

# 琉球大学学術リポジトリ

## 路盤の安定処理工法に関する基礎的研究(3)-島尻層泥 岩土 その1-

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学理工学部 公開日: 2012-03-27 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 上原, 方成, Uehara, Hosei メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/24012">http://hdl.handle.net/20.500.12000/24012</a>

# 路盤の安定処理工法に関する基礎的研究 (Ⅲ)

## —島尻層泥岩土 その1—

上 原 方 成\*

### Experimental Studies on Soil-Base Stabilization (Ⅲ)

#### —Shimajiri Clay, 1—

Hosei UEHARA

#### Synopsis

As a serial theme of the soil-base stabilization investigations on Okinawa Islands, the results and interpretations of a laboratory study of the Shimajiri Formation Clay treated with the portland cement or quick lime, to improve the local materials, are presented.

First, the geological conditions of the formation and the general properties of the other representative soils of Okinawa Island are reviewed. Also, the nanatural state and fundamental properties of this montmorillonitic clay are briefly explained. Then, the physical properties and compaction and strength characteristics of the raw or treated soil are discussed. Continuous studies on this problem will be reported in future.

#### 1. まえがき

本県経済の高度成長とともに、自動車交通の発展もめざましく、1969年度における本県の自動車保有台数は89,300台で、これは人口100人あたり4.2台の普及率である。それに対して、道路事情はどうかと言うと、その整備状況は香しく、主要幹線で改良率79.1%、舗装率68.6%、主要道路で改良率53.8%、舗装率36.2%、一般道路では改良率27.6%、舗装率18.9%となっている。全国平均改良率の44.1%、九州平均の41.8%に対して本県平均は48.2%となるが、内容的には、主要道路および一般道路(県道に相当するもの)が全国平均や九州平均より低く、整備のおくれが指摘されている。舗装率についてもまた同様である。このようなことから、道路整備の目標および施策を確立し、その事業の推進を急なければならない。そのためには、現在認定道路の整備、市町村道の整備(一次改築および二次改築)はもとより、新設道路(縦貫道路や環状線など)の早急な計画とその実現方をはからなければならないだろう。†

以上の観点から、道路材料の需要は、今後益々高まり、従来、路盤材としてまたは簡易舗装材として利用されてきたコーラルリーフロック(石灰岩石粉)のほかに、沖縄本島中南部に広くかつ大量に分布する島尻層泥岩土の活用を考えたい。この泥岩土は、第三紀島尻層群中において、一般に、地山状態(Natural State)では硬く強固であるが、掘削攪乱すると強度の激

\* 受付：1970年12月15日 † 沖縄長期経済開発計画 琉球政府 1970. 7

\* 理工学部土木工学科

減をきたすなどの欠点があって、これまで、消極的にまたは、臨海埋立や埋戻しに利用されているにすぎない。本研究は、沖縄の地域性に即した道路々盤等の改良発展工法に関する基礎的研究の一つで、島尻泥岩土の基本的性質や工学的特性を調べ、改良の方法を見出すことを目的としている。今回は、沖縄本島島尻層泥岩土の生成（地質状況）、基本的性質、セメントや石灰による安定処理後の物理的および力学的性質の一端について報告する。

## Ⅱ 島尻層泥岩土に関する地質

### 1. 沖縄諸島の地質概要

沖縄諸島の地質については、古くは半沢博士らのすぐれた調査研究（1935）があり、第二次大戦後には、米軍の軍事地質に関する調査報告（1954、'59、'60）やS.F.MacNeil（1960）、小西健二（1963、'64、'65）の研究報告、更には、沖縄天然ガス調査団による調査報告（1967、'69）がある。これらについての総括的な報告はすでに行なっている\*ので、ここでは、一連の図および表をもって説明にかえたい。

表-1a 琉球群島の地史一覧表（半沢）

	地質時代		地質変動		備考
	世界	琉球	琉球群島	日本	
1	古生代 (二疊紀)		琉球群島の主軸山脈の核心成る		奄美大島、沖縄本島北部、伊平屋列島、慶良間列島、石垣島、小浜島成る
2	中生代 上部二疊紀 ↓ 下部中生代		火成岩噴出し、地殻変動を起す。 大気の風化作用を受ける。		地層の歪曲、褶曲、断層等を生ず。脊梁山脈は数個の山塊に分割さる。
3	新生代古 第三期前期	宮良期	陸地下降す。宮良層堆積。	秋津期	琉球群島大部分海中に没す*
4	同古第三期 後期		陸地上昇す。宮良層海上露出。	高千穂期	
5	同新第三期 前期	八重山期	陸地降下す。八重山夾炭層堆積。		八重山夾炭層下部に火山灰の薄層あり
6	同新第三期 中期	島尻期	島尻層、祖納礫層堆積す。 火山爆発。	瑞穂期	琉球群島の大部分海中、トカラ列島鳥島、粟国島、久米島爆発
7	同新第三期 後期	後島尻期	陸地著るしく上昇す。	矢部教授説 大陸時代	全日本、琉球群島、台湾、アジア大陸接続、約700米上昇
8	同上	同上	陸地著るしく降下す。 造礁珊瑚繁殖		琉球群島の高山の山頂のみ海面上にあり
9	新生代第四 紀洪積期	琉球期	陸地上昇す。琉球石灰岩海上露出		約720米沈下
10	同第四紀 洪積期中期	後琉球期	陸地降下す。国頭礫層堆積	敷島期	
11	同第四紀 洪積期後期	国頭期	陸地上昇す。国頭礫層露出		

\*上原；沖縄の地質および土質事情、第68回建設技術講習会テキスト(1970)

(次頁へ続く)

12	同 第四紀 沖積期前期	後国頭期	陸地降下す。沿岸に裾礁		各島20米以上沈下
13	同 上		陸地上昇す。隆起珊瑚礁露出		各島2~20米上昇、 海岸段丘(ベンチ)作る。

表-1b 琉球群島の地層

地層	岩石および地質構造	地層	岩石および地質構造
古 生 層	片岩、珪岩、板岩、礫岩、輝緑凝灰岩 千枚岩、結晶片岩、ラヂオラリアン珪板 岩、結晶質石灰岩。 上記岩石の一部は火成岩によって貫入。 花崗岩、斑岩、珪岩噴出し、激しい褶曲 および反転を受く。 一般走行は大島および沖縄島では北北 東-南南西、八重山群島では東-西。 注)小西によれば一部は中生層に属す。	琉 球 石 灰 岩	白色又は淡黄色を呈し、珊瑚の遺骸、深海 性珊瑚有孔虫、石灰質海藻等含有。 古生層、宮良層、八重山夾炭層、島尻層 および祖納礫層の上で不整合に重なる。 by MacNeil `琉球層群、 那覇石灰岩(第三紀鮮新世) 硬質~軟質、白色、淡黄色又は褐色不 均質、層状堆積 読谷石灰岩(第四紀永河期) 更新世質粗く、硬固ならず、多孔質の もの多し。 牧港石灰岩(第四紀永河期後期) 粒状珊瑚が粗に固結堆積俗称粟石
			宮 良 層 群
八 重 山 夾 炭 層	軟い淡褐色の砂岩と灰青色の頁岩が安山 岩質の熔岩、凝灰岩および集塊岩を bed rock として互層を成す。 層中に石炭層を夾在、 宮良層群の次に堆積す。	国 頭 礫 層	一般に赤土と本層以前にできたすべての岩 石の丸い礫より成る。表面は概して赤色又 は褐色。再々砂と淡褐色又は青味帯びた褐 色粘土から成る薄層と互層を成す。
島 尻 層 群	軟い淡青色泥灰岩、軟い褐色砂岩。 久米島では安山岩質熔岩および集塊岩と 接続。沖縄島では古生層の削磨面に直接 重なる。他の島々では本層が基盤を構成 注)福田らは新里層、与那原層、那覇層に 分く	沿 岸 地 積 隆 起 珊 瑚 礁 お よ び	造礁珊瑚で暗礁に附着する有機物質(有孔 虫等)を伴う。 海に向って傾斜し、現在の沿岸珊瑚礁と直 接連続。
祖 納 礫 層	丸く削磨された硬砂岩、石灰岩の礫、漂石 八重山夾層より若く、琉球石灰岩より古 いが、島尻層群の上部か下部かはなお 疑問	砂 丘	有孔中の砂。 再々軟い石灰岩(琉球石灰岩異質)と結合。

沖縄地質図

1 : 500,000

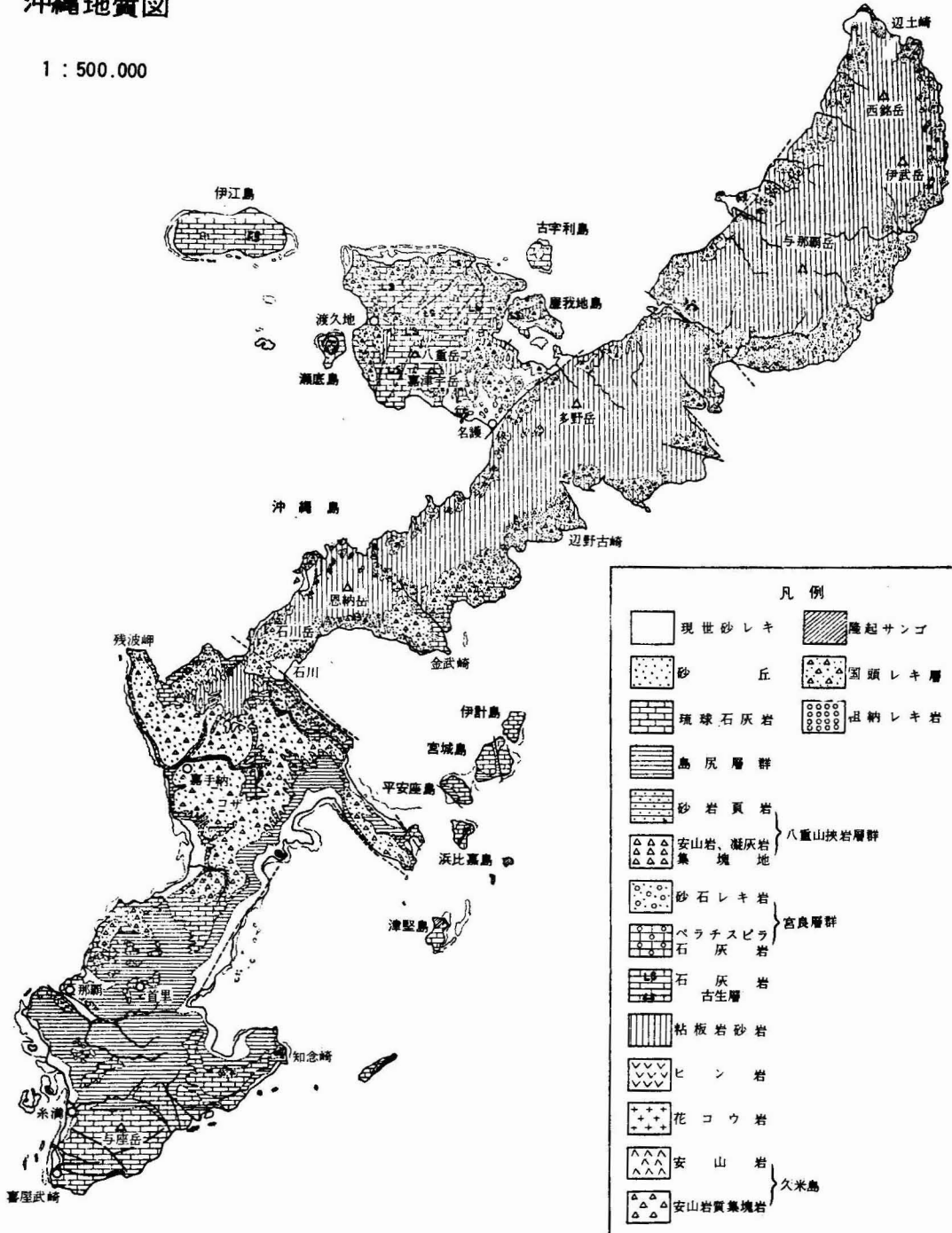


Fig. 1-a Geological Map of Okinawa Island

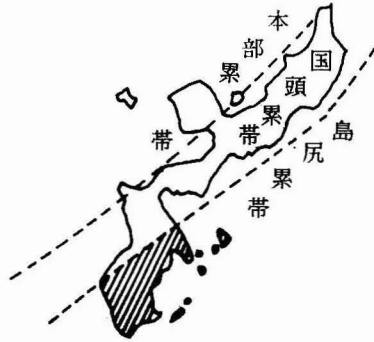


Fig. 1 - b Tectonic Belts of Okinawa Island (小西健二、1965 )

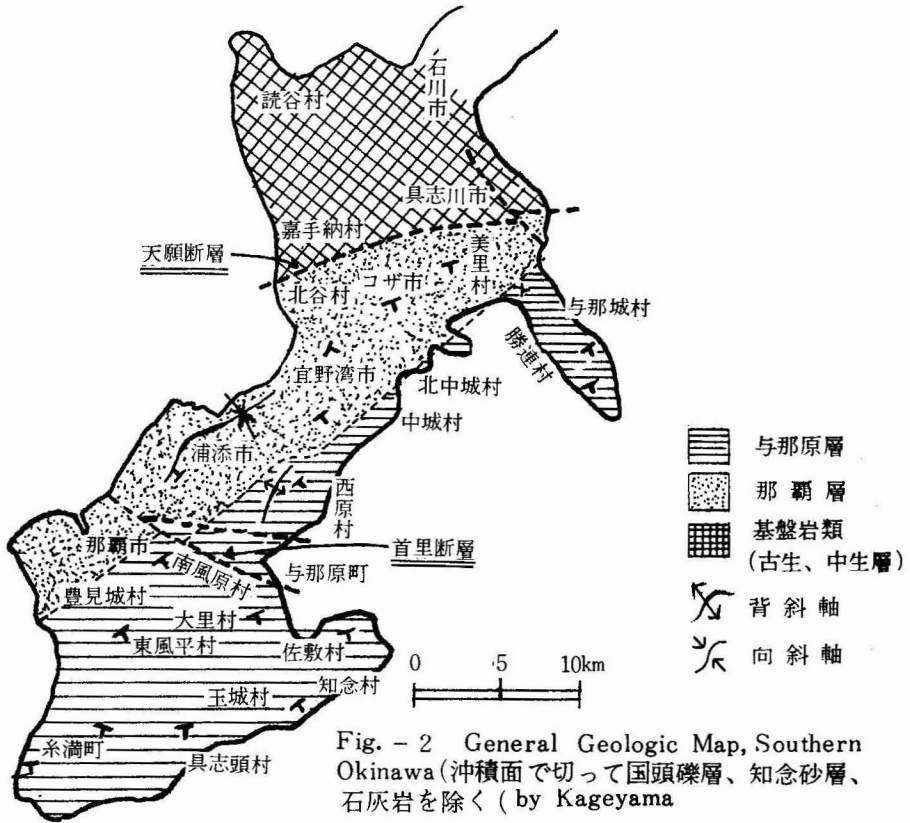
2. 島尻層群の地質構造と層序

本層群の地質時代に関しては、未だ明確にはなっていないが、従来の調査研究からは、“上部中新世の最下部から鮮新世にまたがる地層”<sup>(1)</sup> であると言えるようだ。沖縄本島南部地区の資料による地層区分は表-2のとおりである。小西によれば、沖縄本島は、本部、国頭および島

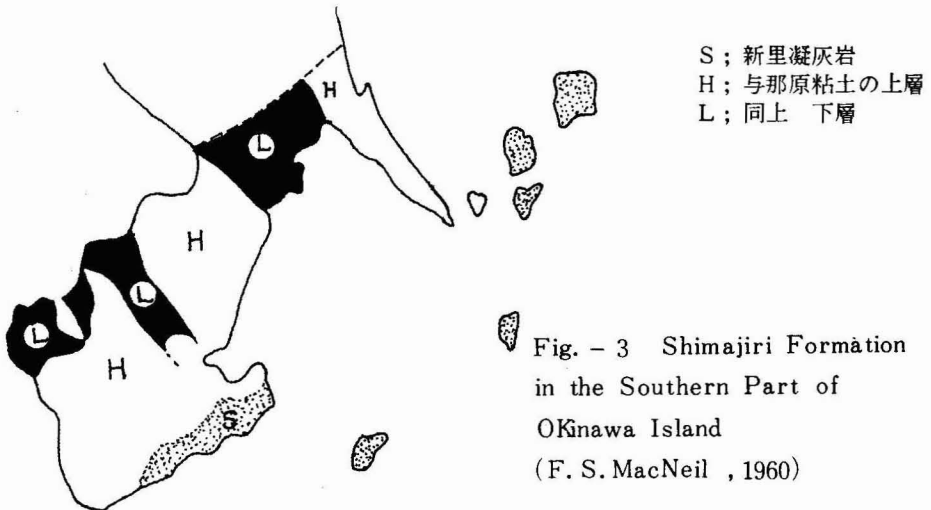
表-2 沖縄本島南部島尻層群層序区分対称表

紀	世	半沢(1935)	MacNeil (1960)		牧野、樋口 (1967)	福田、影山 (1967)		
四紀	鮮新世	琉球石灰岩	一部国頭礫層	読谷石灰岩	琉球石灰岩	琉球石灰岩		
				那覇石灰岩				知念砂層
第三紀	中新世	島尻層群	島尻層群	新里凝灰岩	島尻層群	島尻層群	新里層	
				粘土、シルト質砂層			南風原部層	与那原層
				塊状砂層			小禄部層	那覇層 小禄砂岩 未区分

尻の三累帯に区分され、島尻累帯を区分するものは、天願断層（北谷村砂辺—嘉手納飛行場の真中—コザ市白川—美里村平田及登川—具志川市宇堅天願川下流、この間具志川市安慶名では北西—南東に走る別の断層が交わる）であり、この南落ちの正断層以南を島尻層群分布地域としている。また、本地域ではもう一つの断層＝首里断層（那覇市泊港—安里—松川—南風原村新川—与那原町与那原に至る）があって、これは西北西—南東の走向をもつ北落ちの正断層であると言われている。一般的に言って、本島群の各層は、北東—南西の走向で、南東にゆるく傾斜している（図-2参照）。また、天然ガス調査団の地表地質調査によれば、南部の本層厚は、



約2,500mにも達し、灰色、帯緑色、青灰色シルト岩、泥岩及細粒砂岩等から成り、上位から新里層、与那原層、那覇層の3層に区分されている (図-3、および表-3参照)。なお、那覇2



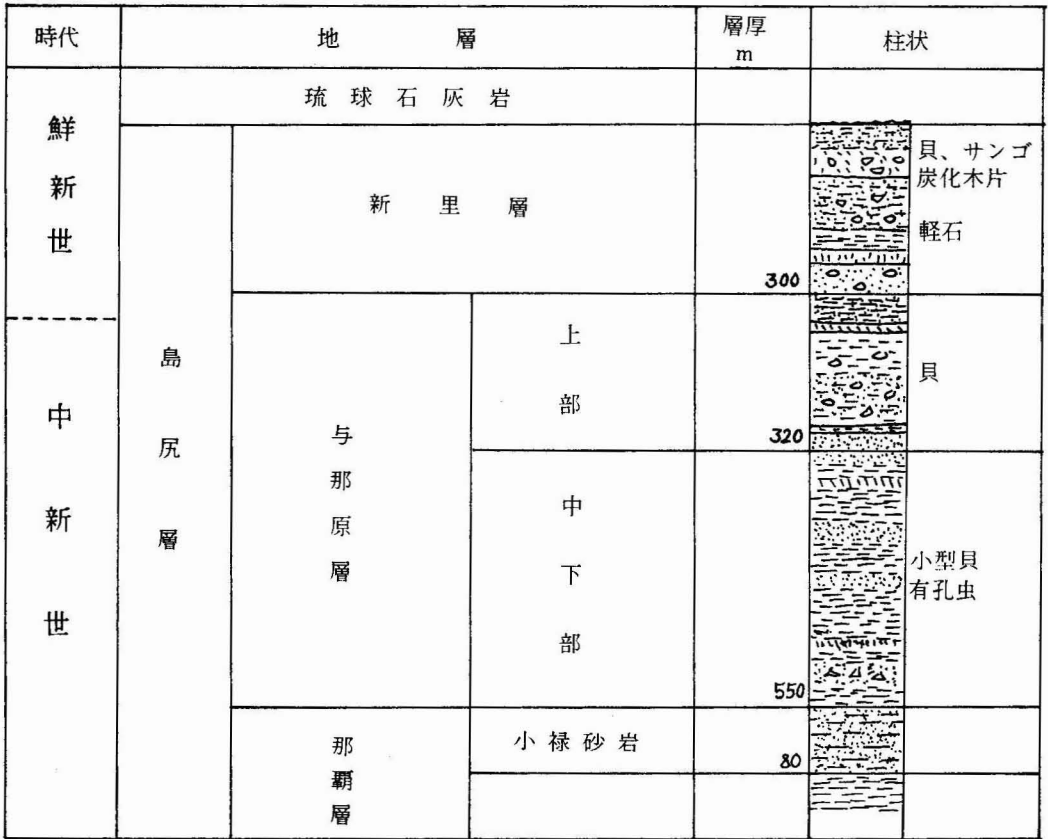


Fig. - 4 Soil Profile of Shimajiri F. in southern Okinawa  
(工業研究指導報告第2号、1968)

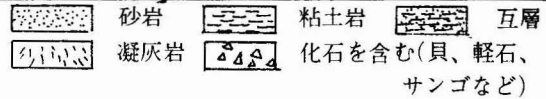


表-3 地表地質調査による島尻層群地質層序  
(工業研究指導報告第3号、1970)

地層名	層厚	特 徴
新 里 層	約250m	1. 下位の与那原層の上に整合に重なり、琉球石灰岩を主とする第四系にお われている。 2. 基底部は砂岩を主とし、それより上位は粘土岩(泥岩)を主とした互層である。 3. 基底より上位約20mは砂岩と泥岩の互層で、基底部には磨砂凝灰岩(安山岩 質結晶凝灰岩)を数枚はさみ、軽石の円礫を多量に含む細～中粒砂岩がある。 4. 本層の主体をなすのは基底部の上に重なる帯緑灰色泥岩を主とし、砂岩を従 とする互層で、貝、サンゴの化石や炭化木片(貝化石は水深200～300mに生 息するものが多い)を産出する。この部分の上部にも凝灰岩がはさまれている。
全 体 上 部 層	約900m	1. 地表で見られる島尻層群の主体をなすものでその分布も広い。本層の貝化石 は300～500mの水深に生息するものが多い。 2. 主として帯緑あるいは帯青色の泥岩から成り、砂岩および凝灰岩をもはさむ。
	約350m	1. 本部層の下限は厚さ4～5mの微細粒砂岩の始まるところとした。 2. 本部層の上位と下位には厚さ20～30cmの磨砂凝灰岩(安山岩質結晶凝灰岩) がある。 3. 本部層は下位の中、下部層に比して貝化石が多い。

(次頁へ続く)



中部層	約500m	1. 本部層は主として散在する浮石片に富む泥岩から成る。 2. 全層にわたって凝灰岩の薄層を夾有するが、上半部のもは安山岩質、また下半分のもは石英安山類である。
下部層	約50~80m	1. 本部層の最上位には貝化石を含む細粒砂岩があり、与那原層中の良好な鍵層となっている。 2. この砂岩は風化するると黄褐色となり、特に厚く発達する付近では小禄砂岩に似ているが貝化石が含まれていること、重鉱物組成が異なることから両者を区別することができる。 3. 上記砂岩の下位に本部層の主体をなす泥岩があり中位には厚さ数10cm以下の細~中粒砂岩と凝灰岩の薄層を夾有する。
那覇層	約1150m	1. 本層はかなり厚い層で、地表には最上部の65cmほどしか露出してない。そのうち60mは小禄砂岩として知られている砂質岩層である。 2. 小禄砂岩は主として帯緑灰色の粘土、シルト質微細粒~細粒砂岩から成り、薄い泥岩をはさむことがある。全般的に雲母片に富んでいる。 3. 地表において小禄砂岩以下の那覇層が見られるのは、那覇市小禄付近と豊見城村我那覇付近だけであり、両地域とも5m前後の帯緑灰色の泥岩がわずかに頭部を現わしているのみである。

号試験井（天然ガス調査団による）によれば、基盤岩類は、硬質泥質微細粒砂岩と黒色粘板岩の互層から成っている。島尻層群中の重鉱物については、新里層中に紫蘇輝石50%、普通輝石20~30%、与那原層中に普通角閃石多量、普通輝石、那覇層中には小禄砂岩、青緑色角閃石多量、緑麻石、普通角閃石10~20%含有されているとの報告がある。島尻層群の露出地としては、沖縄本島のほかに、喜界島、平安座島、池離島、浜比嘉島、久米島、宮古島があげられている（半沢）。

### Ⅲ 島尻層泥岩土の基本的性質

#### 1. 沖縄本島の諸土壌概説

沖縄における土の生成は、その地質条件から、沖積世堆積物（隆起サンゴ礁、沿岸地積）新生代第四紀洪積世堆積物（国頭礫層）、第三紀鮮新世~中新世堆積物（琉球石灰岩、島尻層群）および古生代~中世代の古生層石灰岩等に起因するのがほとんどである。これから成る表層土壌を鴨下ら（1952）は、表-4のように類型を行なっている。鴨下らや松坂らの調査報告から

表-4 沖縄島における土壌型（鴨下、横井、兼松、1952）

土 壤 型	地 質 系 統、母 岩	俗 称	
気候的土壌型赤色土	国 頭 礫 層	国 頭 マ ー ズ	
岩石土壌型	テラロサ様土	隆起サンゴ礁	島 尻 マ ー ズ
		古生層石灰岩	国 頭 マ ー ズ
	レンジナ様土	第三紀島尻層泥岩	クチャ、ジャーガル
		同上石灰質砂岩	ニービ、ウジマ
地形土壌型岩屑土	古生層粘板岩等	国 頭 マ ー ズ	
地下水土壌型	沖積層（海岸、河川）	カ ニ ク	

あらまし次のように言える。

赤色土は、気候的土壤型の一つとして、高温多湿なる気候下に生成し、わが国本州中部以西より台湾にわたって出現する。沖縄本島では、国頭地域東部、本部半島東部、中頭地域北部の台地上に分布する。一般に、粗、細、微砂から粘土分（その含量多し）まで含有し、強酸性土として知られ、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  および  $\text{CaO}$  または  $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  が多く検出されている。テラロッサ様土は、元来、冬季湿潤、低温；夏季乾燥、高温（たとえば地中海地域）下の石灰岩地帯に生成するものであるが、沖縄では、サンゴ礁の風化の際にサンゴ中の不純物、特に鉄、石灰珪酸等が赤色または赤褐色の土状を呈する残滓として堆積したものである。沖縄本島島尻地域南部、中頭地域西部の隆起サンゴ礁上に広く分布しているが、一方、本部町、国頭地域北部の古生層石灰岩地帯の削剝の結果生成されたカルスト地形面上に分布しているものもこの類に入れられている。両者とも一般に、礫、粗砂分は少なく、細、微砂分や、多く、そして粘土分がかなり含まれている。土性は中性～微アルカリ性で、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、および  $\text{CaO}$  または  $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  が多く検出されている。レンジナ様土は、母岩の化学性が著しく影響している土壤型で、石灰質母岩の破片を含み、黒色または暗灰色を呈し、炭酸石灰を多量に含有している。沖縄本島南部から中頭地域にかけての丘陵地に広く分布し、泥岩に由来するものと、石灰質砂岩に由来するものがある。前者は、細、微砂もや、含まれるが粘土分（シルトサイズ以下）が圧倒的に多く、中性または微アルカリ性土で、やはり、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  および  $\text{CaO}$  または  $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  が多く検出されている。後者は、砂質土で細～微砂分が圧倒的に多く、乾燥しやすいが、化学組成は前者と同様である。岩屑土としては、古生層地帯を主とした粘板岩分布地域にみられ、一般に、灰色を呈しているが赤色に向かう傾向にある。粒度組成は、礫、粗・細微砂をほぼ一様に含有し、粘土分がそれより多い。分析の結果は、強酸性土で、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  が多く検出されている。地下水土壤型とは、地下水の影響を著しく受けて、酸化鉄、亜酸化鉄の存在により赤褐色、青褐色を呈している土である。沖縄本島では、海岸地の低地々帯や河川沖積に局部的に分布し、一般に粗、細、微砂、粘土分の順に漸増して含まれている。本土壤では、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  のほかに  $\text{MgO}$  が多く検出されている。

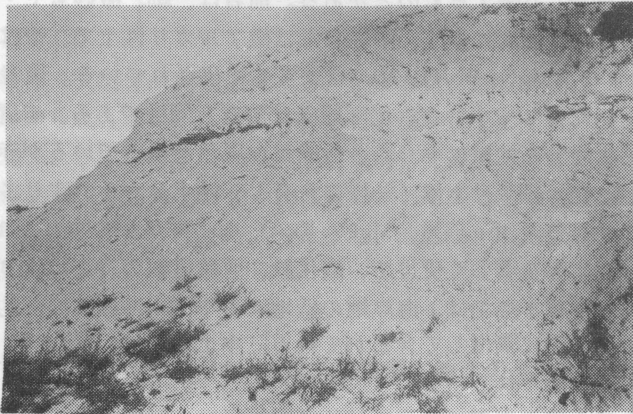
小林、品川（1966）<sup>(5)</sup>によれば、上記土壤含有の細砂分の鉱物は、一般に、長石類が30%以上、そのほか輝石類、磁鉄鉱、角閃石類、磷灰石、ジルコおよび風化鉱物となっている。また、粘土鉱物については、島尻層泥岩に由来する土（本研究試料土）の14Å鉱物としてモンモリロナイト、バイデライト、ノントロナイトの膨脹型2：1型鉱物が主で、そのほかに10Å鉱物のイライトが考えられている。なお、Mg-粘土（14Å）、K-粘土（13Å）などが認められている。石灰質砂岩に由来する土の主要鉱物は、パーキュライト、イライト、ハロイサイト、ギブサイトおよびゲータイトが認められている。琉球石灰岩土壤では、イライト、パーミキュライトが多く、古生層石灰岩土壤ではハロイサイトが多いと考えられるが、両土壤ともそのほかギブサイト、ゲータイトがあげられている。国頭礫層に由来する土ではイライトや14Å鉱物が支配的で、他にギブサイト、マグネタイト、ヘマトイのピークが認められている。古生層粘板岩に由来する土は、14Å鉱物として少量のAlを層間にはさむパーミキュライト、10Åのイライト、7Åのハロイサイトのほかゲータイト、マグネタイトを含むと考えられているが、風化が進むにつれてイライト、パーミキュライトが少なくなり、結晶度のよいハロイサイトが多くなるようである。

なお、沖縄本島各地の土について（上記のような生成類型には関係なく）のコンシステンシ  
※  
ーは、別の目的で一部報告してあるのでこゝでは省略する。

## 2. 島尻泥岩土 (Shimajiri Clay)

島尻層群中の泥岩に由来する粘土を、吾々は通常、島尻粘土と称しており、方言でクチャと呼んでいるものである。本粘土は、すでに述べたように、沖縄本島中南部に多く分布しており、泥岩（半沢は泥灰岩と称す）として地山の状態ではかなり堅硬で、一般的にいて、基礎支持力の問題はなく、良好な地盤として認められている。那覇市内のある地点で、載荷試験の結果、破壊荷重400トン、降伏荷重300トンという記録がでており、一方、未攪乱試料（塊状体から供試体成形）で、一軸圧縮強度 $28\sim 40\text{kg/cm}^2$ が得られている<sup>(6)</sup>。たゞ、本層の堆積条件によっては強度に変動があったり、層間すべりを生じたり、また、島尻層群の沈下状況については未だ調査研究がなされていないなどとあって注意を要する。更に、本層を掘削し風雨にさらすと、風化現象が顕著にあらわれ、材料土としての取扱いなどについては今後一層の研究が必要である。

今回の試料土は、豊見城村豊見城中学校西南の与那原層に属するもので、ブルドーザーで掘りおこしたものを実験室に搬入し、気乾粉碎したもので（写真1、2、3参照）、掘削搬入時



Picture 1

Picture 2



※上原；器具の相違による液性限界値のちがいと一点法の適用について 琉球大学理工学部  
紀要工学篇第2号(1969)

Picture 3



の含水比（自然含水比とみなす）は、およそ25%であった。これをJ I S A 1201により試料調整を行ない、粒度および物理試験を行なった結果は、表-5に示す通りである。また、木づち等で粉碎したあと、19.1mmフルイ通過分、5mmフルイ通過分および2mmフルイ通過分の粒径加積曲線は図-5に示してある。

表-5 試料土の物理的性質

比重 2.764		液性限界 59.60 %			塑性限界 22.57 %			収縮限界 20.37 %	
粉砕土	粒径 レキ分 %	砂分 %	シルト分 %	粘土分 %	2000 μフルイ 通過率 %	420 μフルイ 通過率 %	74 μフルイ 通過率 %	分類	
					三角座標	統一法			
2mm以下	0	27.23	47.67	25.00	100	99.72	90.15	粘土質ローム	CH

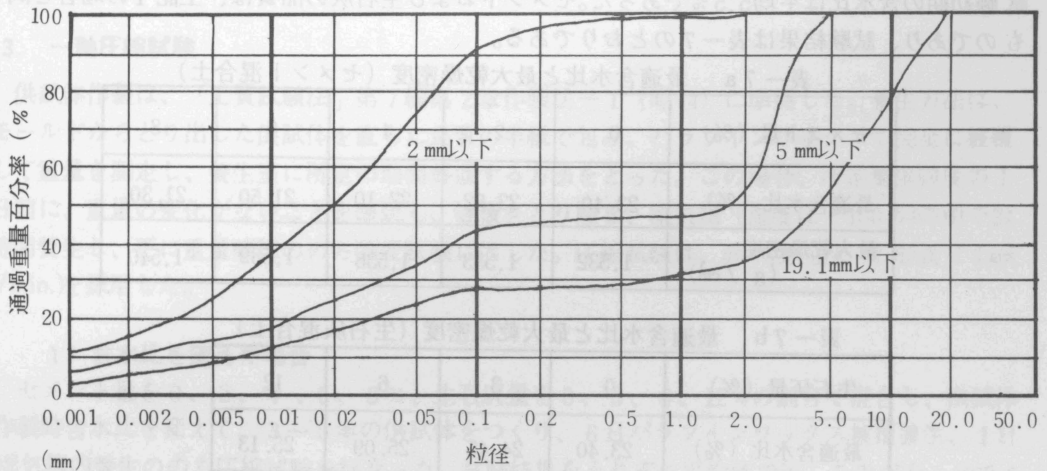


Fig. - 5 Grain Size Distribution

## Ⅳ 安定処理土の物理的および力学的性質

### 1. コンシステンシー試験

本試験は、JIS A 1205-1969、JIS A 1206-1969、およびJIS A 1207-1969に準じて行なった。試料土は、あらかじめ粉碎し調整を行ったものを用いたが、セメントおよび生石灰<sup>\*</sup>については、特別に試験を行わず市販品をそのまま使用した（以下の諸実験についても同様）。テストは、セメントまたは生石灰添加混合後たゞちに行ない、その混合比は土乾燥重量に対する割合で表示した。試験結果は、表-6に示す通りである。

表-6 セメントまたは石灰添加土のコンシステンシー

セメント又は石灰 %	セメント添加土				石灰添加土			
	0	2	4	6	0	3	6	9
L. L.	59.60	58.30	57.50	55.23	59.60	57.20	55.80	53.15
P. L.	22.57	30.18	34.68	37.52	22.57	28.70	31.71	33.73
S. L.	20.37	28.40	31.51	33.95	20.37	25.85	28.30	30.35

### 2. 締固め試験およびC.B.R.試験

#### 1) 突固め試験

本試験は、JIS A 1210の規定に準じて行なったが、モールドは内径9.98cm、高さ12.74cm、ランマーは2.5kgのものを使用した。あらかじめ粉碎しておいた試料の4,760 $\mu$ フルイ通過分（その粒度分布はほぼ図-5のとおり）を用い、非繰返し法によってテストを行なった。なお、試験初期の含水比は平均5.5%であった。セメントおよび生石灰の品質は、上記1の場合と同じものであり、試験結果は表-7のとおりである。

表-7a 最適含水比と最大乾燥密度（セメント混合土）

セメント量 (%)	0	2	4	6	8
最適含水比 (%)	23.40	22.52	22.10	21.50	21.30
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.532	1.533	1.536	1.539	1.540

表-7b 最適含水比と最大乾燥密度（生石灰混合土）

生石灰量 (%)	0	3	6	12
最適含水比 (%)	23.40	24.45	25.09	25.13
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.532	1.473	1.433	1.416

\*セメント：ポルトランドセメントである。生石灰：CaO Calcitic Lime である。

## 2) C.B.R. 試験

本試験は、JIS A 1210および1211の規定に準じて行なったが、突固めには、米国製Mechanical Compactor を使用した。突固め機のランマーは10lbsの重さで、落下高は18吋となっている。あらかじめ粉碎された試料の19.1mmフルイ通過分を用い、非繰返し法によったので、各試料の粒度組成が同等になるよう心がけた。吸水膨脹試験の際の押え荷重は5kgとし、4日水浸を実施した。今回はセメント添加土についてのみ試験を行なったが、その結果を表一8および9に一部示した。

表一8 最適含水比と最大乾燥密度 (C. B. R.)

セメント量 (%)	0	0.5	1.0	1.5	2.0
最適含水比 (%)	18.25	18.03	17.20	16.85	16.60
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1,706	1,707	1,709	1,710	1,721

表一9 C. B. R. 試験結果

セメント量 (%)	突固め回数	吸水膨脹比 (%)	吸水後含水比 (%)	吸水後乾燥密度 (kg/cm <sup>3</sup> )	C B R (%)	修正CBR (%)
0	55	2.20	24.25	1,656	7.85	7.42
	25	2.38	29.29	1,545	7.25	
	10	2.85	30.32	1,480	3.90	
2.0	55	0.93	23.24	1,716	52.91	32.15
	25	1.14	25.27	1,641	33.65	
	10	1.32	29.35	1,584	18.05	

## 3. 一軸圧縮試験

供試体作製は、「土質試験法」第7編第2章作製法一1（昭44）に準拠した。養生方法は、モールドからとり出した供試体を直ちに良質の半紙で包み、パラフィンワックスで完全に被覆して重量を測定し、養生室に所定の期間静置する方法をとった。この場合、所定養生強度の1日前に、重量の変化がないことを確認し、被覆をとり除き、湿気箱（湿度ほぼ100%）の中で24時間養生し、更に重量確認ののち強度試験に供した。圧縮試験は、非水浸、歪制御形式（1mm/min.）を採用した。

### 1) 含水比を変えた場合

セメント量を0、2、4、6、8%；生石灰量を0、3、6、12%の割合で混合し、供試体作製時含水比を変えて、3～5本の供試体をつくり、6日パラフィンワックス被覆養生、1日湿気箱内養生ののち圧縮試験を行なった。試験結果をそれぞれ平均値で示したのが表一10である。

表一10 含水比を変えた場合の強度変化

セメント量 (%)	作製時含水比 (%)	作製時乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	7日一軸圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	セメント量 (%)	作製時含水比 (%)	作製時乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	7日一軸圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
0	19.72	1.421	2,440	4	24.45	1,487	12,501
	21.50	1,502	3,826		25.20	1,485	12,485
	22.03	1,537	3,827		26.88	1,462	11,466
	23.24	1,520	3,557	6	20.59	1,480	9,490
	24.75	1,518	3,173		23.62	1,498	12,800
	27.40	1,515	2,525		24.72	1,489	14,130
2	20.42	1,403	3,700	6	25.70	1,482	13,373
	21.37	1,417	4,540		26.82	1,476	13,305
	21.83	1,464	6,877		27.41	1,470	13,106
	22.65	1,492	8,207	8	20.14	1,489	10,960
	24.57	1,488	7,369		22.01	1,499	14,215
	25.82	1,480	7,356		23.00	1,480	14,437
26.59	1,478	6,951	23.77	1,471	14,797		
27.91	1,470	5,937	25.65	1,469	15,700		
4	20.89	1,485	8,290	26.37	1,460	15,609	
	21.78	1,489	10,891	27.22	1,457	15,524	
	22.53	1,498	11,520	27.46	1,447	14,607	
	23.93	1,494	12,733				
石灰量	$\omega$	$\gamma d$	$q_u$	石灰量	$\omega$	$\gamma d$	$q_u$
3	18.50	1,451	4.91		25.09	1,440	5.97
	20.64	1,462	4.96		27.03	1,442	5.95
	22.49	1,474	6.50	12	20.28	1,407	4.37
	24.45	1,476	6.87		22.22	1,411	4.44
	26.69	1,468	6.71		22.90	1,415	5.31
6	19.06	1,437	4.93	25.13	1,417	5.62	
	20.49	1,439	5.34	26.62	1,415	5.25	
	22.76	1,438	5.37				

2) 養生期間を変えた場合

セメントによる処理土について、上記1)で得られた最高強度を示す含水比で供試体をつくり、養生期間を7日、14日、21日および28日とした場合の強度増を調べた。同一条件で、それぞれの期間用として3～5本の供試体をつくり、すでに述べた養生方法によって養生したあと圧縮試験を行なった。セメント8%添加土について、その平均値をとって示したのが、表一11である。

表一11 養生日数の変化による強度変化（セメント量8%）

養生日数	7	14	21	28
一軸圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	16.06	18.40	19.50	20.25

3) 突固め仕事量を変えた場合

安定処理土ではない（処理土については未確定なのであらためて報告する）が、供試体作製の段階で、層数を3層と5層に分け、かつ、突固め回数をそれぞれ10回、25回、40回および55回と変えた場合の7日圧縮強度の変化を調べた。ただし、この場合は、2-1) で求めた最適含水比の上、下約2%差の含水比でもって供試体をつくった。試験結果は、表-12に示すとおりである。

表-12 突固め仕事量の変化による強度変化（未処理土）

層数	突固め回数 強度	10	25	40	55	作製時 含水比(%)
		7日qu	1,897	3,600	5,059	
3	7日qu	2,070	3,261	3,566	3,736	25.90
	7日qu	3,248	6,419	7,846	8,351	21.12
5	7日qu	3,030	3,344	3,617	3,342	26.17

V 試験結果の検討および考察

1. セメントまたは生石灰の添加によるコンシステンシーの変化について

粘性土に対するセメント添加の効果のうち、コンシステンシーについては、a)液性限界を減少し、塑性限界を増大して塑性指数を小さくする、b)収縮限界を増大し、含水量の変化に対する容積変化を小さくする、と言われている<sup>(7)</sup>。また、生石灰添加によっても同様の効果も知られている\*。本実験においても、従来の報告と同じような結果が得られ、したがって、島尻粘土の物理的性質の改良がなされることになる。セメントまたは生石灰の添加後試験実施までの時間（または日数）の経過によっても、その物理的性質の変化が影響されるとの報告もあるが、今回は先にも述べたように、混合後たぐちに実施しているのので、その点については今後検討してみたい。コンシステンシーの変化の度合を、原試料土を基にして増減の変化率で示せば、表-13のようになった。

表-13 セメントまた石灰の添加によるコンシステンシーの変化

セメント量 石灰量(%)	コンシステンシー変化率(%)							
	セメント添加土				生石灰添加土			
	0	2	4	6	0	3	6	12
L. L. (%)	59.60	-2.2	-3.5	-7.3	59.60	-4.0	-6.4	-10.8
P. L. (%)	22.57	+33.7	+53.6	+66.3	22.57	+27.2	+40.5	+49.3
S. L. (%)	20.37	+39.2	+56.5	+66.8	20.37	+26.8	+39.2	+45.0

注) 0%の欄はL.L. P.L. S.L. の値そのものである。

\*たとえば A.M. Johnson; H.R.B.proc. vol 28 (1948) pp. 496~507  
M. Herrin, H. Mitchell; H. R. B. Bull. 304 (1961) pp. 99~138



## 2. 突固め効果について

セメント添加土についての締固め効果については、従来の報告にもあるように、セメント量が増加すればその最大乾燥密度は増加し、最適含水比は減少する傾向にある。しかし、その変化はさほど顕著なものではなく、また、最適含水比の変化割合に比して、最大乾燥密度の変化の割合は不活発である。これから、本粘土の場合、密度の増はあまり期待できないと言えよう。後述するように、一軸圧縮強度の増はやゝ大きく得られ、セメントと本粘土の反応機構がそれにあづかっていると見えよう。今後は、本粘土の鉱物組成や含有有機物などの影響について検討されなければならないと思う。一方、生石灰添加土については、その量が増すにつれて、最適含水比は増加し、逆に最大乾燥密度は減少がみられた。これも、これまでの報告例のなかでみられるほとんどの結果と同様である。セメントまたは石灰の添加量の増による最適含水比や最大乾燥密度の増減を変化率で表わすと、表-14のようになり、両者の効果の間には差異が

表-14 セメントまたは石灰の添加量による最適含水比および最大乾燥密度の変化率（%）

セメント添加土			生石灰添加土		
添加量	O. M. C.	$\gamma_{dmax}$	添加量	O. M. C.	$\gamma_{dmax}$
2 %	-3.76	+0.07	0 %	23.40%	1,532g/cm <sup>3</sup>
4 %	-5.55	+0.26	3 %	+4.50	-3.84
6 %	-8.13	+0.46	6 %	+7.32	-6.97
8 %	-8.98	+0.52	12 %	+7.42	-7.58

うかがわれる。なお、突固め試験時の単位体積量 ( $\gamma_t$ ) について、セメントの量の増によって  $\gamma_t$  の増がみられ、含水比の増加によってピークが明確に認められたが、生石灰の場合は、その量の増による  $\gamma_t$  の増はみられずまたピークも明確に認められなかった。

## 3. C. B. R. 試験結果について

セメント添加土について、供試体作製のための突固め試験結果から、セメント量が増すとその最大乾燥密度は増大し、最適含水比は減少すると言う一般的な傾向がみられる。こゝでも、最大乾燥密度の増加割合に比して、最適含水比の減少割合（セメント量2%で約9%の変化率である）はかなり大きく、変化率でみると前者の約10倍となる。貫入抵抗でもって供試体の強度の測定と考えると、本試料土もセメントの添加によって強度が増加していることは明確である。膨脹比についても、わずかなセメント量で、未処理度約1/2（平均）という結果をもたらしている。たゞ、セメント量2%では、修正C.B.R.は、「アスファルト舗装要綱」の提案値を満足し得ないので、その量の増について検討せねばならない。実験からは、C.B.R.と作製時の乾燥密度との関係については明確な判定が得られなかったが、吸水膨脹の時間経過については、セメント量を添加することによって膨脹終了が短縮されている。未処理土は、96時間経過後もなお膨脹はとまらなかつた。

## 4 一軸圧縮強度について

### 1) 含水比が強度におよぼす影響

7日一軸圧縮強度について、含水比を変えた場合の各セメント量に対する強度の変化を図-6

※前掲 H. R. B. Proc. vol 28およびH. R. B. Bull. 304

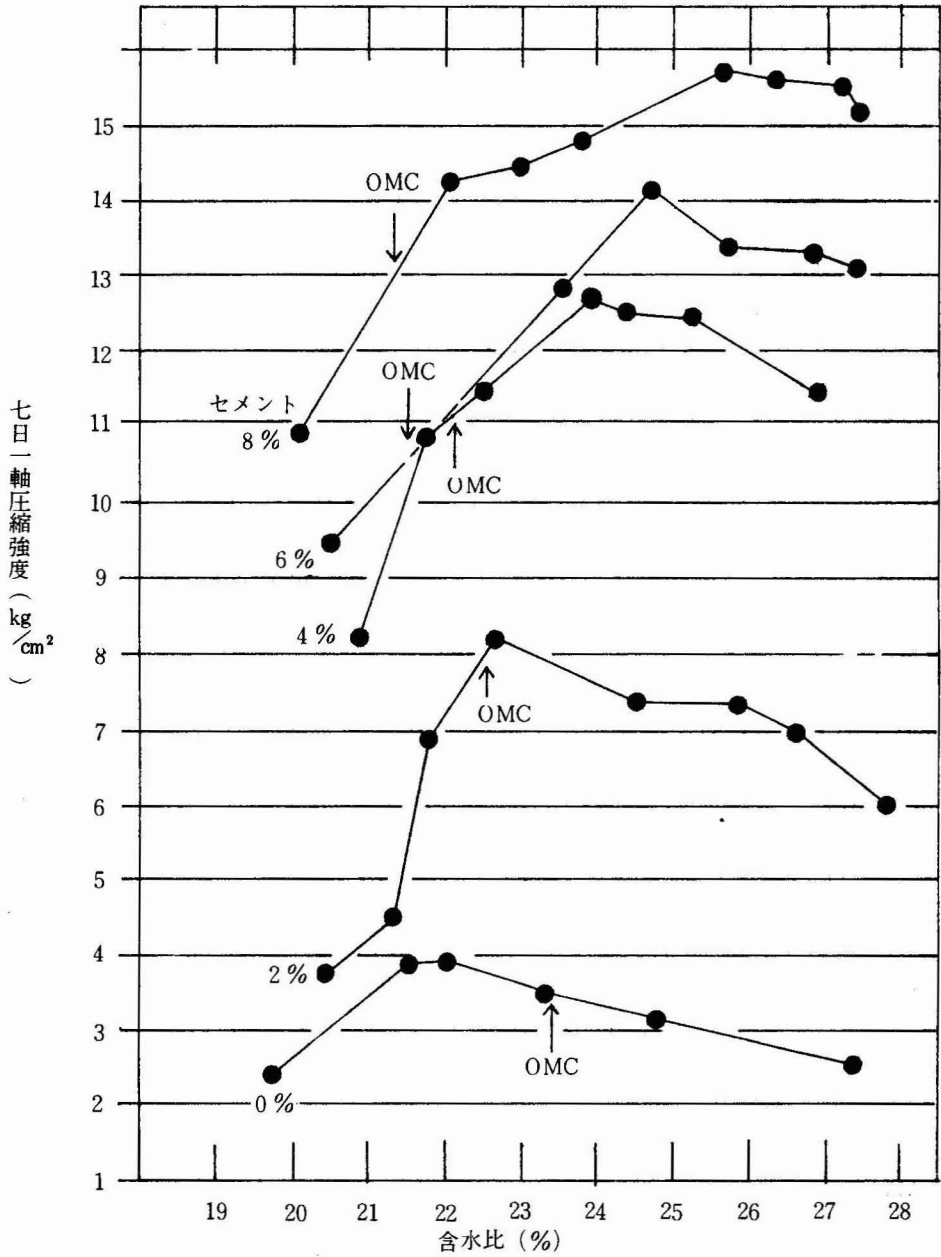


Fig. - 6 Relationship between Unconfined Compressive Strength and Moisture Content (Cement)

に示してある。図から、セメント量に関係なく含水比の変化によって、強度に変化をもたらす、ある含水比でピークを示している。このピークを示す含水比は、セメント量の増とともに高くなり、突固め試験で求めた最適含水比よりwet側<sup>\*</sup>でその差はより大きくなっている。しかも、その時の乾燥密度は小さくなっているにもかかわらず、強度の方は増幅<sup>↑</sup>されている。これは、土塊を木づち等で粉碎して、各含水比についての供試体作製試料をつくったために、それぞれの粒度組成を統一しえなかったことも一因と思うが、このセメント添加土の特性として考えられる。

生石灰の場合については、図-7に示す。含水比の変化によって、強度のピークが現われる

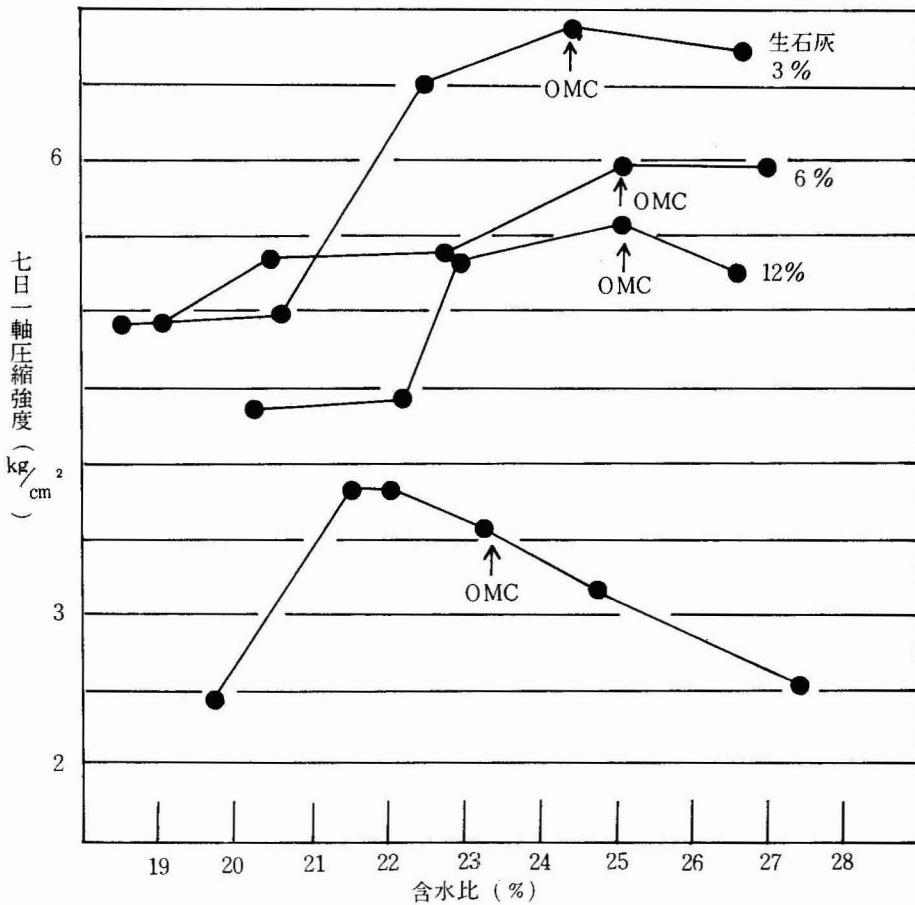


Fig. - 7 Relationship between Unconfined compressive Strength and Moisture Content (Quicklime)

<sup>\*</sup>セメント0%の場合はdry of Optimumで最大強度を示しており、T.W.Lambeらの報文(May, 1958, A.S.C.E.Proc. Paper 1655)と同様。セメント添加の場合はD.T.Davidsonらの報文(H.R.B.Bull. 267, 1960)に同様な例がみられる。

↑ 強度と乾燥密度の間に明確な関係はみられない。

ことは同様であるが、突固め試験から得られた最適含水附近で、各生石灰量とも最高の強度を示している点が異なる。また、生石灰量によって、最適含水比にあまり差異はないが、強度の方は、添加量の増加に反して低くなっている。

2) セメント量または生石灰量や養生期間が強度におよぼす影響

表一10から、各セメントまたは生石灰の量について得られた最高の一軸圧縮強度をプロットしてみると図一8のようになり、セメント添加の場合は、その量の増に応じて強度も増加し、

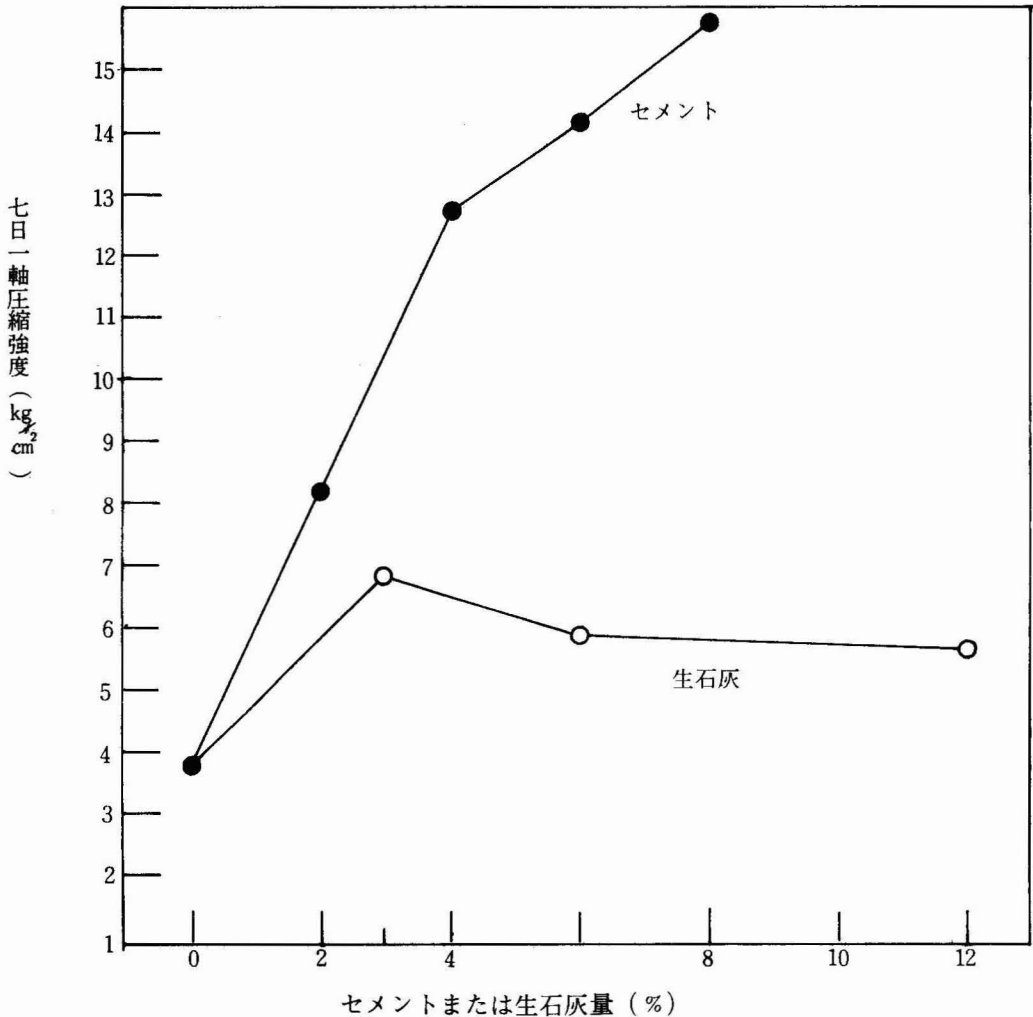


Fig. - 8 Relationship between Unconfined Compressive Strength and Cement Content or Quicklime Content

生石灰の場合は、その添加量が3%の時ピークを示して、更に量を増やすと強度はむしろ減少する。本粘土の場合生石灰の添加量には適量<sup>\*</sup>というものがあると言えよう。

表一11から、セメント添加量8%の処理土の養生日数と強度の関係を、図一9に示してある

\*Optimum lime content; すべての土にはないがこういう事例がしばしばあると言われている。

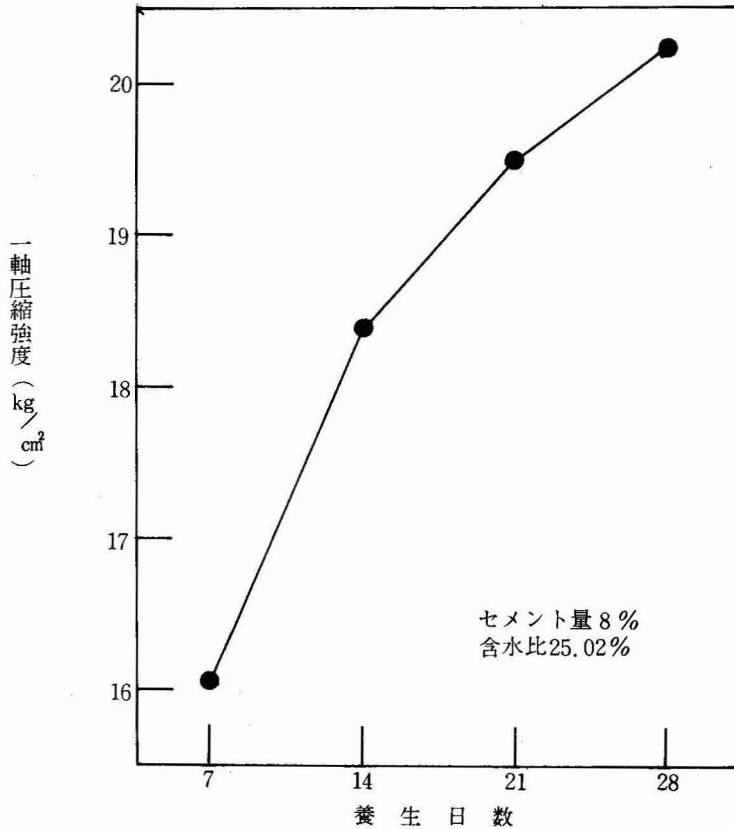


Fig. - 9 Relationship between Unconfined Compressive Strength and Curing Days

が、養生日数が増えれば、その強度も増加している。たゞ、4週強度で $20 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ にみたないの<sup>\*</sup>で、一層の検討が必要である。生石灰の場合は、長期間養生が注目されているので今後の課題としたい。

### 3) 突固め仕事量が強度におよぼす影響

未処理土について、層および突固め回数を変えた場合の7日圧縮強度を図-10に示した。図から、突固め回数が増えると一般に強度が大きくなることは明白だが、含水比や層数によって相違がみられる。すなわち、含水比が最適含水比より低い側では、三層に詰めるより5層に詰める方が常に強度も大きくでているが、高い含水比では、3層も5層も差異がなくなるかまたは、過転圧現象をもたらしている<sup>4</sup>。また、含水比が高いと、突固め仕事量の影響について注意せねばならないだろう。なお、セメント添加土については、C.B.R試験の結果から推して、もっと強度の増が期待されるので、引き続き調べたい。

<sup>\*</sup>たとえば、S.Diamond, E.B. Kinter ; Mechanisms of Soil-Lime Stabilization, H.R.B. Record 92, pp83~95 (1965)

<sup>4</sup>D.Hampton, E.J.Yoder, Effect of Rate of Strain on the Strength of Compacted Soil, H.R.B. Bull. 245, pp27~48(1960)にも同様な報告がある。

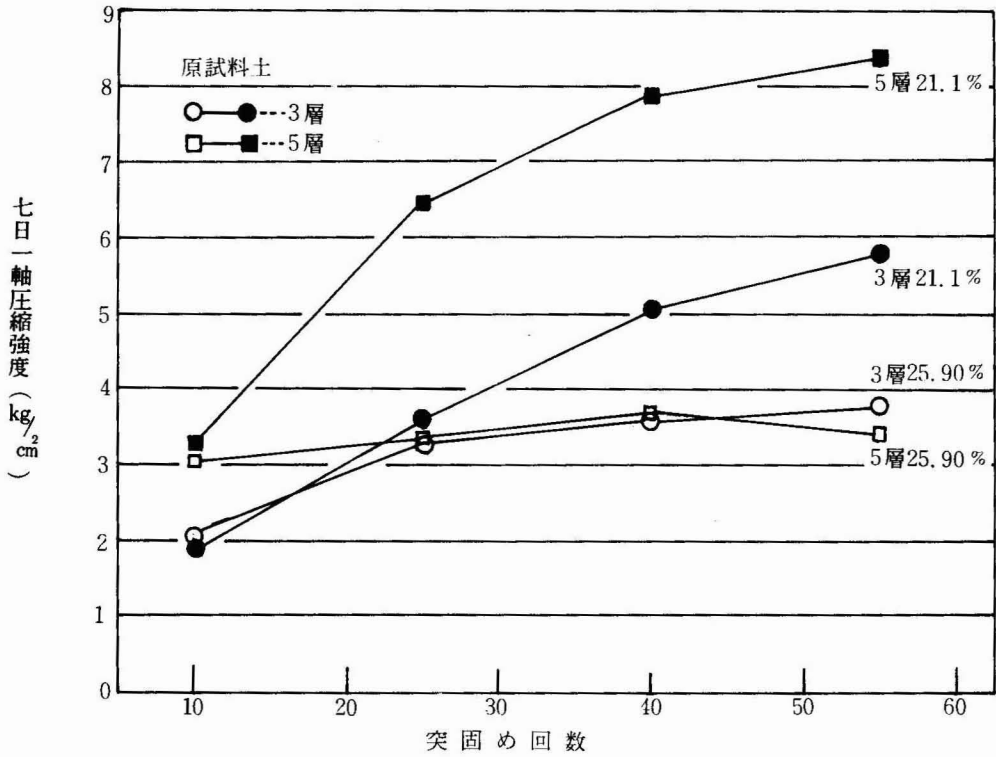


Fig. - 10 Relationship between Unconfined Compressive Strength and Compactive Effort

#### 4) 変形係数について

変形係数は、土の含水量、試料の乱れなどによって著しく異なり、未だ多くの問題をもっているが、一軸圧縮試験の応力-ひずみ曲線を利用して、次式<sup>(8)</sup>によって計算した。表-15および

表-15 セメント量および生石灰量の変化による最大変形係数の変化

セメント量 (%)	0	2	4	6	8
変形係数 (hg/cm <sup>2</sup> )	333.33	607.14	695.56	790.00	852.60
生石灰量 (%)	3	6	12	変形係数最大値は 図-11及12のピーク 値をとった。	
変形係数 (hg/cm <sup>2</sup> )	575.00	552.00	533.77		

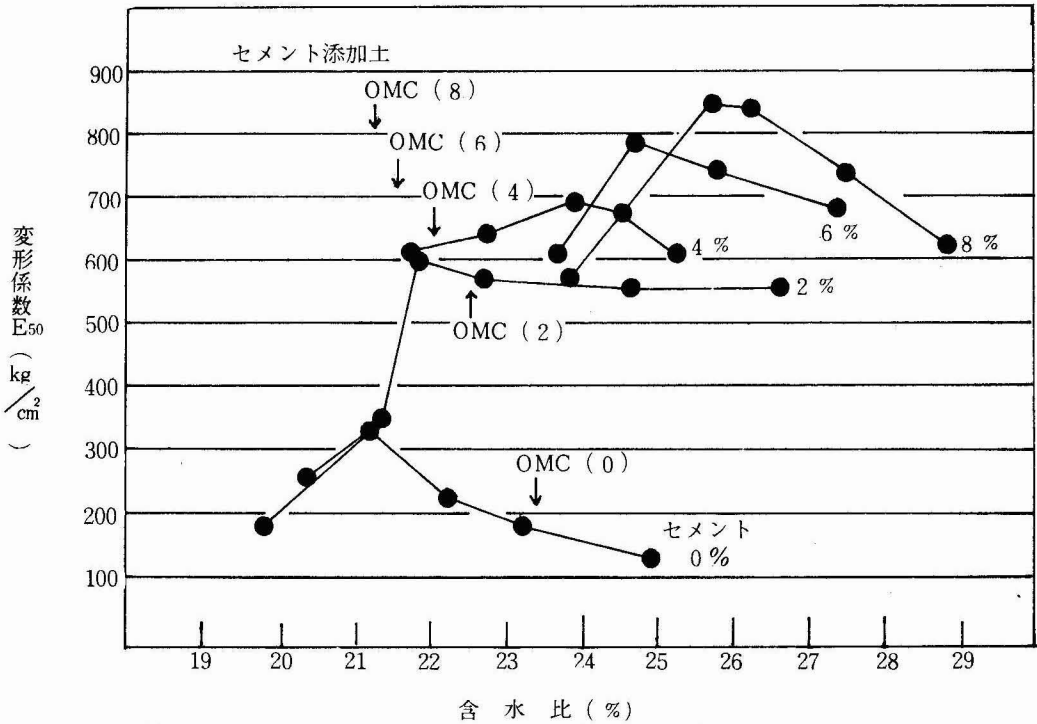


Fig. - 11 Relationship between Modulus of Deformation and Moisture Content (Cement Treated)

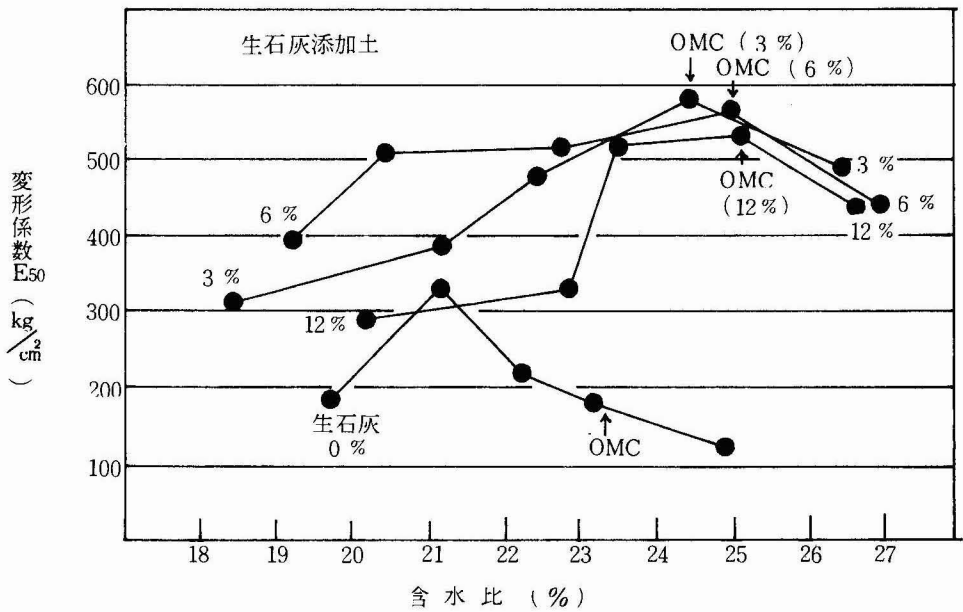


Fig. - 12 Relationship between Modulus of Deformation and Moisture Content (Quicklime Treated)

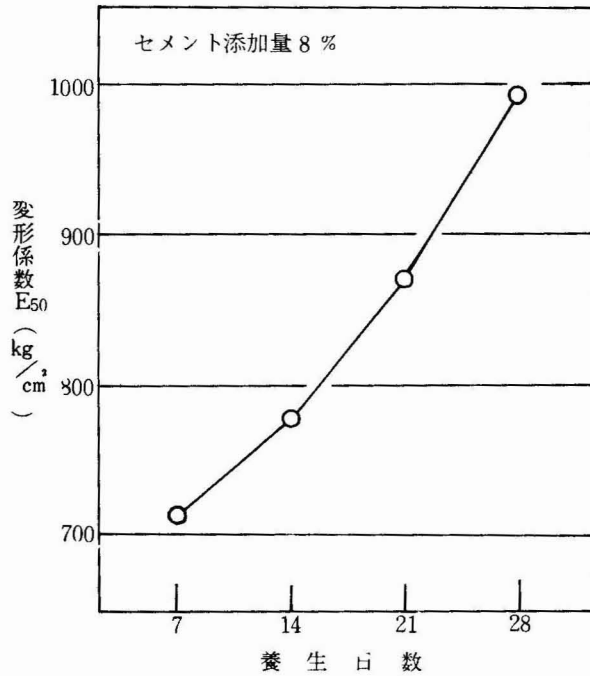


Fig. - 13 Relationship between E<sub>50</sub> and Curing Days

$$E_{50} = \frac{q_u \times \frac{1}{2}}{q_u \text{ の } \frac{1}{2} \text{ に相当する歪 (\%) / 100}} \text{ (kg/cm}^2 \text{)}$$

び図-11、12、13に、セメントまたは生石灰の添加土について、含水比を変えた場合や養生日数を変えた場合の変形係数の変化を示した。これらの図から、変形係数は、含水比によってピークを示し、養生日数の増によって増加し、また、セメント添加量の増によって増大するが、生石灰の場合はピークを示すなど、一軸圧縮強度の示す傾向と同様である。変形係数と7日一軸圧縮強度との関係を図-14に示した。生石灰添加の場合は、最高強度を示す時の変形係数が最大値を示しており、含水比（強度）に関係ありと考えられるが、添加量が増えると強度、変形係数ともに減少している。しかしながら、セメント添加の場合は、セメント量が少ないうち（0、2%）は、最高強度を示す時の変形係数が最大値ではないこと、セメント量が6%以上になると強度と変形係数の関係が明確になることなど特異である。これも、島尻粘土とセメントまたは生石灰の作用機構に原因があると思われる。



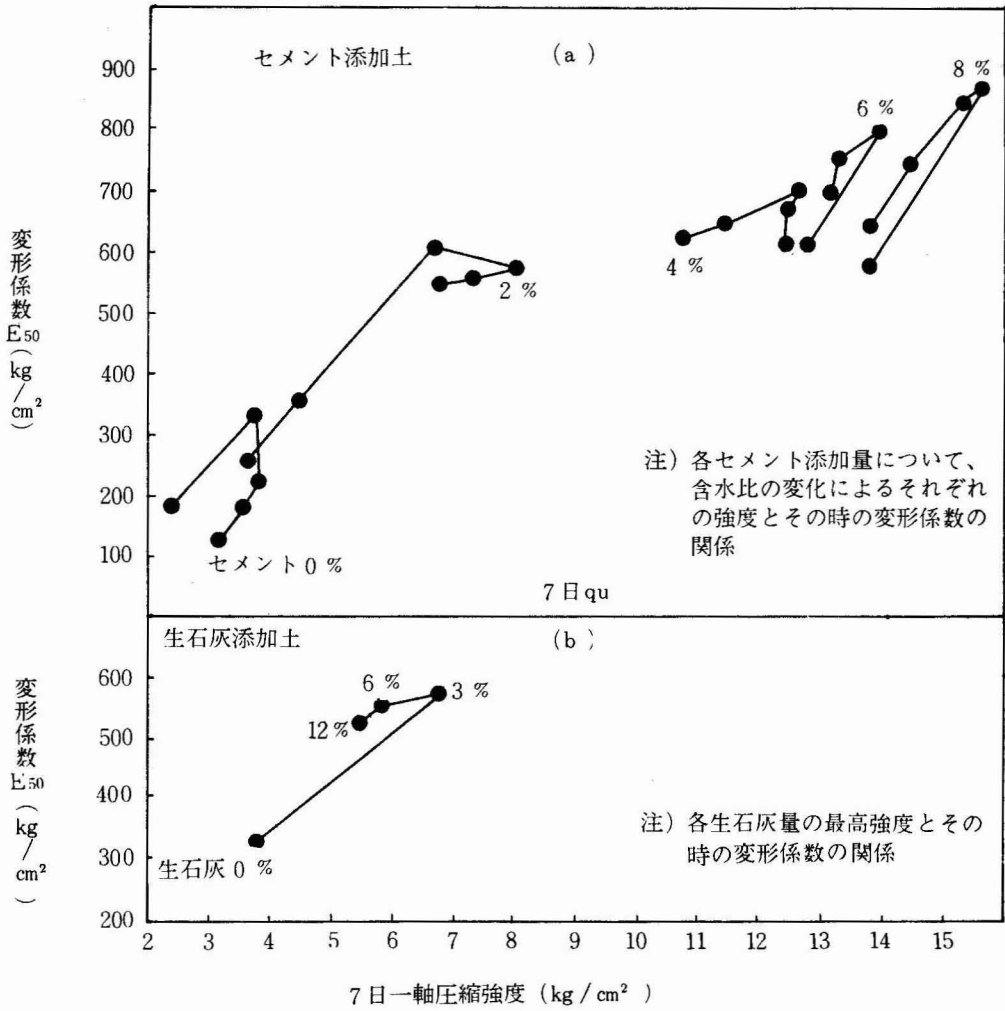


Fig. - 14 Relationship between Modulus of Deformation and Unconfined Compressive Strength

## VI むすび

以上、島尻粘土の安定処理に関する基礎的研究の結果を報告したが、資料が充分とは言えず、今後とも継続して検討すべき事項が多々ある。今回の実験的研究からは、ほゞ次のようなことが言えよう。

(1) セメントや生石灰の添加によって、プラスチックな島尻粘土の物理的性質を改良することができる。

(2) 締固め特性は、他の一般的な粘土とほゞ同様であるが、最適含水比、乾燥密度およびそれに対する強度の關係に特異な点がある。

(3) 強度特性については、含水比、養生期間や締固め仕事量などによって強度の増がもたらされるが、充分ではない。また、セメント添加の場合と生石灰の場合とでは著しい差異がある。

(4) C.B.R特性については、セメント量をわずかに添加することによってかなり改良され、下層路盤としては、2%程度のセメント量でも充分である。

次に今後の問題としては、土塊の粉碎、混合、締固め仕事量および方法や養生条件、強度をもっと高めるために、他の添加剤の一次的または二次的使用やそれらの反応機構、更には、浸水崩壊に対する抵抗性増強の検討などがあげられよう。一方、盛土への適用性についても考えたい。

最後に本稿をまとめるにあたり、いろいろと引用させて頂いた文献（特に地質関係）の各著者に深く謝意を表し、また、本研究を遂行するについて、卒業研究として実験等に協力してくれた、卒業生の上原幸光、首里勇治、高山朝福の諸君に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 半沢編、朝武士監修；琉球群島の地形・地質、中部高等学校理科教育研究会(1963)\*  
MacNeil, F. S.; Tertiary and Quaternary Gestropoda of Okinawa, U. S. G. S.  
Prof Paper 33 9 (1960)  
牧野、樋口；沖縄本島南部の天然ガス鉱床の地質学的考察、石油技術協会誌32-2、  
pp. 1-36 (1967)  
福田外14名；第3次沖縄天然ガス鉱床調査の記録、地質ニュース157、pp.14~132  
(1967)
- 2) 小西健二；琉球列島の構造区分、地質学雑誌71-840、pp.437~457 (1965)
- 3) 琉球政府通産局工業研究指導所；工業研究指導報告第2及3号(1968、1970)
- 4) 嶋下、横井、兼松；沖縄県土性調査報告、琉球政府農業改良局(1952)  
松坂、出井、音羽、浜崎；沖縄本島土壌調査報告、琉球政府(1963)
- 5) 小林、品川；南西諸島の土壌に関する研究、鹿児島大学農学部学術報告16号、pp.11~55  
(1966)
- 6) 新城俊也；沖縄における泥灰岩の2、3の工学的特性について、農業土木学会九州支部  
沖縄学会講演集、pp.101~102 (1970)
- 7) 三木、山内；土質安定の理論と実際、オーム社、p.132 (1959)
- 8) 土質工学会；土質試験法、p.337 (1969)

---

\*Geological History of the Ryukyu Islands, Topography and Geology of the Ryukyu Islands,  
S. Hanzawa, Sci. Rept., Tohoku Imp. Univ. ser. 2 No. 17, 1~61 (1935) または琉球政府経済局、  
琉球群島の地形地質及鉱床(1954)を基にしている。