

I - 163

防波堤・護岸の耐震性に関する研究—捨石マウンドの水平ばねと回転ばねについて—

東海大学 大学院 学生員 ○町田幸成

（財）電力中央研究所 正会員 栃木 均

1. はじめに

防波堤・護岸の耐震性については、建設地点で想定される大地震に対しての動的な挙動を精度良く予測し、それらを反映させた設計が必要となる。大地震時の挙動としてはケーソンの滑動や捨石マウンド、裏込めの沈下等が考えられるが、これらの挙動の評価においては解析手法や消波ブロック等のモデル化の問題と並んで解析に用いる物性値の問題が重要な課題となる。中でも、マウンドや裏込め等の捨石に関しては、粒径が大きい、そのままの粒度で室内試験を行うことは不可能に近く、また、海底に建設されるため現地での計測も困難であり問題も多い。

ここでは、地震観測や起振実験等により捨石マウンドのせん断剛性の評価を行うことを念頭に置き、ケーソン堤の動的な振動特性を反映させた捨石マウンドの水平ばねと回転ばねを新たに誘導した。それらのばね定数によりケーソン堤の振動特性の評価を行い、FEMとの比較検討を行った例について報告する。

2. 捨石マウンドのばね定数の誘導

図1の検討断面を対象として、文献1)の方法により、ケーソン・マウンド系を水平ばねと回転ばねをもつロッキングモデルにモデル化した。モデル化の方法は、ロッキングモデルの運動エネルギーとポテンシャルエネルギーが元のケーソン・マウンド系のものと等価となるように、ばね定数を定めるものである。図2にはロッキングモデルの概要を示し、以下にマウンドばねの評価式を示す。

$$K_H = \frac{B^* L}{h} G \quad (1)$$

$$K_R = \frac{B_c B^* L}{12h} G \left\{ \frac{2h^2}{B_m} + \frac{2(1-\nu)}{1-2\nu} B_c \right\} \quad (2)$$

ここに、 G 、 ν は捨石マウンドのせん断剛性とポアソン比、 L は奥行き長さであり、その他の記号は図2に準ずるものとした。

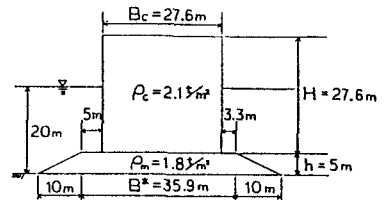
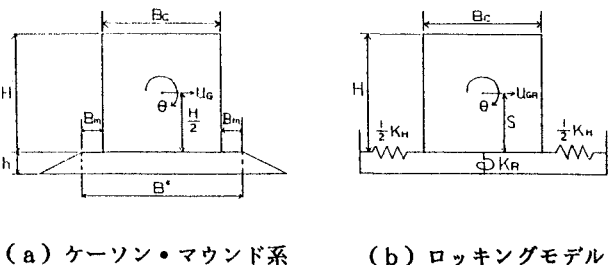


図1. 検討の対象とした防波堤モデル

3. 他の地盤ばねとの比較

ここで誘導したばね定数と地盤ばねとして通常用いられている田治見の地盤ばねとの比較を行った。田治見の地盤ばねでは、マウンド厚さ h と等しい層厚を持つ2層地盤を設定し、第2層のせん断剛性 G_2 を無限大として成層補正を行っている。図3に検討結果を示す。双方のばね定数は水平方向ではほぼ等しくなるが、回転方向に関しては、本手法によるばね定数は田治見の地盤ばねよりも1桁程度小さくなる傾向にある。これらの結果は、マウンドばねを層厚の等しい地盤ばねとして評価する場合、水平ばねは良好に評価できるが、回転ばねは過大な評価となることを示している。



(a) ケーソン・マウンド系

(b) ロッキングモデル

図2. ケーソン・マウンド系のモデル化

4. FEMとの比較・検討

本手法によるマウンドばねの妥当性について検討するため、ロッキングモデルとFEMにより、図1のケーソン堤の固有振動数と振動形を求め、それらの比較・検討を行った。検討の対象は水の無いケーソン・マウンドの基本系であり、海底地盤の影響は考慮しないものとした。FEMでは底面固定の境界条件により解析を行い、ロッキングモデルでは、スウェイ、ロッキングの2自由度系の運動方程式を立てて、理論解を求めた。FEMによる固有値解析の結果を図4に示す。同図によれば、ケーソン・マウンド系の振動形は1次については下心ロッキング、2次については上心ロッキングとなることが示されている。これらの内、1次の固有振動数と振動形を対象とし、マウンドのせん断剛性とポアソン比を種々変えて、FEMとロッキングモデルの結果を相互に比較した。比較の結果を図5、6に示す。

これらの結果によれば、双方の関係は良好であり、ケーソン堤の固有振動数、図5については、FEM、ロッキングモデルとも共通して、マウンドの V_s と共にほぼ直線的に増大する傾向が示され、ポアソン比によってほとんど変化しないことがわかる。ケーソンの上端と下端の応答比 $A1/A2$ 、図6については、双方ともポアソン比が増加するにつれて減少する傾向が認められ、マウンドの V_s による変化はきわめて小さいことが示されている。

以上の結果は、ここで誘導したロッキングモデルがケーソン堤の振動特性を良好に表現し得るモデルであることを示している。今後、海底地盤や水の影響を考慮し、実防波堤への適用を図る考えである。

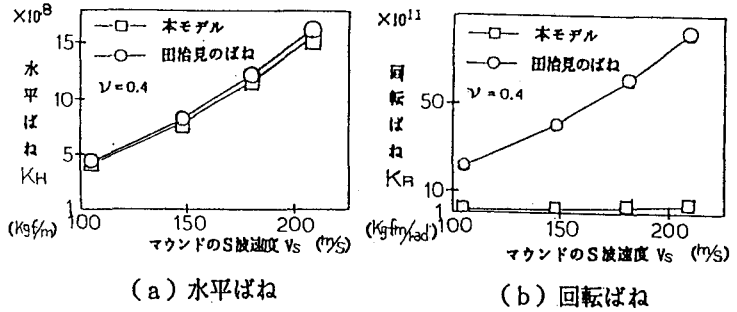


図3.ばね定数の比較

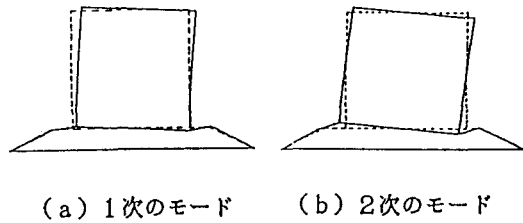


図4.FEMによる振動形

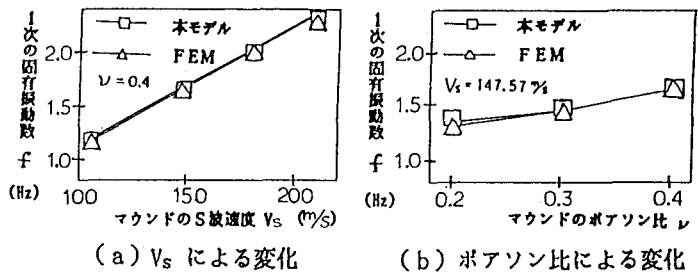


図5.ケーソン堤の1次の固有振動数

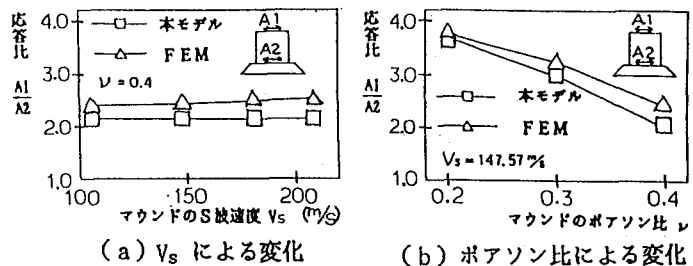


図6.ケーソン堤の上端と下端の応答比 ($A1/A2$)

- 参考文献 1) 栃木 均:防波堤・護岸の耐震性に関する研究-ケーソン堤の模型振動実験と個別要素法による数値シミュレーション、電力中央研究所報告
2) 金井 清、田治見 宏、大沢 畔、小林 啓美:建築振動学体系I 地震工学 p72~p92