

導波板を設置している。但し、防波堤からの反射波が導波板で再反射することを防止するとともに、岬に沿って発生する海浜流の存在を考慮し、岸に近い部分については透過性導波板を設置している。また、防波堤は入射波の主波方向と約 30° 傾斜させた角度で設置しており、防波堤前面は直立壁で天端高についてはここで用いる波浪条件(表-1 参照)においては越波現象が生じない高さとした。

3. 造波した実験波の特性

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、主波向は造波装置と直角方向とした。

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。造波した実験波を検定するために、地形開始部付近に造波装置の中心を含む 3 箇所(A-0, B-0, C-0; 図-1 参照)に 4 本の波高計で構成された波高計アレイを設置し、波高、周波数スペクトル、方向スペクトルを算定した。多方向不規則波(ケース 1 M; 防波堤あり)について、方向スペクトルおよびピーク周波数 ($1/(1.05 T_{1/3})$) の方向関数を図-2 に示す。その結果、地形開始部において目標とする方向スペクトルを有する実験波がほぼ造波できていることが確認できる。他の実験波についても目標の実験波が造波できていることを確認した。

4. 波高分布特性

(1) 測線上(測線 B)の波高比変化

著者ら(1997)は、当波浪場について異なる波浪条件での波高分布特性(海域全体にわたる波高分布)を比較検討し、防波堤に沿った海域での碎波の有無によって、

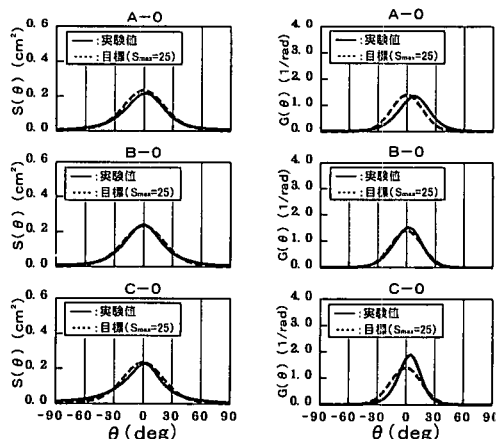


図-2 一樣水深部での方向スペクトル(左)および方向関数(右)(ケース 1 M)

前面海域の波高分布特性が大きく異なることを確認した。ここでも後の議論のために簡単に紹介する。

防波堤に沿った海域で碎波が発生しない波浪場(ケース 1 M, 1 U)についての結果を図-3 に示す。なお、防波堤がない場合も参考のために示す。ここで波高比とは、地形開始部での波高との比率を表す。単一方向不規則波では、防波堤前面海域で波高が急激に増加し、防波堤先端部付近($X=12\text{ m}$ 付近)よりも浅い海域で急激に低下する。これに対し、多方向不規則波においても全体的な傾向は一致するものの、防波堤からの反射波の方向分散性が大きいために、測線方向の波高の急激な増加、低下はみられず波高のピーク値も小さい。同時に示す防波堤がない波浪場においては、波高の変化はゆるやかであり、入射波の多方向性の影響はほとんどみられない。

次に、防波堤に沿った海域で碎波が発生する波浪場(ケース 2 M, 2 U)についての結果を図-4 に示す。これらでは $X=9\text{ m}$ 付近の海域で波高がピーク値を示すが、測線方向の波高の変化はゆるやかであり、入射波の多方向性の影響も小さい。また、防波堤がない波浪場においては入射波の多方向性の影響はほとんどみられない。

(2) 数値解析(エネルギー平衡方程式)との比較

防波堤がある場合の波高分布について、多方向不規則波を扱って浅水変形、屈折、碎波、反射も考慮できる改良エネルギー平衡方程式(高山ら, 1991)による数値計算を実施し、水理模型実験結果と比較検討する。

碎波モデルとしては、碎波によって失われる単位時間あたりのエネルギー逸散量が成分波のエネルギーと波速に比例すると仮定している高山モデルを用いる。また、防波堤から岸方向に反射される波の変形は岸方向の波の変形計算のなかで計算し、沖方向に反射される波の変形は、岸方向に向かう波浪変形計算が終わった後に、沖側に向けて再び計算を行う。最終的には、岸方向へすむ波と沖方向へ反射される波をエネルギー合成して波高を求める。防波堤の反射率は、斜め入射波であるので設定が困難であるが、とりあえず 0.9 に設定する。陸地部の反射率については模型の状態と対応させて 0 とする。実験時の導波板に対応する位置での反射率は 1.0、透過性導波板に対応する位置での反射率は 0 とする。

ケース 1 の数値解析結果を実験結果と併せて図-3 に示す。これによると、多方向不規則波(ケース 1 M)においては、実験値と数値解析結果が全体的によく一致する。一方、単一方向不規則波(ケース 1 U)では、波高の増大する防波堤前面海域、特に、防波堤先端部付近の海域において、実験値での波高の方が大きくなる傾向が顕著に確認できる。

防波堤先端部付近の海域において、単一方向不規則波での実験値が急激に増加し、実験値と数値解析との差が

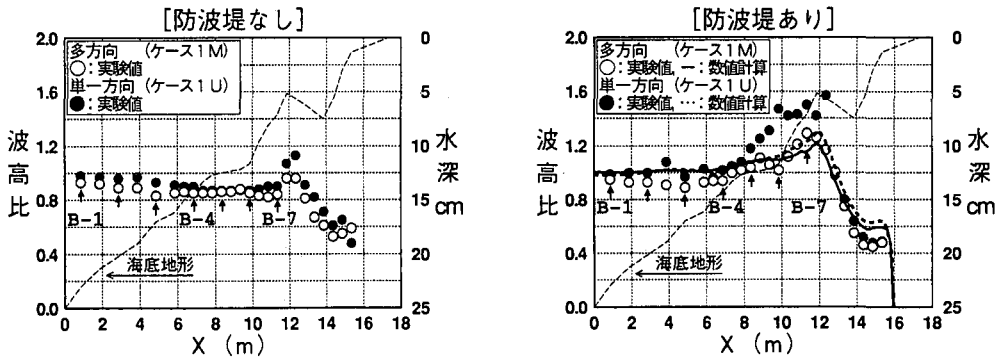


図-3 測線上の波高比変化 (ケース1: 波高2.0 cm, 周期0.82 sec)

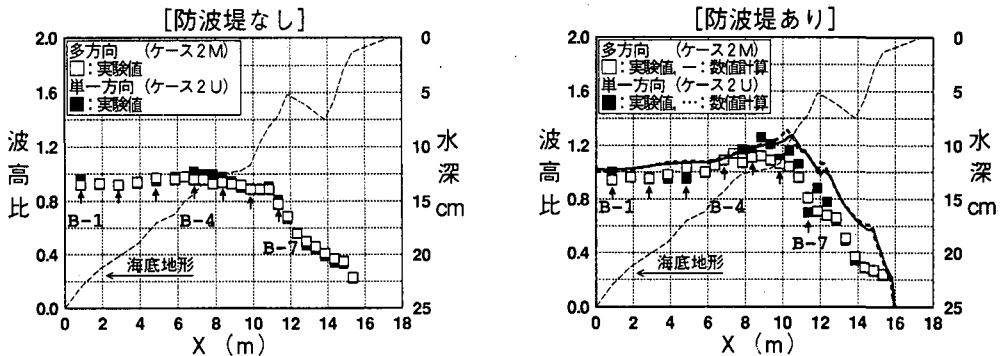


図-4 測線上の波高比変化 (ケース2: 波高7.0 cm, 周期1.14 sec)

増大する理由、さらには、単一方向不規則波での実験値と多方向不規則波での実験値の差が増大する理由としては、単一方向不規則波の実験での入射波と反射波が合成されて波高が顕著に増大する現象に大きく影響する波の位相干渉の効果が、多くの角度からの波が重なり合う多方向不規則波を用いた実験では表れにくく、位相を考慮できないエネルギー平衡方程式では評価できないためと考えることができる。

ちなみに、球面浅瀬のように屈折によって2方向の波が重なり焦点を形成する波浪場において、波のエネルギーの方向分散が小さい単一方向不規則波が作用する場合には、エネルギー平衡方程式では高い精度で波高を算定することができないといった指摘も報告されている(高山ら, 1991)。

次に、ケース2での数値解析結果を実験結果と併せて図-4に示す。ここでは、多方向不規則波、単一方向不規則波ともに実験値での波高が大きくなる傾向はみられず、やや小さくなる傾向がみられる。ここでは、数値解析において防波堤の反射率を0.9に設定したが、斜め入射波が構造物に沿った海域で碎波する波浪場の計算において反射率をどの程度低減するべきか今後の検討が必要といえる。

5. 方向スペクトル特性

対象海域での方向スペクトル形状を検討し、入射波と防波堤からの反射波の伝播特性、および波高分布との関係を把握する。

解析手法としては、方向スペクトル形状のピーク位置、つまり入射波と防波堤からの反射波の伝播方向を精度よく把握するためにベイズ型モデルにより解析する。但し、ベイズ型モデルにおいては、方向スペクトルが方向角に対して滑らかな連続関数であるという条件によって解が特定されているため、単一方向不規則波を用いた実験ケースにおいては適用できない。よって、多方向不規則波(ケース1 M, 2 M)の波浪場についてベイズ型モデルによる解析を実施する。

(1) 防波堤のない波浪場

最初に、防波堤のない場合について検討する。

まず、水深5 cmにおいても碎波が発生しない波浪場である(ケース1 M)について、沖の海域(B-4; 図-1参照)、浅い海域(B-7)での方向スペクトルを図-5に示す。

浅い海域(B-7)での主波向(方向スペクトル形状がピークを示す波向)は、入射波の主波向(0°)とほぼ等し

いが、屈折現象によって、等深線と直角方向に近づく方向に傾く傾向がみられる。また、方向スペクトルの方向分散が小さく、ピーク値が増大している傾向を示す。これは実験においても確認できた波の峰が汀線に平行に長くつながるようになる現象と対応しているといえる。

次に、沖で砕波が発生する波浪場(ケース 2 M)について沖の海域 (B-4)、浅い海域 (B-7) での方向スペクトルを図-6 に示す。ここでは、ケース 1 M とは異なり、浅い

海域においても方向スペクトル形状のピーク値が増大する傾向がみられない。これは入射波が沖で砕波するため浅い海域で波高が増加していく傾向がないこと、目視でも波の峰が汀線に平行に長くつながる現象がみられないことと対応しているといえる。

(2) 防波堤のある波浪場

防波堤に沿った海域の砕波が発生しない波浪場であるケース 1 M (多方向不規則波) について測点 (B-3~B-7)

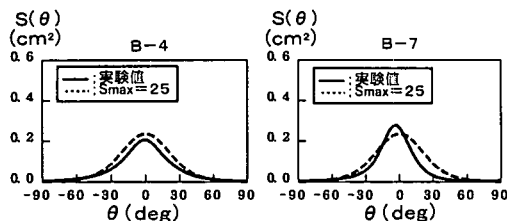


図-5 測線上の方向スペクトル形状
(防波堤のない波浪場；ケース 1 M)

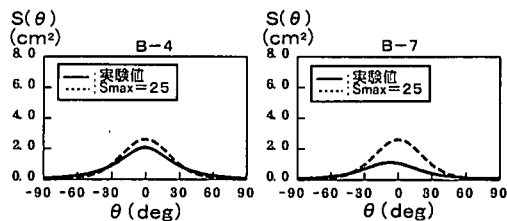


図-6 測線上の方向スペクトル形状
(防波堤のない波浪場；ケース 2 M)

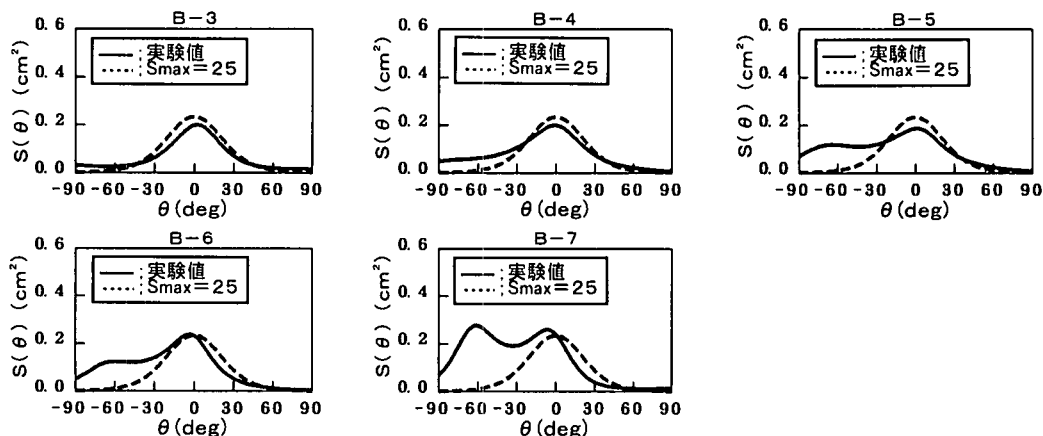


図-7 測線上の方向スペクトル分布 (防波堤のある波浪場；ケース 1 M)

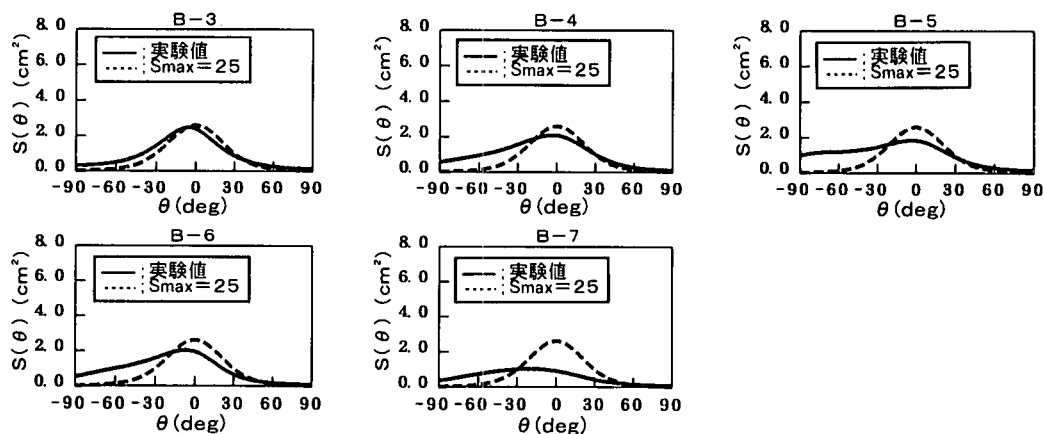


図-8 測線上の方向スペクトル分布 (防波堤のある波浪場；ケース 2 M)

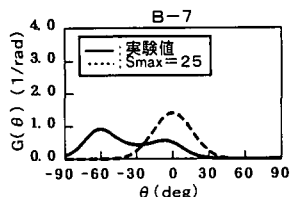


図-9 測点 (B-7) の方向関数 ($f_p=1.16$ Hz)
(防波堤のある波浪場; ケース 1 M)

ごとの方向スペクトルを図-7に示す。

全体的に、入射波の主波向方向 (0°)、および防波堤からの反射波が伝達する方向 (-60° 付近) の2方向で方向スペクトル形状がピーク値を示す傾向がみられ、入射波および岬方向への防波堤からの反射波 (-60°) が共存していることが確認できる。

さらに、方向スペクトル形状で防波堤からの反射波 (-60°) の存在が確認できる測点 (B-4~B-7) においては波高増加 (図-3参照) もみられること、特に、反射波によるピーク値が大きくあらわれている測点 (B-7) において波高増加が顕著であることが確認できる。また、測点 (B-7) における方向関数 (入射波のピーク周波数; $f_p=1.16$ Hz) を図-9に示すが、ここでは防波堤からの反射波が方向スペクトルよりも一層明確に確認できる。

次に、防波堤に沿った海域での砕波が発生する波浪場であるケース 2 M (多方向不規則波) について測点 (B-3~B-7) ごとの方向スペクトルを図-8に示す。防波堤からの反射波 (-60°) の存在が確認できる海域 (B-4~B-6) と反射波によって波高増加する海域とはよく一致しているが、反射波によるピーク値 (-60°) はケース 1 M ほど顕著に増大しない。波高増加が顕著でなかったことも考慮すると、当該波浪場では反射波が顕著に形成されていないといえる。

なお、ベイズ解析は波の線形性を考慮した理論であるため、砕波が発生している波浪場での適用性については厳密な検討が必要といえるが、算定した方向スペクトル形状から波浪場にどの方向の波が存在するか把握するといった定性的なレベルの検討は可能と思える。

また、ベイズ解析が適用できない単一方向不規則波の波浪場についても、防波堤に沿った海域での砕波が発生しないケース 1 U (単一方向不規則波) について、EMLM法による方向スペクトル解析を実施した。その結果、波高増加が顕著な海域での反射波 (-60° 付近) の存在が確認できた。

6. 結 語

本研究では、斜め入射波が作用する構造物前面海域の波浪場について考察した。

防波堤からの反射波の発生が顕著となる波浪場においては、防波堤前面海域での波高増加について、入射波の多方向性の影響が大きくあらわれ、多方向不規則波では反射波の方向分散性が大きいため、単一方向不規則波ほどには波高増加が顕著にみられなかった。

エネルギー平衡方程式との比較においては、エネルギー平衡方程式では波の位相干渉の効果を評価できないため、単一方向不規則波に関しては、入射波と反射波が合成されて波高が顕著に増大する防波堤先端部付近の海域での実験値と数値解析との差が増大した。

前述した斜め入射波の反射特性は、斜め入射波の砕波の有無によって大きく異なった。防波堤に沿った海域の砕波が発生しない波浪場においては、防波堤からの反射波の発生が顕著であることが方向スペクトル形状での入射波と反射波の共存、すなわち2つのピークの存在より確認できた。それに対し、防波堤に沿った海域の砕波が発生する波浪場においては、反射波の発生が顕著ではなく、方向スペクトル形状での入射波と反射波の共存も顕著にはみられなかった。今後は、方向関数レベルでの検討、直入射で砕波が発生する波浪場との比較によって、斜め入射波の反射特性について一層検討を進めることができると思える。

最後に、計測にあたっては (株) 日本工業試験所 内西博氏、数値計算にあたっては (株) ニュージェック 殿最浩司氏の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 高山知司・池田直太・小杉宣史 (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): 砕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.
- 平石哲也・田端竹千穂 (1994): 上部斜面堤からの越波が離島港湾の静穏度に与える影響, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 701-705.
- 目見田 哲・酒井哲郎 (1995): 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, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 196-200.
- 目見田 哲・酒井哲郎 (1997): 構造物前面海域での入射波の多方向性の影響, 海洋開発論文集, 第13巻 (印刷中).