

海中構造物の設計——波力について——

合 田 良 実*

●特集にあたって

本特集は、昭和45年4月18日土木学会講堂において開催した「土木学会海洋開発委員会主催・海洋開発シンポジウム」の講演集をベースとして、学会誌向きに改筆していただいたものの集成である。同シンポジウムの内容は、今後の土木技術者の活動の資料として貴重であるので、特集として収録した。なお、本シンポジウム当日「海中作業台」と題して吉田巖君に講演を依頼したが、文献調査委員会提出の解説記事が内容的に類似していることなどから吉田論文をここでは割愛させていただいた。同君に謝意を表する次第である。
[会誌編集委員会]

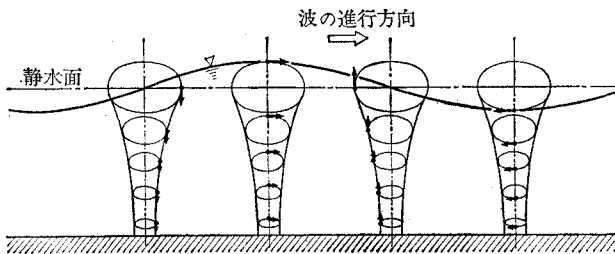
まえがき

海中に構造物を構築する場合は、陸上の構造物では考えられないような、いろいろな困難にぶつかる。何よりも、外力として波が強力な力を構造物に及ぼす。したがって、海中構造物の設計、施工にあたっては、波力ができるだけ正確に算定することが要求される。こうした波力の問題については、海底石油の採掘などに関連して1950年頃から主としてアメリカ合衆国を中心にして研究が進められ、現在では波力の算定方式^{1)~9)}も一応まとまった状態にある。そこで、ここではこうした標準的な波力算定方式と、その考え方を紹介してみたい。

1. 波の運動と波力計算の基本式

海中構造物に作用する海の波は、波高にして1~2mから、ときには20mを越すような大波までさまざま

図-1 水粒子の運動



あり、その波形も非常に複雑である。しかし、波の運動を考えると、一定の波高の波が同じ周期で次々に続いている規則的な波の列を想定するのが便利であり、設計もこうした規則波による波力の計算結果を準用して行なうのが通例である。

海中構造物に波が力を及ぼすのは、波とともに水の粒子が運動し、この水粒子の流れが構造物の部材にぶつかるため、水粒子の運動を模式的に描くと図-1のようになる。すなわち、水粒子はほぼ長円形の軌道を回転しながら運動し、その位相が波とともに次々に移動する。波の山では、水粒子は長円軌道の最高点にあって波と同一方向の水平速度を持ち、波の谷では長円軌道の最低点にあって、波と逆方向の水平速度を持つ。波の表面が静水面に一致したときは、上向きあるいは下向きの鉛直運動を行なっている。こうした水粒子の運動は水面で最大で、水底に近づくにつれて次第に減少する。また、回転運動であるから速度ばかりでなく加速度も持っている。

このように、水粒子が運動している所に海中構造物のように固定した物体があると、水粒子の運動が阻害されて流体力が作用する。この流体力は、一般的には水粒子の速度および加速度の方向に働き、その大きさは

$$F = \frac{1}{2} \frac{w_0}{g} C_D U^2 A + \frac{w_0}{g} C_M \frac{dU}{dt} V \dots\dots (1)$$

で表わされる。ここに、 U : 水粒子の運動速度、 dU/dt : 同じく加速度、 A : 流れの方向に対する部材の投影面積、 V : 部材の体積、 w_0 : 海水の単位体積重量、 g : 重力の加速度、 C_D : 抗力係数、 C_M : 質量係数、である。この第1項は抗力と呼ばれ、部材表面の摩擦抵抗や、部材背後に後流が生じ前後に圧力の差を生ずることなどに起因する力である。第2項は慣性力と呼ばれ、流れの速度が変化するとき部材周囲の水粒子が局部的に加速、あるいは減速されるために生ずるものである。式(1)から明らかなように、抗力は速度の2乗に比例し、慣性力は加速度に正比例する。この比例係数である C_D 、 C_M は、一般に部材の形状やレイノルズ数その他によって定まるもので、この値をどのように見積るかが、波力計算の一つの大きな問題である。

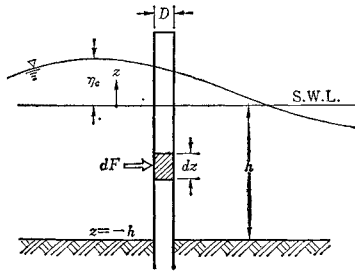
** 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部

2. 直柱に働く波力

(1) 波力の計算式

海中構造物の中でも、直柱は波高観測柱や海底石油の採油管のストープパイプのように単独でも用いられ、また海上プラットフォームの支柱などのように大型構造物の構成部材として用いられるなど、その用途が広い。

図-2 直柱のスケッチ



直柱の場合、水粒子の運動成分のうち鉛直方向のものは力を及ぼさないから、速度および加速度としては、その水平成分 u , du/dt のみを考えればよい。したがって直柱の高さ dz の部材に働く波力を dF と表わすと、直径 D の円柱の場合は

$$dF = \frac{1}{2} \frac{w_0}{g} C_D u^2 D dz + \frac{w_0}{g} C_M \frac{du}{dt} \frac{\pi}{4} D^2 dz \quad \dots\dots\dots (2)$$

と表わされる。直柱全体に働く波力は、これを海底から波の表面まで積分して求められる。直柱の断面が途中で変わっているようなときは、それぞれの断面について積分して合計すればよい。

実際の計算にあたっては、波の表面の高さ η , 特に波の峯の高さ η_c , 水平粒子速度 u , および加速度 du/dt の値を正確に知らなくてはならない。特に水平速度 u については、抗力が u^2 に比例するため、 u の推定値に誤差があると波力の計算値に大きく影響する。こうした波の特性は、いろいろな波の理論や実験結果などに基づいて解析が行なわれる。概略の値を求めるときには微小振幅波の波の理論が用いられ、精度が要求されるときは高次近似の有限振幅の波の理論が用いられる。また、実験値と理論値の集成による経験式の作成⁶⁾が行なわれたりしている。

(2) 全波力の算定図表

設計計算においては、直柱の全断面に働く波力およびそのモーメントをまず知りたいことが多い。このためアメリカ合衆国では Reid と Bretschneider¹⁾ が 1953 年に、このための算定図表を作成しており、これがアメリカ

図-3 K_D, K_M の算定図表

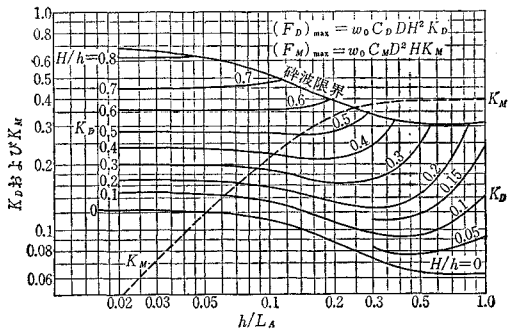
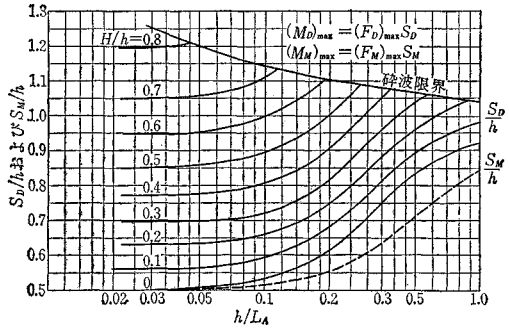


図-4 S_D, S_M の算定図表



における標準的な図表として用いられている。ただし、これは微小振幅波、深海における砕波、および孤立波の理論のみに基づいて、きわめて大胆な内挿を行なったものなので、筆者は先に実験値その他に基づいた図表を図-3, 4 のように作成した^{6), 7)}。

図-3 は、一様断面の円柱に対する抗力および慣性力の最大値を次のように表わし、その算定係数 K_D を実線で、 K_M を破線で示したものである。

$$(F_D)_{\max} = w_0 C_D D H^2 K_D \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$(F_M)_{\max} = w_0 C_M D^2 H K_M \quad \dots\dots\dots (4)$$

また図-4 は、これらの最大抗力および慣性力の作用点の高さ S_D, S_M を示すもので、海底面まわりのモーメントは、次式で求められる。

$$(M_D)_{\max} = (F_D)_{\max} S_D \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$(M_M)_{\max} = (F_M)_{\max} S_M \quad \dots\dots\dots (6)$$

全波力の最大値を求めるには、水粒子の水平速度 u と加速度 du/dt の位相が、約 90° ずれていることを考慮する必要がある。速度および加速度の時間的変化を $\sin(2\pi t/T)$ および $\cos(2\pi t/T)$ で近似的に表わすと、全波力の最大値が、ほぼ次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} (F_T)_{\max} &= (F_D)_{\max} + \frac{(F_M)_{\max}^2}{4(F_D)_{\max}} \\ &\text{ただし、} 2(F_D)_{\max} > (F_M)_{\max} \\ (F_T)_{\max} &= (F_M)_{\max} \\ &\text{ただし、} 2(F_D)_{\max} \leq (F_M)_{\max} \end{aligned} \right\} \dots\dots (7)$$

波力によるモーメントの最大値も、同様の式で求められる。

(3) 抗力係数 C_D の値

前述のように、波力としての抗力および慣性力の大きさは、係数 C_D と C_M の値に比例して変化する。このため、波の作用を受けるときの係数の値については、今までに多数の室内実験や現地観測が行なわれ、このために投下された費用は莫大なものに達している⁹⁾。しかしながら、測定値は非常に大きく変動しており、円柱の抗力係数 C_D の場合 0.1~6.0 の範囲に散らばっている¹⁰⁾。このため C_D として、どのような値をとるかにについては、設計者の裁量にかなりまかされている。

アメリカ船級協会では、可動式の海底探掘装置の設計に関して、 C_D は 0.5 以上の値を用いること、とのみ規定している⁹⁾。またアメリカ合衆国工兵隊の設計要覧⁹⁾では、微小振幅波理論によって粒子速度を計算する場合には $C_D=1.1\sim 1.8$ 、全波力の算定図表を用いるときは、 $C_D=0.53\sim 0.71$ の値を使用するよう指示している。しかし、定常流における高レイノルズ数 ($10^6\sim 10^7$) の実験値^{11), 12)}などを勘案すると、 $C_D=0.53\sim 0.71$ の値は過小と思われ、図-3, 4 の図表を用いるときは $C_D=0.7\sim 1.0$ を採用するのが妥当と考えられる。

なお、円形以外の断面形状については、文献 13) などを参照されたい。

(4) 質量係数 C_M の値

一方、 C_M については、現地観測や室内実験による値の変動が比較的小さく、円柱についての平均値として、1.3~2.0 の値が得られている。この円柱の質量係数は、また、速度ポテンシャルの理論によって $C_M=2.0$ と求められる。したがって、波力の計算では、一般に $C_M=2.0$ の値が用いられる。

(5) 砕波による衝撃力

以上の抗力と慣性力は波が砕けないときの波力で、水面は波の進行につれて直柱に沿って上下する。しかし、海底勾配が急な場所で、砕けかけた波が水の壁となって直柱にぶつかるような場合には、水面の衝突によって非常に大きな力が瞬間的に直柱に作用する。この衝撃力の最大値は、円柱の場合に次のように表わされる¹⁴⁾。

$$(F_I)_{\max} = w_0 D H_B^2 K_B \lambda$$

$$\text{ただし } K_B = \frac{\pi C_B^2 \eta_c}{2 g H_B^2} \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 H_B : 砕波高、 C_B : 砕波時の波速、である。また λ は、直立した水の壁と見なされる部分の高さと波高との比で、海底勾配 1/10 の場合で $\lambda=0.3\sim 0.5$ 、海

底勾配 1/100 で $\lambda=0.05\sim 0.10$ 程度の値をとる。

式 (8) の衝撃力は、抗力や慣性力と違ってその作用時間が $\tau_B = D/(2C_B)$ と非常に短い。したがって、部材の変形や破壊などに対しては、その大きさだけでなく、その作用時間もあわせて考えなければならず、構造物の振動特性を調べて波力の有効値を求める手続きが必要になる。通常の中構造物では、固有周期が衝撃力の作用時間よりもはるかに長いので、砕波による衝撃力よりも、砕波限界一杯のまだ砕けない波による波力の方が危険側となることが多い。

3. トラス構造に働く波力

トラス構造では、部材がいろいろな方向に組み合わされておられ、波力は各部材に対して直角方向に働く。したがって、速度および加速度としては、各部材に対する直角方向の成分を用いて式 (1) で波力を求め、それぞれの位相を考慮して波力の合成値を求める¹⁵⁾。

いま、図-5 のように部材の軸線と流れの方向が θ だけ傾いている場合を考えると、部材に直角方向の流れの成分は $U_n = U \sin \theta$ であるから、長さ ds の部分に働く抗力は

$$dF_D = \frac{1}{2} \frac{w_0}{g} C_D U^2 \sin^2 \theta ds \dots\dots\dots (9)$$

となる。これを、流れの方向 X および、これに直角な方向 Y の成分に分けると

$$\left. \begin{aligned} (dF_D)_X &= (dF_D)_0 \sin^2 \theta \\ (dF_D)_Y &= (dF_D)_0 \sin^2 \theta \cdot \cos \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

ただし

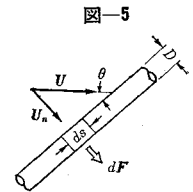
$$(dF_D)_0 = \frac{1}{2} \frac{w_0}{g} C_D U^2 ds$$

となる。慣性力についても同様の考え方で求められる。

なお、トラス構造では、隣接部材の影響による波力の増減が問題にされることがある。しかし、直柱に関する実験では、横にならんだ直柱が中心間隔で $2.5D$ 以上離れていれば、隣接部材による C_D の増加は無視でき¹⁶⁾、前方の直柱による遮蔽効果も中心間隔で $4D$ のときに C_D を 10% 減少させる程度で、 $8D$ では無視できる¹⁷⁾とされている。したがって、実際のトラス構造に関しては、隣接部材の影響を考慮しないのが普通である。

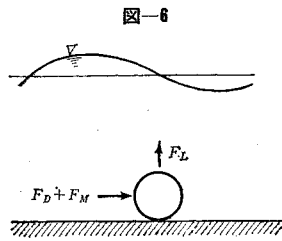
4. 海底のパイプに働く波力

石油の輸送管や下水の排出管のように海底に沿って設置されるパイプには、式 (1) の抗力と慣性力のほかに、上向きの揚力 F_L も同時に作用する。この大きさは、



$$F_L = \frac{1}{2} \frac{w_0}{g} C_L U^2 A \dots\dots\dots (11)$$

と表わされる。この揚力は、水粒子の運動がパイプの上面と下面とで異なるために生ずるもので、パイプを海底から離すと、この揚力は急減する。

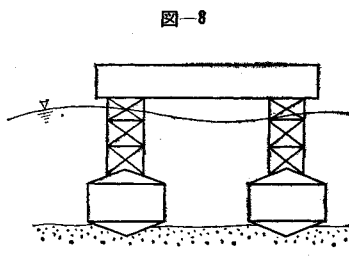


抗力、揚力、および慣性力を求める場合の U , dU/dt は、海底沿いの水平粒子速度および加速度のパイプに直角方向の成分である。これは、微小振幅波としての理論値を用いてもあまり大きな誤差を生じない。また、係数の値についてはいろいろ問題はあるが、 $C_D = C_L = 1.0$, $C_M = 2.0$ 程度を考えれば無難と思われる。

5. 大型構造物に働く波力

直柱の全波力を算定する式 (3), (4) を比べると、 D/H の比が大きくなるにつれて慣性力が卓越することがわかる。さらに、式 (7) から、慣性力の最大値が抗力の最大値の2倍以上あれば、全波力の最大値は慣性力に支配されることが示される。抗力に比べて慣性力が卓越するための D/H の値は水深と波長の比によって変化するけれども、 $D > H$ であれば、ほぼ慣性力が卓越する。

直柱以外の構造物でも、ある程度大きくなると慣性力が卓越し、抗力は無視できるようになる。慣性力は加速度に比例するので、波力は波高にほぼ比例し、岸向きおよび沖向きに、ほとんど同じ大きさで作用する。このような場合の質量係数の値は構造物の形状によって変わるため、それぞれの構造物について模型実験を行なう必要がある。図-7 のような形の可動式プラットホームの基礎のスパッドタンクについて実験した例¹⁵⁾では、 $C_M = 1.8 \sim 2.8$ の値が得られている。このような構造物では、水平方向だけでなく鉛直方向にも波力が作用する。これは、鉛直加速度による慣性力がおもなもので、粒子加速度の方向に応じて上向きおよび下向きに働く。この場合の鉛直方向の波力に対する質量係数としては、 $C_M = 1.6 \sim 3.9$ の値が得られている。

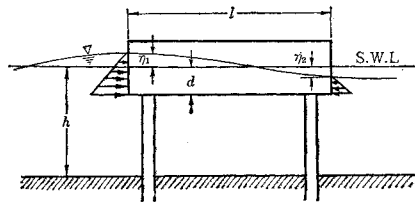


構造物がさらに大型になって、その代表長が波長の数分1の以上になると、構造物前後の位相差のために質量係数の値が減少する。直径の大きな円柱については、円柱による回折波の理論で波力を求めることができ、これを質量係数の値に換算すると

$$C_M = \frac{16 L^2}{\pi^3 D^2 \sqrt{J_1'^2 (\pi D/L)^2 + Y_1'^2 (\pi D/L)^2}} \dots\dots\dots (11)$$

で表わされる。ここに、 J_1' , Y_1' は第1種および第2種のベッセル関数の導関数である。この式による C_M の変化は、文献 5), 18) などに図示されている。

図-8



また、図-8 のような海上プラットホームの本体に働く波力については、近似的にプラットホームの前面と後面に働く静水圧の差として考えることもできる。これによると、プラットホームの幅を B として

$$P = \frac{1}{2} w_0 B [(d + \eta_1)^2 - (d + \eta_2)^2] \approx w_0 B d (\eta_1 - \eta_2)$$

であり、波力の最大値としては

$$P_{max} = w_0 B d H \sin \frac{\pi l}{L} \dots\dots\dots (12)$$

となる。吃水が非常に浅い長方形の台船について実験した例¹⁶⁾では、波高を一定にして波長をいろいろ変えて求めた最大の P_{max} は、式 (12) で $\sin (\pi l/L) = 1$ としたときの値の1.0~1.3倍と報告されている。もっとも、もう少し正確に波力を求めるには、慣性力としての取扱が必要になる。

6. 設計波の選定について

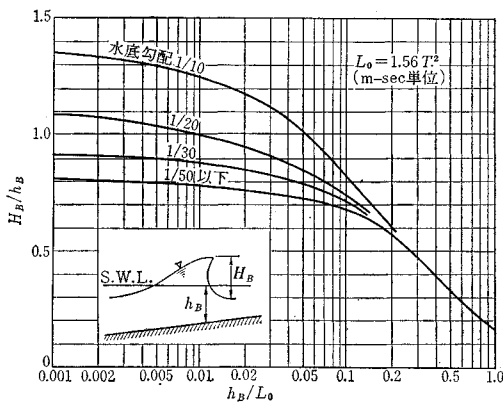
以上述べてきた波力は波高の増加とともに増大する。慣性力はほぼ波高に比例するが、抗力は波高の2乗あるいはそれ以上のべき乗で増大する。したがって、波力の計算方法が正確であったとしても、基礎となる波高の選定が適切でなければ、構造物の設計は妥当性を欠くことになる。

設計波の選定の際に一番困ることは、いつどのような波高の波が襲来するか予測できないことで、これは風荷重や地震力などと同様に、自然力を設計外力とする場合の共通の問題である。一般的には、対象地点あるいは隣接地区における波浪観測記録の解析や、過去の異常気象時の波浪推算、さらに既設構造物の状況調査などを行な

って、施設建設地点における異常波浪の発生頻度を推定する。一方、構造物の供用予定年数や、万一設計値を上回る波力によって破壊されるようなことが起ったときの被害額などを考慮して、設計波浪としての再現年数を選定し、上記の異常波浪の発生頻度のデータから発生波高を決定する。これは海中構造物に限らず、港湾施設や海岸保全施設の場合でも同様である。

このようにして選定した設計波高は、普通、有義波高であって、実際の海の不規則な波の大きさを表示する一つの代表値である。たとえば、有義波高 6 m として表わされる波が来襲するときは、その波群の中には小さいものは 1 m 以下から、大きなものは 10 m 以上の波高の波まで、いろいろな波が不規則に連なっている。このため、設計有義波が定まったとしても、次には波群中のどの波高を用いて波力を計算すべきかの問題を生ずる。一つの考え方は、最大波力の波に対しても十分安全のように、対象とする地点における最高波高、すなわち砕波限界の波を用いるものである。

図-9 砕波限界の波の波高比 H_B/h_B の算定図表



砕波限界にある波の波高は、水深、周期、海底勾配などによって規定され、理論計算の結果や各種の実験値を参照すると、平均的に図-9のように表わされる²⁰⁾。したがって、砕波高は最大でも水深の 0.8~1.3 倍であるから、水深があまり深くなれば、波高の上限値が適当な所で定まることになる。しかし、深海波の場合には砕波高が水深に無関係で

$$H_{\max} = 0.17 L_0 \approx 0.25 T^2 \text{ [m-sec 単位]} \dots (13)$$

と周期のみに関係することが理論的に導かれる。たとえば、周期 10 秒の波では $H_{\max} \approx 25$ m までの波が存在可能である。このように大きな波高の波が発生しうかどうかは、気象条件などから別途検討する必要があるけれども、洋上の船舶の観測では、30 m を越える波が報告された例もあり、海洋のまん中では沿岸では想像できないような大波が荒れ狂うことがあると考えられる。ア

メリカ船級協会の規定^りでは、波高は発注者の指示によるものとするが、水深 150 m 以上の深海域では、波高 18 m 以上とすることとしており、海岸近くの波よりもはるかに大きな波高を対象としている。

一方、波の周期については、上記の波高を生ずるような気象原因について波浪推算を行ない、そのときの有義波周期 $T_{1/3}$ を用いることが多い。もっとも、波の周期が長くなると限界波高が増大し、波力も大きくなるので周期をやや長目に選ぶことがある。

このような砕波限界の波による最大波力は、構造物に働く波力の上限值に近いので、これを設計に用いる場合には、部材の許容応力度を相当高く選定してもよいと思われる。構造物の重要度があまり高くなければ、降伏点強度一杯にとることなども考えられよう。

設計波の選定の際にもう一つ考えておくべきことは、構造物の共振の問題である。海中構造物が遭遇する海の波は、周期にして 1 秒以下から 20 秒以上まで、いろいろな成分を含んでいるので、構造物の振動特性によっては、波の特定の周期成分によって共振を起こして、波高が小さくとも部材に大きな応力が発生する可能性がある。構造物の振動が破壊に結びつく可能性のあるのは、水深が非常に大きな場所のプラットホームのように、固有周期が数秒のオーダーとなる場合や、水深 10~20 m で施工中の建込み鋼管などのように、たわみの大きな部材の場合である。このような場合には、波のスペクトルから変位のスペクトルを計算し、共振現象によって破壊される危険性について検討することが望ましい。

あ と が き

以上のように、現在のところ海中構造物に働く波力の性質は一応把握されており、波力の概略値を推定することが可能である。しかし、 C_D , C_M などの係数のばらつきに見られるように、波力の正確な値を算定することはむずかしく、ある程度の誤差を見込んでおかなければならない。また、設計波高の選定、波力の計算値の取り扱い、波の不規則性に対する考慮、許容応力度の設定など明快な基準のないものも多く、設計者の判断にまたなければならない事項が数多く残されている。さらに、実際の構造物では基礎の周辺洗掘なども重要な問題であり、海中構造物についても、一般の土木構造物と同様に、設計、施工例の積み上げが貴重な資料を形づくる。ここでは、ページ数の関係で海洋開発シンポジウムで紹介した内容の一部を割愛しており、また実際設計の際の波力計算の詳細までは触れることができなかった。各種の参考文献や設計計算例を参照されるよう、希望する次第である。

参考文献

- 1) Reid, R.O., and C.L. Bretschneider : Surface waves and offshore structures, *Texas A. & M. Tech. Rept.*, 1953, 36 pp.
- 2) Quinn, A. DeF : *Design and Construction of Ports and Marine Structures*, McGraw-Hill, 1961, pp. 56-70.
- 3) U.S. Army, Coastal Engineering Research Center : Shore protection planning and design, *Tech. Rept. No. 4*, 1966, pp. 278-296.
- 4) American Bureau of Shipping : Rules for Building and Classing Offshore Mobile Drilling Units, 1968, 65 pp.
- 5) *Handbook of Ocean and Underwater Engineering*, McGraw-Hill, 1969, Section 12.
- 6) Goda, Y. : Wave forces on a vertical circular cylinder : experiments and a proposed method of wave force computation, *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, No. 8, 1964, 74 pp.
- 7) 合田良実 : 海中構造物の設計波力について, 土木学会誌第 50 卷 2 号, 1965 年, pp. 57-61.
- 8) 長崎作治 : 海洋構造物の設計と施工, 森北出版, 1970.
- 9) たとえば, Thrasher, L.W., and P.M. Aagaard : Measured wave force data on offshore platforms, 1969 *Offshore Technology Conference*, Vol. 1, pp. 83-87.
- 10) たとえば, Wiegel, R.L. : *Oceanographical Engineering*, Prentice-Hall, Inc., 1964, p. 258.
- 11) Roshko, A. : Experiments on the flow past a circular cylinder at a very high Reynolds number, *J. Fluid Mech.*, Vol. 10, Pt 3, 1961, pp. 345-356.
- 12) Ippen, A.T.(ed.) : *Estuary and Coastline Hydrodynamics*, McGraw-Hill, 1966, p. 362.
- 13) 土木学会編 : 海岸保全施設設計便覧 (改訂版), 1969 年, p. 50
- 14) 合田良実・原中裕人・北畑正記 : 直柱に働く衝撃砕波力の研究, 港湾技術研究所報告第 5 卷 6 号, 1966 年, 30 pp.
- 15) 鶴田千里 : 海洋構造物に関する二, 三の問題, 運輸技術研究所, 1962 年.
- 16) Morison, J.R., J.W. Johnson, and M.P. O'Brien : Experimental studies of forces on piles, *Proc. 4th Conf. Coastal Eng.*, 1953, pp. 340-370.
- 17) Laird, A.D.K., and R.P. Warren : Groups of vertical cylinders oscillating in water, *Proc. ASCE, Vol. 89, No. EM 1*, 1963, pp. 25-35.
- 18) 日本港湾協会 : 港湾構造物設計基準, 1967 年, p. 2-4-44.
- 19) 小岩荅生・大平 勝・平山 勇・白鳥保夫 : スパッドを有する作業船の船体に作用する波力について (第 1 報), 港湾技術研究所報告第 8 卷 2 号, 1969 年, pp. 51-69.
- 20) 合田良実 : 砕波指標の整理について, 土木学会論文報告集第 180 号, 1970 年, pp. 39-49.

海岸保全施設設計便覧

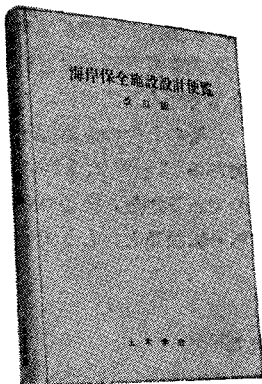
土木学会海岸保全施設設計便覧改訂小委員会編

改訂版

昭和 32 年以来, 丸 12 年ぶりに全面改訂された決定版, 36 名におよぶ執筆者が, それぞれ得意な分野を手分けして執筆. とくに現場に直接役立つよう設計施工面に重点をおいて記述した.

B 5・304 ページ 2300 円 (税別 2000 円・千 100 円)

〈主要目次〉 第 1 章 海岸における水理現象 1. 概論 2. 波の概説 3. 深海波 4. 浅海波 5. 波力 6. 潮位 7. 津波 8. 流れ 9. 漂砂 10. 飛砂
第 2 章 海岸調査 1. 気象観測 2. 波の観測 3. 漂砂の調査 4. 土質調査 5. 流れの観測
第 3 章 1. 概論 2. 材料 3. 消波工 4. 堤防と護岸 5. 突堤と離岸堤 6. 導流堤 7. 養浜 8. 防潮水門 9. 特殊海岸工事
付表・索引



東京都新宿区四谷 1 丁目 発行 : 社団法人 土木学会
電話 03-351-4131 番 振替 (東京) 16828 番