

締固め時の含水比が透水係数に及ぼす間隙構造

中部大学 正会員 ○杉井 俊夫
浜松市役所 非会員 野川 敦史 (株)東海サンユーテクノス 古川 泰之

1. はじめに

著者らはこれまでに締固め時の含水比と透水係数の関係を間隙径分布の計測結果から検討を行い、最適含水比を境に観測側では細かい粒子が結合しやすく団粒状の構造になりやすく、湿潤側では間隙径分布が一様であることを得てきた¹⁾。本報告では、さらに透水係数の大きさと間隙径分布の大きさとの関係について検討を行ったので、ここに報告する。

2. 試験および試料の概要

(1) 突固めによる土の締固め²⁾

保水性試験と透水試験の一連の試験を同一供試体（モールドサイズ：φ=80 mm、H=50 mm）での実施や試料の破砕防止のため、非繰返し法を用い、供試体サイズ等からA法の締固めエネルギー $E_c=550\text{kJ/m}^3$ に合わせ、突き固め回数 47 回とした。

(2) 透水性試験²⁾

定水位・変水位対応型の透水試験装置 (KSAT: Meter 社製) を用いて変水位透水試験を実施した。図 1 にあるように供試体下部にある圧力センサーにより、水位差および流量を自動計測できる。

(3) 保水性試験と間隙径分布の算定²⁾

蒸発型の水分特性曲線・不飽和透水係数測定装置 (HYPROP: Meter 社製) 図 2 と高ポテンシャル領域を測るためにチルドミラー式サイクロメーター (MP4-T: 旧 Decagon 社製) を使用した。約-1000~-3000 (pF3~3.5) のポテンシャル範囲は計測できないため、自由度が高い双峰性(bimodal Type)と水分量ゼロまで対応可の PDI モデルを組み合わせた水分特性曲線モデルによりフィッティング補間を行った。

間隙径分布の計測には物理的意味を有する間隙くびれ径の分布を表す水分特性曲線から推定する方法を用いることとした。本方法は間隙径を細い毛管の束と仮定し、その管径に対する毛管上昇高の考え方を式(1)によって用いている。

累積間隙体積率を飽和度と表すことができる。

$$d_m = \frac{4\sigma}{\rho_w \cdot g \cdot h_p} \times 10 \tag{1}$$

ここに、 d_m : 間隙径(mm)、 σ : 水の表面張力 (dyne/cm)、 ρ_w : 水の密度(g/cm^3)、 h_p : 負の圧力水頭(cm)である。

(4) 実験試料

比較的幅広い粒度範囲を有するマサ土を使用することとした。今回使用したマサ土の物理的性質の諸量を図 1 に示す。

3. 試験結果

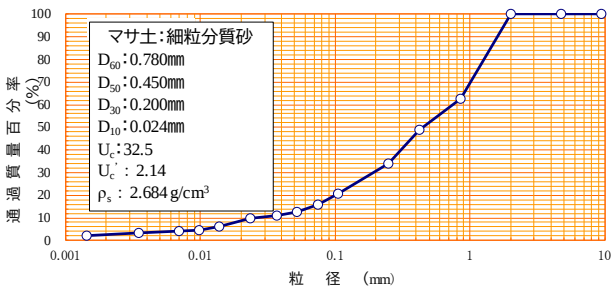


図1 マサ土の粒度分布

試験ケースと結果を表 1 に示す。一連の試験を終えたものごとに、締固め時の含水比と乾燥密度、15℃における透水係数をプロットしたものを図2に示す。M-3 と M-6 は乾燥密度 $1.736、1.732\text{Mg/m}^3$ とほぼ同じであるが、透水係数としては約 10 倍異なる結果となっている。間隙比の違い以上に間隙構造の違いが表れている結果が確認できる。

ハーゼン・ポアーズユとダルシーの法則から透水係数 k に相当する円管半径を $R=\sqrt{8k\mu}$ より求め、

表1 供試体ケースと試験結果

供試体	含水比 (%)	乾燥密度 (Mg/m^3)	締固め度 (%)	透水係数 (m/s)	間隙径の	
					平均値(mm)	推定円管径 2R(mm)
M-1	4.5	1.676	93.9	1.08E-06	0.0138	0.0063
M-2	8.5	1.700	95.3	1.36E-06	0.0034	0.0070
M-3	12.0	1.736	97.3	4.70E-07	0.0025	0.0041
M-4	15.3	1.784	100.0	4.69E-08	0.0012	0.0013
M-5	16.9	1.764	98.9	2.72E-08	0.0015	0.0010
M-6	18.4	1.732	97.1	4.92E-08	0.0019	0.0013
M-7	21.4	1.631	91.4	1.13E-07	0.0021	0.0020
M-8	21.4	1.635	91.6	1.10E-07	0.0014	0.0020

キーワード 間隙径分布 締固め 透水係数

連絡先 〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200 中部大学工学部都市建設工学科 杉井俊夫 TEL 0568-51-9562

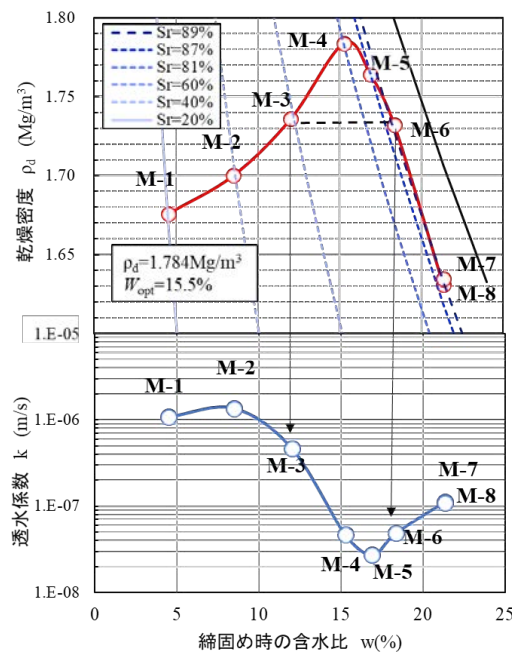


図2 締固め曲線と透水係数

2R(破線で表示)として間隙径分布と比較して、図3～図7に結果の代表例を示した。また、飽和度一定曲線からも飽和度を求めている。

図3～図7の全体からみると締固め時の含水比が高くなるほど、間隙体積率が滑らかに分布しており、低含水比になるほどピークが偏っており、大きな間隙が集中的に形成されていることが推察される。乾燥密度がほぼ同じM-3(図4)とM-6(図6)では全く間隙径の分布状態が異なっており、乾燥側のM-3の方が間隙径の最頻値や推定した間隙径も大きいことがわかる。さらに、最適含水比に近いM-4が最も間隙径分布が均等に分布している傾向であることもわかった。

4. おわりに

今回の実験結果から、締固め時の含水比が低い、飽和度が約80%未満では細かい粒子がサクションにより結合しやすく、団粒状態のまま締め固められることにより大きな間隙が残存することが確認できた。一方、飽和度80%以上の含水比になると団粒状にはならず、均等な間隙径が形成されるものと判断できた。

謝辞: 本研究は、公益財団法人土科学センター財団の補助を受けました。

【参考文献】1) 杉井俊夫・朱発瑜・末松知奈: 有効応力から「粒子有効力」へ、間隙率から「間隙径分布」へ、地盤工学会誌, 第66巻, 第7号, pp.14-17, 2018.
2) 野川・杉井: 締固め時の含水比と間隙径分布との関

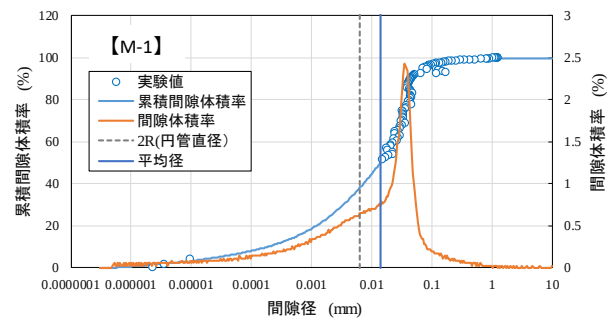


図3 M-1(w=4.5%, Sr=20%) の間隙径分布

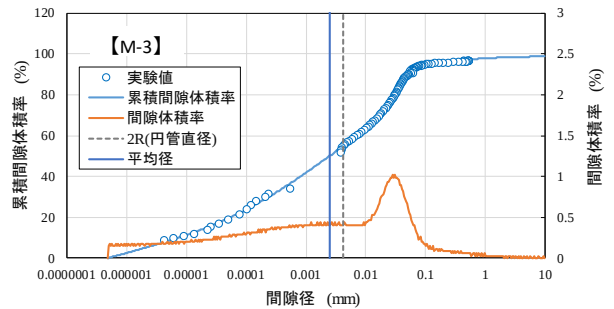


図4 M-3(w=12.0%, Sr=60%) の間隙径分布

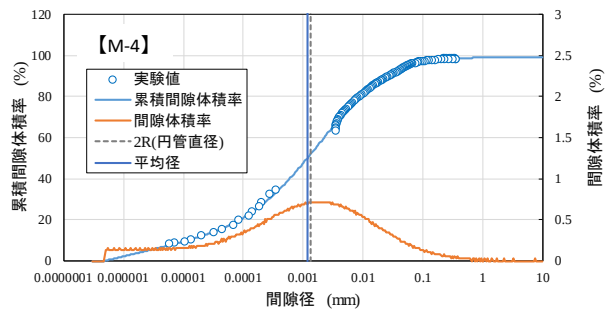


図5 M-4(w=15.3%, Sr=81%) の間隙径分布

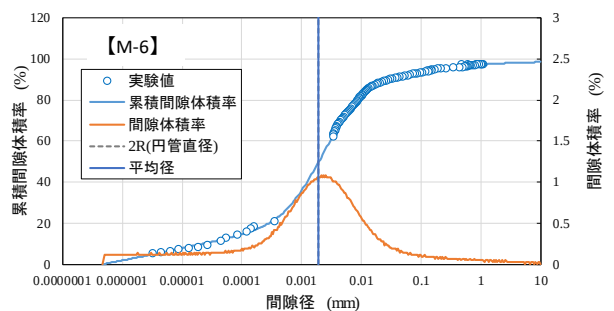
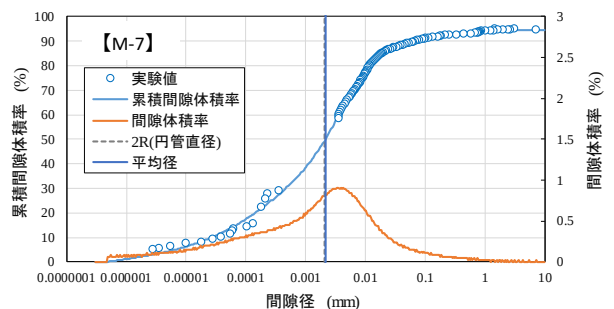


図6 M-6(w=18.4%, Sr=90%) の間隙径分布



係, 第58回地盤工学研究発表会, 2023.