

礫中詰材のせん断抵抗解析に対する DEM の応用

防衛大学校 学生会員 ○堀口俊行 澁谷 一 正会員 香月 智
日鐵住金建材株式会社 非会員 田附 正文

1 緒 言

鋼製枠砂防堰堤は、写真-1 に示すような、鋼製枠組の中に礫中詰材を詰めて建設される砂防ダムである。しかし、鋼製枠と中詰材の一体挙動としてのせん断抵抗力のメカニズムは未だ十分に明らかにされていない。このため、本構造物の設計においては、主に2種類の設計で行われている。一つは、堆砂圧や水平圧などの水平力に対して、中詰材だけのせん断抵抗力により設計し、鋼製枠はこの中詰材の漏出防止のための構造物であるという考えであり、もう一つは水平力に対して鋼製枠だけの抵抗力により設計し、中詰材はその重量により安定に寄与するものとみなす考えである。すなわち、鋼製枠と中詰材の効果を両方同時に考慮した設計法となっていないのが現状である。ただし、中詰材のせん断抵抗力についての実験的研究として、例が挙げられる。香月¹⁾や加瀬ら²⁾の中詰材のせん断抵抗力に関するモデル実験がある。しかし、実物大実験となると礫そのものの大きさが10~30cmになるため、その抵抗値を測ることは困難であり、簡便に現場で行うことはできない。そこで、本研究の目的は、個別要素法を用いて礫中詰材の抵抗力を予測する基礎的段階として、礫中詰材のせん断抵抗力のシミュレーションを試みたものである。



写真-1 鋼製枠砂防堰堤

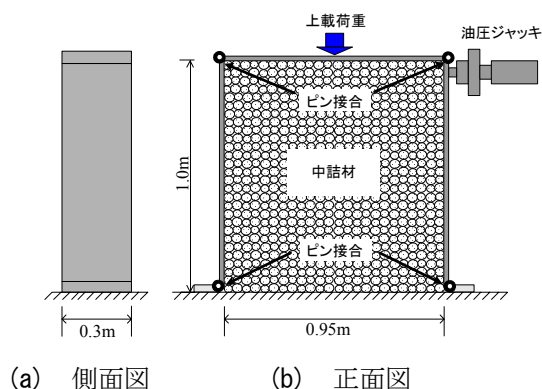


図-1 香月¹⁾の単純せん断実験装置

2 解析手法

2.1 解析手法の概要

図-1 に香月¹⁾の実験装置について示す。この単純せん断実験枠は、高さ1.0m、幅約1.0m、奥行き0.3mのヒンジ結合によって作られた鋼製板せん断枠である²⁾。この実験を再現解法するために次のように解析を行った。まず、本解析で用いる個別要素法では、円柱形要素を導入³⁾することで、図-2 のように単純せん断枠をモデル化し、ヒンジ結合部分は、球形要素と連結ばね³⁾によりモデル化した。なお、側面に配置した球形要素と円柱形要素の間には、ヒンジ結合を再現するため、回転に抵抗しない連結ばねを導入した。また、底面と側面は、三角形の平面要素を用いてモデル化した。本解析における運動方程式の解法は、文献4)のとおりである。

2.2 単純せん断解析モデル

実験では、図-1 に示すように油圧ジャッキにより枠の右側上端付近に荷重を加えているが、解析においても枠上端に先端に球形要素を付けた棒要素を押し付けて、強制変位を与えることにより実験の再現を試みた。その上で、棒要素の圧縮力と変位関係に対し、実験から得られたせん断抵抗力和変位の関係と比較検討

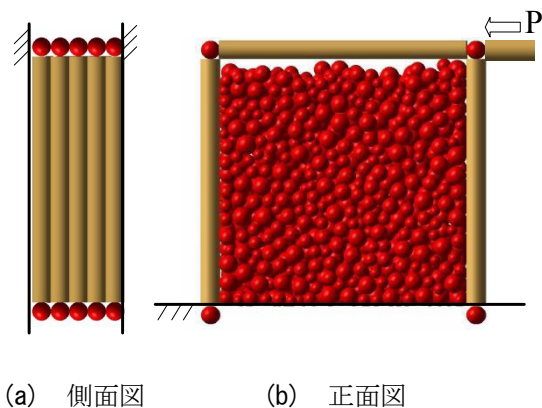


図-2 解析モデル

した。

2.3 解析条件

表-1 に、解析で用いた主要なパラメータを示す。本解析では、文献¹⁾における割栗石の単純せん断試験結果を再現することを目的とし、図-2 に示すように、割栗石を球形要素にモデル化し、解析を試みた。なお、

キーワード 個別要素法、単純せん断、円柱形要素、集合体要素

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL : 046-841-3810 (内 3518)

実験における礫の平均粒径は 60mm、粒径範囲は 40～80mm であり、解析においても同様とした。

香月の実験では、礫をせん断枠に流し込んだ状態から実験しているため、解析においても要素の初期配列に落下法を用いて、枠内にパッキングを行った。

3 シミュレーション結果

3.1 単純せん断解析

図-3 に、実験で得られた中詰材の移動軌跡の概要と、解析で得られた球形要素の移動軌跡について示す。まず、それぞれの軌跡を比較すると、両者はよく似た移動をしていることがわかる。すなわち、中央より下の礫は、ほとんど変位しておらず、右上部分の礫が左へ大きく変位し、左上部分の礫がせん断枠の変形に追従するように左下に変位している様子が再現できている。定性的には、球形要素を用いた単純せん断解析により、実験を概ねシミュレートできることがわかる。

3.2 せん断抵抗力と変位の関係

図-4 に、解析により得られるせん断抵抗力と変位の関係について、実験結果と比較して示す。まず、実験では、変位 100mm において約 3000N を示しているが、球形要素を用いた場合の解析結果においては、約 4500N と実験値より大きな値を示している。また、実験では変位に対して、滑らかなカーブを描いてせん断抵抗力が上昇しているのに対し、球形要素を用いた解析結果では、全体的に変位が大きくなると荷重も大きくなるものの、抵抗力の低下と上昇を数回繰り返して上昇しており、実験と異なる傾向を示している。ここで、変位 71mm の時と 79mm の時の接触力の作用状況を、図-5 に比較して示す。なお、この図は球の大きさにより接触力の大きさを表したものであり、接線方向力が滑り限界に達しているものを青色で、達していないものを赤色で示したものである。これより、接触力が働いている部分も、滑っている部分も定性的には、あまり大きな差異は見受けられない。参考までに、接触力が働いている点に対し、滑っている接触点の割合も、変位約 70mm のときが約 13.9% に対し、変位約 80mm のときは約 14.6% となっている。

4 結 言

本研究は、個別要素法を用いて、礫材の単純せん断解析のシミュレーションを試みたものである。これより、単純せん断解析において球形要素を用いた場合、要素の全般的な運動の軌跡を概ねシミュレーションできることがわかった。

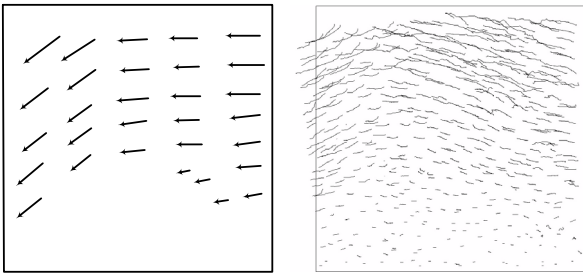
しかし、礫のせん断抵抗力と変位の関係についての定量的な再現はできておらず、今後の検討が必要である。

参考文献

1) 香月智：鋼製枠砂防ダムの礫中詰材圧に関する研究，東京工業大学学位論文，pp.21-46，1991.9

表-1 解析パラメータ

項 目		値
要素	要素数	1300
要素間 ばね	法線方向ばね定数 K_n	1.0×10^6 N/m
	接線方向ばね定数 K_s	3.5×10^5 N/m
	減衰定数 h	0.8
	粘着力 c	0 N
計算条件	摩擦角 $\tan\phi$	0.554
	時間刻み Δt	1.0×10^{-6} s



(a) 実験結果¹⁾ (b) 解析結果

図-3 礫および要素の移動軌跡

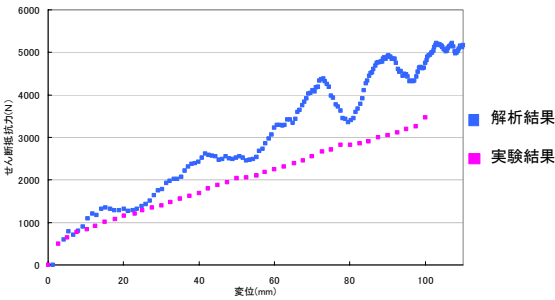
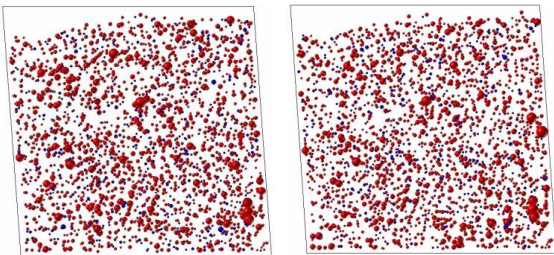


図-4 実験と解析の比較



(a) 上端変位 71mm (b) 上端変位 79mm

図-5 解析の接触力

2) 加瀬典文，香月智，石川信隆：礫中詰材のせん断抵抗力～変位関係に関する実験について，第 24 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，I-11，1997.3

3) 原木大輔，香月智，田代元司：円柱形要素を用いた個別要素法による落石防護網の衝撃応答解析，土木学会論文集 A，Vol.65，No.2，pp.536-552，2009.6 pp.449-460，2009.8

4) 堀口俊行，澁谷一，香月智，田附正文：集合体要素の形状特性が安息角に与える影響に関する解析的検討，構造工学論文集，Vol.57，2011.3(掲載予定)