

# さんご礁の機能を取り入れ、再生可能な 発電所が取り付けられた防波堤の提案

A proposal of the breakwater that function of coral reef is adopted and that the renewable energy power plants are installed.

中田 邦嗣 <sup>\*1</sup>

Kunitsugu NAKATA

上田 晃義 <sup>\*1</sup>

Akiyoshi UEDA

## Abstract

The proposal discussed in this paper is breakwater. Function of coral reef is adopted and the renewable energy power plants are installed to the breakwater. The breakwater is built at the off shore like the coral reef. It absorbs the wave motion like a coral reef. Water power turbine, wind power turbine, wave power turbine and solar panel are installed to the breakwater. Renewable energy is generated at the breakwater.

キーワード：防波堤、再生可能エネルギー

Key Words: Breakwater, Renewable power

## 1. はじめに

化石燃料の燃焼に伴う二酸化炭素による温暖化が原因となり大陸の氷河の融解を生じさせていて、これによる海面の上昇や海水温度上昇に伴う体積膨張による海面の上昇が指摘されている。さらに海水温の上昇に伴う気候変動により、大雨や巨大台風の出現が予想され、これらにより既設の防波堤の能力不足が懸念されている。

実際にアメリカにおいて巨大ハリケーン（カトリーナ）の高潮が防波堤を超えたためニューオリンズが水没し、我が国においても、九州で台風による高潮が防波堤を超えたために住宅が水没する被害が発生している。

ニューオリンズの場合、防波堤内の多くの土地が海面より低いことにより被害を大きくした。九州の場合、防波堤内の土地は海面より高いが、防波堤を超えた高潮は防波堤があるために、乗り越えた海水が溜まつたままとなり、被害を大きくした。上記の被害が示していることは高潮が既存の防波堤の能力を超えたことであり、この対策として防波堤の補強とかさ上げが必要になり、新たな費用が必要に

なる。

わが国で防波堤をかさ上げした実際の例として関西国際空港で地盤沈下対策として防波堤のかさ上げと、台風や大雨時の雨水や防波堤を超えた海水の排水対策として排水ポンプ 37 台の設置工事がなされ、約 400 億円が費やされた。

## 2. 既設の防波堤の能力不足に対する提案対処法

既設の防波堤のかさ上げに代わりに、自然界のさんご礁が持っている機能に着目した。さんご礁は陸地から少しほなれたところに珊瑚虫の働きにより形成される。このさんご礁により陸地に到達する波の振幅が抑制される。

この作用を応用し、陸地を波の侵食から守る防波堤を従来のように海岸線に築くのではなく、沖に新たに築く。

この防波堤に水力タービンを設置して揚水発電、あるいは揚水発電と潮汐発電を組み合わせた発電を行うものとする。これに加え波浪時に防波堤を越流してくる波により内水面が上昇する。この内水面と外水面との「水頭差」で越波発電も併せて行う。さらに波力発電、風力発電、太陽光発電を組み合わせ、その電力により防波堤内の海水を汲み上げ、電力が必要なときに海面との落差により発電を行う。

防波堤をこの提案のように建設することで通常時の風や波のエネルギーでの発電だけでなく、気候変動が原因のハリケーンや台風の大型化、温帯低気圧の大型化などの異常気象時に生じる風と波のエネルギーを利用して風力発電や

\*1 阪神高速道路株式会社

(〒650-0041 神戸市中央区新港町16-1)

e-mail: kunitsugu-nakata@hanshin-exp.co.jp

\*2 エネルギー・エンジニアリング

(〒550-0025 大阪市西区九条南2-6-10-905)

e-mail: tueda@cotton.ocn.ne.jp

(原稿受付：2007年6月11日)

波力発電を行い、さらに打ち上げた波を越波発電として利用する。

既設の火力発電出力を前記の発電出力に切り替えることにより二酸化炭素の増加を抑え気候変動を和らげられる。

海岸の陸地が海抜より高い地域の場合は既存の護岸を撤去し、気候変動に伴う現時点での想定を超える大雨時に備えて排水能力を高めると共に、海岸を自然海岸に戻す。これにより自然海岸の持つ海水浄化作用を復活させる。陸地が海面より低い、いわゆる海抜ゼロメートル地帯の場合は既存の護岸をそのまま利用する。

### 3. この提案の具体例

海面より低い土地に市街が発達したニューオリンズや大阪の海岸の沖にこの提案の防波堤を設置した場合の概要を図1に示す。図1の横方向断面図を、図2に示す。施工期間が短く、かつ低コストの防波堤として鋼管矢板を防波堤の本体に採用した場合、水深15mの場合は、鋼管矢板は根入れを考慮し、水深の1.5倍の長さ22.5mが必要となる。この長さを満足する次の規格の25mを使用、直径1500mm、肉厚16mm、長さ25mを採用する。

鋼管矢板を用いた防波堤を海側から見た図を図3、陸側から見た図を図4、波力発電部の詳細を図5、風力発電部の詳細を図6、通常風時の風車の詳細を図7、強風時の風車の詳細を図8、水力発電部の詳細を図9に示す。

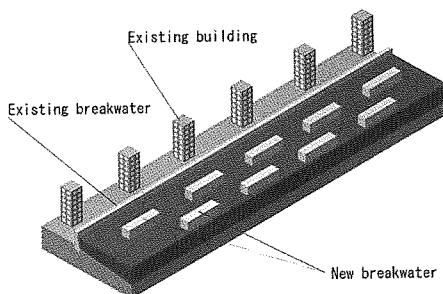


Fig.1 Figure which installed new breakwaters at the off shore of the city.

図1 都市に新たな防波堤を設置した図

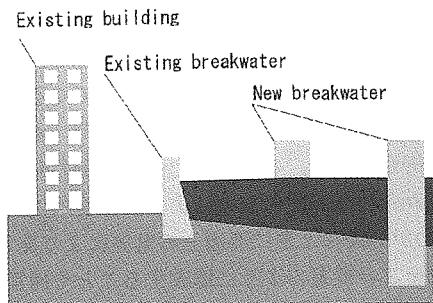


Fig.2 Cross section of the side view.

図2 横方向断面図

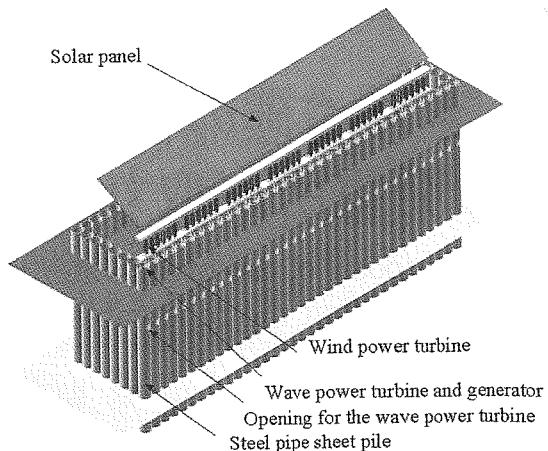


Fig.3 Detail of the breakwater which saw breakwater from the sea side.

図3 海側から見た防波堤の詳細図

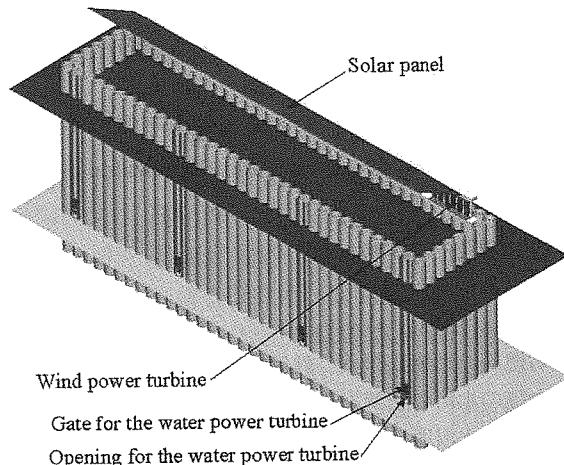


Fig.4 Detail of the breakwater which saw breakwater from the land side.

図4 陸側から見た防波堤の詳細図

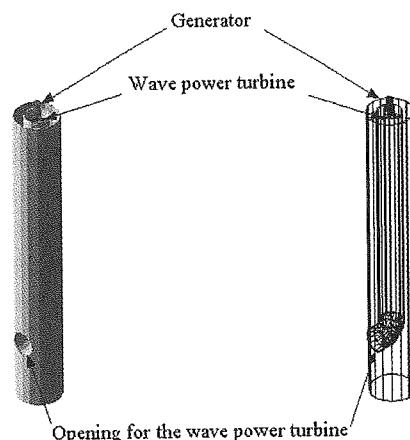


Fig.5 Partial detail of power generation part of wave.

図5 波力発電部分詳細図

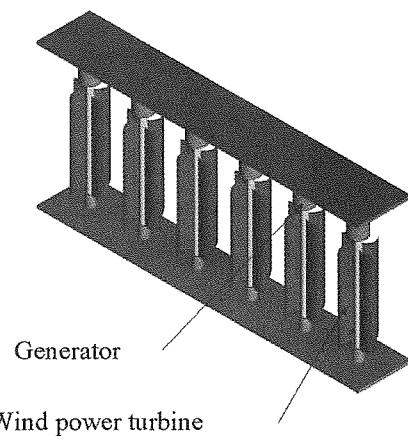


Fig.6 Partial detail of power generation part of wind.

図6 風力発電部分詳細図

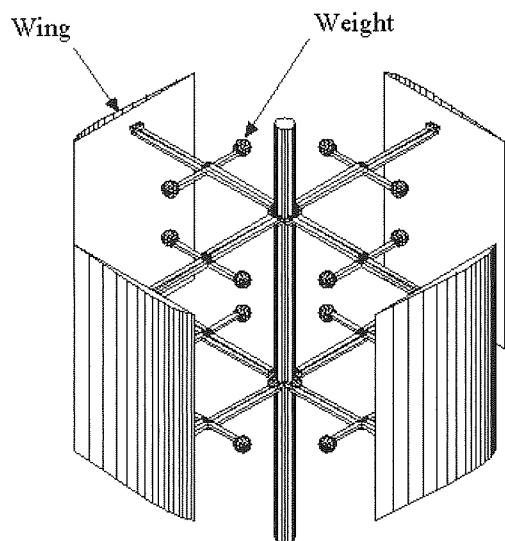


Fig.7 Detail of the wind turbine in the normal wind.

図7 通常風時の風車の詳細図

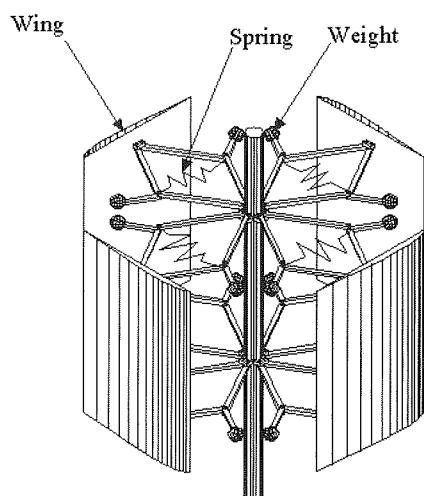


Fig.8 Detail of the wind turbine in the strong wind.

図8 強風時の風車の詳細図

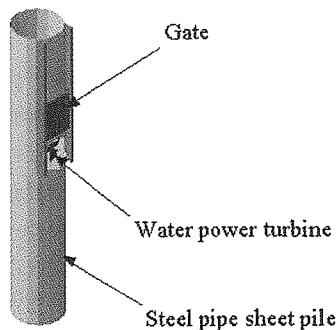


Fig.9 Partial detail of hydro-power part.

図9 水力発電部分詳細図

#### 4. 揚水発電所として水車を運転した場合

揚水と発電をそれぞれ一時間とし、表1の仮定に基づき計算すると、以下のようになる。

Table 1 Assumption value and mechanical efficiency for calculating the input and output in one breakwater.

表1 防波堤一基の入出力算出に用いた

仮定値と機械効率

内側水面幅：仮定	15	m
内側水面長：仮定	100	m
平均水深：仮定	15	m
損失落差：仮定	5	%
有効に利用できない全水量に対する割合：仮定	10	%
揚水ポンプ効率	80 <sup>(1)</sup>	%
電動機効率	90 <sup>(1)</sup>	%
水車効率	80 <sup>(1)</sup>	%
発電機効率	90 <sup>(1)</sup>	%
平均潮位差	1.75	m

利用できる池の水量 V

$$\begin{aligned} &= 15 \times 100 \times 15 \times (1 - 0.1) \\ &= 20,250 \text{ (m}^3\text{)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{流量 } Q &= 20,250 / 1 \times 60 \times 60 \\ &= 5.625 \text{ (m}^3/\text{s}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{揚水電力 } P_p &= 9.8Q(H-h) / (\eta_p \cdot \eta_m) \\ &= 9.8 \times 5.625 \times (15/2 + 0.375) / (0.8 \times 0.9) \\ &= 602 \text{ (kW)} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{出力 } P_g &= 9.8Q(H-h) / (\eta_t \cdot \eta_g) \\ &= 9.8 \times 5.625 \times (15/2 - 0.375) \times 0.8 \times 0.9 \\ &= 282 \text{ (kW)} \end{aligned} \quad (4)$$

#### 5. 潮汐発電所として水車を運転した場合

前節と同様に、表1中の潮位差に基づいて計算すると、以下のようになる。

利用できる池の水量  $V_t$ 

$$= 15 \times 100 \times 1.75 \\ = 2,625 \text{ (m}^3\text{)}$$
(5)

流量  $Q_t$ 

$$= 2,625 / 1 \times 60 \times 60 \\ = 0.729 \text{ (m}^3/\text{s})$$
(6)

出力  $P_t$ 

$$= 9.8 Q_t (H_t - h_t) \eta_t t \cdot \eta_m \\ = 9.8 \times 0.729 \times (1.75/2 - 1.75/2 \times 0.1) \times 0.8 \times 0.9 \\ = 4.05 \text{ (kW)}$$
(7)

上記 5 節の計算は理論上の値を用い算出した。既存のプロペラ水車発電機の場合は落差が 1m<sup>(1)</sup> を超えた部分から可能となる。潮位差 1.75 メートルの場合、75 センチメートルが利用可能となる。従って、潮位差の比 0.75/1.75 から発電電力は 42% で 1.7 (kW) となる。

## 6. 揚水発電と潮汐発電の組み合わせによる運転

図 10 にこの鋼管矢板防波堤の部分詳細を示す。

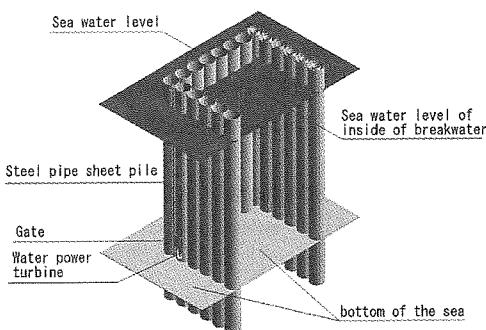


Fig.10 Partial detail of steel pipe sheet pile breakwater.

図 10 鋼管矢板防波堤部分詳細図

図 11 に揚水発電と潮汐発電を組み合わせ運転した場合の潮位と、防波堤内水域のレベルを示す。

水力タービンを揚水発電と潮汐発電との組み合わせで運転する場合、満潮時に海水を水力タービンのポンプ運転により堤防の内水域に揚水し満潮時水位より高くする。この揚水した海水で干潮時に水力タービンの発電運転により満潮時より高くした水位と干潮時水位との水頭差を利用して発電を行う。内水域の水位が干潮時水位と同じになれば発電は終了となる。次に、満潮時とは逆に内水域の海水を水力タービンのポンプ運転により汲み上げ干潮時水位より下げる。干潮時の水位より下げた内水域の水位と満潮時の水位差（水頭差）により発電を行い、内水位が満潮時水位と同じになれば発電は終了となる。再度満潮時になるので、はじめと同じように内水域へ揚水し満潮時水位より高くなる。以後これの繰り返しで発電を行う。図 11(a) から図 11(f) はこの過程を示す。

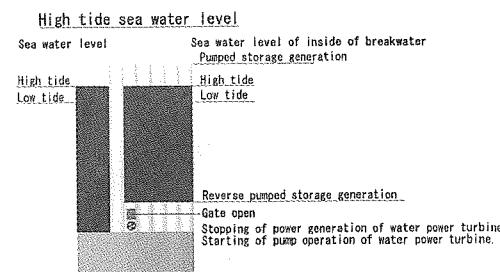


Fig.11(a) High tide sea water level 1.

図 11(a) 満潮時（発電運転停止、ポンプ運転開始）

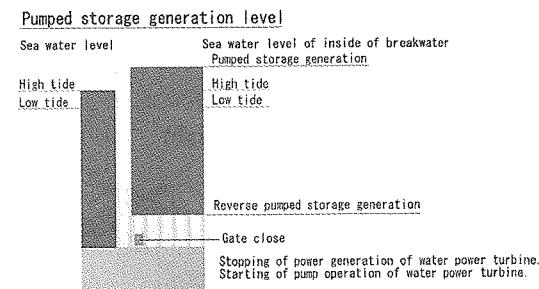


Fig.11(b) Pumped storage generation level.

図 11(b) 揚水終了時（ポンプ運転停止）

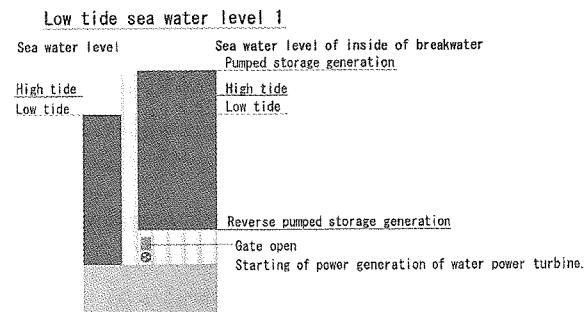


Fig.11(c) Low tide sea water level 1.

図 11(c) 干潮時（発電運転開始）

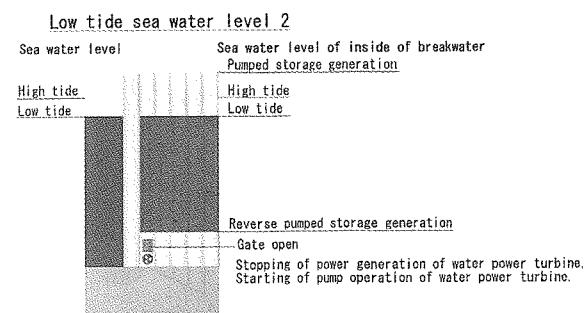


Fig.11(d) Low tide sea water level 2.

図 11(d) 干潮時（発電運転停止、逆揚水ポンプ運転開始）

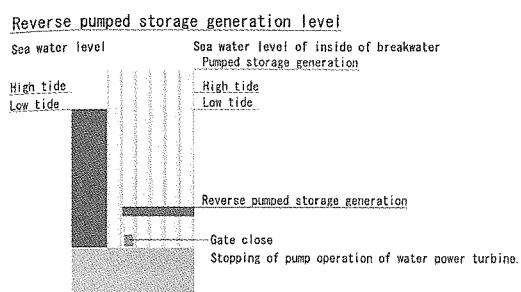


Fig.11(e) Reverse pumped storage generation level.

図 11(e) 干潮（逆揚水ポンプ運転停止）

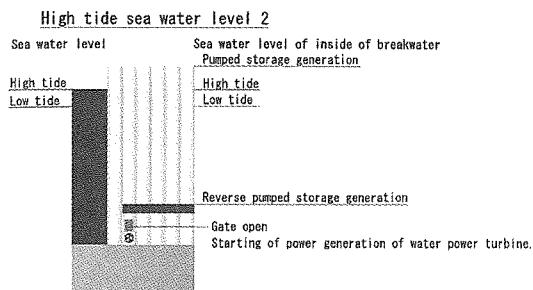


Fig.11(f) High tide sea water level 2.

図 11(f) 満潮（発電運転開始）

## 7. 波浪時の防波堤に打ち上げる波による運転（越波発電）

水力タービンを、台風や冬季の季節風時の波浪により海水が防波堤に打ち上げられた時、内水域に到達した波を利用して越波発電を行う。

防波堤の陸側の水面は波の変動が防波堤により平均潮位となる。この状態で防波堤の内水域に沖側から打ち上げた波により内水面の高さが一時的に高くなったときにゲートを開けて発電を行う。もしくは、防波堤の内水面が満水となるまでゲートを閉めておいて満水後にゲートを開けて発電を行う。

これは図 12 に示すように、変形タイプの越波発電である。この場合、図から明らかなように波力発電装置に波が入り込むことを防ぐ方策が必要となる。

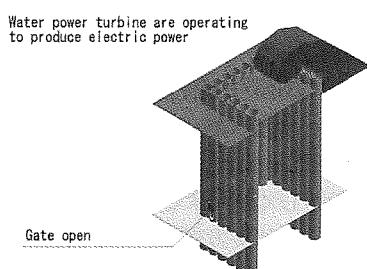


Fig.12 Hydro-power by waves of severe weather.

図 12 波浪による波での発電

## 8. 波力発電

この提案の波力発電はマイクロ波力発電設備を各々の鋼管矢板に取り付けている。大阪湾の波に関するデータが得られていないので概算出力は算出していない。

この提案とは異なった方式で、钢管で発生させた波の圧力エネルギーを空気の圧力に変換し、パイプを通し一箇所に集め発電する方式<sup>(3)</sup>が千葉県の九十九里浜において実施されたので、この原理とプラントを図 13 に示す。

この実験プラントの最大出力 30 キロワットで、個々の钢管に発電設備を取り付けずに図 13(a)のようにサイズの小さい钢管により波のエネルギーで発生させた空気の圧力を図 13(b)の波力発電定圧部分一箇所に導いている。図 13(c)は図 13(a)の動作を示す図である。

図 13(a)の絞幹部は钢管矢板と同じであり本提案に採用することは容易である。この場合は钢管矢板の上部に小さいサイズの钢管を取り付けてあり波が浸入しないので、6 節で示した「波が入り込む」ことがない。

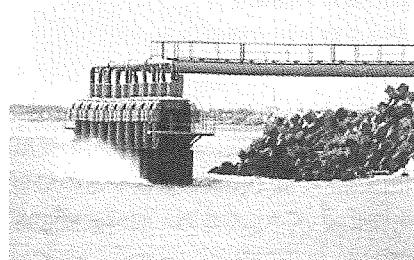


Fig.13(a) Pipe which guides the air pressure.

図 13(a) 空気圧力を集積するパイプ

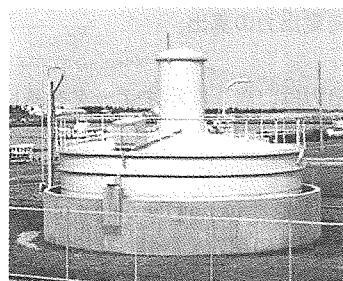


Fig.13(b) Part which equalizes air pressure.

図 13(b) 定圧部

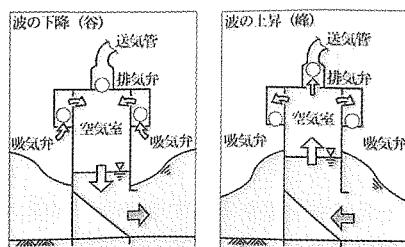


Fig.13(c) Action figure of air pressure by waves.

図 13(c) 鋼管部動作図

## 9. 風力発電の算出

風車の出力は、表2に示す大阪湾の洲本の観測値を基にして算出した。

Table2 Data for calculating the output of wind power generation.

表2 風力発電出力を算出するためのデータ。

発電係数	0.1 <sup>(1)</sup>	
平均風速(洲本)	2.6 <sup>(1)</sup>	m/s
平均風力出現率	10	%
受風高さ	2	m
受風長	100	m

### 風力発電出力<sup>(4)</sup>

$$\begin{aligned}
 &= \text{発電係数} \times \text{空気密度} \times \text{面積} \times \text{風速}^3 / 2 \\
 &= 0.1 \times 1.225 \times (2 \times 100) \times 2.6^3 / 2 \\
 &= 215 (\text{W}) \tag{9}
 \end{aligned}$$

大型の水平軸の風力発電装置は台風のような強風時は破損を防ぐために風車の回転を停止させている。このため大きなエネルギーを取り出す機会を失っている。

この提案では小型の垂直型の風車を数多く並べてこの問題を解決している。

小型の風車の場合は大型機に比べ強風時の受風面積が小さいので破損に対して強く、多数設置するので全てが破損することは考えにくい。このため一部が破損したとしても発電を継続できる。

さらに図8で示したように強風時は回転半径を小さくし、受風面積を減らし発電を継続できる。

## 10. 太陽光発電出力の算出

太陽光発電出力は、表3に示すデータを基にして算出した。

Table3 Data for calculating the output of solar panel.

表3 太陽光発電の出力を計算するためのデータ。

太陽電池設置可能な面積:仮定	70	%
大阪地区における年間日照時間	1,400 <sup>(6)</sup>	hour
10(m <sup>2</sup> )当たりの太陽電池の出力	1 <sup>(7)</sup>	kW

### 太陽光発電出力

$$\begin{aligned}
 &= \text{設置幅} \times \text{設置長} \times \text{単位出力} \times \text{設置可能面積} \\
 &= 15 \times 100 \times 0.1 \times 0.7 \\
 &= 105 (\text{kW}) \tag{10}
 \end{aligned}$$

防波堤上で太陽光発電を実施する場合、周囲に太陽光を遮る建築物や樹木などがないため、晴天時に出力が変化するのは雲だけである。

## 11. 防波堤に漁礁の機能を導入

海中に構造物が設置された場合、垂直の鋼管であっても海草が育ち、カキなどの貝類が付着する。これを助長すれば防波堤が漁礁となること期待できる。

このことは関西空港の傾斜護岸で証明された。そこで図14に示すように波浪時の波の影響を受けない海岸側にコンクリート製のブロックを鋼管矢板にかぶせる。ブロックの海面下は太陽光の得られる範囲を増やすために強度上問題ない範囲でできる限り緩やかな勾配を持たせる。

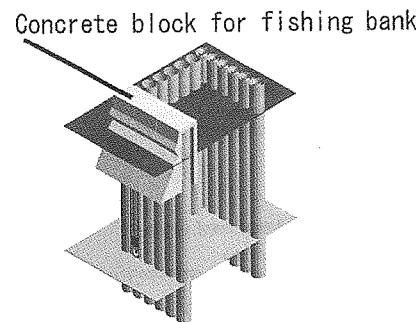


Fig.14 Figure of fishing bank of concrete block that is installed to breakwater.

図14 鋼管矢板に漁礁用ブロックを設置した図

## 12. 景観を考慮した防波堤のデザイン

鋼管矢板で防波堤を築造した場合、美観上好ましくない。この解決方法として項目11節で示した漁礁用コンクリートブロックの上部にデザインを施す。この実施例を図15に示す。

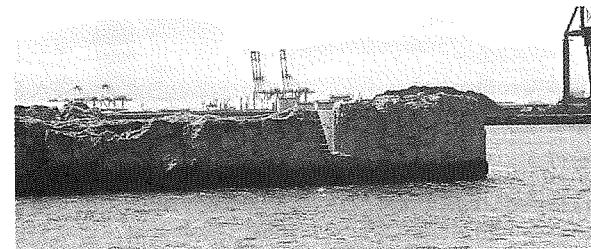


Fig.15 Picture of imitated breakwater like a natural seashore.

図15 自然海岸をまねた防波堤の写真

これまでの説明は鋼管矢板形式の護岸を20年間使用すると仮定した。これは20年間程度の一時的に使用する防波堤を設定している。鋼管矢板により止水壁を建設した場合水深15mで長さ200mの場合6億円<sup>(9)</sup>となる。

200mの止水壁として使用する場合一直線に並ぶことになるが、本提案のように長方形に並べる場合は横幅の15mの二倍の30mの鋼管矢板が追加的に必要となる。言い換えれば両端を加えるので延長が1.15倍となり6億9千万円が土木工事費として必要となる。

これに鋼管矢板加工費や、水力タービン費、波力発電設

備費、風力発電設備、太陽光発電設備費が加算されることになる。

設備の面を関西空港で実施された工事と比較してみると、関西空港に設置された排水用ポンプは大雨や高潮で空港島が洪水状態になるときのみに稼動し、他の期間は遊んでいることになる。

さらにメンテナンスの費用や点検時にテストで運転した場合や点検等で機能を確認する場合にエネルギーを消費することになる。この提案の場合は常に稼動し、エネルギーを生むことになる。

本提案の鋼管矢板の根入れ長さは問題提起を目的としたので大阪湾における海上高速道路橋脚建設用の現在の設計基準とした。

### 1.3. 既存の港湾用防波堤を本提案の鋼管矢板防波堤に変更した場合の再生可能なエネルギーの出力

既存の大坂港の港湾用の防波堤を、本提案の鋼管矢板方式の防波堤に変更し、延長を6,000m、防波堤幅を15m、水深15mと仮定した場合の出力を以下に示す。なお、波力発電出力は観測値が無いので求められない。

#### 潮汐発電出力

$$\begin{aligned} &= \text{一基の防波堤の潮汐発電出力} \times \text{延長} / \text{一基の長さ} \\ &= 1.7 \times 6,000 / 100 \\ &= 102.0 \text{ (kW)} \end{aligned} \quad (11)$$

#### 風力発電出力

$$\begin{aligned} &= \text{一基の防波堤の風力発電出力} \times \text{延長} / \text{一基の長さ} \\ &= 215 \times 6,000 / 100 \\ &= 12.9 \text{ (kW)} \end{aligned} \quad (12)$$

#### 太陽光発電出力

$$\begin{aligned} &= \text{一基の防波堤の太陽光発電出力} \times \text{延長} / \text{一基の長さ} \\ &= 105 \times 6,000 / 100 \\ &= 6,300 \text{ (kW)} \end{aligned} \quad (13)$$

上記の仮定計算で揚水発電を除けば、再生可能なエネルギーによる発電となり、その出力は6,414(kW)となる。

### 1.4. 半永久的な海岸用防波堤や港湾用防波堤

現在、日本で主として港湾で建設されている防波堤のように半永久的な構造物に本提案を採用する場合、ケーソンの採用が考えられる。

図16は鋼管矢板に替えて、ケーソンで本提案を実施する場合のケーソンの海側の波力発電用開口と波力発電用タービン取り付け用開口部である。図17は水力タービン取り付け用開口部である。図18はケーソンの横断面図である。

鋼管矢板の場合、波力発電部は鋼管の内径寸法以下に制限されるが、ケーソンの場合、波力発電部分と水力発電部分の幅は状況に応じて決めることが可能となるので、設置

場所の潮汐と波の振幅を実測し効率が最もよい形状の選択が可能となる。

下図16から18図のケーソンは波力発電部と水力部の幅を同一とした場合である。

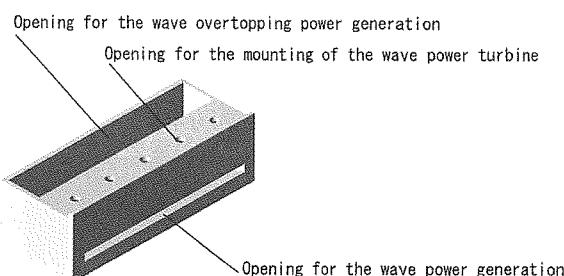


Fig.16 Caisson which saw from the sea side.

図16 海側から見たケーソン

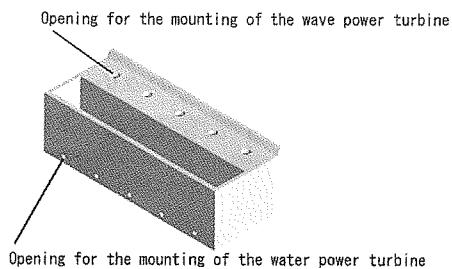


Fig.17 Caisson which saw from the land side.

図17 陸側から見たケーソン

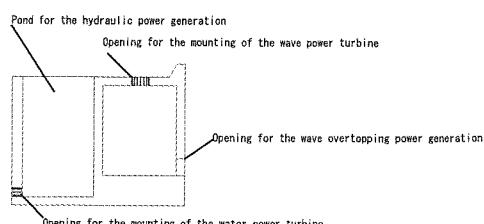


Fig.18 Cross section of the side view of caisson.

図18 ケーソンの横断面図

### 1.5. 既存の港湾用防波堤の工法<sup>(8)</sup>

既存の港湾用防波堤は基礎部分と防波堤自体の重量により波の力に耐えうるよう設計・施工されている。

この提案のケーソンを既存の港湾用防波堤に適用する場合、建設コストを下げるため、既存の直立型の防波堤の基礎構造物を利用し、上部をこの提案のケーソンに変更するのが妥当と思われる。

この場合、上部構造物の幅を変えることになるが、上部構造物の幅を大きくした場合、下部の基礎基礎石に加わる波のモーメントが変化する。このため設計をやり直す必要が

あるが、この提案中では検討していない。

既存の港湾用防波堤や新たにケーソンによる港湾用防波堤、海岸用防波堤を建設する場合は気候変動に伴う台風やハリケーンの大型化の予測を考慮した上で設計する必要がある。

既設の港湾用防波堤の主な構造を図 19 から図 23 に示した。

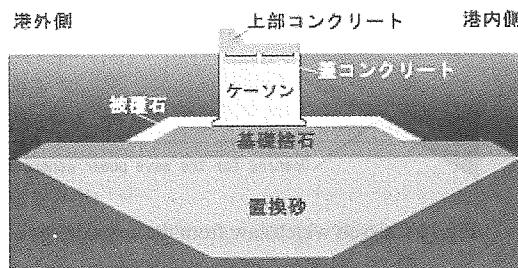


Fig.19 Composite breakwater.

図 19 ケーソン式混成堤

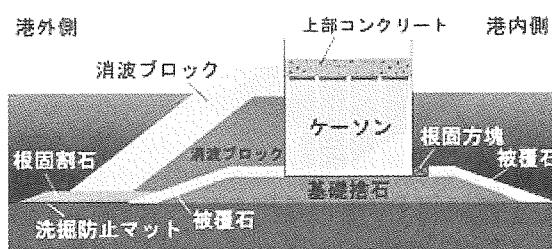


Fig.20 Breakwater covered with wave-dissipating blocks.

図 20 消波ブロック被覆堤

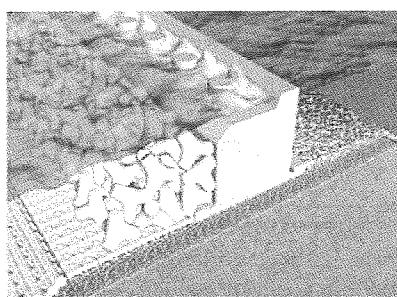


Fig.21 Upper part pillar type breakwater.

図 21 上部パイラーフォーム防波堤

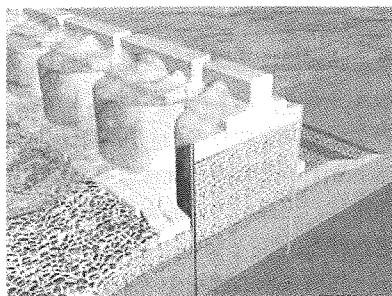


Fig.22 Steel sheet structure cellular method breakwater.

図 22 根入れ式鋼板セル防波堤

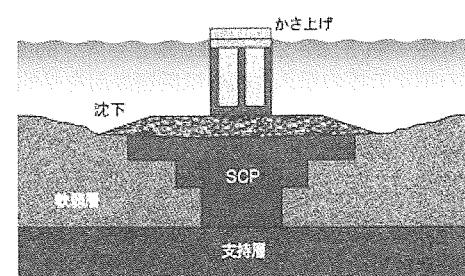
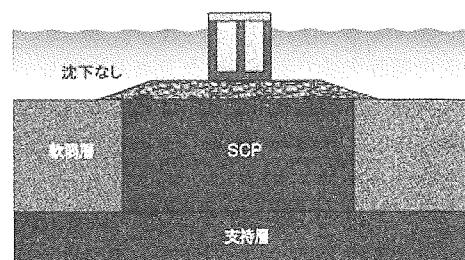


Fig.23 Economical design for the sand compaction pile method. (T-type sand compaction pile method)

図 23 経済的地盤改良工法 (T型 SCP 工法)

## 16.まとめ

はじめに述べたように大陸の氷河の融解による海面上昇や海水温度上昇に伴う体積膨張による海面の上昇。気候変動に伴う台風やハリケーンの大型化による風速に比例した波の振幅の増大と気圧の低下による海面の上昇や吹き寄せ効果<sup>(9)</sup>が加わって高潮の破壊力が増大する。気候変動による風の強さは 18 年前の予想で風速 100 m/s<sup>(10)</sup>であり、現在の風を考慮した橋梁や建築物の設計風速は 60m/s である。波は風の強さに比例するので今後の気候変動に備える場合は風速 100m に対する強度が必要となる。風速のみを比較した場合 1.6 倍であるが、その破壊エネルギーは約 4 倍となる。これに氷河の融解による海面上昇、台風などの低気圧の気圧の低下による海面上昇、吹き寄せ効果による海面上昇が加わることになる。このため気候変動に伴う高潮の規模を予測した上で既存の規格で設計された防波堤の補強やかさ上げの検討が必要となる。

海岸の防波堤の場合、単に防波堤をかさ上げする場合は上記の条件の高潮を完全に防ぐ機能が求められる。これに対して本提案の場合、港湾用防波堤が波の振幅を押さえ港の岸壁に到達する波を抑制する機能から理解できるように、既存の防波堤の前にあるので海岸の防波堤に向かってくる高潮を海岸の防波堤の能力まで弱めることにより、陸地を波の浸食から守ることができる。さらに波力発電は波の力をエネルギーに変えることになる。つまり波の破壊エネルギーを吸収することになるので防波堤の規模を小さくできる。このため既存の防波堤と共に海岸を守る機能を持たせた場合、よりコストで建設できる可能性もあるが、これらの検討に関しては気候変動の予測が出された段階で専門の方の検討をお願いすることになる。

この提案の特徴は、気候変動が予想より悪化した場合、さらに沖に三重となるように建設すれば波浪の抑制効果を発揮することになる。

現実に英国において既存の海岸の浸食が生じている。北極海においても夏季に氷原が消失する地域があり、氷原がないために海面が現れる。これに伴い波が海岸に押し寄せることになり海岸部の侵食が生じる。この現象はアメリカのアラスカ州の沿岸ですでに発生している。このため早急に防波堤を構築する必要がある。鋼管矢板の防波堤は低コストであり工期が短いことから緊急的な対応に向いている。

これに対処するための問題提起としてこの提案をまとめた。この提案は通常の気象における再生可能なエネルギーの利用だけでなく暴風時における波力発電の運転や垂直型風車の運転、波浪時に防波堤に打ち上げる波による水力タービンの越波発電運転により、気候変動に伴う嵐の破壊的なエネルギーを回収し気候変動を和らげる効果を目指すものである。

この提案で説明していないが、波力や潮汐、風力や太陽光の間欠的なエネルギーを揚水発電の機能と組み合わせて保存できる。防波堤の設置数が多くなければ揚水発電機能のみの防波堤発電。負荷変動と潮汐の定時制を組み合わせた防波堤発電。夏季の冷房負荷にあわせた防波堤発電。冬季の夜間の負荷用風力発電防波堤といった組み合わせも考えられる。

この防波堤と潮流による土砂の流れや気候変動により大量に降る雨による土砂の堆積を利用し、日本の先祖が新田開発したように100年といった年月で自然の力を利用した埋め立てを実現できる。日本はリアス式地形のため海岸線が長く、これが豊かな漁場を育んできた。我々の祖先は瀬戸内海の小島の河川の海岸で突堤を築き、河川が運んだ土砂を堆積させ、海岸侵食を防ぐといったようにこれをうまく利用してきた。我々は祖先が山岳地帯において樹木を大切にし、孫、ひ孫の代まで考えて治山治水を行ってきたことを忘れ、森林を破壊したことを深く反省すべきである。

我々は我が国の祖先が残した手法を改めて評価し、それに現代の技術を導入し、気候変動への解決方法の選択肢の一つとして世界に発信する必要がある。

## 17. 謝辞

この検討をまとめるとあたり、ご助言、参考文献、資料のご提供を頂きました立命館大学理工学部光工学科、(大阪大学名誉教授)浜川圭弘教授、また作成に関しご助言して下さった高分子研究所、高橋嘉助博士、海上技術研究所の綾博士に深く感謝いたします。

風力に関して御助言を頂いた財団法人、阪神高速道路管理技術センター、山田慧氏、データの提供を頂いた国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所用語集担当官殿、御助言を頂いた太陽エネルギー学会の校閲委員の方々と事務局長の川越氏からの御助言に感謝いたします。

## 18. 参考文献

- (1) マイクロ発電俱楽部,  
<http://www2.tba.t-com.ne.jp/hmc/index.htm>
- (2) PDF 大阪湾の概況,  
[http://www.pa.kkr.mlit.go.jp/kobegicyo/kouhou/osakawan\\_zu/01.pdf#search](http://www.pa.kkr.mlit.go.jp/kobegicyo/kouhou/osakawan_zu/01.pdf#search)
- (3) 波力発電,  
[http://www.takenaka.co.jp/enviro/env\\_tec/64\\_wppow/64\\_wppow.htm](http://www.takenaka.co.jp/enviro/env_tec/64_wppow/64_wppow.htm)
- (4) 竹田英経 高橋俊行(関西大学大学院) 安田陽(関西大学工学部) 大本親吾(株)マザーズ, 平成18年電気関係学会関西支部連合大会講演集, 都市部での小型風力発電導入のための風況精査, (2006) P G17-4
- (5) 気象庁,  
[http://www.data.kishou.go.jp/mdrr/smp/jp/47770\\_WSP\\_AV.html](http://www.data.kishou.go.jp/mdrr/smp/jp/47770_WSP_AV.html)
- (6) 濱川圭弘, 太陽エネルギー工学太陽電池, (1995) PP230-234
- (7) 桑野幸徳, 太陽電池を使いこなす, (1988) P35
- (8) 交通省 近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所, <http://www.pa.kkr.mlit.go.jp/kobegicyo/sekkei/bouhatei.html>
- (9) 高潮の発生原因,  
<http://www.mlit.go.jp/river/kaigandukuri/takashio/1mecha/01-2.htm>
- (10) 地球汚染 (1) 大気に異変が起きている, 日本放送協会 (1989) P17