

大阪市立大学大学院工学研究科	学会員	植嶋	大地
大阪市立大学大学院工学研究科	学会員	森本	真司
大阪市立大学大学院工学研究科	正会員	重松	孝昌
大阪市立大学大学院工学研究科	非会員	加藤	健司
大阪市立大学大学院工学研究科	非会員	脇本	辰郎
大阪市立大学大学院工学研究科	非会員	吉岡	真弥

1. 研究背景・目的

港の静穏性を確保するために不透過な防波堤が設置されていることが多い。この防波堤の前面には消波ブロックを配置し、波エネルギーを消散させて、不透過壁に波が直接に作用しないようにしている。

再生可能エネルギーを利用した発電が注目されていることを踏まえ、高田ら¹⁾は防波堤の前面に設置されている消波ブロックをサボニウス水車に置き換え、消散させていた波エネルギーを発電エネルギーとして活用しようとする新たな波力発電堤体を提案している。この波力発電堤体には、既存の消波工と同程度の消波性能と可能な限り高い発電性能が求められる。これらの性能を満たすため、高田らは水車径が及ぼす影響について検討しているが、十分な性能を得るに至っていない。

本研究では、不透過壁と水車列の距離を変えて実験を行い、この水車設置位置が消波・発電性能に及ぼす影響について検討した。さらに、これらの性能に影響を及ぼす水車間流速を速くするために水車設置水深を浅くして同様の検討を行った。

2. 実験方法

実験は、長さ 20m、幅 0.5m、高さ 0.6m の二次元造波水路(図-1)を用いて、水深 h を 0.40m で一定として行った。造波板より約 14m 離れた位置に、不透過壁とサボニウス水車列からなる波力発電堤体模型(図-2)を設置した。水車の径 D_s は 0.072m で水車間の水流がスムーズに流れるように、隣接する水車が互いに逆回転するように設置した。模型から約 3.5m 沖側に容量式波高計を 2 本設置し、合田ら²⁾の入・反射波分離推定法を用いて入射波波高 H および反射率 K_r を求めた。また、水車間の前面(沖側)、静水面下 0.08m の位置に、電磁流速計(アレック電子(株))を設置し、水車間の通過流速を計測した。水車の回転数 R_E は、水車軸の上端に取り付けた加速度計 SensorController (株)ATR-

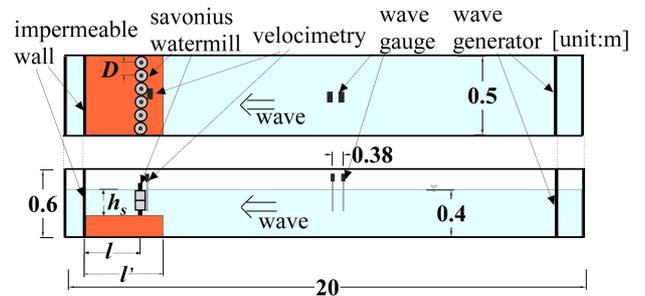


図-1 二次元造波水槽

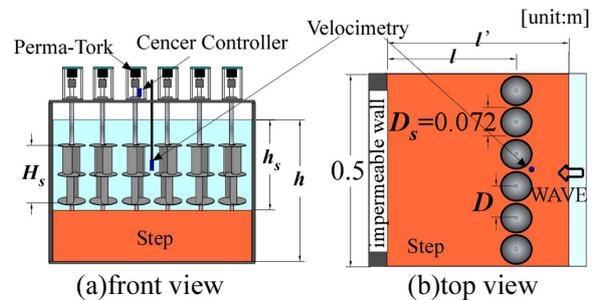


図-2 堤体模型の概要

Promotions) を用いて 100Hz で測定し、Perma-Tork HC01-1 (日本創販(株)製)を用いて水車の軸にトルク T_q を負荷した。

実験では、まず、水車設置水深 $h_s = h = 0.40m$ で、水車設置位置を $l = 0.20, 0.30, 0.40m$ と変化させて実験を行い、波力発電堤体の消波・発電性能に及ぼす影響について検討した。さらに、 $h_s = 0.232$ として同様に l を変えて実験を行った。なお、消波性能は反射率 K_r 、発電性能は水車 1 本あたりの波エネルギー $D \cdot P_w$ ($P_w = \rho g H^2 / 8$, ρ : 流体密度, g : 重力加速度) に対する水車の獲得動力 P の比として求められる一次変換効率 E で評価した。

3. 実験結果

(1) 水車設置位置が消波・発電性能に及ぼす影響

既存の消波構造物の知見から、不透過壁と水車列との距離 l は消波性能と密接な関係があると推測される。また、水車間流速は消波・発電性能と密接な関係があると推測される。

図-3 は水車軸間距離 D は $1.1D_s$ 、水車高さ H_s は 0.32m とし、 $l = 0.20, 0.30, 0.40\text{m}$ と変化させて、 $T = 0.73 \sim 1.71\text{s}$ 、 $H/L = 0.020$ の波を作用させたときの反射率 K_r と水車間の通過水粒子速度 V_{max} の関係を示している。図中の u_{max} は微小振幅波理論によって求められる最大速度振幅を表している。同図によると、 V_{max}/u_{max} は、いずれの l においても $0.15 < l/L < 0.20$ で極大値をとるような傾向を示す。一方、 K_r は l によって極小値を示す l/L が異なり、 l が大きくなるほど極小値そのものも小さくなる傾向があることがわかる。

図-4 は l と一次変換効率 E との関係を示したものである。同図より、 l が大きくなるにつれて、 E の極大値が大きくなる傾向があることがわかる。 E の極大値が出現する l/L は、図-3 における K_r の極小値が出現するそれに等しいので、 E と K_r は密接な関係があることがわかる。

図-5 は水車間流速 V_{max} と無負荷時の水車の周速度 $r\omega$ の関係を示している。なお、 $r = D_s/2$ 、 $\omega = 2\pi R_E$ である。同図より、 $r\omega$ は V_{max} にほぼ比例しており、 l には依存しないことがわかる。

(2) 水車設置水深が消波・発電性能に及ぼす影響

水車間流速を増加させる方法のひとつとして、水車設置水深 h_s を浅くして波を縮流させることが考えられる。そこで、 $h_s/h = 0.58$ として実験を行い、前述の $h_s/h = 1.0$ の場合の結果と比較した。このとき、 $H_s = 0.16\text{m}$ とし、 $l = 0.20, 0.30, 0.40\text{m}$ と変化させ、ステップの奥行き l' を $l' = l + 0.04\text{m}$ とした。

図-6 は K_r と V_{max}/u_{max} の関係を示しているが、 h_s を浅くすることによって、 V_{max}/u_{max} が全体的に大きくなり、これに伴って K_r が低下することがわかる。

図-7 は l と一次変換効率 E との関係を示したものである。同図より、 $l = 0.20\text{m}$ では、 $h_s/h = 0.58$ の場合の E は $h_s/h = 1.0$ のそれよりも大きい値を示している。一方で、 $l = 0.30\text{m}$ では、両者はほぼ同じ値を示す。また、 $l = 0.40\text{m}$ では、 $h_s/h = 0.58$ の場合の E は $h_s/h = 1.0$ のそれよりも小さい値を示す。

図-8 は V_{max} と無負荷時の水車の周速度 $r\omega$ の関係を示している。同図より、 $h_s/h = 1.0$ のときと同様に $r\omega$ は V_{max} にほぼ比例しており、 l には依存しないことがわかる。しかしながら、 $h_s/h = 1.0$ のときと比べると近似直線の傾きは小さくなっている。

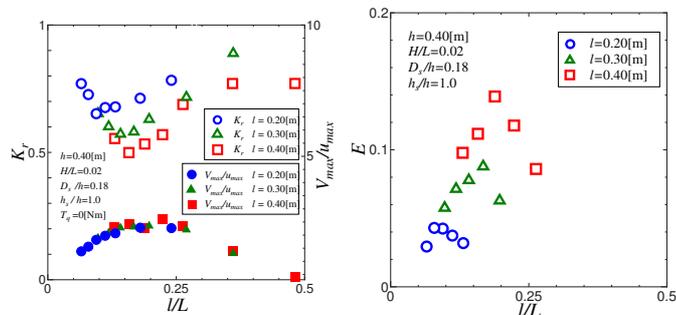


図-3 K_r と V_{max}/u_{max} の関係

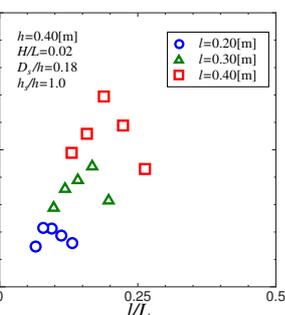


図-4 l と E の関係

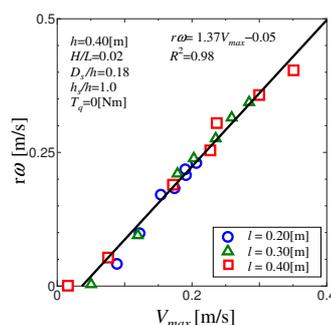


図-5 V_{max} と $r\omega$ の関係

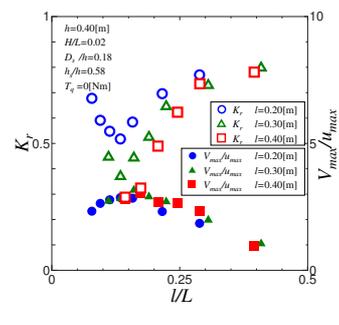


図-6 K_r と V_{max}/u_{max} の関係

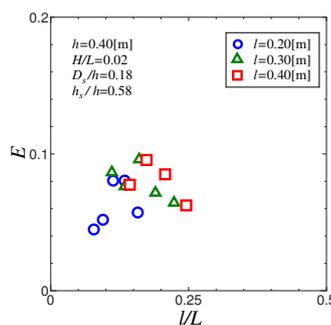


図-7 l と E の関係

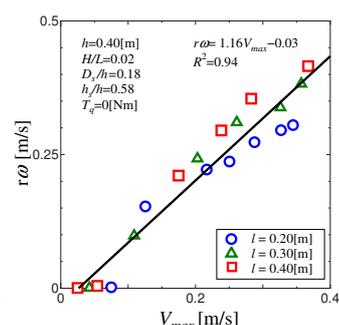


図-8 V_{max} と $r\omega$ の関係

4. 結論

本研究で得られた結論を要約すると以下のようである。

- 波力発電堤体の消波・発電性能は水車間流速 V_{max} や水車設置位置 l と密接な関係がある。
- 水車設置位置が不透過壁から遠くなるほど、消波・発電性能とも有利になる傾向がみられた。
- 水車設置部の水深を浅くすることによって消波性能の向上は期待できるが、遊水室幅によっては発電性能が低下する。
- 無負荷時の水車の周速度 $r\omega$ は水車間流速 V_{max} にほぼ比例し、 l には依存しない。

参考文献

- 1) 高田ら：サボニウス水車を用いた波力発電堤体の開発に関する実験的研究，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，2014年，特集号 (Vol.70, No.2)。
- 2) 合田ら：不規則波における入・反射波の分離推定法，港湾技術研究所資料，1976年，No.248。