

Ⅲ - 12

粒状体モデルによる礫混じり軟岩の強度および変形特性に関する考察

東北大学 学生員 ○林 直宏
 東北大学 正 員 岸野佑次
 東北大学 正 員 京谷孝史

1 はじめに

軟岩は、強度的には土と岩の中間にあり、セメンテーション等による結合力は比較的容易に弱化しやすく、進行性破壊が問題になる。これまで礫混じり軟岩は実験により研究されてきた¹⁾。内部構造の変化を考察するため、本研究では岩盤の微視的構造を粒状体モデルで作成し、粒状要素法²⁾において粘着力を付加したアルゴリズムによるシミュレーション解析を行う。

2 粒状要素法への粘着力の導入

接触力の法線方向成分を p_n 、接線方向成分を p_t 、粒子間の摩擦角を ϕ 、粘着力を c とする。膠着状態にある2粒子における接触力が次の2つの条件を満足する。

$$|p_t| \leq p_n(\tan \phi + c) \quad (1)$$

$$p_n \geq -c \quad (2)$$

解析過程でこれらの式のいずれかが満たされなくなった場合には、2粒子間の膠着状態を解消するものとし、き裂の発生とみなすことにする。

3 シミュレーション試験方法

側圧一定2軸試験のシミュレーション解析を行った。このシミュレーションにおける諸定数を表-1に、解析条件を表-2に示す。

表-1 諸定数

単位重量	(kg f/cm ²)	0.0
弾性係数	法線方向	1000
	(kg f/cm) 接線方向	700
摩擦角	(°)	25
粘着力	(kgf)	5.0

表-2 解析条件

モデル番号	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2
供試体の寸法 (cm)	縦		約4.0		
粒子の半径 (cm)	礫部		0.08~0.12		
礫数	基質部		0.40~0.60		
基質部要素	225		214		
側圧 (kgf/cm)	10	20	40	10	20

初期状態作成 1) PFC^{2D}を用いて大まかなパッキングモデルを作成する。2) 壁面を用いて解析条件の拘束圧になるように調整する(図-1a)。粒子、壁面とも摩擦は働かない。

3) 接触している2粒子を膠着させる。4) 外側の粒子に側圧を与える(図-1b)。載荷板との摩擦は働かない。逆に載荷台とのすべりは発生しない。

載荷試験 上の4)の状態、上の載荷板を供試体の軸ひずみが5%になるまで、500回にわけて段階的に降下させる(図-1b)。

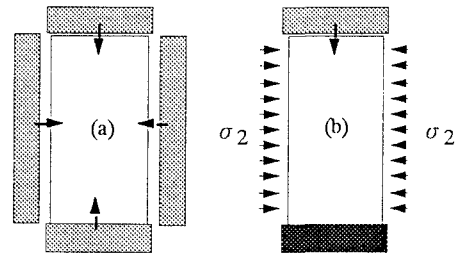


図-1 境界の制御法

実際の3軸試験では、水圧を利用して等価な拘束圧を容易に与えることができる。しかし、シミュレーション試験で拘束圧を与える場合には工夫が必要になる。本研究では拘束圧として境界粒子に次に示す物体力を与える。右上の角が図-2の状態であるとき、拘束圧を σ_2 とすると、境界粒子Aに与える物体力は

$$Bx = -(d1 + d2/2)\sigma_2 \quad (3)$$

境界粒子Bに与える物体力は

$$Bx = -(d2/2 + d3/2)\sigma_2 \quad (4)$$

4 解析結果と考察

モデル1-1,1-2の軸ひずみ3%,4%時のき裂分布を表-3に示す。モデル2-1の軸ひずみ1.5%,2%,3%,4%時のき裂分布を表-4に示す。表-3,表-4における太線はき裂とする。軸ひずみと応力との関係を図-3、図-4に示す。

1) モデル1-1の解析結果について考察する。図-3より最大応力時の軸ひずみは3.7%付近で、それ以降軟化する。表-3において軸ひずみ4%の時、き裂は完全につながっている。このことより、最大応力を超え破壊するメカニズム

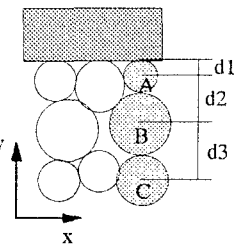
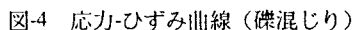
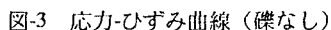


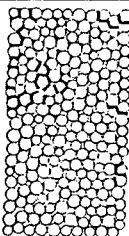
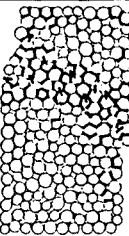
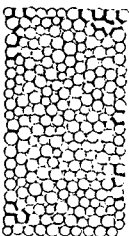
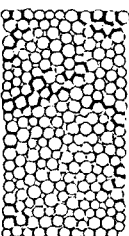
図-2 境界粒子例

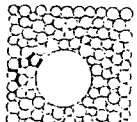
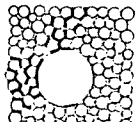
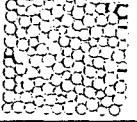
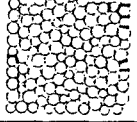
2) 図-3において、モデル1-1と1-2を比較すると、軸ひずみが2%を超えるあたりからモデル1-1の傾きが徐々に小さくなることが分かる。また、表-3より、モデル1-1の方がより早くき裂が進行していることが分かる。低側圧のもとでき裂は容易に進行し、き裂の進行により塑性的な変形が進むと考えられる。

5 まとめ

粒状体モデルを用いたシミュレーション解析を行うことで、軟岩の微視的構造の破壊進行を力学的、視覚的の両面から確認することができる。



	$\varepsilon = 3$ (%)	$\varepsilon = 4$ (%)
1-1		
1-2		

	$\epsilon = 1.5 (\%)$	$\epsilon = 2 (\%)$
2-1		
	$\epsilon = 3 (\%)$	$\epsilon = 4 (\%)$
2-1		

- 1) 小林隆志・吉中龍之進：礫混じり軟岩の強度・変形特性に関する研究、土木学会論文集No.487/III-26, pp.31-40, 1994.3
- 2) 岸野佑次ら：改良粒状要素法による粒状体の弾塑性挙動の研究、構造工学論文集43A、(投稿中) 1997