

九州大学工学部 正員 山内 豊 飛

三信建設工業(株) 正員 〇田 中 良 一

1. まえがき シラス地盤の安定化問題の一つとして、飽和シラス地盤の液状化対策があることは周知のとおりである。一般に、乱さない粘土混りのシラスでは、液状化が起こりにくいのであるが、宅地造成あるいは埋立てなどに使用されている、いわゆる“きれいなシラス”では液状化が起こりやすいことがすでに分っている。本実験は、こうした“きれいなシラス”からなる飽和シラス地盤の液状化に対する安定処理の方法を基礎実験によって試み、その問題点を究明しようとするものである。

シラスの液状化防止の対策としては、活性

粘土をシラスに混入させることによって、液状化が妨げられることは、すでに報告されており、シラス地盤の間ゲキに活性材料

を浸透充填させればよいことは分かっている。

従来、地盤の間ゲキに浸透充填させる方法には、圧力による方法と電氣力による方法とがあるが、シラスのように微細粒子を含有する火山灰質砂に圧力注入工法を採用することは、施工側および実績から考えて問題があり期待できない。

2. 実験装置および実験方法 実験装置の概略は、図-1に示すとおりで、電極は径5.0cmの有孔銅板を使用し、整流器は、特製の大型シリコン整流器で、入力が250V、100A、出力が100V、150Aである。実験方法は次に記する順序で実施した。

①ゴムスリーブを内装した合成樹脂製の二つ割りモールドに試料を入れ突固めを行なう。②モールドに試料を入れたまま、陽極と陰極にそれぞれ接続し輪ゴムで止める。③注入薬液貯留槽に2%塩水を入れ、120分間放置して試料を飽和させる。④陽極側に注入材料を入れ通電を開始する。⑤通電後、規定時間毎に浸透量、脱水量、電流、電圧を測定する。⑥

表-1 シラスの物理的性質

試料	比重	e_{max}	e_{min}	透水性係数 cm/s	見附の固相率 (含水飽和)	電氣浸透 透水性係数
シラス	2.46	1.411	0.850	75×10^{-4}	140%	1.8×10^{-3} cm/s

表-2 実験条件

注入材料	変性リゲニン スレソニ酸塩	塩化カルシウム 水溶液	1号テイ酸 ソーダ	3号テイ酸 ソーダ	ベントナイト
濃度	20% 40% 60%	5% 10% 15%	125% 25%	10% 20% 30% 50% 70%	5.0% 10.0%
相対密度	40 ~ 70% (中詰め)				
養生	方法 空中養生				
日数	5日				
電位傾度	4.0 ~ 4.5 V/cm				
浸透し軸差圧 三軸試験条件	0.7 kg/cm ²				
側圧	0.5 kg/cm ²				

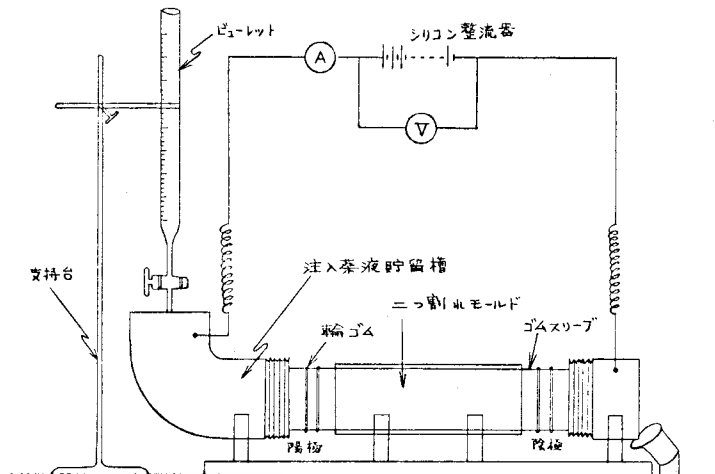


図-1 実験装置

脱水量が極度に減少し、電流が通電開始時の電流より下がった時に通電を終了する。④注入完了の供試体を恒温室にて、5日間空中養生を行なう。⑤モールドをはずし、新たにゴムスリーブをはめ、繰返し三軸圧縮試験を行なう。なお、使用したミラスの物理的性質および実験の条件はそれぞれ表-1、表-2に示すとおりである。

3. 実験結果および考察
 緊 (1) 浸透率・脱水量・電流の相関性について；実験に使用したすべての注入材料についていえるのは、浸透率と脱水量の経時変化が非常によく類似した傾向を示すことである。しかし、図の曲線から明らかに、脱本速度の方が浸透速度よりわずかに早く、変性リグニンスルホン酸塩の

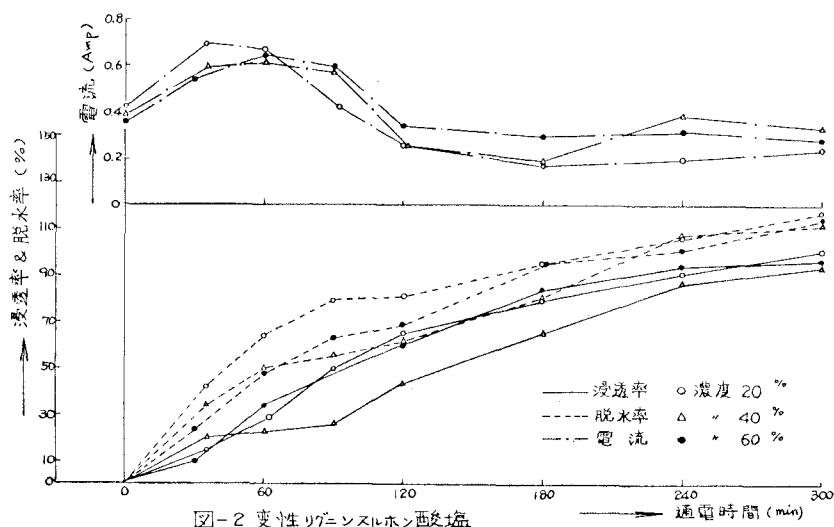


図-2 変性リグニンスルホン酸塩

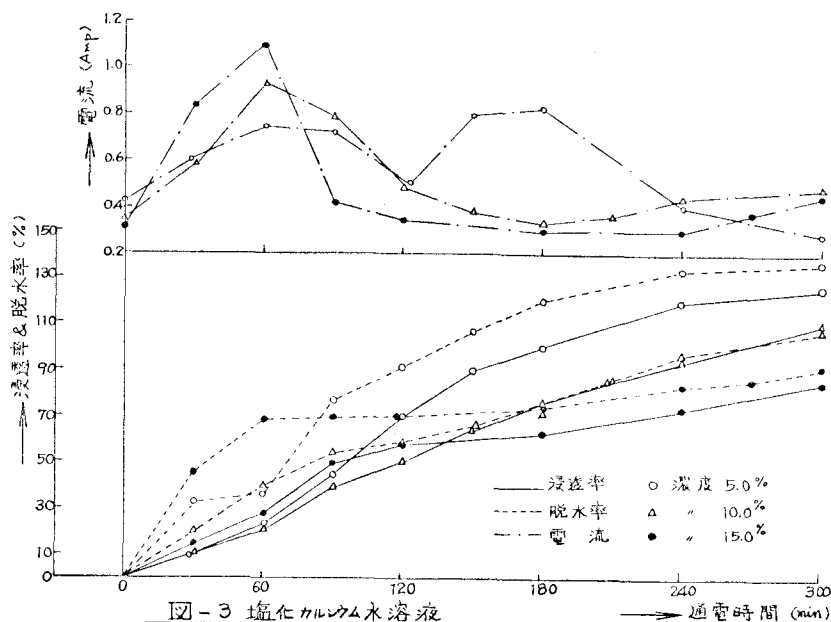
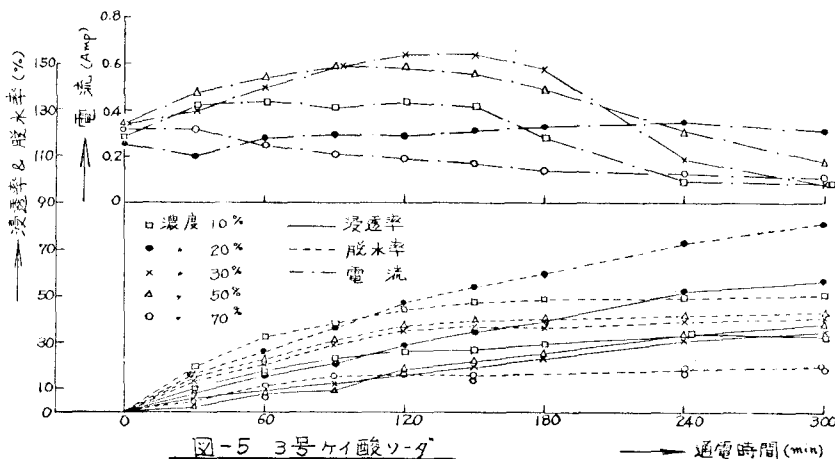
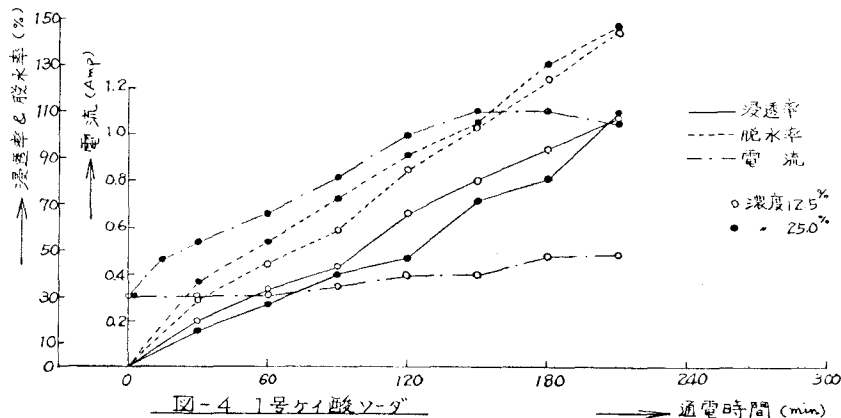


図-3 塩化カルシウム水溶液

場合は、90分までは直線的に変化し、その後は、ゆるやかな曲線状の変化を示している。また、同様に塩化カルシウムの場合は、60分まで直線的変化を示しているし、3号ケイ酸ソーダの場合も120分まで同様の傾向を示している。しかし、1号ケイ酸ソーダの場合には、前三者とは違って、浸透率100%を超えても、まだ直線関係を示している。次に、浸透率、脱本率の経時変化と同時に、電流の経時変化についてみることにする。一般に考えられることは、浸透した注入剤が、脱本された部分を脱本速度に追隨して充填していくと、今まで塩本によって運ばれていた電荷が、注入剤によって運ばれるようになるため、飽和試料の場合より小さな比抵抗を持つ注入剤で充填されると、電流は大きくなるが飽和試料の場合より大きな比抵抗を持つ注入剤で充填されると、電流の変化は減少する傾向を示すものと考えられる。このことを最も顕著に示しているのが1号ケイ酸ソーダで、他の三者に比べて電流

は増加の傾向を示し、150分後には一定の電流に近づいている。ただし、塩化カルシウム水溶液の場合には、前述の考え方は不適当である。すなわち、塩化カルシウム水溶液の比抵抗は飽和試料のそれより小さいのに拘らず、抵抗の増大を示している。

これは、陽極の電食の影響である。つまり、陽極材料に、白金あるいは炭素棒のような不動態電極材料を使用しないかぎり、電気分解の化学作用を受けて電食する。溶解した金属イオンは、通電当初には良導体として働らくが、次第に陽極付近で酸化物となり膜を形成する。そのために、不飽和領域



を形成し抵抗を増大させる結果となる。同様なことが、3号ケイ酸ソーダについてもいえる。しかしこの場合は、その他に陽極付近で SiO_2 のゲル化が生じて抵抗が増加していることも考えられる。なぜならば、ケイ酸ソーダは硬化剤がなくとも、それ自体が熱でゲル化する。

(2) 浸透率と注入剤の濃度について；一般に、圧力注入で考えられる浸透速度に及ぼす影響因子は、注入剤自体の粘性とされる。しかし、電氣的注入工法の場合には、注入剤の粘性よりも、イオンの輸率にあると考えられる。そういった傾向を示していると思われるのが、変性リグニンスルホン酸塩と塩化カルシウムである。つまり高濃度だから浸透しがたいとか、低濃度だから浸透しやすいとかいうのではない。したがって、今回の実験ではまだ検討していないが、イオンの輸率の最も高い濃度でかつ、浸透後の注入効果が最も良好な濃度を採用するのが妥当だと思う。さらに、1号ケイ酸ソーダの結果からも分かるように、飽和試料の比抵抗にほぼ近い比抵抗を持つ注入剤の濃度が最適だと考えられる。

次に、同じケイ酸ソーダでも1号と3号とでは、浸透率・脱水率の傾向に相当の違いがあるので、この点についても述べたい。ケイ酸ソーダの一般化学式は $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ で示され、 $n=2$ のときを1号ケイ酸ソーダ、 $n=3$ のときを3号ケイ酸ソーダと明示されている。このことから両者の相違の原因は、 Na_2O と SiO_2 のイオン分布の違いにあると考えられ、実際に実験でも、3号ケイ酸ソーダでは、

陽極付近でゲル化現象がみられたが、1号ケイ酸ソーダでは、そのような現象はみられなかった。

(3) 繰返し三軸圧縮試験の結果について；あらかじめ，“きれいなシラス”に対して行なった静的三軸圧縮試験の結果は、 $\sigma_f = 2.3 \text{ kg/cm}^2$ であった。

この結果から側圧 2.5 kg/cm^2 に対する繰返し軸差圧を静的破壊の30% $\sigma_L = 0.7 \text{ kg/cm}^2$ にとり、繰返し三軸圧縮試験を行なった結果が図-6、図-7である。図中の破線は，“きれいなシラス”に対する試験結果で、実線は各種注入材料に対する結果を示している。これらの図から、破壊付近にある変性リゲニンスルホン酸塩と塩化カルシウムは、浸透率が悪くても凍状化防止には役立っていない。しかし破壊より下にある1号ケイ酸ソーダ、3号ケイ酸ソーダ、ベントナイトなどは、比較的、凍状化防止に役立っていると思われる。

4. 結言 今回の実験は、注入材料の電氣的浸透性と凍状化防止に効果のある電氣的浸透材料の究明に重点をお

いて実施したものであるため、凍状化防止に直接には役立たなかったが、電氣的浸透現象をみるうえでは、変性リゲニンスルホン酸塩と塩化カルシウムを使用したことは意義があったと考える。得られた結論を箇条書きにすると次のようになる。①浸透性は注入対象地盤の間隙率や注入材料の粘性に影響されるのではなく、イオン濃度によって影響を受ける。②脱水が急激に進行すると浸透が良くない。③陽極では、とくに電極と注入管を区別した方が良い。④浸透量と脱水量の傾向は良く類似している。⑤凍状化防止には、付着性の強いカチオン系の材料が効果的である。

謝辞 この研究に協力された九大水工土木学教室土質研究室の巻内・松田両助手と中島技官に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献 ① 山内豊聡；粘土を含む砂の凍状化について 昭.46,土木学会第26回年次学術講演会講演集, ② 山内豊聡；土の物理化学的性質(最上編,「土質力学」昭.44.), ③ Melvin, I. Esrig, M; Application of Electrokinesis in Grouting 1967, ASCE, ④ 藤本・坂田・福原；シラスのアルミニウム電解固結に関する実験的研究(沖2報) 昭.44.,土木学会西部支部論文集

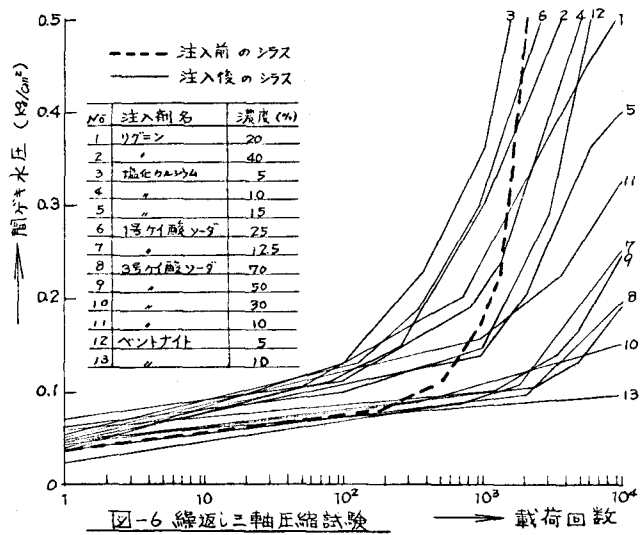


図-6 繰返し三軸圧縮試験

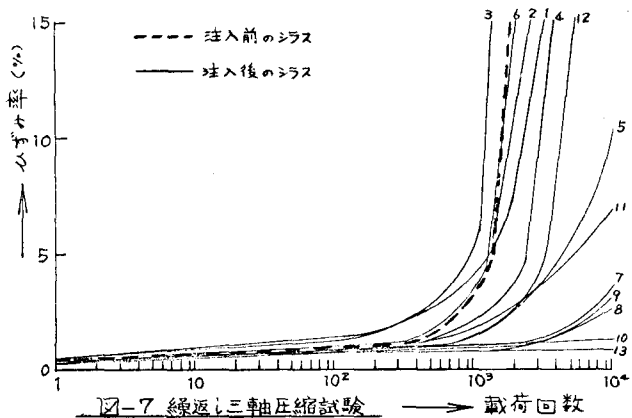


図-7 繰返し三軸圧縮試験