

個別要素法を用いた礫中詰材の単純せん断抵抗力評価

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

近年、砂防ダムの1つに写真-1に示すような鋼製枠の中に現地発生材である礫材を詰めることにより抵抗力を発揮するいわゆる鋼製枠砂防堰堤が多く建設されている。しかし、本構造物は堤体のせん断変形への抵抗力すなわち礫などの中詰材のせん断抵抗力の算定が不明確なため、未だ中詰材が鋼製枠かいずれか一方のみのせん断抵抗力で設計を行っているのが現状である。また、実物大実験となると礫材の大きさが10~30cmのせん断抵抗力を計測することは困難であり、簡便に現場で行うことはできない。

そこで本研究は、礫材を個別要素法の球形要素と集合体要素を用いてモデル化し、礫中詰材の抵抗力を評価する基礎的段階として、礫材の形状におけるせん断抵抗力を比較検討したものである。

2 解析手法

2.1 解析手法の概要

図-1に既往の実験^{1), 2)}より単純せん断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。この実験を再現計算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

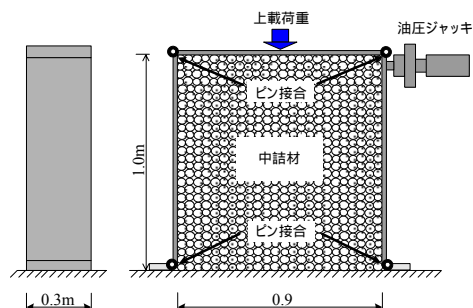
実験では、図-1に示すように油圧ジャッキにより枠の右側上端付近に荷重を加えているが、解析においても枠上端の球形要素に円柱形要素を押し付けて、強制変位を与えることにより実験の再現を試みた。その上で、円柱形要素の圧縮力～変位関係に対し、実験から得られたせん断抵抗力～変位関係と比較検討した。

2.3 礫形状モデル⁴⁾

礫の凹凸形状を表現するため、球形要素を重ね合わせるによりモデル化した要素を図-3に示す。同一球形を6個用いた集合体要素を一つの要素とし、その重複程度によって凹凸の度合いを表現できる。よってこの凹凸の度合いを変化させることにより、形状を表現するパラメータとして用いた。重複した部分が球の直径 D に対し、どの程度凸部を形成しているかを表すパラメータとして、凸度を次式で表す。

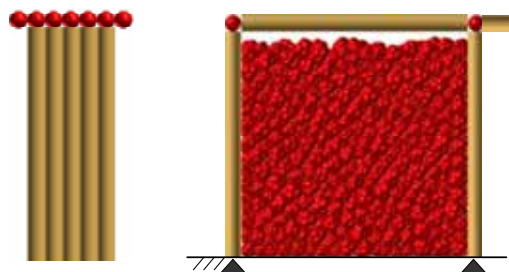


写真-1 鋼製枠砂防堰堤



(a) 側面図 (b) 正面図

図-1 単純せん断実験装置



(a) 側面図 (b) 正面図



(c) 上面図

図-2 解析モデル

$$\beta D \quad (1)$$

ここで、 β : 凸度を表すパラメータ(0.0~1.0)、 D : 構成球形要素の直径である。

2.4 解析条件

本解析では、文献¹⁾における割栗石の単純せん断試

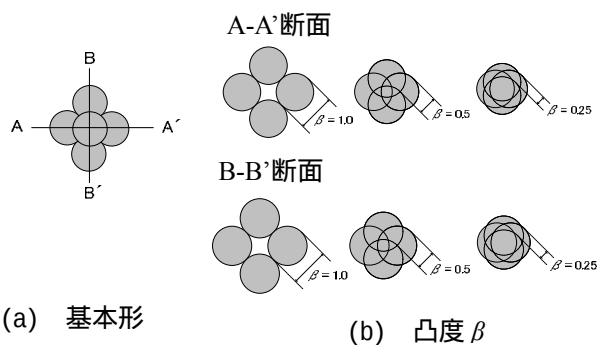


図-3 集合体要素モデル

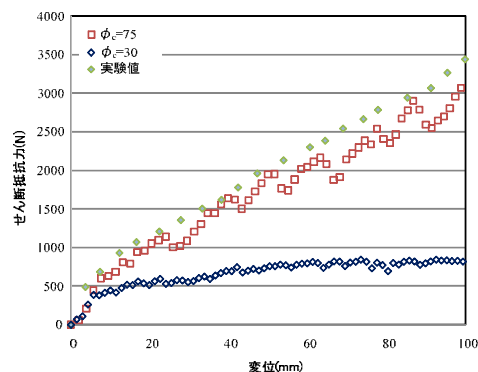


図-4 セン断抵抗力～変位関係(球形要素)

験結果を再現するために、図-2 に示すように、割栗石を集合体要素でモデル化し、本解析では $\beta=0.50$ の場合を用いて解析を試みた。なお、実験における礫の平均粒径は 60mm、粒径範囲は 40～80mm であり、加えて全体の質量も同じにし、実験および比較する解析においても同様の条件とした。

3 シミュレーション結果

図-4 に、球形要素を用いた解析から得られるせん断抵抗力～変位関係について、実験結果と比較して示す。まず、要素間摩擦角 $\phi_c=30^\circ$ を用いた場合と比較すると、解析結果と実験結果では得られるせん断抵抗力とは異なる。球形要素では、実験結果に合わせるには要素間摩擦角 $\phi_c=75^\circ$ 以上になければならないことがわかる。しかし、実際の礫間のすべり摩擦角としては極端に大きな摩擦角である。図-5 に球形要素 $\phi_c=30^\circ$ と集合体要素($\beta=0.50$, $\phi_c=30^\circ$)の例を比較して示す。球形要素では 20mm を境にせん断抵抗力はほぼ一定となるのに対し、集合体要素では 40mm 付近まで実験と概ね一致した値が得られるとともに、せん断抵抗力の漸増傾向も概ねシミュレートできている。そこで、球形要素と集合体要素の違いについて図-6 に示す接触力図で比較する。接触力図は球の大きさにより接触力の大きさを表現している。これより、集合体要素の方が球同士の接触力が大きく出ていることがわかる。つまり、球形要素では表現ができない凹凸によるインターロッキング効果が、集合体を用いることにより得られ

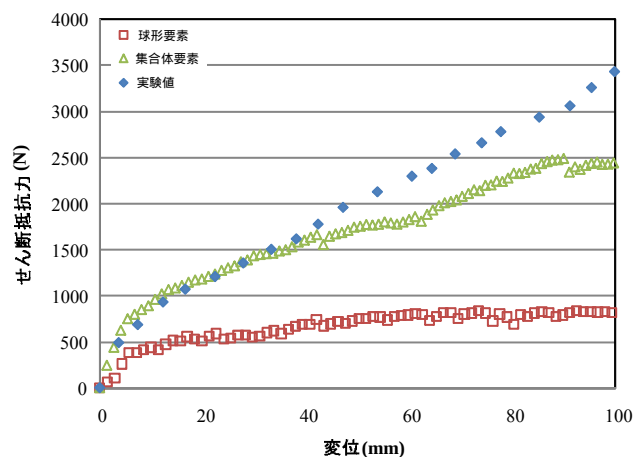


図-5 セン断抵抗力～変位関係
(球体と集合体要素の比較)

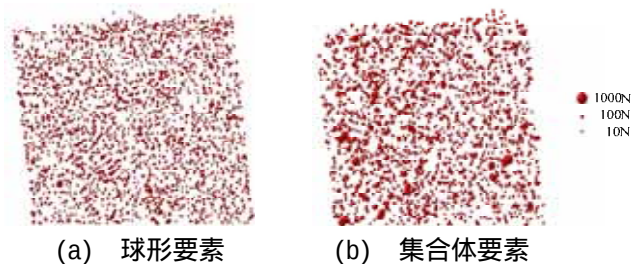


図-6 接触力図

ていることがわかる。すなわち、要素間のかみ合わせによる効果により接触力を大きく保持できるものと考えられる。

4 結 言

本研究は、球形要素と集合体要素を用いた個別要素法で礫材の単純せん断のシミュレートし比較検討したものである。球形要素では表現できない凹凸形状を集合体要素で表現することにより、せん断抵抗力～変位関係は再現性の高い結果を得ることができた。しかし、間隙率やパッキングにおける条件および礫の形状による特性と凸度を示すパラメータの関係については今後の検討が必要である。

参考文献

- 1) 香月智：鋼製杵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
- 2) 伊藤一雄，香月智，石川信隆，阿部宗平，中村徹：礫中詰め型砂防ダムのせん断抵抗力，砂防学会誌，Vol.50，No.1，pp.3-14，1997.3
- 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
- 4) 堀口俊行，湊谷一，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.57A，pp.136-146，2011.3