

均一円板と2種混合円板の充填体に関する最小間隙率の空間分布

名城大学 学生員○春日井真 学生員 古谷祐樹
正会員 岩田 賢 正会員 板橋一雄
正会員 小高猛司

1. はじめに 著者らは、礫質材料の相対密度を求めることを最終目的として、礫質材料の最密・最疎状態ならびに粒子形状に関する基礎的研究を実施し、充填特性に対する壁効果や粒子形状の影響を明らかにしてきた¹⁾。また、二次元状態での壁効果や内部構造の評価を実施してきた²⁾。二次元状態の研究の一貫として、今回は均一円板と2種混合円板を用いた最密充填実験を行い、充填容器内の最小間隙率の空間分布に対する比較および詳細な検討を行ったのでここに報告する。

2. 実験および解析方法 今回の実験では粒径の相違を明らかにするために、厚さが同一である円板粒子を使用し、その厚さと等しい奥行きの方角体容器を充填容器として用いた。充填容器は幅 $B=300\text{mm}$ 、高さ $h=300\text{mm}$ の正方形容器を用い、均一円板粒子は直径 $d=10, 15, 20, 25, 30\text{mm}$ の5種類、混合円板粒子は直径 $d_{\min}=10\text{mm}$ 、 $d_{\max}=30\text{mm}$ の2種類を表-1に示すように混合割合に調整した。実験手順としては、最初に充填容器の一層目が密に充填されるように粒子を詰め、落し蓋をした後にその供試体高さをノギスで測定する。なお、供試体高さは容器両端2箇所の平均値とした。次に、一つの粒子を無作為に投入する度に粒子が密な状態であることを確認し、供試体高さを測定した。このような実験方法を用いた理由は、粒子が不規則に充填されながら供試体高さが僅かずつ増加する詳細な変化を捉えるためである。容器が満杯になった状態の各粒子の接点座標を読み取り、充填状態をデジタル化した。そして、全粒子の半径、中心座標ならびに任意領域の間隙率などを求めるプログラムを作成した。壁効果の状況をみるために、二通りの領域分けを考え、各領域の間隙率を計算した。一つの領域分けは16等分(写真-1)する方法である。もう一つは、写真-2に示すように、中心から一定領域を取り徐々に領域を外側に広げる領域分けである。

3. 解析結果 表-2,3には均一円板と2種混合円板の充填容器を16等分した領域内の間隙率の関係を示してある。表-2を見ると、間隙率の平均値、標準偏差ともに粒径が大きくなるほど大きくなる傾向が見られた。また、領域別に見ると中心の領域の間隙率より容器壁に接している領域の間隙率の方が大きくなっており、中心の領域である⑥、⑦、⑩、⑪の間隙率は理論間隙率($p=9.31\%$)に近い値をとることがわかる。また、容器壁に接している領域の中でも一辺接している領域に比べ二辺接している領域の方が間隙率は大きくなる傾向が見られた。このことより、粒径が大きく、容器壁に接しているところが多くなるほど壁効果の影響が大きくなり間隙率が増加することがわかる。次に、表-3を見ると間隙率の平均値は混合割合が大きくなるほど小さくなる傾向が見られたが、標準偏差にはそのような傾向は見られなかった。また、領域別に見ると均一円板と同様に、中心の領域より容器壁に接している領域の間隙率の方が大きくなっており、その中でも一辺に接しているところより二辺に接しているところの方が間隙率は大きくなる傾向が見られた。図-1,2には写真-2の領域分けにより求

表-1 混合割合と投入個数

混合割合(%)	粒子個数	
	$d_{\min}$ 粒子	$d_{\max}$ 粒子
0.00		全粒子
3.57	1	3
5.26	1	2
10.00	1	1
18.18	2	1
30.77	4	1
40.00	6	1
50.00	9	1
60.87	14	1
70.00	21	1
80.00	36	1
85.00	51	1
90.00	81	1
95.00	171	1
100.00	全粒子	

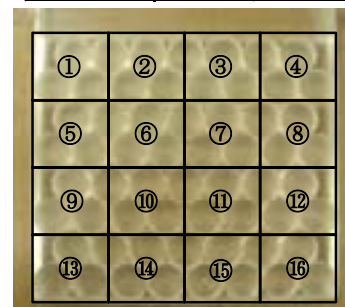


写真-1 16等分領域分け例

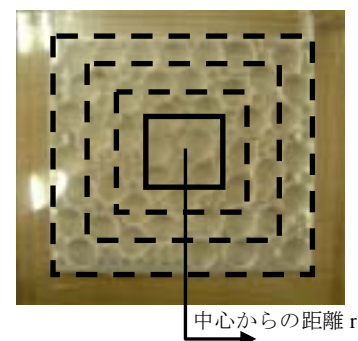


写真-2 解析領域分け例

連絡先住所：愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501 電話番号：052-(838)-2346 FAX：052-(832)-1178

表-2 各領域内の間隙率(均一円板)

領域	d=10mm	d=20mm	d=30mm
①	18.57	16.42	22.82
②	12.58	14.03	18.73
③	17.08	13.30	18.36
④	15.93	16.28	14.08
⑤	11.66	11.12	13.63
⑥	9.26	8.21	13.03
⑦	9.41	8.95	9.90
⑧	11.83	11.05	7.03
⑨	12.01	11.49	13.59
⑩	9.63	8.88	6.13
⑪	9.15	8.72	9.89
⑫	11.82	11.25	7.57
⑬	12.54	16.98	22.96
⑭	9.22	13.89	19.58
⑮	10.46	13.69	17.97
⑯	12.67	14.82	17.39
平均値 %	12.11	12.44	14.54
標準偏差	2.78	2.81	5.24

表-3 各領域内の間隙率(2 種混合円板)

領域	混合割合		
	18.18%	30.77%	95.00%
①	17.81	18.20	16.25
②	20.43	17.58	14.60
③	17.54	15.13	15.61
④	21.59	17.16	19.15
⑤	14.23	14.99	11.59
⑥	13.91	11.53	11.28
⑦	15.16	13.09	14.30
⑧	15.56	12.71	15.47
⑨	13.73	17.03	11.52
⑩	12.31	11.73	9.15
⑪	13.28	14.76	9.39
⑫	14.61	12.70	15.01
⑬	17.74	15.48	11.88
⑭	16.19	14.88	9.59
⑮	14.39	11.10	9.52
⑯	13.82	15.18	13.86
平均値 %	15.77	14.58	13.01
標準偏差	2.53	2.17	2.85

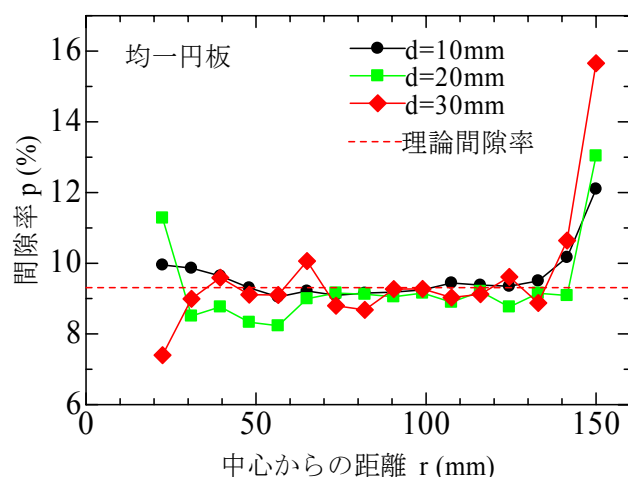


図-1 間隙率と中心からの距離の関係

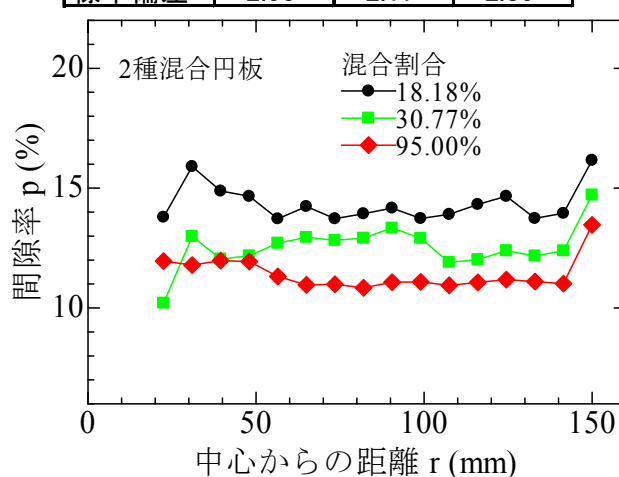


図-2 間隙率と中心からの距離の関係

めた均一円板と2種混合円板の間隙率と中心からの距離の関係を示してある。図-1より、中心からの距離 r が40 mm以下のときはすべての粒径で間隙率にばらつきが見られる。これは、粒径の大きさに対して考慮した領域が小さいことが原因と考えられる。 r が40 mm以上となる領域では多少のばらつきは見られるが理論間隙率のあたりをほぼ一定に推移しており、きちんとした斜方配列の形成されていることがわかる。ただし、容器壁部分まで含んだ領域では間隙率の大きな増加傾向が見られた。このことから、壁効果が間隙率に大きな影響を与えることがわかる。また、粒径が大きくなると容器壁部分での間隙率の増加が大きくなることから、粒径が大きいほど壁効果の影響が大きくなることもわかる。図-2でも同様に、中心からの距離が40 mm以下ではばらつきが見られる。しかし、40 mm以上では多少のばらつきは見られるが一定に推移し、容器壁部分では間隙率の増加傾向が見られた。また、混合割合が小さいほど容器壁部分での間隙率の増加が大きくなることから、粒径が大きい粒子が多いほど壁効果の影響が大きくなると考えられる。

4. まとめ 今回、容器内の最小間隙率の空間分布に対する比較および詳細な検討を行った。その結果、①容器壁に接している部分が多いほど壁効果の影響が大きくなる。②粒径に対して小さな領域を考慮すると間隙率がばらつく。③間隙率に対する壁効果は、壁に接する表層付近のみであることが予想できる。

参考文献 1) 板橋一雄・松尾稔・内藤充則・神谷圭吾：均一な粗粒材料の粒子形状評価と充填特性,地盤工学会論文集,43(1),pp.115-127,2003。 2) 水野裕介・板橋一雄・小高猛司・長谷川裕久：2種混合アクリル円板の最小間隙率に対する壁効果の影響,土木学会第62回年次学術講演会概要集,pp.419-420,2007。