

## 浮体式防波堤の波浪動揺とその消波効果に関する研究

愛媛大学工学部

三井共同建設コンサルタント(株)

正員○中村 孝幸

佐藤 弘

1. まえがき：従来の浮体式防波堤は、消波機構として主に堤体の固定時における波の反射機能や渦流れなどの生起によるエネルギー消散機能を利用したものが多く、堤体幅のほぼ5倍以上の波長を有する比較的長周期の波に対して消波効果はほとんど期待できないものとなっている。ここでは、浮体式防波堤による消波機構として、従来あまり知られていない堤体の動揺に伴う発散波の活用法について検討するものである。

2. 実験装置および実験方法：(1) 模型堤体：模型堤体は、図-1に示すものである。そして堤体前後のカーテン壁のきつ水 $d$ は、その差異による付加質量の変動が考慮できるように13.5cmと20cmの2種類を採用した。そして模型堤体は、図-1に見られるように鋼製の丸棒2本ないし3本により片持梁形式で弾性支持した。支持鋼棒の直径 $\phi$ は、3種類のものを用い、支持柱の剛性(EI)を柔から剛へと変化できるようにした。(2) 実験方法：実験は、支持脚柱の剛性およびカーテン壁のきつ水を表-1に示すように各種に変化せしめ、堤体による反射波、透過波および堤体の水平動揺変位(Sway)、回転動揺変位(Roll)を測定した。なお、表-1中に示す無次元量  $W/(EI/l^2)$  は、堤体重量 $W$ が支持柱に水平方向に作用したときのたわみ角に比例する量を表し、ケース(A)が本実験の範囲内で最も柔な支持系に、またケース(D)、(E)が最も剛なそれになっている。静水深 $h$ は、各実験ケースを通して40cmと一定にした。堤体に作用せしめた波の周期 $T$ は、0.65~2secの範囲の14種類、入射波高 $H$ は、5cmと10cmの2種類(砕波する場合を除く)とした。なお、この作用波の周期の範囲は、浮体式防波堤の消波性能を示すのによく使われる無次元量  $L/B$  ( $L$ ：波長、 $B$ ：堤体幅)で表すと、2~12.5の範囲に相当する。

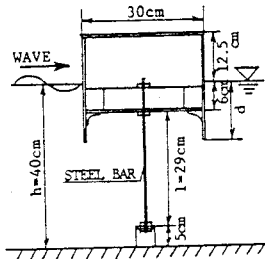


図-1 模型堤体の断面

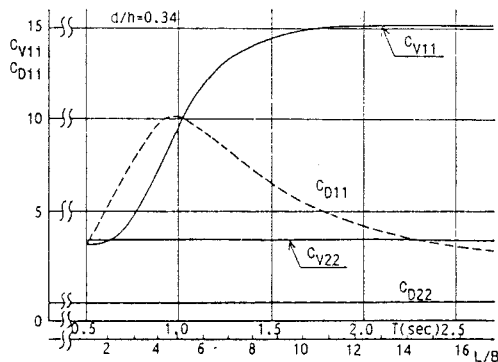
3. 算定法の概略：堤体による波変形や動的流体力係数等は、既に著者らの中の1人<sup>1)</sup>が明らかにしているGreen関数法に基づき算定した。また堤体の動揺変位は、水平変位 $X_1$ とそのまわりの回転角変位 $X_2$ を考慮した自由度2の振動モデルに基づき求めた。

4. 動的流体力係数の特性：堤体が流体中で動揺する場合、よく知られているように振動する質量および慣性モーメントは付加質量の効果により増大することから、浮体の波浪動揺を検討する際、事前に付加質量などの変動特性を把握しておくことが必要となる。図-2は、きつ水が浅い場合の堤体の付加質量係数 $C_{v11}$ および造波減衰係数 $C_{D11}$  ( $i, j=1, 2$ ; 第1添字が力の方向、第2添字が変位方向を各々表す)の周期および上記した $B/L$ による変動を表す。この図より、Sway方向の付加質量係数と造波減衰係数は、周期により大きく変動するのに対して、Roll方向のそれらはほぼ一定値を示すことがわかる。そして、Sway方向の付加質量係数 $C_{v11}$ は、 $L/B=5$ 付近を中心に急増しており、その絶対値は5倍程度も変化することが認められる。なお、堤体のきつ水をさらに深くすると各流体力係数の絶対値は倍増することや $C_{v11}$ の急増する周期の範囲は拡大することなどを確認しており、ここに付記しておく。

5. 動特性に伴う消波効果並びに動揺変位の変化：図-3は、支持脚柱の剛性を表-2のケース(A)、(C)、(D)と変化させたときの透過率 $C_r$ の算定結果を一括して示すものである。なお図中には比較のため、固定時における透過率についてもプロットしてある。

表-1 支持系の剛性およびきつ水の条件

| ケース | $W/(EI/l^2)$ | $d/h$ | 支持条件                           |
|-----|--------------|-------|--------------------------------|
| A   | 1.145        | 0.34  | $\phi 6\text{mm} \times 2$ 本   |
| B   | 0.763        | 0.34  | $\phi 6\text{mm} \times 3$ 本   |
| C   | 0.456        | 0.34  | $\phi 7.5\text{mm} \times 2$ 本 |
| D   | 0.117        | 0.34  | $\phi 9\text{mm} \times 2$ 本   |
| E   | 0.124        | 0.50  | $\phi 9\text{mm} \times 2$ 本   |

図-2 動的流体力係数 ( $d/h=0.34$ )

また図-4は、これらケースの場合の堤体の水平動揺変位 $X_1$ の算定結果を示す。まず、最初にこれらの図中のケース(A)の結果に着目すると、従来の研究<sup>2)</sup>で知られているように、堤体が共振応答を示す近傍では、堤体の動揺による発散波が固定時における透過波と逆位相関係となるように発生することから、透過率 $C_T$ は0に近く効果的に消波されていることが認められる。しかしながら、Sway変位が最大となる共振点より短周期波側では、 $C_T$ は急激に増加するなど大きな副作用効果も現れている。またこの場合、 $C_T < 50\%$ となる波条件は、ほぼ $6.5 < L/B < 8.5$ の範囲にあり、消波できる波の周期の範囲はかなり狭いことがわかる。ここでは、このような短所を改善するため、消波効果の良い共振動揺に近い状態を持続させることにより、制御可能な波の周期帯が拡大できるかについて検討してみた。この際、共振動揺を持続させる機構として、上述したSway方向の付加質量が、特定の周期帯で振動周期と共に増大する特性に着目してみた。すなわち、振動質量の大部分を占める付加質量が波周期と共に増大すると振動系の固有振動周期 $T_0$ も増大し、共振状態が持続しやすくなることを利用するものである。このような試みの妥当性を理論的に検討したのが図-3であり、Sway方向の共振点を $C_{v11}$ の周期による増大変化率が最大となる位置に設定したケース(D)の場合が、 $C_T < 50\%$ となる波の周期帯が最も広がっていることがわかる。そして、この有意な消波効果が認められる波の周期帯は、短周期波側に移行するものの、ケース(A)、(C)、(D)の順に拡大しており、上述したような共振持続の効果が現れているものと判断される。このことは、図-4に示すSway変位 $X_1$ の周期による変化が、ケース(A)、(C)、(D)の順に緩やかになり、ケース(D)の場合有意な消波効果が認められる周期帯で $X_1$ はほとんど平坦なピークを示すことからわかる。また、図-5、6は、このような理論的な検討結果の妥当性を実験結果との比較から検証するもので、各々ケース(D)およびきつ水を深くしたケース(E)の場合の $C_T$ を示す。そしてこれらの図から、ケース(D)や(E)のような動特性の設定を行うと、共振状態の持続現象に基づき消波可能な波の周期帯が拡大できることが実験的にも確認できる。また、 $C_T < 50\%$ となる領域は、ケース(E)の場合で最も広く、ほぼ $2 < L/B < 10$ の範囲にわたることも認められる。

6. 結語：以上の検討より、浮体式防波堤の固有振動周期を波周期に伴う付加質量の増大領域に設定すると、共振応答の持続現象により、長周期波を含む広い周期帯の波の消波が可能になることなどが判明した。

<参考文献> 1) 中村他：斜波中における任意断面浮体まわりの波浪変形の算定法、海洋開発論文集、第3巻、pp.65~70, 1987。 2) 井島他：有限水深の波による矩形断面物体の運動と波の変形、土木学会論文報告集、第202号、pp.33~48, 1972。

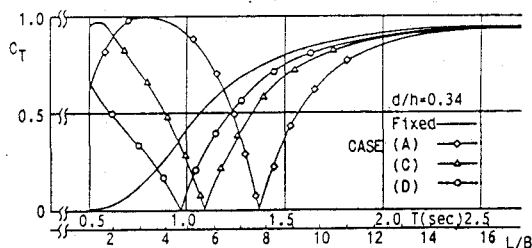


図-3 動特性に伴う透過率の変化

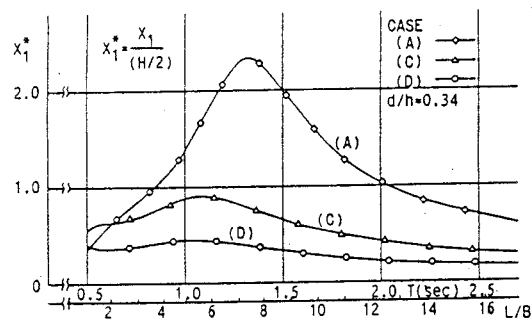


図-4 動特性に伴う水平動揺変位の変化

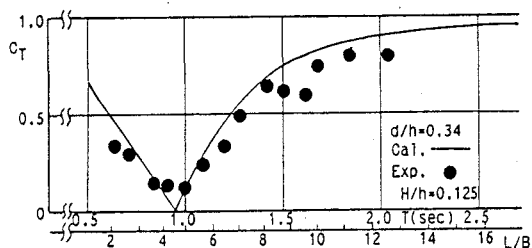


図-5 実験ケース(D)の透過率

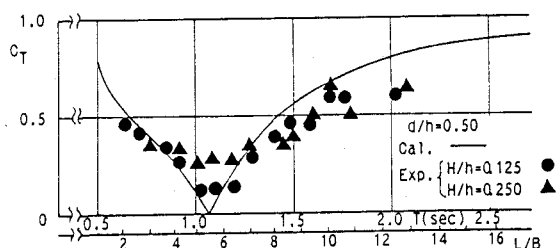


図-6 実験ケース(E)の透過率