

動揺制御式浮消波堤の消波性能

爲 廣 正 起*・辻 田 孝**・土 岐 直 二***

1. 緒 言

200 海里漁業専管水域の実施を時代背景として養魚場用浮消波堤が脚光を浴びつつある。

浮消波堤の消波機構に、浮消波堤自身の動揺が関与していることは、よく知られているところであるが、本論文では特にこの点に着目して、浮消波堤を消波に都合の良いように動揺させることによって消波性能を向上させ、ひいては浮体を小さくして経済的な設計とすることを狙った動揺制御式浮消波堤について述べる。

この動揺制御式浮消波堤は、ポンツーン（箱船）をその出発点としている。一般にポンツーン型浮消波堤では、所定の喫水まで沈めるには多量のバラスト水が必要とするが、本動揺制御式浮消波堤では、バラスト水の動きによって、消波に都合の良い動揺を起こさせるようにしている。このため特別に複雑な装置を必要とせず、バラスト・タンクの形状に若干の工夫を加えるだけで済むので、簡単な構造で良い消波性能を得ることができる。

系統的な水槽試験の結果、短い波長の波に対する消波効果が高い短波長型浮消波堤と、長い波長の範囲まで消波効果のある長波長型浮消波堤を開発できる見通しを得た。

2. 動揺制御式浮消波堤の着想

2.1. ポンツーン型浮消波堤による消波

ポンツーン型浮消波堤に、沖合から到来した入射波が当たると、一部は反射波として沖合へ反射され、残りは透過波として岸の方へ進行する。これを分解して考えれば、図-1(a) および (b) のように、浮消波堤が動かないと仮定したとき、入射波が当たって生ずる反射波 1 および透過波 2 と、静止水面上で浮消波堤が動揺すること

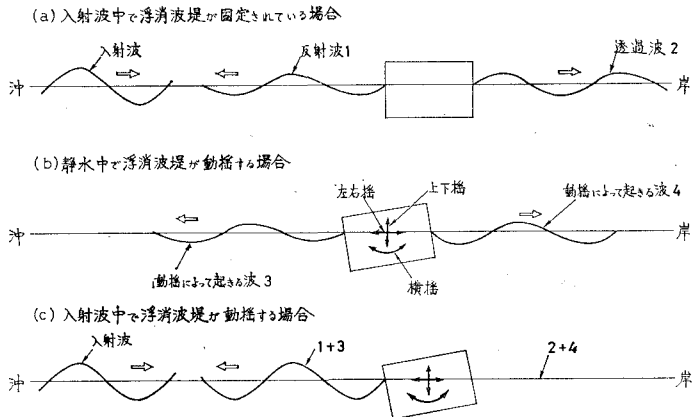


図-1 ポンツーン型消波堤の消波原理

によって起きる波 3 および 4 となる。入射波が浮消波堤によって完全に反射され、透過波が零になるような理想的な消波状態が成立しているときには、図-1(c) のように岸側では波 2 と波 4 が相殺して透過波が零となり、沖側では波 1 と波 3 が重畳して入射波と同じ波高を持つ反射波となる。

次に、この理想的な消波の状態が成立するための条件について述べる。船舶の波浪中動揺に関する研究分野では、2次元ポテンシャル流れの理論を応用して、水深無限大の場合について左右対称形の浮体の動揺を求めている¹⁾。その手法を用いて浮体の動揺を計算し、さらには透過波を求めることが可能である。別所の理論研究²⁾の結果を用いれば、解析的に

$$\eta_T/\eta_I = |\sin(\theta_2 - \theta_{1,3})| \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 η_T : 透過波高、 η_I : 入射波高

$$\theta_2 = \arg \left[\left\{ \frac{C_2 - \omega^2 M_2}{\rho \omega^2} - i |H_2^+(k)|^2 \right\} H_2^+(k) \right] \dots\dots\dots (2)$$

$$\theta_{1,3} = \arg \left[\left\{ \frac{\alpha \beta - \gamma^2}{\rho \omega^2 (\alpha + \beta - 2\gamma)} - i |H_1^+(k)|^2 \right\} H_1^+(k) \right] \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha = C_1 - \omega^2 M_1, \quad \beta = (C_3 - \omega^2 M_3)/l_w^2, \\ \gamma = -\omega^2 M_{1,3}/l_w \\ C_1, C_2, C_3: \text{左右揺, 上下揺, 横揺に対する復原力}$$

* 正会員 三菱重工業（株）船舶鉄構事業部
** 三菱重工業（株）神戸造船所船舶鉄板合機種計画室
*** 同 長崎研究所耐航性能研究室

係数

M_1, M_2, M_3 : 左右揺, 上下揺, 横揺に対する見掛質量

$M_{1,3}$: 左右揺と横揺の連成付加質量

l_w : 左右揺と横揺の減衰に関する Coupling lever

ρ : 流体の密度, ω : 入射波の円周波数

$k=\omega^2/g$ (入射波の波数), g : 重力の加速度

を導くことができる. なお, $H_1^+(k)$, $H_2^+(k)$ は左右揺と上下揺に対する Kochin function と呼ばれ, 平水中で浮体に, 円周波数が ω で速度の振幅が単位であるような左右揺と上下揺を強制的に与えた場合に誘起される流体運動の速度ポテンシャル ϕ_1 , ϕ_2 から

$$H_j^+(k) = \int_C \left(\frac{\partial \phi_j}{\partial n} - \phi_j \frac{\partial}{\partial n} \right) e^{-ky+ikx} dx \quad (j=1, 2) \dots\dots\dots (4)$$

で定義される汎関数である. ここに, C は浮体と流体との境界線, $\partial/\partial n$ は C に垂直な方向への偏微分, $\int_C dS$ は C 上における線積分を表わす.

一方, 浮体の左右揺, 上下揺の複素振幅を X_1 , X_2 とすれば,

$$\arg(X_1) = \arg \left[\left\{ \frac{\alpha\beta - \gamma^2}{\rho\omega^2(\alpha + \beta - 2\gamma)} - i |H_1^+(k)|^2 \right\} H_1^+(k) \right] + \pi \dots\dots\dots (5)$$

$$\arg(X_2) = \arg \left[\left\{ \frac{C_2 - \omega^2 M_2}{\rho\omega^2} - i |H_2^+(k)|^2 \right\} H_2^+(k) \right] + \pi \dots\dots\dots (6)$$

が導かれる^{1), 2)}ので, (2), (3), (5), (6) 式より

$$\theta_2 - \theta_{1,3} = \arg(X_2) - \arg(X_1) \dots\dots\dots (7)$$

を得る. (1), (7) 式より

$$\eta_T/\eta_I = 0, \text{ where } \arg(X_2) - \arg(X_1) = n\pi \quad (n: \text{整数}) \dots\dots\dots (8)$$

すなわち, 『上下揺と左右揺の位相差が 0° または 180° の時, 入射波は全て反射され, 透過波は 0 となる』ことがわかる. これが左右対称形の浮体による完全消波の条件である.

2.2. 動揺制御による消波

動揺制御式浮消波堤の原理は, (8) 式の消波条件を成立させるべく, バラスト・タンクの水の動きによって上下揺れと左右揺れの波に対する位相差を変化させて, 両者を一致させることにある. これを図-2 に示すような 2 重振子にあてはめて考えれば, 強制外力 P (波浪外力) を受ける主振子 m_1 (浮消波堤) に副振子 m_2 (動揺制御タンク内の水) を付加したことに相当し, m_1 の変位 X_1 の P に対する位相差が変化する.

動揺制御タンクは, 後に述べるように, 船舶に装備される Anti-pitching tank や Anti-rolling tank と同じ形式

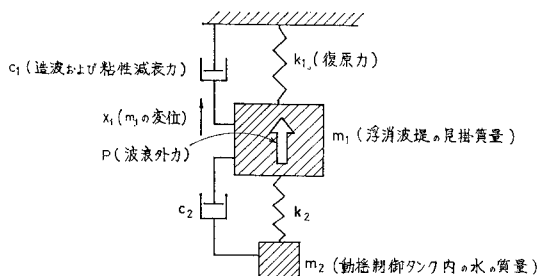


図-2 動揺制御式浮消波堤のモデル化

であるが, 船舶に装備されるタンクは動揺振幅の減少を目的としているのに対し, 浮消波堤では動揺の位相を変化させようとしている点が異なる.

2.3. 動揺制御式浮消波堤の構造

消波堤に設けた上下揺制御タンク (Anti-heaving tank, 以下 AHT と略す) は, 図-3(a) のようにタンク底部に開口を持つような構造である. この浮消波堤が上下揺をすると, この開口を通じて水が出入りし, タンク内の水面は浮消波堤本体に対して上下動する. そして, タンク水の運動の固有周期付近では, 浮消波堤の上下動の位相差が変化する.

上記のような構造のタンク内の水は, また, 図-3(b) に示されたような運動に対しても固有周期を持つが, この運動は, タンカーの荷油の Sloshing 運動としてすでに研究されていて, その固有周期はタンクの幅 b と水深 h とで決まり, 次式で与えられる³⁾.

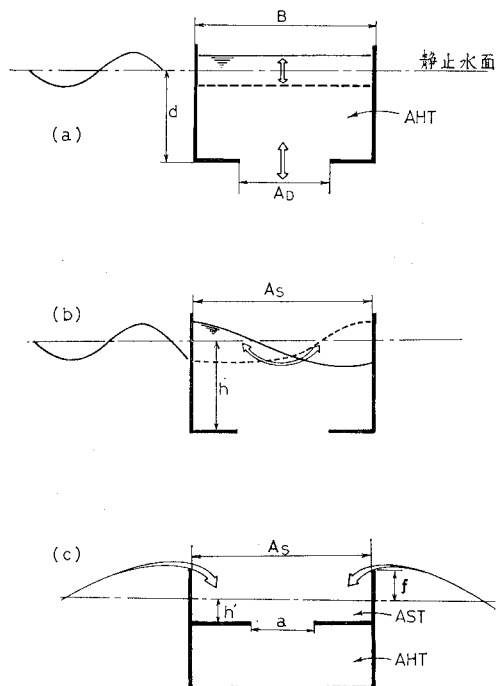


図-3 動揺制御式浮消波堤の構造

$$T=2\pi/\sqrt{\frac{\pi g}{b} \tanh \frac{\pi h}{b}} \dots\dots\dots(9)$$

この周期付近では、タンク水の運動により浮消波堤の左右揺の位相が変化するが、浮消波堤の B/d が小さい場合、図-3(a) のような構造では (9) 式で与えられる周期は短かすぎて、消波性能の向上に寄与しない。これを改善するため図-3(c) のように AHT 内に 2 重底を設け、その深さ h' を変えることにより、固有周期を適当な値に選べるような構造を採用した。この 2 重底の上方に新たに出来るタンクを左右揺制御タンク (Anti-swaying tank, 以下 AST と略す。) と呼ぶことにした。なお、この 2 重底には AHT 内の水の上下動を許容するための、開口が設けられている。

3. 水槽試験

3.1. 水槽試験の概要

AHT, AST を持った浮消波堤に対し、最適な主要目比を選定するために、水槽試験を実施した。

使用した試験水槽は長さ 25m, 幅 1.5m, 水深 0.8m の大きさで、1 端にフラップ式造波機を、他端にはビーチ型の消波装置を備えている。

模型は木製で、長さ 1.47m, 幅 0.3m に統一して、喫水の異なったものを 3 種用意し、それぞれに対して AHT, AST の主要目を変更することとした。これらの模型はいずれも、横揺れが消波現象にほとんど関与しない程度に、横揺れ固有周期を長くしてある。

供試波高は 50mm 一定とし、波長を順次変更して消波特性を求めた。入射波、透過波は、模型設置位置の前後 3.5m の位置で、抵抗型波高計を用いて計測した。

試験の結果は、以下に示すように、入射波長と浮消波堤の幅の比 λ/B を横軸に、透過率 η_T/η_I を縦軸として表示した。

3.2. 幅・喫水比変更の影響

浮消波堤の B/d が消波性能に及ぼす影響を調査するために、図-3(a) の構造で B/d を 1.6, 2.5 および 3.2 とした模型について試験を行った。各模型とも、AHT の底部開口面積、 A_D と水面の面積、 A_S の比が 1:2 の AHT を備えている。

試験の結果を図-4 に示す。 $\lambda/B=4.5$ を境にして、これより波長の短い範囲では B/d の大きい浮消波堤の方が、これより波長の長い範囲では B/d の小さい浮消波堤の方が良い性能を示している。試験時の観察によると、 $B/d=3.2$ の浮消波堤では AHT 内の水が図-3(b) のような左右運動を行っていて、左右揺制御タンクとして効いている。その結果、 $\lambda/B \leq 4$ において消波性能は極めて良くなっている。したがって、使用目的によっては、この型式がそのまま実用化できると考えられる。また、 $B/d=1.6$ の浮消波堤では、 $\lambda/B=4.5 \sim 7.0$ において

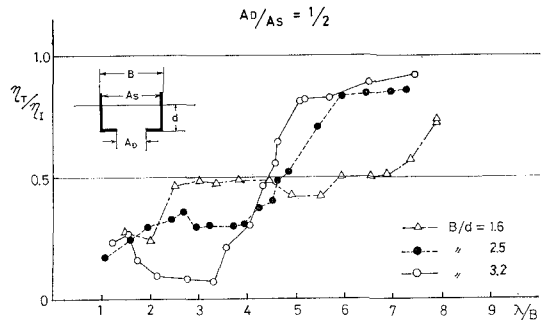


図-4 幅・喫水比変更試験の結果

AHT が有効に作用しており、その付近の消波性能が改善されている反面、 $\lambda/B=2.5 \sim 4.5$ で性能の悪化が見られる。この点を AST によって改善できるか否かが問題である。最後に $B/d=2.5$ の浮消波堤は両者の中間的な性能を示しており、これをベースとして性能改善を図る見通しは少ない。

3.3. AHT 底部開口面積変更の影響

$B/d=1.6$ と 3.2 の浮消波堤が有望であることがわかったので、それぞれの模型に対して A_D を A_S の 1/5, 1/3 および 1/2 に変更して試験を行い、消波性能に及ぼす影響を求めた。 $B/d=3.2$ に対する試験結果を図-5 に示す。この図より、 A_D は $A_D/A_S=1/5 \sim 1/2$ の範囲では消波性能にほとんど影響しないことがわかる。

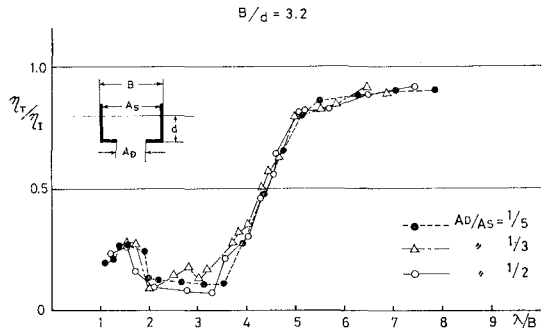


図-5 AHT 底部開口面積変更試験の結果

3.4. AST 形状の影響

$B/d=1.6$ の浮消波堤の消波性能の改善を図るため AST を装備することとし、その最適形状を決定するために 2 重底の深さ h' と 2 重底に設ける開口の面積 a を変更して水槽試験を行った。

最初に $a/A_S=1/5$ とし、 h'/d を 1/5.4, 1/3.8 および 1/2.5 に変更して試験を行った。その結果を図-6 に示す。この図より、 $h'/d=1/3.8$ が最適であると判断される。この時の AST の固有周期は (8) 式より求められるが、それは $\lambda/B=3.5$ の波の周期に相当する。

次に、 a/A_S を 1/15 $\sim$ 1/3 に変更して試験を行ったが、その結果、 a をこの程度変化させても、消波性能にはそ

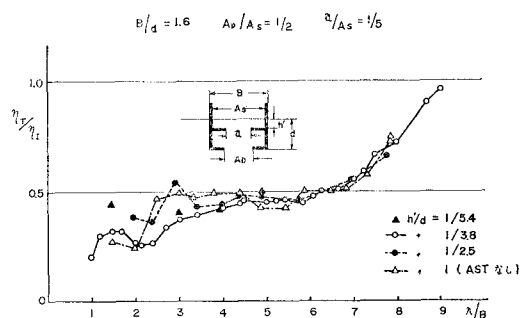


図-6 AST水深変更試験の結果

れほど影響がないことがわかった。

a/A_s が小さい場合には AHT としての作用が AST によって阻害され、 $\lambda/B=4.5\sim 7.0$ における消波性能が悪化する恐れがあると予想していた。しかし水槽試験時の観察によると、浮消波堤の乾舷 f を小さくしておけば、図-3(c) のように、波面が上昇して浮消波堤が下降する時に舷側を越えて水が AST 内に流入し、 a を通っての水の流入を補う結果になることがわかった。そのため、 $\lambda/B=4.5\sim 7.0$ における性能は、AST 無しの場合とほとんど同じである。

図-6 より、 $B/d=1.6$ の浮消波堤では、AST は $\lambda/B=2\sim 4.5$ の範囲で透過率を 10% 前後減少させる効果を持つと言える。

3.5. 短波長型および長波長型浮消波堤

水槽試験の結果から、実用に供しうる消波性能を持った浮消波堤の主要目を選定した。

$B/d=3.2$ で AHT のみを装備した浮消波堤は、 $\lambda/B \leq 4.0$ における消波性能が非常に良いので、短波長型浮消波堤と呼ぶことにする。また、 $B/d=1.6$ で AHT と AST を装備した浮消波堤は、 $\lambda/B \leq 4.0$ における消波

性能は短波長型に劣るものの、 $\lambda/B \leq 6.0$ の範囲で $\eta_T/\eta_1 \leq 0.45$ を保っているため、長波長型浮消波堤と呼ぶことにする。

短波長型および長波長型の浮消波堤の消波性能を比較して、図-7 に示す。

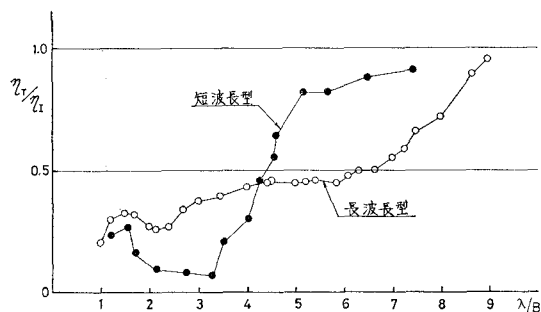


図-7 短波長型および長波長型浮消波堤の特性

4. 結 言

以上に述べたような研究の結果、良好な消波性能を持つ浮消波堤を開発できる見通しを得た。この研究と並行して、実機の構造設計、係留設計を進めているので、今後は field test による問題点の抽出を行って、実用化に向う所存である。

参 考 文 献

- 1) 田才福造・高木又男：規則波中の応答理論および計算法，日本造船学会，耐航性に関するシンポジウムテキスト，pp. 1-52, 1969.
- 2) 別所正利：波の中の横揺れ運動の理論について，防衛大学校理工学研究報告，第3巻，第1号，pp. 47-59, 1965.
- 3) 田宮 真：遊動水の動的影響について，造船協会論文集，第103号，pp. 59-67, 1958.