

# 人工マウンドの安定性とマウンド内部の水圧変動に関する3次元数値解析

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 篠田 陽介  
 名古屋大学高等研究院 正 会 員 中村 友昭  
 名古屋大学大学院工学研究科 正 会 員 水谷 法美

**1. 研究の目的**：多様な生物相を育む浅場は、高い水質浄化能力があることから、豊かな海域環境を創造するために必要不可欠である。このため、干潟を中心に多くの浅場が造成されてきた。しかし、実際に造成された浅場において地盤の状態に変化が生じ、期待された生物相が得られない事例が報告されている。特に、地盤の表層に生じる液状化や硬質化は地盤の性質を変え、生物の住環境に大きな影響を及ぼす。したがって、このような液状化や硬質化が生じるメカニズムを明らかにすることは重要である。本論では、浅場の一つである人工マウンドを対象に数値解析を行い、マウンドの内部に生じる水圧変動の観点からマウンドの安定性を考究する。

**2. 数値解析手法**：波浪場と地形変化の相互作用を解析できる中村・Yim (2009) の3次元数値計算モデルを用いて解析を行った。波浪場は、透過性材料の間隙内部の流体も含めた全気液相に適用できるように一般化した連続式と Navier-Stokes 方程式を支配方程式とする有限差分法により計算され、VOF (Volume of Fluid) 関数の移流方程式で記述される気液界面の追跡にはMARS (Multi-Interface Advection and Reconstruction Solver) が用いられている。一方、地形変化の計算は掃流砂輸送を考慮した Roulundら (2005) を参考に構築されており、Two-Wayカップリング手法により波浪場の解析に組み込まれている。

図-1に数値波動水槽の概略図を示す。水深2.5mの水槽内に勾配1/10、高さ2m、天端幅5m、天端奥行き5mの透過性材料(砂粒子の中央粒径 $1.0 \times 10^{-4}m$ 、比重2.65、空隙率0.4)からなるマウンドを設置した。入射波は波高0.5mで一定とし、周期を3.0s, 5.0s, 7.0sに変化させた3種類の周期波を作用させた。また、計算時間は60sとした。

**3. 主要な結論**：計算終了時(時刻 $t = 60s$ )のマウンド周辺の波浪場と地形変化の様子を図-2に例示する。なお、図-2は鉛直方向に10倍に拡大して示しており、マウンド表面の等高線に沿う段差は鉛直方向への拡大のために初期地形においても可視化に際して現れる形状である。図-2より、計算終了時にもマウンド全体の形状は大きく変化しておらず、マウンド表面に凹凸が若干発生していることが分かる。また、マウンド上を通過する際に波が3次元的に大きく変形するとともに波高が増大し、その後、紙面の都合上図示しないが、天端上で砕波が生じていることを確認した。そして、沖側隅角部の点Aと岸側中央部の点B(図-1参照)での水位変動を示した図-3より、岸側の点Bでは水位変動の振幅が小さくなっていることが確認できる。

図-4に、マウンドの表面( $z' = 0$ とし、鉛直上向きを正とする)およびマウンドの表面から真下へ0.55mの深さ( $z' = -0.55m$ )における点Aと点Bでの水圧変動を示す。同図より、時間の経過に伴う波形の変化

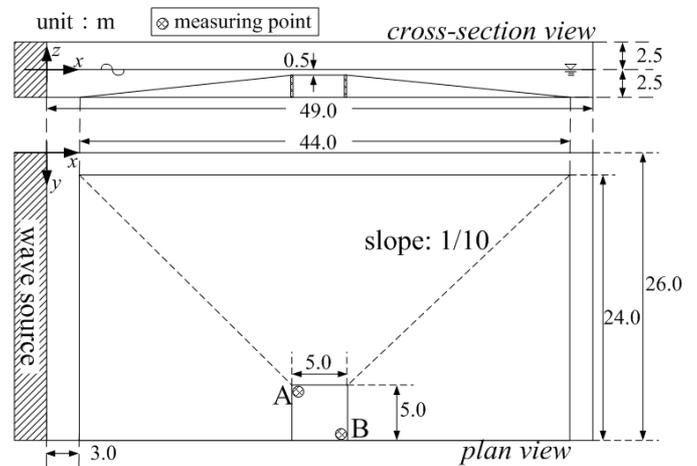


図-1 数値波動水槽の概略図

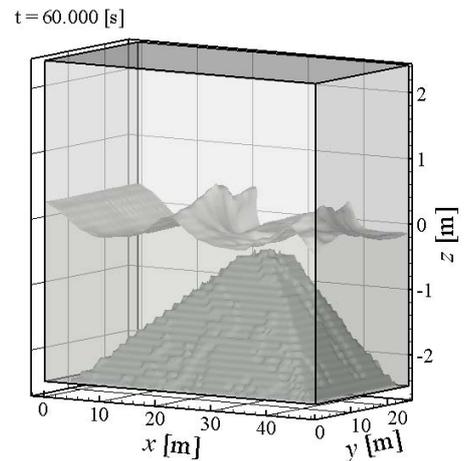


図-2 計算終了時の波浪場と地形変化

は点Aでは15s以降比較的小さくなっているものの、点Bでは振幅にばらつきが認められることが分かる。また、点A、点Bともに、表面に比べて内部の位相が若干遅れる傾向も確認できる。ここでは、善ら (1989) に倣い、間隙水圧変動の差 $dp$ をマウンドの内部での間隙水圧変動とマウンド表面での水圧変動の差と定義する。図-5に一周期間の $dp$ を例示する。図-5より、 $dp$ が負の位相の方が長いことから、マウンドの表面での水圧変動の方が大きい、つまり押しえつける状態の方が長いことが分かる。しかし、 $dp$ の絶対値の最大値は $dp$ が正の位相の方が大きいことも確認できる。そこで、図-6に $dp$ を初期の鉛直有効応力で除して無次元化した相対有効応力比RESRを例示する。図-6より、RESRの最大値はマウンドの内部と比較して表層の方が大きいことが分かる。図-7から図-9に、点AでのRESRの最大値 (○印)、最小値 (△印)、最も表層の点 ( $z' = -0.15\text{m}$ ) が最大値となる位相での値 (×印) を示す。同図より、周期に関わらずマウンド表層の最大値が最も大きくなっているものの、マウンドの深部では周期による差がほとんど認められないことが分かる。また、周期が長いほど表層のRESRの最大値が大きくなっていることから、表層の地盤に作用する鉛直有効応力の最小値はより小さく、土砂はより動きやすい状態になっていると推察される。一方、図-10に示す点Bについては、最大値の分布は点Aと差が認められないものの、最小値は表層に近いほど大きな負の値を示している。したがって、RESRが正の位相では点Aと点Bで地盤の安定性は変わらないものの、RESRが負の位相では点Bの方が動きにくく、より安定した状態にあると推測される。紙面の都合上図示しないが、同様の傾向は他のケースでも確認された。今後、地盤の安定性に与える水圧変動の影響をさらに検討していく所存である。

参考文献：1) 善功企・山崎浩之・佐藤泰：海底地盤の波浪による液状化—現地観測および解析—，港湾技術研究所報告，第28巻，第3号，pp. 29-57，1989。 2) 中村友昭・Solomon C. Yim：波浪場と地形変化の相互作用を考慮した3次元数値モデルの開発と侵食・洗掘現象への適用，海洋開発論文集，第25巻，pp. 1227-1232，2009。 3) Roulund, A.・Sumer, B. M.・Fredsoe, J.・Michelsen, J.：Numerical and experimental investigation of flow and scour around a circular pile, J. Fluid Mech., Vol. 534, pp. 351-401, 2005。

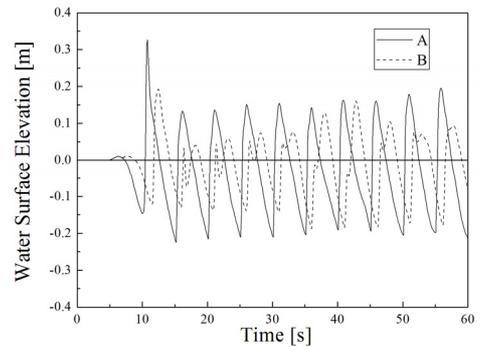


図-3 観測点における水位変動

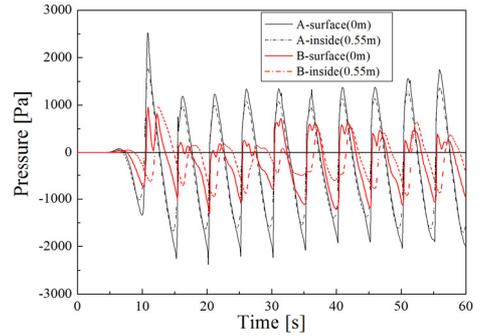


図-4 圧力の時系列変化

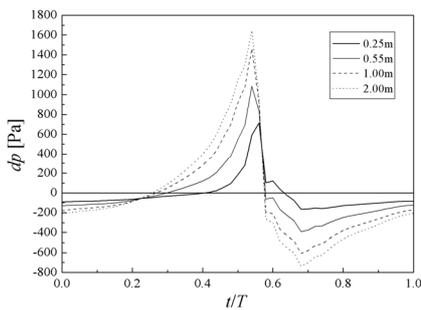


図-5 点Aでの $dp$ の時間変化

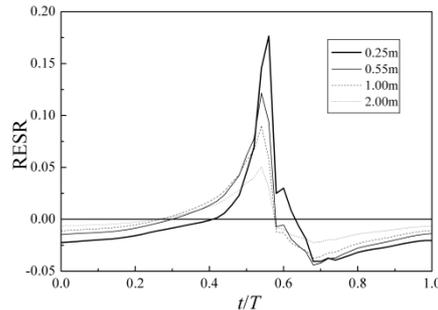


図-6 点AでのRESRの時間変化

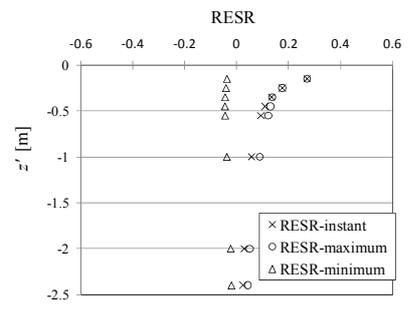


図-7 RESR (点A, 周期5.0s)

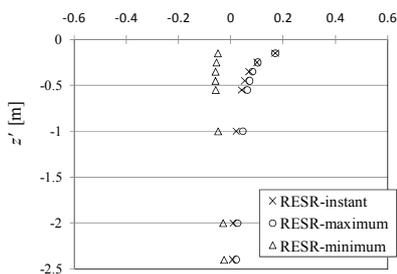


図-8 RESR (点A, 周期3.0s)

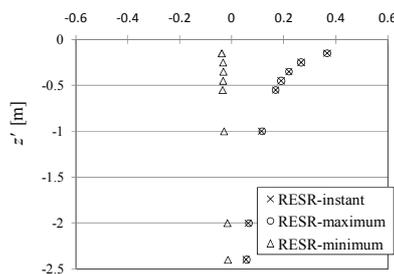


図-9 RESR (点A, 周期7.0s)

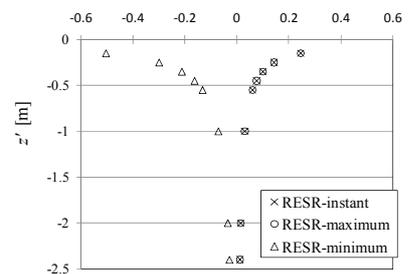


図-10 RESR (点B, 周期5.0s)