

地盤注入用各種グラウトの特性の比較

Properties of Grouts used for Ground Injection

三 木 五 三 郎

Gosaburo MIKI

1. ま え が き

地盤改良工法の一つとして薬液の注入による遮水ないしは固結効果をはかることが最近非常に多く行なわれるようになったが、この工法の進歩に伴い各種の注入薬液すなわちグラウトの開発もめざましいものがある。ところが実際の成果はグラウトの性質と地盤土質との関係や施工の良否にもあずかるところが大きいので、グラウト材の特性を単純に比較することは困難で、したがって工事に比較的不なれな施主が注入設計をする場合の材料の選定だけを考えても現状ではむづかしいことが多い。また一方土木工事そのものにはうといグラウトメーカーも有効で経済的な薬液の開発や供給についてよりどころをうのに困難を感じているのが実状であろう。

このようなわけで筆者の手もとでは一、二年來各種グラウトの施工性を確かめるための基礎的な実験的研究を進めているが、本速報では今春発表したグラウトの浸透性と固結性に関する定性的な実験室的比較実験¹⁾に引き続いて行なった定量的なフルスケールの比較実験の一部を発表する。なおこのために使用した実験装置である原地盤状態再現モールドは、すでに実用化された薬液の開発実験などに用いてきたものである²⁾。

2. グラウトの特性の比較

地盤注入用グラウトの特性は、究極的には實際地盤に注入された状態で所期の遮水ないしは固結効果が得られているかどうかで判断されるべきである。しかしそれ以前の設計および施工段階における資料としては、グラウトそのものまたはグラウトを標準的な砂質土などに注入したものの特性に関する実験室的な試験結果が役立つ。

表・1 試料土として用いた山砂の性質

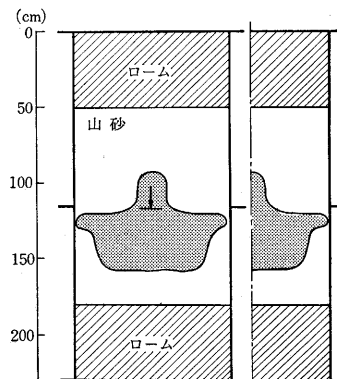
粒 度	60% 径	0.28 mm
	均 等 係 数	1.65
比 重		2.58
締 固 め 試 験	最適含水比	19.2%
	最大乾燥密度	1.66 t/m ³
	最小間ゲキ比	0.56
	最大間ゲキ比	1.22
三 軸 圧 縮 試 験	乾 燥 密 度	1.60 t/m ³
	間 ゲ キ 比	0.61
	相 対 密 度	0.93
	内 部 摩 擦 角	33°14'
	粘 着 力	0.25 kg/cm ²
透 水 係 数		3×10^{-2} cm/sec

また大規模な工事では現場注入試験をあらかじめ行なうことが多い³⁾。本速報は大型モールドを使うことによって、その両者の中間的規模でのグラウト特性の比較を行なった試験結果について報告するものである。

比較に用いたグラウトとしては、現在現場で多用されている代表的なもの5種を選んだが、成分としては表・2の第2行に示すように分類できるものである。

3. 各種グラウトの注入性

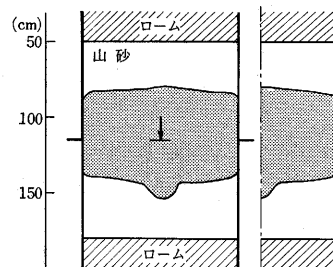
直径 1m、高さ約 2m の原地盤状態再現モールド²⁾中に千葉県東金市産の成田層に属する山砂（土質力学的性質については表・1 参照）をなるべく一様に詰めて 10 t/m² の上載荷重を作用させ、試料土の中心部の 1 点からグラウトを注入した。モールド内の試料土の注入前後の性質は表・2 に示すとおりである。グラウトはいずれも標準配合のものを用い、注入条件は液温 14°~16°、ゲ



〔注〕グラウトがモールド内壁面を伝ってモールド外に流れ出したため固結容積が非常に小さい。

図・1 アクリル系グラウトの注入結果

(注入量: 150l, 注入圧 1.3kg/cm², 固結容積: 177l)

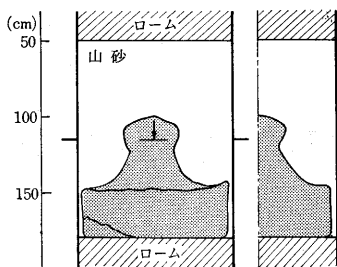


図・2 半懸濁型水ガラス系グラウトの注入結果

(注入量: 150l, 注入圧 2.8kg/cm², 固結容積: 456l)

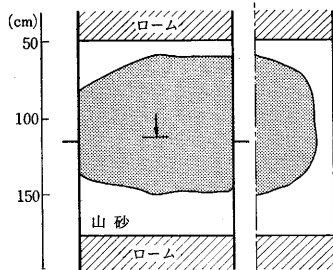
ルタイム15分(セメント・水ガラス系だけは30分)、注入速度14l/分であった。各場合の注入量、注入圧、固結容積およびその中央縦断面形を図・1~5に示す。

準備された試料土は、相対密度が 0.3 前後で飽和度 30% 程度のゆるい砂である。粒度も中砂に属するのでかなり注入には容易な状態にあり、しかもモールドが上下に分かれている関係で注入孔付近の高さに水平に試料土の継手面があった。したがって粘性の小さいグラウトは浸透性がよすぎて注入孔付近で球状に固



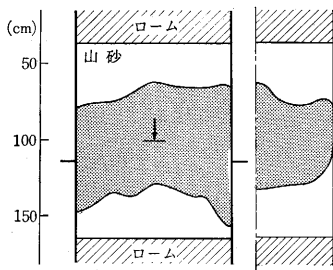
図・3 溶液型水ガラス系グラウトの注入結果

(注用量: 150l, 注入圧1.0kg/cm², 固結容積: 276l)



図・4 リグニン系グラウトの注入結果

(注用量: 150l, 注入圧 0.4kg/cm², 固結容積: 635l)



図・5 セメント・水ガラス系グラウトの注入結果

(注用量: 150l, 注入圧 0kg/cm², 固結容積: 431l)

結せず、土中の水平面を通してからモールドの内壁面沿いに流出したり、あるいはモールド下部にたまる形になったものもあった。そしてこの場合のもっとも適正な注入条件はDの場合に得られている。ちなみに各グラウトの推定粘性(cps)はA:

1.2, B: 2.0, C: 2.6, D: 2.5, E: 2~3 程度で、また土中の間ゲキ水を押し出さない状態で残りの空ゲキ部分をグラウトがちょうど飽和したと考えたときの固結容積はA, C, E: 455l, B: 420l, D: 430l である。図中に記した固結容積の実測値は概略のものに過ぎないが、計算値と比較すると各グラウトの固結の傾向をうかがうことができる。

4. 各種グラウトの固結性

砂質土の強さは現場では標準貫入試験のN値で比較するのがもっとも実地的であるが、本試験でもその強さの推移を現場と同じN値で比較検討できることは大きな強みで、その結果は表・2 中に示してある。

これによるともともとはゆる詰め状態でN値が3~4の砂が、グラウトの注入によって9から15~17に強化されている。ただしこの中で低い値の得られているものは、測定用サンプラーが測定中に固結部分の外にまではみ出した影響があることに注意しなければならない。

その意味で固結部分の中央付近から採取した乱さない試料土について実施した三軸圧縮試験結果は、その固結

表・2 注入試験結果一覧表

試験記号		A	B	C	D	E
グラウトの種類		アクリル系	半懸濁型水ガラス系	溶液型水ガラス系	リグニン系	セメント・水ガラス系
試料土の性質	注前					
	湿润密度 $\gamma_t(t/m^3)$	1.47	1.41	1.47	1.44	1.47
	乾燥密度 $\gamma_d(t/m^3)$	1.31	1.25	1.31	1.28	1.31
	含水比 $w(\%)$	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4
	間ゲキ比 e	0.969	1.064	0.969	1.016	0.969
	飽和度 $S_r(\%)$	33	30	33	31	33
	標準貫入値 $N(\text{回}/30\text{cm})$	3~4	3~4	3~4	3~4	3~4
	注後					
試料土の性質	湿润密度 $\gamma_t(t/m^3)$	1.82	1.72	1.73	1.78	1.78
	乾燥密度 $\gamma_d(t/m^3)$	1.46	1.38	1.35	1.37	1.43
	含水比 $w(\%)$	24.4	24.9	28.4	29.8	24.2
	間ゲキ比 e	0.767	0.870	0.911	0.883	0.804
	飽和度 $S_r(\%)$	73	84	100	102	75
	標準貫入値 $N(\text{回}/30\text{cm})$	9	16	17	15	9
	内部摩擦角 $\phi(\text{度})$	33°01'	31°55'	42°37'	16°55'	26°12'
	粘着力 $c(\text{kg}/\text{cm}^2)$	1.60	0.82	0.70	1.73	1.40

性をより直接的に示しているといえよう。ゆる詰め状態ではほとんどみられない粘着力が、注入後は各場合とも飛躍的に増大していることが特徴的である。垂直応力2kg/cm²に対応するセン断強さと、拘束応力2kg/cm²の場合のヒズミ1%に対する弾性係数および破壊ヒズミを比較して示したのが表・3 である。またこの表中にはA, B, D の場合について固結部分の末端付近から採取した試料土についての同様の測定値をも記した。

表・3 固結試料土のセン断強さと変形特性

試験記号		A	B	C	D	E
セン断強さ (kg/cm ²)	中心	2.9	2.0	2.5	2.3	2.4
	末端	2.4	1.5	—	2.0	—
弾性係数 (kg/cm ²)	中心	200	700	1000	320	600
	末端	180	—	—	240	—
破壊ヒズミ (%)	中心	9.0	1.3	1.5	4.6	2.6
	末端	12.0	0.6	—	4.5	—

これによると、固結試料土の強さは今回の試験条件下ではグラウトの種類による差をあまり示していないこと、弾性係数値と破壊ヒズミ値はグラウトの特性をよく示していること、また一般に固結部分の末端は中心より力学的性質が若干おとることなどが認められた。ただし場所による固結強さの差は試料土が不飽和の砂の場合には一般に顕著でなく、固結部分と未固結部分の境界は明らかなのが普通である。(1966年9月7日受理)

文 献

- 1) 三木五三郎, 西村昭二, 角谷和一: 地盤注入用各種グラウトの浸透性および固結性に関する比較実験, 土木学会第21回年次学術講演会講演概要第Ⅲ部, (1966・5)
- 2) 三木五三郎: 原地盤状態再現モールドを用いたグラウチングの基礎的実験, 土木学会第20回年次学術講演会講演概要第Ⅲ部, (1965・5)
- 3) 日本材料学会土質安定材料委員会: 「地盤注入工法の手引」, 日本材料学会, p.50, (1966・1)