

大小2種類の粒子における粒状集合体の配位数に関する研究

前橋工科大学 学生会員 ○小山 悠

前橋工科大学 正会員 森 友宏

前橋工科大学 学生会員 渡辺 純平

1. 研究の背景と目的

現在、不飽和土の強度推定は災害後に行われることが主流であるが、豪雨時の斜面崩壊の余裕度を把握するために、飽和度に応じた事前の強度推定手法の開発が期待されている。不飽和土の強度は、主に土粒子間のサクションによって発揮され、サクションは土粒子間の空隙に懸架するメニスカス水の曲率半径に影響を受ける。そのため、サクションを直接的かつ定量的に評価するためには、対象とする地盤内部の土粒子の三次元配列を知る必要がある。本研究は、発泡ビーズを用いて球の中心座標の悉皆調査を行い、不飽和土の構造をミクロの視点から明らかにする。

2. 研究の流れ

はじめに、ガラスビーズを用いて疑似的な最大密度試験を行う。これは、発泡ビーズを用いて供試体を作成する際に、球体充填に係る壁面の影響を考慮するためである。供試体作成後、供試体の外郭部分に印をつけ、フライス盤とレーザー距離計(図1)を用いて、供試体の中心座標の悉皆調査を行う。このとき最外郭の球は区別し、配位数を持つ球としない。

3. 実験結果および考察

(1) 球の接触条件

$\phi = 6\text{mm}, 12\text{mm}$  の発泡ビーズの直径が一定ではないため、無作為に取り出し直径を計測した結果を表1に示す。平均値  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  及び度数の間には

$$\mu \pm 2\sigma \tag{1}$$

の中に入る度数の割合が 95.45% という関係が成り立っている。そして本研究室の渡辺ら<sup>1)</sup>の研究より、今回は式(1)から球の接触条件  $h$  を次のように定め配位数を数えた。

$$h \leq \mu + 2\sigma \tag{2}$$

(2) 単一粒径粒子群の配位数

上載圧を  $0.102\text{kN/m}^2, 0.445\text{kN/m}^2, 1.780\text{kN/m}^2$  と変え、等粒径  $\phi = 12\text{mm}$  の発泡ビーズを用いて作成した



図1 フライス盤とレーザー距離計

表1 発泡ビーズの直径

	n	平均値 $\mu$	標準偏差 $\sigma$
6mm球	600	6.25	0.27
12mm球	600	11.91	0.11

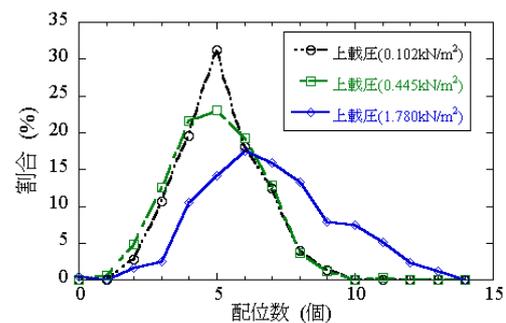


図2 単一粒径の配位数

表2 上載圧に応じた単一粒形の配位数

	充填率(%)	n(個)	平均値 $\mu$ (個)	標準偏差 $\sigma$
上載圧(0.102kN/m <sup>2</sup> )	59.8	282	5.11	1.46
上載圧(0.445kN/m <sup>2</sup> )	61.5	333	4.99	1.61
上載圧(1.780kN/m <sup>2</sup> )	62.4	429	6.92	2.38

供試体の配位数の結果を図2に示す。また、上載圧ごとの供試体のデータを表2に示す。なお、供試体最外郭の球に配位数は持たせず、最外郭から2番目の球から配位数を持つ球として採用している。充填率はボロノイ分割を用いて算出した。上載圧  $1.780\text{kN/m}^2$  で作成した供試体の配位数および充填率を見ると、他の条件に比べて配位数の平均値が約2個多くなっているが、充填率の増加は約2%でしかない。上載圧を大きくし、締固めを行うと、充填率はあまり変化しないが、接触するかどうかの境界に存在する粒子同士が接触し、構造が形成され、配位数が急

キーワード 配位数, 球体充填, 三次元座標

増ることが示された。一方、1.780 kN/m<sup>2</sup> のグラフにおいて、単一粒子集合における最大配位数である 12 (面心立方格子) を超える配位数が計測されている理由は、発泡ビーズが供試体作成時のおもりの重さによって微量につぶれてしまい、接触判定時にめり込みあっている玉が多く存在してしまったためだと考えており、供試体作成方法の改良により改善できる。

(3) 混合粒径粒子群の配位数

発泡ビーズ  $\phi=12\text{mm}$  と  $\phi=6\text{mm}$  を体積比 25:75, 50:50, 75:25 で混ぜた結果をそれぞれ図 3, 図 4, 図 5 に示す。なお、配位数は  $\phi=12\text{mm}$ ,  $6\text{mm}$  のどちらを主として見るかで値が変わってくるため、その様子を図 6 に示す。また、供試体と配位数のデータを表 3 に示す。表 3 は最外郭を除いたデータを採用している。供試体作成時の上載圧は 1.780kN/m<sup>2</sup> とした。小さい粒子の多い図 3 では、配位数の性質が細粒分に因り、全体の配位数が 6mm 球を主としたときの配位数に支配されている。次に、球同士の接触率の累積百分率を図 6 に示す。なお図 6 には最外郭のデータも採用する。  $\phi=12\text{mm}$ ,  $6\text{mm}$  の体積比 75:25 のとき、  $\phi=6\text{mm}$  同士、  $\phi=12\text{mm}$  と  $\phi=6\text{mm}$ ,  $\phi=12\text{mm}$  同士の接触数は 3 つ全てでほとんど一様となっている。また、体積比 50:50 のときは  $\phi=6\text{mm}$  の球が多く存在しているため、球の接触率の傾向は細粒の球に支配されている。実際に  $\phi=6\text{mm}$  同士の接触率が全体の 65%を占め、体積比 25:75 のときは 92%にまでなりその傾向は顕著になっている。

4. まとめ

- 1) 単一粒径では、上載圧を大きくしても充填率は 1~2%ほどしか増加しないが、接触するかどうかの境界の粒子が接触し、配位数が急増する。
- 2) 混合粒径では、細粒分が増加すると全体の配位数が細粒の球の配位数に支配される。

参考文献

- 1) 渡辺純平, 森友宏, 小山悠: 粒状集合体の三次元座標の計測・分析手法の開発, 土木学会関東支部第 49 回技術研究発表会 (投稿中)

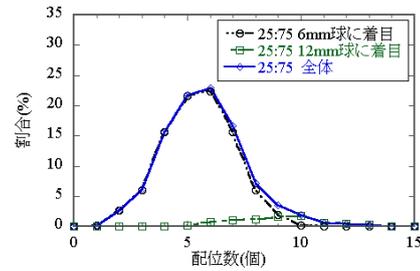


図 3 混合粒径 ( $\phi 12\text{mm}:\phi 6\text{mm}=25:75$ ) の配位数

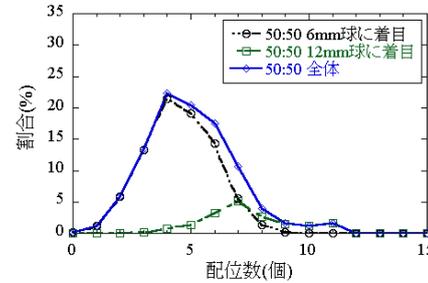


図 4 混合粒径 ( $\phi 12\text{mm}:\phi 6\text{mm} = 50:50$ ) の配位数

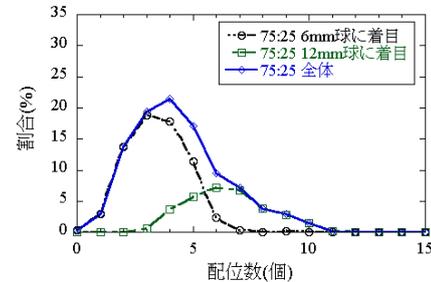


図 5 混合粒径 ( $\phi 12\text{mm}:\phi 6\text{mm} = 75:25$ ) の配位数

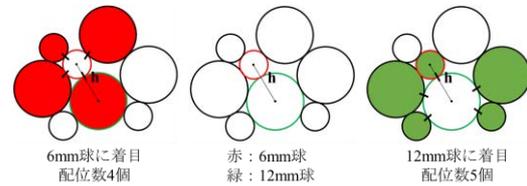


図 6 着目粒子による配位数の違い

表 3 粒子の体積混合比に応じた配位数の違い

比	大きさ	充填率(%)	n(個)	平均値 $\mu$ (個)	標準偏差 $\sigma$
75:25	6mm	61.15	1425	5.47	1.55
	12mm		124	8.85	1.94
	全体		1549	5.74	1.83
6mm:12mm	6mm	50:50	540	4.50	1.48
	12mm		116	7.41	1.87
	全体		656	5.02	1.91
25:75	6mm	64.53	371	3.43	1.29
	12mm		175	6.46	1.71
	全体		546	4.4	2.02

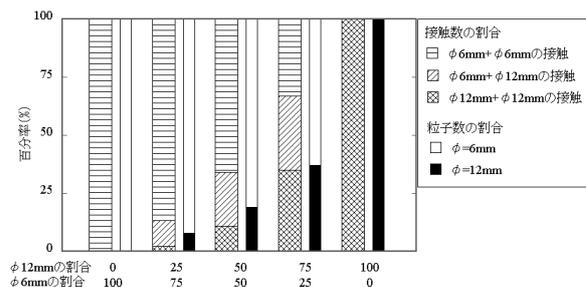


図 7 粒子の体積混合比率に応じた配位数に寄与する粒子の組み合わせと粒子数の比率