

回転動揺型浮防波堤の波浪制御効果について

愛媛大学工学部 正員 中村 孝幸
三井造船(株) 正員○川村 善郎

1. まえがき: 近年になり、浮体式防波堤による長周期波の制御を目的として、堤体の動揺による発散波を利用しようとする動向が見られるようになってきた。これは、原理として、堤体の固定時における透過波と堤体の動揺による発散波との位相干渉を利用して、動揺時の透過波を低減しようとするもので、特に浮体が共振動揺する場合に効果的であることなどが知られている¹⁾。既に著者らの中の一人¹⁾は、カーテン壁を有する浮体の場合、付加質量が動揺周期と共に急増する周期帯があり、この周期帯では共振動揺が持続しやすいため、効果的な透過波の制御が可能になることなどを明らかにしている。

本研究も、このような堤体の動揺による発散波を利用して、浮体式防波堤による長周期波の制御を進めようとするものである。ここでは、堤体として、付加質量の急増する周期帯が拡大すると推定される深吃水のカーテン壁構造で、しかも大水深海域での建設に適すると考えられる水底ヒンジ支持の回転動揺型浮防波堤を新たに提案した。そして、このような浮防波堤による透過波の制御効果を、主に動揺付加質量の変動特性に伴う共振の持続現象に着目して検討するものである。

2. 解析モデルと振動方程式: 本研究で対象にした回転動揺型浮防波堤の概略を図-1に示す。この浮防波堤は、上部の箱型の浮力体と、その下部に設けたカーテン壁により構成されている。堤体の中央部には、水底まで伸びる剛な柱があり、その柱は、ヒンジ支持で海底地盤あるいは重力式のアンカーに連結されている。なお、この浮防波堤は、上部浮力体の浮力により、自立するものとし、付加的に係留索により側面支持されている。ここでは、支持柱を含むこのような浮体を剛体と仮定し、この剛体が波の作用により水底のヒンジ点まわりに回転振動のみを行うものとして、自由度1の回転振動系にモデル化した。

このような回転振動系の振動方程式は、水底のヒンジ点まわりの慣性力、減衰力、流体力によるモーメントの釣合を考慮して、次式のように導ける。

$$(I + C_A \rho R_B^5) \ddot{\theta} + (C_W \rho \omega R_B^5 + C_S) \dot{\theta} + K \theta = M_W \quad (1)$$

ここに、 I : 浮体のヒンジ点まわりの慣性モーメント、 C_A : 付加慣性モーメント係数、 C_W : 造波減衰モーメント係数、 θ : 浮体のヒンジ点まわりの角変位、 K : 浮体の静水力学的な復元力モーメント、係留索による復元力モーメントならびに浮体の自重による転倒モーメントを含めた回転方向のばね定数、 C_S : 構造減衰、 M_W : 平衡位置の浮体に作用する波力によるヒンジ点まわりのモーメント、 ω : 作用波の角振動数で、周期 T との間に $\omega = 2\pi/T$ の関係がある。また、 R_B : 浮体の代表長さで堤体幅 B の $1/2$ に相当する量、 ρ : 流体密度である。

式(1)で表される振動系の固有振動周期 T_n は、概略的に第一項の慣性モーメント(付加慣性モーメントを含む)の平方根に比例することから、 C_A が作用波の周期と共に増大するならば、振動系の固有振動周期も増大し、共振動揺が持続するものと推定される。

本研究では、 M_W や C_A などの算定は、浮体まわりの波動場が線形波動理論で表現でき、しかも振動変位が微小なものと仮定して、線形波浪ポテンシャル問題の解析法¹⁾に基づき行った。

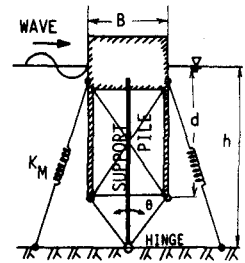


図-1 模型堤体

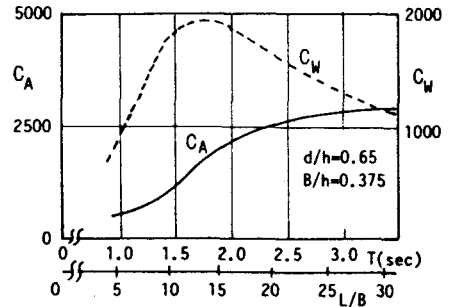


図-2 2枚カーテン壁型堤体の C_A 、 C_W

3. 動的流体力係数: 図-2は、上記した C_A 、 C_W の波周期(=T)および波長堤体幅比(=L/B, L:波長)による変化を示す。ここで、堤体の断面形状としては、上部浮力体の前後壁をそのまま水底方向に引き伸ばした2枚カーテン壁型堤体のものが示してある。そして、これら堤体の総喫水と水深の比(d/h)は0.65で、上部浮力体の喫水と水深の比(d'/h)は0.075になっている。これらの図より、動的流体力係数 C_A 、 C_W は、波周期と共に増大する周期帯のあることが認められ、上記したような共振動揺の持続現象が出現する可能性のあることがわかる。

4. 回転動揺変位と透過率: 図-3、4は、上記の2枚カーテン壁型堤体の回転動揺変位角の実験値と算定値の比較を示す。これらの図では、係留系の回転ばね定数 K_H が異なり、図-4が、共振点を図-2に示す動的流体力係数の周期による増加が著しい周期帯に設定した場合に相当している。そして、これらの図では、変位角として、次式で定義される入射波振幅(=H/2)で除した変位角Xで表してある。

$$X = \theta R_B / (H/2) \quad (2)$$

これらの図より、動揺変位角の実験値と算定値は、周期に伴う変動特性を含め、概略的に一致していることが認められる。また、図-5、6は、それぞれ図-3、4のような回転動揺が生じている場合の透過率 C_T を示すもので、図中には比較のため、固定時における透過率の算定結果についても併せ示してある。これらの図と、図-3、4との比較から、透過率は動揺変位角が大きくなる共振点付近で極小値を示すことがわかる。また、図-5と図-6の比較から、透過率は、共振点を動的流体力係数の周期による増加が顕著な周期帯に設定する方がより小さくなることなども認められる。そして、本研究で提案した回転動揺型の浮防波堤は、透過率が50%以下となるようなL/Bの範囲が5~23程度とかなり広く、従来の浮防波堤に比較すると、長周期波の制御機能が格段に向上しているものと言えよう。

5. 結語: 2枚カーテン壁を有する回転動揺型の浮防波堤は、動揺による発散波を利用して、波長が堤体幅の20倍程度の比較的長周期の波まで有効に制御できることなどが判明した。

参考文献 1) 中村孝幸: 浮遊式防波堤の動特性と消波効果について、海洋開発論文集、第4巻、1988。

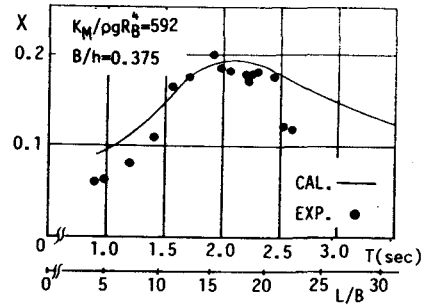


図-3 回転動揺変位 ($K_H / \rho g R_B^4 = 592$)

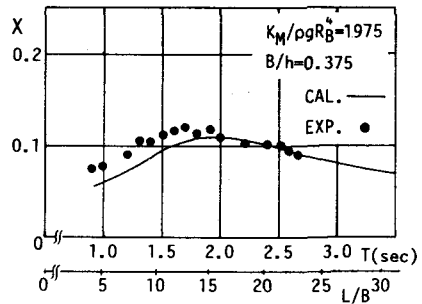


図-4 回転動揺変位 ($K_H / \rho g R_B^4 = 1975$)

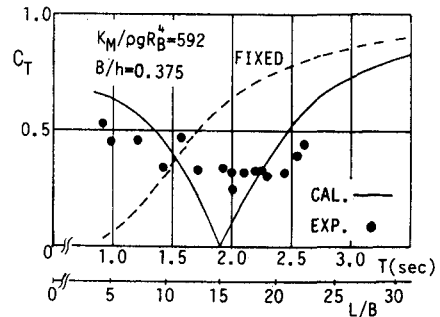


図-5 透過率 C_T ($K_H / \rho g R_B^4 = 592$)

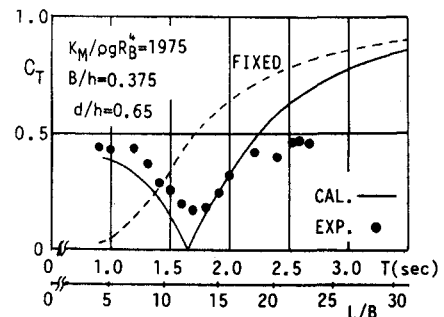


図-6 透過率 C_T ($K_H / \rho g R_B^4 = 1975$)