

### 石積み防波堤の耐波安定性の検討

東電設計(株) 正会員○阿部 光信・中瀬 仁 東電設計(株) 小林 博  
 (財) 沿岸技術研究センター 正会員 山本 修司・森屋 陽一

#### 1. はじめに

地域の景観形成を図るための伝統的土木構造物である石積み防波堤の国内における耐波安定性検討例は少ない。本検討では、数値波動水路(VOF)と個別要素法(DEM)を組合せた数値解析モデルを用いて、波浪により被災を受けた石積み防波堤を対象とした再現計算により被災特性の考察を試みた。

#### 2. 対象事例

広島県呉市大崎下島に位置する御手洗港の石積み防波堤は、台風9119号により被災を受けている(図-1)。堤体の諸元および被災後断面は図-2のとおりであり、被災時の波浪条件は気象条件・海底勾配などから砕波限界波高2.78m、周期8.0sと推定された。

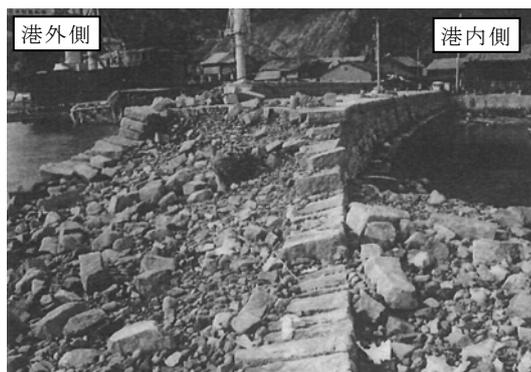


図-1

#### 3. 数値解析モデル

波浪場の解析にはVOFを、石積み防波堤の変形解析にはDEMを用い、防波堤の変形が波の場に及ぼす影響は小さいものと仮定して、予め防波堤の初期形状に対してVOFで計算した波の場(規則波)の計算結果(圧力)をDEMに入力して防波堤の変形を計算した。VOFの計算では、堤体部の水平・鉛直格子間隔を0.1mとし、中詰め石および石材の空隙率を後述のとおり設定した。海底およびマウンドは不透過とした。DEMでは、中詰め石を球要素で、石材およびパラペットの形状は複数個の球要素を組合わせて表現し、実際の工事のようにDEM要素を積み上げて初期モデルを作成した。DEMの水平・鉛直格子間隔を0.6mとし、1格子内では圧力は一律であると仮定した。

#### 4. 計算結果および考察

防波堤内への波の透過を現実的にモデル化することが困難であるため、防波堤の被災モードを幾つかに絞り、それぞれの着目点に整合した透過条件を用いて計算を行った。計算ケースを表-1に示す。計算結果にもとづく考察を以下に述べる。

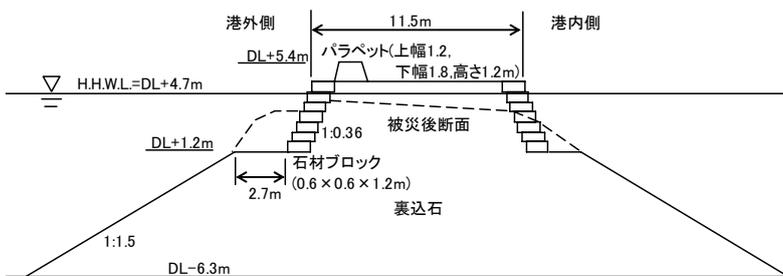


図-2

表-1

Case1: 顕著な変形は認められなかったが、石材・中詰め石・パラペットとも僅かに沖側に変位する結果となった。沖側の石材は引き波時(波の谷作用時)の負圧と中詰め石の土圧による沖向きの変位と押し波時(波の峰作用時)の波圧による岸向きの変位を繰り返して振動し、石材の変位がある程度大きくなるとともに、中詰め石の内部摩擦角が減少して円弧滑りが生じているものと考えられる。本計算では石材全体にある程度の透過率を与えているため、パラペットに作用する波力を過小評価しているものと思われる。また、波の透過により中詰め石の内部

case	着目する被災モード	計算条件	移動を許す要素
1	波の透過による防波堤内外に作用する波圧による堤体全体の要素の挙動	石材の透過性(空隙率0.4)を考慮	石材 パラペット 中詰め石
2	不透過構造物に作用する波圧による石材およびパラペット要素の挙動とそれに伴う中詰め石の変形	石材は不透過	同上
3	不透過構造物に作用する波圧によるパラペット要素の挙動	石材は不透過 パラペットに擬似的な揚圧力を作用させる	パラペットのみ

キーワード 石積み防波堤, 耐波安定性, 数値波動水路, 個別要素法

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3 東電設計(株) 土木本部 TEL03-6372-5483

摩擦角の減少が過剰に評価されている可能性がある。しかしながら、実際の防波堤も石材間には多少の空隙があり、波の透過は十分に考えられるため、このような現象が起こりうるものとする。

Case2: 波が作用すると石材が水平方向の微小振動を始め、次第に沖側へ変位する。変位がある程度大きくなると中詰め石にすべり面が生じて崩壊を始め、最終的には引き波時の負圧と中詰め石の土圧に耐えられなくなり、石材は沖側に倒壊する結果となった(図-3)。石材を不透過としているため、石材を境界に港内外での圧力が不連続となり、実際より大きな圧力差が生じるため、このような結果になったものと考えられる。また、石材の変位がある程度大きくなっても波の場は変わらないものと仮定しているため、適切な波力が構造物に作用していないことも原因の一つと考えられる。実際の現象を考えた場合、必ずしも妥当な計算条件とは言えないが、一つの被災モードとしての可能性が示されたと考える。

Case3: 防波堤に作用する波圧は揚圧力を除いてケース2と同じであるが、石材と中詰め石は移動しないと仮定したため、作用する波力でパラペット単体の挙動が推定できる。図-4よりパラペットは一波あたり最大1cm程度岸向きに滑動していることがわかり、パラペットが高波浪により作用する水平力および揚圧力で岸側に移動するモードが確認できる。このときのパラペット要素に作用する鉛直力と水平力(要素にかかる力の総和)は、岸向きの水平力と上向きの鉛直力が卓越してパラ

ペットの移動が生じたことが確認できる。また、上向きの鉛直力が発生していることから、パラペットは瞬間的に浮き上がる状態になることも確認できる。以上のように、越波を伴うような高波浪により、パラペットは重力および摩擦抵抗力よりも大きい波力を受け、その結果として滑動することが示された。

## 5. まとめ

VOF-DEMの組合せモデルを用いて石積み防波堤の被災に関する再現計算を試みた。解析では実際の条件をモデル化することが困難であったため、防波堤の被災モードを幾つかに絞り、それぞれの着目点に整合した計算条件を用いて計算を行った。この結果、対象とした事例に対する被災モードを特定するには至らなかったが、沖側石材の沖向き変位と中詰め石の円弧滑り、ならびにパラペットの岸向き変位が確認された。また、VOF-DEMはこの種の検討にも十分適用可能なツールであることが示されたが、適用に際して以下の課題が明らかとなった。①石材を透過する波の程度が不明であり、防波堤内外に作用する波力を正確に評価するには現実的な条件設定が必要である。②要素の変位がある程度大きくなった場合にはVOFの再計算が必要であり、DEMとVOFの相互作用を時々刻々考慮できるモデルを構築する必要がある。

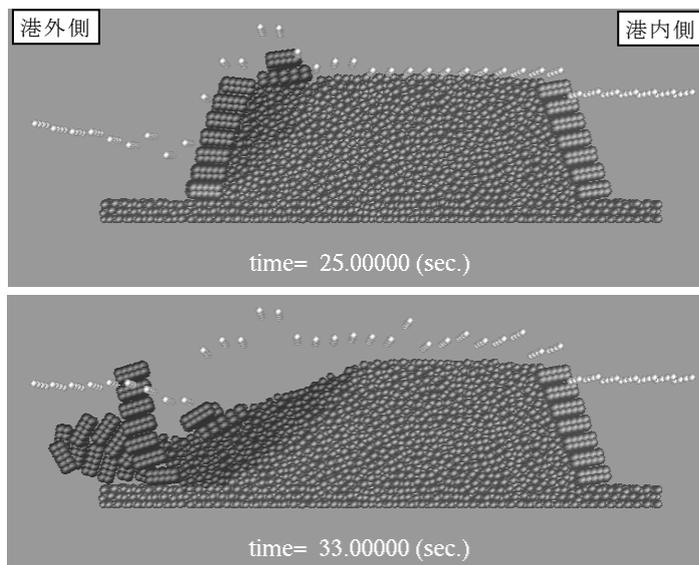


図-3

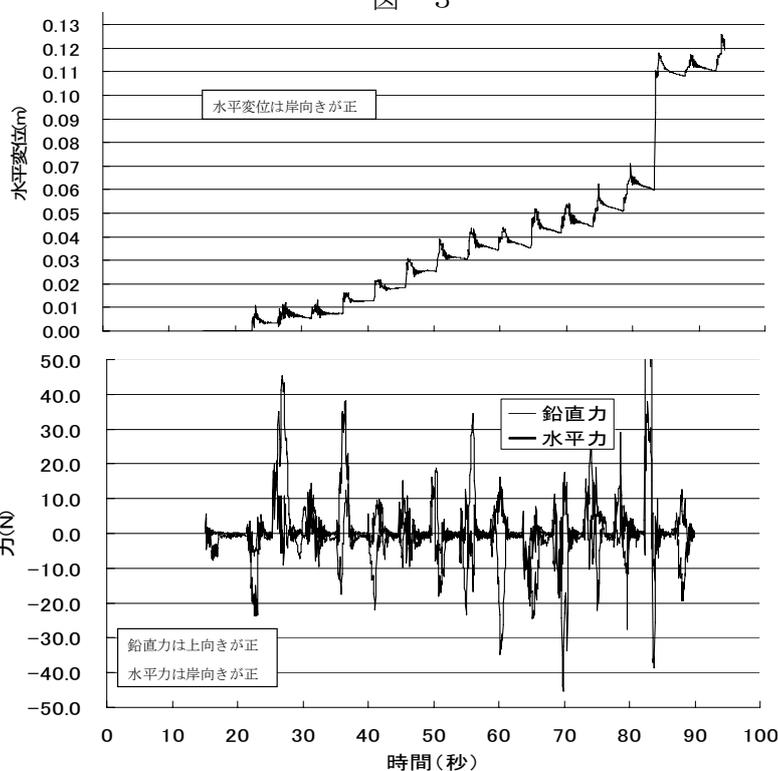


図-4