

# リグニン系材料による新しい土質安定処理について\*

正員 山内 豊 聰\*

## A NEW STABILIZATION OF SOILS BY MEANS OF LIGNIN MATERIALS

By Toyotoshi Yamanouchi, C.E. Member

**Synopsis :** It is found by the author that a new soil stabilization by means of lignin materials—spent sulphite liquor or its extracts—adding potassium dichromate, aluminium sulfate or ferric chloride as the auxiliary agent is most suitable to the organo-volcanic ash soils in Japan, which cannot be well stabilized by means of Portland cement, and the effects by the new lignin method are explained from the soil engineering point of view. Next, this method is applied to the grouting into the ground as a new method, and the test results in laboratory are written, showing the promise of practical use.

**要旨** リグニン系材料, すなわち亜硫酸パルプ廃液, またはその抽出物に助材として重クロム酸塩, 硫酸アルミニウム, または塩化第二鉄を加えて, それらの添加混合によつて土を安定処理する新しい方法が, わが国の有機質火山灰土について, ソイルセメント法のおよぶことのできない高い適応性を持つことを見出し, かつその土質工学的安定効果を明らかにした。次に地盤に対する薬液注入の新しい方法として, 試験室における基礎的実験の結果をのべ, その実用性のあることを示した。

### 1. 諸言

道路や飛行場の基礎(基層, 上層路盤あるいは改良路床), 場合によりそれらの表層をはじめ, 盛土, 堤防, アースダムといった各種の土質構造物の土を, 力学および風化の作用に対し安定性をあたえるために行ういわゆる土質安定処理は, 材料によつて工法を分類するのが普通であり, 一般に, 粒度調整による方法, ソイルセメントおよび類形の方法, 歴青材による方法および化学的材料による方法に分けられている。このうち, 粒度調整による方法は, 接着(cementation)を目的とするなんらかの添加材を併用することなしには, それ自体では多くの場合に安定度が不十分であるのみならず, 粒度調整のため適当な客土を得ることが困難である場合が多く, このため添加材に安定効果を期待することが依然として要望される。ソイルセメントによる方法は最近わが国でもようやく実用の段階に達したが, この方法にもなおいくつかの欠点があり, とくにわが国の有機質火山灰土に対しては必ずしも満足できるものとはいえない。

著者は亜硫酸パルプ廃液, あるいはその抽出物に, 助材として重クロム酸塩等(重クロム酸塩を助材とするとき, クロームリグニン法という)を併用することによつて, リグニン成分を不溶性とする新しい方法<sup>1)</sup>が, わが国の各種路床土, とくに有機質火山灰土に対し, 他の方法より広い適応性を持つであろうことに着目した。したがつてそのおもな応用は土に対し添加混合材とする場合であるが, さらに防塵処理を含んで表面処理のための撒布材や, それらの拡張した利用法としてろう水防止や凍上防止を目的として行う地盤に対する注入材として考えられる。

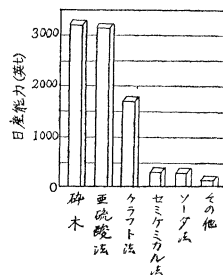
本文でいうリグニン系材料のおもな原料となる亜硫酸パルプ廃液(spent sulphite liquor)は, 亜硫酸法パルプ(SP)製造における廃液として得られ, その過程においては亜硫酸ガスと石灰石の溶液が吹き込まれている。亜硫酸法パルプは図-1に示すように各種パルプ生産のうちでもおもな部分を占めるので, 廃液の利用は一方においてその処理問題とも関連している。元来土質安定を目的とする実用的な粉末のリグニン材料はまだ供給されていなかったが, 最近関係方面の協力によつてその実現を見るようになった。

### 2. 助材によるリグニン溶液のゲル反応

\* 第12回(昭.32.5)および第13回(昭.33.5)年次学術講演会においてそれぞれ部分的に発表

\*\* 九州大学助教授, 工学部土木工学教室

図-1 わが国パルプの日産能力  
(昭.31. 通産省繊維局)



(1) 各種リグニン材料と重クロム酸カリとの反応

SP 廃液およびその抽出物の溶液に、助材として重クロム酸塩等を添加して不可逆性のゲルが生成される原理は明らかでない。寒天等のゲル生成の例から推定すれば、リグニン材料中のスルホン酸基、 $(SO_3Ca)_n$  と助材中のカルボキシル基、 $COOH$  とが、ある適当な比率を持つときゲル反応がおきるのではないかと考えられる。このようなゲル反応のおきる最低の SP 廃液濃度は大体固形分が 15 g/100 g 程度のものである。

パルプ廃液には SP のほか、溶解パルプ (DP) やクラフトパルプ (KP) 等があるが、実験によれば、DP の化学成分は SP とほとんど同じであるにかかわらず、ゲル反応が弱く、KP では全く反応があらわれない。KP はその過程で苛性ソーダと硫化ソーダを加えているのでスルホン基がないためであるが、DP にあつては過度にリグニンが分解されているためであろうと考えられる。以上のほか、亜炭から抽出したリグニン材料についてもゲル反応がおきる事がわかった。しかしその生成物は強さおよび安定性において SP 系統のものにはるかに劣り、実用性に乏しい。以上の予備実験結果を要約すれば表-1 のようになる。

表-1 重クロム酸カリ添加による各種リグニン材料のゲル化反応の有無

材 料	状 態 (提供元)	濃 度		反 応	
		比 重	固形分 g/100 g		
パルプ廃液	重クロム酸カリ添加による各種リグニン材料のゲル化反応の有無	濃縮液 (山陽パルプ)	1.234	62.0	ゲル化
		原液 (十条製紙, 坂本)	1.060	15.1	ゲル化
		原液 (高千穂パルプ)	1.011	3.5	なし
	溶解パルプ (DP)	濃縮液 (山陽パルプ)	1.224	58.2	弱いゲル化
クラフトパルプ (KP)	濃縮液 (福岡パルプ)	1.220	65.6	なし	
	原液 (同上)	1.072	17.2	なし	
亜炭抽出物 (M剤)	濃縮液 (日本曹達)	1.119	18.5	ゲル化	
SP 廃液抽出物	ポゾリス 8X ポゾリス 5A, 5AA スタビソイル	粉末体 (日本曹達) (適当な濃度の溶液にして試験)		ゲル化 ゲル化 ゲル化	

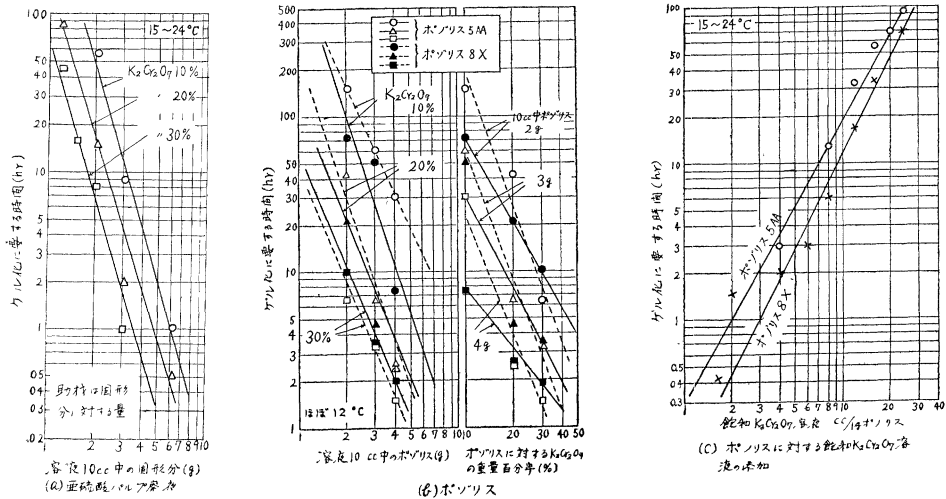
(2) SP 系リグニン材料の重クロム酸カリによるゲル化時間

SP 廃液またはその抽出物に重クロム酸カリを加え、それらの相対的濃度の相違による常温のもとにおけるゲル化所要時間を試験管によつてしらべた。試験によれば液体からゲルに転換する時期は相当明瞭におき、その確認は容易である。この時間は安定処理の実施にあつて、養生時間や注入における濃度の調整のために有用な数値となる。図-2 はそれらのゲル化時間を示したもので、(a) は SP 濃縮廃液を蒸留水でうすめたものについて、(b) はポゾリスの水溶液について  $K_2Cr_2O_7$  を加えた場合であり、(c) はポゾリスと  $K_2Cr_2O_7$  の飽和溶液とを組合わせた場合である。飽和溶液を取り扱つたのは注入の場合の配合の一方法として考えたからである。それらの図の示すところを次のように要約することができる。

(a) 同一の  $K_2Cr_2O_7$  添加量においては、リグニン溶液の固形分とゲル化時間との関係は両対数紙上で直線的であり、リグニン濃度の大きなものほどゲル化時間は短い。また  $K_2Cr_2O_7$  添加量の相違による変化は大体平行的である。

(b) 固形分が同一であるリグニン溶液については、 $K_2Cr_2O_7$  添加量とゲル化時間との関係も同様に両対数紙

図-2 重クロム酸カリによる SP 濃縮廃液およびポゾリスのゲル化時間



上で直線的であり、 $K_2Cr_2O_7$  添加量の大きなものほどゲル化時間は短い。またリグニン濃度の相違による変化は大体平行的である。

(c) ポゾリスに対し  $K_2Cr_2O_7$  飽和溶液を加えるときは、飽和溶液の増加による  $K_2Cr_2O_7$  の量の増大より、水の量の増大の方がよりまさっているため、加えた飽和溶液の増加にともないゲル化時間は長くなる。

生成されたゲルは混合液のリグニン濃度の大きいものほど、より堅硬なものができることは、他の種類のゲルの場合と同様であつた。以上の実験結果は温度の変化による影響があるはずであるが、その関係については目下研究中である。

### 3. 添加混合による土の安定処理

#### (1) 各種路床土に対する適応性

わが国の各種の路床上について、ソイルセメント法およびクロームリグニン法をはじめ、各種の添加混合処理の効果を次のようにしてしらべた。添加混合してハーバード式によつて突固めた供試体を、添加材の種類に適応した養生ののち、一昼夜水浸したのち軸圧縮強度をしらべる。ソイルセメント法では7日間温室養生、クロームリグニン法では7日間普通室内養生とする。このようにして求めた圧縮強度を添加材の配合を2ないし3種類選定してしらべ、その一日水浸強度の  $17.5 \text{ kg/cm}^2$  ( $250 \text{ psi}$ ) に相応する近似的な添加材の量を見出す。この強度は英国における安定処理土の強度の一基準である。多くは非水浸強度を考えているが、わが国のように多雨多湿の地域では常に水浸強度を基準にすべきであろう。表-2 はソイルセメント法とクロームリグニン法を比較したものであるが、この場合のリグニン材料は  $110^\circ\text{C}$  において  $584 \text{ g/l}$  の固形分を持つ SP 濃縮廃液に、その固形分に対し 20% の  $K_2Cr_2O_7$  を助材として加えたものであり、数値は助材を含む全固形分であらわされている。ただしこの試験では簡単のため土のみの場合の最適含水比付近で締固めたもので、それぞれの添加材の配合に対する正確な最大乾燥密度のものではないが、全般の傾向を知ることができる。

表-2 各種路床土に対する普通ソイルセメント法とクロームリグニン法との安定処理効果の比較

土群 指数	特別な土の名称(県名)	主な粘 土鉱物	有機物量 (%)	17.5 kg/cm <sup>2</sup> の1日 水浸強度を得るに必 要な添加材の量(%)			土群 指数	特別な土の名称(県名)	主な粘 土鉱物	有機物量 (%)	17.5 kg/cm <sup>2</sup> の1日 水浸強度を得るに必 要な添加材の量(%)		
				ポルトランド セメント	クローム リグニン						ポルトランド セメント	クローム リグニン	
0	(鹿児島)	H, A	2.8	13	9	11	関東ローム(東京)	A	1.91	×	28.5		
1	ヨ ナ(熊本)	—	0	9	7.5	13	関東ローム(千葉)	K	0.03	×	19		
2	黒ボク(宮崎)	A, Pm	16.0	×	15	13	(福岡)	H or HH	0.04	10	×		
2	黒ボク(福島)	A, Pm	18.2	×	×	14	ハロイサイト(長崎)	H	0	19	31		
3	(佐賀)	K	0.11	×	8	18	関東ローム(千葉)	A	15.0	×	×		
3	シラス(鹿児島)	—	0	12	24	19	(福岡)	H or HH	0.14	13.5	13		
5	黒ボク(鹿児島)	A, Pm	12.1	×	10	19	セリサイト(島根)	S	0	20	17		
7	(佐賀)	K	1.28	26	10	20	ヘドロ(福岡)	I, M	3.3	19	×		
9	(佐賀)	H	0	9	8	20	カオリナイト(栃木)	K	0	×	×		
10	(福岡)	M	0.27	8	19	20	クロライト(島根)	C	0	×	×		
11	(福岡)	K	0.16	<10	<10	20	モンモリロナイト(群馬)	M	0	×	×		

注 1) ×印は非実用的に多量の添加材を必要とする場合を示す。

2) すべて気乾試料土について試験。

3) 有機物の量は  $0.075 \text{ mm}$  以下の粒子に対するもので、Peech 法による。

4) 粘土鉱物の記号はそれぞれ頭文字、Pm は一次鉱物を示す。

有機質土はその有機物によつてポルトランドセメントの水和作用がいちじるしく妨げられるので、有機物の存在に影響されない添加材料が期待されるが、クロームリグニンはその期待にこたえる有力な材料であることを表-2 は示している。しかし非有機質土については、ポルトランドセメントは添加材として十分効果をあらわすので、クロームリグニン法はかえつて相対的に高い配合を必要とする。すなわち、クロームリグニンは有機質土、とくに有機質火山灰土に独特の効果を発揮するものといえる。著者の調査によれば、有機質火山灰土の多くは、早強セメントの使用や塩化カルシウムの添加による効果を期待できなかつた。またこの試験では以上のほか、石灰・フライアッシュ法、アクリル酸カルシウム法、アニリン・フルフル法の効果の比較を同時に行つたが、これらの効果はすべて前二者の方法に到底比肩することができなかつた。

#### (2) 突固め試料の安定性

代表的有機質火山灰土である黒ボクを試料土に選び、JIS の方法にしたがつて最初に気乾試料とし、これにスタビソイルおよび助材として  $K_2Cr_2O_7$  (工業用) を添加し、スタビソイルの各配合について水を加えて含水比を増しハーバード式の突固め試験を行い、そのおのおの乾燥密度と、3日室内および温室養生後1日水浸後の軸圧縮強度をしらべると図-3 のようになった。比較のため普通ポルトランドセメントの 12.5% 配合(7日間

湿室養生後1日水浸)のものを併記してある。図-3 によつて次のことがわかる。

(a) 高配合のソイルセメント法によつても到底強度の得られない有機質火山灰土に対し、クロームリグニン法によつて適当な強度を得ることが可能である。

(b) 前記の効果はリグニン材料による接着効果とともに、そのいちじるしい密度増加によるものであることが含水比-乾燥密度の関係からわかる。この効果は分散材による安定処理<sup>2)</sup>と同一原理である。ソイルセメント法で乾燥密度が高くなるのは、セメントの持つ大きい比重の影響によるもので、供試体の間げき比はセメントの添加によつて高くなること、イオンの界面化学的作用からも容易に説明できる。間げき比の高いことはソイルセメントの欠点のおもな原因となる。

(c) クロームリグニン法は湿室養生よりも、普通室内養生の方が高い強度をあたえる。すなわち締固めののち乾燥に委すことが望ましい。

わが国の路床土、とくに火山灰土は、常時 JIS の示す最適含水比より高い含水量を持ち、実際の工事ではウインドロウ等によつて過剰の水分を自然乾燥し、最適含水比に近づけて締固めることが行われる。このため実際の施工を考へて、土をある程度乾燥して締固めるような、JIS の方法と逆方向の水量の調整を行い、しかも一バッチごとに試料を更新することを行つて添加材の効果をしらべる必要がある。図-4 はそのような方法で求めた路床土支持比 (CBR) に関するソイルセメント法およびクロームリグニン法の効果の比較であるが、この場合でも前述 図-3 と効果の傾向は大体同じである。

(3) 凍結に対する抵抗

クロームリグニン法によつて処理した黒ボクの突固め試料が、毛管水の供給を受けることなしに、繰返しの凍結融解作用を受けるときの影響を、ハーバード式の突固め試料についてソイルセメント法処理と比較したのが 図-5 である。この試験では凍結融解作用は、半日間ほば  $-23^{\circ}\text{C}$  の冷凍室に保ち、ついで半日間常温に露出し、これを1サイクルとして、7サイクル繰返したものである。ソイルセメント法では黒ボクについては前節でのべたように高い配合でも強度が得られないので、凍結融解の作用もまた大きくあらわれないのであるが、クロームリグニン法では、その作用により常温のときの強度の1/2 近くが失われるが、なお強度を維持し、かつ容積変化がソイルセメントと反対に少量の収縮であるのが特長である。これも乾燥密度の相違、すなわちソイルセメント法の高間げき性との相違の一結果である。

経済的に可能な舗装厚さ、または安定処理層の深さ以上に、凍結深度の大きい地域にあつて凍上を防止するには、地中に地下水からの毛管水の上昇を遮断する層を設ける方法によらねばならない。舗装工事前にはクロームリグニン処理による遮断層を設けることができるが、既設のものにあつてそれを注入によつて行うより他に手段がない。リグニン材料はその目的にも応用が可能である。カナダ<sup>1)</sup>では助材を加えない単純なリグニン溶液によつてその目的を達しているようである。

(4) 助材の量と種類の影響

リグニン材料の重量に対する  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  の量の相違が、締固め供試体の強度におよぼす影響を示したのが 図-6 である。これによつて助材の量の増加は、養生日数の全般にわたつて強度の増加をとまなうことがわかる。

次に  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  に代る助材として硫酸アルミニウム、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16-18 \text{H}_2\text{O}$  および塩化第二鉄、 $\text{FeCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  の

図-3 黒ボクの圧縮強度に対するクロームリグニン法の効果

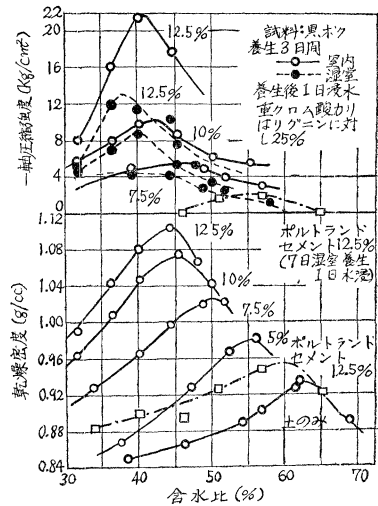


図-4 黒ボクの路床土支持力比に関するソイルセメント法およびクロームリグニン法の効果の比較

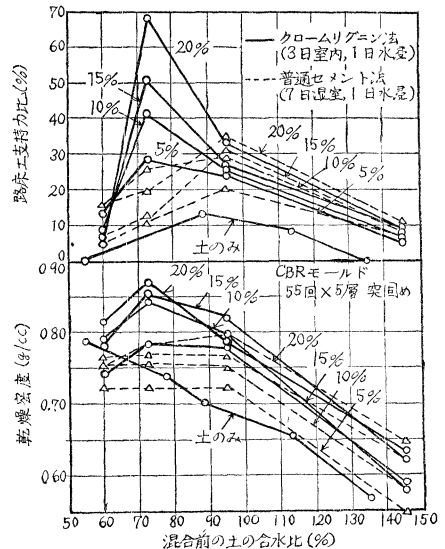


図-5 ソイルセメント法およびクロームリグニン法による黒ボク処理土の凍結融解作用の比較

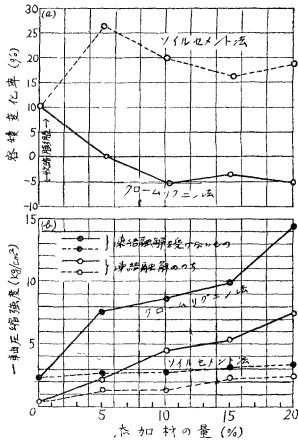


図-6 強度におよぼす重クロム酸カリの添加量の影響

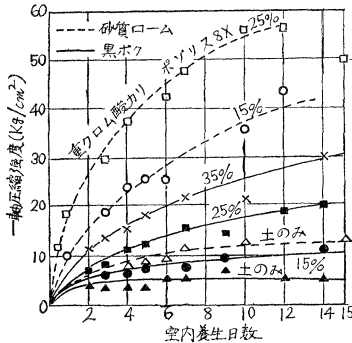
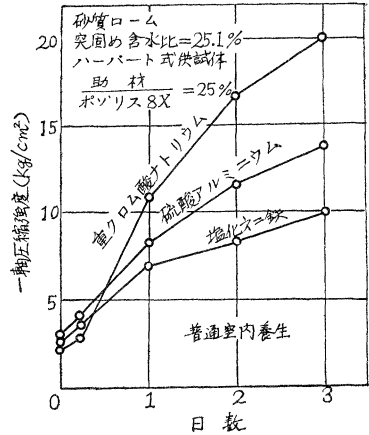


図-7 異なつた助材の効果

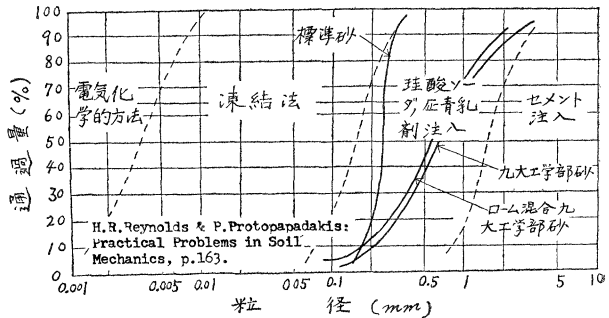


効果の差異をしらべたのが図-7である。これらの助材はリグニン材料の溶液をゲル化せず、したがって土に混合するときも効果が相当に劣るが、コストが低いのでその量を増すことによつて十分利用価値があるとする。その量の限界はコストの相対的な割合によつて定まる。

4. 地盤注入の効果

在来の地盤注入材はポルトランドセメント、珪酸ソーダの両系統のものが大部分で、ときとして歴青材やアクリル酸カルシウム法も考案されている。注入薬液の粘度と、注入材が懸濁液の場合であればさらに懸濁粒子の大きさによつて、有効に注入できる土の粒度におのずから限度がある。細粒度の土については凍結法や電気化学的方法によらねばならない。図-8の区分はその一提案を示したものである。クロームリグニン材を地盤の注入に应用する場合、それが溶液であることの利点とともに、単液として使用できることや、材料が豊富であることもその長所である。固結時間は助材の相対的な濃度で調整される。

図-8 地中の安定処理と適応した土の粒度



(1) 注入による固結物の生成

木箱 (16×16×22 cm または 15×15×18 cm) に砂を詰め、これに真鍮製のノズル (注入孔の径 1 mm) つきの内径 0.47 mm のパイプを挿入し、これをクロームリグニンの薬液ビンに接続し、薬液ビンにエアーコンプレッサーから圧力を送れば、薬液はノズルから土中に拡散する。適当な時間経過したのち砂を取り出し、生成物の固結状況を観察し、次に適宜に成型して透水係数と一軸圧縮強度を測定した。

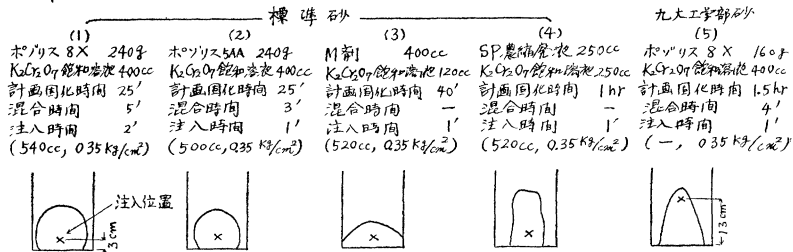
(a) 乾燥砂に対する注入 乾燥した標準砂および九大工学部の砂に対して行つた薬液の配合と注入の所要時間、ならびに固結物の形状は図-9のとおりであつた。乾燥砂の場合は注入がきわめて容易である。計画固化時間は図-2 から見出したものである。

(b) 飽和砂に対する注入 標準砂が水で飽和した状態における注入の難易と生成物の性質をしらべた。配合は比較のため、乾燥砂の場合にそれぞれ対応して同一のものを選んだ(図-9)。その結果、飽和砂の場合、注入の所要時間と圧力はともに高く、かつ生成物の形状にも変化があつた。飽和砂の場合は薬液の逆噴がおきやすいので、ノズルつきパイプは抑え板を貫いて砂中に挿入し、注入中抑え板を確実に抑えつける必要があつた。

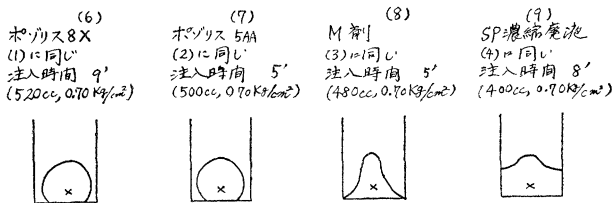
(c) 流れのある砂層に対する注入 ろう水防止等の工事においては、地中の水の流れのある箇所薬液注入を行う必要がある。このため図-10のようなローム混りの九大工学部の砂を詰めた模型をつくり、流水中に注入して薬液が薄められ、流されずに固結されるかどうか、またどの程度の性質の生成物が得られるかをしらべた。注入前の流量は 8.4 l/h であり、それから浸透水の流速を概算すると 11.1 cm/h=2.53 m/day であつた。普

図-9 乾燥砂および飽和砂に対する注入の効果

(a) 乾燥砂の場合



(b) 飽和砂の場合(標準砂)



通の地下水の流速であれば1日数 m 程度である。ポゾリス 8X による薬液の配合と固結状況は 写真-1 のとおりである。試験 (e) の場合の浸透水量の変化は 表-3 に示すとおりである。

図-10 流れのある砂層の模型

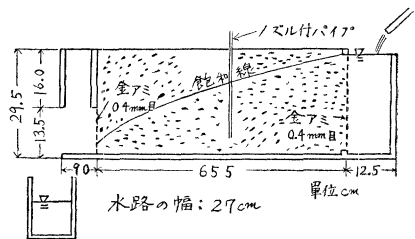


表-3

時間 (h)	浸透流量 (l/h)
0	16.6
17	2.1
34	3.65

注入によつて浸透流量が十分に減少しないのは、固結物によるカーテンの形成が不十分なため十分に浸透を遮断していないためであり、むしろ注入の技術に関係するところが大きい。

(2) 固結生成物の性質

注入によつて固結したものの性質、とくに透水性と強度は地盤注入の目的から考えて意義がある。

(a) 透水係数 砂中の固結部分を適宜に成形し、プラスチックの管に収め、管との間げきはパラフィンを充填し、普通の降水頭型透水試験器によつて透水係数を測定した。それらの値を取りまとめると 図-11 のようになる。水浸日数の増加によつて透水係数が減少しているのは、供試体の膨潤によるものと思われるが、その後

写真-1 流れのある砂層に注入した場合の固結状況



註: (1) ポゾリス 8X 240 g, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 飽和溶液 400 cc, 計画固結時間 25', 写真は1昼夜後  
 (2) ポゾリス 8X 2100 g, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 飽和溶液 3500 cc, 計画固結時間 25', 写真は1昼夜後  
 (3) ポゾリス 8X 2400 g, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 飽和溶液 4000 cc, 計画固結時間 25', 写真は1昼夜後

透水係数がわずか増大する傾向が見られる。

(b) 一軸圧縮強度 注入によつて固結した部分の強度は、通常  $5 \text{ kg/cm}^2$  程度あれば足りることが多いといわれる。クロームリグニン法による砂の固結部分の一軸圧縮強度は 図-12 のとおりである。このうち SP 濃縮廃液を主材とするものは、水中で  $3\sim 4 \text{ kg/cm}^2$  に達している。流れのある場合の固結物についても大体同様のようである。

以上のような、基礎的な注入の実験から、クロームリグニンおよび同種の薬液注入は、セメント注入の不適当な土の粒度において、注入が可能であることが確かめられ、生成物は適当な強度とともに浸透水を遮断する効果がある。スタビソイルについての注入はまだ試験されていないが、それによる固結生成物は添加混合材としての効果から判断して性質が他の種類のものより幾分改良されるものと推定する。

## 5. 結語

SP 濃縮廃液、または抽出物は、重クロム酸塩(カリまたはナトリウム)、硫酸アルミニウム、塩化第二鉄を助材として、添加混合により、とくに有機質土にソイルセメント法のおよぶことのできない安定処理効果が得られる。著者はこの方法を、わが国土質安定の重要課題の一つである有機質火山灰土の処理のため、適応性の高い一つの添加混合材として提案する。添加混合によるこの方法の特長は、ソイルセメントにくらべて次のとおりである。

- (a) 土中の有機物に影響されない。
- (b) 養生期間が短くてすみ、また特別な養生を必要としない。
- (c) 分散効果をとまなうので、低い含水量で土をウォークアブルにするので、最適含水比を低くし、いちじるしく高い乾燥密度をあたえる。
- (d) したがつて吸水性を低くし、また毛管水を遮断し、凍結にも抵抗力が大きい。
- (e) 摩耗抵抗性がある。

それらの効果は他の種の添加材料と同じく、土の過剰水分を処理して初めて得られるので、同時にその問題と関連して引き続き研究中である。

次にこの方法を拡張してセメント注入の困難な粒度の地盤に注入が可能であり、その生成物はいちじるしく透水係数を小さくするとともに、適当な強度をあたえる。この効果は凍上防止を目的とする場合にも応用できると考える。

しかし助材の選定および改良についてはまだ研究の余地があり、粉末体のリグニン抽出物を中心に引き続き研究中である。

本研究は部分的に、日高成男(昭.32.3.卒)および山本茂樹(昭.33.3.卒)両君の卒業研究による協力と、研究補助員土屋勝彦君の実験の労に負うところが多く、またリグニン材料については、関係各社(表-1)の協力を得た。深く謝意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 山内：リグニン系の材料による土質安定、土と基礎、Vol. 5, No. 3, 昭.32.6.
- 2) 山内：分散材を応用する土質安定、第7回日本工学会大会土木部会講演概要 II, 昭.31.5.

(昭.34. 2.11)

図-11 注入による固結部分の透水係数

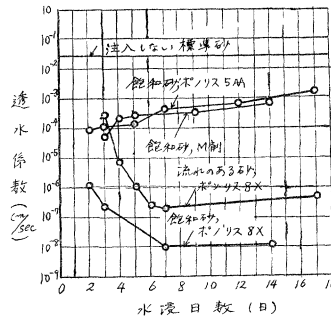


図-12 注入による固結部分の一軸圧縮強度

