

サンゴ礫の曲げ特性の把握と DEM 解析への反映

山口大学大学院	学生会員	○内野 隆太郎
山口大学大学院	正会員	中田 幸男
山口大学大学院	正会員	兵動 正幸

1. 目的

沖縄県にはサンゴ礫混じり土が広がり、その地盤を基礎とする社会基盤施設の建設が進められている。この地盤で圧密が生じる際、サンゴ礫には曲げ応力が作用すると考えられる。このことから、サンゴ礫の曲げ特性の把握は圧密の検討に必要なといえる。また、サンゴ礫は形状が複雑で、大きさも異なり、破碎しやすいため、実験によるデータの蓄積が難しい。このようなサンゴ礫の力学挙動の再現に相応しい方法として個別要素法 (DEM) 解析がある。解析結果の信頼性を確保する上でも曲げ特性の確保が必要となる。本研究では DEM 解析に必要なと考えられる曲げ特性を実験的に把握するとともに、再現可能か検討した。

2. 実験によるサンゴ礫曲げ特性の把握

試料は沖縄県浦添市で採取したサンゴ礫及び、チョークを用いた。サンゴ礫は平均直径が 12.16(mm) のサンゴ礫(大)、9.55(mm) のサンゴ礫(中)、6.29(mm) のサンゴ礫(小)の 3 つに分類し、各 10 本ずつ用意した。曲げ強度試験機で供試体に二等分荷重を加えて破壊し、破壊時の最大荷重とひずみを測定した。曲げ強度試験機は 1mm/min の速度に設定し、載荷点から支持ローラ間の長さは $l=20\text{mm}$ とした。また、サンゴ礫の引張側に生じる曲げ強度と曲げ剛性を以下のように算出した¹⁾。まず、最大曲げ荷重から曲げモーメントを求める。

$$M = Fl \dots (1)$$

M : 曲げモーメント, F : 最大曲げ荷重, l : 載荷点から端までの長さ
次に、曲げモーメントを用いて曲げ強度を求める。

$$\sigma = (M/I)y \dots (2)$$

σ : 曲げ強度, I : 断面二次モーメント, y : 中心軸から表面までの長さ
ここで、I は円柱の断面 2 次モーメントとして(3)で求めた。

$$I = \pi d^4 / 64 \dots (3)$$

また、曲げ剛性は曲げモーメントを部材断面積と変位で除して求める。

$$Kb = Fl / A\Delta x \dots (4)$$

d : 断面の直径, Kb : 曲げ剛性, A : 部材の断面積, Δx : セン断変位

曲げ強度、剛性の分析には生存解析²⁾を用いた。これにより、サンゴ礫が破壊された時の曲げ強度や剛性の生存曲線を示すことができ、これを元にワイブル係数を算出することで材料の均一性を定量化できる。

キーワード サンゴ礫, DEM 解析

連絡先 〒730-0011 広島市中区基町 10 番 3 号広島県自治会館内 (公社)土木学会 支部研究発表会係

TEL 082-222-2376



サンゴ礫混じり土地盤

図-1 地盤内の応力状態



図-2 曲げ強度試験機



図-3 サンゴ礫の破壊状態

本研究では、曲げ強度、曲げ剛性およびそれぞれのワイブル係数を合わせて曲げ特性と呼ぶ。図-4は曲げ強度の生存曲線である。サンゴ礫3種類は傾きを持った曲線となり、曲げ強度にばらつきが見られる。これはサンゴ礫の形状に加えて、内部に空隙が無数に存在することが原因と考えられる。一方で、工業製品であるチョークは規格が統一されているため、ほぼ一定の強度を示し、ばらつきはほとんど見られない。また、同様の傾向が曲げ剛性についても得られた。

3. 曲げ特性のDEM解析による再現方法

解析では、直径 10mm、長さ 30mm の円柱の範囲内に直径 0.7mm の球体を規則的に発生させ、それぞれを結合することで解析モデルを作成した。デフォルトの材料定数を表-1 に示す。サンゴ礫内部の空隙や亀裂を再現するために2つの方法を用いた。1つは、強度低下法で結合力のある確率で 1/1000 に低下するものである。2つ目は球体除去法で、モデルを構成する球体のある確率で取り除いたものである。どちらの方法でも、結合力を下げると曲げ強度や剛性も下がる。そのため、サンゴ礫に最も近い均一性を示す確率を決定した後、結合の強度や球体の剛性を上げることで最終的な解析における曲げ特性とした。また、DEM解析で得られた生存曲線を示したものが図-5 である。強度低下確率 0.0 と 0.1 の結果に比べ、球体除去確率 0.6 では曲線の傾きが顕著に現れており、実験によるサンゴ礫の曲線により近いことが分かる。加えて曲げ強度、剛性も実験値に近いことから、球体除去法は生存曲線の再現に有効であると言える。図-6 に強度低下法で確率 0.5 の時の破壊モデルを示す。この方法では、実験と同様にモデルは中央の荷点で破壊が生じた。しかし強度低下確率が 0.4 を下回ると図-7 のように破壊時のモデルは細かく分裂し、実験とは異なる結果となった。図-8 に球体除去法で球体除去確率 0.6 の時の結果を示す。この方法では、モデルの中央部分が欠けただけで全体の破壊は生じず、実験とは異なる結果となった。

4. 結論

一連の検討から、球体除去法では生存曲線を再現可能であり、強度低下法では破壊状態の再現が可能であることが分かった。曲げ強度試験によるサンゴ礫の破壊状態と曲げ特性の両方を解析で再現するためには、強度低下法と、球体除去法の両方を並行して用いることが必要だと考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会, 土木材料実験指導書, コンクリートの曲げ強度試験, 2011
- 2) Y. P Cheng, Micromechanical investigation of soil plasticity, Churchill College University of Cambridge, 2004

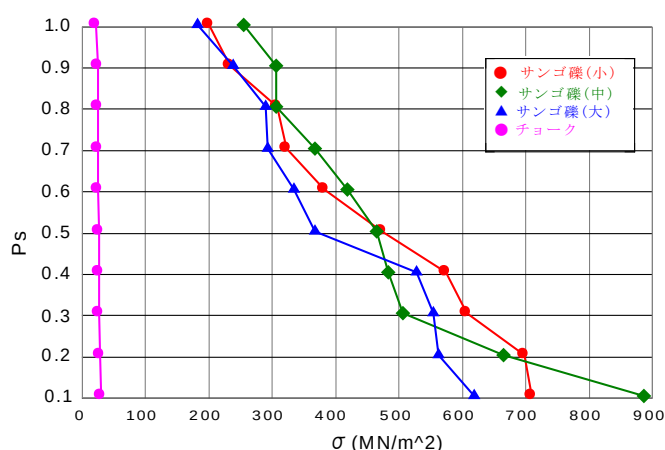


図-4 実験による曲げ強度の生存曲線

表-1 デフォルトの材料定数

Properties	
bond_strength(kN)	2.45
ball_density(kg/m³)	2910
ball_friction	0.5
ball_stiffness(kN/m)	1.23E+06
gravity_value(m/s²)	-9.81

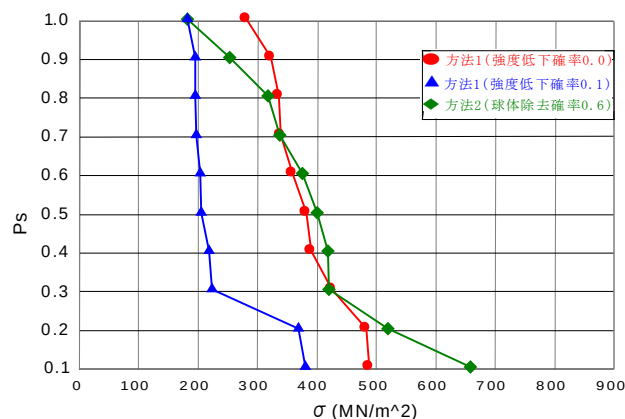


図-5 DEM解析による曲げ強度の生存曲線

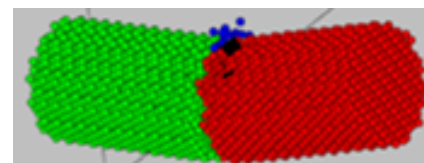


図-6 強度低下法(確率 0.5)の様子

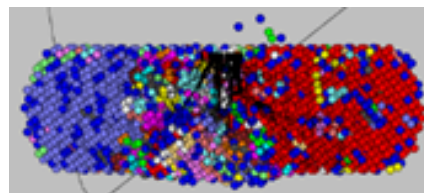


図-7 強度低下法(確率 0.3)の様子

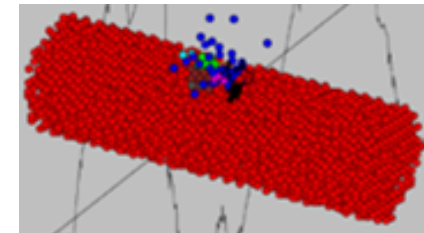


図-8 球体除去法(確率 0.6)の様子