

VI-107 波浪による繰り返し载荷状態を考慮した混成堤安定解析手法について

(株)間組 正会員 内田 雅博
須田 清隆
前河 泉

1. まえがき

従来の混成堤の設計法は、微小変形理論による応力解析(弾性・弾塑性)の領域において取り扱われてきた。しかし、比較的荒い海洋に作られた混成堤が大きな波浪を受けた場合、次のような挙動を示す場合がある。

- ① 波浪力により堤体は傾き、捨石マウンドで一点支持状態でのロッキング現象が起こる。
- ② 上記現象が発生した場合、堤体支持点付近の捨石マウンドは応力集中により高応力状態となり、部分的に破壊状態が発生する。
- ③ 部分破壊状態の発生により、堤体は捨石マウンド上を滑動する。
- ④ 堤体に作用する波浪力は時間変動するため、捨石マウンド部の部分破壊状態は継承され、部分破壊領域は進展する。しかし、ある程度部分破壊領域が進展するとロッキング支持領域が拡大することや、波浪力による载荷状態が変動することなどにより、最終的には堤体の滑動現象は低減する。本報では、このような混成堤の挙動を把握するために開発したシステムを用いて、コンピュータ上でシミュレーションを行い、その結果について考察を行った。

2. システム概要

波浪による混成堤の挙動を把握するために、システムに次のような3つの機能をもたせた。

- ① 堤体と捨石マウンドの間の接触、摩擦による相対変形のモデル化
- ② 堤体・捨石マウンドなどの物性への非線形性の取り込み
- ③ 自重および波力の時間変動の考慮

①については、堤体と捨石マウンドの間に垂直方向(重力方向)・水平方向の2方向にバネを設けることによってモデル化を行う。垂直方向バネは、引張りに抵抗しない剛性バネとする。これによって、堤体の支持力は捨石マウンドの降伏挙動に支配される。水平バネは、最大滑り抵抗力が相対滑り量及びせん断力をパラメータとして表現される摩擦バネとする。

②については、堤体の物性としてノンテンションを考慮した弾性体を、捨石マウンドの物性としてMohr-Coulomb型の降伏関数を持った非線形体を用いる。

③については、慣性項を考慮した動的解析を行う。

時間積分はNewmark- β 法を用い、非線形問題に対する収束計算は、BFGS法またはElement by Element法を用いた。

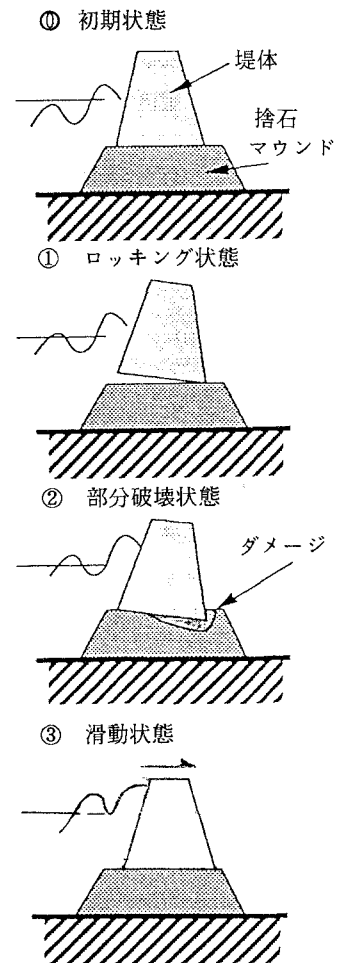


図-1 大きな波浪による混成堤の挙動

3. 解析結果

本システムによる解析に先立って、実験水槽に実物に近いモデル（捨石マウンド部：4.6m×7.0m×5.0m、滑動部：2.5m×5.0m×0.3m）を作成して実験を行った。実験においては、実際に近い状況を再現するために、工事に実際に使用される捨石を用いて、水中落下により捨石マウンドを築造した。実験は、図-2に示すように、捨石マウンド上のコンクリート版に垂直方向に上載荷重を与えながら、水平方向に同じレベルの荷重を繰り返して作用させて行った。本実験により得られた結果を荷重変位曲線として表したのが図-3である。図-3より、水平荷重の載荷を繰り返すと、コンクリート版周辺の捨石が締め固められる事などの理由によって、変位の増分 $\Delta \delta_i$ が徐々に小さくなることがわかる。

上記の実験結果は、同じレベルの波が一定回数以上作用した場合に滑動量が収束していく現象を示している。このような現象を解析的に明らかにするために、次の2ケースについて解析を行った。

case-1 堤体と捨石マウンド部とのすべりを表現する摩擦パネの定数を一定とした場合（図-4参照）

case-2 堤体と捨石マウンド部とのすべりを表現する摩擦パネの定数が相対滑り量に依存して変動する場合

（図-4参照）

解析結果を図-5、6に示す。摩擦パネ定数が一定の場合には、図-5に示すように滑動量は波の繰り返しのによって増加する一方であるが、相対滑り量に依存して摩擦パネ定数が変動する場合には、図-6に示すように滑動量は収束していくことがわかる。

以上より、実験によって確認された現象は、本システムを用いて解析を行うことによって十分に表現し得ることがわかった。

4. おわりに

本論文では、今回開発したシステムの有用性について述べたが、今後は、実験によって得られた諸定数を用いて、図-7に示すような実際の構造物に適用して、その挙動を把握するとともに、現場で行われる混成堤の挙動の現地計測結果などとの比較検討も行っていく予定である。

最後に、本システムの開発にあたって、多大なご協力をいただいた日本総合研究所の梅津氏、荒井氏に感謝します。

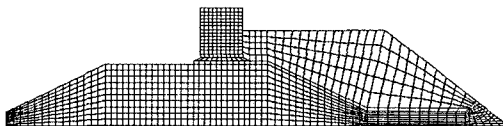


図-7 混成堤挙動解析用モデル

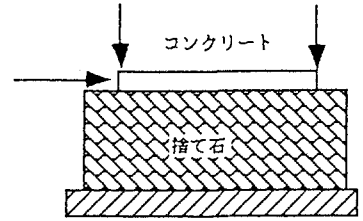


図-2 滑動実験モデル

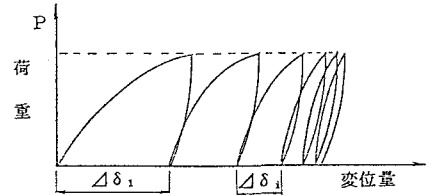


図-3 滑動実験結果

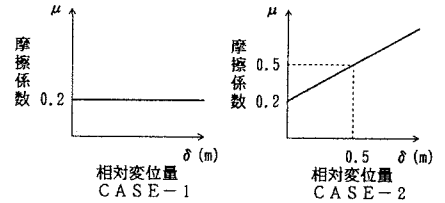


図-4 摩擦パネモデル図

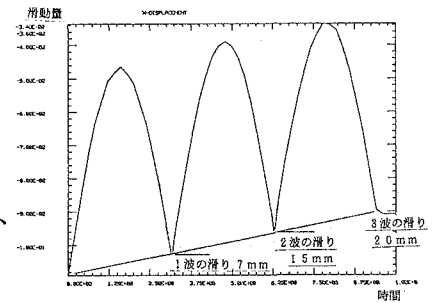


図-5 荷重-滑動量図（摩擦パネ一定）

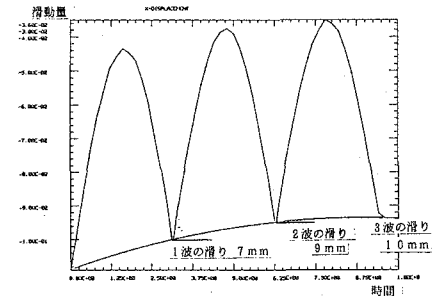


図-6 荷重-滑動量図（摩擦パネ滑り依存型）