

人工島形状がその周辺海域の波浪場・海浜流場特性に及ぼす影響

河島宏治*・渡辺増美*・松山昌史**・池野正明***

1. はじめに

将来の電源立地地点を拡大するため、沖合人工島上に汽力発電所を建設する人工島式海上立地方式が有望である。従来は施工面の実績から人工島形状の基本形となる矩形単体型の人工島を想定した研究が実験的に検討されているが(池野ら, 1993; 河島ら, 1993), このタイプが周辺の波浪場・海浜流場変形特性に最適な形状であるかどうかは検討の余地が残されている。また, これらを予測するための波浪場・海浜流場の計算手法が幾つか提案されているが, 人工島の形状効果が波浪場・海浜流場に及ぼす影響を高精度で再現できるかどうか十分に検討されていない。

本研究では, 人工島の形状や配置の違いが周辺海域の波浪場や海浜流場に及ぼす影響を水理模型実験により詳細に検討するとともに, 数値解析によりその再現性について考察を加えたものである。

2. 水理模型実験

(1) 実験方法

水理模型実験は, 図-1 に示す長さ 30 m, 幅 23 m, 深さ 1.2 m の平面水槽を用いた。造波機設置地点の水深を 60 cm として, 造波板前面より 6.5 m の位置から 9.5 m の区間を 1/10 勾配, これより岸側 12.5 m 間を 1/50 勾配, さらに岸側 3 m を 1/30 勾配とするステップ模型とした。模型縮尺は 1/150 に想定し, 汀線から人工島前面までの離岸距離を 9 m (実スケールで 1.35 km), その位置での水深を 20 cm (同 30 m) と固定し, 1/50 勾配の模型床上に人工島模型を設置した。また, 波のエネルギーが伝播に伴い周辺へ散乱しないよう造波機の両端から斜面上に導波板を配置した。

人工島模型はその基本形状を矩形, ひし形, 楕円形とし, これらを各々単体型および複体型とした場合の人工島配置を考えた。各人工島タイプの面積は単体型, 複体型(左右の人工島面積の合計)とも矩形が 15.0 m^2 , ひし

形が 7.5 m^2 , 楕円形が 11.8 m^2 と一定にした。単体型は岸沖方向の投影長さ B_x と沿岸方向の投影長さ B_y の比 B_x/B_y を 0.60, 1.00, 1.66 と変え, 複体型は左右の人工島間隔 W を 1 m (実スケールで 150 m), 2 m (同 300 m) と変化させた。また, 複体型として楕円形人工島を 3 基(合計面積 14.7 m^2) 設置した場合の実験も実施した。なお, 全ケースとも人工島の沖側および側面の防波護岸を消波ブロックを想定した砕石で被覆した。

実験波は, Bretschneider-光易型周波数スペクトルを目標値とする単一方向不規則波とし, 換算沖波有義波高 H'_0 を 2.76 cm , 有義波周期 $T_{1/3}$ を 1.06 s とした。また, 数値解析結果と比較するため, 規則波(直入射および斜入射)での実験も実施した。規則波の諸元は入射波エネルギーが不規則波とほぼ等価となるように決定した。

また, 人工島周辺のデータ測定範囲は図-1 の点線に示すように $X = -8.5 \sim 2.0 \text{ m}$, $Y = -7.0 \sim 7.0 \text{ m}$ の区間とし, 25 cm 間隔で容量式波高計により水位変動を, 海底面上 3 cm の位置で 50 cm 間隔で電磁流速計により水平方向流速 2 成分を測定した。

(2) 静穏面積および海浜流の定義

波高分布は換算沖波有義波高で無次元化し, 人工島背後については図-2 のように沖波波高比が 0.40 以下と

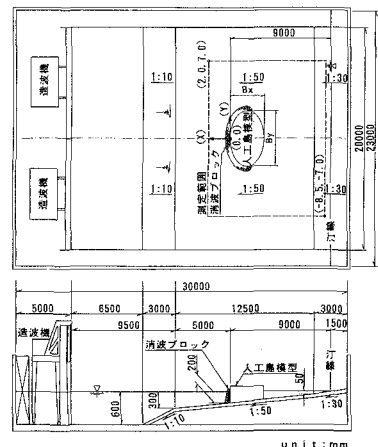


図-1 平面水槽

* 正会員 中部電力(株) 電力技術研究所 水理グループ

** 正会員 工修 (財)電力中央研究所 我孫子研究所 水理部

*** 正会員 工博 (財)電力中央研究所 我孫子研究所 水理部

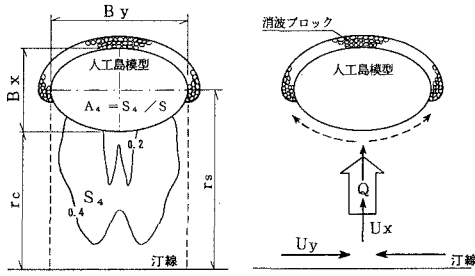


図-2 静穏面積・海浜流の定義

なる静穏域面積 S_4 を求め、人工島で遮蔽される背後の海域面積 S に対する比を静穏面積率 A_4 と定義した。なお、複体型の場合は開口部背後も S_4 および S の面積に含む。

また、流速分布は各測点の時間平均流速を用い、人工島背後の遮蔽領域の内、汀線付近で左右から中央へ流れてくる沿岸流速（平均値）を U_y 、汀線から人工島背後へ集中する離岸流速（平均値）を U_x と定義した。また、 $X = -7 \sim -4$ m の各測点における鉛直流速分布が一定で

あることを確認した上で、その水深と流速測定値から岸沖海浜流量 Q を算出した。

3. 単体型実験結果

(1) 波高分布特性

図-3 に単体型9ケースの波高分布および流速分布を示した。図中の破線は砕波点 ($H_{1/3}$ の岸沖分布の最大値) を示す。図-4 は人工島背後の中央部および側方端部境界付近での岸沖方向の波高の縦断分布であり、横軸に汀線からの距離 r をそれぞれの人工島背後までの離岸距離 r_c および r_s で無次元化した値を、縦軸に沖波波高比をとった。図より、波高分布は側方端部境界線 ($Y = \pm 2.5$) では矩形、ひし形、楕円形とも B_x/B_y が異なってもほぼ同様の値を示す。これに対し中央部 ($Y = 0$) になると矩形以外のひし形、楕円形では B_x/B_y が小さいほど波高比は小さくなり、楕円形に比べひし形の方が B_x/B_y の影響をより顕著に受けることがわかる。また、図-5 は単体型の静穏面積率 A_4 と B_x/B_y の関係を示した。図より、矩形の場合は B_x/B_y が異なっても A_4 はほぼ一定となり、人

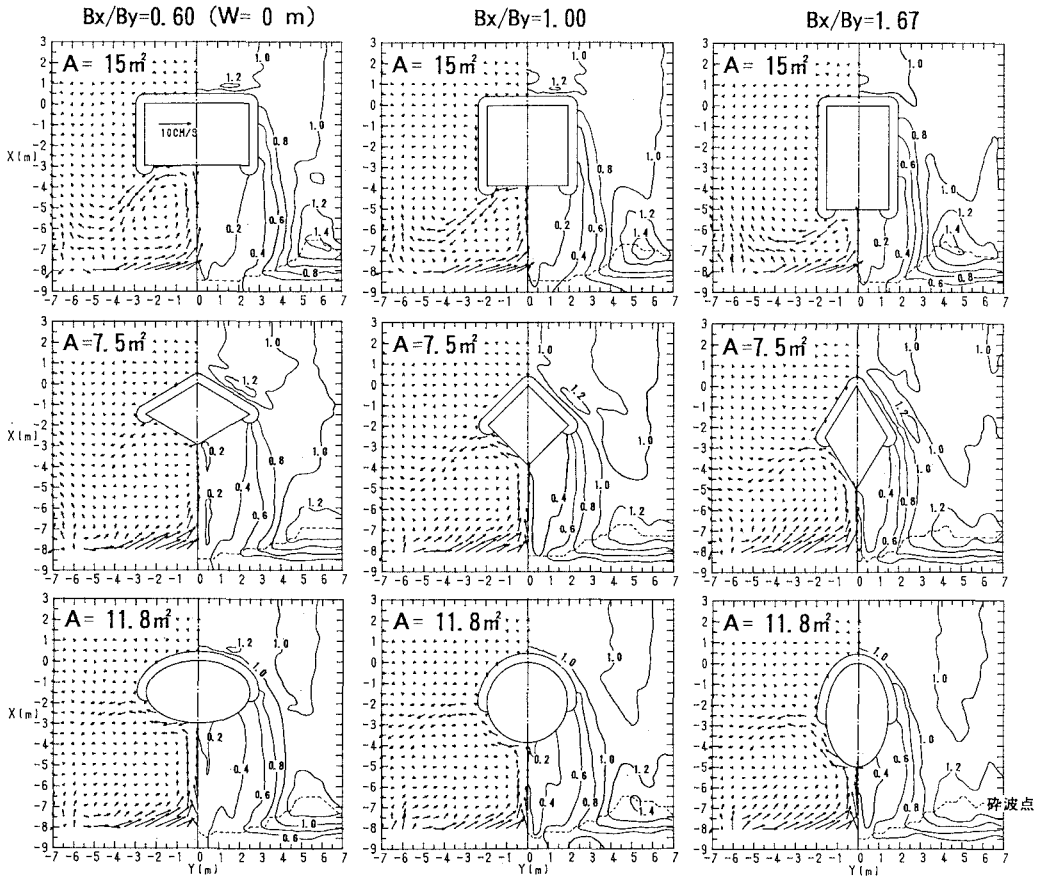


図-3 単体型人工島周辺の波高・流速分布

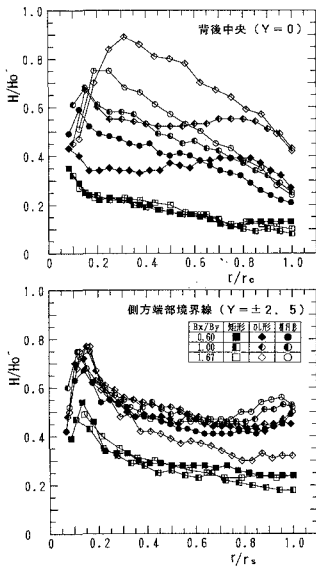


図-4 波高の縦断分布

工島背後のほぼ全域で沖波波高比が0.4以下となった。一方、ひし形、楕円形の場合は B_x/B_y が大きくなるほど A_1 は小さくなり、形状による A_1 の比較をするといずれの B_x/B_y でも矩形が最も静穏効果が大きく、次にひし形、楕円形の順であった。

(2) 流速分布特性

流速分布については、図-3に示すようにいずれのタイプでも構造物背後で一對の対称な循環流が形成されたが、その規模は矩形が最も小さく、ひし形、楕円形の順に大きくなった。ただし、背後隅角部の消波ブロックの影響により循環流がひずむ傾向にあり、循環流の大きさにも影響を与えていると考えられるが、その影響は背後陸側護岸が汀線と平行である矩形で最も顕著である。図-6は U_x, U_y と B_x/B_y の関係を、図-7は Q と B_x/B_y の関係を示す。図より、各タイプとも強い離岸流 U_x および沿岸流 U_y が発生しており、 U_x は B_x/B_y の増加に伴い大きくなり、 U_y は逆に小さくなる傾向にある。また、 Q は矩形の場合 B_x/B_y が小さいほど大きくなるが、ひし形、楕円形の場合は B_x/B_y による変化は小さく顕著な傾向

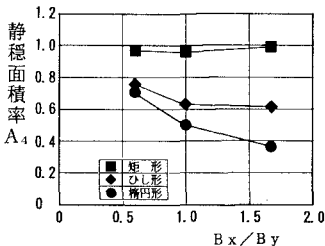


図-5 静穏面積率の比較 (単体型)

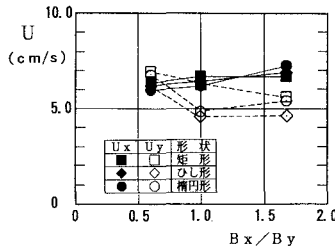


図-6 海浜流速の比較

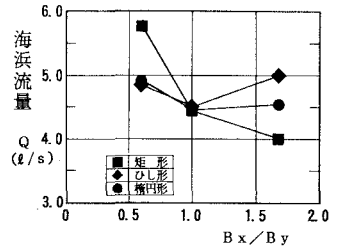


図-7 海浜流量の比較

は見られなかった。

4. 複体型実験結果

(1) 波高分布特性

図-8は複体型の波高分布および流速分布を示す。なお、その基本となる単体型 ($W=0\text{ m}$) は図-3の最左列の3ケースである。また、図-9に複体型の開口幅 W と静穏面積率の関係を示した。矩形では、開口部への進入波が側面消波工で減衰されるため背後の静穏域は単体型と同程度に確保できる。しかし、ひし形、楕円形では、開口部前面での波の集中による波高増大が顕著となり、 $W=2\text{ m}$ の場合は極端に静穏面積が小さくなる。したがって、複体型ではその開口部で波の侵入を防ぐことができれば背後の静穏域を有効に確保できる。

なお、楕円形 (円形) 人工島3基の場合は、背後の静穏域は単体型楕円形の場合と同程度に確保できる。

(2) 流速分布特性

$W=1\text{ m}$ の場合 (図-8左側) は各タイプとも単体型のように一對の対称な循環流を形成するが、 $W=2\text{ m}$ になると開口部からの進入波により循環流も乱れてくる。また、開口部における流れは矩形においては $2\sim 3\text{ cm/s}$ 程度の離岸流が存在するが、ひし形、楕円形においてはほとんど見られなかった。

図-10に矩形単体型と $W=1\text{ m}, 2\text{ m}$ の矩形複体型の3ケースにおいて、片側構造物背後中央部の沿岸流速成分 (人工島端部から中心へ向う流れを正) の岸沖方向分布、図-11に循環流の沿岸方向の中心軸となる $X=-4.5\text{ m}$ での冲向流速成分の沿岸方向分布を示す。沿岸流速は、汀線付近の大きさや流向の逆転する位置がほぼ等しくなるが、人工島近傍では $W=2\text{ m}$ の場合は小さい値を示している。また、冲向流速についても、人工島端部付近および中心部付近の流れは $W=2\text{ m}$ の場合はやや小さい値を示している。これは、 W を大きくするほど単体型に比べ人工島端部付近と中心部付近の波高差が小さくなり、起流力となるエネルギー勾配が小さくなるからである。なお、図面は省略するが、 Q の値も W が大きいほど小さくなる傾向にある。

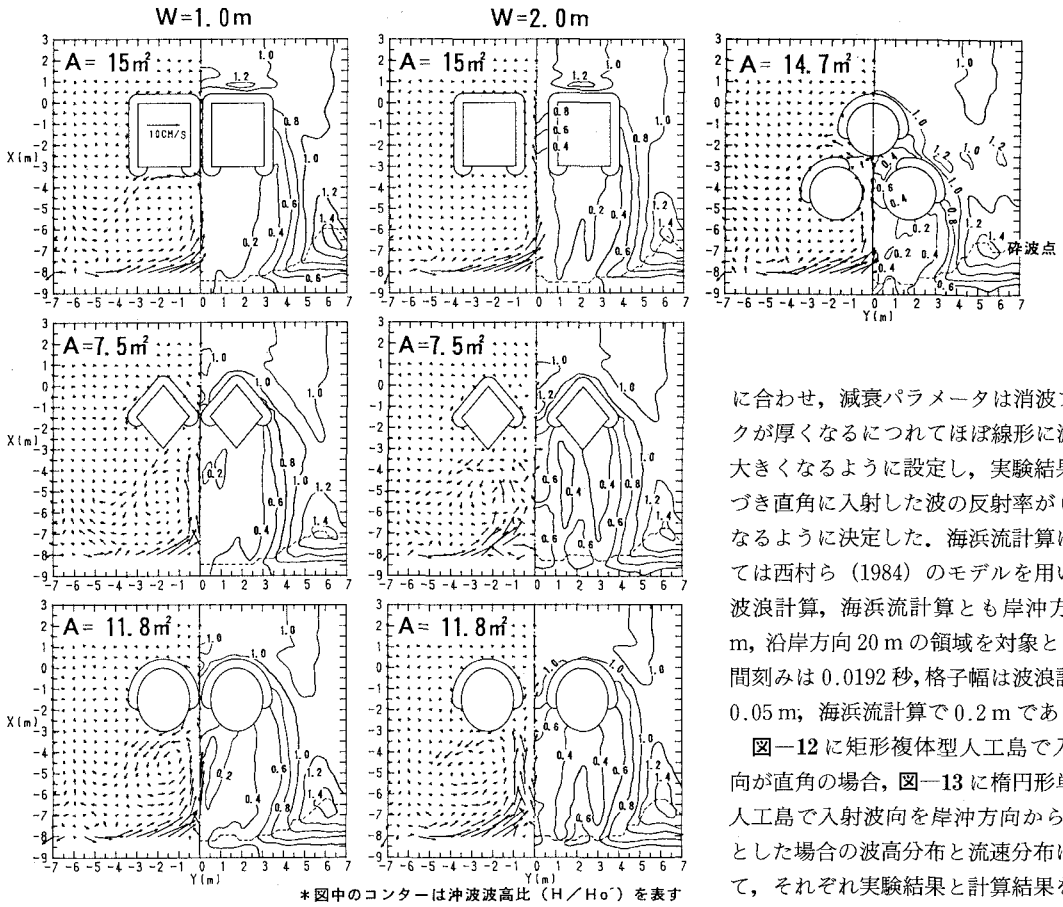


図-8 複体型人工島周辺の波高・流速分布

に合わせ、減衰パラメータは消波ブロックが厚くなるにつれてほぼ線形に減衰が大きくなるように設定し、実験結果に基づき直角に入射した波の反射率が0.2になるように決定した。海浜流計算については西村ら (1984) のモデルを用いた。波浪計算、海浜流計算とも岸沖方向25m、沿岸方向20mの領域を対象とし、時間刻みは0.0192秒、格子幅は波浪計算で0.05m、海浜流計算で0.2mである。

図-12に矩形複体型人工島で入射波向が直角の場合、図-13に楕円形単体型人工島で入射波向を岸沖方向から15度とした場合の波高分布と流速分布について、それぞれ実験結果と計算結果を比較した。波浪場については、数値計算は実験結果とよく一致しており、人工島の形状および人工島周囲の消波ブロックの効果をよく再現している。

5. 数値解析結果

規則波を造波した場合の人工島周辺海域において、波浪場と海浜流場の計算を行った。波浪場の計算については非定常緩勾配方程式 (渡辺ら, 1984) を有限差分法によって計算した。消波ブロックによる人工島前面の反射や人工島側面の減衰を再現するため、ある幅をもった減衰帯を表現できる減衰項を導入した (佐藤ら, 1988; 平口, 1992)。この減衰帯の幅は実験での消波ブロックの幅

なお、計算では楕円形の人工島も正方メッシュで近似している。海浜流計算については、数値計算で循環流を定性的には再現できるものの、人工島背後中央に発生する離岸流は実験結果ほど顕著には現れなかった。

6. まとめ

本研究では人工島形状が周辺海域の波浪場・海浜流場へ与える影響について検討し、以下の結論を得た。

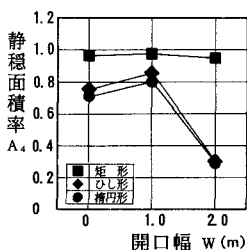


図-9 静穏面積率の比較 (複体型)

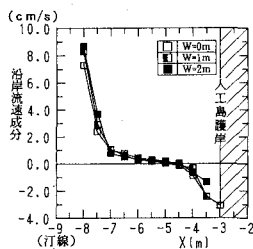


図-10 沿岸流速成分の比較

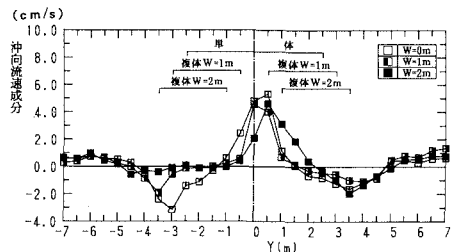


図-11 沖向流速成分の比較

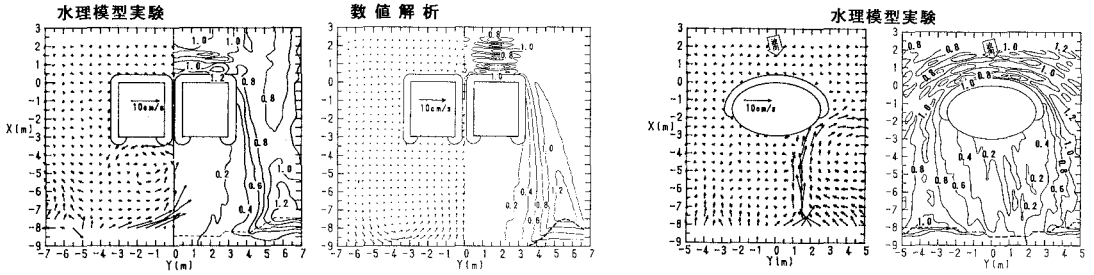


図-12 実験と数値解析との比較 (規則波, 直入射波)

- (1) 人工島を単体型とした場合, 背後の波高は矩形タイプが B_x/B_y の影響を最も受けにくい形状であり, B_x/B_y が異なっても背後のほぼ全域で波高比が0.4以下となる静穏域が得られた。また, いずれのタイプでも背後には一対の対称な循環流が形成され, その規模は矩形タイプが最も小さく, ひし形, 楕円形の順に大きくなった。
- (2) 入射波向を変化させた場合, 背後の静穏度は直入射とほぼ同程度であるが, 背後の循環流は波向の下手側に片方発生し, もう一方は乱れて弱くなる。
- (3) 人工島を複体型とした場合, その配置間隔をある程度小さくすれば, その間で波浪は減衰し背後の静穏域は単体型よりも有効に確保できる。また, 開口部背後に集中する離岸流を制御することも可能となる。ただし, ひし形, 楕円形では配置間隔が大きくなると開口部前面での波の集中による波高増大により静穏面積は著しく小さくなる傾向がある。
- (4) 規則波を対象とした波浪計算では, 人工島の形状や配置(単体型, 複体型), 入射波向の違いによる波浪場を再現し, 静穏度を良好に評価することができた。この波浪場を基に行った海浜流計算でも, 人工島タイプや入射波向の違いによる海浜流パターンや相対的な流れの強弱を定性的に再現できた。ただし, 一般的に人工島背後の強い離岸流は過小評価する傾向にあった。

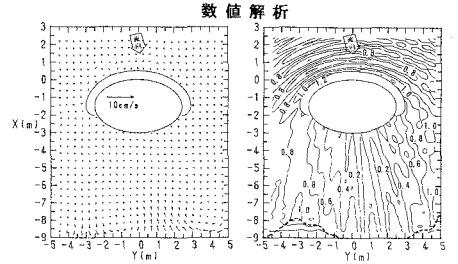


図-13 実験と数値解析との比較 (規則波, 斜入射波)

最後に, 本研究を実施するに当たり, 中電工事(株)技術コンサルタント部佐藤公己氏, 若松正文氏にはデータ整理および図面作成に協力して頂きました。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

池野正明・鹿島遼一・松山昌史・榊山 勉・窪 泰浩 (1993): 人工島式発電所背後の波浪場・海浜流場に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 621-625.
 河島宏治・渡辺増美・佐藤公己・若松正文 (1993): 沖合人工島周辺の波浪・海浜流変形特性に関する研究, 第48回年次学術講演会, 第2部, pp. 888-889.
 佐藤典之・磯部雅彦・泉宮尊司 (1988): 任意形状港湾に対する不規則波の港内波高分布計算法の改良, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 257-261.
 西村仁嗣・丸山康樹・桜井 力 (1984): 海浜流の数値計算法について, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 396-400.
 平口博丸 (1992): 無反射多方向不規則波造波システムとその適用性に関する研究, 京都大学工学部博士論文。
 渡辺 晃・丸山康樹 (1984): 屈折・回折・碎波減衰を含む波浪場の数値計算法, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 103-107.