

概 報

624. 13 : 551. 79(521. 52)

諏訪地区の地盤固結化について

渡辺 和衛* 竹田 栄蔵**

The Soil Stabilization Test for Suwa Lacustrine Deposits

By

Kazué WATANABE and Eizo TAKEDA

Abstract

The first soil stabilization tests (1967 ~ 1968) by means of inorganic chemical stabilizers, i.e. the sodium silicate mixtures or superphosphate of lime were already performed for the Kwantō loam soils, and the results were published in the bulletin (vol. 23, no. 1, 1972).

At that time the authors could pour these stabilizers into the ground without any additive pressure.

The second stabilization test (1969) was carried out at the southern lacustrine delta of Lake Suwa, Nagano Prefecture. The lacustrine beds are composed of unconsolidated sediments derived from the mountainous areas surrounding the lake, and contain much amount of organic matters. If they had used the inorganic stabilizers for such deposits, they would fail in the test because of the immaturity for physico-chemical combinations.

Recently, it is found that a new soil stabilization by means of lignin materials—spent sulphate liquor—adding potassium dichromate, aluminium sulphate or ferric chlorides as the auxiliary agent is most suitable to the organic-volcanic ash soils. So they performed this lignin-chromate method (“SANGROUT”—original liquor) by employing the chemical grout-pump of twin-type at Humide spot (see Figs. 1, 2) situated in the center of the delta plain. There were three test pits, which are A point (pond-like pit), and B・C points (10 meter deep shaft pits bored by G R boring machine, but B point failed). For these two pits (A・C) the above-mentioned lignin materials were grouted with the low grouting pressure (1—2 kg/cm²), but they met the back-flowing of stabilizers and could not sufficiently permeate these liquors into the soil pore. Whereas, the leading factors of such phenomena are thought to originate from the artesian pore-water pressure.

Accordingly they could not help adopting the well-point vacuum method for the purpose of declining the pore pressure and ground-water level on the occasion of the similar performance.

1. 序 言

昭和42年以来、軟弱地盤の地質工学的研究の一環として、化学安定剤により地盤を安定させる方法を、沖・洪積層の軟弱地層に適用を試みた。安定剤使用の順序として、まず無機物質からはじめたが、磷酸（過磷酸石灰）の特性を利用して、関東ローム層の固結を試み、その成

果については、すでに発表した（渡辺，1972）。

有機物質を主体とする安定剤は、無機物質と異なり、複雑な有機化学反応を利用するもので、その操作には複雑で微妙な点があり、かなり高度の基礎知識を必要とするものである。上諏訪地区では、後述の理由によって、変性クロムリグニン法を適用したが、結果は予想に反して良好でなく、今後の試験についての多くの問題点を示した。

* 応用地質部

** 技術部

2. 固結化対象地層と有機化学安定剤

化学固結剤は、対象とする地域の地層によって、適当なものを選定しなければならない。一般に無機物質にはセメントからはじまって色々あるが、対象とする地層の間隙率がかなり大きいもののケースが主体となる。しかし有機物質を主成分とする固結剤は、粘度が低く、微細な土の間隙中にも滲透する特長をもっている。

2.1 安定剤の選択

有機安定剤は多くは高分子系のものであり、多くは尿素系樹脂・アクリル系樹脂・リグニン酸塩等であるが、このほかビチューミン（瀝青）とかアルデヒド類もあり、それぞれ製品として市販されている。

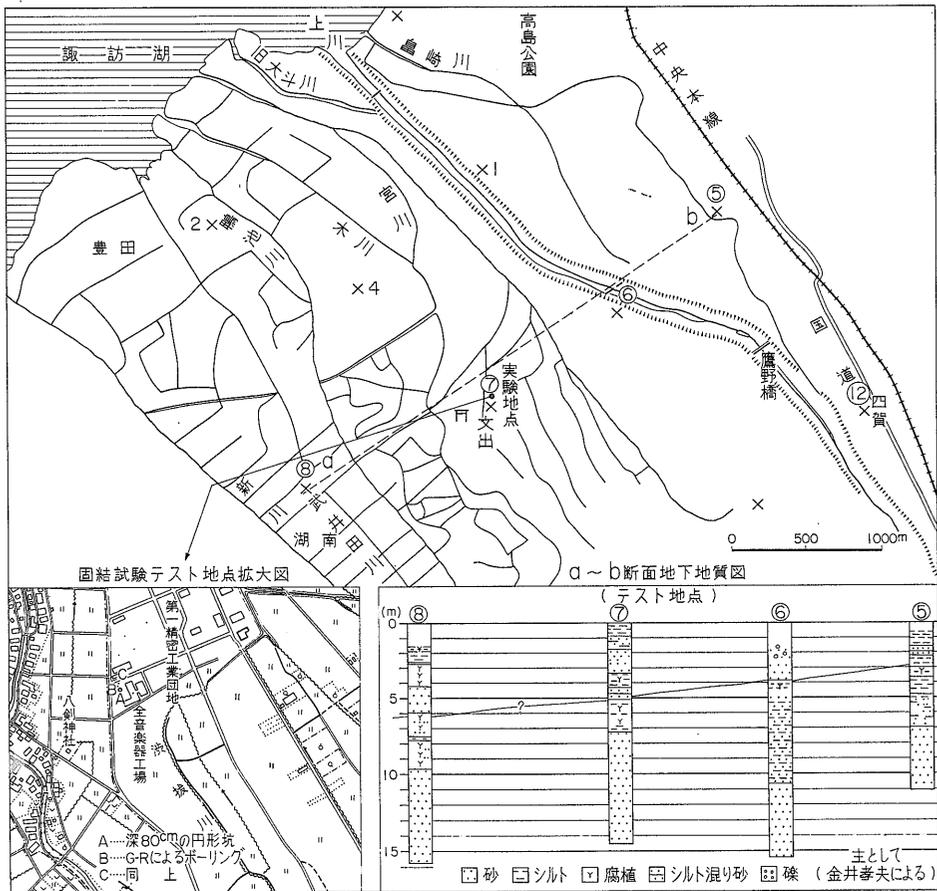
さて今回の調査地域は諏訪湖畔の低湿地であり、地層中に多くの有機物や腐植物（泥炭）を含んでいるので、リグニン系の安定剤が最も有効であると想定された。これは、この系統の安定剤が最初に適用されたカナダにおける実施例から導き出された結論である。

2.2 クロム・リグニン安定剤の特質

今回の固結化試験に使用することになったリグニン剤は、サングラウトという商品名で通用し、変性クロム・リグニンといわれるものである。主成分は変性リグニン・スルホン酸塩であるが、硬化剤として重クロム酸塩、促進剤として塩化第2鉄溶液を加えて使用する。その性能として、1) 滲透性がよく、2) 注入圧が低くてよく、3) 固結度が高く(5~14 kg/cm²の圧縮強度)、4) 防水効果高く、透水性は10⁻⁷ cm/secに下降し、5) 耐久性に富み、水ガラス系より高く、6) 海水に影響されず、7) 調製が簡単で、8) 有機質土に効果的、等となっている。しかし実際に使用してみると、もちろん使用上における技術面の巧拙も関係してくることであるが、とてもこのようなことはいえない面も多分に出てきている。

3. 固結化試験実施地点の地形および地質

本調査を実施するに先立って、予備調査で諏訪湖周辺の地域を巡視し、適当な地点を物色した結果、湖南の平



第1図 諏訪地区地盤固結化試験実施地点図

野の中央部の中州地域が適当と思われた。すなわち、諏訪市文出、八劍神社の北東にある(第1図)。この地点は諏訪市の工業団地計画地であり、すでに水田を埋立てて工業用地として完成されていた。隣地の全音楽器工場はすでに操業を開始しており、テスト用の用水取得の便がある。本地点付近の地下地質柱状図は併せて第1図に示した。図中の地質断面図(a~b)中、⑦地点がテスト地点に至近の位置にある地質柱状図である。地表下1mまでは、シルト層からなっているが、上部の50cmは、埋立土で置換えてある。そのためか最大径60cmにもおおよぶ巨礫を含んでいることがある。1m以深は、3.5mまで砂層となり、5.5mまでは砂・シルト・腐植を含む互層、5.5m以下は7mまでやや安定したシルト層である。これより深部は、14.5mまで砂である。このa~b線に沿っては⑤、⑥、⑧の各柱状図が得られており、一般的傾向として、シルト層の上面が南東にゆるやかに傾斜している。このほか国道に沿う四賀付近の⑩地点は深度11mまで全層腐植層からなっており、ここでは国道が常に沈下現象をおこしていることが知られている。将来このような地点に地盤固結化作業を実施する必要があるものと思う。

4. 固結化試験に要する器材および薬液

無機の化学安定剤(過磷酸石灰・水ガラス・セメント・石灰等)を使用する場合は、自然流下とか簡単な注入作業で処理が可能である。しかし有機安定剤は高分子系のものであるので、多くは2ショット以上の注入方式で実施することが多い。しかしクロム・リグニン薬液は簡単な2ショット方式でよいから、2口式のケミカルグラウトポンプで間に合う。使用したグラウトポンプの仕様は、下記の通りである。

東邦地下工機(株)式...PD-1型(ガソリンエンジン付)

吐出量...5 l/分, 2口, 注入圧力...5 kg/cm²

使用する薬液は、すでに述べたようにサングラウトを使用することとし、その仕様は次記のサングラウト〔Ⅱ〕式によるほか、

I液系(原液 130 l, 促進剤, 水) ...200 l	} 合計 400 l
II液系(結晶重クロム酸ソーダ 12.5 kg + 水 15 l).....200 l	

促進剤(塩化第二鉄塩液)の2 lを用い、ゲルタイムを10分とした。

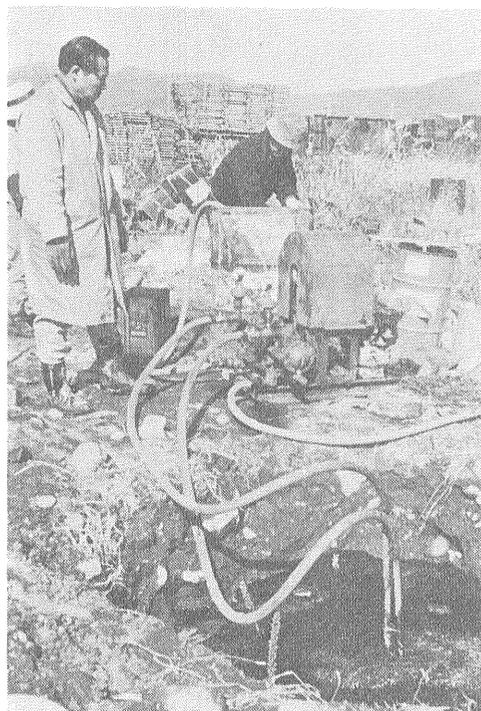
5. 薬液注入試験の経過

器材・試薬の整備を完了してから、現場における注入

テストの作業にとりかかった。第3図に示すように、まずA地点に径3m、深さ80cmの円形の試験坑を掘った。作業中巨礫大礫があつて、これらを除去するのに多くの時間を要し、なおかつサウンディング試験(注入前の地盤強度測定)にも多くの支障を生じた。しかもこの試験坑は地表下約70cmの位置に地下水面があつて、注入作業になんらかの影響があることが予想された。

5.1 A地点における注入

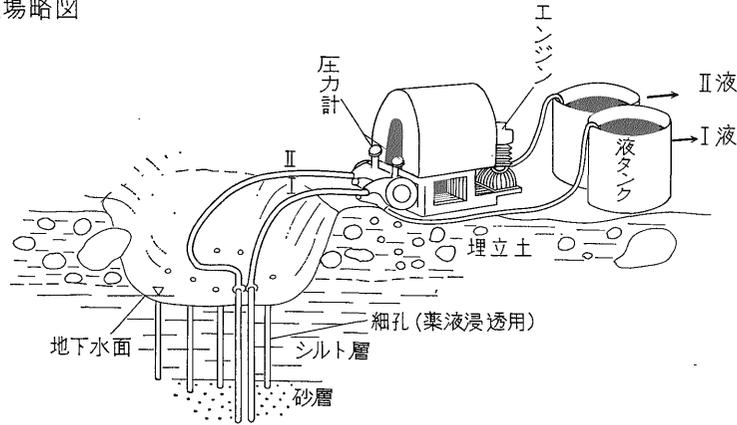
試験坑開設後、坑底の中央部にケミカルポンプに連結した2本の注入管(硬質ビニール製)を叩きこみ(深さ70cm)、砂層中に孔口があるようにセットした。そして管壁に沿って粘土を押し込み、薬液の上部への漏出を防ぐ処置を講じた。これらの準備終了後、はじめは低圧でI、II液を注入した。そして徐々に加圧し、5分経過後、薬液が上部へ漏出がはじまり、粘土による閉塞もほとんど効果がなかつたことが判った。そこで止むをえず、薬液の漏出はそのままにして、坑底にできるだけ多くの細孔をつくり(深さ30~40cm)、薬液の滲透を容易にするように配慮した。地中よりの水の添加もあってゲルタイムは延長されているので、早急には固結しないはずである。実際の面でも、固結剤の凝固によって作業



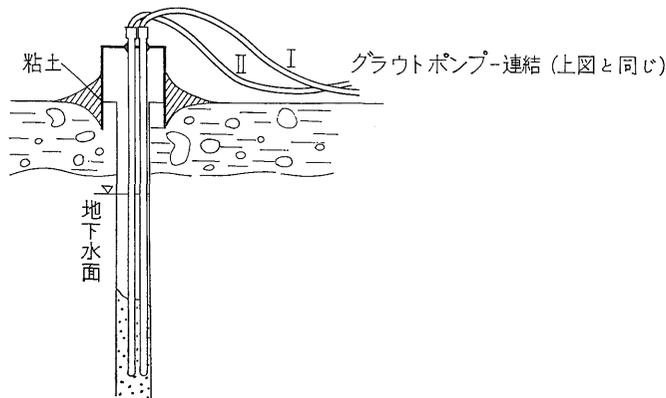
第2図 A地点のテスト風景

PD-1型ケミカルグラウトポンプによるサングラウトI、II液の注入(相原技官撮影)

A地点のクロム・リグニン液注入
現場略図



B・C地点の現場略図



第 3 図

上支障を感じたことはなかった。このことから多少でも被圧された地下水が地層中にある場合は、薬液の浸透はかなり困難なものであることを、直接観察することができた。

さて実験のA地点は、これ以上の圧力注入が不可能となったので、この坑内にゲルタイムを長くした薬液を池のように貯めて、自然に地中に滲透する方法に切りかえた。このような方法でA地点で使用した薬量は、約 250 lであった (第 3 図)。

5.2 B・C地点の注入

B・C地点はA地点のすぐ傍で、その位置は第 1 図中に示した。この 2 地点については、GR 搾孔機によって径 10 cm、深さ 10m の孔を掘さくして、これから薬液を注入することにした。まず B 地点から GR 機で掘さくを開始した。しかし B 地点は掘さく直後崩壊をおこし、孔内

が砂で埋まり、注入作業に適さなくなった。

それでこの地点を放棄して、すぐ傍の C 地点に新しく掘さくを開始した。C 地点の掘さく完了後、第 3 図に示すように、注入管の挿入と孔口における密閉作業を実施した。孔内水位は地表から 70 cm 付近の所にあった。ケミカルグラウトポンプの設置、注入管および I・II 液タンクへの連結を完了して、徐々に薬液注入を開始した。しかし注入量が孔の体積とほぼ等しい量に達したと思われる頃から、逆流がはじまり、圧力を増加させればさせるほど薬液の漏出が激しくなった。そこで圧力を減少させて、徐々に注入したが、逆流は依然として停止しなかった。この実験の継続を打切った。いずれにしても地下水圧のある所に薬液を注入させることが、きわめて困難であることを再び体験させられた。以上の実験経過からみて、今回の注入試験は不成功に終わった。

6. A・B・C地点の薬液注入前の地耐力と注入後の変化

A・B・C各地点については、薬液注入前にそれぞれスウェーデン式サウンディングによって地耐力を測定した。この作業は宇野沢昭技官の協力によって実施された。薬液注入後25日を経て、ふたたび各地点の地耐力を測定して強化状況を検討したが、この作業は同じく相原輝雄技官の協力を得た。これらの成果は第4図と第5図に示してある。

6.1 A地点の注入前の地耐力

第4図に示すように、地表から3~4mの付近にやや硬い所があり、N値として2~4であるが、良好な地盤とはいえない。5.5m付近も同様である。これより以深は8mまでN値も0で、きわめて軟弱な地盤としかいえないものではない。N値が8以上になるのは、9.5m以下である。砂層の中に入ってもN値が低いのは、シ

ルト質や腐植質を多く含む故と考えられる。

6.2 B・C地点の注入前の地耐力

B地点は、孔壁崩壊のため、薬液注入を実施しなかった。地耐力の測定のみで終わった。A地点よりも地耐力はややよいが、それもわずかの差である。N値は7mまで3~5の程度で、決してよいとはいえない。C地点はB地点よりもさらに地耐力が低い。深度8mに達しても、N値は4以上とはならない。

このように近接した地点(いずれも15m以内)でも、地下の地耐力には甚だしい差異が認められる。

6.3 A地点の薬液注入前後の地耐力の比較

薬液注入後25日を経て、再びA・C地点の地耐力測定を試みた。A地点は深度7mまで測定した。C地点は孔壁の崩壊がおこっていて、薬液の効果を判定するのに不適当な状態となっていた上、周囲には巨礫が多くて、スクリュウ・ポイントが地下に貫入できなかった。そこでC地点の再測定を中止した。

項目 深度	注入前地盤強度			注入後地盤強度			地盤強度比					地質柱状図	記載事項		
	測点 深度	廻転数	N値	測点 深度	廻転数	N値	0	1	2	3	4			5	
0	孔底			孔底										掘さく除去埋立土	
1	●	0	} 0	●	0	} 0	●						砂		
	●	0		●	0		●	2	1.4						
	●	0		●	2		●	15	7						
2	●	0	} 2	●	10	} 2	●	4.1							
	●	3		●	3		●	3	2						
	●	0		●	3		●	2	2						
3	●	3.5	} 2.3	●	12	} 2.3	●	5.7							
	●	8		●	21		●	8.9	8.9						
	●	4.5		●	20		●	8.3	8.3						
	●	2.5	} 1.5	●	7	} 3.8	●	3.8							
	●	0		●	1		●	1	1						
4	●	3		} 2	●		3	} 2	●	2					
	●	0	●		2	●	2		1.4						
	●	0	●		3	●	2		2						
5	●	0	} 0	●	4	} 2.5	●	2.5							
	●	0		●	4		●	4	2.5						
	●	7		●	4		●	2.5	2.5						
	●	4	} 3.8	●	20	} 8.3	●	8.3							
	●	0		●	13		●	6.1	6.1						
6	●	0		} 0	●		8	} 4.3	●	4.3					
	●	0	●		9	●	4.7		4.7						
	●	1	●		9	●	4.7		4.7						
	●	0	} 0	●	7	} 3.8	●	3.8							
7	●	0		●	7		●	3.8	3.8						
	●	0		●	10		●	4.1	4.1						
	●	0	} 0	●	13	} 6.2	●	6.2							
	●	0		●	11		●	5.5	5.5						

第5図 A地点の固結化試験前後の比較

したがってA地点のデータのみが、比較検討する資料となった。これは第5図にその成果を示した。

注入前の強度と注入後の強度を比較するために、図中に地盤強度比という項目をつくり図示してある。数字1は、前後で地盤強度の変化のない所、1以上は何倍の強度になったかを示している。1以下はかえって弱化したところを示す。注入前N値0であったところが強化されて、Nが1以上になった所は、両者の比が正確に求められないので、およその状況を破線で示している。実線の部分は、前後の比が求められるので、はっきりと示すことができる所である。

第5図をみると、地質柱状図が示されて、地層中のどの部分が強化されたかを比較対照することができる。深度-1.4~-2.3mまでは粘土入り砂であって、注入前にN値0であったところが、最高値としてN値7に達している。-2.5mから-5.3mまでの間は、上半部は砂、下半部は腐植を含むシルト層であるが、案外に強度が増加していない所である。しかしN値として、かなり正確に比較できる所で、3倍ないし5倍の強度増加となっている。-5.3mより深い所は、注入前の強度がN値として0であり、注入後は最高の値はN値6である。

これらの結果を、前に実施した無機安定剤(過磷酸石灰)を用いた実例と比較してみると、やや強度の増加率が上まわっている。しかしこのサングラウト液による安定化の程度として、 5 kg/cm^2 から 15 kg/cm^2 の一軸圧縮強度が得られるというメーカー側の表現に対して、とてもそのような強度まで安定化された所はなく、最高でも 1 kg/cm^2 程度の強度増加にすぎない。

7. む す び

地盤改良の一環として、化学薬品による軟弱地盤の安定化実験を試みた。まず手はじめに関東ローム層について、過磷酸石灰を主剤とする新しい安定剤を用いて、強化実験を実施したところ、大体2~3倍の程度の地盤強化の成果が得られた。しかしその工法は表層部が、かえって軟化するという欠陥を有している。注入方法として、最も簡単な自然流下法を採択したのは、ローム層中には水分が比較的少なく(結合、半結合水は別として)、かつ関東ロームは粗鬆な構造であるからにはほかならない。確かに関東ローム層のこの特色こそは、薬液の流下を容易にしたものと思われる。

今回選定した地区は、有機物を多く挟在する砂またはシルト・粘土からなる湖成層を主とする所であり、なおそのうえ地下水位も高く、被圧帯水層が地表近くにあると思われる所である。このような地層を強化する方法と

しては、ケミカル・ポンプによる圧入が通常用いられ、安定剤にはクロムリグニン液を使用するのがよいとされているので、上述のような方法が採択された。今回の実施成果から、今後の問題点となるものを列記すれば、

① 被圧地下水を含んだ地層中に、薬液を注入することは、今回の実験で失敗であることが判った。代替方法として考えられるのは、ウェルポイント工法を用いて、地下水位および地下水圧を低下させてから、注入すべきであったと思う(真空注入工法)。

② 有機物を含む地層の強化に、クロム・リグニン液は有効であるとされているが、実際の意味は有機物の存在が、無機安定剤使用の場合のような大きな妨害とはならないという意味である。

③ 過磷酸石灰と比較すれば、サングラウト安定剤は、強度の増加においてやや優れている。

④ 広い面積を対象として、地盤強化作業を実施するに当り、薬量・コスト・薬液の浸透範囲と、そのロスの比率などを考慮に入れたうえで、仮に地盤強度が施工前の2~3倍程度に向上したとすれば、その作業は成功したと考えてよい。

⑤ 今後、有機安定剤注入法を実施しようとする場合には、ウェルポイント工法(真空注入工法)を併用する必要がある。

参 考 文 献

- 沢田敏男・酒井信一・今尾昭夫(1960):リグニン系土質安定剤の2,3の効用について。
〔I〕. 土と基礎, vol. 5, no. 3.
- 横山次郎(1950):日本地方地質誌——中部地方。朝倉書店。
- 三木五三郎(1967):サングラウトの注入に関する実験的研究。山陽パルプ実験—2。
- 三瀬 貞・鈴木健夫(1965):変性リグニン・クロムの注入による砂質土の安定について。土と基礎, vol. 13, no. 2。
- 山内豊聡(1957):リグニン系の材料による土質安定。土と基礎, vol. 8, no. 3。
- (1959):リグニン系材料による新しい土質安定処理について。土木学会論文集, 第64号。
- 渡辺和衛・竹田栄蔵・相原輝雄(1972):関東ロームの化学処理による安定化。地質調査所月報, vol. 23, no. 1。