

海洋空間創生のための海域制御構造物の開発

建設省土木研究所

正会員 宇 多 高 明

建設省土木研究所

正会員 村 井 楨 美

建設省土木研究所（東洋建設㈱）

正会員 藤 原 隆 一

建設省土木研究所（飛島建設㈱）

正会員 松 尾 和 男

1. まえがき

海洋開発に関する議論は昭和40年代末期において非常に盛んとなり、以後種々の調査活動が行われたが、石油掘削のリグ等の建設は別にすると、殆どの大規模な構想は実現されずに終わった。その後も種々の開発構想は提案されているものの、なかなか実際の開発は進んでいない。この理由として従来の海洋開発構想が深い水深におけるものにやや片寄り過ぎていたことがあげられる。即ち、陸域と海洋との接点である沿岸域より始めて、次第に大きな水深領域へと発展させてゆく、いわば確実かつ着実な計画があまりなかったことに注意すべきであろう。

さて、わが国の海岸の状況を概観すると、高度成長期において内湾は埋立てが進み、レクリエーション面での海浜利用を行おうにも利用対象となるべき海洋空間そのものが消滅したことは周知の事実である。このため海洋性レクリエーションの見地から見ると、一般的状況として遠隔とはなるものの、外洋に面した海岸へと出て行かざるを得ない状況となっている。ところが外洋に面した海岸は波浪が高く、また流れ、漂砂が活発であるために、そのままの形では海浜利用がなかなか難しい。この意味から海洋性レクリエーション等の目的のために海浜を有効利用するためには、波浪、流れ、漂砂を制御する構造物の開発の必要性が生ずる。

一方、沿岸域の開発や保全を目的として、近年外洋に面した海岸に多くの構造物が建設されたが、それらの構造物の影響により侵食が生じている箇所が多数あり、このような海浜の侵食を防ぐことも緊急の課題となっている。侵食の対策としては従来より、海岸線近くに異形ブロックを汀線と平行に設置する工法－離岸堤工法－が広く用いられてきた。この工法の有効性は確かに認められるものの、一方では景観が良好ではなく、利用空間が狭い欠点がある。このような条件のもとで侵食対策にも役立つような構造物の開発の必要性が生ずる。

ここでは上述の基本的必要性をもとに今後の海洋開発について考察する。まず海洋性レクリエーションの面より、首都圏沿岸域の海浜利用状況とアクセスについて考え、次にケーススタディとして湘南海岸を取り上げて海浜の自然条件と海浜利用について議論する。最後に今後必要となる海域制御構造物の基本的条件を明らかにするとともに、現地海岸にこれら海域制御構造物を設置した場合の静穏域について数値計算により検討した結果を報告する。

2. 首都圏沿岸域の海浜の利用状況とアクセス

海洋性レクリエーションの面より、首都圏沿岸域の海浜の利用状況とアクセスについて考える。表－1は、首都圏の海岸域に存在する観光資源、施設等の件数を各海岸各域毎にまとめたものである^{1),2)}。海岸としては、茨城県の常磐海岸より静岡県伊豆半島の海岸までとした。件数で多いのは海水浴場の159件、釣り場（漁協数）の154件および景勝地・文化財等の121件などである。またレジャーランド等も79件とかなりの件数がある。しかし潮干狩、地曳網、遊覧船、ヨットハーバー、キャンプ場等は数が限られている。

全体で159件ある海水浴場には2つのタイプがある。第1のタイプは九十九里に代表される大規模砂浜海岸であり、常磐海岸の南部、相模灘沿岸の中央部、鹿島灘海岸等に見られる。他は外房、内房の沿岸に数多く存在する海水浴場で、ポケットビーチであり、三浦半島、伊豆半島沿岸の海水浴場の殆どがこのタイプに含まれる。潮干狩は件数が4件と少なく、しかも東京湾内の富津岬～観音崎間に見られるのみである。地曳網は、底質が砂質であることが必須となるために、鹿島灘海岸、九十九里海岸、相模灘沿岸で多く行われている。逆にマリーナ、ヨットハーバーは漂砂が活発でない岩場海岸の方が立地上有利であることと、静穏域の確保と経済性の面から三浦半島沿岸や相模灘沿岸の天然の岩場海岸に数多く立地している。以上のほか常磐海岸（北部）や伊豆、三浦半島沿岸では景勝地、文化財等が多いこともわかる。また温泉地が多く見られるのは、外房と東伊豆である。

以上、首都圏の沿岸域全体の海浜の利用状況が明らかになったので、次に代表的砂浜海岸である鹿島灘海岸、九

表－1 観光資源、施設等の各海岸区域ごとの件数

海岸区域		観光資源 観光施設 レジャー等										
		海水浴場	潮干狩	地曳網・観光	遊覧船	マリーナ・ヨットハーバー	釣り場（漁協数）	景勝地・文化財等	レジャーランド等	キャンプ場	温泉	
常磐海岸	平 潟 ～ 那珂川河口	8	0	0	1	0	10	18	2	0	0	
鹿島灘海岸	那珂川河口～利根川河口	6	0	7	1	0	6	4	1	0	0	
九十九里海岸	利根川河口～太 東	33	0	6	0	0	13	4	3	3	3	
外 房	太 東 ～ 洲 崎	27	0	0	2	0	26	8	11	2	8	
内 房	洲 崎 ～ 富津岬	22	0	1	0	0	14	4	3	3	3	
東京湾沿岸	富津岬～観音崎	0	4	0	3	2	35	5	14	0	1	
三浦半島沿岸	観音崎～小 坪	17	0	3	0	5	15	10	9	0	0	
相模灘沿岸	小 坪 ～ 真鶴岬	16	0	5	1	4	24	5	6	1	0	
東 伊 豆	真鶴岬～石廊崎	16	0	1	2	0	4	36	17	0	10	
西 伊 豆	石廊崎～沼 津	14	0	2	2	1	7	27	13	8	5	
合 計		159	4	25	12	12	154	121	79	17	30	

十九里海岸、湘南海岸をモデル海岸として選定し、海岸の利用状況とアクセスについて詳しく調べる。

首都圏は宿泊旅行に関しては発地圏であり、海岸域への他の地方からの観光客は少なく、海岸域でのレクリエーションは首都圏在住者による日帰り旅行が主であると考えられる。また日帰り旅行の目的は夏期のプール、海水浴が多いことから、以下ではモデル海岸における海水浴客入込数の実態について調べる。

図-1 は各海岸の海水浴入込数の経年変化を示す。図には比較のためモデル海岸以外の首都圏の海岸の入込数も併せて図示した。湘南海岸は昭和55年を除くと年間700万人前後の海水浴客が訪れ、三浦半島と並んで首都圏で最も海水浴が盛んである。一方、鹿島灘海岸、九十九里海岸は年間100～300万人の海水浴客入込数となっており、これは常磐沿岸、内房沿岸と並んで首都圏で最も海水浴利用の少ない地域となっている。

図-2～図-4 は、各モデル海岸の昭和58年度の海水浴客入込数の沿岸の地区別割合を示したものである。鹿島灘海岸全体の入込数合計は303万人であるが、その割合は大洗町が圧倒的に多く、全体の73%を占めており、他はいずれも10%未満である³⁾。図-3に示す九十九里海岸では総入込数は228万人であり、そのうち北側の銚子から横芝にかけて入込数が少なく、南側の蓮沼から一宮にかけて多くなっている⁴⁾。その割合は、大網白里が全体の24%、一宮が16%、九十九里が14%の順になっている。図-4に示す湘南海岸では総入込数は705万人であって、湘南海岸では江ノ島付近の片瀬東浜と西浜が多く、それぞれ26、25%を占めているほか、茅ヶ崎、由比ヶ浜で17%となっている⁵⁾。

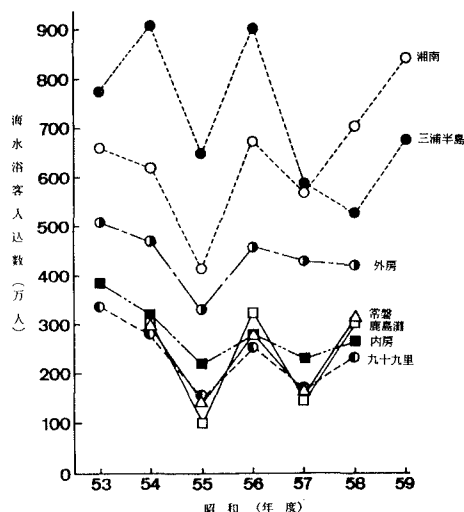


図-1 海水浴客入込数の経年変化

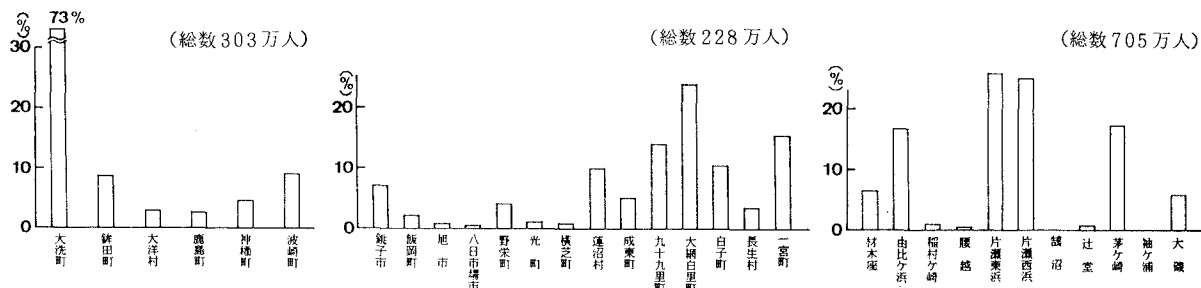


図-2 海水浴客入込数(鹿島灘海岸)

図-3 海水浴客入込数(九十九里海岸)

図-4 海水浴客入込数(湘南海岸)

次に九十九里海岸各地区について、海水浴客入込数と都心からの最短距離の関係をまとめると図-5 が得られる。入込数の多い大網白里、一宮、九十九里は80～90分と到達時間が相対的に短く、逆に入込数の少ない九十九里海岸の北部地区では100～110分と到達時間が長くなっており、両者が反比例の関係にあることがわかる。このことは、沿岸域の開発に際してはアクセスが重要であって、海洋性レクリエーション施設が有効に利用されるためには交通網との関係を良く考慮した計画が必要なることを示している。図-6 は都心から各モデル海岸の代表地点までの鉄道による到達時間と距離の関係を示したものである。ただし代表地点としては、鹿島灘海岸は鹿島神宮駅、九十

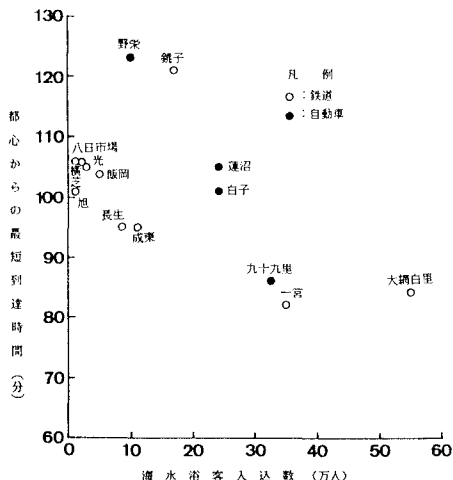


図-5 九十九里海岸各地区の海水浴客入込数と都心からの最短到達時間の関係

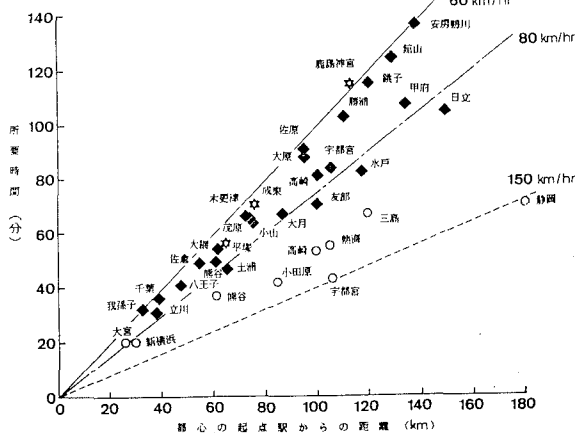


図-6 都心から各都市までの距離と鉄道による所要時間の関係

九里海岸が成東駅、湘南海岸が平塚駅を選んでいる。成東駅、平塚駅へは約1時間前後で到達できるのに対して、鹿島神宮駅は遠く約2時間かかることになり、距離の割に時間がかかることが明らかである。鹿島灘海岸はモデル海岸の中で都心からのアクセス時間が最も長く、誘致圏が狭いが、将来的には水戸や土浦方面からの交通網を整備することにより利用度を高めることも可能と考えられる。

3. 湘南海岸の自然条件と海浜利用

第2章では鹿島灘、九十九里、湘南海岸を例にとって海洋性レクリエーションの利用状況とアクセスについて調べたが、ここでは海浜形状や前浜勾配等の自然条件と海浜利用の関係を調べ、何故波、流れ、漂砂を制御する海域制御構造物が必要となるのかについて考察する。この場合多くの海岸について詳しい検討を行うことは困難なために、代表例として図-4で多数の入込数があることが明らかになった片瀬西浜、東浜のある湘南海岸を選んで考える。

まず、図-7は湘南海岸における前浜勾配の沿岸方向分布を示したものである。図には湘南海岸の概形と河川等の位置も示した。これによると、江ノ島から引地川では前浜勾配が緩いが、これより西側では全般的に前浜勾配が急であることがわかる。同様に図-8は代表測線の前浜断面形を示す。各測線の位置は図-7に示すが、測線はNo.1よりNo.8まで江ノ島から大磯漁港方向へと順に並んでいる。これによると海浜形状は江ノ島に近い測線No.1では前浜勾配が緩いだけでなく、沖合も相当緩やかなことがわかる。ところが西側領域の例えば測線No.5では前浜勾配が急で、水深2m付近まで急激に落ち込んでいることがわかる。

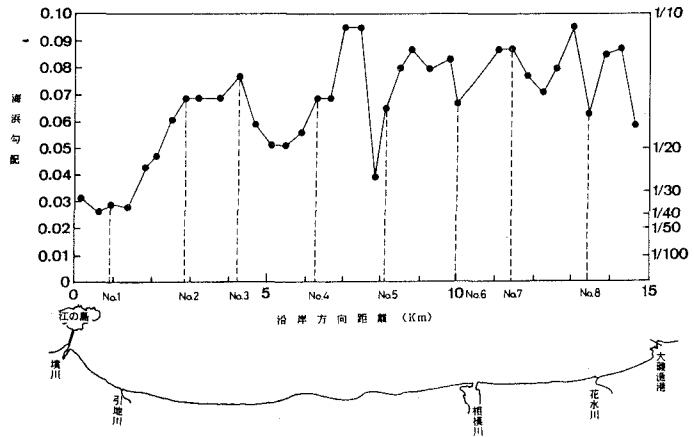


図-7 湘南海岸における前浜勾配の沿岸方向分布

このような海浜断面形の変化は、波浪条件とかなり良く対応していると考えられる。沿岸方向の波高分布は実測したわけではないが、前浜のバームの高さを比較すると、No.1での約1.2mに対し、No.8では約4.2mとずっと高くなっており、このことから平均的な碎波波高は江ノ島側で低く、西側で高いと推定される。

以上の点を総括すると、江ノ島側では前浜および沖浜勾配が緩く、かつ比較的波が静穏であるのに対し、西側の大部分の海岸は前浜勾配が急で、平均的に波浪が高い状況を呈していることとなる。このことは海浜利用面においては相当重要な影響を持っている。即ち前浜から浅海域に至るスペースが江ノ島側で広いのに対し、西側の海浜では狭いことを意味している。一方、例えば夏期における海水浴等の海浜利用を考えると、江ノ島周辺で高密度なものに対し、西側の区域では遊泳禁止区域が広い。このように海浜地形と海水浴等のための海浜利用とは相当良く対応していることがわかる。

結局、海浜の有効利用を図るには、波を静穏にすることが必要であり、更に海浜を緩勾配にすることが是非とも必要となる。このための一手段と考えられるのが海域制御構造物の開発である。また同時に上記の二つの機能を満たすことは、海浜利用の促進の上で有効であるに止まらず、海岸防災の上でも大いに役立つことは言うまでもないであろう。

4. 海域制御構造物の研究開発の方向性

第3章では湘南海岸を代表例として取り上げて自然条件と海浜利用について考察した。ここでは海域制御構造物の具体的なイメージについて考えてみる。

湘南海岸の江ノ島周辺で海浜利用が活発なことは既に述べたが、江ノ島周辺の海底地形を調べると図-9が得られる。江ノ島の先端部の水深は10m近くあり、また島の沿岸スケールは約1.2km、離岸距離約1kmの規模を持っていることがわかる。江ノ島の背後、トンボロ地形の海浜地(片瀬西浜、東浜)が図-4に示したように非常に高密度で利用され、かつ広い空間を有することを考えると、将来開発されるべき海域制御構造物の規模は江ノ島程度の規

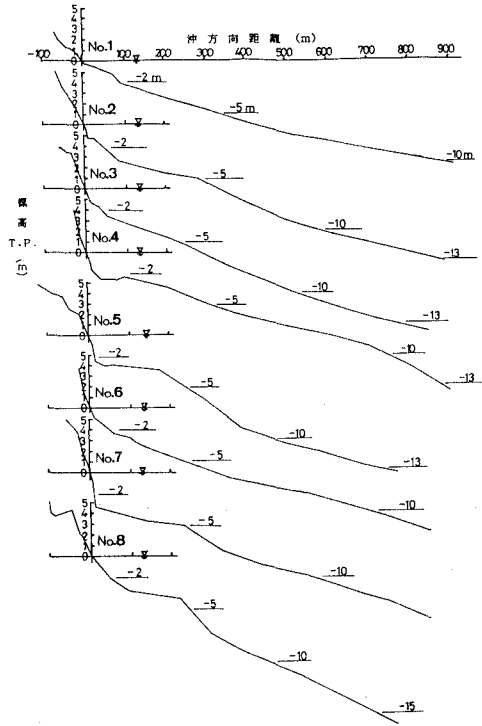


図-8 湘南海岸の海浜断面形の変化
(昭和59年3月測量)

模とすることが理解されよう。

海域を制御する構造物を開発する場合、従来からある構造物との比較検討も必要である。海岸保全を目的とする構造物としては、沖合に汀線と平行に異形ブロックを積み上げることによって波浪や漂砂を制御する構造物として離岸堤がある。ここでは従来形の離岸堤を単に沖に出すのでは海域制御構造物としてあまり望ましいものではないことを明らかにする。

昭和58年度末までに全国の海岸で造られた離岸堤のうち、建設省所管の1,545基について設置水深と離岸距離別に分類すると図-10、11が得られる⁶⁾。設置水深は3～4mが最も数が多く、6m以深になると非常に数が少なくなる。また離岸距離で最も頻度の高いのは30～40mであり、100mのものも高頻度である。離岸距離は110mを越えると数が少なくなっている。これらの特徴より、現在用いられている離岸堤は汀線近くにのみ用いられていることがわかる。これは、堆砂、消波効果のためには碎波帯付近に造ることが合理的であって、岸から離れた構造とする場合には同一の効果を得るために離岸堤長を長くしなければならないこと、また設置水深が大きくなれば必要とする異形ブロック数が急激に増加し、経費が莫大となることが理由と考えられる。更に水深が深くなると波のエネルギーは主に海表面近くに集中するので、水理学的見地からも水深全体にわたる構造物が不経済となることも考えられる。

これらのことから、構造物の開発における基本的要素としては、1) 水深が相当大きい海域でも建設可能であること、2) 通常用いられている離岸堤と同程度の消波効果を持つこと、3) 海水交換機能を有する透過性構造物であること、4) 周辺への影響の少ない低反射型構造物であること、などが必要とされる。図-12は、このような構造物として考えられる2、3の例を示したものであり、それぞれ、(a)スリット型、(b)立体トラス型、(c)段違い反射板型、(d)中詰型と呼んでいる。(a)、(c)および(d)は海表面近くに質量が集中した構造物であり、(b)は立体トラスの各部材に円板をとりつけたものである。これらの構造物の効果については、現在実験中なので、結果については別の機会に報告する予定である。

5. 構造物より岸側の波高平面分布特性

海浜の有効利用を図るには、波を静穏にすることおよび海浜を緩勾配にすることが必要であることは前述した。その場合、海域制御構造物を設置することにより得られる静穏域の特性を把握する必要がある。現地海岸に海域制御構造物を設置した場合の詳細な検討については、模型実験により行うことが妥当であると考えられるが、実験では限られたケースについてしか検討できない。このため構造物より岸側の波高平面分布については、簡単なモデルを用いた数値計算により、その特性を検討する。この波高計算モデルの適合性については、1次近似値として十分な精度を有することが確認されている⁷⁾。計算の前提条件および基本方針を以下に示す。

(1) 計算の前提条件

- ① 平行等深線海岸を対象とする。
- ② 離岸堤は透過堤を対象とする。
- ③ 離岸堤は汀線と平行に設置する。
- ④ 波は汀線に直角入射する。
- ⑤ 波高予測は離岸堤より岸側を対象とする。

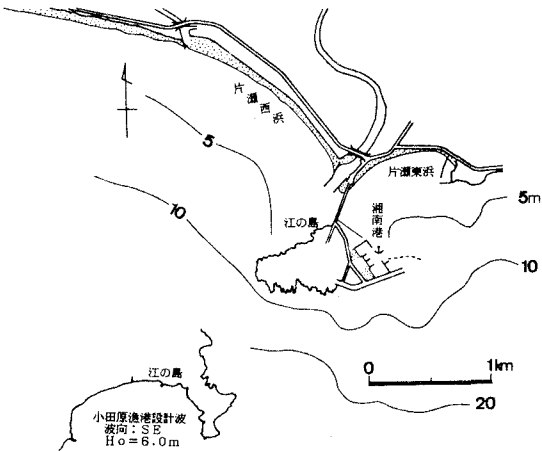


図-9 神奈川県藤沢市江ノ島

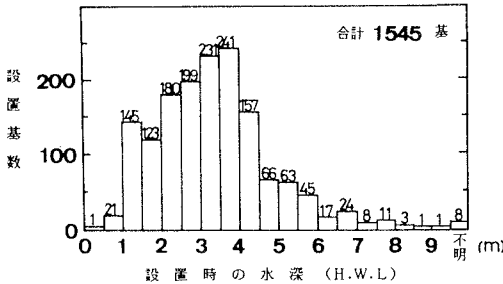


図-10 離岸堤設置時の水深別設置基数

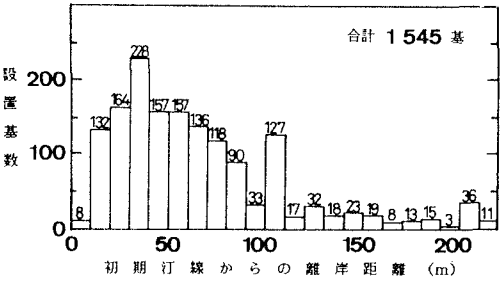


図-11 離岸堤の離岸距離別設置基数

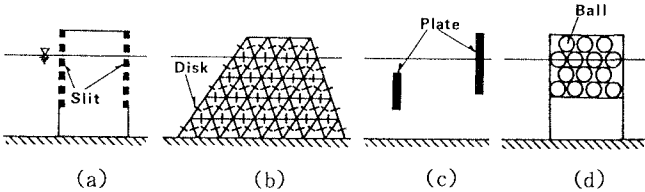


図-12 海域制御構造物参考図

(2) 計算の基本方針

- ①入射波・透過波・回折波の波高を求め、合成して離岸堤より岸側の波高を予測する。
- ②入射波・透過波の浅水変形は有限振幅性を考慮する。その他については微小振幅波理論から求める。
- ③砕波波高および砕波後の波高はMicheの最高波理論により算定する。
- ④離岸堤の透過率は実験値を用いる。
- ⑤離岸堤端からの回折波は波向線法により、その屈折を考慮する。
- ⑥二方向以上からの回折波の合成も含め、波の合成は位相を考慮して行う。

ここでは、全国各地の外洋に面した海岸より駿河海岸を対象として選び、数値計算を行った。駿河海岸は、前浜の勾配がきつく沿岸方向に勾配がほぼ一定を保っている。沖合の地形は、海底勾配が緩く一定勾配でかなりの沖まで続いている。計算に選んだ海底地形は、昭和57年2月の平均断面地形である。汀線より沖合90 mまでの前浜勾配は $i=1/15$ 、それより沖合は $i=1/100$ とした。波浪条件は暴風時のような異常時とせず、入射波高1.0 m、周期9.0 Sのうねり性の波浪を選んだ。これは、海浜の利用時を考慮したものである。構造物の透過率(透過波高/入射波高)については、既応の異形ブロックによる離岸堤と同等な効果を持つと考え、 $K_T=0.6$ とした⁸⁾。計算範囲は堤体中心から300 mとし、計算メッシュは5 mとした。

静穏域の概念は、利用する側の目的により変化する。本研究では、構造物による遮へい効果が顕著である領域と定義した。具体的には波高比で0.7以内の領域とした。

図-13は計算結果の一例を示したものである。静穏域の状態、特に構造物の影響を知るために、概略の大きさとして離岸距離が200 m、堤長が100、200および300 mのものを考えた。図は現象の対称性により堤体中心より右側半分としている。ただし、図中の破線は海底勾配が変化する境界を表す。(a)をみると、静穏域は $Y=75$ m付近より沖合に分布しており、その大部分が $i=1/100$ の緩斜面上である。また、堤体中心軸($X=0$)上では、 $Y=155\sim 180$ m付近において波高比が0.5を越えない領域がある。これは、回折波および透過波の位相差により波高が減少したものである。領域IIの $Y=25$ m付近には波高比が1.3以上の波高の高い領域が存在する。(b)をみると、静穏域は $Y=75$ m付近までは汀線にはほぼ直角に領域を延ばしており矩形に近い形状であるが、それ以浅になると $Y=25$ mを頂点とする三角形形状になる。これは、 $i=1/15$ の急斜面上での波の屈折効果によるものである。(c)をみると、(b)と同様に静穏域は $Y=75$ m付近まで矩形に近い形状であるが、それ以浅では $X=50$ m付近にピークを持つ舌状の領域を形成している。また、 $X=0$ m付近では $Y=25$ mを中心に波高比が0.9以上となる領域が存在する。この原因も回折波および透過波の位相差によるものである。

駿河海岸のように前浜勾配がきつく、その沖合が非常に緩やかな勾配を有する場所での静穏域は、緩斜面上と急斜面上でその分布形状を異にする。すなわち、緩斜面上の静穏域は汀線にはほぼ直角に延び矩形に近い分布をするが、急斜面上では三角形または舌状に分布する。以上、ここでは代表例に関する計算結果を示したが、それらによれば、波高予測モデルにより静穏域の検討が可能となったことがわかった。

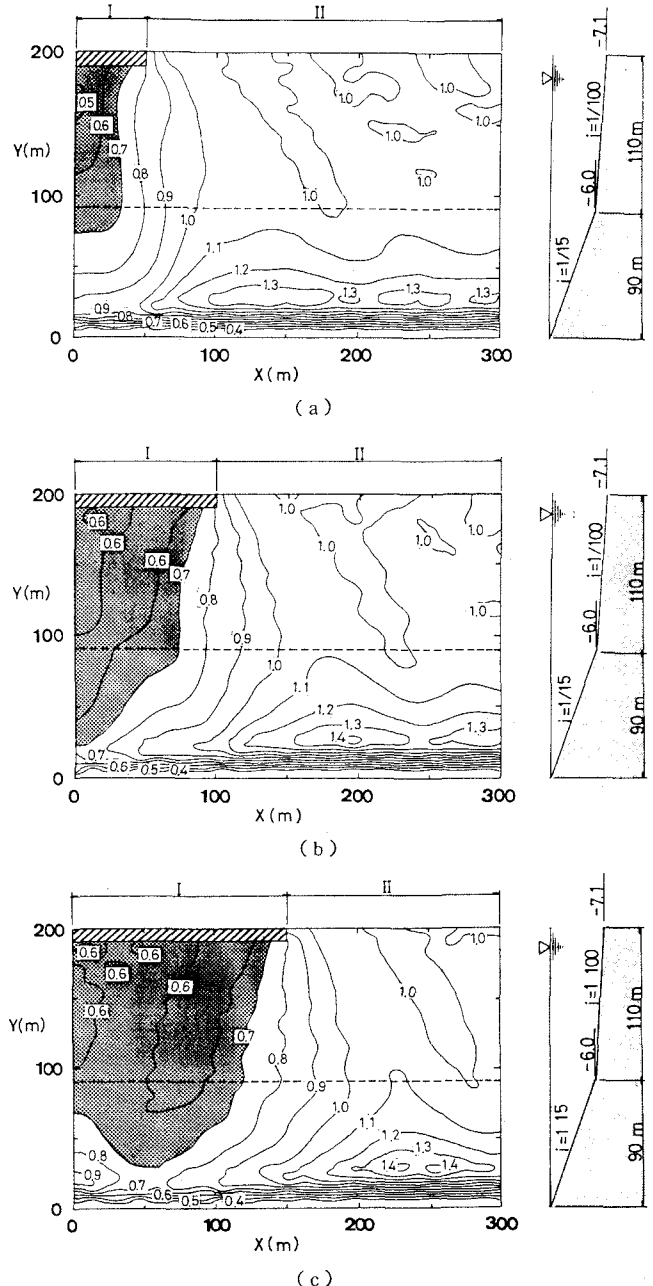


図-13 等波高比線図

6. 結 論

本研究により明らかになった点を以下に示す。

- ①海洋性レクリエーションの面よりみると、海浜の利用状況は、海浜の観光資源、施設だけでなくそこに到達するまでのアクセス時間と密接に関連している。
- ②湘南海岸を例にとると、高密度で利用されている江ノ島背後の海浜は自然条件から見て望ましい姿となっている。即ち、前浜および沖浜勾配が緩く、比較的波が静穏であり前浜から浅海域まで広いスペースが存在する。海域制御構造物の開発に際しては、これらの条件が満たされるよう配慮する必要がある。
- ③海域制御構造物として、従来の異形ブロックを用いた離岸堤を単に沖合に出す方法は工費、効果および景観の点から見て望ましいものではなく、新しいタイプの構造物の開発が必要である。
- ④構造物の機能やその周辺への影響を知るためには、構造物を設置した場合の波高の平面分布を知る必要がある。このため、簡単な波高予測モデルを用いて駿河海岸を例として数値計算を行った。その結果、波高予測モデルにより静穏域の検討ができることがわかった。

参 考 文 献

- 1) 日本観光協会：全国観光情報ファイル，第3分冊，関東Ⅰ，455 p.，1978.
- 2) 日本観光協会：全国観光情報ファイル，第4分冊，関東Ⅱ，493 p.，1978.
- 3) 茨城県商工労働部観光物産課：茨城の観光レクリエーション現況（昭和58年度観光者動態調査報告書），41 p.
- 4) 千葉県商工労働部観光物産課：観光統計概要，54 p.，昭和58年度.
- 5) 神奈川県衛生部環境衛生課：昭和57年度～59年度海水浴場対策結果.
- 6) 建設省河川局海岸課・建設省土木研究所：離岸堤の効果および安定性に関する研究，第38回建設省技術研究会，河川部門指定課題論文集，昭和59年11月.
- 7) 離岸堤模型実験報告書，土木研究所資料第2219号，pp.79～95，昭和60年3月.
- 8) 建設省河川局海岸課・建設省土木研究所：離岸堤の効果および安定性に関する研究，第39回建設省技術研究会，河川部門指定課題論文集，昭和60年11月.