

実地形モデル（湾内地形）における多方向不規則波の 波浪変形特性

目見田 哲*・酒井 哲郎**

1. まえがき

港湾構造物（人工島、防波堤等）の設計においては、構造物周辺海域の波浪変形特性を把握することが必要である。波浪変形を検討する際には数値解析のみでなく必要に応じて水理模型実験を実施するが、多方向不規則波を用いた水理模型実験、特に、実地形モデル（一様勾配の斜面など以外の複雑な地形のモデル）を対象とした実験は、実施検討例がわずしか見られない（高山ら、1990）。

また、波浪変形における入射波の多方向性の影響は、対象とする海域モデル（地形の違い、海域内の構造物の有無）によって異なる傾向を示すと思われる。

本研究では、水深、汀線が複雑に変化する実地形モデルを対象として、多方向不規則波、単一方向不規則波を用いた水理模型実験を実施し、波浪変形、海浜流に及ぼす入射波の多方向性の影響を検討する。さらに、同一の実地形に防波堤を設置したモデルを対象とし、波の回折現象が支配的となる波浪場においての入射波の多方向性の影響についても、併せて検討する。

2. 実験の内容

（1）実験設備、模型

地形モデル設置図を図-1に示す。

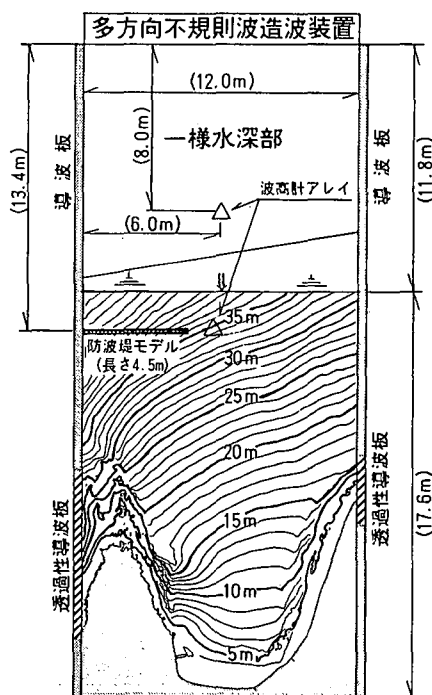
平面水槽内には40枚の造波板から成る多方向不規則波造波装置（全長12.0m）が設置されており、造波装置前面より岸方向に約10mの地点から12.0m×17.6mの範囲に地形モデルを設置した。また、入射波が地形モデルの設置位置に到達するまでにエネルギーが拡散することを防止するため、造波装置の両端から岸方向に向かって導波板を設置した。防波堤モデルは図-1に示す様に、地形変化開始部付近に造波装置と平行に長さ4.5mもしくは3.0mのものを設置した。

（2）実験条件および実験方法

本研究で用いた実験波を表-1に示す。単一方向不規則波（ケース2, 4, 6）とそれに波高、周期の対応する多

方向不規則波（ケース1, 3, 5）を用い、実験波の周波数スペクトルはBretschneider—光易型、方向関数は光易型を目標とし、主波向は造波装置と垂直方向とした。多方向不規則波の造波信号はエネルギー等分割のダブルサンメーション法により周波数1,024個、波向き91個の成分波を合成して計算した。実験波の検定については、水槽内に地形モデルを設置した状態で実施し、図-1に示す波高計アレイ設置位置（各々、地形変化開始部付近、防波堤先端部付近に設置）において、目標の波浪条件がほぼ得られていることをベイズ型モデル（橋本, 1987）を用いた解析によって確認した。

実験では、容量式波高計により波高、方向スペクトルを、電磁流速計により海浜流の流速（水深の半分の深さでの流速）を計測した。なお、計測時間は約5分、サンプリングタイムは0.02 sec 間隔とした。



() 内は模型寸法

図-1 地形モデル設置図

* 正会員 工修 関西電力(株) 総合技術研究所
** 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科

表-1 実験波一覧表

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
波の種類	多方向 不規則波	単一方向 不規則波	多方向 不規則波	単一方向 不規則波	多方向 不規則波	単一方向 不規則波
S_{max}	25	∞	25	∞	25	∞
有義波高 (入射波高)	4.80 cm		5.44 cm		6.40 cm	
有義波周期	0.98 sec		1.39 sec		1.39 sec	

(表中, S_{max} は方向集中度パラメータを示す)

3. 実験結果

(1) 防波堤なしのモデル

a) 波高分布の特性 ケース1～4の波高比分布図(各計測ポイントの波高/入射波高, 入射波高は表-1参照)を図-2および図-3に示す。

湾内の波高比分布を比較すると, いずれのケースにおいても等波高比線が岬沿いに密に分布し, 湾中心に向かって波高が増加する分布形状を示す。

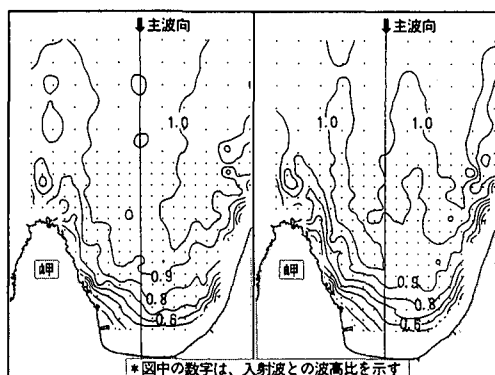


図-2 波高比分布図(防波堤モデルなし)
(左図: ケース1, 右図: ケース2)

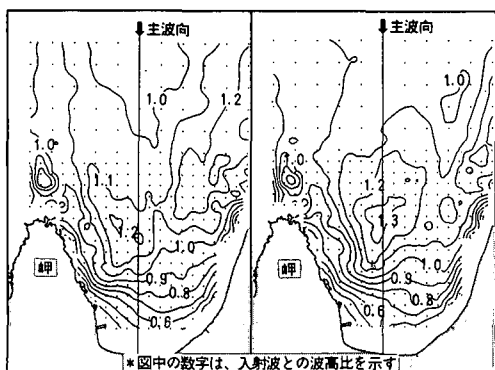


図-3 波高比分布図(防波堤モデルなし)
(左図: ケース3, 右図: ケース4)

多方向不規則波($S_{max}=25$)のケースと波高, 周期の対応する単一方向不規則波のケースでの波高比を比較すると両者の値はほぼ一致している。一例として, ケース3, 4の波高比の比率分布図を図-4に示すが, 湾全体にわたって波高比の比率は1に近い値を示す。

多方向不規則波のケースと単一方向不規則波のケースでの違いを詳細に検討すると, 単一方向不規則波のケースのなかで, 波高が湾中央にむかって大きく増加するケース4, 6については, 対応する多方向不規則波のケース3, 5において同程度の波高増加がみられず, 結果的に湾中央の海域においては多方向不規則波のケース3, 5のほうが波高が低くなる。これは入射波の多方向性の違いに起因した現象であると思われる。

b) 海浜流場特性 多方向不規則波($S_{max}=25$)のケースと単一方向不規則波のケースでの海浜流を比較するため, ケース3, 4について海浜流の流速ベクトル図を

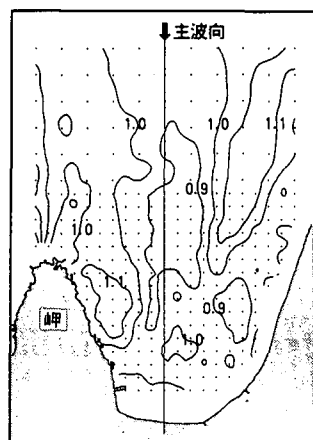


図-4 波高の比率分布図(防波堤モデルなし)
(ケース3/ケース4)

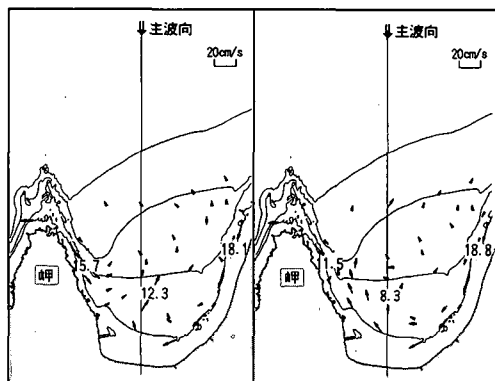


図-5 海浜流の流速ベクトル図(防波堤モデルなし)
(左図: ケース3, 右図: ケース4)

図-5に示す。両ケースでの海浜流場を比較すると、岬先端から湾奥へ向かう速い流れ、逆のサイドから海岸線に沿って湾奥へ向かう速い流れ、および2つの流れが合流した後に沖へ向かう流れがともに見られ、定性的な差はない。

同様にケース1と2およびケース5と6を比較した際にも定性的な差は見られなかった。

c) 方向スペクトルの特性 多方向不規則波 ($S_{\max}=25$) のケースと単一方向不規則波のケースでの主波向を比較するため、ケース3, 4について、湾内の数ポイントにおける主波向ベクトル図を図-6に示す。両ケースを比較すると、全海域にわたって主波向がほぼ同一方向となる。陸に接近するに従い両ケースに若干の違いがみられ、ケース3における主波向の方が等深線に垂直な方向に近づく傾向が見られる。これは多方向不規則波のケース3には多くの方向の成分波が含まれていることを考慮すれば妥当な結果といえる。また、ケース1と2、ケース5と6を比較した際にも同様の傾向が見られた。

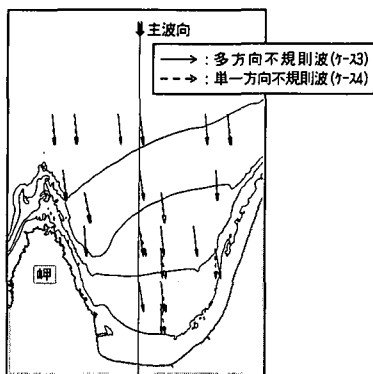


図-6 主波向ベクトル図 (防波堤モデルなし)

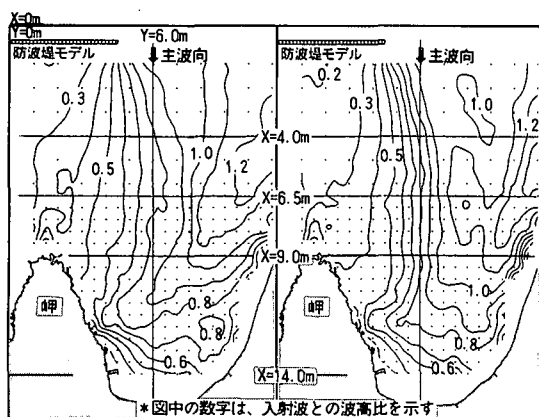


図-7 波高比分布図 (防波堤モデル: 4.5 m)
(左図: ケース3, 右図: ケース4)

(2) 防波堤設置モデル (長さ 4.5m)

前節で検討した防波堤なしのモデルにおいては、多方向不規則波 ($S_{\max}=25$) と単一方向不規則波のケースを比較した結果、入射波の多方向性の違いによる影響はほとんど見られなかった。次に、多方向不規則波 ($S_{\max}=25$) と単一方向不規則波のケースの違いがあらわれると予想できる海域モデルとして、同一の実地形に防波堤 (長さ 4.5 m) を設置したモデルを対象とし、同一の実験波を用いて波高、海浜流の流速、方向スペクトルを計測した。

a) 波高分布の特性 ケース3, 4の波高比分布図 (各計測ポイントの波高/入射波高) を図-7に示す。

ケース3, 4の波高比を比較すると、波の回折現象が発生する防波堤背後の海域においては、多方向不規則波のケース3の方が波高比が大きくなる。これは入射波の多方向性の違いに起因した現象である。次に、ケース3と4の波高比の比率分布図を図-8に示す。防波堤背後の海域においてはケース3での波高増加が見られるが、他の海域においては、防波堤なしのモデルの際と同様、波高比の比率は1に近い値を示す。また、ケース1と2およびケース5と6を比較した際にも同様の傾向が見られた。

b) 海浜流場の特性 ケース3, 4についての海浜流の流速ベクトル図を図-9に示す。両ケースとも湾に沿った海浜流が確認できるが、ケース4において海浜流の顕著な発達が見られる。特に、ケース4で発生している湾奥から湾沿いに岬の先端方向へむかう速い流れは、ケース3においてはみられない。これは、多方向不規則波のケース3においては、入射波の防波堤背後への回折現

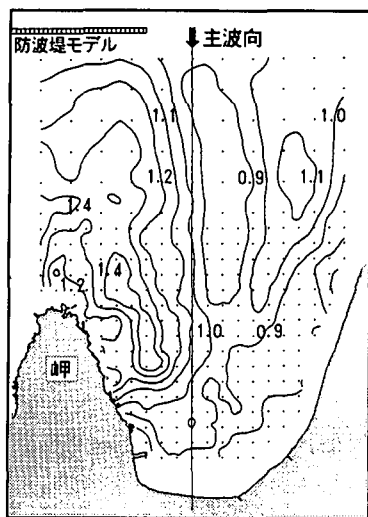


図-8 波高の比率分布図 (防波堤モデル: 4.5 m)
(ケース3/ケース4)

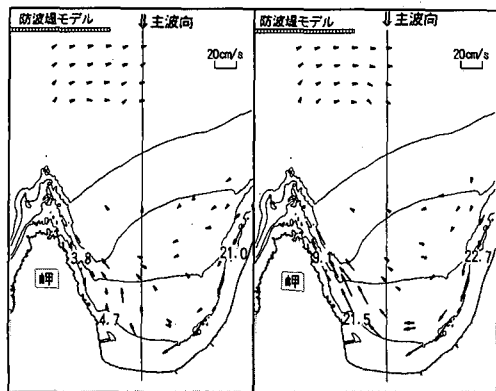


図-9 海浜流の流速ベクトル図（防波堤：4.5 m）
（左図：ケース 3，右図：ケース 4）

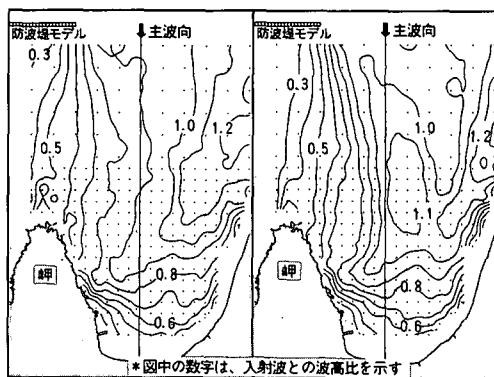


図-11 波高比分布図（防波堤モデル：3.0 m）
（左図：ケース 3，右図：ケース 4）

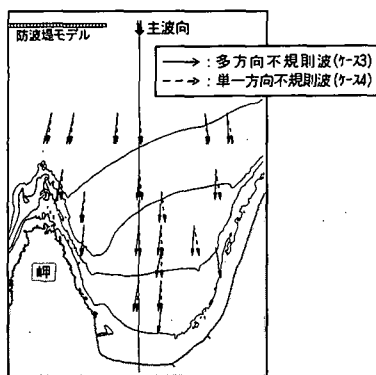


図-10 主波向ベクトル図（防波堤モデル：4.5 m）

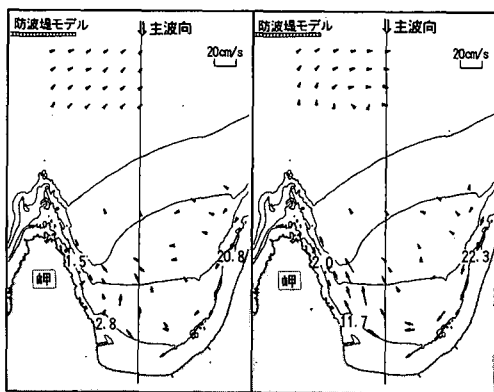


図-12 海浜流の流速ベクトル図（防波堤：3.0 m）
（左図：ケース 3，右図：ケース 4）

象が顕著となり湾に沿った海浜流の発達が悪くなったと思われる。

また、ケース 1 と 2 およびケース 5 と 6 を比較した際にも同様の傾向が見られた。

c) 方向スペクトルの特性 ケース 3, 4 について、湾内の数ポイントにおける主波向ベクトル図を図-10 に示す。両ケースを比較すると、入射波の多方向性の違いより、ケース 3 において、防波堤背後付近での主波向が防波堤側に傾斜する。また、岸に接近するに従い、ケース 3 における主波向が等深線に垂直な方向に近くなっていく傾向が確認できる。また、ケース 1 と 2 およびケース 5 と 6 を比較した際にも同様の傾向が見られた。

(3) 防波堤設置モデル（長さ 3.0 m）

前節で検討した防波堤設置モデル（4.5 m）における検討結果をさらに明確に確認するため、防波堤の長さを短くしたモデル（防波堤の長さ：3.0 m）を対象とし、同一の実験波を用いて波高、海浜流の流速を計測した。

ケース 3, 4 について、波高比分布図を図-11 に、海浜流の流速ベクトル図を図-12 に示す。ケース 3, 4 を比較すると、防波堤の長さが 4.5 m の際と同様に、防波

堤背後の波高の増加、岬に沿った海浜流の顕著な発達などの入射波の多方向性による影響が見られる。

さらに、防波堤の長さを短くし、背後の回折領域を狭くしたことによって、防波堤背後の波高増加の海域が狭くなったことから、前節で示したところの入射波の多方向性と防波堤背後の波高増加、海浜流の発達との関連性が確認できたといえる。

4. 考 察

今回、対象とした防波堤設置モデル（長さ 4.5 m）の波浪変形については類似の実験の実施例が少ないため、数値解析（エネルギー平衡方程式）を実施して波高分布を算定し、実験結果と比較検討した。

本研究では、計算対象領域は図-1 に示す防波堤設置位置より陸側の海域とし、空間格子間隔は 16 cm とした。

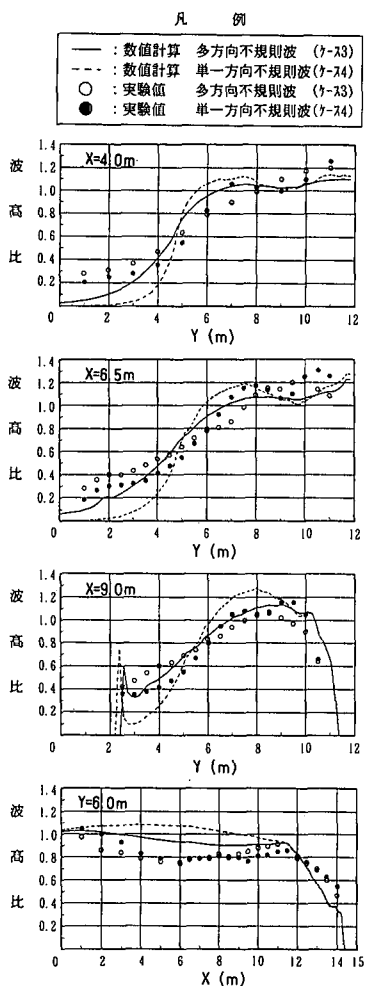


図-13 測線上の波高比変化

また、境界条件としては、導波板の反射率を1.0、透過性導波板、陸地部の反射率を0とした。入射波の成分波分割数は、エネルギー等分割のダブルサンメーション法により、周波数10分割×波向45分割の合計450成分とし、碎波モデルとしては高山モデル(高山ら, 1991)を用いた。ケース3, 4の数値解析結果について、図-7に示した4つの代表測線上($X=4.0\text{ m}$, 6.5 m , 9.0 m , $Y=$

6.0 m)の波高比分布を実験値とともに図-13に示す。

これによると、エネルギー平衡方程式による数値解析値は、防波堤背後の海域($X=4.0\text{ m}$, 6.5 m の測線上で Y の値が小さい海域)においては、波高をやや過小評価する傾向が見られるものの、その他の海域においては実験値とよく一致する傾向が見られる。防波堤背後の海域の結果については、エネルギー平衡方程式では回折現象が原理的に考慮されていないことから予想できる結果といえる。

5. あとがき

今後も、多種類の地形モデルについて水理模型実験を実施し、多方向不規則波の挙動を単一方向不規則波のものと比較検討していくことは重要である。特に、今回の地形モデルとは異なる結果があらわれる可能性のあるモデル(湾内地形でないモデル等)についての検討が必要といえる。

最後に、方向スペクトル関連の実験手法について貴重なアドバイスを頂いた(財)電力中央研究所 池野正明氏に謝意を表します。また、計測にあたっては(株)日本工業試験所 内西 博氏、数値解析にあたっては(株)ニュージェック 殿最浩司氏の協力を得ました。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・神山 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.
- 池野正明・鹿島遼一・鶴飼亮行・清水琢三・秋葉 徹・窪 泰浩 (1994): 多方向不規則波浪場計算法の人工島背後海域への適合性比較, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 121-125.
- 合田良実・鈴木康正 (1975): 光易型方向スペクトルによる不規則波の屈折・回折計算, 港湾技研資料, No. 230, 45 p.
- 高山知司・池田直太・小杉宜史 (1990): 多方向不規則波を用いた波浪変形実験, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 155-159.
- 高山知司・池田直太・平石哲也 (1991): 碎波および反射を考慮した波浪変形計算, 港研報告, 第30巻, 第1号, pp. 21-67.
- 橋本典明 (1987): ベイズ型モデルを用いた方向スペクトルの推定, 港研報告, 第26巻, 第2号, pp. 97-125.