

波浪外力に対する混成防波堤の動的計算に関する数値計算

○雨森洋司・高山知司・金泰民・永江大成

1. はじめに

防波堤は外洋からの波を遮断し港内を静穏に保つために建設されるが、外洋からの波に直接さらされるため、毎年被害を受けている。その被害額は多大であり、建設費も非常に高いため、経済的でより安全な防波堤の開発が要請されるようになってきている。

防波堤の被災事例を調べると、滑動による被害が大半であるが、滑動以外の被災が約 30%もある（高山・東良，2002）。これを考えると、滑動だけで防波堤の安定性を検討しても不十分であるといわなければならない。

堤体の大きな変形に対しても対応可能な計算方法として個別要素法（以降 DEM）がある。個別要素法は個々の要素の集合体に対して各要素が運動方程式を満足し、要素間の力の伝達が作用・反作用の法則の従うことを条件として、個々の要素の位置を逐次計算するものである。防波堤への適用としては個別要素として 2 次元解析が行われている。球形要素を用いた 3 次元解析も行われているが、円形要素では噛み合わせが十分でないために、宮田ら（2002）は楕円要素を導入して噛み合わせの改良を行っている。

また、高山・東良（2004）はマウンドに楕円要素を用い、マウンド捨石の不規則性を取り入れ、ケーソンを円形要素の剛体連結モデルを用いて表現し衝撃波力を考慮した合田式で求まる波圧を作用させる事によってマウンド上の混成堤の挙動を調べた。しかし、ケーソンは実験値と比べて大きく滑動した。これは、ケーソンに理想的な外力を作用させた事と流体抵抗力が考慮されていないためである。

そこで本論文では数値波動水路によって求められた波力を用いてケーソンの挙動計算を行い、さらにケーソンが動くことによって生じる境界流速を数値波動水路に取り入れて相互的に連成計算を行えるよう開発した。

2. 数値計算モデル

DEM においてケーソンは後藤ら（2001）の剛

体連結モデルによってモデル化した。これは連結要素を用いる方法と同じく円形要素の集合によってケーソンなどの矩形や、任意の形状を作成する手法である。ただし、連結要素のように要素どうしを間隙パネのによって結合するのではなく、ケーソン構成要素に対し、要素どうしの相対位置関係を変化させないための補正計算を行って、全体として剛体運動させるというものである。

数値波動水路は、「数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究会（代表：磯部）」が開発した自由表面解析モデルに VOF 法を用いた数値波動水路（以降 CADMAS-SURF）を用いた。ケーソンに働く波力は、ケーソンの四面に働く圧力を用いて与えた。

その後、DEM によってケーソンが移動することによって生じた流速を CADMAS-SURF の構造物境界条件に与えることによって、流体からの抵抗を考慮した。

なお、開発においてケーソンの移動量および回転量は微小であり、CADMAS-SURF の格子幅以上は移動せず CADMAS-SURF での計算時にはケーソンは移動していないという仮定を用いた。ケーソンが大変形をする場合には、カットセル法等を用いて CADMAS-SURF 側でもケーソンを移動して計算を行わなければならない。

3. 解析結果

まず DEM から CADMAS-SURF へ連携するテストケースとして、静水時からケーソンを強制振動させた。その結果、造波板のように波を発生することができた。

次に、混成堤に波浪を与えケーソンの挙動計算を行った。滑動量は波力に対応して増減しながら、次第に増大した。模型実験との比較は高山・東良（2004）が行った計算よりも比較的良く一致した。

今後は、ケーソンを一つの要素として取り扱う方法やカットセル法による大変形まで考慮した計算の開発を行う。