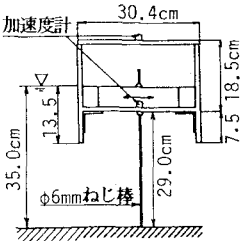


カーテン防波堤の波による振動応答と消波効果について

愛媛大学工学部 正員 中村孝幸

1. まえがき: 既に著者¹⁾は、箱型カーテン防波堤の波浪動揺並びにそれに伴う消波効果の変動などの算定法を波浪ポテンシャル理論に基づき明らかにしてきた。ここでは、このカーテン防波堤の支持脚柱の剛性を各種変化させ、消波効果に及ぼす構造動特性の影響を検討すると共に静的状態時における消波特性を踏まえたカーテン防波堤の動特性の設定法について考察したものである。

2. 箱型カーテン防波堤の模型の概略: 模型堤体の断面は、図-1に示すもので、水底より全部で5本の鋼棒により片持梁形式で支持した。支持棒には、堤体を強制的に沈め込むことにより発生する余剰浮力を利用して初期張力 S_0 を与え、支持系の剛性を高めると共に上下揺が発生しないようにした。模型堤体の諸量を表-1に示す。



3. 振動方程式: 箱型カーテン防波堤の重心 G の水平変位 X_1 (Sway)およびそのまわりの回転変位 X_2 (Roll)を考える。水平波力を F_1 、 G まわりの波力モーメント F_2 とすると、水平、回転方向の振動方程式は次のように略記できる。

$$M \ddot{X}_1 + \sum M_{v1j} \ddot{X}_j + \sum N_{v1j} \omega \dot{X}_j + \sum K_{1j} X_j = F_1 \quad (1)$$

$$J \ddot{X}_2 + \sum M_{v2j} \ddot{X}_j + \sum N_{v2j} \omega \dot{X}_j + \sum K_{2j} X_j = F_2 \quad (2)$$

ここに、 M : 堤体の質量、 J : 堤体の慣性モーメント、 ω : 波の角振動数($=2\pi/T$, T : 周期)である。また、各式の第2~4項は、 j 方向への運動に基づき i 方向に作用する付加質量力、流体減衰力および復元力を各々表す。なお、復元力項の K_{ij} は、支持脚柱の剛性および静水力学的な効果の両者を考慮して求められる。

4. 作用流体力の特徴および振動応答: 図-2は、代表例として箱型カーテン防波堤に作用する動的流体力(付加質量力、流体減衰力)の波浪ポテンシャル理論¹⁾による算定結果を示す。図中では、これら流体力を無次元化して、作用波の周期による変動で表すもので、周期に関する無次元量としては $\omega^2 d/g$ (d : きつ水)が採用してある。これらの図より、流体減衰力係数 C_{D11} は、 $\omega^2 d/g=0.5$ 付近でピークを示すことや、水平方向への付加質量係数 C_{M11} は、 $\omega^2 d/g$ が小さく長周期波になるほど増加することなどがわかる。そしてこのような C_{M11} の変動は、振動系における質量の変動を意味し、その動特性も作用波の周期により変動することになる。次に図-3は、応答変位 X_1 、 X_2 の算定結果と実験結果との比較を示す。この図に見られるように、 $\omega^2 d/g=0.3$ 付近で各方向への応答はピークを示し、共振点に対応していることがわかる。なお詳細は後述するが、このピーク付近は水平動揺の共振状況下にある。そして応答変位は、波浪ポテンシャル理論および上記の振動方程式に基づきほぼ算定できるものと言えよう。また、図-4は、このような振動時における透過率 C_T の算定結果を示すもので図中には比較のため動的な効果を無視した場合の静止時の

表-1 カーテン防波堤の諸量

堤体幅 B	30.4cm	初期張力 S_0	12.2kgf
堤体長 λ	200cm	重心位置 Z_G	堤体下より12.5cm
きつ水 d	13.5cm	柱の剛性 EI	$2.7 \times 10^4 \text{ kgcm}^2$
重量 W	27.6kgf	回転半径 R_y	13.3cm
質量 W_0	39.8kgf	回転半径 R_z	63.5cm

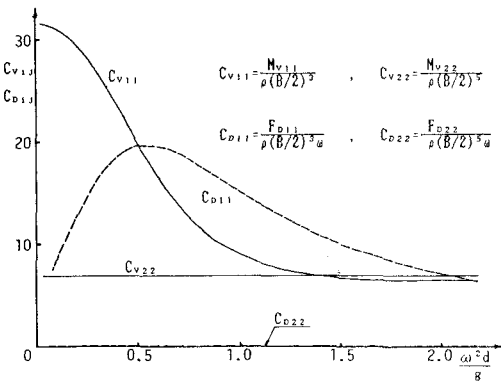


図-2 カーテン防波堤の動的流体力係数

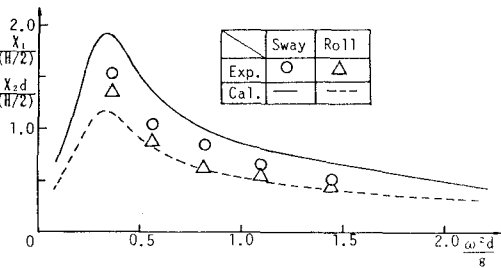


図-3 カーテン防波堤の振動応答

C_T についても付記してある。この図より振動時の C_T は、共振点のまわりおよびそれ以下の長周期波側では静止時の C_T よりも小さくなっているのに対して、 $\omega^2 d/g$ の大きな短周期波側では逆に増大していることなどが認められる。そしてカーテン防波堤の消波効果は、このように共振点の位置により大きく変動するもので、その設定法について十分検討する必要があるものと考えられる。以下では、静止時において反射率と透過率とが等しくなる波周期 T_0 に着目して、振動系の固有振動周期 T_n をどこに設定すべきかを理論的に検討してみる。

表-2 振動特性 ($T_0=1.35\text{sec}$)

5. 構造動特性による

消波効果の変動：上述し

てきた実験時における

Swayの固有振動周期 T_{n1}

は、 T_0 にほぼ等しい条件

になっていたことから、

ここでは新たにそれらの比が小さな場合（剛構造）および

大きな場合（柔構造）の両者を採用した。なおこれらの条

件は、支持脚柱の剛性を大小に変化させて実現せしめた。

表-2に一括してこれら振動系の動特性を示す。表中の

CASE(A)が上述した実験時のもの、CASE(B), (C)が各々剛構

造および柔構造の場合に対応している。図-5は、各構造

条件におけるSway応答の変化を上述した T_0 と T との比を横

軸にとり示す。この図から、CASE(B)の場合、振動変位は

相当小さく、その周期による変動も波力のそれとほとんど

同じで動的な効果は無視できる状況にある。一方、CASE(C)

の場合、CASE(A)に比較してSwayの共振点は、 T_0/T の小さ

な長周期波側に移行すると共にその増幅率も5倍程度に増

加し、動揺がかなり大きくなることがわかる。また図-6

は、このような振動時における透過率 C_T の比較を図-5と

同様にして示す。図中には、静止時における C_T についても

付記した。この図より、CASE(B)の場合、消波効果は静止

時とほぼ同様で T_0/T の小さな長周期波側ではその効果は少

少なながら向上している。そして、CASE(C)の場合、図-6

に見られるSwayとRollの共振点付近で消波効果消波効果は

向上しているもののその他の領域では逆に C_T は増大してい

ることなどがわかる。またCASE(A)~(C)を含めて、作用波の周期 T が第1次共振点であるSwayの固有振動周

期よりも大きな領域では、消波効果は静止時よりも向上するものと言える。以上の検討より、カーテン防波

堤の動特性は、剛構造型のものにすることが望ましく、具体的にはSwayの固有振動周期 T_n を、静止時の反射

率と透過率とが等しくなる波周期 T_0 よりもかなり小さくする必要があるものと結論される。そしてこの T_0

は、剛構造型か柔構造型かを判定するための重要な量と考えられる。

＜参考文献＞ 1)中村他：斜波中における任意断面物体まわりの波浪変形の算定法、海洋開発論文集、Vol.

3, pp. 65~70, 1987.

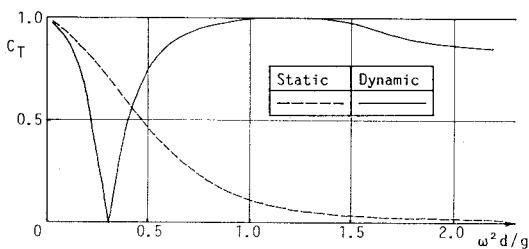


図-4 振動応答による透過率の変化

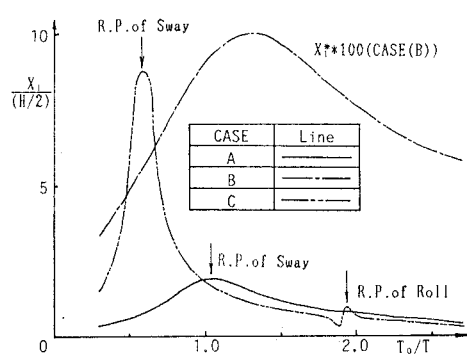


図-5 各動特性時の振動応答

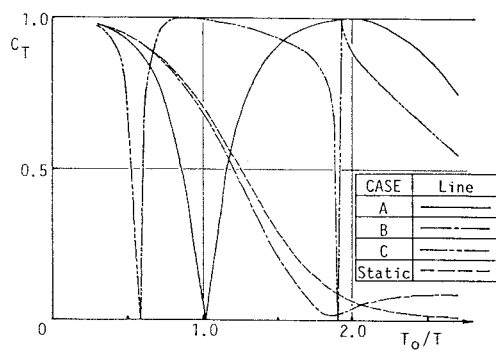


図-6 各動特性時の透過率