砂質土の間隙くびれを考慮した間隙径分布の評価

名古屋港管理組合(元中部大学学生)学生会員 〇浅野貴也 中部大学 正会員 杉井俊夫 余川弘至

1. はじめに

従来の水銀圧入法や水分特性曲線から得られる細孔径分布または間隙径分布の計測法は、得られた細孔径分 布の力学的意味および離散的な保水試験データによる精度の課題があった。本研究は間隙径分布を連続した保 水性データから得ることで間隙径分布の力学的意味や容易な推定の可能性について示すとともに、間隙径分布 による土質力学における現象解明に務めることを目的とする。 **表1** 供試体ケース

2. 使用した砂質土と試験ケース

豊浦砂とマサ土の2種類を用い、JIS Z8801 ふるいの開き目を使 用した粒度試験、砂の最小密度・最大密度試験方法(JIS1224)に 従い、相対密度を算出している。実験ケースを表1に示す。また、 図1のような PLC(プログラマブルロジックコントローラ)を介 して圧力制御を可能にし、連続的に加圧・減圧が選択できる。さ らに、供試体モールドを透明アクリル製にすることで体積変化を 外から確認することができる。指定質量の乾燥試料を水中落下で

透明モールドに投入後、目標乾燥密度になるように突 砂法および振動法により締め固める。試験チャンバー を組み立て、バルブの開閉を確認後、供試体上面に存 在する水位から余剰の水体積を求める。長時間におよ ぶ計測により排水量の蒸発を防ぐことが困難なため、 供試体の質量減少量を測る方法をとった。10~20 分 の間隔で5~25cm 水頭を段階的に負荷していった。

3. 間隙径分布測定の原理

本研究では間隙径を細い毛管の束と仮定し,その管 径の大きさに対する毛管上昇高の考え方^{例えば1)}を用い ている。メニスカスによる吸引圧と毛管上昇高に相当





図1 実験装置の概要

する水の体積による重量とバランスから算出される毛管上昇高の関係(式(1))を用い,排水過程の水分特性 曲線の圧力水頭から毛管径に対応する間隙径 d を算出する。また,その間隙径より小さな径を有する間隙の累 積体積間隙率は,その負の圧力水頭と平衡する水分割合に等しく、式(2)に示す有効飽和度から算出した。

$$d = \frac{4\sigma}{\rho_{w}g|h_{p}|}$$
(1) $Se = \frac{\theta - \theta_{r}}{\theta_{s} - \theta_{r}} \times 100$ (%) (2)

ここに、 h_p :負の間隙水圧(m)、 ρ_w :水の密度(Mg/m³)、g:重力加速度(m/s²)、 σ :水の表面張力(73.46 mN/m)、 Se:有効飽和度、 θ :体積含水率(-)、 θ_r :最小体積含水率(-)、 θ_s :飽和単位体積含水率(-)である。

4. 水分特性曲線から得られる間隙径分布の関係

得られた豊浦砂の結果を図2に、マサ土の結果を図3に示す。水銀圧入法²による細孔径分布と違って水分 特性曲線からの求めた間隙径分布は豊浦砂、マサ土のどちらも粒度分布の形状と類似している。黒の破線は粒 径の大きさを1/4にした粒度分布を示しており、乾燥密度が大きくなるほど黒の破線に近づいている。Kenney ら³は、間隙が細くなった部分の径を「間隙くびれ径」と呼び、フィルター層自身が造る最も大きな「間隙く

キーワード 間隙径分布 粒度分布 水分特性曲線 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 TEL05568-51-9562 びれ径」が実験により粒径の1/4倍になることを示してきた。今回の豊浦砂の結果によれば水分特性曲線から 得られる間隙径の大きさは間隙くびれ径の分布に相当することが、この実験結果と間隙くびれ径によるメニス カスと吸引圧の関係からも納得できる。一方、図3では粒径の1/4倍より間隙径の大きさは小さい。これは、 Kenney らの実験では対象がフィルター材であり、U_cが12以下かつ最大乾燥密度に近い条件で行った実験結果 を用いていたことによるものと考えられ、次節ではその検討も行った。







図3 間隙径分布と粒度の関係(マサ土)

5. 粒度分布と相対密度が間隙径分布に与える影響

粒径範囲が広くなる場合と相対密度の関係を調べる。関係を調 べるために、粒度分布の50%粒径の大きさに対する間隙径分布の 50%間隙径の比を「間隙粒径比 ζ」(式(3))、粒度分布の均等係数 と同様に「間隙径分布の均等係数 *U_{cp}*」(式(4))、粒度分布の均等 係数に対する比率を「均等係数比 λ」(式(5))として定義した。

 $\zeta = \frac{D_{50P}}{D_{50}} \quad (3) \quad U_{cp} = \frac{D_{60P}}{D_{10P}} \quad (4) \quad \lambda = \frac{U_{cp}}{U_c} \quad (5)$

ここに, D₅₀:通過質量百分率 50%の粒径, D_{50p}:間隙径分布におけ る累積間隙体積率 50%の間隙径, D_{10P}:10%間隙径, D_{60P}:60% 間隙径, U_c: 均等係数(=D₆₀/D₁₀) である。

図4には、豊浦砂とマサ土の相対密度と「間隙粒径比 ζ」を示 す。両材料とも相対密度の増加とともに「間隙粒径比ζ」は同程 度で小さくなっていくことは興味深い。また、マサ土(Uc=23.3) の間隙径は豊浦砂の約1/3と小さく、相対密度90%を越えると0.05 になる。「粒径幅の広い」土の方が、粒度分布と間隙径分布の大き さが乖離することで土粒子の流出による内部浸食の抑制やせん断 抵抗の上昇が推察できる。図5には、豊浦砂とマサ土の相対密度 と「均等係数比 λ」の関係を示す。豊浦砂については相対密度 60%程度までは粒度分布の勾配と等しく、60%以上になると「均



等係数比 λ」は1よりも小さく間隙径分布の勾配が急になり、密になるほど間隙径の大きさが均等になって くることがこの図より判断でき、構造的にも安定することが推察される。

6. おわりに

水分特性曲線から得られる間隙径分布は、Kenney らの「間隙くびれ径」である連続する間隙が細くくびれ ている径であること、相対密度の増加による間隙径分布の粒径に対する間隙粒径比の減少率は、ほぼ一定であ る傾向、間隙径分布の均等化等の結果を得た。さらに多くの土質種に対してのデータ蓄積することで粒度と間 隙率から間隙径分布の推定や間隙径の分布状態から詳細なメカニズムの説明についても可能になると考える。

謝辞:本研究は JSPS 科研費 18K04353 基盤研究(C)の助成を受けた。記して謝意を表する。 【参考文献】1)宇野・神谷・田中:「空気圧入法」と「水分法」による砂の間隙径分布,土木学会論文集 No. 603/III-44, 35-44, 1998. 2)Sugii et al.: Evaluation of filter considering information about pore size, Proc. of 2nd International Conference on Geo-filters, pp.95-102, 1996. 3)Kenney, T.C. and Lau, D.: Internal Stability of Granular Filters. Canadian Geotechnical Journal, 22, pp.215-225, 1985.