

砂層の間隙径分布と注入材粒度の関係

岐阜大学大学院 学生会員 大橋 宜明
 岐阜大学工学部 フェロー 宇野 尚雄
 同上 正会員 神谷 浩二

1. まえがき 本研究は、注入材挙動にかかわる砂層地盤の間隙構造の視点で、懸濁系注入材の浸透機構を解明することが目的である。本報告では、一次元浸透注入実験に基づいて¹⁾、注入材の浸透性に注入材濃度や注入圧力が与える影響を検討しつつ、浸透注入するために適切な砂層の間隙径分布と注入材粒度の関係について考察する。

2. 砂層間隙径と注入材粒径の関係による侵入性 注入材中の注入粒子の侵入特性を究明するために、水で飽和した砂層(断面積 $A = 19.6\text{cm}^2$ 、長さ $L = 50\text{cm}$ の円柱体)の上下端に全水頭差 $h(\text{cm})$ を負荷した状態で、注入粒子を水で溶いた注入材を砂層へ鉛直一次元下向きに浸透注入させる実験を実施した¹⁾。注入終了後には、砂層上面に堆積した注入粒子の質量 $m_f(\text{g})$ 、砂層内に滞留した粒子質量 $m_r(\text{g})$ 、砂層を通過した粒子質量 $m_p(\text{g})$ をそれぞれ調べた。

実験試料は、表 - 1 に示すように、6 種類の注入対象砂と 2 種類の注入粒子(いずれもガラスビーズ)をそれぞれ用いた。表中には、対象砂(注入前)の間隙率 n 、50%粒径 $D_{50}(\text{mm})$ 、均等係数 U_c 、「空気圧入法」による間隙径分布の最小間隙径 $d_{e,\min}(\text{mm})$ のそれぞれ²⁾、注入粒子の平均粒径 $D_{w(G)}(\text{mm})$ ³⁾(添字の G は注入材を表す)のそれぞれを併記した。そして、対象砂と注入粒子の種類の組合せによるケース(a) ~ (h)の実験をそれぞれ行った。なお、注入材の水・注入材質量比 W/G の値は 5 ~ 30、注入開始時の h は 50 ~ 350cm 程度の範囲内にある。ここで、 $W(\text{g})$ は水の質量、 $G(\text{g})$ は注入粒子の質量であり、 W/G 値が小さいときほど注入材濃度が高い。

図 - 1 は、注入前砂層の圧入法による間隙径分布、注入材の質量基準による粒度・個数基準による粒度のそれぞれを重ね合わせて示した例である。圧入法の間隙径分布は、図 - 2 に示すような“瘤状の間隙空間”において流体の流

表 - 1 注入対象砂の粒径・間隙径と注入粒子の粒径

実験のケース	注入対象砂					注入粒子	
	名称	n	D_{50}	U_c	$d_{e,\min}$	名称	$D_{w(G)}$
(a)	粗砂	0.457	0.559	1.3	0.150	GM-A	0.060
(b)						GM-B	0.035
(c)	粗砂	0.449	0.484	1.4	0.139	GM-B	0.035
(d)						GM-B	0.035
(e)	長良川砂	0.440	0.584	1.5	0.173	GM-B	0.035
(f)	長良川砂	0.440	0.557	1.4	0.152	GM-B	0.035
(g)	長良川砂	0.410	0.548	1.7	0.131	GM-A	0.060
(h)						GM-B	0.035

れに寄与の間隙部分(白塗り部分)を表現したものであるという意義を有するため³⁾、注入材の侵入性を考えるのに有用なものである¹⁾。一方で、注入材侵入は、小さめで分布頻度が高いときの間隙径部分に依存すると考えられるので、間隙径分布の代表径には最小径 $d_{e,\min}$ を用いる。注入材では、大きめの粒径部分に依存するという意味で 85% 粒径 $D_{85(G)}(\text{mm})$ が常用されるが¹⁾、個数頻度が高いときの粒径部分の影響が大きであろう。福田らは個数粒度の代表径として粒度評価径 $D_c(\text{mm})$ を提案した⁴⁾。その D_c を 4 倍したときの値は平均粒径 D_w に相当することが判明したので⁵⁾、注入材粒度の代表径には $D_{w(G)}$ を用いる。即ち、注入前砂層の間隙径分布と注入材粒度の関係は、砂層の最小間隙径 $d_{e,\min}$ と注入粒子の平均粒径 $D_{w(G)}$ との関係で代用する。

さて、図 - 3 は、各ケースにおける $D_{w(G)}/d_{e,\min}$ の値に対して、注入粒子の侵入率 $P_f(\%) = (m_r + m_p)/(m_f + m_r + m_p) \cdot 10^2$ と滞留率 $P_r(\%) = m_r/(m_f + m_r + m_p) \cdot 10^2$ のそれぞれの値を示したものである。 $D_{w(G)}/d_{e,\min}$ 値の減少に伴い、侵入率は 90% 程度まで増加して、

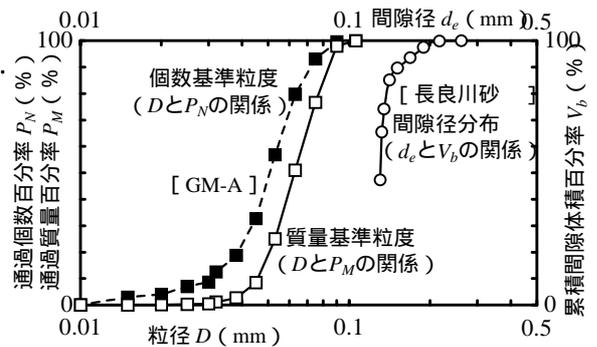


図 - 1 対象砂の間隙径分布と注入材粒度(ケース(g))



図 - 2 瘤状に広くなったりする間隙空間

キーワード：浸透注入，粒度，間隙径分布，空気圧入法，砂質土

住所：〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 Tel：058-293-2421 Fax：058-230-1891

滞留率は70%前後までの増加で止まる傾向にある。即ち、 $D_{w(G)}$ が $d_{e,min}$ の1/4~1/5の大きさよりも小さいとき、注入材は侵入し易い。

3. 注入に伴う間隙の状態変化 注入材の侵入には、注入進行による間隙構造の変化が大きく影響すると考えられる。前報では¹⁾、注入に伴う砂層の圧入法による間隙径分布の変化に基づき、注入粒子は、図-2の流れに寄与の間隙部分(白塗り部分)で砂粒子表面に付着する滞留が生じ、間隙の瘤部分(塗りつぶし部分)で蓄積する滞留が生じる。更に、流れに寄与の間隙部分では、粒子滞留により間隙径は減少するが残存することを見出した。そして、注入材が侵入するために注入粒子径が注入前砂層の間隙径よりも十分に小さい前述のような条件は、注入進行で減少した間隙径でも注入粒子径より大きくなるためのものと解釈した。

さて、図-4は、図-3で注入材が侵入し易い $D_{w(G)}/d_{e,min}$ 値のときについて、 W/G 値と侵入率 P_I の関係を示したものである。 W/G 値が大きく注入材濃度が低くなるほど、注入粒子の単位時間あたりの侵入・滞留量が少ないため圧入法の間隙径が経時的に減少し難い影響により、 P_I は僅かに増加して侵入性が良くなると考えられる。しかしながら、注入材濃度による侵入性への影響は少ない。

一方、図-5は、注入開始時の全水頭差 h に対して P_I 、 P_r のそれぞれの値を示したものである。 $D_{w(G)}/d_{e,min} = 0.20$ のとき、 h の増加により、侵入率は90%程度を維持するが滞留率は低下して、注入粒子は砂層を通過し易くなる。これは、注入で減少した圧入法の間隙径が注入粒子径よりもかなり大きいため、 h の増加での注入材の流速の増加によって、流れに寄与の間隙部分で注入粒子が滞留し難かったり滞留しても再移動することが原因と想像される。一方、 $D_{w(G)}/d_{e,min} = 0.34$ のときでは、 h の増加により P_I や P_r は増加傾向にあるが侵入性は良くない。

そして、図-3の結果を併せて考えて、注入材が“侵入・滞留し易く通過し難い”ための条件には、ケース(c)や(h)のときに対応した次の注入材粒径 $D_{w(G)}$ と砂層間隙径 $d_{e,min}$ の関係が適当であると判断されよう。

$$D_{w(G)} = 0.25 d_{e,min} \quad (1)$$

また、 $d_{e,min}$ は、提案の r 値と D_{50} を用いて次式で表すことができる⁵⁾。

$$d_{e,min} = 0.73 \beta_r D_{50}, \quad \beta_r = 4.8e / \{K_s \exp[0.5(0.484 + 0.420 \ln U_c)^2]\} \quad (2)$$

ここに、 e は間隙比、 K_s は土粒子の形状係数(砂では $K_s = 8.5$)である⁵⁾。そして、式(1)に式(2)の関係を代入すると次のようである。

$$D_{w(G)} = 0.18 \beta_r D_{50} \quad (3)$$

表-1の均等な質量粒度をもつ対象砂では、 $r = 0.3 \sim 0.4$ の範囲であり、注入粒子径 $D_{w(G)}$ は砂層粒径 D_{50} の1/14~1/18の大きさである。

4. あとがき

本報告では、注入対象砂層の間隙構造の観点で、注入材に含まれる注入粒子の砂層への侵入特性について考察した。そして、注入前砂層の空気圧入法による間隙径分布の最小間隙径 $d_{e,min}$ と注入材の個数基準粒度にかかわる平均粒径 $D_{w(G)}$ を用いて、注入材粒径 $D_{w(G)}$ が砂層間隙径 $d_{e,min}$ の1/4の大きさのときは、注入材は砂層内に侵入・滞留し易いが砂層を通過し難い条件にあることを述べた。

【参考文献】1)神谷ら：浸透注入するための砂層の間隙径分布と懸濁系注入材の粒度との関係，地下水地盤環境に関するシンポジウム'99発表論文集 pp.53-62, 1999. 2)神谷ら：「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/ -35, pp.189-198, 1996. 3)宇野ら：「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/ -44, pp.35-44, 1998. 4)福田ら：「粒度評価径」の提案とそれに基づく日本統一土質分類法の分析，土木学会論文集, No.582/ -41, pp.125-136, 1997. 5)神谷：砂質土の間隙径分布の評価とその利用，岐阜大学博士学位申請論文, pp.57-74, 1999.

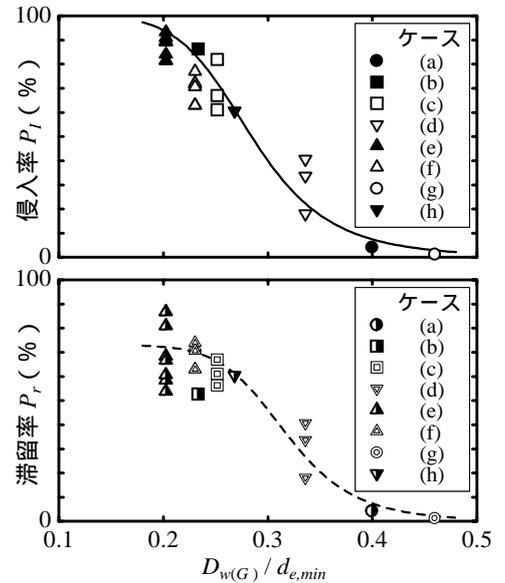


図-3 $D_{w(G)}/d_{e,min}$ 値による侵入率，滞留率

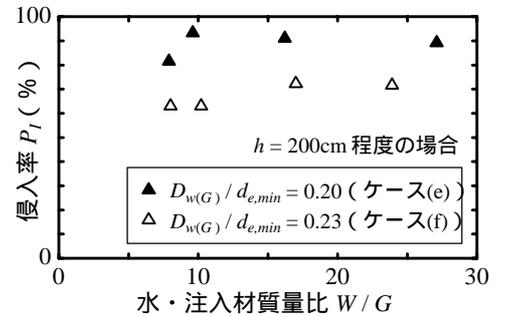


図-4 水・注入材質量比 W/G による侵入率

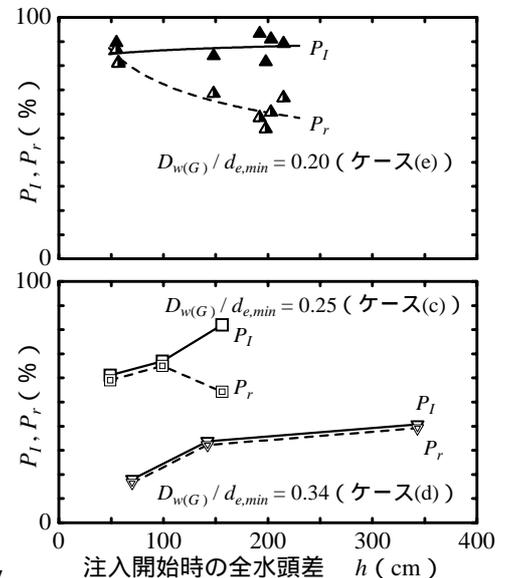


図-5 注入開始時の h による侵入率，滞留率