

複列空気潜函による波遮断効果

上床隆彦*・井島武士**・島田 晋***

1. 序

従来多くの防波堤は、水面付近の巨大波力に対抗するための固定構造物として、大水深においては、巨大構造物となり建設費も莫大である。之に対して固定又は係留浮体における入射波の散乱 (scattering) と浮体動揺に伴う放射波 (radiation wave) による通過波の相殺というような波の変形と発生を利用する方法があり、何れにおいても堤体又は浮体は変形を行なうことがない。

著者等 (1983, 1984, 1986) は嘗て上記のような、水面に設置されているために起る波の衝撃的圧力の発生を避ける方法として、完全な没水状態で設置され、波の作用によって容易に大振幅の変形と復原を繰り返して、有効な放射波を発生することにより消波を行なうことの出来る、空気潜袋消波堤を研究した。

本論文はその延長上に在って、潜袋消波堤における欠陥を除き、波によって変形する潜袋の代りに、剛体潜函内の水位変動によって、放射波を発生して消波を行なう方法を提案するものである。以下では、潜袋消波堤に関する研究の概要を述べ、空気潜袋の代りに、剛体無底潜函を用いた場合の消波効果とその実現のための型式寸法につき、数値解析に基づく考察を述べるものである。

2. 原 理

入射波の作用によって、それと逆位相の放射波を発生して消波を行なう場合に、共通した基本的問題は、入射波が堤体受圧部に、有効な放射波を発生するに必要且つ充分な大振幅の変形と復原を繰り返す運動を与えることが可能か否かに在る。この時、もし入射波振幅と等しく且つ逆位相の放射波が発生されれば、通過波は完全に消滅し、その際エネルギーの消費を必要としないから、最も理想的な消波方式ということになる。そのような放射波の発生は、普通考えられる受圧面とそれを支持して弾性変形を行なうパネによる単一の受圧方式で機械的に実現することは困難で、現在未だ開発されていないと思

う。ここでは、比重が小さく従って慣性抵抗が少なく、且つ水面波程度の周波数においては非圧縮性である空気を媒体とし、2個の無底函を一対として push-pull 方式によって、入射波と逆位相の放射波を発生させて、通過波を消滅させる方式を用いた空気潜袋堤方式を説明し、その改良法としての無底潜函方式を述べることにする。

3. 空気潜袋消波堤

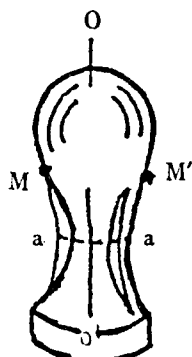
空気潜袋消波堤は、図-1の潜袋膜に示すように充分薄く軽いポリエチレン膜の円筒 (b) の上端に半球形の蓋をし、空気を全容積の 70% 程度満たし、下端を円盤に取り付け、その円盤を水中に固定すると、図-2(a)のように点 M , M' を境として上部は球状、下部 (b) はに示すような“ひだ”をもつ断面で、全体の 60~70% の空気は上部に集まり、その浮力により潜袋は直立している。このような高さ F の潜袋を2ヶ1組として、図-3(a)に示すように、中心間隔 B を以て、両方の底



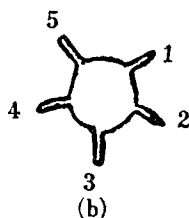
(a)



(b)



(a)



(b)

図-1 潜袋膜

図-2 潜袋形状

* 正会員 工博 大分高専教授 土木工学科

** 正会員 工博 東和大学教授 工学部土木工学科

*** 正会員 工修 大分高専助教授 土木工学科

部円盤 (高さ C) に取り付け、円盤の中心の空気孔 e , e' を管 A_0 で水平に連通し、水深 h の海域の水中に、天端水深 A 、水底からの高さ h_0 で係留する。波 H_i が左から入射し波頂が潜袋を通過するときは、水圧の変動により潜袋形状と体積が変化し、放射波 H_a の発生により反射波 H_r と通過波 H_t を生じ、同時に連通管内に空気流 U が起こる。潜袋は静止時の 図-4 (a) の太線 "1" の平衡形状から、波頂が通過するとき 図-4 (b) に示すように底部円盤 "2" の空気孔 "4" より潜袋内の空気が、流出することにより、"3" のひだは大きくなり、水平断面 $a-a'$ は小さくなって収縮し、波底の通過に際しては 図-4 (c) に示すように、ひだ "3" は小さくなって断面は大きくなり膨脹する。このような2個の潜袋の間隔を入射波長 L のほぼ $1/2$ に等しくするとき 図-5 に示すように左からの入射波の進行に対して、左右の潜袋には夫々波頂と波底が在って潜袋には矢印の向きに流体圧力が作用する。このとき潜袋が空気管によって連通していれば、その圧力変動によって左右潜袋は夫々収縮と膨脹を行ない、その体積変化により、同一振幅で入射波及び通過波とは夫々逆位相の一組の放射波が発生し、進行する。かくして、反射波側の波高は増大するが、通過波側では、入射波と放射波が相殺して波高は減少し、消波効果が現れる。この1組の潜袋を 図-3 (b) のように潜袋直径 D 、間隔 B_0 で並列にすると、消波堤の機能を有することになる。之を実験値で示すと 図-6 のようである。之は水深 $h=35$ cm、幅 15 cm の実験水路における測定値を示したもので、潜袋形状と同じ固体による通過率を■、連通しない潜袋による値を□、連通した1対の潜袋における値を○、2対の潜袋

(4ヶ) による値を●として示しており、潜袋4ヶを用いた場合においてはじめて K_t は $h/L > 0.1$ に対して 0.5 以下を示している。

このように通過率を 0.5 以下にすることは可能であるが、実際上は次のような難点が指摘される。

(i) 波遮断効果る向上するためには潜袋形状を大ならしめることが必要であるが、その場合は浮力も増加し、之を定着することと巨大潜袋の製作に難点がある。

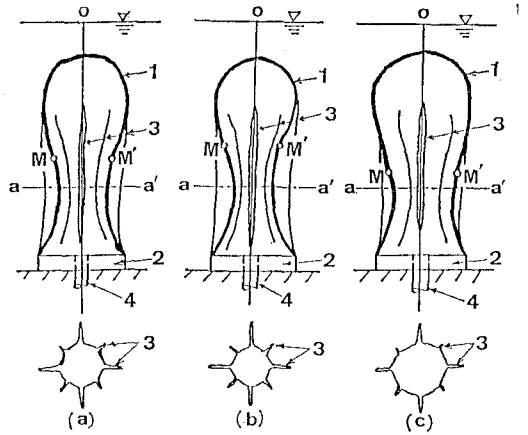


図-4 潜袋の変形

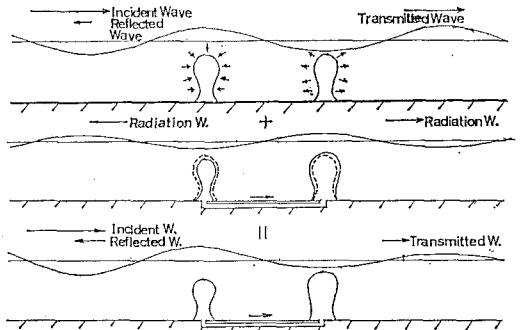


図-5 放射波による消波

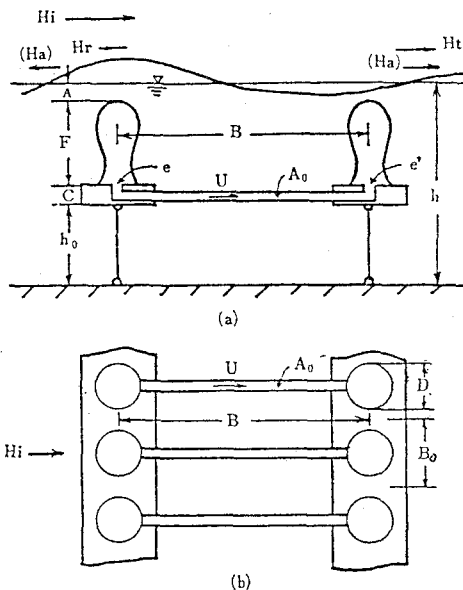


図-3 潜袋による消波装置

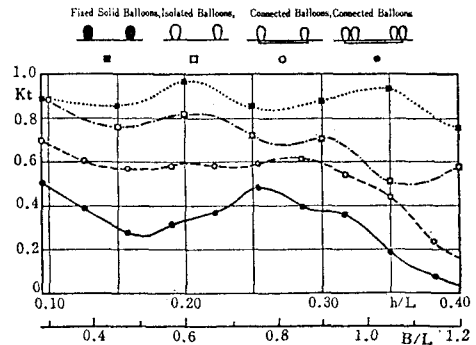


図-6 通過率の実験値

(ii) 潜袋形状では、水圧変動により変形し得る体積は全容積の 40% 程度にすぎず、効率は充分でない。

(iii) 海中生物付着による潜袋運動性能の低下。

このような問題を避けるために以下の方法が考えられる。

4. 潜函消波堤

(1) 上面空気膜潜函

図-7(a) に示すように、剛体ケーソン上面を変形自由な膜面とし、内部に空気を入れ、膜面を同一水平面上に置き、進行波による膜面変形によって放射波を発生する方法であるが、両膜面を同一水平面内に平衡を維持することは原理上不可能で、実現は出来ない。

(2) 反対称空気膜潜函

上記の型式の空気膜面運動を安定ならしめるためには、図-7(b) のように、両潜函を膜面である水平面に関して反対称に固定することが必要である。然し 図-7(a) の型式と比べると、変動水圧を受ける膜面は、潜函の高さ d だけ深く且つ潜函下面にあるため、膜面での水圧変動は 図-7(a) の型式より減少する。このため、当然遮断効果は低下することになる。

(3) 底面開放型潜函

上記の型式において、潜函の上面又は下面は膜面を以て水を遮断せねばならないが、図-7(c) のように潜函の開口部を下向きにして内部に空間を残して両者を連通する型式を取れば、膜面を省略することが出来、しかも波遮断効果は 図-7(b) の場合とほとんど変わらないことが確認出来る。

此の方式によって、空気膜潜袋消波堤における種々の難点をほとんど避けることが出来る。

以下此の開放型潜函についての検討結果を述べることにする。

5. 底面開放潜函の数値解析

流体運動はすべてポテンシャル運動と仮定し、潜袋消波堤の 2 次元計算 (1984) において用いたと全く同じ、境界要素法による数値計算を行なった。即ち、空間座標 (x, z) 、時間座標 (t) について、速度ポテンシャル $\phi = \phi(x, z) \cdot \exp(i\sigma t)$; σ は周波数 $(2\pi/T)$ として関数値 $\phi(x, z)$ を境界上において算出し、同時に入射波に対する通過波及び反射波の振幅比から、通過率 K_t 及び反射率 K_r を求めた。通過率 K_t の絶対値が消波堤の効果を示すこととなる。尚境界上の計算点間隔は、潜函については $0.05h$ 、その他では $0.2h$ とした。

潜函の中心間隔 B と潜函の幅 W との比 B/W は構造上 1.0 が最小で、此の時、2つの潜函の間隙は 0 で、両函は密着して並んでいる状態で、函上部の空間が連通

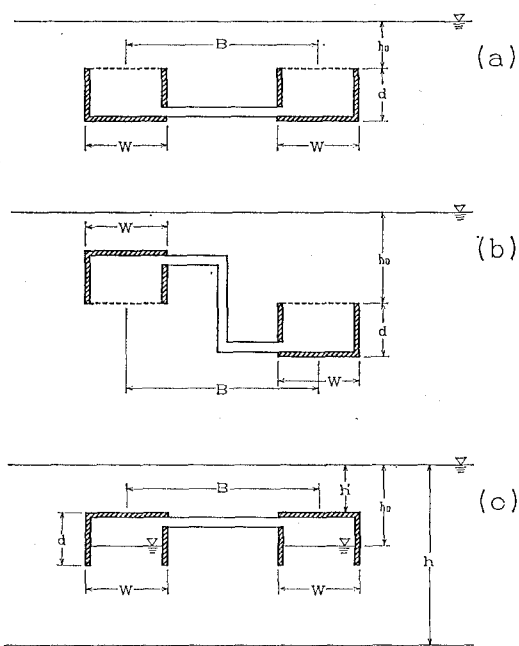


図-7 構成図

している。従って、 $B/W=1.0$ を基準として $W=1.5B$ と $2.0B$ の場合の通過率 K_t を比較してみる。

なお、潜函の高さ d については、一定とし、 $d/h=0.2$ とする。

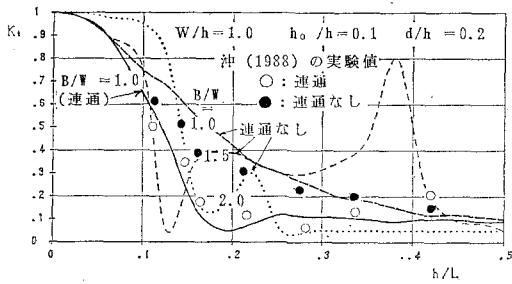
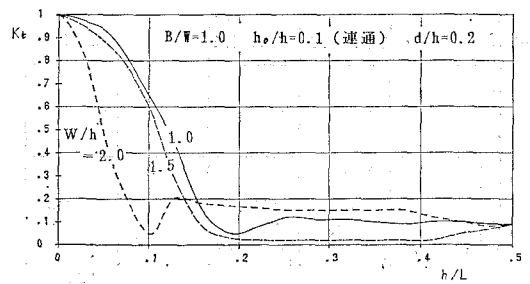
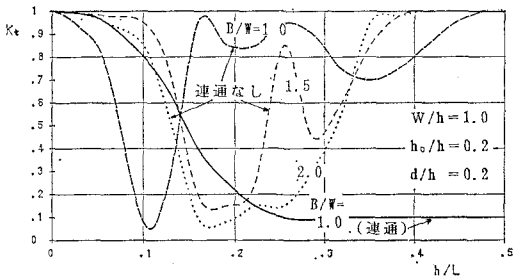
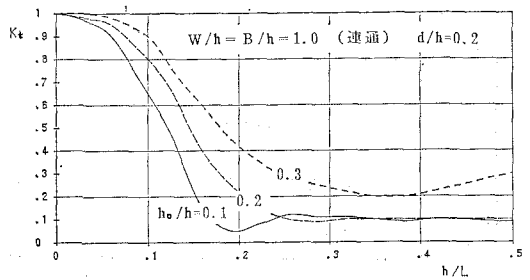
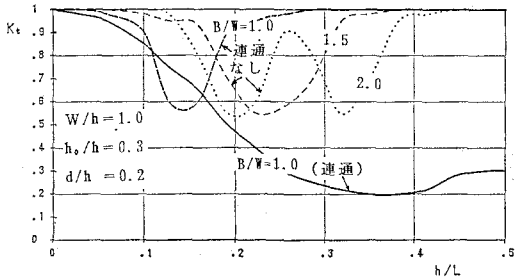
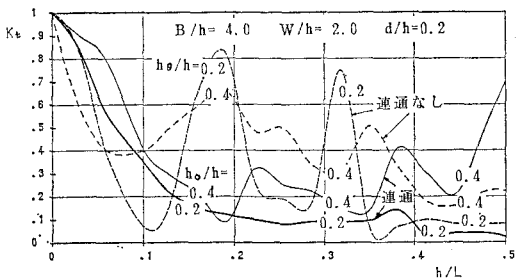
(1) 連通効果

両潜函を連通していない場合 (非連通) は、波の通過率は散乱波の効果のみを表していることになる。之と潜函を連通した時の通過率を $B/W=1.0$ の場合について、函内水面 h_0/h を 0.1 及び 0.2, 0.3 として計算した結果を、図-8 ($h_0/h=0.1$)、図-9 ($h_0/h=0.2$)、図-10 ($h_0/h=0.3$) に示している。此の3つの図から分かるように、非連通の場合に比べて、連通の場合は h/L に対する K_t の値は、極めて滑らかに低下して行き、ほぼ共通して非連通の場合よりも著しく低いことが分かる。特に $h_0/h=0.1$ 及び 0.3 について見ると明白で、 h_0/h が大きい程著しい。之等の図には、非連通のときの潜函間隔 B/W が 1.0, 1.5 及び 2.0 の場合を示しており、没水深が大きい程、潜函による散乱波は小さくなることが明らかに示されている。

図-11 は潜函間隔が相当に大きくて $B/h=4.0$, $W/h=2.0$ に対し、 $h_0/h=0.2$ 及び 0.4 とした場合を示しており、連通効果がやはり顕著であることが分かる。

(2) 潜函幅の効果

潜函の幅の影響を見るために $B/W=1.0$ (最小間隔の場合) に対する $W/h=1.0, 1.5$ 及び 2.0 の場合の K_t を示すと 図-12 のようである。之は $h_0/h=0.1$ の

図-8 非連通と連通の場合の K_t ($W/h=1.0$, $h_0/h=0.1$)図-12 $B/W=1.0$ のときの W/h の影響図-9 非連通と連通の場合の K_t ($W/h=1.0$, $h_0/h=0.2$)図-13 $W/h=B/h=1.0$ のときの h_0/h の影響図-10 非連通と連通の場合の K_t ($W/h=1.0$, $h_0/h=0.3$)図-11 非連通と連通の場合の K_t ($W/h=2.0$)

波に対しては K_t は 0.2 以下となることが分かる。従って一般には幅 W は $2h$ 以下の程度で充分である。

(3) 没水深の効果 h_0/h の効果

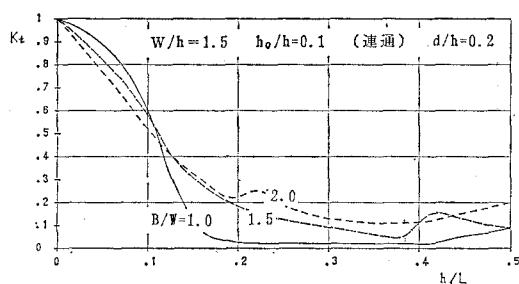
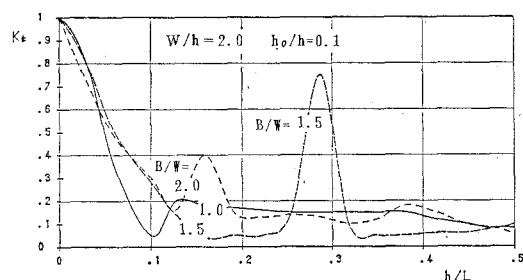
図-13 は $W/h=1.0$, $B/h=1.0$ のとき, $h_0/h=0.1$, 0.2, 0.3 に対する K_t を示したもので, 当然 h_0/h が小さい方が効果的である。但し間隔 B/h の値によっては, 散乱波効果が特異な値をもつことによって, 特定の h/L に対して K_t が大きくなる場合もあるが, 特に注意を要するものではなく, B/h が大きくなると共にその影響は消滅して行く。

(4) 潜函間隔 B/h の効果

図-8 では $B=W=1.0h$ のとき, 図-14 と 図-15 では夫々 $W/h=1.5$, 2.0 に対する K_t を $h_0/h=0.1$ について B/W をパラメーターとして示している。之等によると, $W=1.0h$ と $1.5h$ では K_t は h/L と共に単調に減少するが, $W=2.0h$ では, $B/W=1.5$, 2.0 のとき K_t に特別なピークが現われる。之は W が大きい場合, 特定の h/L において潜函の散乱効果が強く出て来ることがあるためである。従って, h/L の小さい値に対して K_t を特別に小さくする必要がある場合以外は, B は $(1.0 \sim 1.5)W$ 程度でよいことが分かる。そして $W > 1.5h$ あれば, $h_0/h=0.1$, $B/W \approx 1.0$ とすれば, $h/L > 0.1$ に対して K_t を 0.5 以下に維持することが出来る。

上記の各性質は, 数値解析に基づくものであるが, 本文の解析法は著者等(1985)が行った潜袋問題及び小島・

場合に対するものであるが, 図によって分かるように $h/L > 0.1$ の波に対し, 通過率 K_t を 0.5~0.6 以下に保つためには幅 W/h は 1.0~1.5 であればよく, W/h を 2.0 にすれば, $h/L > 0.05$ の波に対しても K_t を 0.5 以下とすることが出来る。そしてこの場合 $h/L > 0.1$ の

図-14 $W/h=1.5$ のときの B/W の影響図-15 $W/h=2.0$ のときの B/W の影響

井島 (1989) が行った没水水平板問題に用いられた手法と全く同一であって、信頼性は間接的に裏づけられていると考える。更に、図-8 に示したように、沖 (1988) も本論文と類似の型式について実験を行っており、条件の量も近似した例について比べると、本論文の計算値と沖の実験値は近い結果を与えている。

6. 結 論

上記の結果として、以下の結論を得る。

(1) 底面開放の剛体潜函 2 個を完全没水の状態で、

上部空間を連通し、固定した消波堤は水深 h と同程度の潜函幅 W 及び同程度の中心間隔 B [即ち、 $W \div (1.0 \sim 2.0) h$, $B \div (1.0 \sim 2.0) W$] を以て、相対水深 $h/L \geq 0.1$ の波に対し通過率 0.2 程度以下の安定な遮断効果を示すことができる。

(2) 潜函の空気連通は、潜函による波の散乱効果を打ち消して、 h/L に対する通過率の変動を低減すると共に、通過率の値そのものを低下する効果が著しい。

(3) 潜函の中心間隔 B が広がるほど、 h/L に対する通過率の変動が大きくなる。これは両潜函による波の散乱と干渉の影響である。

(4) 潜函の没水水深が深いほど、潜函における波の散乱現象が強く現れ、 h/L に対する通過率の変動が大きくなる。

最後に、本研究を遂行するにあたり、大分高専楠田信教授および園田敏矢助教授に御助言、御協力を得た。ここに記して謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 井島武士・上床隆彦・牛房幸光・小島治幸 (1986): 空気潜袋堤の波遮断効果の改善に関する実験的研究, 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp. 387-391.
- 上床隆彦・井島武士・牛房幸光 (1983): 空気潜袋群による波の遮断—実験による考察—, 第 30 回海岸工学講演会論文集, pp. 385-389.
- 上床隆彦・井島武士・牛房幸光 (1984): 空気潜袋群による波の遮断機構 (2 次元解析による考察), 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 517-521.
- 沖 政和 (1988): 消波装置, 特許願明細書, p. 8.
- 小島治幸・井島武士 (1989): 没水水平板による波の分裂と波浪制御に関する研究, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 529-533.
- Ijima, T., T. Uwatoko and Y. Ushifusa (1985): Wave interception by sea-balloon breakwater, Memoirs of the faculty of engineering, Kyushu Univ., Vol. 45, No. 4, pp. 357-392.