

II-10 振り子式波浪エネルギー吸収装置の水室内波形

室蘭工業大学 正会員 近藤 徹郎
室蘭工業大学 学生員 玉手 聡

〔はじめに〕

波浪エネルギー吸収装置に関する研究は、1976年以来本学に於て行なわれてきた。当初は、様々な方式が考案されたが、効率、メンテナンス、エネルギー損失などの種々の要因から、振り子式装置が、最も優れていることがわかった。振り子式装置(図-1)は、波力を直接振り子板に受け、水室内の定常波を利用して振り子板を振らす方式のもので、振り子板の動揺による水流の乱れが少なく、二次変換装置に損失のすくない油圧システムを使用し、また振り子板の受け軸が水中に没しておらず、メンテナンスの面からも好都合となっている。振り子式装置は1984年から室蘭港に於て実海域試験が始まり、1次変換が平均50%程度の効率を得ており振り子式装置の高性能が実証されている。従来の振り子式装置の研究は入射波に対する振り子板の運動とその効率について行なわれてきたが、装置内水室の波動についてはあまり解明されてない。しかし水室内の定常波を利用して振り子板を降らす本方式では装置内における波の挙動が装置の効率的な運転と堤体ケーソンに作用する波力の主要因であると考えられるために、今回は振り子を任意の条件で強制的に動かすことによる水室内の波の挙動を調べて、最適な水室の形状・寸法を求める手がかりとすることにした。

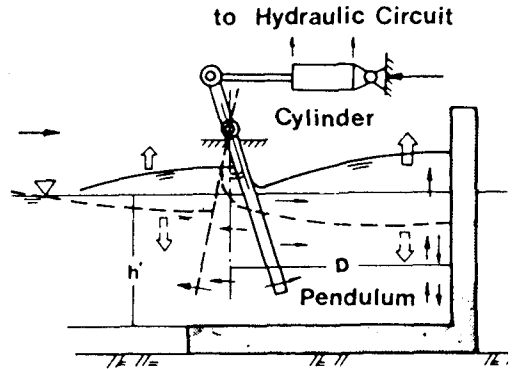


図-1 振り子式装置の断面略図

〔実験〕

(1) 実験装置

本学内の河海工学実験室にある二次元造波水路(0.6×1.0×24m)上に、図-2に示したような装置を設置した。この装置は、電動モーターにより造波プレートを動かす、さらに造波プレートは、装置上をスライドして移動することができ、これにより任意に水室幅を変えることができる。また、プレートの振り角は、アームとモーターの取り付け位置に於て調整することができ広範な条件について実験できるようにした。また装置内の水室底面に圧力センサー取り付け用の穴を12個用意した。

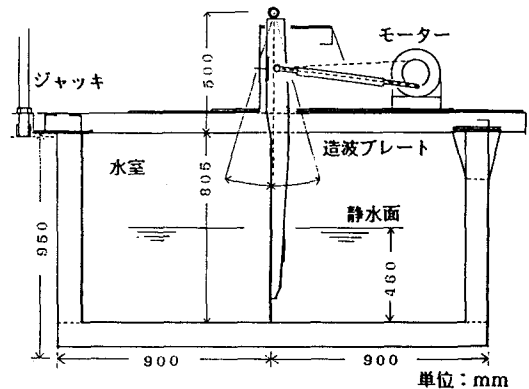
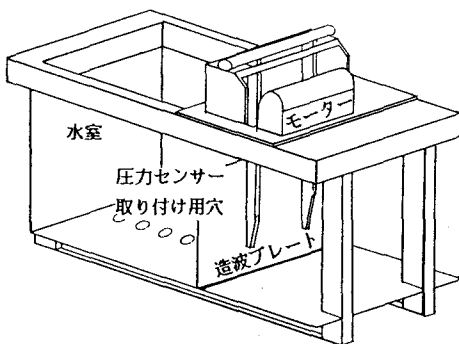


図-2 実験装置の略図

(2) 実験方法

装置内の水室幅を B 、波長を L としてその比 B/L について 0.25 を基準にその前後に水室幅を変え、そして造波プレートの振り角を $2^\circ \sim 5^\circ$ の範囲で 1° ずつ変化させて、水室内の3地点で波形を記録した。(図-3参照)

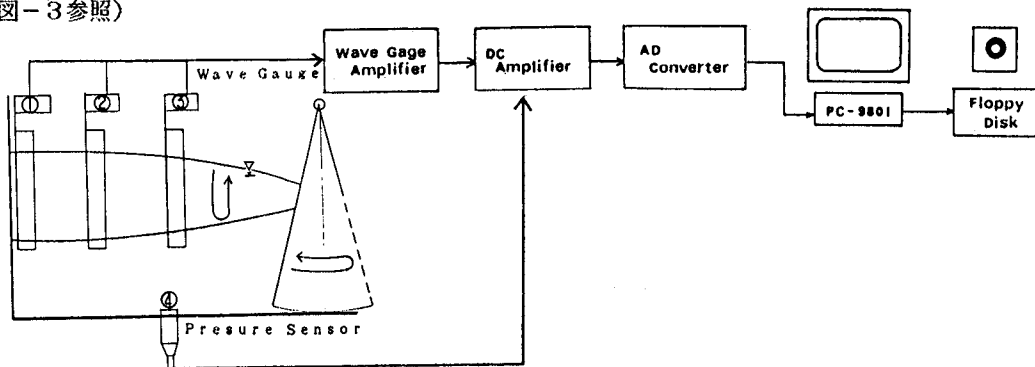


図-3 波形データ記録取得手順

データの記録に際しては、容量式波高計を3本と圧力センサーを1個使い、波高計の取り付け位置は、図-3に示したように $B/8$ 、 $B/4$ 、 $B/2$ とした。また $B/2$ 地点に於いては、波高計と圧力センサーの両方から波形を記録し線的な記録と面的な記録ということと水面と水底での記録の違いということを考慮して比較することにした。波形記録データの取得に際しては、波高計と圧力センサーで得られるデータをアンプとADコンバータを介してPC9801に接続し、磁気ディスクに保存した。

(3) 波形記録データの処理方法

実験により得られたデータは、図-4に示した例のようにして出力した。図に示したPOINT 3とPOINT 4の波形は両方とも水室内の midpoint である $B/2$ における波形を波高計と圧力センサーから得られた結果である。図-4に示した波形を与えたときの水室幅と波長の比である B/L は 0.25 であり、水室内に定常波が形成されているときなので、それぞれに於て波形の乱れがほとんど見られなく、両者ともほぼ一致していることがわかる。しかし図からもわかる通り、圧力センサーによる出力結果は波高計によるそれよりも示される波形に幅を持っていることと、水面波形でみられる高調波成分が水底では、あまり見られないために、 B/L の値が 0.25 の前後になる条件に於いては、乱れている水室内波形を鋭く表わすことができないために、データの検討にあたっては波高計から得られたデータを中心に行なうことにした。

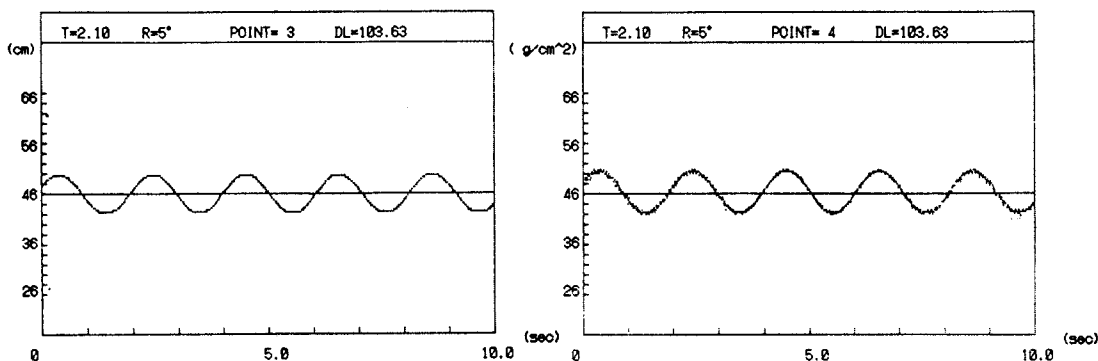


図-4 波形データ記録例

実験により得られたデータは、フーリエ分析のために等間隔の読み取りを行ない、フーリエ係数 $a_0 \sim a_{N/2}$, $b_1 \sim b_{N/2-1}$ を計算し、波形 $\eta(t)$ を次のように表わした。

$$\eta(t) = a_0 + a_1 \cos \frac{2\pi}{T} t + \dots + a_{N/2} \cos \frac{N\pi}{T} t \\ + b_1 \sin \frac{2\pi}{T} t + \dots + b_{N/2-1} \sin \frac{(N-2)\pi}{T} t$$

ここで、フーリエ係数は、次のようにして求められる。

$$a_m = \frac{2}{N} \sum_{s=1}^N \eta\left(\frac{s}{N} T\right) \cos \frac{2\pi sm}{N} \\ b_m = \frac{2}{N} \sum_{s=1}^{N-1} \eta\left(\frac{s}{N} T\right) \sin \frac{2\pi sm}{N}$$

このようにして、水室内での複雑な波形を再現した。そしてポテンシャル理論により速度ポテンシャルから求められる波形と比較することにした。

【水室内波形の理論解析】

速度ポテンシャル⁴⁾は、図-5のように仮定すると、次のように求められている。

P点まわりに振動するプレートの振幅角は、

$$\theta = e^{i\omega t} \theta_a$$

で、表わされ、プレートの境界は、

$$x = l \left(1 - \frac{y}{l}\right) e^{i\omega t} \theta_a$$

となる。この場合、速度ポテンシャルは、次の境界条件を満足する。

(1) 水底 ($y = -h$) の境界条件

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right)_{y=-h} = 0$$

(2) 水面 ($y = 0$) の境界条件

$$\left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}\right)_{y=0} + g \left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right)_{y=0} = 0$$

(3) プレート ($x = 0$) の境界条件

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)_{x=0} = \left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)_{x=0}$$

(4) 後壁 ($x = -d$)

後壁面では、x方向の水粒子速度を持たないので、

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)_{x=-d} = 0$$

これらの条件を満足する速度ポテンシャル ϕ は、後壁での反射により進行波と後退波が存在し、また領域が有界なので、

$$\phi = A \frac{\cosh k_0(y+h)}{\cosh k_0 h} e^{i(k_0 x + \omega t)} \theta_a + B \frac{\cosh k_0(y+h)}{\cosh k_0 h} e^{i(k_0 x - \omega t)} \theta_a \\ + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{\cos k_n(y+h)}{\cos k_n h} e^{i k_n x + i \omega t} \theta_a + \sum_{n=1}^{\infty} D_n \frac{\cos k_n(y+h)}{\cos k_n h} e^{-i k_n x + i \omega t} \theta_a$$

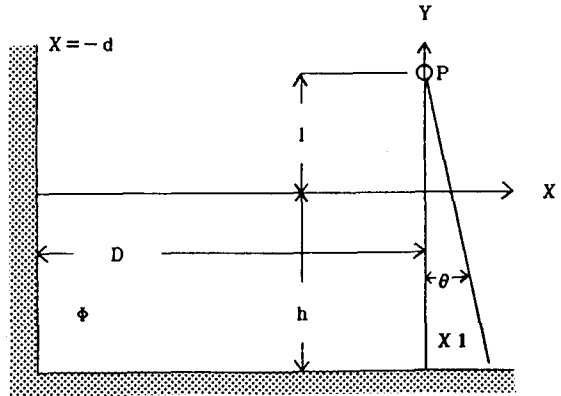


図-5 初期条件

上式に上記の条件を代入すると以下のように求められる。

$$\phi = -\frac{i 2 \omega Y_0}{k_0^2 X_0 \sin k_0 d} \cosh k_0 (y+h) \cos k_0 (x+d) e^{i \omega t} \theta_0$$

$$-\sum_{n=1}^{\infty} \frac{i 2 \omega Y_n}{k_n^2 X_n \sinh k_n d} \cos k_n (y+h) \cosh k_n (x+d) e^{i \omega t} \theta_n$$

ここで

$$X_0 = \sinh k_0 h \cosh k_0 h + k_0 h$$

$$Y_0 = k_0 h \sinh k_0 h + \cosh k_0 h - 1$$

$$X_n = \sin k_n h \cos k_n h + k_n h$$

$$Y_n = k_n h \sin k_n h - \cos k_n h + 1$$

この速度ポテンシャルから波形は次のように求められる。

$$\eta = \left[-\frac{2 Y_0 \sinh k_0 h \cos k_0 (x+d)}{k_0 X_0 \sin k_0 d} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 Y_n \sin k_n h \cosh k_n (x+d)}{k_n X_n \sinh k_n d} \right] e^{i \omega t} \theta_n$$

[考 察]

フーリエ解析から求められた波形と速度ポテンシャルから求められた波形を比較した結果、水室幅 (B) と波長 (L) の比 B/L が 0.25 の時は、波形が、ほぼ一致することが認められたが、その前後に水室幅を変えると、明かに波形が乱れ一致しなくなることがわかった。そこで、フーリエ解析でも求められた波形から、基本振動波から 4 倍振動波の波高を解析して求められた波高との比である H_n/H の形で整理しそれぞれの条件での乱れの程度を検討してみたことにした。

図-6 に示した例は、周期が、1.7 (sec) の時について、水室幅を変えていったときに、水室内で見られる波を、各振動波ごとに比をとってみたものである。周期が 1.7 (sec) の時の波長 (L) は、322.2 (cm) であるので、B が 80.55 (cm) のとき、B/L がちょうど 0.25 の時である。図-6 から分かるとおり B が 80.55 (cm) の時は各地点に於て、ほとんど乱れがみられないが、B の値がその前後になると、基本振動数以外の成分がみられることが分かる。

図-6 の例では、B が 80.55 (cm) よりも大きい場合にわ 3 倍振動数による乱れの成

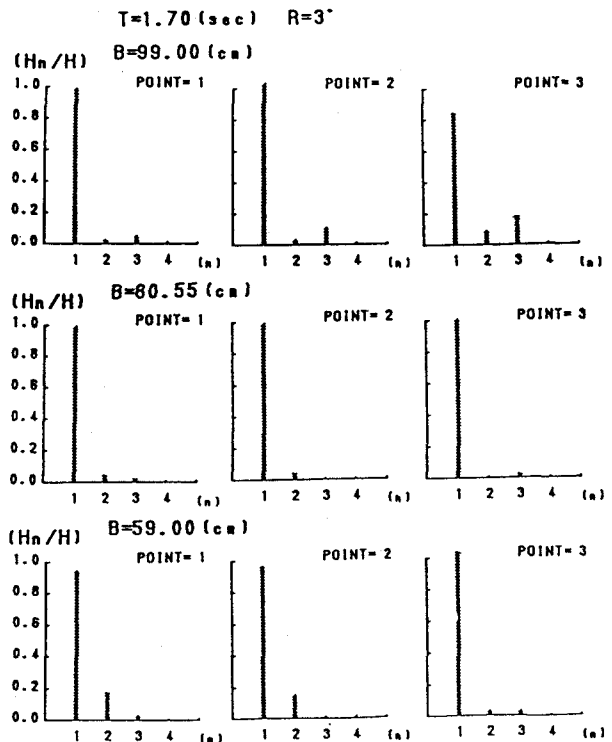


図-6 N 倍振動周波数の比

分が見られる。Bの値が80.55 (cm) よりも小さい場合には2倍振動数による乱れの成分が、顕著である。また、これらの水室内の乱れの傾向は、場所による違いも見られるために、図-6に示した例をもとに、B/Lによる乱れの傾向を知るために、図-7のようにデータを整理してみることにした。

図-7は、縦軸に基本振動波に対する解析したもとの波高の比をとり、横軸にB/Lをとりグラフ上に、プレートの振り角(R)を、 2° 、 3° 、 4° 、の場合を示した。このグラフから、水室内では、振れ角の大小による乱れの程度は異なるが、POINT 1~3のそれぞれの位置に於て、B/Lに対する乱れの傾向は一致していることが分かる。乱れの程度についてみると、水室内の位置によって大きく変わっていることが分かる。水室後壁近傍であるPOINT 1では、B/Lの値の変化に対しては波高比 H_1/H の値は、それほど大きく変化はしないが、プレートの近くであるPOINT 3では、大きな変化がみられることが分かる。さらにPOINT 3に注目すると、B/Lの値が0.25よりも小さい範囲よりも大きい範囲に於いての方が乱れはるかに大きいことが分かる。つまり短い波長の波に対しては、大きく乱れることが示されている。これらの原因としては、水室内にできる定常波が水室後壁で、腹となるように矯正されるために節にあたる位置が、造波プレートの前後になるためであると思われる。特に造波プレートの前に節ができる場合には、大きく波が乱れると考えられる。

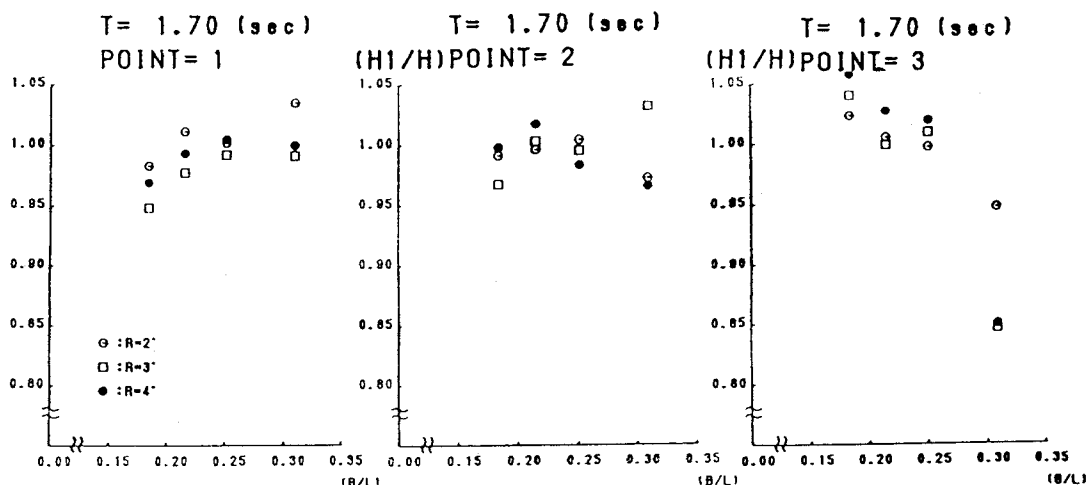


図-7 基本周波数に対するB/L

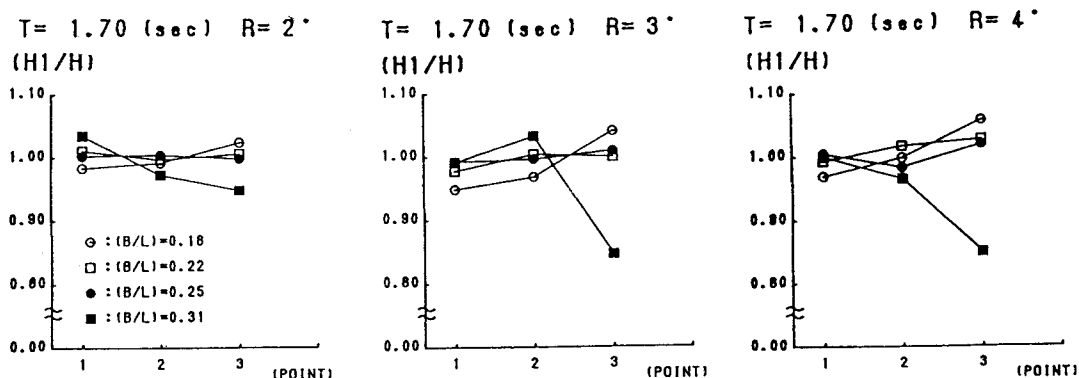


図-8 基本周波数に対する波高計の位置 (POINT)

図-8は横軸に水室内の位置であるPOINTをとり、水室内の波の場所的な変化を示したものである。図-7からも分かった通り B/L の変化によつての水室内の波の乱れ方が、プレートの振り角が大きくなるにしたがつて大きくなり、また、POINT3に於ける乱れ方が著しく、 B/L が0.25よりも小さな場合と大きな場合の乱れ方の傾向の違いがよく示されている。本研究の対象としているような水室内の定常波をプレートに作用させてエネルギーを得るタイプでは、図-7、図-8から分かるような、プレートの近くでの波の乱れは、エネルギーを得る上で、大きな損失であると思われる。本実験データからは先にも述べたように B/L の値が大きい場合には、極端に波が乱れることが分かるので、今後の研究を進める上では特に注目すべきことであると思われる。

〔結 び〕

以上の結果より次のことが判明した。

(1) 水室幅(B)と周期(T)について

短周期($h/L > 0.142$, $T < 1.7$)の場合は波長に対して $B/L > 0.25$ の時に多く高調波成分がみられ特に2倍振動波成分が多いが、長周波($h/L < 0.142$, $T > 1.7$)のときは $B/L < 0.25$ で多く高調波成分がみられ、特に3倍振動波成分が多い。

(2) 振り角(R)について

乱れの程度は異なるが、傾向は B/L とTの傾向にほぼしたがう。

(3) 理論波形と実験結果について

$B/L = 0.25$ では、ほぼ波形が一致するが $B/L = 0.25$ より外れるにつれて水室内波形に高調波成分が強く出現し両者の差が大きくなる。

今回は、実験データを中心とした考察を行なったが、今後は、これらの実験データを裏づける理論を確立するとともに、得られた波形をもとに、プレートの運動に対する影響を考察し、理想的な水室の寸法、及び形状を求める資料としていきたいと考える。

終わりに、今年度の本研究実験装置について本学第2部機械工学科の渡部富治教授と前本学研究生ANTONIO MENDES博士の協力を深く謝意を表します。また、実験及びデータ整理に対して、本学4年目の多田和弘君と山本敏之君の惜しみない協力に深く感謝致します。

〔参考文献〕

- (1) 近藤、谷野、渡部、奥田、土手：「室蘭工業大学に於ける波浪エネルギー利用研究(1976～1986)の総括」(室蘭工大、1985)
- (2) 近藤、竹田：消波構造物(森北出版、1983)
- (3) 合田、鈴木、岸良、菊地：「不規則波実験における入・反射分離推定法」
- (4) 浅野：「岸壁部に設けられた振り子式波浪エネルギー回収装置の効率について」(日本造船学会水槽委員会 第二部会 1980)