

73 海岸構造物における平面波浪数値モデルの応用について

国土防災技術株式会社 ○李 鷗

田中清司

1 はじめに

四面海に囲まれている日本国は、豊かな海の資源に恵まれている反面、高潮、津波、高波等により、常に海からの脅威にさらされている。海岸防災事業は昭和34年に来襲した伊勢湾台風による高潮災害を契機として盛んになった。その後、沿岸域の開発利用に伴って、海岸堤防・護岸が各地で造られ、統計資料によれば、種々の海岸構造物は全国海岸総延長344万kmの約40%を占めるに至り、国土保全に多いに寄与している。しかしながら、近年海岸環境は地球環境悪化とともに海面上昇、海岸侵食の進みがより一層厳しくなっており、度重なる高潮・高波の来襲により、堤防・護岸等の被災が各地で見られるようになった。海岸構造物の被災における直接原因の1つとして、構造物前面における来襲波の作用がある。構造物前面の水深および波高が推定以上に増大することによるか、それとも設計波高の計算方法に問題があるかが考えられる。本発表では、設計波高の計算方法に対して、モデル海岸における直立重力式護岸・消波ブロックを想定し、浅海波の変形について従来の設計基準としての波向線法（数値計算法・簡易図法）と近年研究開発されている放物型方程式平面波浪数値計算モデル（以下略称PAE法）との計算結果を比較・検討し、2方法の適用性について考察した。

一般に、波の種類は、図1に示すように、水深 h と波長 L の比により、深水波、浅水波、極浅水波とに大別され、それらに対する海の空間は、深海域、浅海域（浅水波と極浅水波に対応する区域）と呼ばれる。深水域の場合には海底地形による波の変化が少なく、浅海域に入ると海底地形の影響を受けて、波速

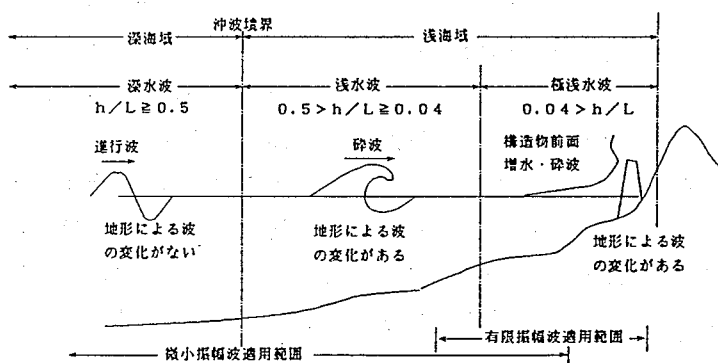


図1 深水波、浅水波、極浅水波概念図

が遅くなり波高、波長等が変形し、さらに進行すると波形を保つことができなくなって砕波する。したがって、構造物の計画および設計に当たっては、波の変形を考慮する必要がある。特に、次の2項目について比較検討した。

- ① 護岸天端高の決定に関し、構造物前面における来襲波に対する必要高の計算。
- ② 消波構造物の所要最小安定重量の決定に関し、構造物前面における設計波高の計算

2 波向線法と放物型方程式法との計算手法の異同について

浅海波変形の計算方法は、従来の波向線法と現在研究開発されているPAE法とに大別され、これらの計算手順は図2に示すとおりである。

① 波向線法：微小振幅波理論による水深データおよび沖波波高あるいは沖波換算波高，相対水深，波形勾配等を利用して，特定計算地点の波の変形を推算する方法で，波向線計算法と簡易図法との2種類に細分される。

波向線計算法と簡易図法との2種類に細分される。

i) 波向線計算法：地形変化が複雑な場合には，波の方程式および浅海域における屈折・回折・海底摩擦・浅水変形係数ならびに砕波帯内における砕波変形等の計算式を用いて，沖波境界から数値解析の手法を利用して繰り返し計算することにより，計算域の任意的な点での波諸元計算ができる。

ii) 簡易図法：地形変化が簡単な場合（等深線がほぼ平行する場合）には，理論計算および実験による簡易算定図がよく使用される。

② P A E法：微小振幅波の基礎式から誘導された放物型微分方程式を，差分法あるいは有限要素法により数値計算する方法で，屈折・回折効果を考慮するとともに，砕波・透射・反射モデルまで拡張したものである。これは近年，複雑地形を有する特に構造物背後での波浪変形について，使用実績が段々増えている。

これら浅水波の計算方法の適用範囲についてとりまとめると，表1に示すとおりである。

表1 浅水波変形における計算方法の適用範囲

計 算 手 法	浅水 変形	屈 折	回 折	反 射	砕 波 モ デル	任 意 水 深	流 れ の 影 響	不 規 則 性	有 限 振 幅 性	計算領域			備 考
										広	中	狭	
波 向 線 法	○	○	×				○	○	○	○	○	○	・ 推算手法簡単 ・ 複雑地形適用できない ・ 複雑地形適用 ・ 波向線交差時処理困難
簡 易 図 法	○	○	×				○	○	○	○	○	○	
波 向 線 計 算 法	○	○	×				○	○	○	○	○	○	
放物型方程式 計 算 法	○	○	○	×	○	○	○	○	○		○	○	・ 屈折や回折を同時考慮 ・ 反射計算困難

注：◎：適用可能，○：工夫して適用可能，空白：適用可能性あり，×：適用不可能，計算領域＝広：深海域から浅海域を含む，中：浅海域，狭：砕波水深からの浅海域程度である。

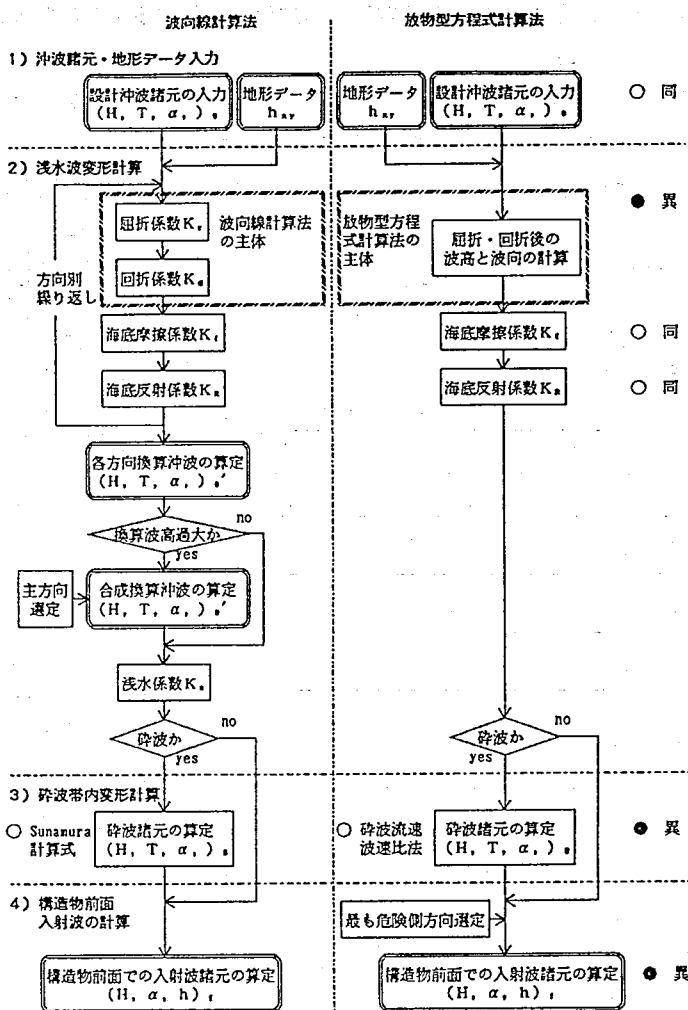


図2 波向線法・P A E法の計算手順

・ 回折効果を考慮するとともに，砕波・透射・反射モデルまで拡張したものである。これは近年，複雑地形を有する特に構造物背後での波浪変形について，使用実績が段々増えている。

3 モデル海岸における各方法での来襲波に対する必要高および護岸天端高の計算結果の比較

3.1 計算条件

i) 計算領域および地形は、図3に示すようなモデル海岸を設定した。x軸の沿岸方向においては、護岸前面500m、y軸の沖岸方向においては、水深-8.0mから汀線側の最高潮位までの520mの範囲で設定した。x軸方向はS12°E方向であり、消波ブロック前面平均水深は $h = 4.71$ mである。

ii) 波浪：表2に示すとおり、入射波条件としてNW, WNW, W方向の30年確率有義波を採用した。

表2 モデル海岸波浪場条件一覧表

No.	方位	方位角 (°)	波高 (m)	周期 (sec)	入射角 (°)
1	NW	225.0	11.27	13.66	57.0
2	WNW	247.5	9.83	11.99	34.5
3	W	270.0	8.91	11.67	12.5

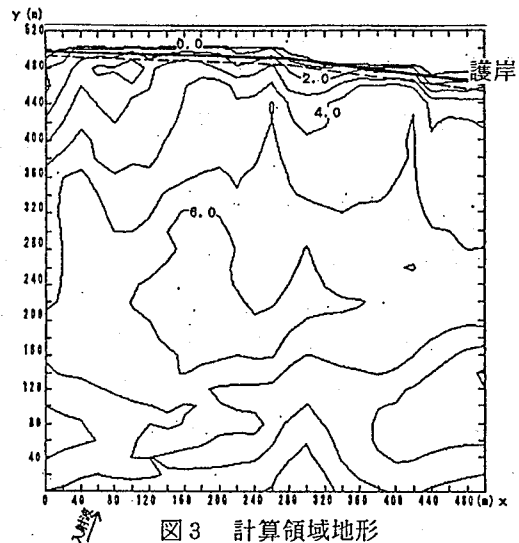


図3 計算領域地形

3.2 計算結果の比較

波向線計算法・PAE法による計算領域における波高分布は図4に示すとおりであり、波向線計算法・波向線簡易図法およびPAE法による消波ブロック前面における到達波高、来襲波に対する必要高および護岸天端高の計算結果は表3に示すとおりである。波向線計算法により計算した消波ブロック前面に到達波高はPAE法の値より小さいけれど、護岸天端高はPAE法で計算した値より高くなる。ところで、到達波高は設計波高として、波力による捨石・コンクリートブロックなど最小安定重量算定式のハドソン式、 $W = f(H_D^3, 1/K_D, \cot \theta)$ (W :ブロック最小重量(tn), H_D (m):設計波高, K_D :被災率係数, θ :法面と水平面なす角を用いて算定した消波ブロック所要重量は、設計波高の3乗に正比例するため、PAE法と波向線計算法の設計波高比が1.17なので、算定したブロック重量比は1.6となる。すなわち、計算方法により設計波高に差があれば、それにより計算されるブロック所要最小重量はかなり異なることを

表3 計算結果の比較

十分認識しなければならない。

今回の計算では、護岸越波より護岸前面消波ブロック転落移動という被災現象が多いことを考慮すると、PAE法による計算結果は波向線法による計算結果より現実的であると考えられる。

計算方法	消波ブロック 前面諸元	設計波高 (到達波高)	平均水位 上昇量	来襲波に対する必要高	
				消波工なし	消波工があり
		H_t (m)	η (m)	H_{D1} (m)	H_{D2} (m)
波向線計算法		3.440	1.578	5.018	3.513
波向線簡易図		3.060	0.600	5.170	3.620
放物型方程式		4.010	0.850	4.860	3.402

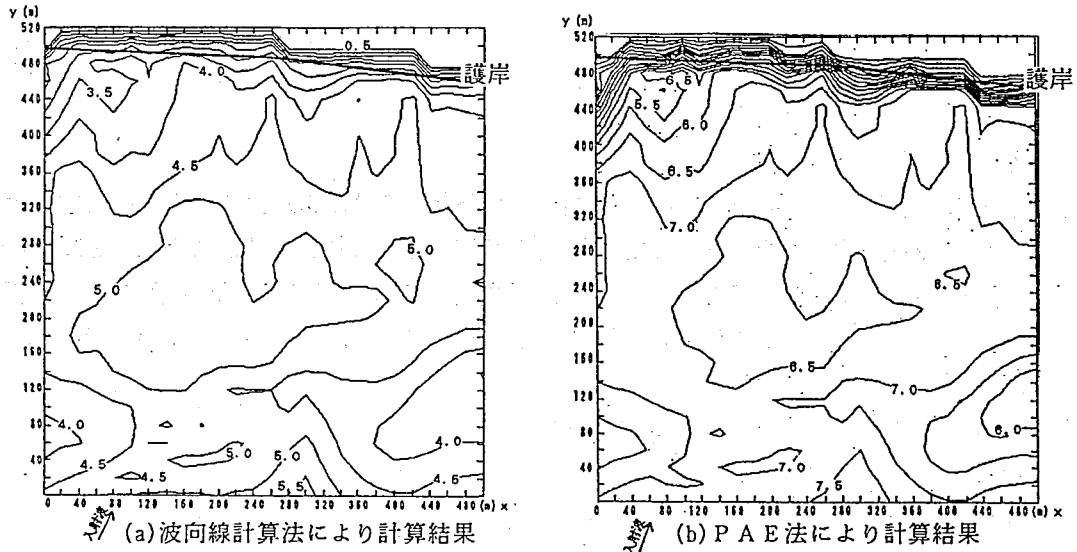


図4 波浪平面分布計算結果

4 まとめ

理論および被災現象から各方法での計算結果を考察すると、以下のことが考えられる。

- ① 波向線法(計算法, 簡易図法)は極浅水域の有限振幅性を考慮せず, 有限振幅性を考慮した P A E 法と比較すると, 消波ブロック前面における設計波高は小さく, この結果からハドソン式より算定された消波ブロック所要最小重量は過小となる。
- ② P A E 法による計算されたブロック所要重量は従来的方法より 1.6 倍となり, 消波ブロックの転落防止および消波機能が高くなることは明かであるが, 理論計算からだけなので, かならずしも計算結果が最適所要重量とは言えない。
- ③ 波向線計算法による消波ブロック前面の平均水位上昇量の計算結果は, 波高線簡易図法や P A E 法の計算結果より過大となる。すなわち, 極浅水域における波向線法による波高計算が現実波高より過小に対して, 平均水位補正が過大過ぎるので, 計算式或いは計算係数(砕波帯内波高減衰係数, 平均水位上昇補正係数)を波浪観測ないしは, 波浪実験から調整することが必要である。
- ④ P A E 法による来襲波に対する必要高および護岸天端高の計算結果は, 波向線法(計算法, 簡易図法)による計算結果より低く傾向にある。
- ⑤ 従来的護岸天端高の計算は, 護岸前面における到達波向に関しほとんど考慮されておらず, 平面波浪場の計算より構造物前面の波向分布から, 波向の影響を取り扱うことが可能である。

今後の課題として, P A E 法の適用性を検証のため, 既設護岸の越波および消波ブロックの最小安定重量について追跡調査が必要であり, また, 護岸天端高計算における余裕高の計算については, 理論面からも検討していきたいと考えている。