

III - 354

断続的な薬液注入による割裂形態の実験的研究

早稲田大学

建設省建築研究所

早稲田大学

正会員 森 麟

正会員 田村昌仁

学生会員○出光 恵

1. まえがき

透水性の小さい砂質土地盤や粘性土地盤に薬液を注入した場合、浸透注入にならずに割裂注入となる。割裂注入が生じても地盤の強化を図ることは可能であるが、その効果は割裂脈自体の強度、発生本数や厚さなど脈の発生分布状況に大きく関わっている。強い脈が高い分布密度になれば、脈で地盤を一体化させ、かなりの改良効果が期待できる。従って割裂注入による地盤改良を考える上で、なるべく多くの割裂脈を発生させることが重要となる。本研究では円筒形の供試体を用い、主として粘性土に瞬結性薬液を注入した。注入は数分の間隔をおいて断続的に行い、1回の注入毎に新しい割裂が発生して総じて多くの割裂脈を形成する可能性について調査した。

2. 実験方法、試料

供試体の寸法は直径4.7 cm、高さ4.0 cmで周囲には間隙水と薬液の排水が可能のように排水層(市販ケイ砂3号)を設けた。実験装置の概要は文献1)を参照されたい。粘性土の場合、予めボアホール用のグミ管(直径4 cm、高さ2.4 cm)を立ち上げたモールドに所定の配合で練り混ぜた擬似地盤粘土を詰める。その後、モールドから脱型した供試体を注入装置にセットして、拘束圧を加え所定の注入速度で薬液を注入する。注入管は二重管構造で表-2に示したA、B両液が先端で等量混合して注入される。注入方法は、注入時間90秒の連続した注入(以下連続注入)、注入と注入の間に3分の注入中断時間(インターバル)をおいて30秒ないし60秒間の注入を3回繰り返す断続的な注入(以下断続注入)、インターバルを10分にした同様な断続注入の3種類とした。注入量は、A、B両液合わせて毎分8[L]である。また、割裂状況は1回の注入毎に異なる着色剤をA液に混合して調べた。

砂質土の場合、注入装置の底版上に設置したモールド内に気乾状態の試料を入れて踏み固め、真空ポンプを用いて負圧を与え自立させる。その後モールドを取り外してから供試体に拘束圧を加え飽和させた後、背圧を加えて注入を行う。注入管、注入方法は粘性土の場合に準ずる。なお、使用した試料は表-1に示す通りである。

3. 実験結果

連続注入の場合、一度割裂脈が生じると脈中の薬液が固結しても強度を十分発揮する時間の余裕がなく、後続薬液が先行薬液を簡単に穿孔して行く形となって、薬液がすべて最初の割裂部分に集中して1つの脈しか形成されない。断続注入の場合には、注入後のインターバルで薬液が固結してから強度を発揮する時間の余裕をとり割裂部分の強化を図ることができるはずである。図-1には、試料土Aに瞬結性懸濁型薬液を3種類の方法で注入した場合の割裂状況を示す。b, cは供試体の横断面図である。図-2には、懸濁型薬液のホモゲル自身の一軸圧縮強度と経過時間の関係を示しているが、これよりゲル化後3分及び10分でそれぞれ0.2、0.6[kgf/cm²]程度となる。これと試料土Aの一軸圧縮強度を比較すると、ゲル化後3分のホモゲル、試料土A、ゲル化後10分のホモゲルの順に大きい。固結したホモゲルの強度が粘性土の強度より大きくなると2回あるいは3回目の注入では、薬液が1回目の注入で生じた割裂部分を繰り返し割裂することはなく、他の部分を割裂することが考えられる。事実、インターバルが3分ではホモゲル強度が粘性土より十分大きくないので割裂脈は一方にしか発生していないが、インターバルが10分では断続的な注入により割裂脈の数は多くなっていることがわかった。ただし、割裂の方向は断続的な注入によっても孔壁よりやや奥までは重なるなど、確実に注入毎に別の方向が割裂しているわけではない。この原因としては、注入前の地盤の強度がホモゲル強度より小さくても、最初の注入でボアホールと注入管の間に満たされた薬液が孔壁に浸透することにより孔壁周辺の地盤の強度が次第に大きくなることが考えられる。また、断続的な注入を行う場合、1回目、2回目の注入終了後注入孔内でのゲル化を防ぐため、B液の注入を終えた後A液を5秒程度余分に注入しており、割裂脈中の薬液のゲル化が不十分であることも原因のひとつと考えられる。

試料土Aより一軸圧縮強度の大きい試料土Bに瞬結性懸濁型薬液を用いて注入間隔10分の断続注入を行ったときの割裂状況は図-2-aの場合と同様であった。この場合、試料土Bの一軸圧縮強度がゲル化後10分経過したホモゲルの一軸圧縮強度より大きいため、断続的な注入を行っても孔壁の別の所が割裂するようなことはないと思われる。事実、割裂の方向は一方であり、粘性土の強度が大きいと割裂脈の分布密度を高くすることは困難なことがわかる。

これまでは注入材に瞬結性懸濁型薬液を用いた場合について述べたが、ここでは瞬結性溶液型薬液を注入した場合と比較することにした。注入方法は注入間隔10分の断続注入である。試料土Aに溶液型薬液を注入した結果は図-2-bと同様であり溶液型薬液の場合は3回とも同一部分が割裂している。これは、ホモゲル自身の一軸圧縮強度が小さい場合には、インターバルをおいた断続注入を行ってもホモゲル強度が粘性土の強度より小さいためであろう。これらの結果から、割裂の発生状況は注入薬液の種類にも大きく依存していることが明らかとなったが、これは断続注入に限ったわけではなく通常の注入でも起こり得ると考えられる。溶液型薬液では注入ポイントを1ステップずらすような注入を行っても前回の割裂部分の強度が常に他の粘性土部分より小さいので、粘性土への注入ではできるだけゲル化後の強度が大きく、しかも早く発揮されるものを使用すべきである。

以上の結果は、すべて粘性土の場合であったが、図-3には砂質土（試料D、ケイ砂7号）に瞬結性懸濁型薬液をインターバル10分で断続注入した場合の固結形状を示す。図-4には、固結断面のスケッチを示しているが、後続薬液が前回の注入による固結部分の中央を貫いており、割裂脈を多く発生させる可能性は粘性土の場合より小さいことがわかる。これは未固結の砂質土の割裂圧が固結砂やホモゲル自身の割裂圧よりかなり大きいためであり²⁾、新たな割裂脈が未固結な部分に発生することはないと思われる。従って、砂質土では後続薬液が先行薬液による割裂脈中のホモゲル部分の中を穿孔したと考えられる。

4. まとめ

粘性土地盤にゲル化後の強度が大きい薬液を用いて断続注入を行った場合、割裂脈中のホモゲル自身の強度が粘性土の強度よりも大きくなるようにインターバルをとると割裂脈の数が増える可能性はある。しかし、毎回1回の注入毎に異なる位置に新しい割裂脈が発生するとは限らず十分な効果は期待できない。この原因としてはいろいろあるが、注入前の地盤の強度がホモゲル強度より小さくても最初の注入でポアホールと注入管の間に満たされた薬液が孔壁に浸透することにより孔壁周辺の地盤の強度が次第に大きくなることや、今回使用した薬液ではゲル化後の強度の立ち上がりが十分ではないことなどが考えられる。

一方、砂質土では、未固結である砂質土の割裂圧が固結砂やホモゲル自身の割裂圧よりかなり大きいため、断続注入を行っても新たな割裂脈が未固結の部分に発生する可能性はない。

（文献）1）森・田村・平野：土木学会論文集，NO.388，III-8，pp.131-140，1987

2）森・田村・福井：土木学会第43回年次講演会，III-pp.116,117，1988

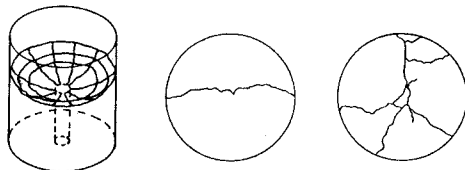


図-1 試料Aの割裂状況
a. 連続注入 (b. 断続注入 (インターバル3分) (c. 断続注入 (インターバル10分)

図-1 試料Aの割裂状況

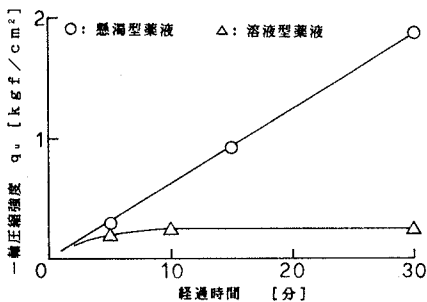
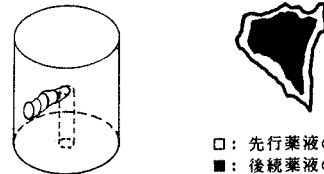


図-2 懸濁型薬液ホモゲルの一軸圧縮強度と経過時間の関係



□：先行薬液のゲル化部分
■：後続薬液のゲル化部分

図-3 試料Dの割裂状況 図-4 試料Dの固結断面

表1 試料の配合

試料	カオリン (Kg)	ケイ砂7号 (Kg)	水 (Kg)	石膏 (Kg)	一軸強度 (Kg/cm ²)
A	30	30	30	5.5	0.3~0.5
B	30	30	30	12.0	1.1~1.3

試料Dは市販ケイ砂7号、間隙比1.00、透水係数 5.12×10^{-3} 、摩擦角 38.1°

表2 薬液の配合

種類	配合		ゲル化時間 Gt
	A液 500cc	B液 500cc	
瞬結性 溶液型	3号水ガラス 250cc	グリオキザール500cc リン酸25cc 水475cc	5~10 (秒)
瞬結性 懸濁型	3号水ガラス 250cc	硬化剤A 100g 硬化剤B 100g 安定剤 2.5g 水 425cc	5~10 (秒)