

平面波浪場の計算手法および設定条件の 違いによる適用性に関する研究

大 中 晋*・佐藤典之**・早 川 淳*

1. はじめに

これまでに、さまざまな平面波浪変形計算法が提案され、実験あるいは現地データを用いた検証も数多く行われてきた。この中には複雑な波浪場に対しても、波の非線形性が特に重要となる場合を除けば、かなりの高精度で現象を予測できる手法もいくつか提案されている。しかし、各計算手法にはそれぞれ長所・短所があり、目的に応じて適切に使い分ける必要がある。また設定された入射波条件に対して、ある一つの計算手法を用いる場合でも、計算上の各設定条件の違いにより結果が大きく左右される。したがって実務に用いる場合、適切な計算手法の選択、および計算条件の設定を行うことが重要となる。そこで本研究では、各計算手法の違いによる比較、ならびに同一の計算手法を用いた場合の、各設定条件の違いによる比較を行い、計算結果に及ぼす影響について明らかにすることを目的とする。

2. 検討モデルおよび用いた計算法について

平面波浪変形計算は、さまざまな諸問題に対して用いられるが、ここではその代表例として、海浜流および地形変化予測を主目的とした離岸堤モデル、および港内静穏度予測を主目的とした港湾モデルの2ケースを取り上げた(図-1 参照)。

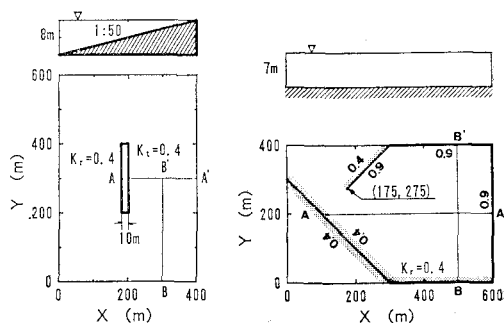
離岸堤モデルに対して特に重要と考えられる波の変形は、屈折、回折および砕波である。そこで波の屈折、回折、反射が同時に扱える非定常緩勾配方程式(渡辺ら, 1984; 大中ら, 1987)、および屈折、回折が扱える放物型方程式を用いて検討を行った。放物型方程式は、計算座標系の違いによりいくつかの計算手法が提案されている。ここでは磯部(1986)による波向線座標系を用いた不規則波に拡張された放物型方程式を用いた。砕波指標および砕波減衰項のモデル化は、磯部(1986)やDibajniaら(1987)等に表示されるような、両方程式とも同様の取り扱いをしている。また離岸堤であることから、透過波も考慮できる計算手法が望ましい。そこで非定常緩勾配

方程式については、酒井ら(1978)による任意反射率・透過率境界を導入した。また放物型方程式については、透過構造物をエネルギー減衰帯として扱った新たな算定法(早川, 1992)を用いた。この算定法では離岸堤を計算上、構造物として認識していないため、離岸堤背後においてもデカルト座標系と同等の取り扱いとなる。ここで離岸堤モデルの目的からすると、波浪場の計算結果の違いよりも、むしろその違いが海浜流場に及ぼす影響について明らかにすることが重要である。そこで海浜流の計算も合わせて行った。

つぎに港湾モデルに対して特に重要と考えられる波の変形は、水深変化が無視できる場合には回折および反射、無視できない場合にはこれ以外に屈折・浅水変形も加味される。そこでこれらの波の変形を同時に取り扱え、任意反射率の設定が可能な緩勾配方程式(磯部ら, 1987; 佐藤ら, 1988)を用いて検討を行った。

3. 検討項目および計算条件

はじめに各計算手法に対する適切な格子間隔を設定するため、非定常緩勾配方程式(以下 TDMSE とする)および放物型方程式(PAE)については、一次元一様勾配斜面上での波浪変形により、また緩勾配方程式(MSE)については多重反射系を想定し、反射面に囲まれた防波堤背後の回折波領域での波浪変形計算により検討を行った。



(1) 離岸堤モデル

(2) 港湾モデル

図-1 計算モデルおよび基本設定条件

* 正会員 工修 東亜建設工業(株) 技術研究所

** 正会員 工修 東亜建設工業(株) 設計部

離岸堤モデルおよび港湾モデルに対する検討項目で、両モデルに共通する項目としては、規則波と不規則波の違い、および不規則波の成分波（方向、周波数）の個数による違いである。これ以外に離岸堤モデルについては透過率の違いを、港湾モデルについては水深変化のある場合とない場合の違いによる比較も合わせて行った。計算領域および基本となる各設定条件は図-1に示すとおりである。また入射波条件を表-1に示す。各項目に対する比較を行う場合は、その検討項目に対する設定条件のみを変え、残りの条件については図-1に示す基本条件に一致させた。

表-1 入射波条件

モデル	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	θ	S_{max}
離岸堤モデル	2.0	10	0°	25
港湾モデル	1.0	10	0°	25

4. 計算結果

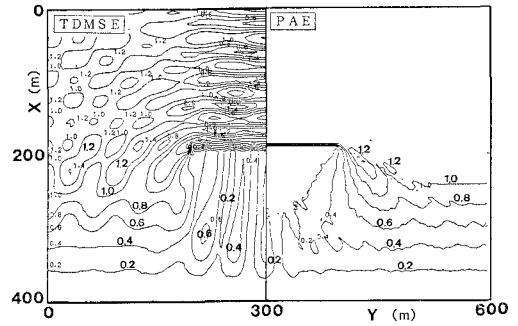
4.1 格子間隔について

計算格子間隔は、狭領域の計算の際にはあまり気にせずに取りあえず細かく設定するが、現地での広領域の計算を行う際には、計算時間・容量等の都合上、少しでも粗い格子間隔で設定したい。本検討に用いているプログラムでは、TDMSE および MSE については、すべての計算点上で格子間隔が一定となる。また PAE の格子間隔については、各地点の波長に対する分割数が一定となるように、水深変化に伴い変化する。ここでは得られた結果のみ述べる。TDMSE については、砕波点付近の波長 L_B の $1/8 \sim 1/10$ 程度とれば汀線付近での水深が浅いところにおいても十分な精度が得られた。PAE は、複素水面変動の振幅部に対する計算であるため、 $\Delta x/L = 1/2$ 程度のかかなり粗い設定でも十分な精度が得られた。また MSE を多重反射系の波浪場に用いる場合、 $\Delta x/L = 1/10$ 程度以上は必要となった。また PAE および MSE について、不規則波についても同様の検討を行った結果、規則波と同様の結果が得られた。

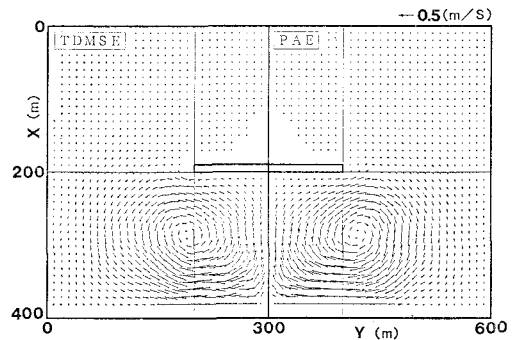
4.2 離岸堤モデルについて

(1) 計算手法の違いによる比較

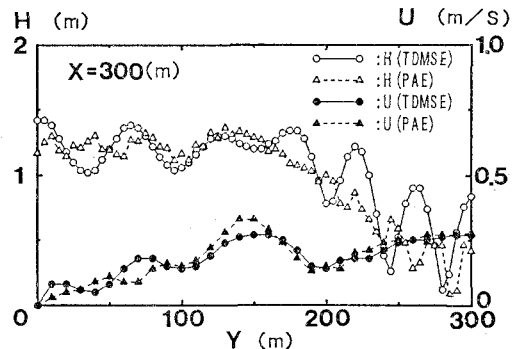
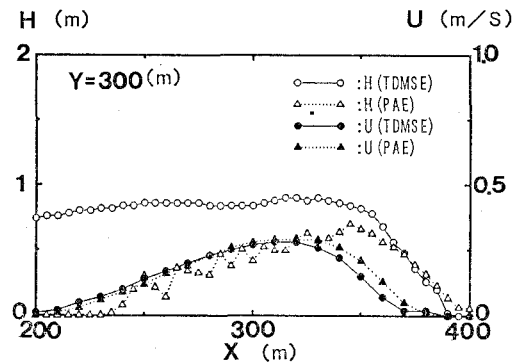
図-2 (1), (2) は、透過率 0 の場合の規則波における波高比分布および海浜流の結果を示したものである。それぞれ中心より左側が TDMSE による結果を、右側が PAE による結果を示す。また (3) は、図-1に示す離岸堤背後の A—A' 断面および B—B' 断面での波高比および海浜流の絶対値を示したものである。波浪場については全体的に、TDMSE による結果が波高の変動が顕著である。離岸堤前面については非定常緩勾配方



(1) 波高比分布

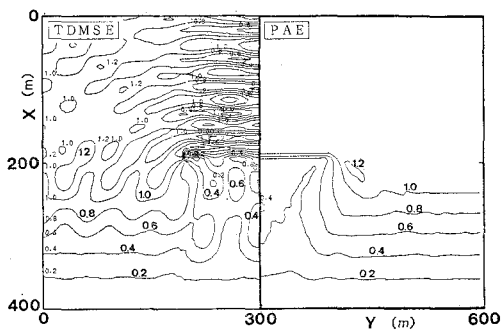


(2) 海浜流分布

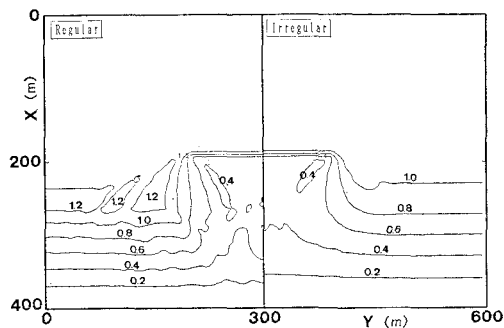


(3) A—A', B—B' 断面での波高値および海浜流

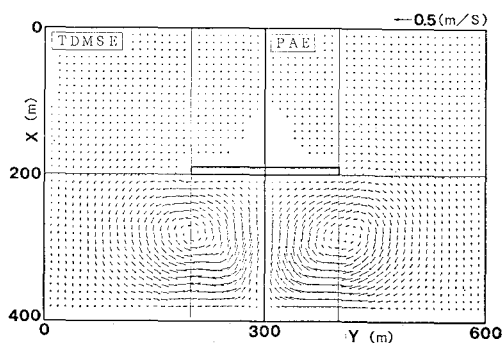
図-2 計算手法の違いによる比較 (透過率 0)



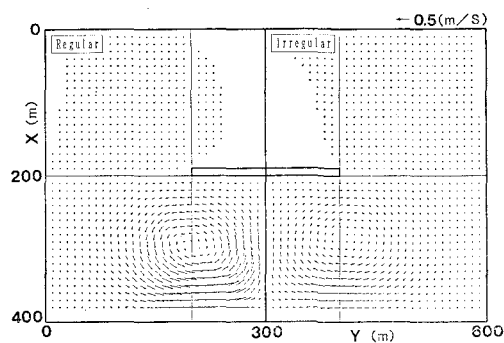
(1) 波高比分布



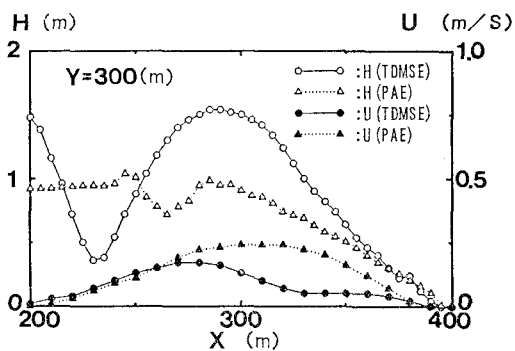
(1) 波高比分布



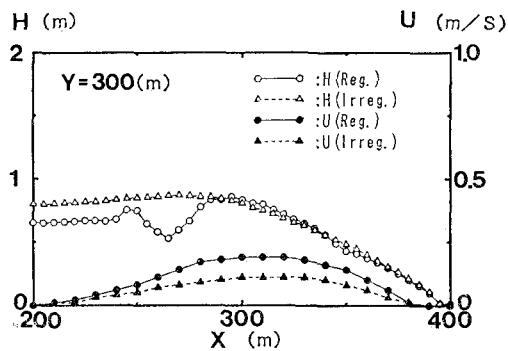
(2) 海浜流分布



(2) 海浜流分布



(3) A-A', B-B' 断面での波高値および海浜流



(3) A-A', B-B' 断面での波高値および海浜流

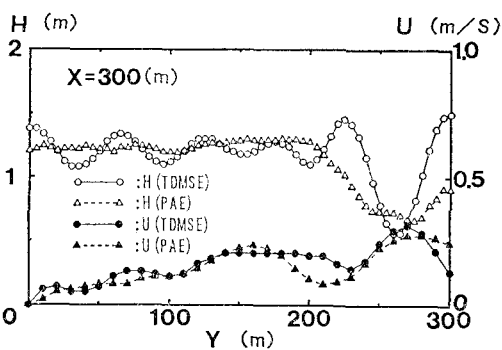


図-3 計算手法の違いによる比較 (透過率 0.4)

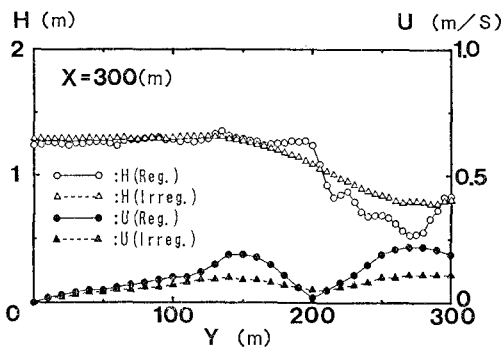


図-4 規則波と不規則波の比較

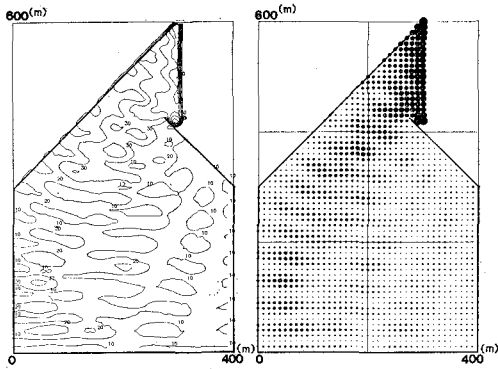


図-5 規則波の計算結果

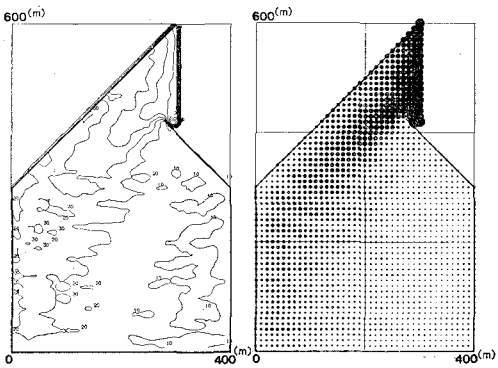


図-6 不規則波の計算結果

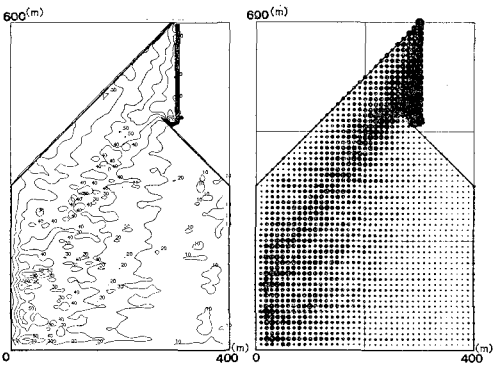


図-7 水深変化がある場合の計算結果

程式は反射波の位相干渉による波高の高低が生じており、反射波が考慮されない PAE との違いが明らかである。また PAE は離岸堤直背後での回折波の回り込みが再現できず、TDMSE との違いが生じている。海浜流については平面的なパターンおよび絶対値とも、両者に大きな違いは見られない。

つぎに透過率 0.4 の場合について、同様の比較を行ったものが図-3 である。これより TDMSE の場合は離

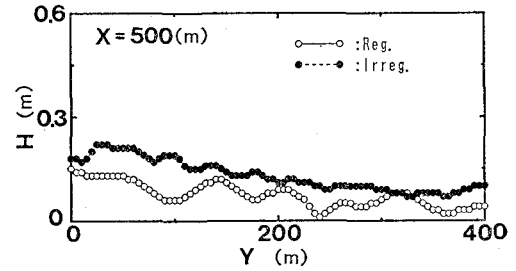
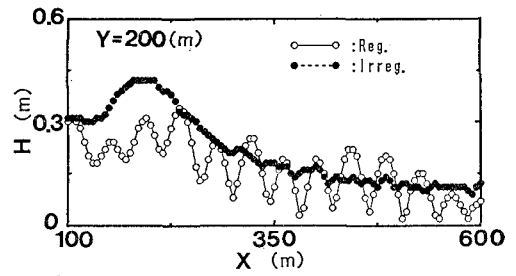


図-8 規則波と不規則波の比較

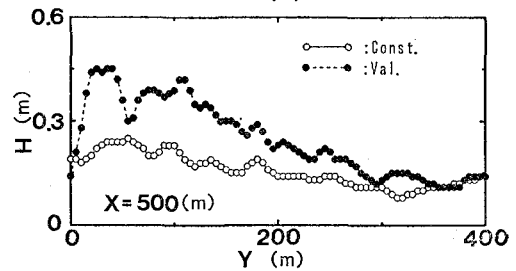
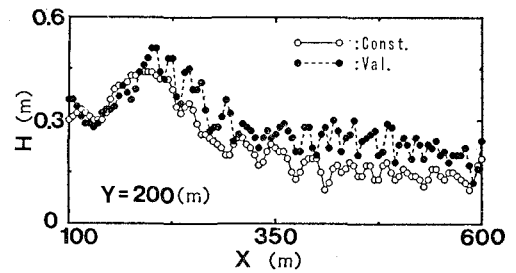


図-9 水深変化がある場合とない場合との比較

岸堤直背後で、透過波と回折波との位相干渉による顕著な波高変化が見られる。一方 PAE では直背後では透過波成分のみであるため、このような変動は見られない。海浜流については、透過率 0 の結果と比べて離岸堤背後のラディエーションストレスの勾配が小さくなるため、全体的に小さくなっている。また方程式による違いは、透過率 0 の場合に比べて A-A' 断面上では明確な違いが生じているが、全体的には両者ともほぼ同様の結果となっている。

(2) 規則波と不規則波の比較

つぎに放物型方程式を用いて、透過率 0.4 の場合の規

則波と不規則波との比較を行ったものが図-4である。ただし両者のエネルギーを一致させるために、規則波の場合の入射波高としては、不規則波の入射波高より得られるエネルギーから換算される実効波高 ($H^*=1\sqrt{2}\tau_{rms}$) を用いている。また不規則波については周波数分割数を5, 方向分割数を10とした。これより不規則波の結果は規則波の結果に比べて、波高分布が平滑化されている様子がわかる。またそのため、海浜流の変動および絶対値とも減少し、場所的には規則波の場合の半分程度となっている。

(3) 成分波の分割数の違いによる比較

不規則波の計算において、成分波の分割数の違いによる比較を行った。周波数分割については、3, 5, 10, 20分割, 方向分割については5, 9, 18, 36分割で検討を行った。その結果, 本検討で用いた諸条件に対しては, 周波数分割および方向分割の違いによる波高分布および海浜流場の違いはほとんど見られなかった。

4.3 港湾モデル

(1) 規則波と不規則波の比較

港内静穏度の検討については、不規則波としての取り扱いが必要であることがこれまでにいわれている。ここで再度その違いを確認するために、規則波および不規則波の比較を行った結果を図-5, 6に示す。ここで図-5が規則波に対する結果を、図-6が不規則波に対する結果を示している。ここでは両者の違いが一目で分かるように、コンター図とともに波高の高低に対応したパターン図も示す。また図-8は図-1に示す各断面での波高比を示したものである。なお不規則波における分割数は、離岸堤モデルと同様である。これより規則波の計算結果は不規則波に比べて過小評価となることが分かる。よって以後の検討は、すべて不規則波を用いて行った。

(2) 水深変化のある場合とない場合との比較

港内静穏度の検討の場合、回折、反射とともに、水深変化に伴う屈折、浅水変形も同時に考慮できるモデルは限られてしまうため、実際には漁港のように、港内での水深変化があるような場合でも、平均的な水深を用いて計算してしまうこともありがちである。そこで水深変化が計算結果に及ぼす影響について調べたものが図-7, 9である。ここでは港口での水深を7mとし、岸側で0mとなるような一定勾配とし、水深2m以浅の範囲ではすべて2m一定としている。図-7を見ると、図-6に比べて平面分布形状が大きく異なることがわかる。また図-9より港奥付近では、水深7m一定の場合に比べて2倍程度の違いが生じている。これより港内のように反

射波の影響が大きいところでは、屈折、浅水変形に伴う波高増幅の影響がより顕著となり、水深一定で取り扱っていると、かなりの過小評価になってしまう危険性がある。

(3) 成分波の分割数の違いによる比較

つぎに周波数分割および方向分割の違いによる比較を行った。それぞれの分割数については離岸堤モデルと同様である。その結果, 周波数分割については20分割を基準とした場合のA-A'断面およびB-B'断面での平均的な違いは, 10分割で5%程度, 5分割で10%程度, 3分割で15%程度であった。また方向分割については本検討で用いた諸条件に対しては, 分割数の違いによる差異はほとんど生じなかった。

5. おわりに

平面波浪変形計算の代表的な適用例として、離岸堤モデルおよび港湾モデルを想定し、計算手法の違いによる比較、ならびに各設定条件の違いによる比較を行い、計算結果に及ぼす影響について明らかにした。但しこれらは、あくまでもあるモデルについての、限られた入射波条件に対する結果であることを明記しておく。

なお本研究は、土木学会研究現況レビュー小委員会における、「平面波浪場の計算法WG」にて報告した検討内容を取りまとめたものである。

参考文献

- 磯部雅彦(1986): 放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回折・碎波変形の形算法, 第33回海岸工学講演会論文集, pp. 134-138.
- 磯部雅彦・佐藤典之・杉浦 淳・泉宮尊司(1987): 港内波高分布の数値計算における境界条件に関する研究, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 86-90.
- 大中 晋・渡辺 晃・磯部雅彦(1987): 波・流れ共存場に拡張した非定常緩勾配方程式による波動場の数値計算, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 160-164.
- 酒井哲郎・佐藤孝夫・岩垣雄一(1978): 任意反射率・任意透過率の防波堤による平面的な波浪変形の数値計算, 第25回海岸工学講演会論文集, pp. 98-102.
- 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.
- Dibajnia, M.・渡辺 晃(1987): 波浪場と海浜断面地形変化の数値計算モデル, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 291-295.
- 早川 淳(1992): 放物型方程式を用いた透過性構造物周辺の不規則波浪場の数値計算法, 東亜建設工業(株)技術研究所報告第5巻, pp. 1-25.
- 渡辺 晃・丸山康樹(1984): 屈折・回折・碎波減衰を含む波動場の数値解析法, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 103-107.