

III-20

低透水係数の割裂発生条件に関する実験

○東北学院大学工学部 学生員 太田代将也
 東北学院大学工学部 学生員 熊谷幸大
 東北学院大学工学部 学生員 佐藤貴司
 東北学院大学工学研究科 学生員 岡田和成

1. まえがき

低透水係数地盤に薬液注入を行う場合、割裂が発生し、浸透注入が困難となることが多い¹⁾。本研究では、低透水係数の試料を用いて、割裂発生に及ぼす試料の物性と拘束圧の影響を室内実験で明らかにするために、注入圧を制御した水注入による注入速度の測定を行った。また、限界注入圧及び速度を超えた注入が、固結体の形状に及ぼす影響を調べるために、実際に薬液注入を行い、固結体を観察した²⁾。

2. 実験概要

実験に用いた試料土Aは、土粒子の密度 $\rho_s=2.629\text{g/cm}^3$ 、有効径 $D_{10}=0.00253\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=2.472$ であり、試料土Bは、土粒子の密度 $\rho_s=2.644\text{g/cm}^3$ 、有効径 $D_{10}=0.09\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=1.67$ である。試料土の粒度分布を図-1に示す。表-1に薬液の配合を示す。混合した薬液のpHは3.5程度とした。図-2に実験装置の概要を示す。注入槽上部のエアチューブに空気圧を与えて供試体に拘束圧（28kPa、42kPa、56kPa）を加え、供試体を飽和させた後、水あるいは薬液を注入した。注入は、各ステップで注入圧を一定とし、注入速度は流出量が定常状態となった時の値を採用した。透水係数は、Maagの式³⁾より逆算して求め、圧力が低く直線関係を示す部分の平均値を採用した。

3. 注入圧を一定としたときの注入速度の測定（水注入）

試料A、試料Bに各ステップ、注入圧を一定として水注入実験を行ったときの注入圧力と注入速度の代表的な結果を図-3、4に、それぞれ示す。試料A、試料Bともに、注入圧が低い部分では直線的に増加している。しかし、いずれも注入圧がある点を越えたところで、注入速度が急激に速くなり、線形から大きく逸脱する。この点の注入圧力を割裂圧、注入速度を許容注入速度とする。この線形から大きく逸脱したところで割裂が発生し、浸透面積が増加したことを意味すると考えられる。また、試料土にかかる拘束圧が増加すると共に、割裂圧も増加する傾向を示している。

4. 割裂圧を越えた注入が固結体の形状に及ぼす影響

試料A、試料Bそれぞれに、水注入実験と同じ方法で実際にシリカ濃度12%の薬液を注入した。試料A、試料Bともに、水より粘性が大きいシリカ濃度12%薬液を注入したため、許容注入速度は小さくなった。傾きが大きく変化した点で、割裂が発生したと考えられ

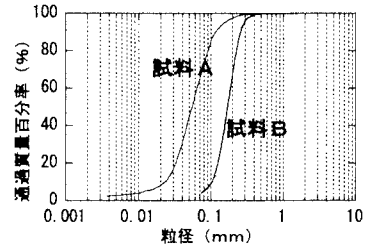
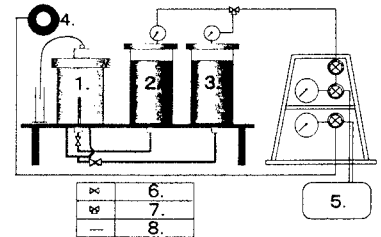


図-1 粒度分布

表-1 薬液配合

種類	シリカ濃度	12%
A液	3号珪酸ソーダ	106ml
	水	294ml
B液	硫酸	10.6ml
	硫酸バンド	11g
	水	480ml



1. 注入槽(290mmX300mm) 2. 薬液タンク 3. 脱気タンク
 4. エアチューブ 5. コンプレッサー 6. 2方向バルブ
 7. 3方向バルブ 8. パイプ

図-2 実験装置

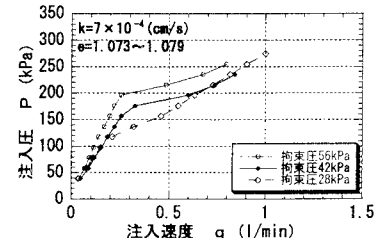


図-3 水押しP-q曲線（試料A）

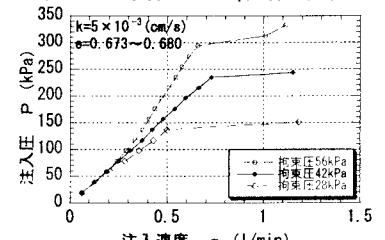


図-4 水注入P-q曲線（試料B）

る。この実験でできた固結体を観察したところ、切断面の注入管周りには脈状の跡は見られなかった。これは、割裂注入形態が卓越していたのではなく、割裂浸透の注入形態となっていたことを示している。

5. 現場実験との比較

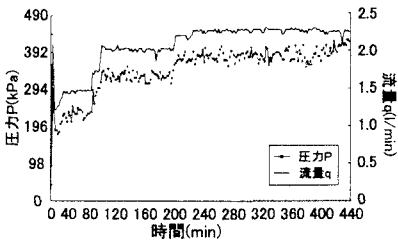
図一5に示す砂質シルト地盤に対して現場実験が実施された。図一6は、注入圧P、注入量qと経過時間tの関係を示す。注入速度は2.0l/minを目標とした注入圧力の最大値は350kPa程度である。透水係数は室内実験とほぼ同程度で $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ と推定される。試料Aと比較すると室内実験での許容注入速度の7倍の注入速度となっている。2週間の養生の後、掘削し固結体形状を観察した。注入管の近傍でも脈状注入の痕跡が観察されない良好な改良地盤であった。しかし、ある程度注入管周りで、割裂浸透領域があった状態で、注入が行われていたものと推定される。浸透解析による注入圧の計算により注入管周りにおいて割裂浸透状況に至ると判断されても、その領域が小さいものであれば、工学的には問題のない注入が行われていることを意味している。

6. まとめ

- 1) 水注入実験において、試料土の拘束圧が高くなるにつれて割裂圧が大きくなる傾向が見られた。
- 2) 試料A（透水係数 $k = 7 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ ）においては、許容注入速度が0.31/min程度であり、それに対し試料B（透水係数 $k = 1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ ）は0.61/min程度であった。このことから、透水係数が小さいと許容注入速度も小さいことが確認できた。
- 3) シリカ濃度12%薬液を試料A、試料Bそれぞれに許容注入速度を越えた0.35l/min、0.71/minで注入を行い、固結体を観察したが脈状の跡は見られず、割裂浸透の注入形態となった。
- 4) 室内実験において測定した割裂圧と許容注入速度は、浸透注入形態から割裂浸透注入形態への遷移点であり、現場実験で測定された注入圧力と注入速度は、注入管周りに割裂浸透領域が発生していることを示している。

深度 (m)	柱状 図	土質 区分	N値				
			10	20	30	40	50
2.45		細砂	11				
			11				
4.60		シルト混じり細砂	3				
			3				
6.60		砂混じり粘土	2				
			3				
			4				

図一5 試験施工現場の柱状図



図一6 現場実験データ

参考文献

- 1) 土質工学会(1993)：委員会報告—薬液注入工法の予測手段と限界注入速度—薬液注入工法における注入効果の予測・確認手法に関するシンポジウム発表論文集、2-20
- 2) 岡田和成(2000)：東北学院大学大学院修士学位論文
- 3) 土質工学会(1985)：薬液注入工法の調査、設計から施工まで