

砂層内の注入材挙動に及ぼす間隙径分布と注入材粒度の関係

岐阜大学工学部 フェロー 宇野 尚雄
 岐阜大学工学部 正会員 神谷 浩二
 岐阜大学大学院 学生会員 ○ 木村 大介
 岐阜大学工学部 西本 勝之

1. まえがき 薬液注入工法における適切な注入材を選択するには、注入材挙動に影響を及ぼす土の間隙構造を把握し、その構造と注入材特性(粒度、粘度など)の関係を究明する必要がある。本報告は、その基礎的研究として、乾燥砂層への粒子注入実験に基づいて、注入粒子粒度と筆者らが提案している「空気圧入法」により計測した間隙径分布の関係を調べるとともに¹⁾、砂層内の注入粒子挙動について考察するものである。

2. 粒子注入実験

(1) 実験方法 ある一定の空気圧力に調節した圧縮空気中に粒子供給器により注入粒子を分散させ、空気と粒子の混合流体を円筒管(内径5cm、深さ $L=50$ cm)内に充填した砂層の上端に圧送し、1時間30分空気流により砂層内に粒子を注入した²⁾。そして、そのときの空気流量 Q_a (cm^3/s)、砂層内の空気圧力水頭 h_a (cm)をそれぞれ計測した。実験終了後には、砂層を通過した注入粒子量 m_p (g)を、また、砂層を深さ方向に5分割し、その各砂層内に滞留した注入粒子量 m_f (g)をそれぞれ計測した。なお、砂層上下端に負荷した空気圧力水頭差 Δh_a は、 $\Delta h_a \approx 90$ cmである。

(2) 実験試料 実験試料には、注入対象砂として粗砂を、注入粒子としてガラスビーズAG(以下GB-AGと称する)をJISふるいにより、38~45, 45~53, 53~63, 63~75, 75~90, 90~106(いずれも単位は μm)の粒径範囲に区分したものをそれぞれ用いた。図-1には、粗砂の粒度および空気圧入法により計測された粗砂の間隙径分布(間隙径 d_e^* (mm)と累積間隙体積百分率 V_e (%)の関係、間隙率 $n=0.431$)をそれぞれ示し、GB-AGの粒度を併記した。前報において²⁾粗砂の粒度の約1割、間隙径分布の約4割の粒度を有するGB-AGが砂層内(特に上層部)に侵入可能で滞留することが認められた。本報では、GB-AGの粒度のどのような粒径が侵入可能であるかを把握するため、上述のふるい区分した注入粒子を用いた。

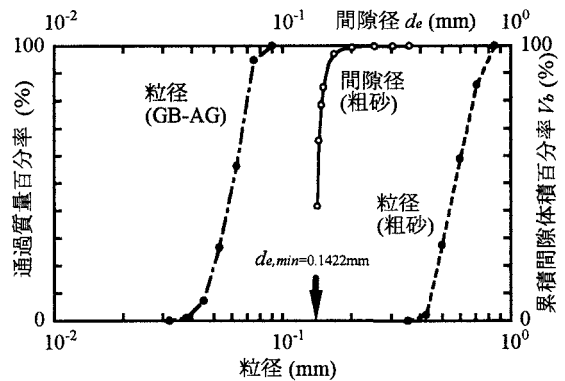


図-1 実験試料の粒度および間隙径分布

なお、粗砂、注入粒子は炉乾燥状態のものを使用し、また、粒子供給量 m_4 は約30gとした。

3. 実験結果 図-2は、実験終了後に5分割する各砂層()内の数字は高さを示す)の注入前の間隙率 n に対比して、次式により各砂層内の注入粒子滞留量 m_f を用いて算出する注入後の間隙率 n' を(注入粒子の中間径 D_g^* (mm))/(最小間隙径 $d_{e,min}$ (mm))に対して示したものであり、

$$n' = \frac{V_v - V_f}{V} = \frac{V_v - m_f / \rho_s}{V} = n - \frac{m_f / \rho_s}{V} \quad (1)$$

ここに、 V_v : 各砂層の注入前の間隙体積(cm^3)、 V_f : 各砂層内に残留した粒子体積(cm^3)、 V : 各砂層の全体積(cm^3)、 ρ_s : 注入粒子の真の密度(g/cm^3)

全砂層内の注入粒子の通過率 $P_p=m_p/m_A$ を併せて示した。

最小間隙径の7割程度の粒径の注入粒子が侵入可能となり、5割程度になると砂層上部に多く滞留し、更に、3割程度になると砂層深さ方向に様に滞留し易くなるとともに、通過量も多くみられるようになる。

4. 砂層の間隙径と注入粒子粒径

砂層内のある断面の間隙から隣り合う間隙の断面への注入粒子の移動には、連続する間隙の小さい方の間隙径がかなり影響することが予想される。しかしながら、図-2によると、最小間隙径と侵入可能な注入粒子の粒径にはずれが生じている。注入粒子はほぼ球形であり、その粒子が間隙内に侵入するには、その粒子の粒径を直径とする内接円に相当する空間が存在しなくてはならない。一方で、空気圧入法により計測される間隙径分布は、複雑な間隙構造をまっすぐに連続した円形毛管で近似している。即ち、最小間隙径と注入可能な粒子粒径とのずれには、間隙の形状が寄与していると考えられる。

また、 $D_g^* \approx 0.5d_{e,min}$ では砂層上部で侵入量が多くみられ、 $D_g^* < 0.5d_{e,min}$ では砂層上部での通過量が多くみられることから、粒子注入に関わる間隙の最小径は $0.5d_{e,min}$ 程度であると推測される。ところで、間隙の大きさに対して十分に粒径が小さい38~53 μm 程度の注入粒子は、砂層内を通過し得ると考えられるにもかかわらず、砂層内に様に滞留している。注入粒子は間隙内で砂粒子と衝突を繰り返しながら進行しており、侵入深さの増加により、砂層上端での粒子侵入速度に較べてかなり粒子速度が低下するため砂粒子へ付着している懸念があること、また、複数の間隙が一つの間隙に連結する部分において、一つの間隙へ粒子が集中

することに伴って、粒子の相互作用によりその間隙部分で粒子のアーチ形成がされていることなどが推測され、それによって目詰まりが生じるために、上述のような粒子が滞留すると考えられる。

図-3は粒子注入に伴う砂層内の透気係数の変化を示したものである(k_{ao} :注入前の砂層の透気係数、 k_a :注入後の砂層の透気係数)。図-2示したようなわずかな間隙率の減少に対して、透気係数の減少が著しい。これは、空気の一次元流れ方向に対する間隙断面において、注入粒子により間隙径が減少されたり、間隙が閉塞されたりすることによると推測される。

5. あとがき 本報告では、砂層への球形粒子の注入実験に基づいて、空気圧入法による間隙径分布の最小間隙径の約7割の大きさの粒径を有する球形粒子が侵入可能であり、また、約3割の粒径になると、砂層の深さ方向に対してその粒子が一様に滞留する傾向にあることを示した。

【参考文献】

- 1) 神谷・宇野・松島:「空気圧入法」による砂質土の間隙径分布の計測, 土木学会論文集, No. 541/III-35, pp. 189-198, 1996.
- 2) 宇野・神谷・木村:粒子注入実験に基づく砂の間隙構造に関する考察, 第31回地盤工学研究発表会平成8年度発表講演集, pp. 2077-2078, 1996.

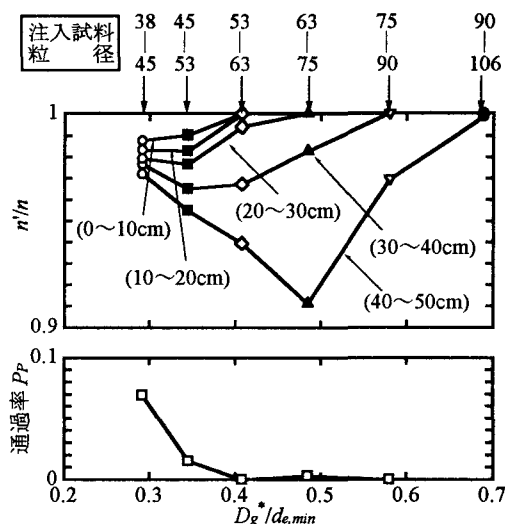


図-2 砂層内の間隙率変化と注入材粒子通過率

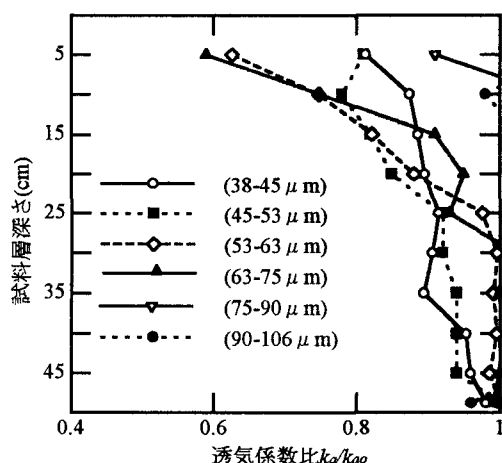


図-3 砂層内の透気係数比の分布