

# 地盤改良とは

## ～産業公害対策への1つのアプローチ～

渡辺和衛

### 1 はしがき

産業活動の行なわれる所は 由来平たん地であることが通例である。日本のような狭い国土では 大河川の下流部 すなわちデルタ地帯が利用されるようになるのは 自然の勢であるが 時として山間盆地とか 湖畔などにも工場が立地していることがある。こうした地域は おおむね沖・洪積層で被覆され 軟弱な地盤が存在していることが多い。軟弱地盤というものは 必ずしも シルト・粘土層のような軟質なものを指すだけでなく 火山灰層(関東ローム層やシラスなど)や泥炭層のようなものまでも含まれるのである。砂層はむかしから相当強固で安定したものとして取扱われてきたが 最近の新潟地震以後 砂の振動による液状化の現象が 明らかになるにつれて これも将来対策を考究すべきものと考えられるようになってきている。

最近では産業諸施設もその生産技術の向上につれて 振動・沈下等の地盤災害に対する設計の基準もきびしくなり 地盤診断とその改良方策について論議されることが緊要なこととなってきている。

### 2 地盤の固化とは

地盤すなわち地質学的な表現でいえば 地層であるが 一般の堆積地層のできる「しくみ」は

#### 1) 沈積作用 (sedimentogenesis)

陸地が風化され 元々岩石圏内に存在した鉱物性物質が 雨で洗出され 運搬されて水圏に流入した後 底質として沈澱累積し 地層を生成する作用である

#### 2) 続成作用 (diagenesis)

底質は長期にわたって累積し 漸次圧密を受けて 鉱物学的に変化し 新しい特徴を具えた構造を生じて堆積岩に変わって行く

#### 3) 後生作用 (epigenesis)

その後堆積岩生成地域が沈降をつづけることにより 終にかなり著しい深さまで埋没して そこで新しい環境条件に適応して一連の新しい特徴を具えた新鉱物組成・構造・組織を獲得して石化する

#### 4) 初期変成作用 (primary metamorphism)

さらに著しい沈降とそれに並んで褶曲・転移を受けると

初めの鉱物組成・構造・組織が破壊され始め 新しい高温・高圧の条件に適応した変成過程が進行し 漸次更新された鉱物組成・構造・組織に置きかわる

以上に示すような順序によって 沈積底質が“石化”するわけであって これは地質学的な長年月およびきわめてスケールの大きい多種多様のエネルギーの集積により生じたものである。筆者はこの沈積層の石化の“しくみ”の中から 軟弱地盤強化の技術的方法を見出すべきであると思う。研究者の立場としては 沖・洪積層の地盤改良が主要な任務であるから 1) 沈積作用 2) 続成作用 を中心として その過程における固化状況を解析して行けば よいと思う。元より人工的地盤改良は 3) 4) の段階まで進めるのが理想である。しかし沈降現象や何千mにもおよぶ堆積層の下圧力とか 熱変質および長い時間といったものを 簡単に人工化することは至難のことであり 現在の時点では 物理的・化学的に一步一步固結化機巧を明らかにして前進していくべきであろう。

### 3 沈積作用のタイプ

堆積過程は それが進化する自然地理的環境条件によって その様式を異にする。地盤固結性を考究する立場のものとして 様式とその地球物理および地球化学的性格をわきまえていなければ 対策はたてられない。そこで様式を区分すると

- 1) 氷河気候型
- 2) 湿潤気候型
- 3) 乾燥気候型
- 4) 火山性沈積型

の4つになる。この中で 当面の問題として注目するのは 2)湿潤気候型と 4)火山性沈積型の範疇にぞくするものである。地盤改良の対象となるのは 多くこれらの型で沈積した堆積層である。「湿潤気候型」のものは 碎屑物はすべて沈澱する。ただまことに不完全で沈澱物の間隙を充たして  $\text{NaCl}$ ・ $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ・ $\text{CaSO}_4$ ・ $\text{MgCl}_2$ ・ $\text{MgSO}_4$  などが長い間残留・濃集し 生物学的にも不活性化化合物となっている。軟泥水はバクテリアの活動によって 酸素を失い 無機化合物の還元が

はじまる。そして続成鉱物が生じて 黄鉄鉱・鉄白雲石・菱マンガン鉱・磷酸塩鉱物など  $Fe^{++}$   $Mn^{++}$   $P^{+++}$  などの炭酸塩とか硫化物が生ずる。

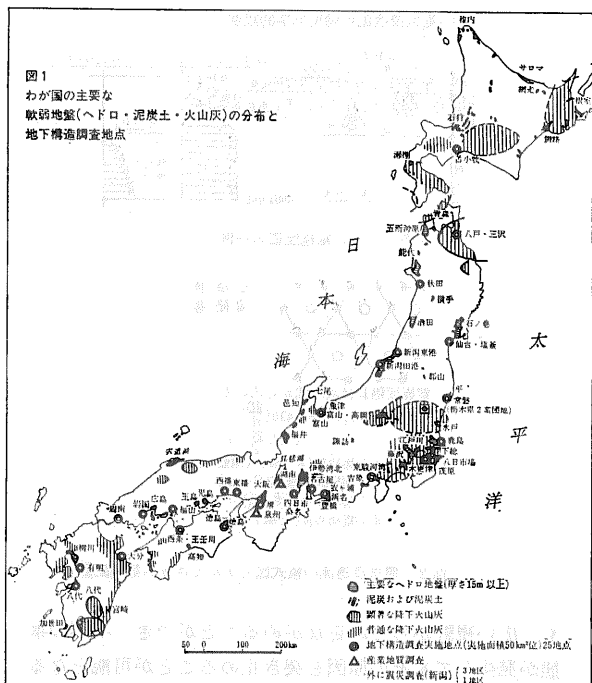
その他レプト緑泥石・沸石・モンモリロナイトも生ずる。そしてこれらは 幾度か再配分・再結晶を行ない 続成作用が終末に近づく。この段階では 物質は若干固結しているに過ぎないが 磷酸塩質と炭酸塩質と珪質なものだけが全体より固結化を進めているといえる。人工的地盤固結法の中に 珪酸ソーダ・磷酸塩・炭酸塩などがしばしば固結剤として使用されるのは こうした理由によるのである。

次に「火山性沈積型」は他の3つの沈積過程と異っており 地殻深部から火山噴火によってもたらされたもので 火山灰・ラピリ・火山弾類からなる。しかも放出される物質は 著しい還元環境下で発生するから 還元される能力のある元素は みな最低の酸化程度である。そしてこれらの物質の沈澱の中で 各イオンはいずれも純化学的沈澱を主体とし 湿潤型のような生物学的要素は卓越しない。これらの理由が 火山灰(関東ロームとかシラス)の地盤改良の困難性に関連しているのである。「氷河気候型」および「乾燥気候型」の沈積・続成作用も 地盤改良を考究する際 考慮を要するのはもちろんであるが 必要に応じてその特性を利用すべきである。

以上の沈積過程や続成過程 さらには後生作用や初期変成作用からみて 与えられた軟弱地盤を改良して 強固なものとするためには どのような手段をとったらよいか。そう簡単に対策がうまれてくるものではない。

要するに自然の沈積層が長時間を要して 荷重・圧縮・脱水・イオン交換・微生物作用・結晶化等の作用によって 固結化する法則をうまく利用して 短時間に軟弱層に強度を付加しようとするのである。そのためには 大きなエネルギーを人工的に与えたり 膠結作用を持つ物質をうまく粒子間隙中に滲透させるとかして 効果を上げねばならないのである。このためには 沖積・洪積地盤に関する物理化学的な分析資料が 十分にとっている必要がある。これらの整備した資料によって あらかじめ改良すべき対象の特質を知り 最適の方法を考究する。試験研究を実施しても その効果の判定はこの種の研究ではむずかしいとされており 工夫を要する作業なのである。

#### 4 わが国の沖・洪積地層に対する物理・化学的分析資料および成果判定のための諸器材の整備

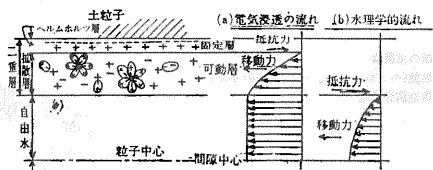


幸い昭和35年から地質調査所において「臨海工業地帯地下構造調査」が実施され 現在までに 北は北海道から南は九州まで25地区にわたって臨海平野の地盤について 地質・土質・水理学的性質および間隙水質 ( $Na^+$   $K^+$   $Ca^{++}$   $Mg^{++}$   $Fe^{+++}$   $Cl^-$   $SO_4^{--}$   $HCO_3^-$  pH 等)の資料が整備されており 地盤強化対策に 最も必要な情報は 一応ととのっているといつてよい。さらに効果の判定のためには スウェーデン式サウンディング・二重管式コーンペネトロメーター(超軟弱地盤用)・層別沈下測定装置・中性子水分計・γ線密度計・間隙水圧計・ソノタイマー(弾性波測定器) 大型載荷試験装置(特許出願中)等が用意されており 時と所に応じて何時でも現地における測定が実施できる体制となっている。

#### 5 地盤強化法について

さて地質学的調査研究業務にたずさわるものとしては 与えられたこの難問題解決のため軟弱地盤に対してその物理性(粒度・透水性・構成物の硬度・圧縮性・電導性など) および化学性(構成粒子の鉱物組成・間隙水質など)について十分な基礎知識を得るようになければならない。さらに その沈積環境[sodium adsorption ratio (SAR)] などである程度判明) 風化状況についても調べあげねばならない。こうした調査は 筆者のむしろ得意とする方面であり 局部的な工事施行に対して

(イ)電気浸透流の動電学的説明



(ロ)アルミニウム電極配置の一例

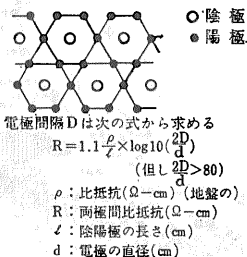


図2 電気浸透流の模式図とアルミニウム電極配置

も広い視野からこれをながめることができ、不測の事態が発生してもその原因を突き止めることが可能となる。それにはこうした事象ができるだけ定量的に観察され、因果関係に対する深い洞察力を養っておかなければならない。さて軟弱地盤を固結化する方法は色々あるが、筆者が現在保有している全国にわたる軟弱地盤に関する物理化学的基礎資料を考慮し、地質調査所の特色を生かして比較的容易に実施することが可能であるものを選択するとすれば

- 1) 電気化学的固結法(電気浸透 電気固結)
- 2) 薬液注入による固結法

の両者となる。

1)については、沈積層が固化する自然の過程において酸化帯などに生じた地電流によってある程度の脱水や化学的固結が生じたと推定される(硫化鉱床における負電位の存在)。しかしその機構を実際に測定し解析した例はほとんどないであろう。これらの自然地電流より数千倍もの強い直流電流を流せば、脱水・固結の効果が早く現われることは当然であろう。すなわち与えるエネルギーを大きくし、固化の促進をはかったことになる。極端な例では、落雷による瞬間的な超高压放電によって、落下地点に一種の新鉱物(Fulgurite 閃電岩)ができることが知られている。これが人工的に電気衝撃工法となって開発されつつあるのも興味深い。

1) 電気化学的固結法の原理

この方法は1934年 L. Casagrande によって開発され

た方法である。固結性物質を土粒子間隙に電氣的に誘導し、これを土中に化学的に沈澱固結させる方法である。これはイオンの流動あるいは界面動電現象によるため、粘質土のような微粒の土にまで応用できる特徴がある。図1のようなアルミニウム電極を配置し100v位の直流を印加(impress)通電すると、一般に土壤コロイドを含む土では、間隙水は正に帯電しているから、吸着されている水分子は、電気浸透によつて陰極に集まり、脱水される。さらに電解されたAlはpH=7の等電点の位置で土中に折出してボーキサイトを生成し、地盤を強化するのである。これらを電氣的に解説するためには、土の電気伝導性について十分知らねばならない。

電気浸透は、図1のような電気二重層内のζ電位の大小によつて、その液体流動の速度が定まるのであつて

$$v = \frac{vDC}{4\pi\eta l^2} \dots$$

$v$ : 液の移動速度  
 $v$ : volt  
 $D$ : 液の電媒常数(80位)  
 $\zeta$ : ジータ電位  $\cdot 0.020 \text{ volt}$   
 $\eta$ : 液の粘性係数  $\cdot 10^2 \text{ g/cm} \cdot \text{sec}$   
 $l$ : 毛管長

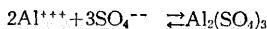
これによつて土のζ電位の高いものほど脱水効果があることがわかる。この外に毛管壁と液との間に吸着現象がおこり、界面近くの液体内部では、イオン電流が異なり、これを界面過剰イオン電流の発生理由と考えている。次に東京付近の土の電気伝導性について表で示す。

表-1 東京近郊土の伝導性 (森 麟氏の資料による)

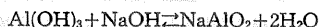
土の名称	粘土分 %	ζ電位 volt	表面電導の割合 %
1 荒川砂質ローム	11.0	-0.023	48.6
2 箕田粘土	30.5	-0.013	56.4
3 埼玉霞ヶ関	41.5	-0.017	68.9
4 鳩ヶ谷粘土	36.0	-0.015	62.8
5 荒木田土	27.0	-0.014	41.6
6 浦和粘土	35.5	-0.023	70.0
7 松山関東ローム	21.5	+0.005	8.3
8 早稲田関東ローム	23.0	-0.002	3.5
9 赤羽関東ローム	19.5	+0.003	3.2
10 カリオン	43.5	-0.008	7.6

関東ロームの表面電導量が小さいのは、ζ電位が小さく、土が無極性に近く、イオン吸着量(界面過剰イオン量)が少ないためである。このような火山灰土は脱水も固結も困難なことが知られる。一つの方法としてpHを下げ、ζ電位を大にする以外にないのである。

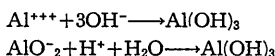
さて電気化学的固結の解明は、やや複雑であるが、ごく簡単に説明すれば、陽極に用いたAl板はイオン化して溶出し、もし陽極側にSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>があれば



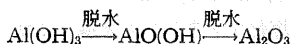
となり 陽極側は酸性地帯となっているから  $\text{Al}^{+++}$ ・ $\text{H}^+$ ・ $\text{SO}_4^{--}$  が共存する。また陰極側では 陰極側のアルカリ性によって溶けた  $\text{Al}^{+++}$  や土中よりの  $\text{Al}^{+++}$  は  $\text{Al}(\text{OH})_3$  の形で存在し ここにある  $\text{NaOH}$  と結合する。



ゆえに陰極側のアルカリ地帯では イオンとしては  $\text{Na}^+$ ・ $\text{Al}^{+++}$ ・ $\text{OH}^-$ ・ $\text{Al}_2\text{O}^-$ (アルミン酸イオン) が共存する。ただし  $\text{Al}(\text{OH})_3$  は両性コロイドであるから 溶液がアルカリ性であれば 溶解している。一方  $\text{pH} \approx 7$  の中性地帯では  $\text{Al}(\text{OH})_3$  が凝固コロイドとなる上 粘質土であれば 不透水性であるから この地帯は特に透水性が低下し イオンの移動の自由が妨げられる。このため中性地帯では 酸性側の  $\text{H}^+$ ・ $\text{Al}^{+++}$  とアルカリ側の  $\text{OH}^-$ ・ $\text{AlO}_2^-$  とは Donnan の膜平衡の状態をつくり これらの各イオンは中性地帯内に拡散によって徐々に移動する ゆえに中性地帯は



となって  $\text{Al}(\text{OH})_3$  が析出する。これはさらに加熱作用と電気浸透作用によって 徐々に脱水され 結晶性  $\text{Al}(\text{OH})_3$  あるいは次式のように結晶性  $\text{AlO}(\text{OH})$  (ボーキサイト) さらに結晶性  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (アルミナ) に変化する。これは通電印加 (impress) を絶った後も進行する。



土中に交流を通電印加 (impress) すると ジュール熱を生じ 脱水と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の生成をみるが この  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は水の添加によって分解してしまうことが知られている。

この電気化学的固結法は 粒度の粗い地層には適しないが 電場のかけ方が理想的にいけば 脱水と固結の双方の作用によって 相当にその効果は大きいものである。しかし地層の間隙水中に  $\text{Na}^+$ ・ $\text{Mg}^{++}$  イオンを多く含む埋立地とか  $\text{Ca}^{++}$  イオンを含む石灰系地盤 あるいは関東ロームやカオリナイト系の粘土に対しては 通常の方法では 効果があがらないので 特に研究を必要とするのである。

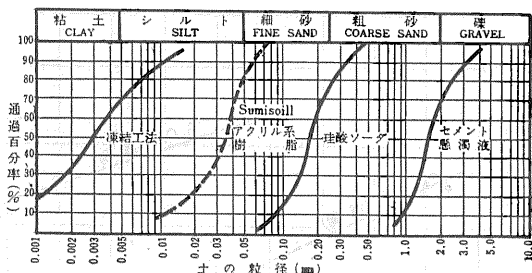


図3 各種注入剤の注入可能範囲

## 2) 薬液注入・混和による固結法

軟弱地盤中に物質を注入し 間隙を充填したり 粒子と粒子とを結びつけて強化をはかる方法は 古くから実施されている。これは沈積作用とそれに継起する続成作用の原理からみると きわめて判りやすいようであるが その個々の微細な反応の過程については 仲々に実証が困難であるから 最近の化学理論の進展に合わせて徐々に解明させて行きたい。しかし自然界で展開されている大スケールの舞台装置に比し まだまだ遠く及ばない。地球化学は まさにこのような地球上の地層におけるさまざまな元素の移動や結合のしくみを明かにする学問であり 地球化学者の助言は必要であろうし 他方土壌化学を土台にして さらに人工的合成の境地にまで達するように努力せねばならない。

人類はすでに数世紀前にセメントなるものを発明しており その水硬性を利用して 建設技術に画期的進歩をもたらした。そして地盤を強化する方法としてグラウト工法なるものが発達し この方面では ゆるがない基礎を持っている。したがって 地盤へ注入する材料としては 次のような序列ができています。

- 1) セメント
- 2) 粘土
- 3) アスファルト
- 4) 薬液

これをもみても薬液注入は最後に発達したものであることがわかる。またこの順位は注入される地盤の孔隙が次第に小となることを示しており 図3として 各種注入剤の注入可能範囲を示して参考とする。

筆者はセメント・粘土・アスファルトよりも 化学薬品による処理の方にむしろ興味を感じる。それは堆積層の化学成分や間隙水の化学的性質についてえがたい多くの情報を自からの手で獲得しているからであり このような意味で 主として化学薬品による地盤固結法について その原理の方面から述べてみよう。次に示す10

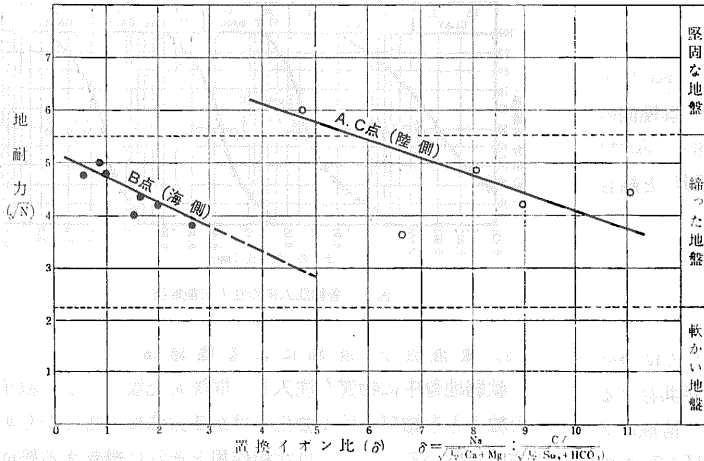


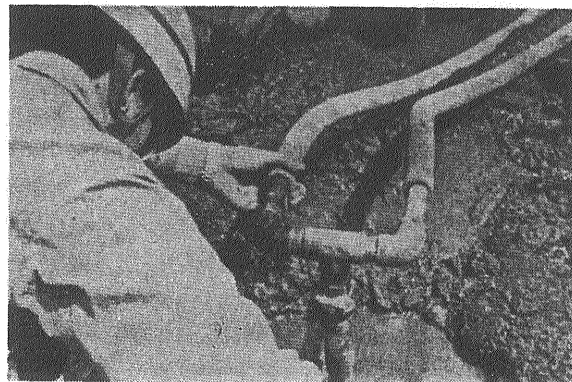
図4 地耐力(√N)と置換イオン比(δ)  
(北海道苫小牧の例 海水の浸入により地盤の軟弱化を示す)

項の型があるが まず列挙してのち とくに解説と考察を必要とする2°と6°の両者につき さらに詳細に記述を試みよう。

- 1° 溶 解 dissolution
- 2° イオン交換 ion exchange
- 3° 土壌組織の置換 soil structure alteration
- 4° 熔融材料の冷却 cooling of thermoplastic or molten materials
- 5° 空隙水の凍結 pore water freezing
- 6° 複分解沈澱 metathetical precipitation
- 7° 乳濁液破壊 emulsion breaking
- 8° 懸濁液分離 suspension separation
- 9° 溶 媒 和 particle solvation
- 10° M. A. I. S. 工法 osmotic pressure

「イオン交換」

交換しうるイオンの性質によっては 微粒子からなる地盤の透水性に明かに変化を起こさせる効果があり モンモリロナイトは カリ塩の形の方よりカルシウム塩の方が300倍も透水性がよい ナトリウム塩はもっとも透



水性が悪い。この性質を利用して溜池の底からの洩水を防いだ例もある。しかしイオン交換によって地盤の強度も増加させるという試みは 未だ余り行なわれておらず この方面は今後大いに研究すべき課題と思われ ことに地質調所の全国25地区にわたる地下構造調査の結果によれば 地盤(主として沖洪積層)の√N値と間隙水質から求めた置換イオン比(δという)

$$\delta = \frac{Na}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca+Mg)}} : \frac{Cl}{\sqrt{\frac{1}{2}(SO_4+HCO_3)}}$$

(e.p.m で算定  $\frac{Na}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca+Mg)}}$  は Sodium

Adsorption Ratio といってイオン交換能を示した沈積環境を指示する指標ともなる)

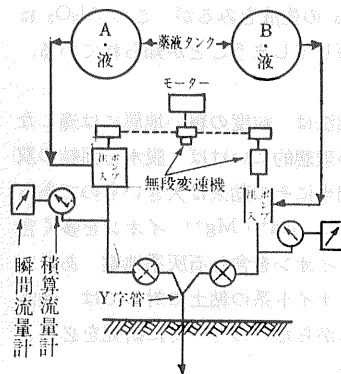
との間には かなり明瞭な相関関係がみつめられる(苫小牧の例) これは自然の地層中にみられる関係であるがそののち琵琶湖畔(草津市内)の軟弱粘土層に正磷酸を主体とする固結剤を用い 地盤改良の室内実験を実施したところ 一軸圧縮試験 qu と δ とが逆比例的相関を示した。

「複分解沈澱法」

薬液注入法はだいたいこの原理を利用するものが多く溶液の形で地盤中に流れ込んで反応させ 不溶性物質を作ることでおこなわれる。つまり不溶性の物質を地盤の空隙につめることで透水性を減らし また粒子と粒子を互に結合して強度の増加をはかるのである。

a) 珪酸ソーダ(水ガラス)法

塩化カルシウムか塩化マグネシウムと混合させ 瞬間の凝結作用を利用するこの方法は 古くから実施されており すでに数多くの特許がある。後程わが国でも珪



第5図(左) 薬液注入(ケミゼイト工法) ケミゼイト工法: 薬液注入の際A液B液とY字管によって混合して注入するわが国で開発された工法である

第5図の説明図(右) 比例注入方法

酸ソーダと重炭酸ソーダおよび他の促進剤を用いた“ハイドロック”工法なるものが発達している。基本的な反応は



である。こうして生ずるシリカゲルは比表面積が大(600m<sup>2</sup>/gでモンモリロナイトの比表面積と同じ)強い選択的吸着力を示す。またその構造についてもほとんど知られていないが X線の所見では無定形(amorphous)であろうと思われる。ただしアルカリに溶けやすくアルカリ性の地下水中では弱化する欠点がある。

**b) 正 磷 酸 を 主 体 と す る 方 法**

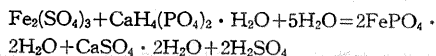
筆者が琵琶湖岸軟弱粘土を室内実験で強化するのに採用した方法で一部は前述した。その方法は

1. 0.5%珪弗化ソーダによる試料の湿潤・養生促進剤
2. 4~8%正磷酸+2%硫酸+1.6%塩化第一鉄の添加

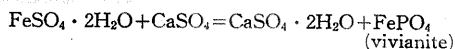
以上の簡単な操作により 処理前 qu=0.27kg/cm<sup>2</sup>であったものが 処理後7日間で 0.64kg/cm<sup>2</sup>となり強度は2.3倍となった。

**c) 過 磷 酸 石 灰 又 は は 灰 石 を 主 体 と す る 方 法**

過磷酸石灰は 農業用肥料として一般的のもので 廉価であり しかも入手容易である。これを硫酸と共に濃水溶液(一部懸濁液となるが)として地中に流し込むと 地中で藍鉄鉱(vivianite)や 磷灰石(apatite モース硬度・5)を生じて固結化するが その反応過程はおよそ次のようなものと想定される。佐原市の関東ローム台地における試験では 自然流下後40日にて約2倍強の地耐力増加をみた。関東ロームには鉄分が多いので 硫酸を加えれば Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>を生じ これに過磷酸を加えれば

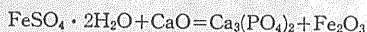


となって硫酸が遊離し 他に加えた過剰の硫酸があるので脱水作用が行なわれる。CaSO<sub>4</sub>・2H<sub>2</sub>O は CaSO<sub>4</sub>となり これはまた



となって石膏による脱水が行なわれる。そして vivianite

(藍鉄鉱)ができる。また石灰の存在によって



となって 不溶性の著しい磷酸三石灰 [Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>…apatite]を生ずる

**d) ク ロ ー ム ・ リ グ ニ ン 法**

主原料は 亜硫酸法によって生ずるパルプ廃液で これに重クロム酸を併せ使用する。浸透力は微砂にまでよく適用できるし かなり将来性のある方法であるが クロム酸蒸気に対して十分の配慮が必要である。これは腐植質土壌の固結により結果が期待できる故 昨年11月諏訪地区の調査で実施した。

**e) 重 合 物 (Polymers)**

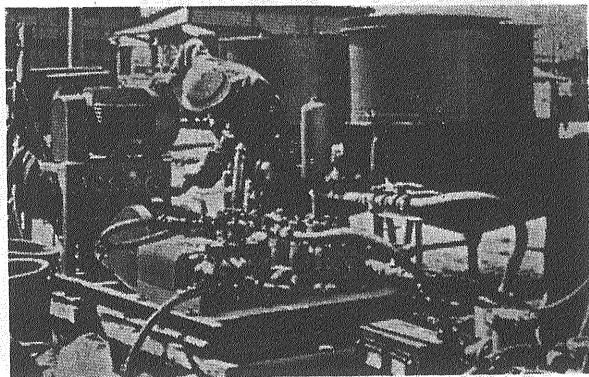
今までのものは ほとんど無機の薬品であったが 高分子化合物の橋架作用(vulcanization)を利用し monomer(単分子)を重合させて Polymers を作る方法であり これは注入薬液の粘性が低く水とほとんど同様によく浸透しうること 固結時間を自由に調節できること 余り毒性のないことなど多くの利点があるが 高価である点が惜まれる。一般にアクリル・アマイド系のものである。

以上薬液注入については 薬液注入の有効範囲を求める Maag 氏の球状浸透理論式にて 一応の見直しをつける。



第6図 千葉県佐原市における関東ローム層固結化テスト(過磷酸石灰液の自然流下)





第7図 各種の薬液を定められた割合に注入する装置



第8図 アクリル系樹脂（アクリルアミド）を注入して固結したシラス

$$R = \sqrt{\frac{3kht}{n\alpha}} \sqrt{\gamma_0 + \gamma_0^2}$$

第2表

土 質	透水係数(k)	有効範囲(R)	摘 要
礫のみ	10 <sup>0</sup> cm/sec	203.3cm	注 入 可 能
砂	10 <sup>-1</sup> "	94.5 "	"
砂 - 微	10 <sup>-2</sup> "	43.7 "	注 入 困 難
微弱用砂	10 <sup>-3</sup> "	20.3 "	"

但し  $\gamma_0=2\text{cm}$   $\alpha=2.5$   $t=300\text{sec}$   $n=0.4$  グラウト比重  
 $\gamma=1.29\text{g/cm}^3$  ポンプ圧  $p=5\text{kg/cm}^2$   $h'=500\text{cm}$

$$\text{注入圧 } h = h' + \frac{p}{\gamma} = 4,670\text{cm}$$

$\therefore R \approx \sqrt[3]{80,406,000}$  となる

但し R・注入有効半径(cm)  
 h・グラウトの水深(cm)  
 n・土の間隙率  
 $\gamma_0$ ・注入管の半径(cm)  
 k・土の透水係数cm/sec  
 t・注入時間(sec)  
 $\alpha$ ・グラウト粘性  
 水の粘性

以上の各タイプの分類によって利用される原理は一応示された。しかしながらこれらの原理のいくつかが複合して働いているのが実際の姿で、固結のメカニズムの解明は、仲々にむずかしい。

この外に、ごく表層の部分を一時的に使用可能の程度に改良する方法としては、生石灰 (quick lime) を4%~8%土中に混和する簡便法もある。もっとも生石灰の他セメント・硫黄・明ばんなどを添加することがあり、一般に降雨量が少なく、地下水位が低く、かつ土質にラテライト作用が進んでいる地域（たとえば米国）に多く利用されている。わが国のように多雨湿潤でかつ土質の80%近くが酸性土である所では、石灰の添加のみでは再び軟弱化を繰り返すおそれがあり、そのため Fe-石灰法なる新工法が工夫され特許となっている。

## 6 むすび

地質調査所においては、昭和34年頃から新潟地盤沈下現象に対する地質学的見解を求められ、特に土木地質学的な方面から種々の検討を加え、その必要に迫られては物理計測はもちろん、土木および機械工学的な手段までを大いに学び取らざるを得なかった。次に臨海工業地帯の地下構造調査が開始され、昭和42年までに全国25地区の主要なる臨海平野の地下の地質構造が明らかにされ、建設省の都市地盤調査と共に、わが国臨海平野の軟弱地盤に関する有力な資料を提供した。

狭い国土を有するわれわれとしては、軟弱地盤の分布が判明したからといって、これを避けて良好な所のみ開発の場所として選定するというわけにはいかぬ。多少悪い所でも、何とか改良して利用しなければならない。このためには、土木地質の立場に立ち、地盤改良の研究に志ざすべきであると思う。筆者のねらいは、局部的な建物基礎とか、構造物の基礎としての地盤の改良という的から大きく外れるわけではないが、広域における地盤改良といった方向に指向したいと思う。たとえ、処理前の強度の10倍の強度増加でなくとも、低いコストで簡便な処理法で実施しうる新工法を、案出したいものと思う。

しかもその方法が、沈積作用や続成作用といった地質学的な原理を一層精密科学的な観点から再検討して得られた成果によって理論づけられ、一つの工程が多くの連鎖反応を呼び、固結化が促進されるような境地にまで何とかして到達したいものである。

(筆者は 応用地質部)