

# 波浪と海岸に関する最近の話題

大阪大学工学部土木工学科 榎 木 亨

## 1. 海岸の変遷

昔の人が海を連想するときは、白砂青松の砂浜の前に広がる青々とした海の彼方に真赤な夕日が沈んでいく風景を思い出すであろう。しかし近頃の子供に海岸の絵を描かすならば、テトラポードと称する奇妙な形をしたコンクリート塊の積み重なるの向こうに赤茶けた海が広がっている海の情景をキャンパスに描くにちがいない。またこの海の情景は今後数十年たつと、湾の中に巨大な海上都市を出現し、また海中を縦横に走る海中タクシーが存在するといった、よくイラストで描かれているような風景に変化していくであろう。

このように海岸は自然の姿から極めて大きく変貌をとげ、またさらに現在の姿から大きく変化しようとしているわけであるが、海岸は自然の姿のままでも波や流れの作用によってつねに変化している。この変化は海岸の砂浜の土砂補給源である河川の改修工事の進展にともないさらに大きな変化を示しており、その変化は経年変化をみても一層はっきりわかる。

例えば勸進帳でよく知られている石川県小松市近くの安宅の関も、当時の場所はるか海中に没していて、いまの関跡は仮りにつくられた場所にすぎないといわれている。図-1<sup>1)</sup>はこの安宅海岸の汀線変化を示したもので、図中の大正15年当時の汀線も明治30年代からみると20~30m程度後退していたのではないかと推定されている。またわが国でも代表的な侵食の著しい海岸である新潟海岸は古くは信濃川、阿賀野川の流出土砂によって大きな砂丘をもつ海岸であったが、河川の上流部に砂防ダムや発電用のダムが建設されまた信濃川の改修工事が進むにつれて図-2<sup>2)</sup>に示すように最大66年間に360m

以上もの汀線の後退を示している。このように近年著るしく汀線が後退し侵食の激しい海岸は、わが国では以上の海岸の他に富山海岸、鳥取の皆生海岸、遠州渥美海岸、泉南海岸などの数多くの海岸があげられる。このため、わが国海岸線27,932kmのうち約26.3%の7,307km（昭和46年度海岸統計<sup>3)</sup>による）が海岸堤防、護岸、突堤などで既に防護されており、なお6,389kmが海岸保全対象の区域（指定の必要ある海岸）とされている。

しかしながら、海岸線に作用する波のエネルギーは極めて巨大であり、その大きな力を人力によって左右しようとする甚だ痛烈な自然の報復をうけることを覚悟しなければならない。例えば波の侵入を恐れるあまりいたずらに海岸堤防を新たに築造すると、堤防前面に数十メートルに互って広がる砂浜が、暴風浪によってたちまち消失し、新しく構築した堤防の基部を洗い築造後数ヶ月にしてその海岸堤防は破壊してしまった例が報告されている。しかも自然の報復はそれだけにとどまらず、その堤防が破壊した後は疲肉にもまた自然の砂浜が発達してもとの姿に完全にもどってしまったわけである。

このような自然の底知れぬ力のために、海岸防災の方式もまた防災工事の初期の侵水を防ぐ一見極めて強固なコンクリートの壁をめぐる方式から、波を徐々に消していこうとする離岸堤方式\*へと変っていくわけであるが、その原因となっているのはいうまでもなく海岸に來襲する波浪であろう。ここでその波浪とそして砂浜の変化に関する最近の話題を述べていくことにするが、その前にこの海岸を研究する学問的背景を少し紹介しておきたい。

## 2. 海岸工学とは

昔から土木工学の分野では水工学の専門分野

\*後述

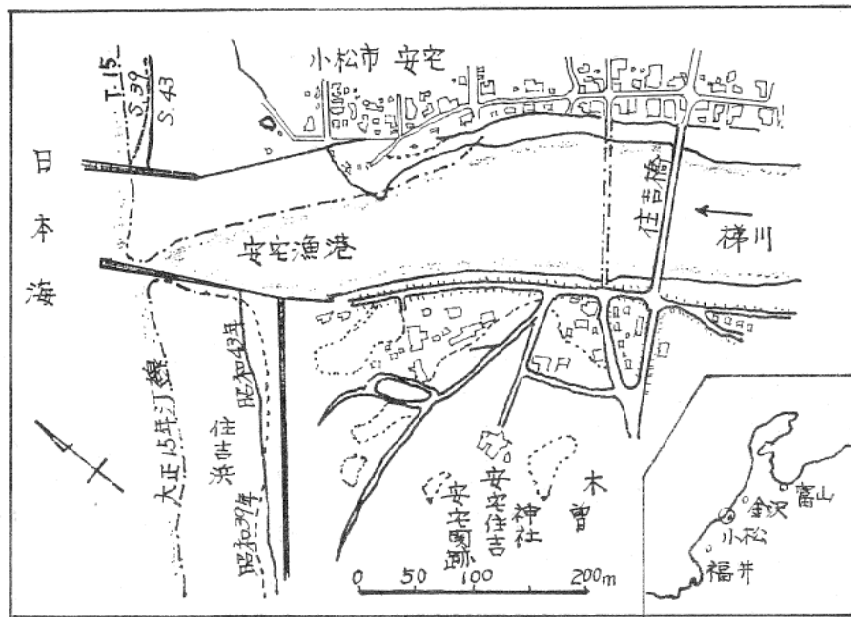


図-1 安宅海岸の汀線変化 (豊島より<sup>1)</sup>)

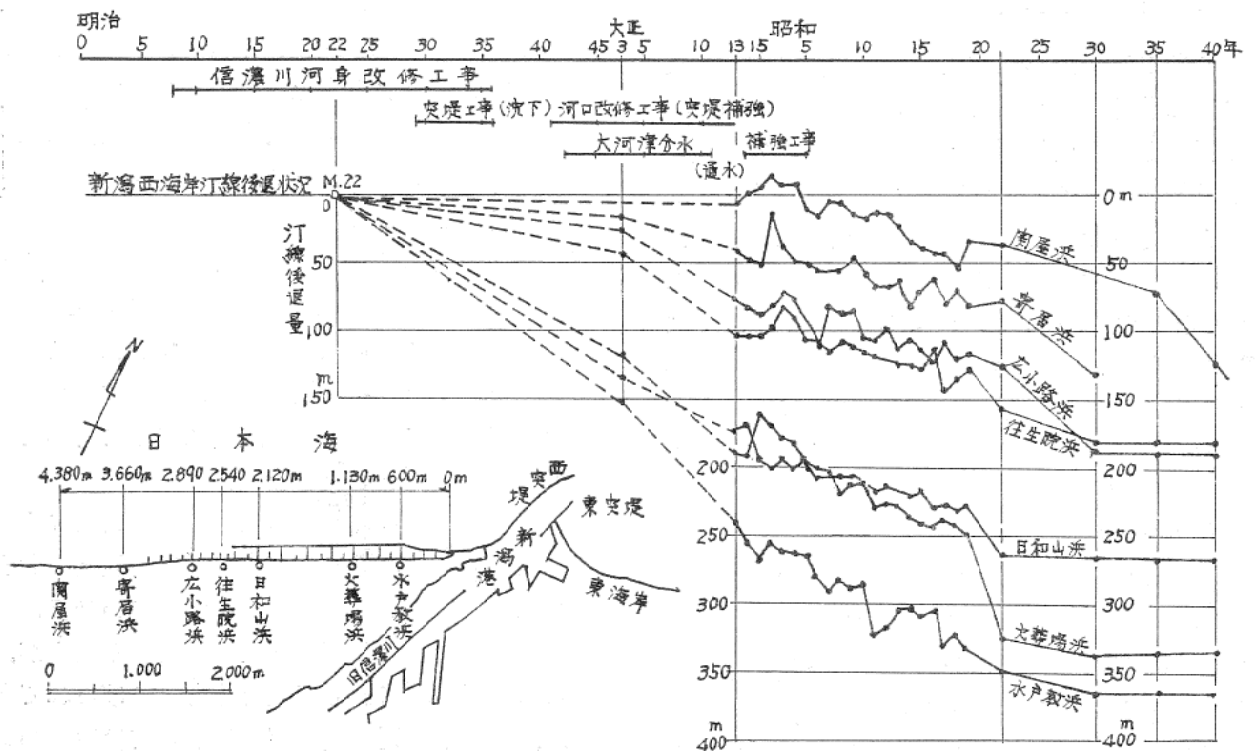


図-2 新潟海岸の汀線後退 (豊島より<sup>2)</sup>)

としては河川工学、港湾工学という名前が一般の方々には耳なれたものであり、また最近ジャーナリズムにとりあげられている海洋工学 (Ocean Engineering) という名前になじみのある方も海岸工学 (Coastal Engineering) という名前にはあまりなじみのない方が多いと思う。

海岸工学とはその名の通り、海岸線近くの水深にしてせいぜい数十メートルまでの海岸の自然の変化及び海岸工事を対象とした学問であってその学問的な組織づくりは新しく、従来同じ海を対象としてきた海洋学とは異なったさらに複雑な陸地近くの波の挙動、高潮津波の変化及び

漂砂の移動、波と構造物との関連性などを研究していこうとするものである。初めて海岸工学という言葉が使われたのは、1950年アメリカのカリフォルニアで開かれた第一回の海岸工学国際会議においてであり、それから数えてもまだ20数年しか経過していない。一方わが国においても、1954年に初めての海岸工学研究発表会をもち以後毎年土木学会主催の研究講演会が開催され、それ以後この分野の発展は目覚ましいものがある。このように海岸工学という言葉が新しく作られ、この方面の学問を体系化しようとした背景には第二次世界大戦中の波の予報技術が上陸作戦の必要性から急速に進歩した事実があったわけであるが、それがわが国においては戦後のあいつぐ台風災害の復旧計画に役立つとともに海岸工学発展の基礎ともなった。

### 3. 波浪について

これまでの海岸工学上の波の取扱いは、最初に波の予報理論をたてた Sverdrup と Munk<sup>4)</sup> が提唱した有義波 (Significant wave) で代表される規則正しく水位が変動する一定の波高及び周期をもった波を対象として考えられてきた。

この有義波というのは20分間の間に得られた波形記録にあらわれるすべての波を波高の順に選び出して、大きいものから数えて全数の1/3の波をとり、それらの波高の平均値をもってその波を代表せしめる波であるというもので、これは Sverdrup と Munk の予報理論において用いられた目視観測の結果と一致するものである。先に述べた第二次世界大戦で発展した波の予報はこの1/3有義波を予報するものであって、従来の各種の海岸構造物は、この予報値をもつ規則波を対象として設計されてきた。しかしながら実際の海の波はいろいろな波高、周期をもった波が重ね合わさったと考えられる不規則な波である。波とそれにともなっておこる現象とが線型的な関係にあるならば不規則波を有義波におきかえて求められる結果と同じであるはずであるが、実際の例えば波の打ち上げ、越波、波圧、その他の波にともなう諸現象は波と線

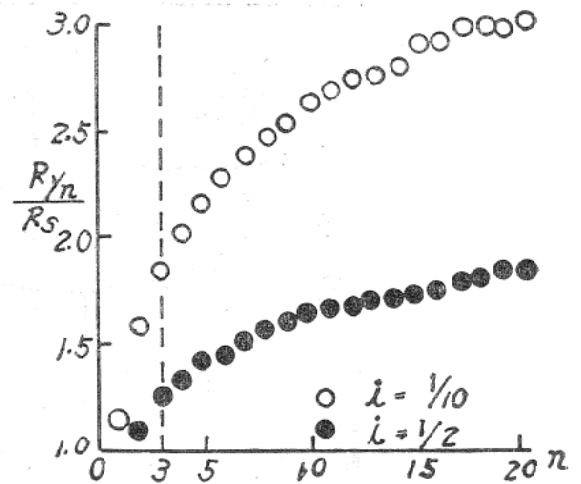


図-3 不規則波と規則波の遡上高さの相関性

型関係にあるかどうかははっきりしていない。図-3<sup>\*)</sup>は著者らが行なった海岸堤防に対する波の遡上高さ(静水面上)に関する不規則波と規則波の実験結果からえられた相関関係を示したもので  $R_{1/n}$  は有義波と同じような考え方で、高い方から  $n$  ケの遡上高さの平均値であり、 $R_s$  は1/3有義波高と同じ波高をもつ規則波によって生じた遡上高さである。なお  $i$  は海岸堤防の法面勾配を示している。

規則波と不規則波との間で同じ結果がえられるならば、図-3において  $n=3$  のところで  $R_{1/n}/R_s$  の値は1にならなければならないはずであるが1.2~1.8といった値を示し、規則波の結果を用いて設計することが危険側になることがこの結果からも明らかであろう。

以上の例からもわかるように波にともなう諸現象の解析が、不規則波を簡単に有義波でおきかえればすむというわけにはいかないので、波を不規則な波としてとらえようとする試みが、ここ数年の間に極めて大きくとりあげられてきた。この不規則な波の解析法としては波浪のスペクトルという概念が用いられ波の数値予報あるいは波の発達過程の計算が行なわれるようになってきている。

すなわち波形を  $\eta(x,y,t)$  であらわすと、波は波高周波数及び波向がことなる規則的な成分波の無数の重ね合わさったものとして

$$\eta(x,y,t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos[(k_n \cos \theta_n)x + (k_n \sin \theta_n)y - 2\pi f_n t + \epsilon_n]$$

\*榎木亨、田端竹千穂：土木学会第27回年次学術講演会で発表

であらわされる。ここに  $f_n$  :  $n$  番目の成分波の周波数  $= \frac{1}{T_n}$ ,  $\theta_n$  : 同じく伝播方向,  $\epsilon_n$  : 位相差であり  $(2\pi f_n)^2 = gk_n$  の関係がある。  $f_n = f \sim f + \delta f$ ,  $\theta_n = \theta \sim \theta + \delta\theta$  の範囲の成分波の群を考えると波のエネルギーは振巾の自乗に比例するので、この群のエネルギーは

$$\sum_f^{f+\delta f} \sum_\theta^{\theta+\delta\theta} a_n^2 = E(f, \theta) \delta f \delta\theta$$

とあらわすことができる。この  $E(f, \theta)$  は波のエネルギー分布を表わす関数で、エネルギースペクトル密度、あるいは単に波のスペクトルとも呼ばれる。

波のスペクトル理論で最も議論されるのが  $E(f, \theta)$  の関数形であり、現地観測記録などに基づいているいろいろな理論スペクトルが提案されている。例えば Pierson-Moskowitz<sup>6)</sup> のスペクトルは、

$$E(f) = \int_{-\pi}^{\pi} E(f, \theta) d\theta = \frac{8.10 \times 10^{-3} g^2}{(2\pi f)^5} \exp\left[-0.74 \left(\frac{2\pi f U}{g}\right)^4\right]$$

であり、 $[m^2 \cdot sec]$  の単位であらわされる。なお  $U$  は海面上 19.5m の高さの風速である。

この  $E(f, \theta)$  を全周波数全方向について積分すれば、

$$E_0 = \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^{\infty} E(f, \theta) df \cdot d\theta = \sum_{n=1}^{\infty} a_n^2$$

であって波のエネルギーの大きさをあらわす。この  $E_0$  を使うと先に述べた  $\frac{1}{3}$  有義波高 ( $H_{1/3}$ ) 及び平均波高 ( $\bar{H}$ ) が Longuet-Higgins<sup>7)</sup> の理論によると、

$$\bar{H} = 1.77\sqrt{E_0}, \quad H_{1/3} = 2.83\sqrt{E_0}$$

$$H_{1/10} \text{ (1/10有義波高)} = 3.60\sqrt{E_0}$$

という関係が求められている。

さて、このような不規則な波の特性をさらに明らかにするためには波浪の観測及びそのデータ処理法が欠くべからざるものであって、近年わが国においても建設省、運輸省、防災センターなどの手によって波浪観測塔あるいは波浪計が設置され各地の来襲波の記録の収集がすす

められている。

ここで用いられている波浪計には水圧式波浪計、電気抵抗線式波浪計、電気容量式波浪計、超音波式波浪計、ブイ式波浪計などがあげられるが、いずれも一長一短があり完全な波浪計とはいいがたく、手軽で、堅固で、維持の容易な波浪計の開発が望まれる次第である。なおこれらの得られた多量の資料解析は高速電子計算機の利用と、高速フーリエ変換 (F.F.T 法) などの計算法によって処理されているが、図-4<sup>8)</sup> に多量の同時記録とその解析するシステムの一例を示す。

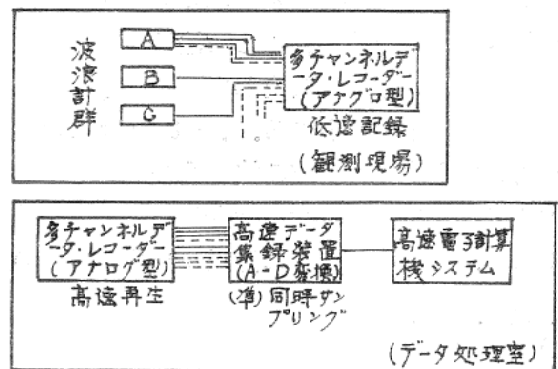


図-4 波浪データの処理システム (光易<sup>8)</sup> より)

一方波にともなう諸現象に対する不規則波の効果をも明らかにするために現地波浪と同じような不規則波発生装置 (波浪シミュレーション装置) が各地で開発されている。不規則波発生装置には、原理的には 1) 風洞水槽によるもの、2) 造波板を駆動するモーターの回転数と運動の振巾時々刻々に変化させる方法、3) 有限個の正弦波を合成する方法、4) ランダム波を発生する方法などがある。現地の波のスペクトルを再現する方法としては 4) の方法が最も望ましいわけであるが、この方法はランダム変動を電気的入力として造波板を駆動させるものである。当研究室で作成したものは 4) の方式で図-5 にそのブロックダイアグラムを示す。この方式を用いるとランダム波を発生する方法としてはつぎの 2つの方法がとりうる。

1) の方法: 入力としてホワイトノイズを用い、System function に相当する帯域濾波器を通して、出力の振巾の分布が次式で示されるような Rayleigh 分布せしめる方法である。

$$p\left(\frac{H}{\bar{H}}\right) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{H}{\bar{H}}\right) \cdot e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^2}$$

なお周期についても次式で示すような分布となるようにする。

$$p\left(\frac{T}{\bar{T}}\right) = 2.7 \left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^2 e^{-0.675 \left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^3}$$

ここには  $\bar{H}$ ,  $\bar{T}$  は平均波高及び平均周期である。

2) の方法：現地波をデータレコーダーで記録したものを周波数変調して入力とするか、あるいはある関数で表示されたスペクトルを持つ信号を入力とする。この方法は模型実験において模型波を不規則波として再現する場合に極めて好都合と考えられる。図-6\*<sup>9)</sup>はこの装置を用いて発生させた波の波高及び周期の頻度分布でほぼ上式で示した Rayleigh 分布と一致している。なお駆動方式に油圧式を用いたものに

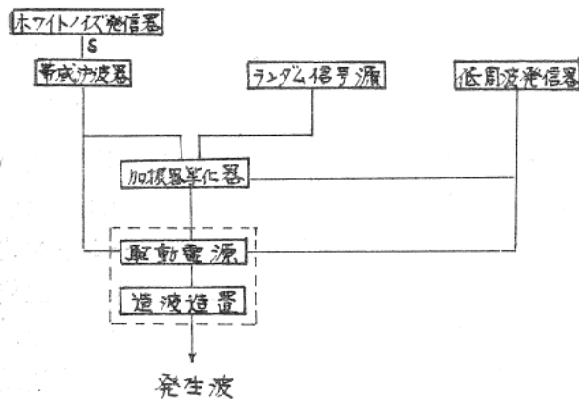


図-5 不規則波発生装置のブロックダイアグラム

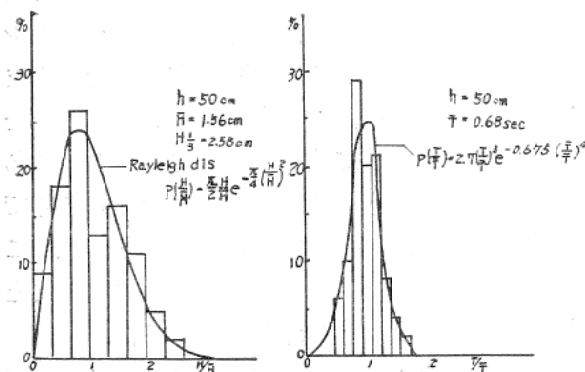


図-6 発生波の波高及び周期頻度分布

\*榎木亨, 岩田好一朗, 田端竹千穂：土木学会論文報告集第 189 号に発表

は京都大学及び建設省で試作されており、また先述の3)の方式は運輸省、農林省でも作られている。

このように波浪を不規則波として取り扱わねばならないことは現在海岸工学を専攻している研究者がすべて認めるところであるが、まだその研究成果を実際の設計にいかん適用するかについては充分検討されていないのが現状である。

#### 4. 海浜の造成

1.の海岸の変遷でも述べたように、海岸線を防禦する水際作戦ともいべき海岸堤防はその建設とともに急速にその前面の砂浜を消失する結果をもたらす。堤防前面の水深が急激に大きくなるため大きな越波と波力をうけて2次災害をひきおこしている場合が多い。また平常時には海と陸とを絶縁し、魚船の船揚げ場をなくするとともに海水浴場その他のリクリエーションの広場をも奪ってしまう結果となっている。砂浜はこのような海浜利用の面のみを有するのではなく、天然の消波機能を有することは昔の小さい港湾には必ず波消し浜なる箇所を設けられていたことから明らかであり、さらに水産学者によると潮の干満によって砂浜が呼吸し、砂浜中の水の酸素量が大きく変化して有機物が酸化され無機の肥料にかわるので養殖ノリなどの栄養増大に大いに役立つともいわれている<sup>10)</sup>。

したがってこのように貴重な砂浜の復活は以前より有識者によって強く叫ばれてきたが、近年の自然の回復のムードによって具体的に計画が樹てられ施工されてきているのは喜ばしい限りである。

この砂浜の造成には2つの方法があげられる。すなわち、1)自然の力による砂浜の回復と、2)人工的に砂浜を造成する方法(養浜工法)である。

##### 1) 自然の力による砂浜の回復

ここでいう自然の力による砂浜の回復というのは人為的に砂浜を造成しないということであって、海岸線に何も手を加えないで自然に砂浜が回復するということは望むべくもない。これは主として海岸侵食対策事業として行なわれる

もので、先に海岸侵食対策として行なった海岸堤防事業の手なおしの事業の感がまぬがれない。この方法としては古くから突堤（防砂堤）工事、根固め工事が行なわれてきた。

沿岸方向の漂砂が卓越している海岸はこの突堤工法でも砂浜の回復は期待できるわけであるが、漂砂の上手側に砂が堆積すると漂砂の下手側はそれだけ侵食するということが生じ、海岸線全体に互っての砂浜回復はよほどうまく突堤群の配置を計画しないとむづかしい。そこで沖の砂を岸にもち込み、もち込まれた砂は再度沖の方にもち去られないような離岸堤方式がこの

数年大きくクローズアップされることとなった。

離岸堤とは汀線より少しはなれた沖側に汀線とほぼ平行に設置される堤防であって、港の防波堤とよく似た機能をもっている。しかし防波堤は波を減殺し、船が停泊する泊地を確保する目的（したがって設置水深が深い）に対し離岸堤は波の減殺を目的の一つとするけれどもその背後水面をそれほど大きくとる必要はない。

（したがって設置水深も0.5m~5m程度までの箇所が多い。）

この離岸堤工法もまだ試行的な段階であり、

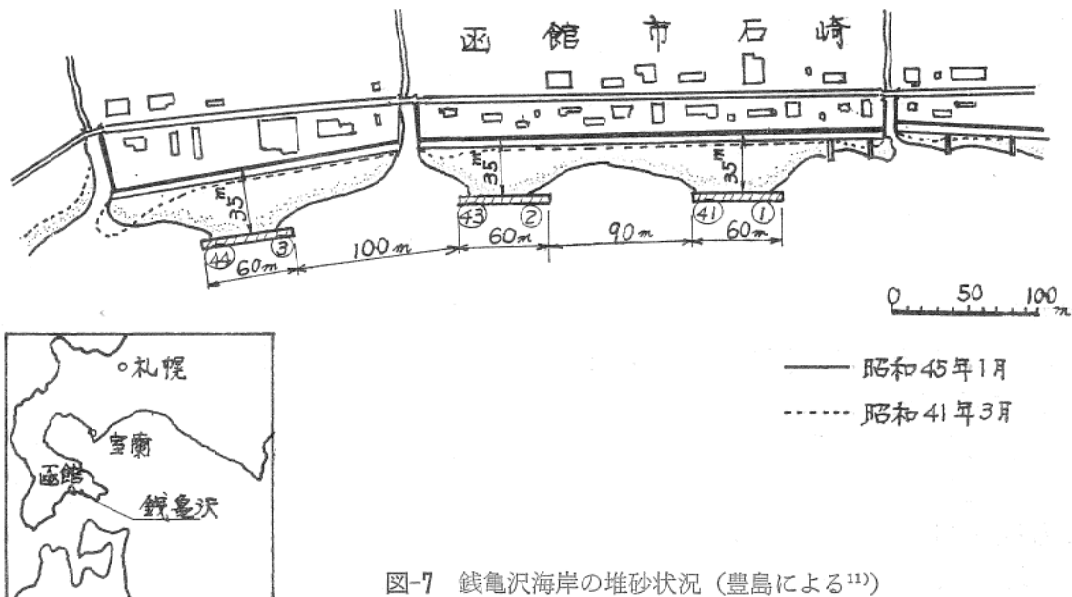


図-7 銭亀沢海岸の堆砂状況（豊島による<sup>11)</sup>）

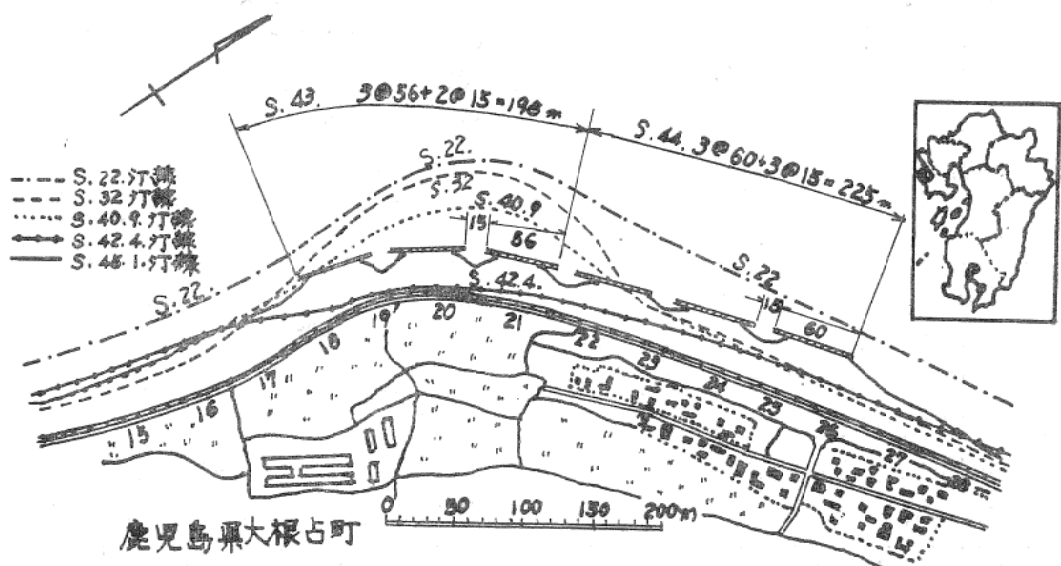


図-8 大根占海岸の堆砂例（豊島による<sup>12)</sup>）

この方法によってうまく前浜が回復した例もあり、また十分回復しないで単に消波効果しか期待できない例もあるが、ここに建設省で成功した二、三の例を述べて離岸堤による砂浜の回復する場合の条件を記しておこう。

a) 岩礁海岸の例

従来一般に岩礁があらわれている海岸は人為的に砂を投入しなければ砂浜は回復しないと考えられてきた。しかしながら沖側数mの水深に砂が存在するような海岸ではたとえ岸近くが岩礁であってもその岩礁上に離岸堤を設置することによって沖に存在した砂が離岸堤の岸側に運び込まれ砂浜が回復した例が北海道の銭亀沢海岸や、山形県の温海海岸で報告されている。図-7は銭亀沢海岸の例<sup>11)</sup>であって設置水深は水深0.5m程度の極めて浅い箇所であった。試験的に一基離岸堤を設置して約1ヶ月で図に示すような舌状の海岸線(トンボロ地形という)を形成して砂が堆積した。

c) 砂浜海岸の例

離岸堤の堆砂機構から考えて砂浜海岸で離岸堤と汀線の間、適当な死水域があればもっとも堆砂しやすいと考えられるが、現在の実験ではその相似律の困難さから堆砂に対し好ましい離岸堤の設置位置及び離岸堤間隔は明らかでない。またもし好ましい位置が明らかになったとしても、現地の都合で設置できない場合(例えばノリの養殖地など)や施工の難易によって変更される場合がある。一般に陸上から施工できる場合は極めて汀線近くの箇所となり、陸上から施工できない場合は作業船の吃水により水深2m以上の水深の箇所にならざるをえない。既に施工された離岸堤の平均設置距離は汀線から50m程度である。図-8は浅い地点に施工されて砂浜が回復した鹿児島県大根占海岸の例<sup>12)</sup>で海岸堤防より30~40mの位置に離岸堤が作られている。しかし、このように背後に海岸堤防があるとき、自然の海浜の前面に離岸堤を設置したとき、離岸堤背後の堆砂状況を比較すると自然の海浜の場合の方が極めて好ましい結果を与えるようである。

一方近年とくに離岸堤を比較的沖合に出し背後の広い水域を海水浴場としても利用しようと

いう計画で離岸堤を施工されることが多くなってきている。この場合堆砂の成功例は浅い海岸にくらべて著しくわるいが、しかしながら京都府の神崎海岸や大阪府の二色浜海岸でもみられるように離岸堤設置にともなって、それまで後退しつづけてきた海岸線の後退はくいとめられたようであり、かつこの場合は離岸堤の静水面上の高さも背後地の堆砂状況にきわめて敏感に作用するようである。

以上の諸例からして豊島は離岸堤方式による砂浜の回復する条件としてつぎの諸項目に注意すべきであると述べている。すなわち、

i) 岩礁海岸であっても沖合に砂が存在すること。

ii) 汀線付近の波の反射を小さくすること。したがって自然海岸の前面に設置するのが好ましく、もし背後に海岸堤防などがあって深い水深を有しているような場合は、堤防前面に根固工、消波工を設置し、入射波のエネルギーを吸収すること。

iii) 離岸堤は岸に近い方が他の悪条件でも堆砂しやすいこと。などである。

2) 養浜による砂浜の回復

離岸堤のみでは砂浜の回復に自信がない場合、あるいは是非ともその海岸に砂浜をつけて、海水浴場あるいは漁船の舟揚げ場に利用したい場合に、他の地点から人為的に砂をもってきて砂浜を造成するという方法がとられる。この方法はアメリカにおいては比較的古くから(1940年代から)採用され、またフランスのカンヌ及びモナコのモンテカルロなどリゾート地帯においても1960年代にこの方法によって海水浴場の造成が行なわれている。

わが国においては、その工法の必要性は認めながらも、人工的に投入した砂の消失をおそれ、現在ではわずかに大阪府の二色浜海岸で施工された例であるにすぎない。しかしながら海水浴場の復元を目指してこの養浜を計画し、そのための調査を行なっている箇所は最近とみに多く、著者の知る範囲でも神戸市の須磨海岸の試験的養浜、大阪府の淡輪海岸、兵庫県南淡海岸、和歌山県の片男波海岸、徳島県の浅川海

岸などがある。

この養浜による砂浜の回復も連続的な砂の供給を考えない限りは、先に述べた突堤あるいは離岸堤といった構造物を併用しないかぎりその砂浜は維持できないようであって、アメリカでは突堤を併用している例が多く、モンテカルロの海岸では離岸堤と突堤を、二色浜の海岸では離岸堤を設置して投入砂を維持している。

したがって、養浜工を行なって砂浜を造成す

る場合の技術的な問題点としては a) 漂砂の移動方向, c) 養浜材料の選定, c) 養浜断面の決定, d) 離岸堤及び突堤の配置計画などがあげられる。いずれの問題点も現在公式化した解は与えられていないが、二色浜及びモンテカルロでの結果を示して一つの答を示しておきたい。

図-9は二色浜での養浜箇所及び養浜後の地形変化<sup>13)</sup>を示したものであって離岸堤を設置し

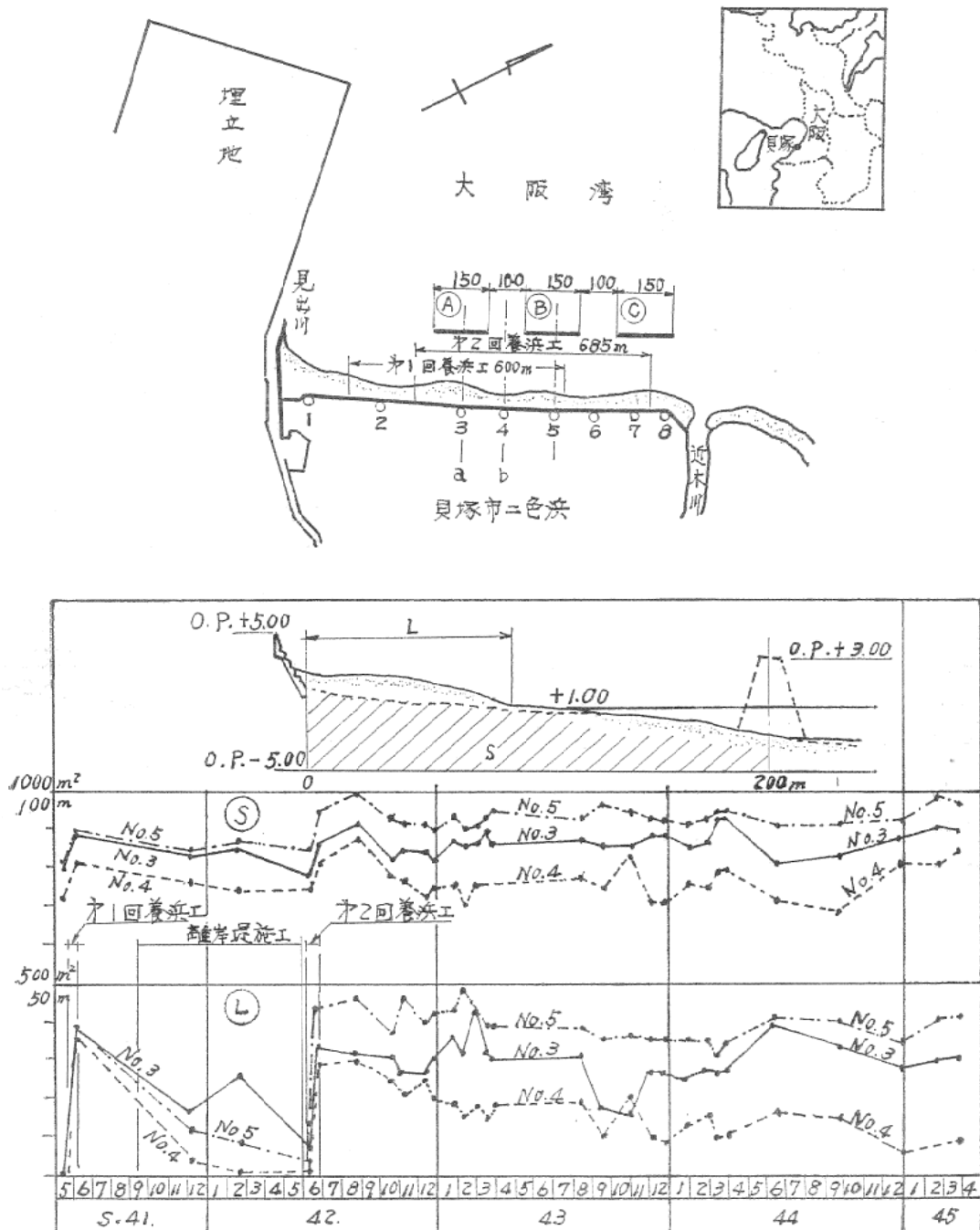


図-9 二色浜における海岸変化 (豊島による<sup>13)</sup>)



ない前の第1回養浜土砂は一年の間に大半が消失してしまった。そこで離岸堤施工後第2回養浜を行なったわけであるが、離岸堤の設置水深が3.5~4.0m（汀線より200mの距離）の地点に設置したため離岸堤背後にはそれほど大きなトンボロは発生しないけれどもほぼ養浜土砂は維持されているようである。この場合の養浜土砂は近くの浚渫土砂を用いた現地の土砂粒経（ $d_{50}=0.55\text{mm}$ ）よりわずかに大きい0.9~1.0mmであった。またモンテカルロの海岸は養浜土砂の採取地点にくるしみ、ドロマイドという岩石を3~8mmに砕石して用いたわけであるが、自然の摩耗によって破片の鋭い角をなめらかにすることを期待して投入して成功している<sup>14)</sup>このように養浜材料があまり細かいと沖の方に移動し易く汀線付近の海浜形成には有効でなく、またこの汀線付近の前浜勾配と底質粒経の関係は付近の海浜勾配を測定しておいて、その断面勾配を決定することが望ましい。また盛砂の高さは波浪のエネルギー減殺という防災的な観点から決められることが多く、従来の例から、平均満潮位上1.0~1.5m程度とされている。なお離岸堤の設計は1)の離岸堤の項を参照していただきたい。

## 5. 結 語

以上波浪と海岸に関する最近の話題について著者の考えつくままに述べてきたが、海に関する最近の最大の話題は海洋開発あるいは海洋工学であろう。またこれに関連した具体的な土木工事計画としては新関西空港などの海上空港あるいは海上都市計画があげられる。しかしこれらについては、数多くの雑誌あるいはレポート

が出されているのであえてふれなかったが、波及びそれにとまなう海浜変形と極めて密接な関係がありなおそれらの具体的設計に当っては解決しなければならないことが数多く残されていることを記して筆をとどめる次第である。

## 引 用 文 献

- 1) 豊島修：現場のための海岸工学，侵食編，森地出版，昭47，P.38.
- 2) 1)と同じ：P.13.
- 3) 建設省河川局：海岸統計(昭和45年度)昭46，P.11.
- 4) Sverdrup, H.U. and W.H.Munk: Wind, Sea and Swell, Theory of Relations for Forecasting, U. S. Navy Hydrographic Office H. O. Pull 601, 1947. pp1~44.
- 5) 榎木亨，田端竹千穂：不規則波の遡上について，土木学会年次学術講演会講演集第2部，昭47.10. pp.53~54.
- 6) Pierson, W.J. and L.Maskowitz: A Proposed Spectral Form for Fully Developed Wind Seas based on the Similarity Theory of S.A. Kitaigorodskii, J.Geophys. Res. vol. 69. No. 24. 1964. pp.5181~5190.
- 7) Longuet-Higgins M.S.: On the Statistical Distributions of the Maxima of a Random Function, Proc. Roy. Soc. A. 237. 1956 pp. 212~232.
- 8) 光易恒：波浪の観測，海洋科学，vol. 4. No. 11. 昭47. 11. pp.32~38.
- 9) 榎木亨，岩田好一郎，田端竹千穂：造波機の性能について，土木学会論文報告集第189号，昭46. 5. pp.53~61.
- 10) 岩垣雄一：海岸災害研究における最近の話題，みなとの防災，第32号，昭46. 6. pp.2~7
- 11) 1)と同じ：P.254.
- 12) 1)と同じ：P.258.
- 13) 1)と同じ：P.281.
- 14) 鶴田千里：波と流れ，第15号日本テトラポッドK. K.昭47. 1. pp.22~30.