保できており、流速測定に適したアプリケーションの基本性能を得ることができた。

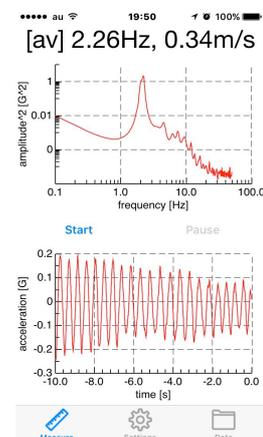


図6 アプリケーション実行画面のスナップショット

図6に実行画面のスナップショットを示す。上段にスペクトル、下段に加速度の生波形を表示させる仕様になっている。時系列データやGPS位置情報記録、装置の傾きを警告する機能を付加した。

アプリケーションをインストールしたスマートフォンにカーボンパイプを介して厚さ1mmの平板障害物を取り付けて試作機とした。この試作機を使って実際に用水路で流速測定を行った。図7にその結果を示す。横軸が試験番号、縦軸が流速である。性能評価のため電磁流速計（JFEアドバンテックAEM1-D）でも測定を行っており、その結果も図7に示してある。図7を見ると、両測定器の最大/最小の差は試験番号12/18のときの0.231/0.004m/sであり、相対誤差にすると77.4/1.0%であった。誤差が大きくなった時は、使用者が前かがみになりすぎており、平板障害物が流れに垂直になっていなかった。姿勢を改めた後である試験番号15以降での両測定器の差は10%未満になっており、簡易的な流速計としては満足いくものになった。（電磁流速計の精度は2%である。）なお、姿勢が悪いと誤差が大きくなるという問題を改善すべく、アプリケーションに装置の傾きを警告する機能を付加した。そのため、誤差が大きくなる最大の原因と言える設置姿勢の問題は現在は取り除かれている。今回の試作機に使っている模型用カーボンパイプやアクリル平板は簡単に入手でき、製作技術もそれほど高度ではない。つまり、スマートフォンを利用した簡易流速測定装置の開発ができたと言える。このような装置の開発は例を見ず、計測工学の新しい展開が期待出来る。

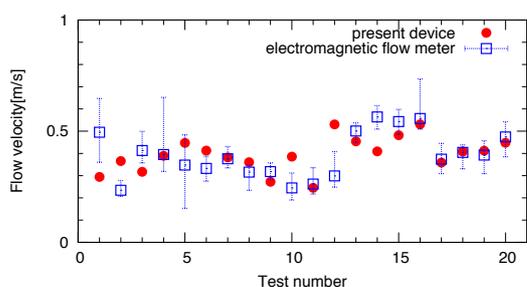


図7 用水路における流速測定結果、●；本装置、□；電磁流速計

(3) 低流速時でも対応出来る固定具の試作

実際に用水路で測定を行ったところ、手で試作機を持って測定した場合、低流速では振動が手によって抑えられてしまう場合があった。簡単な測定器を目指していたが、これでは持ち方によって性能に個人差が出てしまう。よって、誰でも同じ性能を出せ、かつ簡単に製作できる支持具を開発することにした。開発した支持具を図8に示す。カーボンパイプをアクリル板（木材でも良い）に貫通させ、74mm角の正方形の角回転台（スラスト軸受）を介してベニヤ板で挟み込む。金

属加工などの高度な加工がないため、これであれば簡単に製作できる。実験室で性能を評価した結果、図2の支持具と同様の性能を示すことが分かった。

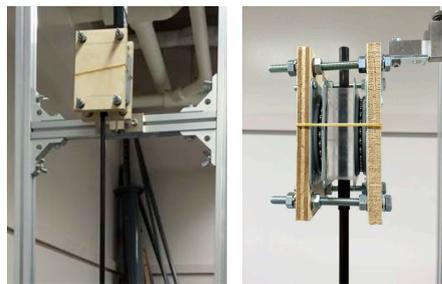


図8 回転台を用いた支持具

(4) 今後の展望 助成期間での研究により、スマートフォンを利用した簡易流速測定装置の開発に成功した。これは当初の目的であったエネルギー存在量を手軽に測定できる装置に不可欠な基本的性能である。しかし、エネルギーを調べるためには流量の測定が不可欠である。そこで現在、測定器を手で移動させて測定点を変え、その測定点情報と流速から流量を算出するように機能を拡張している。測定点を求める際、加速度センサやGPSの情報を直接利用するのは誤差が大きすぎるのが現在分かっている。よって、制御工学で用いられるカルマンフィルタなどの誤差除去機能の実装に注力している。流量計の機能が達成した時点でアプリケーションの公開を行う。またホームページ、オープンキャンパス、出前授業などで装置を紹介し、教育器具としての展開も考えている。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 3 件）

- (1) 清水拓, 岩本幸治, 十河基介, 保田和則, 「簡易な渦流計のための障害物構成の選定」, 日本機械学会中国四国学生会第 46 回学生員卒業研究発表会, 2016 年 3 月 8 日, 愛媛大学工学部（愛媛県松山市）
- (2) 岩本幸治, 三宅正紘, 十河基介, 保田和則, 「片端単純支持体の流力振動を利用した流速測定のための予備的実験」, 日本流体力学会年会 2014, 2014 年 9 月 15 日, 東北大学川内北キャンパス講義棟（宮城県仙台市）
- (3) 三宅正紘, 岩本幸治, 保田和則, 十河基介, 「流体によって振動する弾性支持体を利用した流速測定のための予備的実験」, 日本機械学会中国四国学生会第 44 回学生員卒業研究発表会, 2014 年 3 月 6 日, 鳥取大学工学部（鳥取県鳥取市）

〔図書〕（計 0 件）

[産業財産権]

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

[その他]

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩本 幸治（YUKIHARU IWAMOTO）愛媛
大学大学院理工学研究科・生産環境工学専
攻・講師

研究者番号：80325357

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし