

海岸の防災研究における諸問題

京都大学教授 防災研究所 工学博士 岩 垣 雄 一

1. 緒 言

第二次世界大戦を契機として、新しく生まれ体系化された海岸工学も、その後発展を重ねて十数年の歴史をもつに至ったが、海岸災害は依然として後を断たず、とくに一昨年9月名古屋周辺地区を襲った伊勢湾台風は5000人以上の人命をうばい3000億円に達するといわれるべく大な損害を与え、また昨年5月にはチリ地震津波によって太平洋沿岸各地が大きい被害をこうむったことは、まだわれわれの忘れることのできない悲惨事である。わが国海岸の総延長25600kmの約2/3にあたる16500kmが海岸保全区域に指定され、昭和36年度を初年度とする長期10ヵ年港湾海岸防災事業計画では、1796億円の工事費が見積られている¹⁾。こうした事業は海岸工学研究の裏付けによって、はじめて十分な効果を発揮するものであるが、一方海岸の防災研究のあり方としては、果たしてこれまでのような進め方でのいのかという疑問が生まれてくる。最近では、わが国経済の飛躍的發展にともなって、産業の中核をなす重工業地帯が海岸へ移り、いわゆる臨海工業地帯の造成によって、海岸がどしどし埋め立てられている。このように工場敷地を海岸、とくに湾の奥の海岸に求めると、高潮や波浪、津波による海岸災害の危険を考えなければならないし、また汚染の問題もおこってくる。すなわち、海岸の開発は海岸災害がおこる機会を増大させることになり、災害を誘発させる恐れがあるわけで、その防止対策をたてるに当っては、とくに慎重であらねばならない。開発と災害は裏腹の関係であることをつねに念頭に置いていなければならない。ここでは、著者が当研究所の人々とともに考えてきた防災研究のあり方や、今後の問題点について述べ、著者らの海岸災害防止研究に関連した諸問題をあげて、この方面の参考に供したいと思う。

2. 防災研究の本質

ある構造物があって、それに作用する外力が設計に用いた外力(安全率をもふくめた外力)を越えれば、破壊するのは当然である。この場合、設計において考慮した外力より小さい外力でその構造物が壊れれば、それは設計が悪いということになり、これは直接には防災という問題とは関係がない。工学上の設計方法の確立の問題である。したがって、防災という意味のニュアンスは、外力に耐えられるように正しく設計し、それにのっとって、正確に作るということとは若干違って、こうし

た行為は当然のことであるという前提条件の上で、さらに災害を防ぐことは何かという意味を考えてみなければ、ことが非常に複雑になる。

一般に構造物の設計には、その構造物が十分に目的とする機能を果たすかどうかということ、その構造物が外力に対して安全であるかどうかの二つの問題がふくまれるのは当然である。この場合、その構造物は外力には耐えうるが、機能は十分果たさないときもありうるが、外力に耐えうるということがその機能を果たす必要条件であることは当然のことである。例えば、海岸堤防を例にとりて考えてみれば、この構造物は高潮の内陸への浸入や、越波を防いで、その土地を海水による浸水から護るという機能を果たさなければならない。それと同時に、この堤防が考慮した外力のもとでは安全な構造である必要があり、破壊するようなことがあってはいけな。この両者を勘案して、いずれもが満足されるように、堤防の高さ、形状、位置、構造などが決定されることになる。ここで防災という概念が導入されるのは、自然力に対抗して、社会活動の場を確保しその安全をはかろうとするとところに生まれてくるわけであるから、問題は構造物の機能や構造を考えると自然力をどのように取り扱うかにある。したがって、防災研究の本質の第1はこの点にあると思うのである。自然力はいつ、どのような大きさのものがこの構造物に作用するか予測できない。しかし人間の智慧は、自然力を制御することを考え、その実行に移っている。高潮や波あるいは津波を防波堤によってできるだけ阻止しようとする行為や、波のエネルギーを消波工や養浜によって減殺しようとする方法、あるいは洪水調節などはこの例であって、これによって防潮堤や海岸堤防あるいは河川堤防などの水理構造物の破壊を防止し、その防災機能を維持させようとするにほかならない。そのためにはこうした自然力の予知が必要であり、予知は結局防災計画における外力の適確な把握に連がるものである。したがって、自然力の予知方法の確立が防災研究の第一歩であるべきであろう。これは高潮や波浪の発生からそれらが構造物に作用をおよぼすに至るまでの、発達、屈折、回折、変形、反射、共振などのすべての過程をふくむ諸現象の解明にはかならない。第2は前述したように、こうした自然力の有効な制御方法を見出すことである。現在のところでは、台風の経路を自由に変えることは夢物語に近いが、風によって発生した波や高潮はかなりまで制御できるわけであるから、こうした問題はだいに研究されるべきである。第3は構造物

の防災機能の問題である。構造物が破壊されればその構造物は防災機能を全面的に失なうことは前述の通りであるが、破壊されなくても計画以上の外力が作用したときは機能がいちじるしく減少する。しかしこれは完全に失なうよりもよりよいことは当然である。このことは例えば海岸堤防の越波の問題を考えれば理解できる。伊勢湾台風において、海岸堤防が完全に破壊して、さんたんたる被害をこうむった。もし破堤していなければ、被害は非常に小さかったに違いない。同様なことが河川堤防についてもいえる。こうした意味から、われわれが自然を対象としている以上、計画以上の外力が加わることをも考慮しておかなければならない。これがいわゆる防災の本質的な問題であろうと思う。こうした概念から水防計画も避難のための予報の問題も生まれてくるわけで、われわれ技術者としては、当然計画の外力をこえる自然力の生起を考え、その場合でもなおかつ破壊を防ぎ、できるだけ構造物に防災機能を保持させるよう考慮すべきである。外力が計画を越えと同時に完全に破壊するような構造物は、防災の概念からすれば、最もよくないといえる。したがって、このような点を十分考慮した構造物の防災機能についての研究が必要である。防災研究という考え方からすれば、例えば海岸堤防の問題がこうした立場からも研究されるべきであって、越波の問題はその一つのあらわれであるともいえる。第4は計画外力の決定における考え方の問題である。これは以上にのべた事項よりむずかしいが、しかし非常に重要なことである。これは河川における計画高水流量の決定と同じ問題であるといえる。河川と海岸とは、それぞれよく似た社会生活の基盤をなしているけれども、地形の関係上、構造物に作用する外力の生起の仕方がまるで異なっている。すなわち、河川ではむしろ一次元的な流れに沿って考えればよいが、海岸は二次元的な広がりをもって、外力の生起の仕方はより複雑である。いずれにしても、外力の生起の頻度と経済効果その他を考慮した計画の仕方が必要であろうが、米国で採用しているように、計画のためのモデル台風とその進路とを与えて外力を推算し、それを計画外力とするのも一つの有用な決定法であろう。しかしこのような議論をするのがこの論文の目的ではなく、ただこうした方面の研究をもっと進めるべきであることを強調したいために問題を取り上げたにすぎない。

3. 臨海工業地帯の造成と防災

産業配置計画では今後 10 年間に必要とする工業用地は約 5 億 m^2 で、この約 1/2 は臨海地の埋立によらなければならないといわれている。臨海工業地帯の造成事業は、一種の自然の改造であって、そのために海岸地形や、その環境が変わり、自然現象も多かれ少なかれ、なんらかの変化をうける。またこれは海岸の開発であるから、

利用の面から最も効率よくすべてが決められなければならない。しかしながら、多くの臨海工業地帯は、高潮や津波が最も起こりやすい太平洋に面した湾奥に作られているから、とくに防災対策を無視してはこの事業は危険きわまりないということになる。したがって、こうした海岸の開発は、防災研究に新しい課題を提供するものであるともいえる。またこのような事業によって、人災的性質の問題がおこる可能性があるわけで、埋立地そのものに対する災害防止のほか、他におよぼす各種の影響をも解明して、万全を期する必要がある。しかしこうした自然の改造にとまらぬ外力の予知や環境の変化の予測は、非常に困難であって、後述する模型実験にたよるとか、電気計算機を用いて複雑な数値積分を行なうなどにより解決するほかはないが、このような方法にも多くの問題があり、基礎的な研究や観測資料の集積がともなわなければ十分な成果はあげられない。

4. 模型実験

前述したように防災研究において模型実験が果たす役割は非常に大きい。模型実験というのは、一種の Analog 型の計算機であると考えてよい。最近では Digital 型の電気計算機も考案されて、従来手をつけなかった多くの困難な計算が可能となったが、同時に Analog 型の電気計算機も考案されて解析的に解くことの不可能な問題も解決されるといった時代になってきた。これに対して水理模型実験は時には砂の比重とか流体の密度や粘性を変えることもあるが、その主眼とするところは模型と実物の力学的相似関係を保持しながら幾何学的な大きさのみを変えることによって簡単に答えを見出そうとする計算機であるから、昔からこの方法はいろいろな問題の解決に利用されてきた。例えば英国のマーシー河の感潮区域における海岸土砂の水理模型実験を Osborne Reynolds は 1887 年に行なっている²⁾。しかし、こうした模型実験で最も重要なことは、模型と実物との力学的な相似関係を見出すことであって、これがあいまいであればあるほど Analog 型計算機としての機能をもたない不完全な実験であるということになる。したがって、誤まった相似律によって実験計画をたてたり、その結果を実際に適用すると、無駄な過大な構造物を作ることになったり、逆にかえって危険な状態を安全であると判定するような場合がおこりうる。このような理由から、相似律については十分な検討を必要とするわけで、もし観測結果があれば、その状態を模型で再現して実験結果と比較し、相似律の信頼性を確かめなければならない。水理模型実験に関する著書は二、三あるが^{3), 4)}、邦書のはまだ見当たらない。ここではとくに海岸港湾の模型実験についての著者の解説⁵⁾をもとにして、相似律についての二、三の問題点をあげてみたい。

(1) 水理模型実験の相似律

a) 短周期波の変形を主体とする場合 この場合には、一般に水平縮尺と垂直縮尺とは等しくする必要がある。すなわち模型はひずめてはいけない。しかし、ここで考慮すべき問題は、摩擦の影響と、浸透効果および表面張力の影響、ならびに反射と砕波の相似である。摩擦の影響には、内部摩擦によるものと水底の摩擦によるものがあるが、前者については表-1に示すように、とく

表-1 内部摩擦によって波高が10%減少するに要する距離

	周 期 $T(\text{sec})$	沖波波長 $L_0(\text{m})$	距 離 $x(\text{m})$	周 期 $T(\text{sec})$	沖波波長 $L_0(\text{m})$	距 離 $x(\text{m})$
原 型	4.00	25.0	5×10^6	8.00	100	1.66×10^8
模型の縮尺 $(\frac{1}{l_r})$	1/100	0.40	0.25	50	1.00	1.66×10^3
	1/200	0.283	0.125	8.8	0.50	290

に周期が小さく、また模型の縮尺も小さいとき以外は注意する必要がないであろう。また水底摩擦の影響は水底の摩擦係数を原型と模型とで等しくてやれば相似関係が満たされるが、普通の海岸港湾模型実験ではさして重要視する必要はない。また浸透効果については透水係数の縮尺比が長さの比の1/2乗に等しければ相似がなりたつが、これも遠浅海岸でしかも底質が粗く、透水係数の値が大きいようなところでない限り、とくに取り上げるる必要はないであろう。表面張力の影響は、深海波の場合波長が5cm程度に短くなると、波速が深海重力波のそれにくらべて約5%程度増加し、浅海波になるほどその影響が大きくなるので、模型の波長は、極端に短かくはできない。反射は壁面勾配、波形勾配、のり先水深と沖波の波長との比および壁面の粗さなどが関係するので、模型をひずめることは反射率が原型と模型で違ってくることにになり、相似が満足しなくなる。また砕波をふくむような模型実験のときには、模型の縮尺の選び方にとく

に注意を要する。図-1は同一の波形勾配の波に対して、砕波水深におよぼす周期の影響を示す Diephuis⁶⁾の実験結果であって、 H_0/L_0 が0.02の場合には $T \geq 0.7 \text{ sec}$ であれば模型の大きさの影響はないが H_0/L_0 の値が0.08にもなると、 $T \geq 2 \text{ sec}$ でないと縮尺の効果が入ってくることをあらわしている。このことから、砕波をふくむ模型実験では長い周期の波が使用できるように、なるべく大きい模型で実験すべきである。

以上短周期の波の変形を主体とするときの相似の問題と、それによぼす二、三の要素の影響について述べたが、このほかいろいろの問題、たとえば、実際の波はきれ波であるが模型では連続した単

一波であることの影響など、今後検討を要する多くの課題があると思われる。

b) 長周期の波の変形を主体とする場合 高潮や潮汐などをふくむ長周期の波の変形とか、それにとまう流れの問題を取り扱う場合には、原型と模型との相似関係はつぎのようになる。

$$U_r = Z_r^{1/2} \dots \dots \dots (1) \quad t_r = (l_r/Z_r)^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

$$C_{fr} = Z_r/l_r \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 U は流速、 t は時間、 C_f は水底の摩擦係数、 Z は鉛直距離、 l は水平距離で、サフィックスの r は原型と模型との比をあらわす。この場合には、水平縮尺と垂直縮尺とを等しくしなければならぬという制約は入っていないので、模型をひずめてもかまわない。

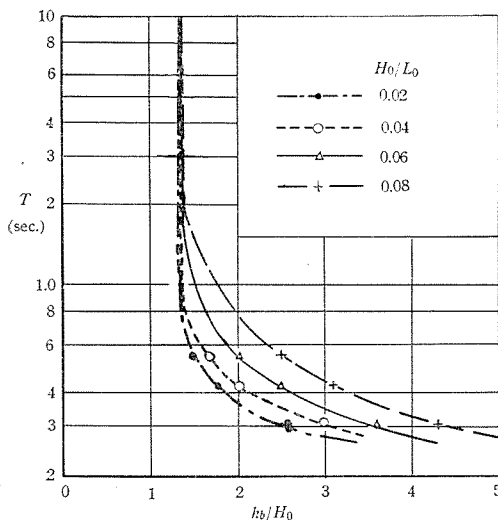
原型、模型とも乱流であって、抵抗法則として Manning の流速公式が適用されるときには、つぎの関係がえられる。

$$n_r = Z_r^{2/3}/l_r^{1/2} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 n は Manning の粗度係数である。したがって、模型の n の値はいかに滑らかに水底を作っても0.009~0.01 ($\text{sec} \cdot \text{m}^{-1/3}$)以下にはできないので、縮尺やひずみの選択には注意を必要とする。

水平縮尺 $1/l_r$ が1/500程度以下にもなると、原型が乱流でも模型では層流の場合が起こりうる。このときには、原型の乱流における C_f 値と模型の層流における C_f との比が(3)式にしたがって模型のひずみに等しくなるよう水平縮尺や垂直縮尺を選ばなければならない。とくに原型の C_f はその場所ではほぼ一定値をとるであろうが、模型の C_f は Reynolds 数の関数なので、(3)式をいつでも完全に満足させるようにすることは非常に困難である。模型の n は模型に人工粗度を与えれば、ある程度自由に変えられうるが、模型の C_f は流れが層流であるため通常の人工粗度では変化させることができない。層流でも C_f の値が変えられるような特別の方法が見出されれば非常に都合がよい。

(2) 次元解析

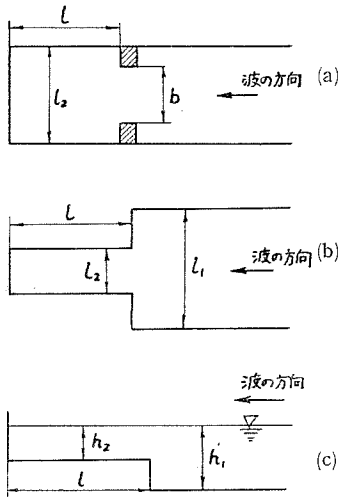
図-1 砕波水深におよぼす周期の影響
(Diephuis より)

水理学に関する問題において、その現象を規定する運動方程式が明確であれば、相似関係式を見出すこともできるし、また現象が理論的に解析できるのであれば問題はない。しかし、工学的に問題となる水理学上の多くのものは、それが簡単な現象であっても理論的に完全に解くことが困難であるか、あるいはほとんど不可能といっても過言ではない。したがって、それを実験的に解明しようということになるが、問題は相似律のはっきりしない現象の実験結果を実際問題に適用するのはどうしたらよいかである。こうした実験の結果をいくつかの無次元量で整理し、相互の関係を明らかにして、それを実際問題へ適用しようとする最も合理的と思われる方法が次元解析法である。たとえば防波堤におよぼす波圧、捨石防波堤におよぼす波力、潜堤による波高減衰、堤防への波の遡上や越波、堤防前面の洗掘、海浜変形、漂砂など、多くの問題がこの次元解析の対象となる。これについては、文献 5) を参照されたい。このような次元解析法は、その現象に関係するすべての要素の無次元形が見出されるから、簡単な仮定のもとで行なう理論的な解析においては導入されえないような無次元量を補足する役目もするわけである。実験計画をたてる場合には、一応この次元解析によりえられる各無次元量相互の関係を組織的にあきらかにするよう実験資料のとり方がきめられるべきである。

5. 港湾における共振現象

最近、港湾や水路内の水位変動が外海から浸入する波動によっていちじるしく変化する現象が見出され、また逆にこの原理を利用して港口からの波の浸入を阻止しようという方法も考案されている。われわれは、波が完全に反射する場合、重複波がおこって、波高が浸入波の 2

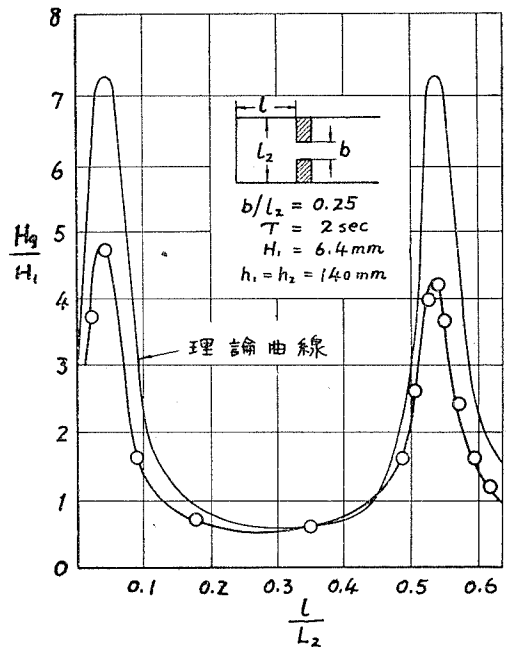
図一2 各種の港湾泊地



倍になることを知っている。しかし、ここに述べる水位変動は浸入波の波高の数倍以上にもなる異常な現象であって、これは共振系においておこる共振現象であると説明される。Bernard Le Méhauté²⁾ は、図一2に示す港湾泊地において浸入波によっておこる水位変動について研究し

た。

図一3 波高比と l/L_2 との関係 (Méhauté より)



図一3 は (a) の場合の水位変動の波高比が泊地の長さおよび浸入波の波長との比によってどのように変化するかを示したもので、 H_g および H_1 はそれぞれ泊地内の水位変動および浸入波の波高、 L_2 は浸入波の波長である。また (b) および (c) の場合も (a) と同様な関係が得られている。この図からすぐわかることは、泊地の長さおよび波長との比がある値になると共振現象をおこして、波高比が非常に増大することである。Méhauté によれば、共振時の波高比は

$$\frac{H_g}{H_1} = \frac{2r(1+p)\alpha_1}{1-pr^2\beta_2} \dots\dots\dots (5)$$

であらわれ、また共振のおこるのは

$$\frac{L_2}{l} = \frac{4\pi}{2n\pi + \beta_2} \dots\dots\dots (6)$$

のときである。ここに、 r は泊地内の摩擦による波高の減衰係数、 p は泊地の奥部における反射係数、 α_1 は泊地内へ浸入した波の波高と浸入波の波高との比、 β_2 および β_2 はそれぞれ泊地の奥部で反射してかえってきた波がふたたび港口の突堤によって反射するときの反射係数、および位相の変化、 n は正の整数である。また樋口³⁾ は境水道をその奥の外江付近で締切ることによって、境水道の水位変動がいちじるしく変化し、現状では半日潮、130 分振動ともに奥に行くにしたがって減衰するが、締切ると半日潮は減衰しなくなり、130 分振動は逆に増大することを見出した。これも一種の共振現象によるもので、自然改造に際してはこうした点を慎重に検討しなければならない。著者らが行った S 港の波浪遮蔽実験における経験でも⁴⁾、泊地内の波高が浸入波の 2 倍にもなる場所があらわれ、港内を静穏にするのに反射を防ぐ各種の対策を考慮して成功したが、通常の短周期波に

おいてもこうした共振現象はおこりうるわけである。Valembais⁹⁾は港口にクシ状の突堤群からなる小さい共振泊地を作り、港口から浸入する波のエネルギーを共振泊地によって吸収してしまい、港内の静穏を得かしめる方法を考案した。

つぎに港湾に浸入する津波について考えてみよう。いま、津波の周期を 60 分、湾内の平均水深を 20 m とすれば、津波の波長 L_2 は波速を $\sqrt{gh}$ として約 51 km となる。したがって、共振をおこす湾の長さ l を見積れば、図-2 (a) のような場合には $(0.05 \sim 0.1) L_2$, $(0.5 \sim 0.6) L_2$, …… (b) のような場合に $(0.15 \sim 0.2) L_2$, …… $(0.6 \sim 0.7) L_2$, …… (c) のような場合は $(0.2 \sim 0.3) L_2$, $(0.7 \sim 0.8) L_2$, …… であるから、(a) のとき 2.55 ~ 5.1 km, 25.5 ~ 30.6 km, …… (b) のとき 7.65 ~ 10.2 km, 30.6 ~ 35.7 km, …… (c) のとき 10.2 ~ 15.3 km, 35.7 ~ 40.8 km, …… となり、この程度の湾の長さのものはいくらかでも存在する。もちろん、この津波は定常的な波ではないので、そのままこの理論をあてはめることはできないが、こうした共振現象がおこる可能性は十分考えられる。また湾口に防波堤を作って津波の浸入を防ぐという方法も、防波堤の口を狭くすればするほど湾内の波高が減るとは限らず、かえって増大する場合がある。こうした現象を十分理解して対策を考えるべきである。

6. 風波と高潮の予知

前述したように、自然力の予知は防災研究における最も重要な課題の一つである。海岸堤防に衝突する波の特性や高潮を予知することができれば、災害を防止することがもっと容易になるであろうし、またその対策もずっと合理的になるであろう。これが可能になるということは、逆にいえば風波や高潮の発生、発達機構が十分解明され、それぞれの特性が明確化されることを意味するわけであるから、この方面の学問の進歩によってその精度が向上して行くことになる。

風波の予知の問題は、これまで多くの研究者によってその解明に努力がそそがれてきた^{10), 11)}、また実際にそれを応用して、海岸の波浪を見積る作業も試みられている^{12), 13)}。しかしこの場合問題となる点は少なくなく、実用的な面をとりあげても例えば移動する風域に対する卓越波の取り扱い、浅海領域における風波の屈折や摩擦の効果の導入など、今後に残されている大きな問題であろう。ここでは海底摩擦の問題を取り上げて考えてみよう。

Bretschneider¹⁴⁾は 1954 年にメキシコ湾の浅海における波のエネルギー損失の観測を行ない、摩擦係数 f として、 $0.053 \sim 0.08$ という値を得たが、一方浅海における波の発達をあらわす $gH_s/U^2 \sim gh/U^2$ (ここに、 H_s : 有義波高, h : 平均水深, U : 風速) の図表では、 $f=0.01$

とした曲線に観測結果がよくのることを明らかにした。こうしたことから、海底の摩擦係数として、つねに $f=0.01$ の値を採用して、浅海波の波高を求めているが¹⁵⁾、しかしわが国の海岸でもそのままこれを使用できるかどうかは問題で、また観測してえた摩擦係数と風速から波高を求めるときの摩擦係数の値が違うのはどういう理由によるのかなど、重要な未解決の問題がある。防災研究所ではこうした問題を明らかにするため、本年度から特別事業として海岸波浪の観測を行なうべく準備中である。河川において Manning の粗度係数を知ることが流量や流速を求めるための基礎であることと同様に、海底の摩擦係数の正しい値を知るとは浅海における波浪予知に際して、必要欠くべからざる事柄であるといえよう。つぎに高潮の予知の問題であるが、最近では Digital 型の電気計算機によって、運動方程式を階差式になおして数値積分し、適当な境界条件を与えて解くようになった¹⁶⁾。ここで問題となるのは湾口における境界条件をどうするか、海面の摩擦を表示するときの係数 r^2 をどうとるか、海底の摩擦やその方向をどう与えるかなど、運動方程式を実際に解くときの定量的な係数その他の値が必要となってくる。このうちで、 r^2 の値については多くの実験や観測の結果が 47 個も報告されているが¹⁷⁾、台風時におけるような高速風の場合は不明である。国司・吉田¹⁸⁾は伊勢湾台風による高潮の資料からこの r^2 の値を推定して、通常用いられている 2.6×10^{-3} より大きい 4×10^{-3} 程度であろうと報告している。こうした資料は最大 35 m/sec の風速をおこしうる防災研究所宇治川水理実験所に新設した高速風洞水槽や、現在建設中の白浜における海中の海洋観測塔によって、直接この値を求めることが可能となった。高潮解析における海底摩擦の問題も波浪観測によってえられる摩擦係数とある程度関連があるであろうから、この方面からも高潮の予知において未解決な問題に貴重な資料を提供するかもしれない。

7. 養 浜

海岸における砂浜の防災上の役割は非常に大きい。というのは、風によって発生した波は、沖合からばく大なエネルギーをたえまなく海岸へ運んでいるわけであって、その大部分は海岸の砂浜によって消費され、摩擦の過程をへて熱エネルギーに変わっている。したがって、もし砂浜がなくなれば、来襲する波のもつエネルギーは直接海岸へ衝突して、大きな障害をおこすであろう。したがって、砂浜がないか、あるいはあっても貧弱な海岸には、波のエネルギーを減殺し阻止するに足る自然の崖か、堅固な護岸その他の構造物が必要である。それに高潮が加わると、さらに高大なものとなり、海岸に沿って延々と続くいわゆる海岸堤防となる。

一般に浸食海岸は、汀線が後退し、いろいろな障害が

おきだしてはじめて問題として取り上げられるが、その海岸を自然の力をかりて元の形に復することは非常に困難で、浸食された海岸の現状を維持し、浸食の進行を阻止するのがせいっぱいである場合が多い。たとえ局部的に汀線が前進したとしても、一方その海岸のどこかで汀線が後退するのが普通で、一般的な傾向として河川の砂防工事が進み、漂砂の大きな供給源である流出土砂が減少するにつれて、浸食海岸がますます増加していくことは当然のことであろう。こうした浸食海岸への対策としては、普通、護岸や突堤、離岸堤、潜堤などによって波のエネルギーを減殺するとともに漂砂の移動を阻止するという方針がとられている。しかしこれは現状を維持しようとする消極的な方策であって、その区域は浸食をくい止めることができたが、他の海岸が浸食され始めたという結果をもたらす場合が少なくない。

これに対して、主として米国で採用されている積極的な浸食防止の方策として、人工養浜がある。これは沿岸に人工的に砂を堆積して、砂浜を造成したり、改良維持しようとするもので、構造物による浸食防止法のような欠陥がなく、かえって、他の隣接海岸にもよい影響を与えるという利点があり、同時に海水浴などの保護の場として利用できることも大きい特色である。米国で行なわれた最初の養浜は 1927 年の California 州の Cabrillo 海岸のようであるが¹⁹⁾、それ以来米国では多くの海岸で実行され成功をおさめている^{20), 21)}。またメキシコの Salina Cruz 港²⁰⁾、南アフリカ Durban²²⁾ のにおいても実施され、1951~1952 年にはドイツの Norderney 海岸でも養浜が行なわれたことが報告されている²³⁾。この中で米国の Mississippi 州の Harrison Country における養浜計画は、とくに興味深い。この海岸は Mexico 湾の New Orleans と Mobile の中間にあり、1915 年の高潮による災害のあと、海岸に沿う大陸横断道路を護るために延長 25 mile の Seawall が建設されたが、これが浸食のために危険にさらされはじめたため、その対策として海浜に盛砂をして養浜を行なった。この砂は沖合からのしゅんせつ砂で、サンドポンプにより 6 000 000 yd³ の砂を巾 300 ft、長さ 25 mile にわたって Seawall の前面に置いたもので、高さは Seawall から 50 ft までは平均潮位より 5 ft 高くし、海浜勾配は 1/100、前浜の勾配は 1/10 とした。この養浜海岸は非常によい結果を示し、Seawall を防護するとともに、リクリエーションの場としても役立っている。

養浜において問題となるのは、経済効果の点と養浜後の維持、砂の供給源、その輸送方法、養浜海岸の波浪減殺効果などであるが、わが国では養浜後の維持に要する費用の支出を好まないという傾向があるので、実現はむずかしい。また現在は海岸に浜を造って防災に役立てるというより、そのような場所があれば工場敷地にして開

発するといった面が強いので、わが国の養浜はまだ実現をみないかも知れない。米国と日本では海岸の防護や利用の仕方が違うといえればそれまでだが、前述したように計画以上の外力に対しても災害をできるだけ少なくするという意味から、砂浜を海岸防護に利用することを考えてもよいと思う。

8. 結 語

科学技術会議が昭和 35 年 10 月に決定した「10年後を目標とする科学技術振興の総合的基本方策について」の諮問の答申²⁴⁾において、海岸工事関係では(1)海岸工事のための技術の高度化、(2)土地の造成等に関する技術の高度化、の技術課題が選定され、また防災技術体系の技術目標として、(1)予報予知技術の高度化、(2)観測技術および資料処理技術の実用高度化、(3)津波警報技術の高度化、(4)地震沈下ならびに海岸浸食調査技術の高度化、(5)海岸および港湾構造物による防災技術の高度化、(6)気象の人工制御技術の開発、(7)防災計画技術体系の確立、(8)災害防止技術体系の確立、が示されている。防災研究はこうした技術の高度化や体系の確立を可能ならしめるような研究を行なうわけで、その本質についての著者の考え方を述べてきた。そして、海岸の開発と防災について私見を述べ、さらに著者らが行なっている海岸の防災研究と関連して、その問題点や現状について簡単に紹介した。この小文がこの方面の研究にたずさわる人々の参考になれば、著者の喜びとするところである。

参 考 文 献

- 1) 布施敏一郎：国土保全と港湾海岸防災(二)、港湾、第38巻、第4号、昭36.4、pp. 7—15.
- 2) Hudson, R.Y. and Moore, L.F. The Hydraulic Model as an Aid in Breakwater Design, Proc. 1st Conf. on Coastal Eng., 1951, pp. 205—212.
- 3) Hydraulic Models, Manuals of Engineering Practice, No. 25, ASCE, 1942.
- 4) Allen, J.: Scale Models in Hydraulic Engineering, Longmans, Green & Co., Ltd., London, 1947.
- 5) 岩垣雄一：海岸および港湾の模型実験について、海岸工学の最近の進歩、土木学会関西支部、昭36.3、pp. 21—42.
- 6) Diephuis, J.G.H.R.: Scale Effects Involving the Breaking of Waves, Proc. 6th Conf. on Coastal Eng., 1958, pp. 194—201.
- 7) Méhauté, Bernard Le: Theory of Wave Agitation in a Harbor, Jour. Hydraulics Div., Proc. ASCE, Vol. 87, No. HY 2, March 1961, pp. 31—50.
- 8) 樋口明生：堤水道の水位変動に関する模型実験について、第6回海岸工学講演会講演集、昭34.11、pp. 29—35.
- 9) Valembois, J.: Etude de l'action d'ouvrages resonants sur la propagation de la houle, Proc. Minnesota International Hydraulics Convention, Sept. 1953, pp. 193—199.
- 10) Wiegell, R.L.: Wind Wave and Swell, Proc. 7th Conf. on Coastal Engineering, Vol. 1, 1961, pp. 1—40.
- 11) 国司秀明：風波に関する最近の研究、海岸工学の最近の進歩、土木学会関西支部、昭36.3、pp. 198—217.
- 12) 井島武士・佐藤昭二・青野 尚：伊勢湾台風による外海及び伊勢湾沿岸の波、第7回海岸工学講演会講演集、昭35.11、pp. 149—161.

- 13) 永井莊七郎・久保弘一: 伊勢湾台風時の愛知県および三重県の北部海岸における最大波浪の推定, 土木学会誌, 第45巻, 第5号 昭35.5, pp. 15—25.
 - 14) Bretschneider, C.L.: Field Investigation of Wave Energyloss of Shallow Water Ocean Waves, Beach Erosion Board, Tech. Memo. No. 46, 1954, pp. 1—21.
 - 15) Bretschneider, C.L.: Revisions in Wave Forecasting: Deep and shallow water, Proc. 6th Conf. on Coastal Engineering, 1958, pp. 30—67.
 - 16) 宮崎正衛・宇野木早苗・上野武夫: 伊勢湾台風による高潮とその理論計算について, 第7回海岸工学講演会講演集, 昭35.11, pp. 209—215
 - 17) Wilson, B. W.: Note on Surface Wind Stress over Water at Low and High Wind Speeds, Jour. of Geophy. Research, Vol. 65, No. 10, Oct. 1960, pp. 3377—3382.
 - 18) 国司秀明・吉田幸三: 伊勢湾台風にともなった高潮の解析, 7 第回海岸工学講演会講演集, 昭35.11, pp. 223—229.
 - 19) Hall, J. V. Jr.: Artificially Nourished and Constructed Beaches, Proc. 3rd Conf. on Coastal Engineering, 1953, pp. 119—136.
 - 20) Hall, J.V. Jr. and Watts, G.M. Beach Rehabilitation by Fill and Nourishment, Trans. ASCE, Vol. 122, 1957, pp. 155—177.
 - 21) Wiegel, R.L.: Sand Bypassing at Santa Barbara, Calif., Jour. of Waterways and Harbors Div., Proc. ASCE, Vol. 85, No. WW 2, June 1959, pp. 1—30.
 - 22) Paterson, D.E.: Beach Erosion at Durban, South Africa, Beach Erosion Board, Bulletin, Vol. 10, No. 1, July. 1956, pp. 11—20.
 - 23) Kramer, Johann: Beach-Rehabilitation by Use of Beach Fills and Furhe Plans for th Protection of the Island of Norderney, Proc. 7th Conf. on Coastal Engineering, Vol. 2, 1961, pp. 847—859.
 - 24) 多田義雄: 10 年後を目標とする 科学技術振興の総合的 基本方策 (一), 港湾, 第38巻, 第5号, 昭 36. pp. 8—14.
-