

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT

---

VOL. 16      NO. 1      MAR. 1977

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P. H. R. I.)

第16巻 第1号 (Vol. 16, No. 1), 1977年3月 (Mar. 1977)

## 目 次 (CONTENTS)

1. 石灰安定処理土の基本的特性に関する研究 (第1報)  
.....寺 師 昌 明・奥 村 樹 郎・光 本 司..... 3  
(Fundamental Properties of Lime-Treated Soils (1st Report)  
.....Masaaki TERASHI, Tatsuro OKUMURA, Tsukasa MITSUMOTO)
  
2. 海上航行船舶挙動に関する研究 (第2報) ——実態調査手法の確立——  
.....奥 山 育 英・早 藤 能 伸・中 辻 隆・佐々木芳寛・吉 田 行 秀.....29  
(A Study on Marine Traffic Behaviors (2nd Report) ——Establishment of  
Methods of Marine Traffic Survey——  
.....Yasuhide OKUYAMA, Yoshinobu HAYAFUJI, Takashi NAKATSUJI  
Yoshihiro SASAKI, Yukihide YOSHIDA)

# 1. 石灰安定処理土の基本的特性に関する研究 (第1報)

寺 師 昌 明\*  
奥 村 樹 郎\*\*  
光 本 司\*\*\*

## 要 旨

近年普及しつつある深層混合処理工法に関連して、石灰安定処理土の基本的特性を明らかにするものである。

石灰安定処理の機構ならびに一般的特徴を紹介し、実験的に改良効果に影響する要素、一軸圧縮強度、破壊歪、変形係数  $E_{50}$  などの強度特性、更に圧密特性を検討した。その結果、1) 石灰混合比と材令、2) 粒度組成、3) 初期含水比、4) 有機物、pH、5) 混合条件、6) 養生温度、7) 石灰の品質、などと改良効果の関係が知られた。処理土の一軸圧縮強度は従来の圧密工法による強度増加より格段に大きいことを港湾地域の粘土を対象に例示し、 $E_{50}$  と  $q_u$ 、 $\epsilon_f$  と  $q_u$  の関連を求めた。圧密特性に関しては、土の種類によらず  $k_v = (1.2 \sim 1.3)q_u$  であり、処理によって  $C_v$  は約10倍に、 $m_v$  は約  $1/10$  に改善されることが知られた。また、圧密圧力  $\bar{p}$  と  $k_v$  の比をパラメーターとして完全に乱した未処理土の圧密特性から、処理土の圧密特性を近似的に求める方法を提案した。

---

\* 構造部 地震防災主任研究官  
\*\* 土質部 地盤改良研究室長  
\*\*\* 土質部 地盤改良研究室

## 1. Fundamental Properties of Lime-Treated Soils (1st Report)

Masaaki TERASHI\*

Tatsuro OKUMURA\*\*

Tsukasa MITSUMOTO\*\*\*

### Synopsis

As a first step for the analyses of the stabilized ground made by lime-treatment (Deep-Lime-Mixing Method), the fundamental properties of lime-treated soils were studied experimentally.

Various factors that influence the lime reactivity determined from unconfined compression tests on several marine clays were examined. Data are presented to show the influence on lime reactivity for following factors; 1) lime content and curing time, 2) grain size distribution, 3) initial water content, 4) organic carbon and pH, 5) mixing condition, 6) curing temperature, and 7) quality of quick lime. The data show that each of the factors has a large effect on strength increase.

Stress-strain curves from a number of unconfined compression tests were examined.  $\epsilon_f$ , the strain at failure, is generally less than 2 to 3% and decreases with increasing strength.  $E_{50}$ , the tangent modulus at stress level equal to one-half of the unconfined compressive strength,  $q_u$ , increases with increasing strength. For  $q_u$  less than 15 kg/cm<sup>2</sup>,  $E_{50}=(150\sim 400)q_u/2$ , and for  $q_u$  greater than 15 kg/cm<sup>2</sup>,  $E_{50}=(500\sim 1000)q_u/2$  are found.

Regarding the consolidation characteristics, high pressure consolidation tests were performed on both treated and untreated, remolded soils. As the result of the tests, it is found that; 1) consolidation yield stress,  $p_y$ , is proportional to  $q_u$ :  $p_y=(1.2\sim 1.3)q_u$ , 2) at the stress level less than  $p_y$ , treated soils show the coefficient of consolidation,  $C_v$ , much greater and the coefficient of volume compressibility,  $m_v$ , fairly smaller than those of untreated, remolded soils. 3) rough relationships are found between  $c_v$  and  $m_v$  of treated soils and those of untreated, remolded soils.

---

\* Senior Research Engineer, Structures Division

\*\* Chief of the Soil Stabilization Laboratory, Soils Division

\*\*\* Member of the Soil Stabilization Laboratory, Soils Division

## 目 次

要 旨 .....	3
1. ま え が き .....	7
2. 石灰による粘性土の改良 .....	7
3. 石灰処理効果に影響する要素 .....	7
3.1 概 説 .....	7
3.2 石灰の添加量と材令 .....	8
3.3 対象土の性質 .....	8
3.4 混 合 条 件 .....	11
3.5 モールド充テン方法 .....	11
3.6 混合後の環境 .....	12
3.7 石灰の品質 .....	14
3.8 室内配合試験 .....	15
4. 石灰安定処理土の特性 .....	15
4.1 物理的特性の変化 .....	15
4.2 処理土の一軸圧縮強度 .....	15
4.3 処理土の圧密特性 .....	17
5. 結 論 .....	20
6. あ と が き .....	21
参 考 文 献 .....	21
補足-A 記 号 表 .....	22
補足-B 室内配合試験方法（暫定案） .....	22

## 1. ま え が き

軟弱な沖積粘土地盤が大規模な港湾構造物の基礎となり改良を必要とする場合には、従来より置換工法やサンドドレーン工法が主に実施されてきた。しかし、良質な砂の入手難、構造物の大重量化、建設位置の水深の増大、海水汚染や捨土に関する規制などの制約で従来の工法には限界がある。このため、近年これに代わるものとして深層混合処理工法が採用される気運が高まって来た。深層混合処理工法は港湾技術研究所で開発された新工法で奥村、他（1972<sup>a</sup>、1972<sup>b</sup>、1974<sup>c</sup>）<sup>1)~3)</sup>に報告されている。

深層混合処理工法を実施すると、化学的に固結した処理土部分と軟弱な未処理土部分とからなる複合地盤が形成される。複合地盤の挙動に関しては不明の点が多いため、地盤改良研究室では高圧試験装置、大型模型地盤実験施設などを整備して研究に着手している。しかし、処理土部分単体の特性に関しても解明されていない点が多々ある。本報告を第1報とする一連の研究では、生石灰安定処理土の基本的特性を明らかにして行く。

本報告では石灰処理の機構に簡単に触れ、筆者等の実験データと過去のデータから処理効果に影響する主な要素について検討を加える。次に石灰処理による物理的特性の変化を概説し、我國の沖積粘土を石灰処理した場合の処理効果を一軸圧縮強度を尺度として例示し、一軸圧縮試験時の応力～歪曲線から、破壊歪、変形係数を求め一軸圧縮強度との関係を示す。最後に、従来関心の持たれることのなかった石灰処理土の圧密特性を議論する。また、この様な深層の地盤改良を前提とした処理土の試験方法は確立されていないため、筆者等の室内配合試験方法（暫定案）を紹介し、その問題点を指摘する。

## 2. 石灰による粘性土の改良

軟弱な粘性土に石灰を添加・混合して良質の土木材料に変える試みの歴史は長く、近年では道路の路盤、路床などの改良に多用されている。こうして、反応機構に関しても多くの研究が行なわれている。詳細な議論は Ho and Handy (1963)<sup>4)</sup>、Glenn and Handy (1963)<sup>5)</sup>、Davidson and Handy (1960)<sup>6)</sup>、Diamond and Kinter (1966)<sup>7)</sup> 或いは有泉、他の一連の研究<sup>8)</sup>に譲り、ここでは概要を紹介する。

粘性土に生石灰を添加すると、極めて短時間で含水比が低下し、細粒分が綿毛化して粒度が粗くなり、コンシ

ステンシーが変化し、その後2～3日から著しい強度増加と圧密特性の改善が認められる。このような改良効果を生ずる理由として、一般に次のような石灰と粘土の反応が挙げられる。

- 1) 生石灰の消化吸水（消石灰に変化）
- 2) 余剰の土中水の存在下に更に吸水、イオン化
- 3)  $Ca^{++}$  と粘土表面の交換性イオンの置換
- 4) 粘土鉱物表面への消石灰分子の物理的吸着反応
- 5) 粘土鉱物を構成するシリカ又はアルミナと石灰が反応し石灰水和物を生成（ポズラン反応）
- 6) 炭酸化

この一連の反応は、土の種類によって程度は異なるが大なり小なり土中で生ずる。どの改良効果が、どの反応に起因するかについては研究者によって意見の別れる面もあるが、いずれも長期的強度増加をポズラン反応に依るとする点では一致している。

以上が石灰処理によって土中で生ずる反応である。

1), 2)の反応は石灰と土中水の間に生ずるのに対して、3)～5)の反応は石灰と粘土鉱物の間に生ずるといふ差がある。このため、後者の反応を促進するためには、 $Ca^{++}$  と粘土鉱物の接触する表面積を高めること、すなわち強制混合が不可欠の要素となる訳で、石灰混合処理は後者の反応に主に期待するものである。

## 3. 石灰処理効果に影響する要素

### 3.1 概 説

石灰混合処理による改良効果の大部分はポズラン反応に起因するとと言われる。この反応は粘土を構成するシリカ、アルミナ等と石灰の間の化学反応であるため、改良効果は種々の要素に左右される。1) 石灰の添加量と材令、2) 対象土の特性、3) 混合条件、4) 混合後の環境、5) 石灰の品質などである。

深層を対象とする地盤改良に混合処理を適用しようとする際に先ず問題となるのは、上述の要素が現場毎に異なることである。殊に混合条件については施工機械のタイプ、使用条件によって混合の程度は千差万別となり、混合が不十分であれば改良効果の低下が予想される。このため現場で得られる改良効果（強度及び圧密特性）を予測するためには適切な室内試験方法の確立が必要である。

直接的な室内試験の方法として、実際に対象土と石灰を混合して長期間養生し改良効果を測定する（室内配合試験）方法がある。室内配合試験には2つの考え方があ

表-1 試料の分類特性

試料名	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	$G_s$	L.L. (%)	P.L. (%)	$I_p$ (%)	有機物含有量 (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)
横浜埋立土	9.9	44.6	45.5	2.73	78.8	39.1	39.7	2.95	8.3	7.8
羽田埋立土	1.0	33.0	66.0	2.75	99.1	39.7	59.4	4.8	8.0	7.6
久里浜粘土	5.8	33.2	61.0	2.73	104.7	33.3	71.4	4.8	8.5	7.8
大黒町粘土	6.5	36.5	57.0	2.73	96.1	37.8	58.3	3.96	7.8	7.7
本牧海底粘土	7.0	40.5	52.5	2.71	92.3	46.9	45.4	—	—	—
長浦湾粘土	10.0	50.0	40.0	2.71	86.0	35.0	51.0	—	—	—
川崎粘土	1.1	38.4	60.5	2.71	87.7	39.7	48.0	—	—	—
中防粘土	1.2	52.3	46.5	2.68	72.6	34.2	38.4	—	—	—
呉シルト質粘土	8.4	54.6	37.0	2.66	52.4	28.2	24.2	—	—	—
鹿島B粘土	11.7	49.8	38.5	2.72	85.2	39.8	45.4	—	—	—
鹿島C粘土	17.5	55.5	27.0	2.71	73.4	35.3	38.1	—	—	—
鳴尾粘土	2.0	26.1	71.9	2.73	83.0	31.4	51.6	—	—	—
神戸粘土	1.2	36.8	62.0	2.72	91.1	32.9	58.2	—	—	—

って、1つは現場と同等の混合条件、養生条件を室内で再現して多数の供試体から、バラツキをも加味した現場強度を得る方法で、他は現場条件と無関係に条件を一定に規定して基準値とも言うべき改良効果を得て、個々の現場条件に於ける効果は別途推定する方法である。前者に関しては現場条件を再現することが極めて困難であること、バラツキが大きくなるため多数の供試体を必要とし大量の試料を深層から採取する必要があること、データが集積されても相互の関連付けが困難なことなど、多くの欠点がある。このため筆者等は補足に記す様な室内配合試験方法を暫定的に定め、一定の混合条件下で実験を実施してきた。

ここでは、この室内配合試験結果に基づいて、一軸圧縮強度を改良効果の尺度として各要素の影響を考察する。なお、本研究に用いた試料は港湾ないし港湾に隣接する地域で採取された海底の粘土である。その物理的特性は一括して表-1に示す。

### 3.2 石灰の添加量と材令

前述の様に、石灰と粘土を混合してポズラン反応を期待するためには、土の種類によって異なる最小限度必要とされる石灰量(石灰定着点)がある。一般には、それを上廻る石灰を添加すれば改良効果は大きくなる訳である。しかし、ある程度以上に添加量を増やしても効果は大きくなり場合によっては逆効果さえ生ずる。4実験例を図-1に示す。横浜埋立土の例では、実験した石灰混合比( $a_w$ )の範囲では材令( $T_c$ )を問わず石灰添加量を増せば得られる効果も大きくなる。羽田と久里浜の例で

は長期的には同様の傾向を示すが、材令3日程度の短期強度については逆の効果を示す。本牧の例では、石灰量が過多となると極端な逆効果を示し、最適な石灰量は材令と共に変化している。しかし筆者等の経験では材令28日程度を対象にすると $a_w \leq 15\%$ の範囲では、 $a_w$ を増す程効果は大きいようである。

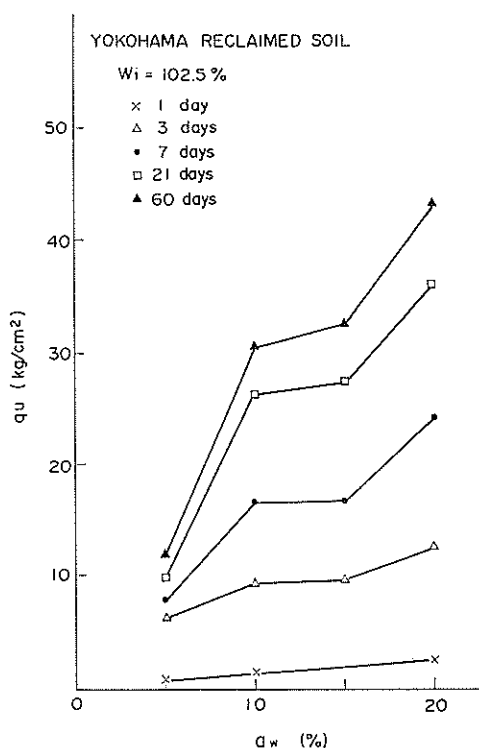
通常、地盤改良工事と上部構造物の工事には時間差がある。工事条件、規模、施工機械数等によって、この短期的なズレは変動するが、一応の目安としては28日程度の材令と所要強度を参考にして、適正な混合比を考えて行く必要がある。

### 3.3 対象土の性質

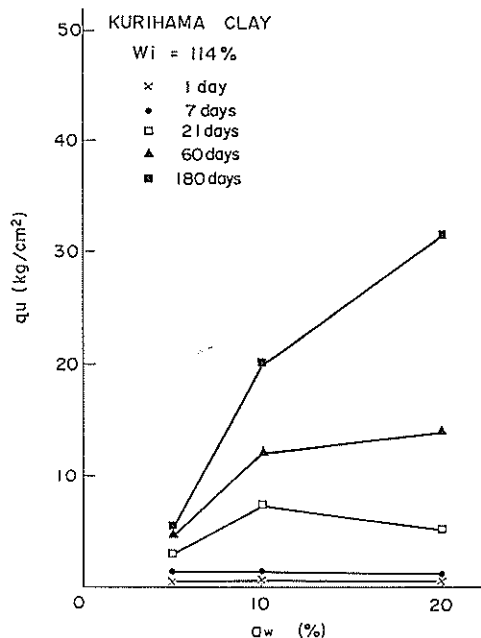
改良効果に影響する土の性質としては、粘土鉱物の種類、陽イオン交換容量、全シリカ、全アルミナ、pH、有機物含有量などの土に固有な鉱物学的、あるいは化学的性質が挙げられると同時に、粒度組成、初期含水比、液性限界、塑性限界などの物理的性質も挙げられる。このように多数の要素の内、何が卓越するかを論ずるには相当量のデータが必要であろう。ここでは、幾つかの要素を変化させた時に改良効果がどのように変化するか傾向を眺めてみる。

粒度組成に関しては、柳瀬、他(1969)<sup>9)</sup>のデータを示す。これは、2種類の海成粘土(長浦粘土と大黒町粘土)に砂を加え、人為的に砂含有量の異なる試料土を作成し混合処理した結果である。土の乾燥重量に対して石灰を同一量( $a_w=10\%$ )加えると、砂分40~60%を含有しているときに最大の改良効果が得られる(図-2a)。一

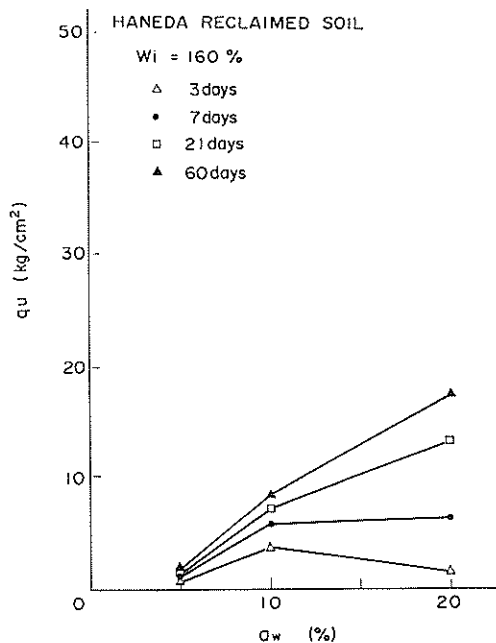
石灰安定処理土の基本的特性に関する研究 (第1報)



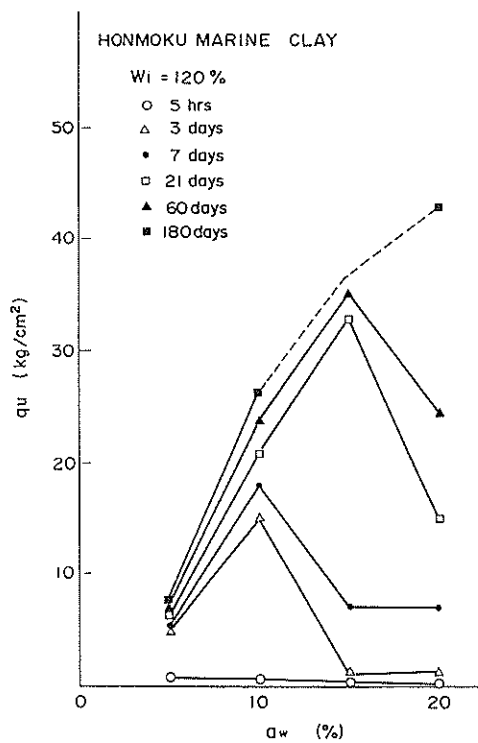
a) 横浜埋立土



c) 久里浜粘土



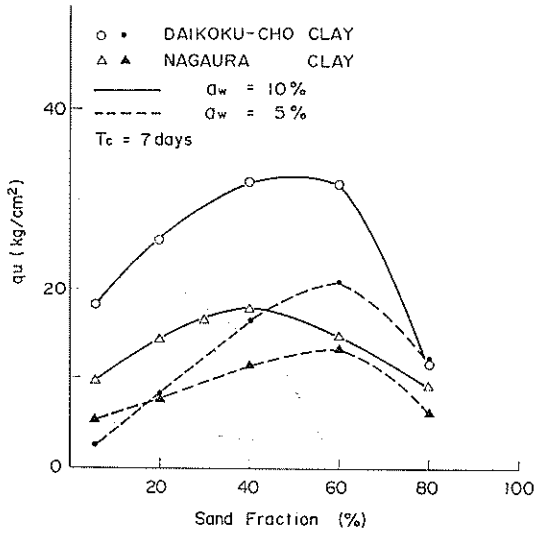
b) 羽田埋立土



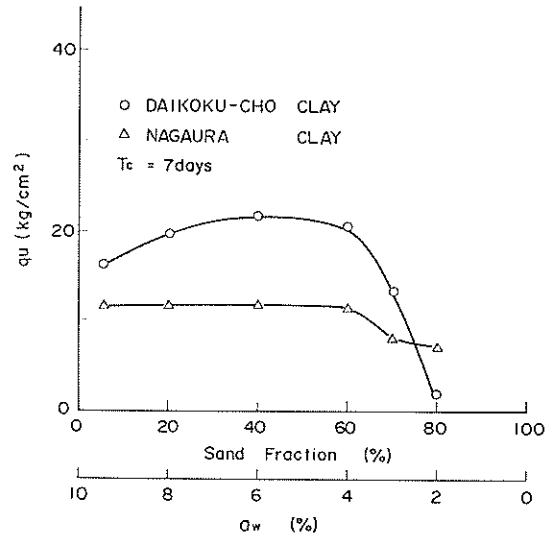
d) 本牧海底粘土

図-1 石灰混合比と材令の影響





a) 石灰混合比一定



b) 粘土分に対する石灰混合比一定

図-2 粒度組成の影響 (柳瀬, 1969)

方, 粘土部分の乾燥重量に対して同一量の石灰を添加すると (粘土含有量が減るのに比例して, 土粒子全体の乾燥重量に対する石灰混合比  $a_w$  を減少させると), 砂混入率の少ない間は一樣な改良効果を示すが砂混入率が60%を超えると効果が激減している (図-2 b)。すなわち, 石灰処理土の強度は主に粘土粒径以下の細粒部分の化学的固結の程度によって定まり, 砂分は殆んど関与しないことが判る。これは見方を変えると, 微粒子部分の多い土では一定の強度増加を挙げるために消費される石灰量が多く, 固結粘土が構成する骨組みを妨げない範囲で砂分が多い程, 必要石灰量が少なくて済むことを示すものと考えられる。

石灰処理前の含水比 (初期含水比) に関しては, 初期含水比が液性限界以上の場合には含水比が高くなるほど改良効果が低下し, 材令ともなる強度増加率も小さくなる。海底の自然地盤では自然含水比が液性限界の近辺にあるから問題はない。しかし埋立土などでは極端な高含水比となる場合もあるから, 室内試験に際しては現地の含水比を再現するよう注意しなければならない。初期含水比を変化させた場合の一例を本牧海底粘土に関して図-3に示す。高含水比の場合に注意しなければならないことを前述したが, 高含水比領域での改良効果の減少傾向は緩やかであって, 云わゆる超軟弱地盤に対しても混合処理の適用性は大きい。一方, 最大の改良効果を発揮する初期含水比に着目すると, 同図より判るように混合

後3日程度では, 液性限界の近辺で最大の効果を現わし材令と共に最適な含水比が乾燥側に移行する傾向が認め

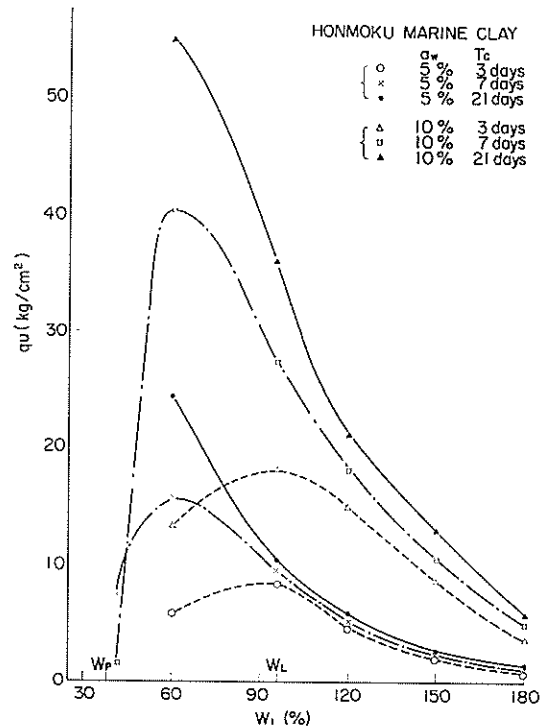


図-3 初期含水比と材令の影響

## 石灰安定処理土の基本的特性に関する研究 (第1報)

られる。しかし室内試験で初期含水比を液性限界より乾燥側にとると、現在の試験方法では試料のモールドへの充テンが不均質になり、又石灰添加量によっては飽和度が低くなって一軸圧縮試験に頼って効果を判定することに疑問も生じてくるため、データの信頼性に若干問題は残る。

石灰処理前の土自体の pH と有機物の含有量に関しては Thompson (1966)<sup>10)</sup> が、Illinois 州の各地の土に対して調査した結果が参考となる。土の pH や有機物含有量だけを人為的に変化させて他の要素、例えば土中の陽イオンの状態を一定しておくことは不可能であるから、多数の土について実施された実験結果から傾向を伺うことしか出来ない。図-4は pH と改良効果の関係であり、ここで言う pH は処理前の土の懸濁状態の pH である。図-5は有機炭素量と改良効果の関係である。原論文で有機炭素の決定法が明確ではないが Wet combustion

method とあることから、重クロム酸法に類似した手法と考えられる。いずれにしても、pH の小さい酸性土ほど、又有機炭素含有量の多い有機質土ほど改良効果の小さくなる傾向が判る。港湾技研の室内実験でも、有機物含有量が10%を超える土で改良効果の皆無であった例が知られている。

### 3.4 混合条件

室内配合試験では、バラツキの少ない再現性のあるデータを得るために十分な混合が達成される様に規定してある。しかし、現場では小規模な室内試験のような十分な混合は望めない。ここでは、室内配合試験法の内、混合時間のみを変えて混合条件を変化させた場合の改良効果の変動を眺めてみる (図-6)。

図-6 a) で横軸は混合時間の対数、縦軸は異なる混合時間で処理した後に得られる強度と10分間混合した後に得られる強度の比を示す。一般に混合時間を増す程、改良効果の大きいことが認められる。改良効果と混合時間のパターンは初期含水比、石灰混合比によっても相違するが、混合時間10分に明瞭な折点が存在し、室内配合試験方法に定めたソイルミキサーと使用生石灰粒径に対しては10分以上の混合が殆んど強度増加に寄与しないことが判る。なお、室内配合試験では、この10分を混合時間として定めている。

図-6 b), c) では、横軸に算術目盛で混合時間を示す。混合比の低い場合には、改良効果と混合時間の間に比例関係が認められる。一方、混合比の高い場合には比較的短時間で10分混合に近い改良効果が達成される。

### 3.5 モールド充テン方法

表層混合処理の場合には、石灰と対象土を混合した後に転圧する。したがって転圧方法の相違によって改良効果も影響される。一方、深層混合処理に際しては実際問題として転圧は困難である。現在の施工機械を例にとると、処理対象土を攪乱し石灰を添加し混合するのみであるから、転圧に相当するものは攪拌翼が土を下方に押し付ける力、および混合後に処理土に作用する静的な土被り圧のみである。このため、概説でも改良効果に影響する要素として、転圧を挙げていない。

しかし、室内配合試験に際しては、混合処理土を何らかの形でモールドに充テンし養生する訳で、充テン時の締め固め効果が室内配合試験結果に影響してくる。深層混合処理を前提とした室内配合試験では、空隙のない均質な供試体作成を目的としてモールドへの充テン法を規定している。石灰処理後の含水比が未処理土の液性限界

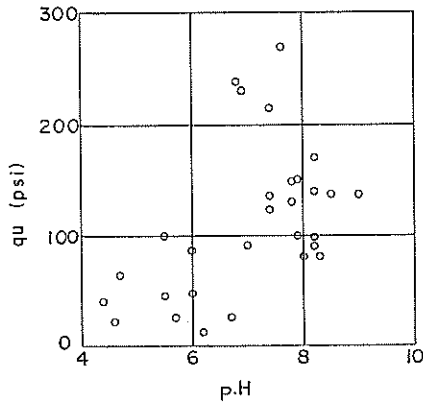


図-4 対象土のpHの影響 (Thompson, 1966)

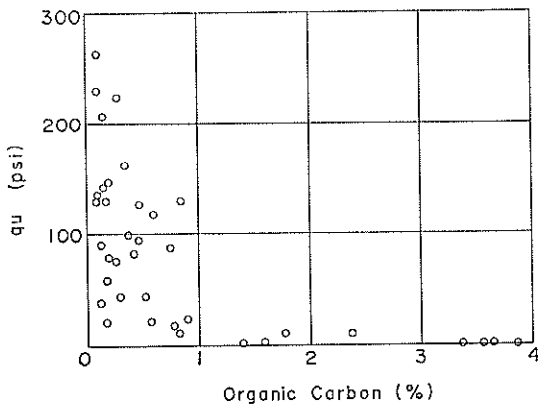
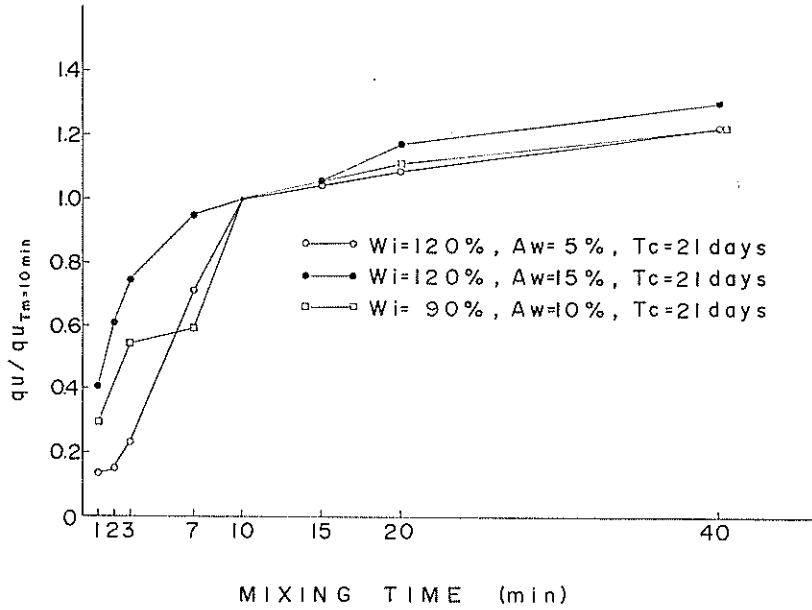
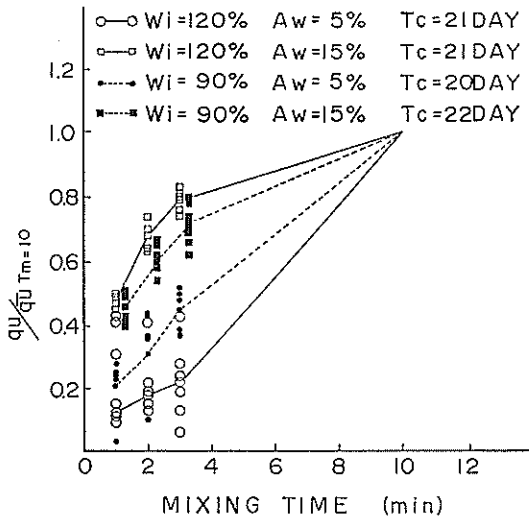


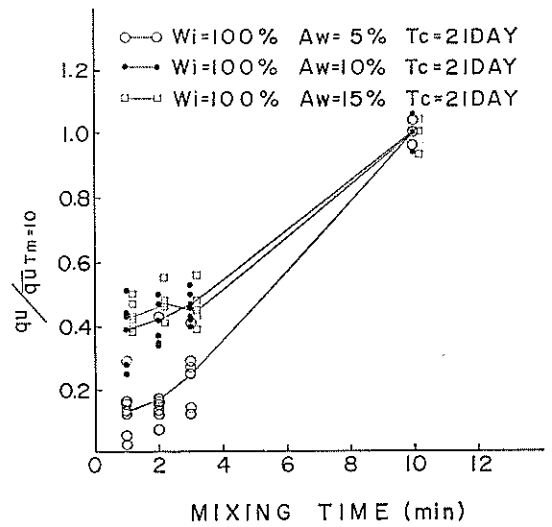
図-5 有機炭素含有量の影響 (Thompson, 1966)



a) 川崎粘土



b) 川崎粘土



c) 中防粘土

図-6 混合時間の影響

ないし、それより幾分小さい場合には標準締め固め (Standard Proctor) の  $\frac{1}{4}$  程度の締め固め仕事量で突き固め、処理後の含水比が未処理土の液性限界を大きく超えて突き固めが困難となる場合には振動を加えるように定めている (室内試験法)。上記の程度の含水比であればバラツキの少ないデータが得られているが、処理後含

水比が液性限界を大きく下回る場合には試料が不飽和になることの影響もあり、室内試験法では再現性のある試料作成に難点がある (寺師, 他)<sup>11)</sup>。現在、このモールド充テン方法については再検討中である。

### 3.6 混合後の環境

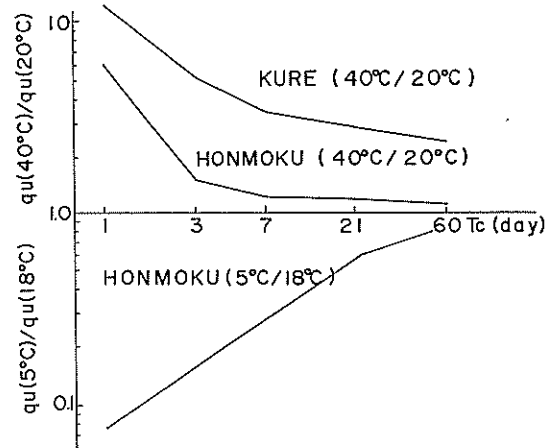
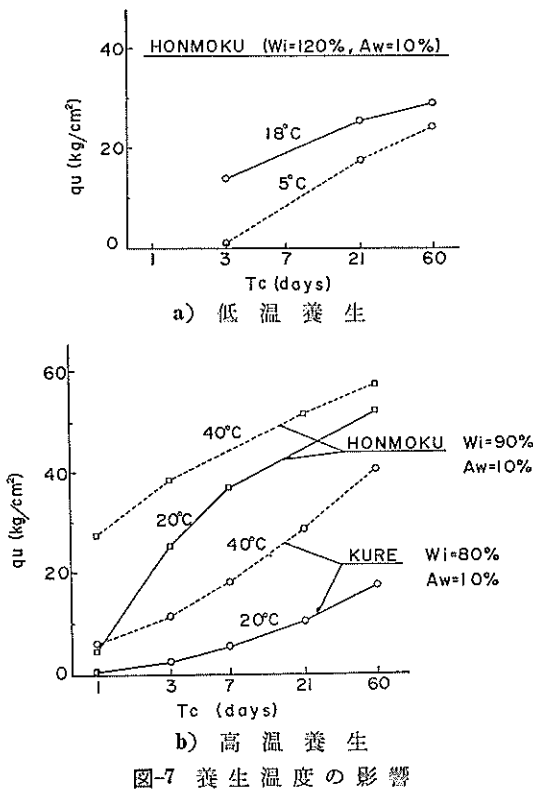
現地で深層混合処理を実施した場合に、改良効果に影

響する大きな要素として温度と湿度が考えられる。筆者等が主として対象とする地盤は海底地盤又は埋立地などであるから、常に海面下であるか又は地下水位の高いことが予想される。このため、室内配合試験方法では試料を密封し更に相対湿度95%以上で養生することを定めている。一方、地中温度に関しては実測例が極めて少ない。陸上地盤に関しては、地表面下13m程度までの地中温度を測定した例が知られている(土と基礎講座委員会, 1969)<sup>12)</sup>。同報告によると、地表から3m程度は季節によって大きく変動するが、5m以深では年間を通じて14~15°Cの一定値となっている。海底地盤については、深度方向の海水温度と海底面下1mの地中温度を夏期に短期間測定した例がある(第三港湾建設局, 1976)<sup>13)</sup>。この例では、地表から僅か1mの測定であるため、その時期の海水温度と殆んど差のない20°C前後の値が報告されている。地中温度の分布には、季節、地域、土質などによって差があるものと考えられる。この様に地中温度についてのデータが少ないことと、仮に任意の温度を規程しても施設等の制約で守られ難いことから、比較的得易い温度条件として21±3°Cを室内配合試験で

は定めている(コンクリート養生室などが利用できる)。

処理後の温度環境の差が改良効果に与える影響を検討するため、温度条件の組合わせ(5±3°C, 18±3°C)について1例、(20±2°C, 40±2°C)について2例の比較実験を行なった(図-7)。同データを、養生温度20°C前後で得られる強度と異なる温度で得られる強度の比と言う形に整理して得られるのが図-8である。

図-8より、呉シルト質粘土(40°C養生)、本牧海底粘土(5°C養生)に着目すると、標準温度(20°C前後)での強度に比べて材令1日で各々10倍以上、 $\frac{1}{10}$ 以下と差が大きいが、材令60日では各々2.4倍、0.83倍となり長期的には養生温度と無関係に一定の強度に達する傾向が認められる。しかし、高々60日程度までしか実施しない室内配合試験に関しては養生条件の相違が改良効果に及ぼす影響の大きいことが分かる。一方、現場施工を考えても地盤改良の後に長期間放置することは不可能であるから、地中温度が低下することの予想される季節、地域に関しては強度発現の遅れることに留意すべきである。



高温で強度増加が促進され、低温で遅くなる傾向を利用して、通常20°C程度で1ヶ月程の期間を要する室内配合試験を迅速化するために高温(40°C前後)で室内配合試験を実施しようとする試みも諸外国にある。しかし、養生温度を上げることによって反応の促進される程度は異なる。例えば、図-7で20°C養生で得られる28日強度を40°Cで達成するのに必要な時間は呉シルト質粘土の場合には3日であるのに対して、本牧海底粘土の場合には9日間である。この様に土の種類によって、養生温度一強度一材令間の関係は異なるから、養生温度を上げて標

準的な室内配合試験を迅速化することは出来ない。むしろ予備調査の段階で、対象土の石灰混合に対する適性を判定する上で利用することは可能であろう。この様な意味で養生温度を上げる場合であっても、40°Cを超える温度条件を与えるとポソロン反応生成物が変化する異常な高強度を与えることが知られているから注意を要する(Townsend and Donaghe, 1976)<sup>14)</sup>。

### 3.7 石灰の品質

安定剤として使用する生石灰に関しては、粒径、化学成分(CaO含有量)、活性度が問題となる。粒径は小さい程比表面積が大きくなり粘土との反応が良い訳で、一般に粒径が小さい程改良効果が良い。生石灰中の酸化カルシウム含有量の大小は、実質の石灰混合比が含有量によって変化する訳で既に3.2で議論した。又、実際問題としては工業用生石灰を用いれば、CaO分はJISによって規定されており製品として購入する時点では問題は少ない。むしろ、保管中の風化による成分の変化に注意すべきであろう。石灰の品質として一番問題となるのは活性度の相違である。関東地区で数社の工業用生石灰特号を購入し、室内配合試験法に従って粒径をそろえて比較した結果を示す。図-9は、奥村、他(1974)<sup>13)</sup>に紹介したデータであるが、A、Dを材令21日で比較すると実に6倍の開きがある。A、C、Dについて実施した塩酸活性度試験の結果を図-10に示す。図-9と図-10を比較す

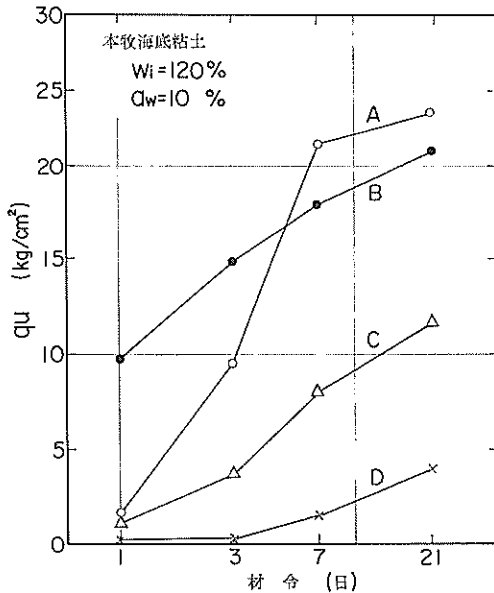


図-9 石灰の品質による影響

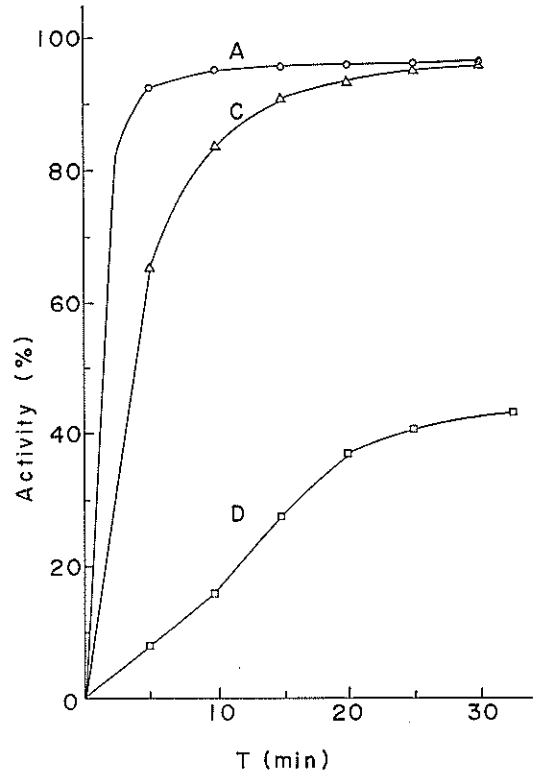


図-10 石灰の塩酸活性度






ると、活性度と改良効果の間には相関性があり、短時間で消化する石灰すなわち活性度の高い石灰程、石灰処理に適していることが分かる。なお、港湾技研の室内試験では、この数年間A製品のみを使用している。

この活性度の相違は石灰製造過程の焼成温度、焼成時間、活性度試験に用いる石灰粒径に依存していることが報告されている(袋, 松村, 1969)<sup>15)</sup>。この3つの要素の組合わせによって得られる塩酸滴定曲線のタイプを表-2に紹介する。深層混合処理に適する生石灰は、図-10と表-2を比較してModel-1であることが分かる。袋, 松村によれば、この種の石灰は低温域(900°C)で比較的長時間焼成した石灰、及び中温域(1000°C)で比較的短時間焼成した石灰で、活性度は粒径にあまり影響されないとしている。

この様に、石灰の製造方法によって活性度は変化し、その差が改良効果に大きく影響する。このことは、深層混合処理に用いる生石灰の選定が重要であることを意味すると同時に、施工に用いる石灰と室内配合試験に用いる石灰が同一の製品でなければ室内配合試験自体が無意

石灰安定処理土の基本的特性に関する研究（第1報）

表-2 石灰の焼成方法と活性度（袋，松村，1969）

Model		1	2	3	4	5
						
Temperature	High		⊙		⊙	⊙
	Middle	⊙	○	⊙	○	
	Low	⊙				○
Heating Time	Long	⊙	○	⊙	○	⊙
	Middle					
	Short	⊙	⊙		⊙	○
Size	Large				○	⊙
	Middle					
	Small		○		⊙	

味となることを示している。なお、筆者等は深層混合処理に用いる生石灰として、工業用生石灰特号で活性度の高い（Model-1）もの、すなわち軟焼きの石灰を推めている。

3.8 室内配合試験

石灰処理効果に影響する要素と影響の程度や傾向を求める意義は3つある。

1つは、室内配合試験によって得られる改良効果（基準値）から実際の現場強度を推定する方法の改善である。筆者等は、この推定方法（奥村，他 1974）<sup>9)</sup>を提案しているが、そこでは各種の要素と改良効果の関係を単純な比例ないし逆比例としている。また不確定の要素として未知係数で処理してきた例えば地中温度に関しては、各地の現場で深度方向の地中温度分布を長期間にわたって測定したいと考えている。また、同推定方法の改善のためには信頼性の高い現場強度の実測値が必要である。

2番目は、室内配合試験方法自体の改善であるが、これは3.5に記したモールド充テン方法について現在検討中である。室内配合試験方法の難点は、1ヶ月程度の長期間を要することであろう。対象土が石灰処理に適していた場合は得られたデータが、そのまま設計に利用出来る。しかし、28日程度の強度が得られてから結局石灰処理に不適と云う結論もあり得る訳で、この場合1ヶ月近くの損失となる。今回、ここに報告した各種要素と改良効果の関係も迅速な判定のための1つの参考となる。しかし、上述の各種要素は相互に影響し合っており判定が困難である。予備調査の段階で、概略の改良効果を判定するために、多少精度は悪くても40°C程度の高温養生も検討中である。

4. 石灰安定処理土の特性

4.1 物理的的特性の変化

深層混合処理工法は基礎地盤の安定を目的とするため、物理的的特性を変化させるのに必要とする量以上の生石灰を添加し強度増加と圧密特性の変化に期待している。しかし、軟弱な細粒土の掘削、運搬、あるいはトラフィカビリティーの改善を目的として石灰処理を行なうことがある。このような場合には、比較的少量の石灰による混合処理で物理的的特性の変化に期待すれば良かったり、場合によっては過大な強度増加がマイナスとなることもある。

生石灰混合処理によって得られる物理的的特性の変化としては、粘土の綿毛化と有効粒径の増大、含水比の低下、そしてコンシステンシーの変化が挙げられる。筆者等は有効粒径の増大に関するデータは持っていない。含水比に関しては、初期含水比  $w_i$ 、石灰混合比  $a_w$  と処理後含水比  $w_f$  の間に  $w_f = (w_i - 0.32 a_w) / (1 + 1.32 a_w)$  なる関係式と  $w_f = (w_i - 0.77 a_w) / (1 + 1.32 a_w)$  なる関係式が良く知られている。前者は生石灰の消化吸水のみを、後者はそれに加えて反応熱による蒸発乾燥を最大限に考慮した式である。筆者等のデータでは、室内配合試験に関しては両式の間の実測値が得られている。深層混合処理地盤では当然前者に近い値が予想される。

コンシステンシー限界については、石灰添加後ただちに塑性限界の上昇が起こる。液性限界は低下する場合と上昇する場合とがあるが、液性限界の上昇量は塑性限界の上昇量より小さいため結果として塑性指数の低下が起こると一般に言われている。しかし、液性限界、塑性指数の変化は、同一の土でも初期含水比によって変化し（柳瀬，1968）<sup>10)</sup>、又図-11に示すように材令、石灰の添加量によっても大きく変化する。過去の数多くの実験でも様々な結果が報告されており一般論として要約することは困難である（Diamond and Kinter；1966）<sup>7)</sup>。最低限言えることは生石灰の添加後、含水比の低下と塑性限界の上昇が同時に起こるため、一般に軟弱土の取扱いが容易になる。

4.2 処理土の一軸圧縮強度

処理土の強度特性は色々な側面から考える必要があるが、ここでは従来より実施されてきた一軸圧縮試験の結果を整理して報告する。全て室内配合試験結果である。

各地の海底粘性土を自然含水比に近く調整して一律に  $a_w = 10\%$  の石灰を添加した時の、材令による一軸圧縮

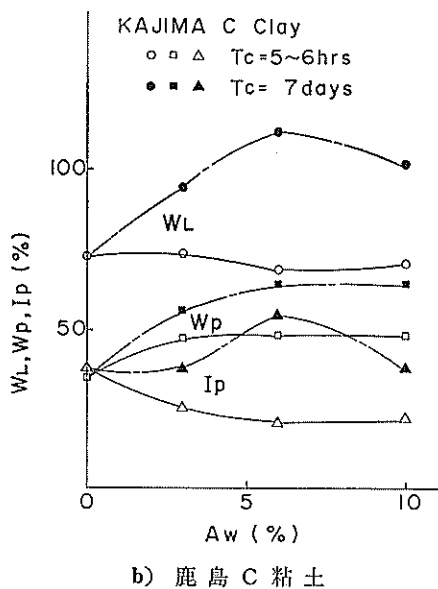
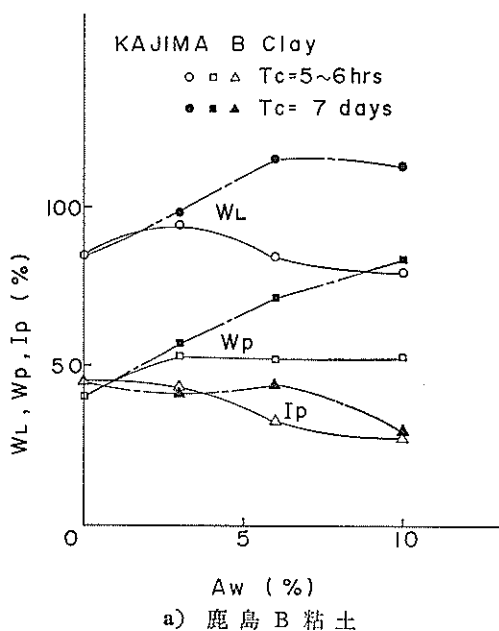


図-11 コンシステンシーの変化

強度の経時変化を 図-12 に示す。

通常の圧密促進に期待する地盤改良工法では、改良後の強度は載荷重と通常 $\frac{1}{4}$ から $\frac{1}{2}$ の値をとる  $C_u/p$  によって定まり、土の種類による差は少ない。しかし、石灰処理の場合には前章に述べた種々の要素に影響されるため

同一条件で処理しても、土の種類によって大きく変化する。図示した例でも、21日強度で羽田埋立土の  $4\text{kg/cm}^2$  から横浜粘土の  $24\text{kg/cm}^2$  まで 6 倍の開きがある。ここには、示してないが大黒町の粘土に関して第二港湾建設局の調査で、7日強度で  $32\text{kg/cm}^2$ 、21日強度で、 $54\text{kg/cm}^2$  という高い強度も得られている。一方、海底粘性土ではないが下水等の汚泥が投棄された埋立地で改良効果が皆無という例も知られている。

強度増加の絶対値に関しては、通常の圧密促進工法で期待される強度増加が高々  $1\text{kg/cm}^2$  程度であるのに対して石灰処理の場合には混合条件が良ければ、図示の室内配合試験結果のように桁違いの改良効果が得られる。勿論、現在の施工機械による粗い混合では限界があり、陸上の施工例については室内配合試験で得られる強度の  $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$  程度が現場で期待されるとする報告がある(鎌田, 阿久津; 1976)<sup>17)</sup>。一方、海上の試験工事では  $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{4}$  程度が報告されている(奥村, 他; 1974)<sup>18)</sup>、第3港湾建設局; 1976<sup>13)</sup>、第5港湾建設局; 1976<sup>16)</sup>。

材令による強度増加は土の種類や石灰混合比によっても変化するが、混合処理後1~2ヶ月までは材令の対数にはほぼ比例して急増する。長期にわたるデータは少ないが、その後も勾配は緩くなっても増加傾向がある。

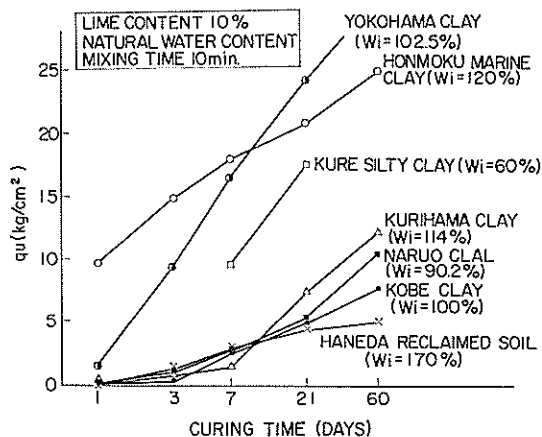


図-12 各地粘性土の改良効果

通常の粘性土と異なり処理土の応力-歪曲線は、一般に急な立ち上がり、高強度、小さな破壊歪、ピーク後の強度の極端な減少で特徴付けられる。この特徴は、図-13の一軸圧縮強度  $q_u$  と破壊歪  $\epsilon_f$  の関係、図-14の一軸圧縮強度  $q_u$  と変形係数  $E_{50}$  の関係から理解されよう。このデータは、本牧海底粘土に関しては、 $a_w$ ,  $w_i$ ,  $T_c$

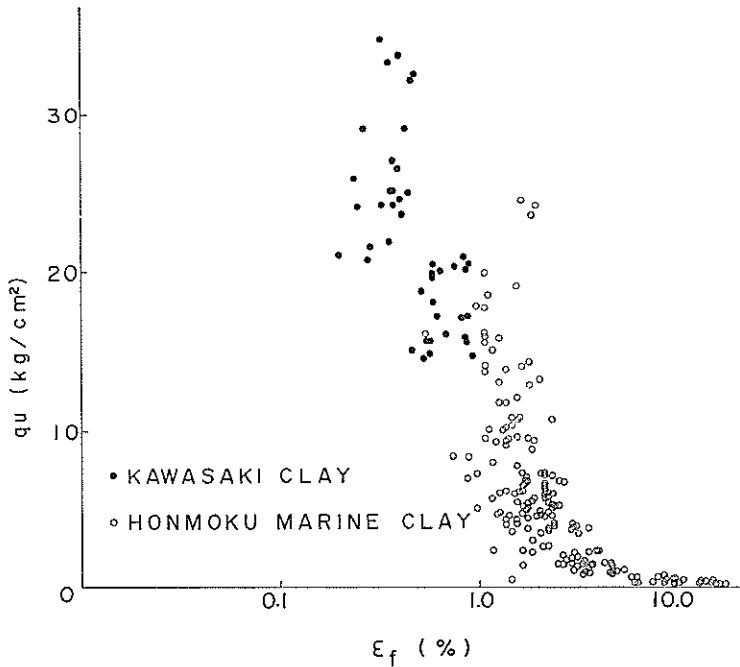


図-13  $q_u \sim \epsilon_f$  の関係

を問わず整理したもので、川崎粘土に関しては、 $a_w = 10\%$ 、 $w_i > w_L$ 、 $T_c = 21 \text{ day}$  について整理したものである。

$q_u$  と  $\epsilon_f$  は反比例しており、大雑把に言って、 $q_u > 20 \text{ kg/cm}^2$  では  $\epsilon_f \leq 0.5\%$ 、 $q_u$  が  $25 \sim 15 \text{ kg/cm}^2$  で  $\epsilon_f$  は  $0.5 \sim 1.5\%$ 、 $q_u$  が  $15 \sim 6 \text{ kg/cm}^2$  で  $\epsilon_f$  は  $1 \sim 2.5\%$  と小さい値を示す。一方、 $q_u \leq 1 \text{ kg/cm}^2$  では  $\epsilon_f \geq 3\%$  で、歪が  $15\%$  を超えてもピークを示さないものもある。本牧海底粘土で  $q_u \leq 1 \text{ kg/cm}^2$  のデータは材令  $5 \text{ hr}$  ないし  $1 \text{ 日}$  の養生期間の極めて短いものであるから、ポゾラン反応はあまり進行せず混合によるリモールドの影響が大きいものと思われる。なお我国の沖積粘土の乱さない試料では、破壊歪は  $3 \sim 6\%$  程度である。

変形係数  $E_{50}$  は、応力-歪曲線上で  $q_u/2$  に対応する歪を  $\epsilon_{50}$  とするとき  $E_{50} \cdot \epsilon_{50} = q_u/2$  と定義される割線係数である。又、応力-歪曲線の初期の接線勾配をとって  $E_i$  を定義することもある。 $q_u/2 = S_u$  とおくと、通常の粘性土では  $E_{50}$  又は  $E_i$  と  $S_u$  の間には比例関係が成立する。例えば Skempton (1951)<sup>19)</sup>、Meyerhof (1953)<sup>20)</sup> 等によると  $E_{50} = (50 \sim 200) S_u$ 、又 Bjerrum (1964)<sup>21)</sup> はノルウェーの正規圧密粘土について  $E_{50} = (250 \sim 500) S_u$  を報告している。一方、我国の高塑性の海成粘土に関し

ては、竹中 (1968)<sup>22)</sup> が  $E_i = 210 S_u$  を示し、有明海粘土に対して宮原 (1970)<sup>23)</sup> は  $E_{50} = 160 S_u$  を示している。

さて、処理土の  $E_{50}$  と  $q_u$  の関係は、今回のデータに見る限り単純な比例関係にはなく、 $q_u$  値  $15 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$  を境として2つのグループに分けられる。 $q_u$  値の小さい範囲では、 $E_{50} = (150 \sim 400) S_u$  の関係が認められ通常の粘性土の場合と同程度の比例係数が得られる。類雑となるため省略したが、神戸、呉、鳴尾、羽田の処理土に関しても  $q_u \leq 20 \text{ kg/cm}^2$  では  $E_{50} = (150 \sim 400) S_u$  となる。一方  $q_u$  値の大きい範囲では  $E_{50} = (500 \sim 1000) S_u$  と極めて大きな比例係数が得られる。但し、 $q_u \geq 20 \text{ kg/cm}^2$  については川崎粘土以外のデータがないので、今後のデータ集積に待ちたい。

#### 4.3 処理土の圧密特性

石灰混合処理は従来より表層処理に限って用いられてきたため圧密特性を検討した例は皆無と言って良い。しかし、深層混合処理工法を実施する場合には、杭状施工であれ壁状施工であれ処理土部分に応力が集中すること、表層処理に比べて層厚が大となるため圧密特性の検討が必要である。

実験に使用した試料は本牧海底粘土、神戸ポートアイ



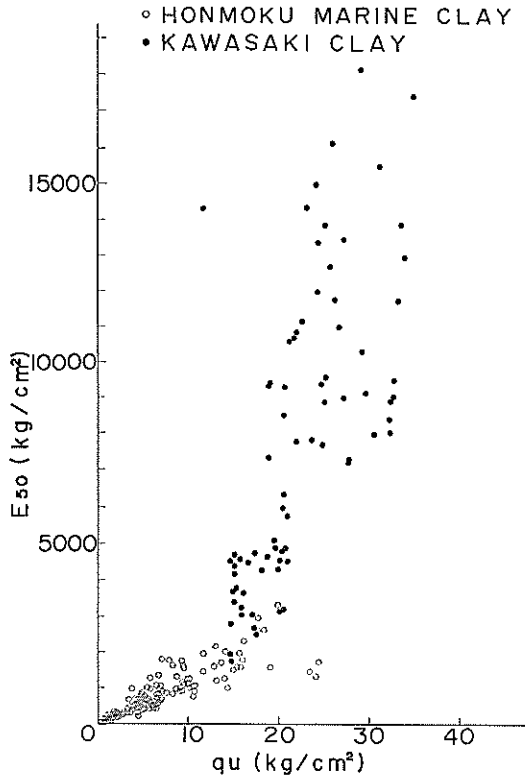


図-14  $q_u \sim E_{50}$  の関係

ランド粘土および異シルト質粘土である。未処理状態の試料の物理的特性は表-1に示した。

圧密試験は、処理土とリモールドした未処理土について実施した。前章に記したように、強度増加は種々の要素に影響されたため、圧密の場合も初期含水比、材令、石灰混合比、混合時間を表-3に示すように変化させて供試体を作成した。試料と石灰の混合は配合試験に準じて行ない、一軸圧縮試験用の供試体作成時と同程度の締め固めエネルギーで直径12 cm×高さ20 cmの塩化ビニール管に充テン、表-3に示した材令まで20°Cで湿潤養生を行なった。処理土は通常の粘性土と異なり、圧密試験中に圧密と無関係にポゾラン反応の進行により強度が増加する。このため、材令の選定に当たっては、10日間程度を要する圧密期間中に固結の進行が少ない21日と60日を圧密開始の材令とした。

圧密供試体は、上記の塩ビパイプで養生した試料を、直径60 mm、高さ20 mmに成形して用いた。また、圧密試験機は処理土の強度に応じて、最大圧力50 kg/cm<sup>2</sup>、120 kg/cm<sup>2</sup>、566 kg/cm<sup>2</sup>の3種類の高圧圧密試験機に

表-3 圧密供試体作成条件

試料	初期含水比 $w_i$ (%)	石灰混合比 $a_w$ (%)	混合時間 (min)	材令 $T_c$ (days)
本牧海底粘土	90	5	10	21, 60
		10		21
	120	5		21, 60
		10		21
	90	5	3	21
		10		21
	120	5		21
		10		21
神戸粘土	90	5	10	21, 60
		10		21
	120	5		21, 60
		10		21
	90	5	3	21
		10		21
	120	5		21
		10		21
異シルト質粘土	80	5	10	21, 60
		10		21
	100	5		21, 60
		10		21

よった。

圧密荷重は、予想される圧密降伏応力に応じて8～9段階の載荷及び1段階の除荷よりなり、荷重増加率は約1倍とし各段階での圧密時間は24時間とし、土質工学会セン断試験法委員会案(1969)に従って試験ならびに結果の整理を行ない、 $c_0$ の計算は $\sqrt{t}$ 法に依った。

一度完全にリモールドした後に石灰を添加し、化学的に固結させた処理土の場合にも、歪量の小さい弾性的な挙動から塑性的な挙動へ移行する点として圧密降伏応力が得られる。処理土とリモールドした未処理土の代表的な $e \sim \log p$ 曲線を図-15に示す。処理土の $e \sim \log p$ 曲線は $p_y$ 以下の応力での極めて平らな部分と明瞭な $p_y$

石灰安定処理土の基本的特性に関する研究 (第1報)

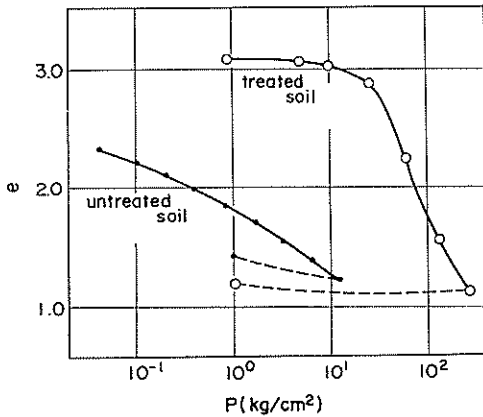


図-15 代表的  $e \sim \log p$  曲線

部の折れ曲がり特徴付けられる。 $p_y$  以降の  $e \sim \log p$  曲線の勾配  $C_e$  は通常の粘土に比べて大きい。不攪乱試料の  $e \sim \log p$  曲線が求められていないため、我国の港湾地域粘性土に対して松本、小川(1969)<sup>24)</sup> の提案している関係式  $C_e = 0.016(w_L - 30)$  又は  $C_e = 0.017 I_p$  を用いると、本牧海底粘土と神戸ポートアイランド粘土の  $C_e$  は概略 1.0 となり、呉シルト質粘土の  $C_e$  は概略 0.4 となる。一方、処理土については、本牧海底粘土が 1.8~2.5、神戸ポートアイランド粘土が 1.5~4.6、呉シルト

質粘土が 1~1.3 と 各々未処理の場合の 2 倍前後となっている。各処理土の  $p_y$  と  $q_u$  の関係を 図-16 に示す。データにばらつきはあるが、 $p_y$  と  $q_u$  の間には近似的に直線関係が認められ、 $p_y = (1.2 \sim 1.3)q_u$  程度である。図中の直線は、森 (1962)<sup>25)</sup> が石膏を用いて室内的に作成した固結土について得られた関係である。

表-3 に示した供試体作成条件の相違は、前章に記した様に一軸圧縮強度  $q_u$  の大きさに反映された。しかし、作成条件の相違と圧密係数  $C_v$ 、透水係数  $k$  の間に相関性は認められない。圧密降伏応力  $p_y$  と体積圧縮係数  $m_v$  についても、作成条件と直接の相関は認められない。しかし、強いて言えば  $q_u$  の大きい程  $p_y$  が大きいという 図-16 の関係と  $q_u$  が大きい程  $m_v$  が小さいという当然の結果が得られている。

次に、未処理土の圧密特性と処理土の圧密特性を比較してみる。ある圧密圧力  $\bar{p}$  に於ける未処理土の圧密係数、 $C_{vR}$ 、体積圧縮係数、 $m_{vR}$  を求め、同じ圧密圧力の処理土の  $C_v$ 、 $m_v$  との比をとり、 $C_v/C_{vR}$ 、 $m_v/m_{vR}$  を求める。そして、着目する処理土の  $p_y$  を用いて圧密圧力  $\bar{p}$  を無次元化する。呉シルト質粘土に関しては未処理の圧密データがないため除外し、本牧海底粘土と神戸ポートアイランド粘土に関して全てのデータを、 $C_v/C_{vR} \sim$

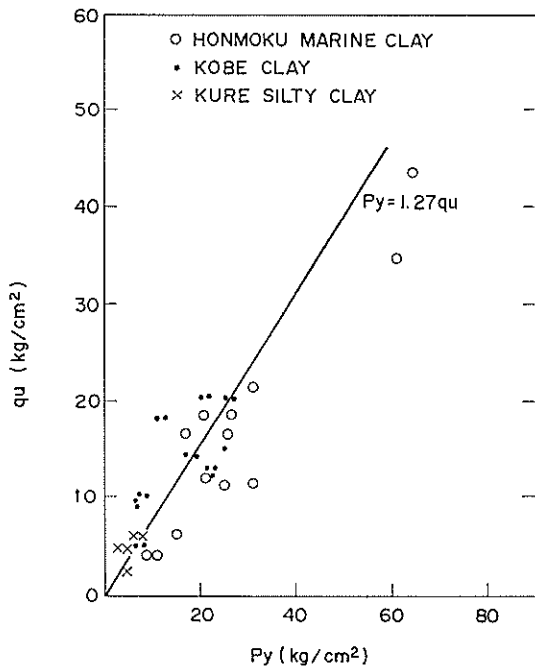


図-16  $q_u$  と  $p_y$  の関係

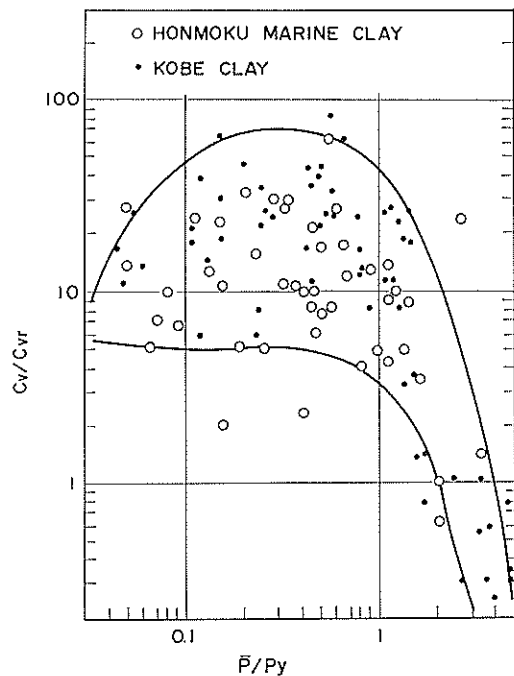


図-17  $C_v/C_{vR}$  と  $\bar{p}/p_y$  の関係

$\bar{p}/p_y$ ,  $m_v/m_{vR} \sim \bar{p}/p_y$  とプロットすると、各々図-17と図-18が得られる。

$C_v/C_{vR}$  に関しては、圧密圧力が圧密降伏応力  $p_y$  を超える ( $\bar{p}/p_y > 1$ ) と急激に低下するが、 $\bar{p}/p_y \leq 1$  ではバラツキは大きい、10~20の値をとる。すなわち、圧密降伏応力以下では圧密速度が極めて早く、その反面  $\bar{p}/p_y > 3$  で未処理の場合より圧密速度が遅くなることを示す。

一方、 $m_v/m_{vR}$  に関しては、 $\bar{p}/p_y > 1$  では  $m_v/m_{vR} \approx 1.5$  であるが、 $\bar{p}/p_y \leq 0.3$  では 0.1 以下であり、その間では  $m_v/m_{vR}$  と  $\bar{p}/p_y$  の間に両対数表示で直線関係が認められる。これは、圧密降伏応力以下では沈下が極めて小さいが、圧密荷重が圧密降伏応力を超えると、未処理の場合より沈下の大きくなることを示している。

$m_v$ ,  $C_v$  に関するこれ等の特徴は、過圧密土のそれと良く類似している(中瀬, 他, 1973)<sup>20)</sup>。 $p_y$  を境とする圧密特性の急激な変化は、処理土が比較的大きな間隙比を有したままボソラン反応生成物のボンドによって固化しているため、構造の降伏と共に急激に未処理土の同じ圧力レベルに於ける構造に戻ろうとする傾向のように思われる。なお、透水係数に関しては、計算値にバラツキが大きく顕著な傾向は認められない。処理土と未処理土で透水係数に大差はないと考えて良いであろう。今回の実

験で得られた処理土の圧密特性の絶対値は、圧密降伏応力以前で圧密係数が  $2 \times 10^{-1} \sim 1 \text{ cm}^2/\text{min}$ 、体積圧縮係数が  $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kg}$  透水係数は  $2 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-6} \text{ cm}/\text{min}$  程度であった。

この一連の実験では、処理土の圧密特性とリモールドした未処理土の圧密特性を比較した。しかし、本来は乱されていない未処理土の処女曲線上の圧密特性と比較しなければ地盤改良効果としての圧密特性の変化は求められない訳で今後の課題を残している。しかし、本研究の結果を総合するとやや粗い近似ではあるが次のようにして処理土の概略の圧密定数の検討が出来る。

- 1) 室内配合試験の一軸圧縮強度より現地で得られる強度を推定する。
- 2)  $p_y \sim q_u$ ,  $C_v/C_{vR} \sim \bar{p}/p_y$ ,  $m_v/m_{vR} \sim \bar{p}/p_y$  の関係に、処理土作成の条件が殆んど関与しなかったことから、現地一軸圧縮強度に対応する  $p_y$  を求める。
- 3) リモールドした粘土の圧密試験で、 $\bar{p} \sim C_{vR}$ ,  $\bar{p} \sim m_{vR}$  を求め、設計荷重  $\bar{p}$  と 2) で求めた  $p_y$  を用いて  $\bar{p}/p_y$  を定め、図-17, 図-18 を用いて処理土の  $C_v$ ,  $m_v$  を求める。

この推定方法が妥当であるか否かは、今後の現場でのデータの集積ならびに解析に待たねばならない。

## 5. 結 論

石灰安定処理土に関する一連の実験から、以下に述べる傾向ならびに結論が得られた。

- 1) 最大の改良効果を発揮する石灰混合比は、土の種類、着目する材令によって異なり一概には言えない。材令28日程度に着目すると  $a_w \leq 15\%$  程度までは石灰添加量を増すと強度増が認められるようである。
- 2) 石灰処理土の強度は粘土分に対する石灰混合比で定まるが、砂分が過多となると効果は急激に減少する。
- 3) 最大の改良効果を発揮する初期含水比は、短かい材令を対象とすると  $w_L$  近辺にあるが、材令と共に乾燥側に移行する。
- 4) pH の小さい程、有機物含有量の多い程、改良効果は小さい。
- 5) 室内配合試験(暫定案)に定めたミキサーを用いる場合、混合時間を10分以上にしても改良効果の伸びは少ない。石灰混合比の小さい場合には10分以下の混合時間と改良効果に比例関係が認められる。
- 6) 処理後含水比が  $w_L$  を大きく下回る場合には、暫定試験法のモールド充テン法には問題がある。

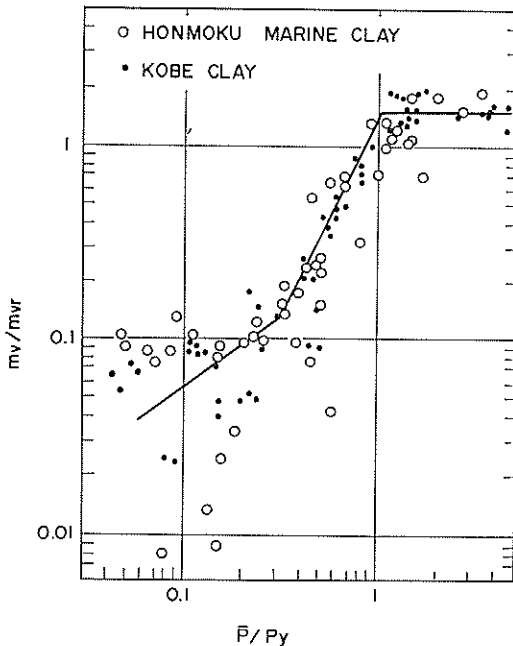


図-18  $m_v/m_{vR}$  と  $\bar{p}/p_y$  の関係

石灰安定処理土の基本的特性に関する研究（第1報）

- 7) 養生温度の高いほど石灰と土の反応は早く進むが、長期的には養生温度と無関係に一定の強度に漸近する。しかし、1~2ヶ月では、その差は大きい。
- 8) 軟焼きの活性度の高い石灰ほど処理効果が大きい。
- 9) 石灰処理によるコンシステンシーの変化は、土の種類、材令、石灰混合比によって異なるが、一般に含水比の低下と塑性限界の上昇によって土は扱い易くなる。
- 10) 処理土の強度は土の種類によって変化するが、一般に圧密工法より一桁大きい強度増加が期待される。しかし、そのためには良好な混合条件が必要である。
- 11) 一軸圧縮試験の応力-歪関係は、大きな変形係数と小さな破壊歪、ピーク後の極端な強度低下を特徴とする。 $E_{50} \sim q_u$ ,  $\epsilon_f \sim q_u$  の関係図が得られた。
- 12) 処理土の  $e \sim \log p$  曲線は、降伏以前の平らな弾性範囲、 $p_y$  での鋭い屈曲、 $p_y$  後の大きな  $C_c$  が特徴である。
- 13) 処理土の  $q_u$  と  $p_y$  の間には  $p_y = (1.2 \sim 1.3)q_u$  の直線関係が認められた。
- 14) 同一の圧密圧力レベルでの処理土と未処理土の圧密定数の比率  $m_v/m_{vR}$ ,  $C_v/C_{vR}$  と  $\bar{p}/p_y$  の関係が得られ、リモールドした試料の圧密特性から処理土の圧密特性を推定する手掛りが得られた。
- 15) 石灰処理によって、 $p_y$  以下の圧力レベルでは  $C_v$  がおよそ10倍に、 $m_v$  がおよそ  $1/10$  に改善されることが知られた。

6. あとがき

石灰安定処理土は養生期間その他の条件の相違によって特性が変化するため実験の実施に長期間を要し、高強度のため通常の土質関係の力学試験装置の容量を超えるという難点がある。近年、高圧、大型の力学試験装置の整備は進んでいるが、台数に限りがあるため残る課題を処理していくためには相当の日時を要するであろう。

本報告に示したデータは、地盤改良研究室で過去4~5年に実施された試験結果を整理したものである。実験の実施に協力された、元地盤改良研究室の酒井正寛氏、吉田富雄氏、渡辺光男氏、元研修生の三沢久詩氏に謝意を表する。

参考文献

- 1) 奥村, 光本, 寺師, 酒井, 吉田<sup>2)</sup>; 石灰による深層混合処理工法 (第1報), 港研報告, Vol. 11, No. 1, 1972年, pp. 67-106
- 2) 奥村, 寺師, 光本, 酒井, 吉田<sup>3)</sup>; 石灰による深層混合処理工法 (第2報), 港研報告, Vol. 11, No. 4,

- 1972年, pp. 103-121
- 3) 奥村, 寺師, 光本, 吉田, 渡辺; 石灰による深層混合処理工法 (第3報), 港研報告, Vol. 13, No. 2, 1974年, pp. 3-44
- 4) Ho, C. and Handy, R. L.; Characteristics of Lime Retention by Montmorillonitic Clays, Highway Research Record, No. 29, 1963年
- 5) Glenn, G. R. and Handy, R. L.; Lime-Clay Mineral Reaction Products, Highway Research Record, No. 29, 1963年
- 6) Davidson, D. T. and Handy, R. L.; Lime and Lime-Pozzolan Stabilization, Highway Engineering Handbook, McGraw-Hill, 1960年
- 7) Diamond, S. and Kinter, E. B.; Mechanisms of Soil-Lime Stabilization, Public Roads, February, 1966年, pp. 260-265
- 8) 有泉 昌, 他; アロファン質粘土の消石灰-石膏による化学的安定方法に関する研究(1)~(6), 土木研究所報告, 1961年~1964年
- 9) 柳瀬, 光本, 酒井, 金井; 沖積粘土に対する生石灰処理の適用性について, 第7回港研研究発表会講演概要, 1969年, pp. 57-63
- 10) Thompson, M. R.; Lime Reactivity of Illinois Soils, Proc. ASCE, Vol. 92, SM-5, 1966年
- 11) 寺師, 他; 石灰安定処理土の基本的特性に関する研究 (第2報), 港研報告予定
- 12) 土と基礎講座委員会; 計器による現場測定のポイント(8), 土と基礎, Vol. 17, No. 8, 1969年, pp. 55-63
- 13) 第三港湾建設局; 明日への港湾技術-石灰による深層混合処理工法の施工と地盤改良効果-, 第27回直轄技術研究会討論資料
- 14) Townsend, F. C. and Donaghe, R. T.; Investigation of Accelerated Curing of Soil-Lime and Lime-Fly Ash-Aggregate Mixtures, Technical Report S-76-9, WES, Aug., 1976
- 15) 袋, 松村; か焼度の試験方法について, Gypsum & Lime, No. 99, 1969年, pp. 17-24
- 16) 柳瀬重靖; 生石灰による沖積粘土の安定処理について (第1報), 港研報告, Vol. 7, No. 4, 1968年, pp. 85-132
- 17) 鎌田, 阿久津; 施工例からみた深層混合処理工法, 土と基礎, Vol. 14, No. 12 (予定)
- 18) 第五港湾建設局; 明日への港湾技術-軟弱地盤における港湾技術-, 第27回直轄技術研究会討論資料
- 19) Skempton, A. W.; The Bearing Capacity of Clays, Bldg. Res. Congress Papers, Div. 1, pp. 180-189, 1951年
- 20) Meyerhof, G. G.; Some Recent Foundation, Research and its Application to Design. 1953年
- 21) Bjerrum, L.; (Ladd, C. C.: Stress-Strain Modulus of Clay in Undrained Shear, Proc. ASCE, Vol. 90, SM-5, 1964年) より。

- 22) 竹中準之介；粘土のサンプリングとその信頼度，日本材料試験協会
- 23) 宮原吉秋；軟弱地盤における土質調査とその活用法，施工技術，3巻，2号，1970年
- 24) 松本・小川；港湾地域における土の工学的諸係数の相関性について(第1報)，港研資料，No. 71，1969年
- 25) 森 麟；圧密完了後に生じた粘着力が先行圧力におよぼす影響，土と基礎，No. 49，1962年
- 26) 中瀬，小林，兼近；過圧密粘土の圧密特性，港研報告，Vol. 12，No. 1，1973年，pp. 123-139

補足-A；記号表

- $a_w$ ：石灰混合比，土の乾燥重量に対する生石灰添加量
- $C_c$ ：圧縮指数
- $C_v$ ：処理土の圧密係数
- $C_{vR}$ ：リモールドした未処理土の圧密係数
- $e$ ：間隙比
- $\epsilon_f$ ：破壊歪
- $\epsilon_{50}$ ：一軸圧縮強度の50%の応力に対応する歪
- $E_t$ ：応力-歪曲線の初期接線勾配
- $E_{50}$ ：応力-歪曲線上で  $\epsilon_{50}$  を通る割線勾配  
( $E_{50} \cdot \epsilon_{50} = q_u/2$ )
- $I_p$ ：塑性指数
- $L.L., w_L$ ：液性限界
- $m_v$ ：処理土の体積圧縮係数
- $m_{vR}$ ：リモールドした未処理土の体積圧縮係数
- $P.L., w_p$ ：塑性限界
- $\bar{p}$ ：平均圧密圧力
- $p_v$ ：圧密降伏応力
- $q_u$ ：一軸圧縮強度
- $S_u$ ：土のせん断強度 ( $S_u = q_u/2$ )
- $T_c$ ：混合後の養生期間(材令)
- $T_m$ ：混合時間
- $w_i$ ：処理前含水比(初期含水比)
- $w_f$ ：処理後含水比

補足-B 石灰安定処理土の室内試験方法(暫定案)

1. はじめに

深層混合処理工法の様に，地中深部まで化学的安定剤を供給，強制混合する工法は他に例をみないものであった。しかし，深層混合処理工法の現場強度を予測するためにも，実験結果の相互の関連付けのためにも試験方法は統一の必要があった。港研地盤改良研究室では昭和45

年頃より，以下に述べる方法を標準として室内試験を実施してきた。昭和50年1月には，この暫定案を土質部部内資料として取り括め，港研以外でも石灰・セメント系安定剤を用いる深層混合処理に利用されている。

現在，この試験方法は改訂を準備中であるが，本報告の試験方法を知る上で必要となるため，ここに紹介する。類似の工法に関して，研究或いは調査・設計に当たられている方々の御意見を戴ければ幸いである。

2. 土質調査ならびに室内試験計画

2.1 ボーリング調査

地盤改良を必要とする範囲で，新たにサンプリングを行なう場合には，従来のボーリング調査と同様に計画し単位体積重量，自然含水比，土粒子比重，液性限界，塑性限界，粒度組成，飽和度，強度および圧密特性の試験を行なうが，更に鋭敏比，pH試験，有機物含有量試験を実施することが望ましい。

但し，既存のデータを用いる場合には，最後の3項目は不明でも良い。

2.2 試料採取

対象地盤の石灰改良効果の有無を調べるための室内試験(2.4)用試料の採取方法を述べる。

前項のボーリング調査結果の柱状図を参考として，改良を必要とする深度方向の範囲を決定する。この範囲が地表面より均一な土層を成している場合には，表層土を50l程度採取する。明らかに成層状態の場合には，代表的な2層程度から出来るだけ大量の試料を採取して，予備試験を行ない，改良効果が良好な場合には各層について試料を採取し詳細に検討すると良い。

なお，2.4の室内試験に用いる試料は不攪乱試料である必要はないから採取方法は問わない。但し，試験までの間に，乾燥状態になったり空気中の酸素によって酸化されると試験結果に影響するから，水浸状態で試料を保存することが望ましい(海底粘土の場合には海水を用いる。)

2.3 生石灰品質

実験用，工事用の生石灰の選定に際しては下記の点に留意する。ただし，実際の工事に用いる石灰が決まっている場合は，実験にもその石灰を用いる方が良い。

- a) 工業用生石灰特号
- b) CaO分 95%以上
- c) 焼成温度 900~1000°C
- d) 活性度の高いもの

なお、試験結果には必ず用いた生石灰の業者名、化学成分の分析結果、塩酸活性度試験結果、石灰の焼成温度、炉の種類等の明細を付記する。

また、生石灰は極めて吸湿性の高いものであり、大量に取扱う場合には危険物として指定されているものである。従って、生石灰は試験の都度、試験直前に必要量だけを購入し乾燥状態で保管するように心掛けること。

実験室で取り扱う程度なら石灰は、それ程危険はないが限に入った場合には直ちに水で洗い流すこと。蛇足ではあるが、それでも異常を感じたら医師に相談すること。

## 2.4 室内試験計画

### 2.4.1 粘性土の特性調査

2.3項に記した方法で採取した試料について、下記の項目の試験を実施する。

- a) 土粒子比重試験
- b) 粒度試験
- c) 液性限界・塑性限界試験
- d) pH 試験
- e) 有機物含有量試験（重クロム酸法）
- f) 粘土鉱物同定（X線回折）

ここで、f) 項は通常の土質試験業者には実施出来ないもので、特殊な分析業者或いは大学等に依頼することとなる。

### 2.4.2 一軸圧縮試験計画

深層混合処理工法を実施して得られる強度増加を概略推定するために行なうもので、試験方法は3.2に述べる。本試験で得られる強度が、そのまま現場で発揮される訳ではない。

石灰処理土を作成する場合には、処理土の初期含水比  $W_{io}$  (%), 生石灰混合比（乾燥土に対する重量百分率） $A_w$  (%), 養生期間  $T_c$  (日) を決定する必要がある。

まず初期含水比  $W_{io}$  (%) は出来るだけ自然含水比に近づけることが望ましい。深度方向に含水比が変化している場合には、代表的な数種類を初期含水比として選定する。

石灰混合比  $A_w$  (%) は、5, 10, 15, 20% の内から3種類程度を選べば良い。予備的に  $A_w=10\%$  で7日強度を調べて、改良効果が大きければ  $A_w=5, 10, 15\%$  について、改良効果が小さければ  $A_w=10, 15, 20\%$  について詳細に検討する。なお、試料採取量が少ない場合には  $A_w=10\%$  あるいは  $15\%$  のみについて検討することもある。

養生期間（材令）は、1日、3日、7日、21日、60日、180日、360日を基準とするが、予備的な調査では、21日程度までの検討で良い。

なお各材令について供試体を3ケづつ作成すること。

## 3. 室内試験法

ここでは土質工学会編「土質試験法（第1回改訂版）」に基づいて解説を行なう。

### 3.1 粘土鉱物の同定（X線回折）

石灰処理による改良効果の大小は粘土鉱物の種類によって相違することが、多くの研究者によって指摘されている。しかし、我国の沖積粘土に関してはこの種のデータが乏しい。従って、粘土鉱物の同定はデータ集積のために行なうもので、現段階で直ちに活用出来るものではない。

また、通常土木技術者が対象とする粘性土は複数の粘土鉱物から構成されており、しかも石英、長石等の非粘土鉱物も相当量含有している。このため粘土鉱物の定量的な評価は極めて困難なものとなっており、分析を担当する人の経験に左右される面が大きい。

上述の2つの理由から2.4.1に記したように本試験は分析専門業者又は大学等に依頼して実施することが望ましい。

簡単に粘土鉱物同定の際の注意を記す（小坂・大平、1973）。\*

- a) 試料は採取後に極端な乾燥、酸化を受けないように注意し、採取後出来るだけ早く分析する。
- b) 原試料の粉末X線回折図から、結晶質の非粘土鉱物の同定と、概略の粘土鉱物の同定を行なう。
- c) 水簾により細粒部分を取り出し、粉末X線回折法により粘土鉱物の同定を行なう。この際に、更に平板法を併用して感度を上昇させることが望ましい。
- d) 前項の回折結果から、必要に応じて塩酸処理、加熱処理、エチレンジコール処理等の前処理を行ないX線回折を実施し同定に慎重を期す。
- e) 以上で定性的に分析は出来る訳であるが、炭酸カルシウムを用いて内部標準法を適用すれば概略の定量も出来ると言われている。

### 3.2 一軸圧縮試験による改良効果の判定

#### 3.2.1 適用

\* 小坂文子, 大平洋子 (1973): 2.3の地域の海底土の鉱物学的同定結果と定量法の検討, 港研1973年度依頼実験報告, (未発表)

生石灰処理土の一軸圧縮試験用供試体の作成に適用する。

### 3.2.2 供試体作成に用いる用具

- a) ポリエチレン袋
- b) 輪ゴム
- c) 蒸発皿
- d) ハカリ, 感量 1/1000 gr, 1/10 gr 各 1
- e) ビニールシート, 厚さ 0.5 mm
- f) ヘラ
- g) ホバート型ソイルミキサー (丸東 C138 A)  
このミキサーは, 2 段変速可能であるが本試験では, 遊星運動 60 rpm, 回転運動 140 rpm  
……………(50 Hz で)  
として用いる。周波数 60 Hz の地域で用いるときは, ギヤ比の変更が必要である。
- h) ミキサー用混合容器, 容量 4.7 l
- i) ストップウォッチ
- j) モルタル試験用鑄鉄製二ツ割型モールド  
φ 50 mm × h 100 mm
- k) 突棒 重量 1 kg, φ 28 mm
- l) 採土用スプーン
- m) デンケーター
- n) 湿潤箱 (デンケーターに水を貯めたもので代えても良い)

### 3.2.3 供試体作成方法

#### (1) 試料土の調整

試料土は 2.2 で採取され, 湿潤状態で保存されていた乱れた試料から貝殻など粗大夾雑物を除いた試料を用い 2.4.2 で定めた初期含水比  $W_{i0}$  (%) に調整する。

- a) 試料土を約 2,500 gr 採取し, ミキサーで試料が一樣になるまで充分に練り返す。
- b) 練返した試料中 3 ケ所以上の含水比を測定し, 残りの試料は 2 重にしたポリエチレン袋に入れ, 各々の袋の口を輪ゴムで緊結し湿潤箱に保存する。
- c) 翌日, 含水比 3 ケの平均値  $W$  (%) を計算する。 $W$  が計画の初期含水比  $W_{i0}$  と比べて  $W_{i0} \leq W \leq W_{i0} + 2$  の場合は b) 項で保存した試料を用いて石灰処理(3)を行なう。 $W > W_{i0} + 2$  の場合には, 日蔭で試料土を乾燥させ a) 項から繰返す。 $W_{i0} > W$  の場合には, 石灰処理土作成の際に加水分して含水比を調整する。

#### (2) 生石灰の準備

石灰処理に用いる生石灰は, 2.3 を満足するものとす

る。生石灰は乾燥したコンクリート台の上で砕き, 4.76 mm 以下, 0.59 mm 以上の粒径に手早く調整し, 広口ビン等に封入し, 更にデンケーター中で乾燥状態で保存しておく。

#### (3) 石灰処理土の作成

本試験法で指定するソイルミキサーを使用する場合には, 6 ケの供試体すなわち材令 2 回分の供試体を 1 度に作成することが望ましい。6 ケの供試体を作成する場合には通常, 試料土は乾燥重量に換算して 1300 gr 程度あれば充分であるから, 以下の手順で石灰処理土を作成する。

- a) (1) 項で準備した試料土を,  $W_t$  (gr) 秤量し  $\Delta W_W$  (cc) の水を加えながら, ソイルミキサーで均一になるまで攪拌する。

$$W_t = 1300 \times \left(1 + \frac{W}{100}\right) \quad (\text{gr})$$

$$\Delta W_W \begin{cases} = 0 \dots\dots\dots W_{i0} \leq W \leq W_{i0} + 2 \\ = 1300 \times \frac{W_{i0} - W}{100} \dots\dots\dots W < W_{i0} \end{cases}$$

この結果,  $W_r = W_t + \Delta W_W$  となる。

- b) 攪拌中に(2)項で準備した生石灰を  $W_{cao}$  (gr) 秤量する。

$$W_{cao} = 1300 \times \frac{A_W}{100} \quad (\text{gr})$$

ここに  $A_W$  (%) は, 2.4.2 で定めた石灰混合比である。

- c) 練返した試料土中より 3 ケ所含水比を測定し記録に残す。…… $W_i$
- d) b) で秤量した生石灰を試料土へ投入する。
- e) 混合容器を上昇させ攪拌を開始し 10 分間混合する。混合を開始すると含水比が急速に低下し容器周辺に試料土が付着する。このため, 容器周辺の土をヘラで落しながら充分な攪拌を行なう。
- f) 10 分間の混合後, すみやかに 3 ケ所の含水比を測定する。…… $W_m$

#### (4) モールドへの充填

- a) 内側へビニールをまいたモールド 6 ケを準備しておく。モールド底部には直径 48 mm の円形のビニールを敷き, 側面には 115 × 170 mm のビニールを円筒状にして敷く。

ビニールの厚さは 0.5 mm 程度とする。

- b) 処理土は三層に分けて, 各層毎に突き棒を 10 cm

の高さから10回自由落下させて詰める。

含水比が高く、上記の操作が困難な場合には、各層毎にモールドをコンクリート台上で10~15回叩き振動を加えて、処理土中の気泡を抜く。

- c) 三層を詰め終わった後、ヘラを用いてビニールの上縁まで試料を詰め、上面を平滑に仕上げる。
- d) 充填が終わったら、薄いポリエチレン皮膜を気泡が残らぬ様に被せ、輪ゴムで止める。

### 3.2.4 養生と一軸圧縮試験

#### (1) 処理土の養生

- a) 前項で製作した石灰処理土は、一軸圧縮試験を行なう日まで湿潤養生する。
- b) 養生は、温度を $21 \pm 3^\circ\text{C}$ に保ち、湿度を95%以上に保つことの出来る恒温恒湿養生箱中で行なうことを原則とする。但し、予備的な調査等の場合には、底部に水を入れたデシケーター等を用いて湿潤状態を確保し温度変化の少ない室内に保存しても良い。この場合は養生期間中の毎日の最高室温、最低室温を記録しておく。
- c) 養生期間(材令)は、1日、3日、7日、21日、60日、180日、360日を基準として試験目的に応じて2.4.2を参考として定めると良い。

#### (2) 一軸圧縮試験

- a) 所定の材令で、モールドを湿潤箱より取り出し、「土質試験法」の土質工学会セン断試験法委員会案(1969)に従って $\phi 3.5\text{ cm}$ 、高さ8 cmに成形し一軸圧縮試験を実施する。強度が高く成形の困難な場合には、両端面を成形して $\phi 5.0\text{ cm}$ 、高さ10 cmの供試体を用いる。
- b) 使い終わったモールドは、紙ヤスリ等で錆を落として、内側にグリースを塗布して組立て、次の実験のために準備しておく。
- c) 処理土は、材令によって急激に強度が増加するから、一軸圧縮試験の力計は容量20 kgから容量1~2 tまでの範囲で各種準備する。

### 3.2.5 データ整理方法

羽田沖の粘土を、初期含水比60%、160%に調整、生石灰混合比を5、10、20%として処理した例を用いて、データ整理方法を示す。

#### (1) 試験計画(付表-1)

2.4.2で説明した試験計画に沿って樹てた計画の一例

で、供試体作成日、一軸圧縮試験の実施日等を記入しておく。

#### (2) 含水比整理(付表-2)

3.2.3(1)b)c)で測定した $W$ の平均値は、計画した含水比 $W_{io}$ より小さい。このため、試料の調整に際しては水を加えたが、この時の含水比 $W_i$ (3.2.3(3)c)で測定)は、ほぼ $W_{io}$ に等しい。混合後の含水比 $W_m$ も記録する。

なお付表-2で(1)は蒸発皿番号、(2)は蒸発皿重量、(3)は蒸発皿+湿潤土の重量、(4)は乾燥後の重量、(5)は含水比を示す。

#### (3) 試料調整、石灰処理計算記録(付表-3)

$W_t$ : 混合処理に必要な試料土重量

$\Delta W_w$ : 含水比調整のために加える水量

$W_T = W_t + \Delta W_w$

$W_{cao}$ : 混入生石灰重量

#### (4) 一軸圧縮試験データシート(付表-4)

付表-4の上部に付表-2、付表-3の結果を取括める。下部に一軸圧縮試験結果を取り括める。

$H$ : 成形した試料高さ  $q_u$ : 一軸圧縮強度

$D$ : 成形した試料直径  $\epsilon_f$ : 破壊歪

$W_D$ : ビーカー重量  $e$ : 間隙比

$W_D + W_S + W_W$ : 試料重量+ビーカー重量

$S_r$ : 飽和度

$W_D + W_S$ : 同上乾燥重量

$W_f$ : 試料含水比

$A$ : 断面積

$V$ : 体積

#### (5) 一軸圧縮試験結果(付表-5)

付表-5の $A_{WR}$ は真の石灰混合比で次式によって求められる。

真の乾燥重量  $W_{DR}$

$$W_{DR} = \frac{W_T}{1 + W_i}$$

$$A_{WR} = \frac{W_{cao}}{W_{DR}} \times 100 \quad (\%)$$

#### (6) 報告

以上の結果から、材令の対数を横軸に強度 $q_u$ を縦軸に整理し、付表-1~5、ボーリング柱状図、各種土質試験結果と共に報告する。



付表-1 試験計画例

試料名	初期含水比 $W_{10}$	生石灰混合比 $A_w$	材令 $T_c$	供試体作成日	試験日	モールド番号		
羽田 No. 1	60%	10%	7 d	9月2日	9月9日	69, 58, 59		
			21 d	p. m. 1:30	9月23日	62, 67, 129		
羽田 No. 2	160%	5%	3 d	9月20日	9月23日	52, 53, 54		
			7 d		a. m. 10:00	9月27日	56, 63, 66	
			21 d	9月3日	9月24日	20, 22, 28		
			60 d		p. m. 1:45	11月3日	36, 39, 41	
			160%	10%	3 d	9月22日	9月25日	51, 64, 68
					7 d		a. m. 11:00	9月29日
	21 d	9月16日			10月7日	1, 4, 8		
	60 d				a. m. 10:00	11月16日	16, 21, 5	
	160%	20%	3 d	10月1日	10月4日	25, 27, 35		
			7 d		p. m. 2:00	10月8日	18, 55, 56	
			21 d	9月17日	10月8日	61, 48, 49		
			60 d		p. m. 2:30	11月17日	15, 14, 9	

付表-2 含水比整理例

DATE	SAMPLE No.	KIND OF TEST	D. No.	$W_D$	$W_D + W_S + W_W$	$W_S + W_W$	$W_D + W_S$	$W_W$	$W_S$	$W = W_W / W_S$	MEAN
9/1	羽田 No. 1 $W_{10} = 60\%$ $A_w = 10\%$ $T_c = 7d,$ 21d	含水比 ( $W$ )	S 385	22.996	41.366		34.629			57.91	58.06%
			S 153	22.995	46.726		38.005		58.10		
			S 343	23.003	48.738		39.276		58.15		
			S 381	23.009	40.752		34.239		58.00		
			S 161	22.989	42.591		35.385		58.13		
9/2	21d	含水比 調整後 ( $W_i$ )	S 39	22.988	40.962		34.258			59.49	59.53%
			S 143	22.998	40.090		33.709		59.57		
			S 374	23.004	36.984		31.767		59.53		
9/2	21d	生石灰 混合直後 ( $W_m$ )	S 138	22.996	46.064		38.621			47.64	47.69%
			S 163	22.999	51.347		42.194		47.68		
			S 45	23.002	46.114		38.647		47.73		
			(1)	(2)	(3)		(4)		(5)		

石灰安定処理土の基本的特性に関する研究 (第1報)

付表-4 一軸圧縮試験データシート例

		試料種類		羽田 No. 1	
一軸試験実施日	9月9日	試料作成年月日	9月2日		
$W_i$	59.53 %	原試料含水比	58.06	%	
$A_w$	10 %	原試料重量	(乾燥) 1,300 g	(湿潤) 2,055 g	
$T_c$	7 day	目標調整含水比	60.0	%	
混合直後含水比 $W_m$	47.68 %	添加水量	25.2	cc	
		添加生石灰量	130	g	

モールド No. 69

$H$	試料重量 131.776
8.00	
7.96	
7.98	
ave 7.98	

ビーカー No. 9

$D$	$W_D$ 64.772
3.56	
3.53	
3.51	
ave 3.53	



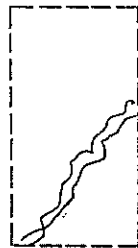
$q_u$	9.31 kg/cm <sup>2</sup> ( kg Ring)	
$W_D+W_S+W_w$	179.774	$W_D+W_S$ 143.009
$W_f$	46.99 %	
$A$	9.796 cm <sup>2</sup>	
$V$	78.169 cm <sup>3</sup>	
$\gamma_t$	1.686	$\gamma_u$ 1.147 g/cm <sup>3</sup>
$e$	%	
$S_r$	%	$\epsilon_f$ %

モールド No. 58

$H$	試料重量 131.586
7.98	
7.98	
7.95	
ave 7.97	

ビーカー No. 22

$D$	$W_D$ 81.534
3.53	
3.53	
3.54	
ave 3.53	



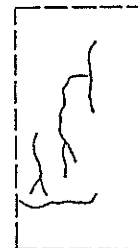
$q_u$	9.24 kg/cm <sup>2</sup> ( kg Ring)	
$W_D+W_S+W_w$	184.223	$W_D+W_S$ 151.488
$W_f$	46.80 %	
$A$	9.796 cm <sup>2</sup>	
$V$	78.701 cm <sup>3</sup>	
$\gamma_t$	1.685	$\gamma_u$ 1.148 g/cm <sup>3</sup>
$e$	%	
$S_r$	%	$\epsilon_f$ %

モールド No. 59

$H$	試料重量 130.813
7.96	
7.96	
7.98	
ave 7.97	

ビーカー No. 51

$D$	$W_D$ 87.640
3.54	
3.52	
3.50	
ave 3.52	



$q_u$	9.38 kg/cm <sup>2</sup> ( kg Ring)	
$W_D+W_S+W_w$	191.788	$W_D+W_S$ 158.476
$W_f$	47.03 %	
$A$	9.726 cm <sup>2</sup>	
$V$	77.520 cm <sup>3</sup>	
$\gamma_t$	1.687	$\gamma_u$ 1.148 g/cm <sup>3</sup>
$e$	%	
$S_r$	%	$\epsilon_f$ %

付表-3 試料作成計算記録例

9月2日	羽田 No. 1 ( $W_{io}=60\%$ , $A_w=10\%$ , $T_c=7d$ , 21d)
$Wt=(1+W) \times 1,300=1.5806 \times 1,300=2,055 \text{ gr}$ $\Delta W_w=(W_{io}-W) \times 1,300=0.0194 \times 1,300=25.2 \text{ cc}$ $W_{cao}=A_w \times 1,300=0.1 \times 1,300=130 \text{ gr}$ $W_T=Wt+\Delta W_w=2,080 \text{ gr}$	
9月3日	羽田 No. 2 ( $W_{io}=160\%$ , $A_w=5\%$ , $T_c=21d$ , 60d)
$Wt=(1+W) \times 1,300=2.5810 \times 1,300=3,355 \text{ gr}$ $\Delta W_w=(W_{io}-W) \times 1,300=0.0190 \times 1,300=24.7 \text{ cc}$ $W_{cao}=A_w \times 1,300=0.05 \times 1,300=65 \text{ gr}$ $W_T=Wt+\Delta W_w=3,380 \text{ gr}$	
月 日	( $W_{io}=\quad$ , $A_w=\quad$ , $T_c=\quad$ )
$Wt=(1+W) \times 1,300=\quad$ $\Delta W_w=(W_{io}-W) \times 1,300=\quad$ $W_{cao}=A_w \times 1,300=\quad$ $W_T=Wt+\Delta W_w=\quad$	

付表-5 一軸圧縮試験結果例

羽田 試料 No. 1

生石灰処理土の一軸圧縮試験結果

初期含水比 $W_{io}(\%)$	$A_w$ (%)	材 令 (日)	$q_u$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	$r^t$ ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )	$r^d$ ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )	$W_f$ (%)	$A_{wR}$ (%)	$W_i$ (%)
60	10	1	9.31	1.686	1.147	46.99	9.97	59.53
		"	9.24	1.685	1.148	46.80	"	"
		"	9.38	1.687	1.148	47.03	"	"
		21	15.32	1.685	1.154	46.06	"	"
		"	16.81	1.685	1.155	45.91	"	"
		"	16.76	1.685	1.156	45.75	"	"