

II-6

海岸保全と波浪発電のためのハイブリッド型システムの三次元特性

室蘭工業大学 ○学生員 山内 功
 室蘭工業大学 フェロー 近藤 俊郎
 室蘭工業大学 太田 典幸

1. はじめに

昨今、世界の人口急増を背景に、エネルギー・資源を大量消費せざるを得ない状況にあった。この化石燃料の消費は将来の資源枯渇に対する不安だけではなく、燃焼ガスによる大気汚染や地球温暖化にも深刻な影響を与えている。特にわが国は、化石燃料のほとんどを輸入に頼っている為、21世紀に起こりうるエネルギーと環境問題を打開するため新エネルギーの開発が早急に必要とされている。そこで室蘭工業大学では1978年以来波浪エネルギーに注目し実験・研究を行ってきたが、中でも振り子式波浪発電装置は他の波浪発電装置に比べ、高い効率性を明らかにしてきた。

一方、我が国では治水工事の普及や沿岸地区の都市化により海岸への流出土砂量が顕著に減少し、砂浜海岸の多くは慢性的な侵食傾向にある。沿岸域で波浪エネルギーを吸収することができれば岸向きの波のパワーが減少するので海岸侵食量を減少させることができると考えられる。

本論文では、侵食性海岸において離岸堤の機能をも有する振り子式波浪エネルギー吸収システムを室内三次元水槽を用いて波浪特性とエネルギー吸収効率の実験結果を示すものである。

2. システムの基本構造

従来の振り子式波浪発電システムは箱状コンクリートケーソンの前壁を取り去り、振り子板を設けた構造である。しかし局所的な漂砂への影響が大きく、砂浜海岸における海岸侵食が懸念される。

本実験ではケーソン型に代わる新たなシステムを考えるにあたり、次のような条件を設定した。

- (1) 年平均入射波エネルギーの配分目標を反射30%、吸収40%、伝達10%とする。
- (2) エネルギー吸収装置には高効率である振り子式を用い、エネルギー変換にはロータリーベーンポンプを採用する。
- (3) 沿岸漂砂に支障が少なく、かつ岸沖漂砂も通過できる構造とする。
- (4) 大波浪時には振り子板を固定するものとし、その状態においても直立離岸堤としての機能を有し、システムが倒壊しない構造とする。

以上の条件を満足する構造として杭、没水後壁並びに振り子からなる脚柱構造形式(図-1)を提案する。この構造はケーソン型に比べて側壁と底板が無いので沿岸方向の漂砂移動は殆ど阻害されない。岸沖方向についても掃流砂についても大きく阻害しないように、没水後壁はその下端と地盤との間に隙間(以下クリアランス)を置く構造としている。

加藤らが行った実験(1998)により二次元水槽において

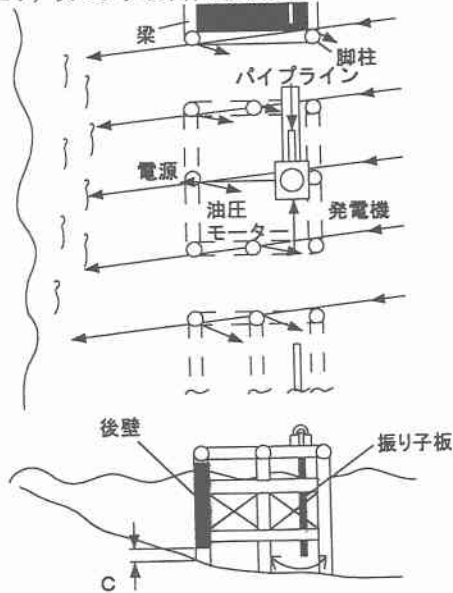


図-1 ハイブリッドシステム概念図

Three-dimensional character of the hybrid system for shore protection and wave power extraction by Isao YAMAUCHI, Hideo KONDO, Noriyuki OOTA

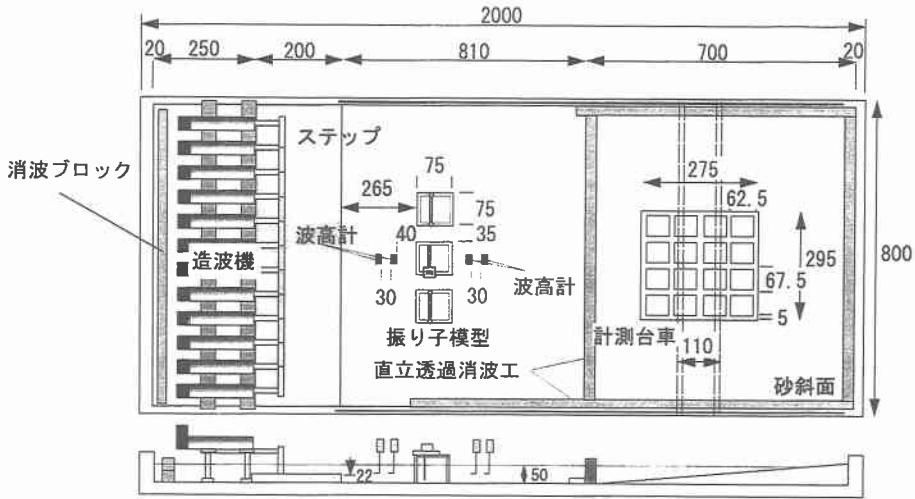


図-2 三次元不規則造波水槽 (cm)

先ほどの条件 (1) を満たすことが確認できた. そこで本研究では三次元水槽を用いて脚柱構造形式における性能を実験より明らかにし, 二次元実験結果との比較をおこなう.

3. 実験方法

20 × 8 × 0.7 m の実験水槽に 50 cm まで水を張り, 脚柱型振り子模型を三基設置し, その前後に波高計を設置した. 水槽の側壁には反射を押さえるため消波工を設置し, 構造物の後方には消波のための直立透過消波工とその背後に緩傾斜をもたせ砂斜面を設けた. 全体の配置図は図-2 に示す. 脚柱型振り子模型 (図-3) はステップから 265 cm, 水槽中央部に 35 cm 間隔で造波板に対し平行に三基並べ, 中央の振り子模型にロータリーベーンポンプ模型 (図-4) を設置した. 模型縮尺を 1/20 とし, 波浪緒元は表-1 とする. 振り子と後壁の距離が波長の 1/4 のとき高いエネルギー吸収効率が得られると考えられているが, 本研究では 1.12 s の 1/4 波長である 0.43 m として実験をおこなった. 水槽底部と後壁下端の間隔, クリアランスは二次元水槽実験での効率結果が最も高かった条件である 10 cm を採用し, 天端高も同様に 10 cm とした. . . ロータリーベーンポンプの構造は, 振り子軸と一体化して回転運動する二枚のベーンと, 固定された二枚のベーンによって, ケース内に仕切られた四つの貯油部屋をつくりだす. 振り子が振れることによって軸が回転し, それに伴い振り子軸と一体化したベーンが回転運動することにより部屋に体積変化を生じ, 油を吐出する構造になっている. 波浪緒元にある負荷状態というのは, ロータリーベーンポンプと油タンクの連結部に付いている弁の開度を変えることにより内部圧力を変化させた. ロータリーベーンポンプ式振り子模型には角

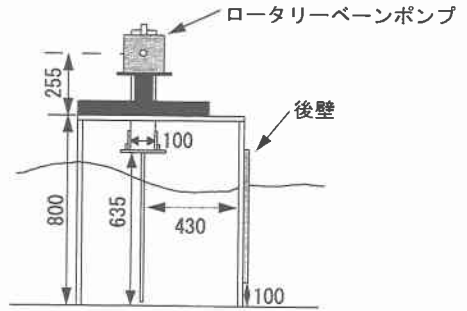


図-3 振り子模型図 (mm)

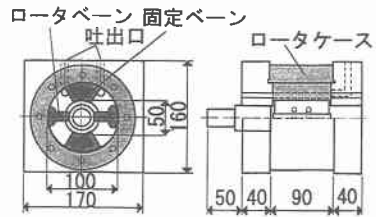


図-4 ロータリーベーンポンプ模型 (mm)

度計と歪み測定機を取り付け、角速度と軸トルクを測定し、これより一次変換効率を算定する。また比較対象として脚柱構造物に側壁を取り付け、クリアランスのみを設けた準二次元型に同様な実験を行った。模型前後に設置した波高計より入射波高を測定し、前面波高比、反射率、伝達率を求める。

波の種類	規則波、不規則波、多方向不規則波
波高	5 cm
周期	1.00, 1.12, 1.23, 1.34, 1.57, 1.79sec
波向	90°, 75°, 60°, 45°
負荷状態	無負荷, 弱負荷, 中負荷, 強負荷

4. 波高分布

効率測定実験を行う前に三次元水槽における設定波高の再現領域を確認するため、各造波条件(表-1)での波高分布を測定した。ステップから265cm、側壁から380cmで波高5cmとなるように波を起し、その点を中心に75cm間隔で、横9列、縦5列の45点で造波開始40s後から測定を行った。6×3mの範囲の波高分布結果は図-5となる。図の下端が造波機側となっており、波は下から上へと進行している。模型設置予定地は図の中心部となる。規則波は不規則波に比べ横の再現領域が狭く、その幅は振り子三基分が収まる程度であった。また波向を変化させた斜め入射での波高分布は周期の短い範囲ではよく再現されており、周期の長い範囲においても不規則波では波向が再現されている。

表-1 造波条件及び実験条件

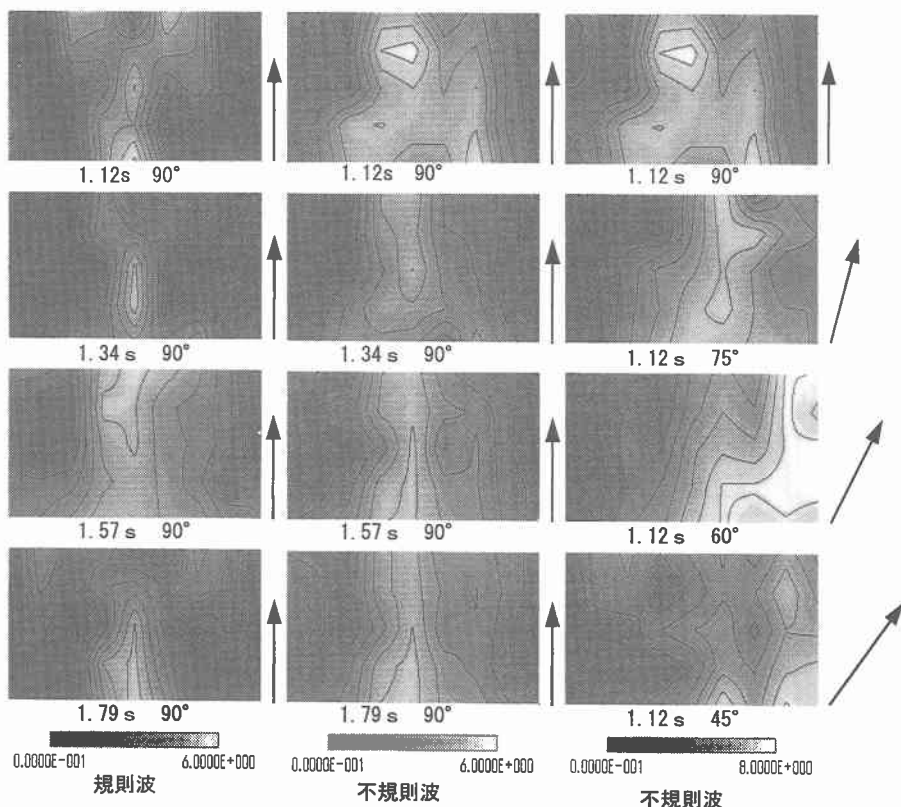


図-5 構造物周辺の入射波高分布 (矢印は入射波向)

5. データ解析方法

期間の間に油圧ポンプが吸収するパワーの平均値 E_p は次のように表される。

$$E_p = \frac{D_p}{2\pi\eta_1 t_0} \int_0^{t_0} P_p \dot{\theta} dt$$

$$= \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} T_p \dot{\theta} dt$$

ここで D_p : 油圧ポンプの押しのけ容積, P_p : 油圧ポンプの吐出圧, η_1 : 油圧ポンプのトルク効率, T_p : ポンプ軸トルク, $\dot{\theta}$: 振り子の角速度である。

幅 B_p の振り子に入射する波の平均パワー $B_p W$ は

$$\text{規則波} : B_p W = \frac{1}{8} \rho g H^2 B_p \frac{2\omega}{k} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)$$

$$\text{不規則波} : B_p W = 0.44 H_{1/3}^2 T_{1/3} B_p$$

一次変換効率 η_1 は、波の入射パワー $B_p W$ に対する吸収パワー E_p の比であるから、次の式により求めることができる。

$$\eta_1 = \frac{E_p}{B_p W}$$

5. 実験結果

図-6～14に実験結果を示す。図-6は不規則波、入射角が 90° の場合の反射率を負荷別に表したものである。横軸は B/L で無次元化している。すべての条件において負荷を与えることで波エネルギーを吸収し、反射率を低減している。しかし負荷を変えることによる明確な差というには見られなかった。 B/L が大きな所で、本システムが目標としているエネルギー反射率30%、波高反射率54.8%を超えており、その他の値も近辺に分布している。図-7は振り子前面部における波高を入射波高で割った波高比を入射角度別に表したものである。 90° では B/L が大きくなるごとに波高比、すなわち反射は大きくなる傾向が見られる。他の角度では 90° よりも小さく、 B/L に関係なくほぼ一定の値を示している。図-8は二次元実験結果と準二次元型、脚柱構造 90° の結果である。準二次元型と

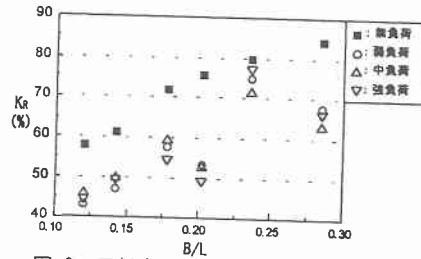


図-6 反射率 (不規則波, 90°)

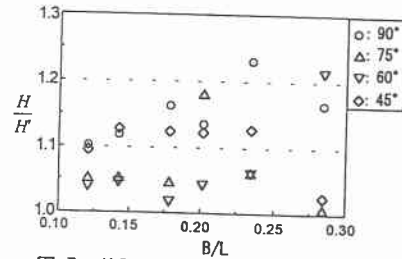


図-7 前面波高比 (不規則波, 中負荷)

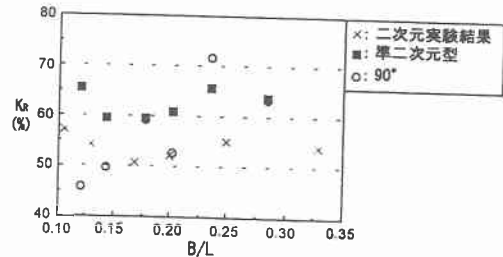


図-8 反射率 (不規則波, 中負荷)

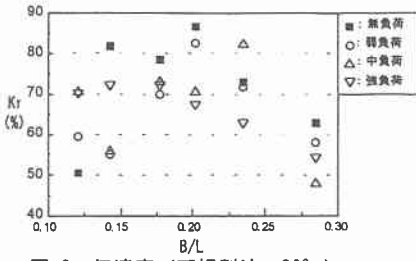


図-9 伝達率 (不規則波, 90°)

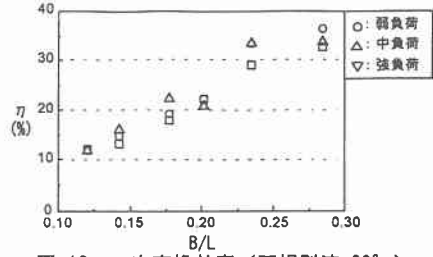


図-12 一次変換効率 (不規則波, 90°)

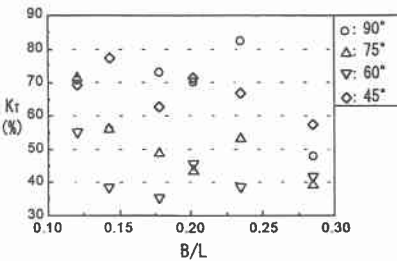


図-10 伝達率 (不規則波, 中負荷)

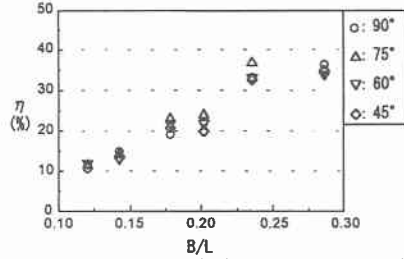


図-13 一次変換効率 (不規則波, 中負荷)

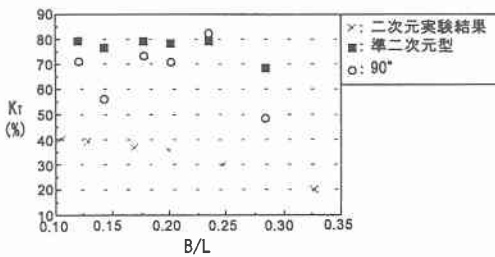


図-11 伝達率 (不規則波, 中負荷)

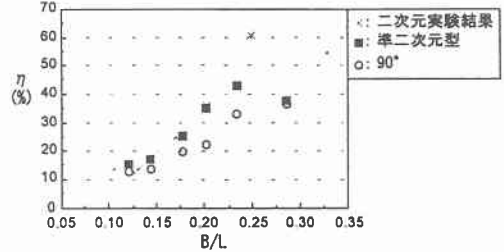


図-14 一次変換効率 (不規則, 中負荷)

比較すると B/L の大きな所でいくつか超えている点もあるが、ほとんどの条件において反射率の低減が見られる。二次元実験結果とでは B/L が大きなところでは超えているが、そのほかでは一致している点も見られる。

図-9 は不規則波、入射 90° の伝達率を負荷別で表し、図-10 は中負荷の伝達率を入射角別に表示したものである。構造物による回折が非常に高い分布となっている。負荷を与えることによる伝達率の低減はほとんどの条件で確認できるが、 $B/L = 0.121$ 、設定周期 1.12 よりもっとも遠い周期 1.79 s ではすべての負荷を与えた点で高くなっている。角度別では、 75° 、 60° となるごとに大きく低減するが 45° においては反射率と同様に値は高くなっている。図-11 より準二次元型と比較すると、 90° ではほとんど差はなかった。しかし二次元実験結果と比較すると約2倍もの差がある。

一次変換効率の結果は、負荷別で見ると中負荷が全体を通して若干よい値を示している。振り子と後壁の距離が周期の $1/4$ 波長で最も吸収効率がよいと考えられているが、今回の実験でも 43 cm の約4倍の波長を持つ 1.12 s とそれに近い 1.00 s で高い効率が得られている。角度別で見ると、 75° が 90° より大きくなっている所があるがその差は小さく、入射角の違いによる一次変換効率の違いは今回の実験では見られなかった。図-14 から準二次元型と比較すると、全体的に5%程度の低減で収まっている。二次元実験の振り子の設置状態は振り子と後壁の距離が 60 cm で、周期 1.34 s の波長の $1/4$ をとっているた

め、 $B/L = 0.25$ で一次変換効率が最大となっている。二次元水槽で行った実験結果と比較すると、 B/L が小さい範囲では効率はほとんど同じ値となっているが、 B/L が大きくなると20%の低下が見られる。

6. まとめ

- (1) 波高比から入射角による模型前方の波高変化が見られ、 75° 、 60° で特に減衰している。 90° における反射率はほとんどの条件において準二次元型を下回っている。また二次元実験結果とは B/L の小さい範囲で同じような分布となった。
- (2) 伝達率は回折の影響が強いため、二次元実験結果と比べ非常に高い結果となった。入射角が 90° では準二次元型と大差はないが、角度を変えるごとに低減している。
- (3) 一次変換効率において入射角の違いによる変化は大きく現れなかった。準二次元型と比較すると不規則波において5%程度の効率低下が見られた。また、二次元実験の結果と比較すると、 B/L の大きい範囲では15～20%の低下となった。
- (4) 本システムにおいて設定された条件で見ると、伝達率が目標であるエネルギー伝達率10%（波高伝達率31.6%）を大きく超えている。そのため、模型間隔、クリアランスを狭めるなどの対策を講じる必要があることが判明した。

謝辞：本研究について北海道東海大学・谷野賢二教授にご指導戴いたことを記し、感謝いたします。また実験、データ整理に協力された建設システム4年次学生、本多康友君に感謝の意を表します。最後に本研究は文部省科学研究費補助金基盤（A-2）「海岸保全と波浪発電のためのハイブリッドシステム」（代表者：近藤一郎）によるものである。

参考文献

- 1) 近藤編著：海洋エネルギー利用技術，森北出版，185p, 1996.
- 2) 近藤，藤間，加藤，飯島，渡部，浦島，太田：波浪発電と海岸保全のためのハイブリッド型システム，第45回海岸工学論文集，pp1226～1230，1998.
- 3) 近藤，谷口，渡部，浜田：新型振り子式波浪発電の現地性能試験，第46回海岸工学論文集，pp1261～1265，1999.
- 4) 加藤，近藤，太田：海岸保全と波浪発電のためのハイブリッド型システムの二次元特性，土木学会北海道支部論文報告集，第55号（B），pp210～213，1999年2月.