

第 部門 波浪外力に対する混成防波堤の動的挙動に関する数値計算

京都大学工学部	学生員	永江 大成
京都大学防災研究所	フェロー	高山 知司
京都大学防災研究所		金 泰民
京都大学大学院工学研究科	学生員	雨森 洋司

1. はじめに

資源が乏しく、四面を海に囲まれた日本にとって港湾の重要性はきわめて高い。日本国内にある多くの港湾の整備において最も重要なことは、船舶の航行や停泊の安全、係留時の荷役の安全、稼働率の向上を図るために、港内を静穏に保つことである。防波堤は、外洋からの波を遮蔽して港内を静穏に保ち、こうした船舶の安全係留と円滑な荷役を保障するために、港口部に設置される構造物である。このような防波堤は、外洋からの波に直接晒されるため、現在までに非常に多くの被災を受けてきており、防波堤の被災金額は、港湾施設の被災金額の大半を占めている。また、それと同時に、防波堤は建設コストの高い構造物であり、港湾工事における防波堤工事の金額の占める割合も非常に大きい。近年土木構造物の建設コスト削減が大きな社会的要請となっていることから、より経済的で、かつ、より安全な設計のために防波堤の設計精度を高めることが急務となっている。

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、運動方程式を解いて、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。楕円要素とは、以下の式(1)で表現される要素であり、角が丸くなった四角形のような図形である。図-1に示すように、 n が大きいほど四角形に近づく。ここで、 a, b は長径短径を表し、図-1では $a=b$ としているので $n=2$ のとき円となる。

$$\left(\frac{|x|}{a}\right)^n + \left(\frac{|y|}{b}\right)^n - 1 = 0 \quad (1)$$

また高山・東良(2004)はマウンドを楕円要素の一つとし、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てマウンド上の混成堤の挙動を調べた。

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、挙動計算を行い、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にした。

2. 数値計算モデル

DEM において剛体連結モデルによってケーソンをモデル化している。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、または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ったものである。

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に作用する波圧を合田式と比較した。すると計算結果はよく一致した。また谷本らが提案した波圧の時系列モデルとCADMAS-SURFで得られる波圧を比較したところ、谷本らの時系列モデルでは同じ波形が続くのに比べて、CADMAS-SURFを用いた波力は規則波を用いたにもかかわらず一波毎に変化している。実際の実験水路でも波力が一波毎に異なっており、CADMAS-SURFをもちいることによって、より現実的な波力を与えることができると考えられる。

そしてケーソンの挙動計算を行った。結果は図-2に示す。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)が行った計算とあまり変化はなかった。波力の影響よりも、マウンドの捨石が弾性をもっていることの影響の方が大きいと考えられる。

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。

参考文献

磯部雅彦・余錫平・梅村幸一郎・高橋重雄(1999): 数値波動水路の開発に関する研究, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.36-40

高山知司・東良宏二郎(2002): 防波堤の被災特性に関する統計解析, 海洋開発論文集, 第18巻

高山知司・東良宏二郎・金泰民(2004): 個別要素法を用いた混成堤の挙動計算, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.756-760

宮田正史・Graham G.W.Mustoe・Masami NAKAGAWA・菅野高弘(2002): 個別要素法による粒状体の荷重支持機構に関する研究, 国総研資料, 第33号

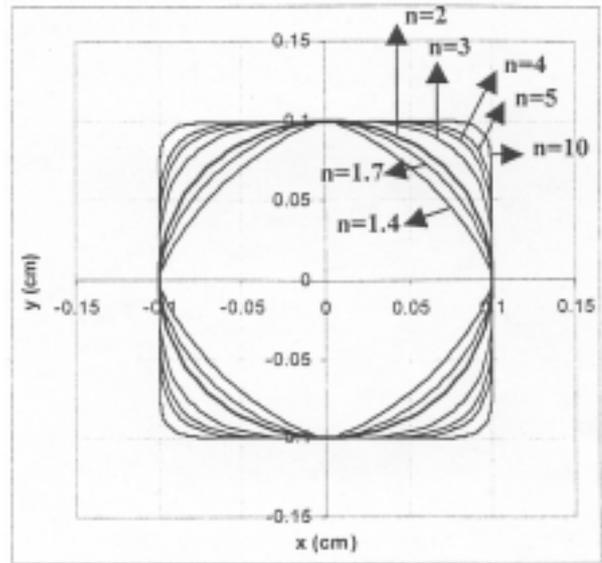


図-1 楕円要素

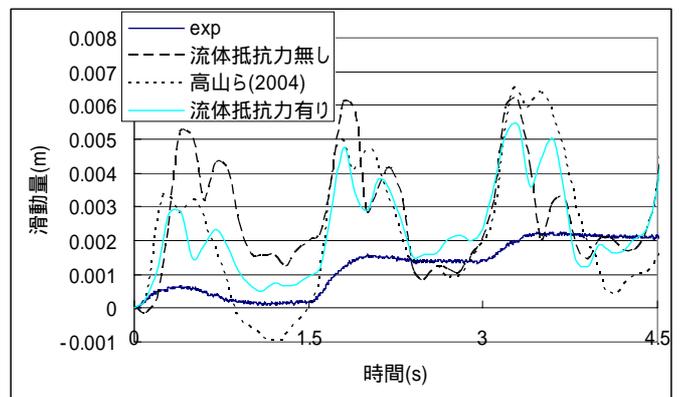


図-2 ケーソンの滑動量