

山口大学大学院	学生会員	○中村 礼
山口大学大学院	正会員	中田 幸男 兵動 正幸
港湾空港技術研究所	正会員	渡部 要一

1. はじめに

沖縄県や南西諸島の島々にはサンゴ礁が多く存在し浅い海が形成されている。近年、その浅い海を利用して港湾施設などの開発が進められている。今後、さらにサンゴ礁を含む地盤を利用していく上で、サンゴ礫の特性を明らかにしていく必要がある。サンゴ礫は形状がいびつでサイズが大きいことから、実験が困難とされている。そこで、簡易に測定することができる安息角を有効に活用できるのではないかと考えた。本研究では、安息角に対する実験における測定と DEM 解析における検討を行った。



写真-1 サンゴ礫

2. 実験における安息角の測定

試料はガラスビーズ及び沖縄県浦添市で採取したサンゴ礫を用いた。ガラスビーズは粒径 1.18~2.00mm のもの、サンゴ礫は直径約 10mm、長さ約 50mm に整えたもので実験を行った。安息角の測定方法は明確にされておらず、多種にわたり、測定の条件によって値に影響を及ぼす。本研究では、比較的測定しやすい排出法¹⁾を用いた。排出法は、図-1 に示すように容器に



写真-2 ガラスビーズ



写真-3 サンゴ礫

試料を充填した後、容器を取り除き、試料を排出させ、崩れによってできる斜面の角度を計測するものである。計測では、円錐型の山に対し、頂点の高さと円錐の底面の半径とで円錐の平均的な角度を求め安息角と定義することにした。実験で得られた安息角は、図-3 に示すようにガラスビーズで 27°~28°、サンゴ礫で 41°~44°であった。サンゴ礫の安息角は、ガラスビーズに比べると高く、ばらつきが見られた。ガラスビーズの結果について既往の研究データ⁴⁾において、本研究と近い条件の実験結果について比較すると、およそ 28.0°であった。ただし、この測定法は注入法という試料を上から落下させる測定法によるものである。サンゴ礫の形状がいびつなため、試験ごとに山の形状は変わり、また見る位置によって表面の形状に違いが観測された。

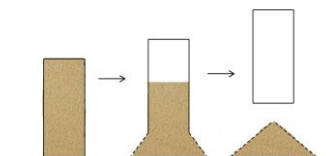


図-1 排出法

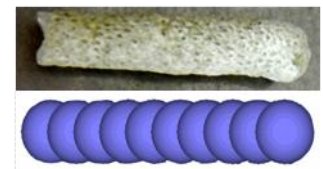


図-2 サンゴ礫のモデル

3. DEM (個別要素法) 解析における安息角の検討

個別要素法 (Discrete Element Method, 以降 DEM とする) は、個々の要素の運動、剥離、接触等の挙動や破壊、崩壊を評価する上で非常に有効な数値解析手法である。岩盤落下や斜面崩壊等の土木分野に良く適用されている。本研究では、DEM を用いた安息角シミュレーション手法を確立することを試みた。ここでは、ガラスビーズ及びサンゴ礫の安息角の測定を再現し、その適用性について比較検討した。解析には PFC3D (Particle Flow Code in 3Dimension, Itasca 社製)²⁾ という汎用プログラムを用いた。解析での容器及び粒子のサイズは実験で用いたものと同じサイズである。サ

ンゴ礫は図-2に示すように10個の粒子に重なりを持たせつつ結合させて再現した。表-1に解析で設定したガラスビーズ及びサンゴ礫のパラメータを示す。サンゴ礫のパラメータについては、過去の研究³⁾を参考に決定した。DEM解析による安息角は、図-3に示すようにガラスビーズは26.5°、サンゴ礫は43.3°であった。DEMではシミュレーションが終了後、粒子の配置を調査した。粒子位置は (x, y, z) 座標で定義されるが、山の表面座標を取得するため、 (x, y) 座標を (r, θ) 座標に変換し調べた。底面を r と θ についてメッシュ分割し、各メッシュに対する z の最大値を抽出した。今回は底面の円を10°ごとに分け、中心から端までの距離を20等分した。図-4にガラスビーズ、図-5にサンゴ礫に対する各角度から見た山の表面座標を示す。壁を除去し粒子が排出し始めてからの斜面の表面座標の経過を表している。1000000cycleでおよそ1日かかる。図中に示す赤色の斜線はDEMで求めた安息角の傾斜を示している。時間の経過とともに山が崩れていくのが確認できる。解析では、このように表面座標を数値で表すことによって表面形状の違いを確認することができる。サンゴ礫では、着目している角度によって表面形状が異なることがわかる。また、サンゴ礫はサイズが大きいため、表面にかなり凹凸が認められる結果となった。

4. おわりに

本研究は、実験およびDEM解析の結果比較より安息角シミュレーション手法の確立のための基礎的検討を行った。ガラスビーズおよびサンゴ礫の実験および解析の安息角は近い値を示したため、概ねシミュレーション手法の適用性があることが確かめられた。また、ガラスビーズのような粒状体より、サンゴ礫のような形状がいびつなものの方が、安息角が大きく、表面形状のばらつきが多いことがわかった。

表-1 ガラスビーズ及びサンゴ礫のパラメータ

Properties	Glass beads	Coral Gravel
Density (kg/m ³)	2500	2910
Normal Stiffness (kN/m)	4.2×10^7	1.228×10^6
Shear Stiffness (kN/m)	4.2×10^7	1.288×10^6
Friction coefficient	1.0	0.5
Damping ratio	0.8	—

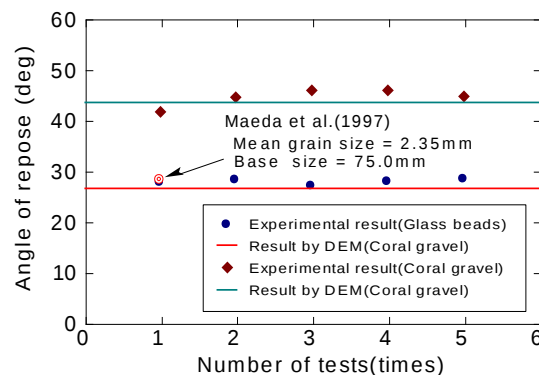


図-3 ガラスビーズ及びサンゴ礫の結果

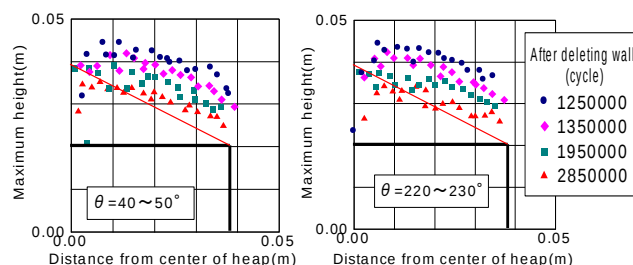


図-4 各角度から見たガラスビーズに対する山の表面座標及びサンゴ礫の結果

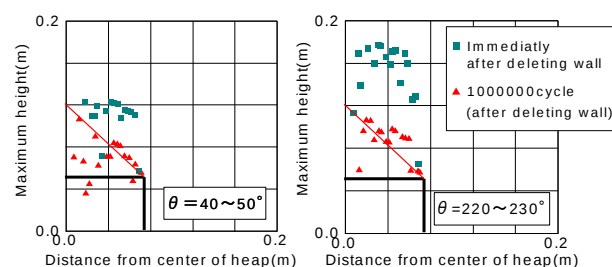


図-5 各角度から見たサンゴ礫に対する山の表面座標及びサンゴ礫の結果

参考文献: 1)松倉公憲, 恩田裕一, 安息角: 定義と測定法にまつわる諸問, 筑波大学水理実験センター報告 No.13 27~35, 1989. 2)PFC3D manuals, Itasca. 3)Y.NAKATA, Y.WATABE: DEM simulation for coral gravels, Proceeding of the Workshop on Experimental Micromechanics for Geomaterials, Hong Kong, May 2013 4)KINYA MIURA, KENICHI MAEDA, SHOSUKE TOKI: METHOD OF MEASUREMENT FOR THE ANGLE OF REPOSE OF SANDS, SOILS AND FOUNDATIONS Vol.37, No.2, 89-96, June 1997.