

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(2) -沖縄産コーラルリーフロック その1-

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2012-03-23 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	http://hdl.handle.net/20.500.12000/23950

路盤の安定処理工法に関する基礎的研究 (II) †

— 沖縄産コーラルリーフロック その I —

上原方成 ※

Experimental Studies on Soil-Base Stabilization (II) Coral Reef Rock, I Hosei UEHARA

Synopsis

Coral Reef Rock (C.R.R.) is a sort of the limestones and consists of coral corals, shells, marine organisms and plants, and those are chemically changed into the calcium carbonates (mostly calcites) because of geological diastrophism of the Ryukyu Islands. This C.R.R. is one of the prospective natural resources in the Ryukyu Islands, and it has been used conventionally as the road construction materials.

As a part of the series of soil-base stabilization studies, C.R.R. is experimentally investigated to improve the local base materials of Okinawa Islands. Present paper describes the outline of the geology of Okinawa Islands, the distribution of C.R.R. and its reserves and minings, and reports the laboratory test results concerning the physical properties, compaction effects, compressive strength and C.B.R. of C.R.R. only and cement-treated C.R.R. Also experiments were performed to investigate into the strength restoration characteristics and the strength increasing method by heating C.R.R. test pieces

I まえがき

琉球諸島の賦存鉱物（鉱業法第2条による）としては、金、銅、マンガン、燐鉱、石炭、トラバーチン、けい石、アンチモニー等があるが、現在、鉱物資源として開発利用されているのは、石灰石、トラバーチン、アワ石、コーラルリーフロックなどの非金属鉱物である。なかでも、戦後の沖縄における鉱物資源として注目されているのは、セメント工業につながる、沖縄本島北部（本部半島）の古生代石灰石と、コーラル生産・輸出業に関連する、沖縄本島中南部地域を主とするコーラルリーフロックとである。

コーラルリーフロック (Coral Reef Rock, 以後C. R. R. と記す) は「イシグウ(石粉)」と称して、沖縄諸島では、ずっと以前から、簡易舗装の表層材料として、また、舗装道路の基層材料として、広く用いられてきたものである。しかし、その利用法は、およそ慣習的かつ簡便的なものであった。戦後、米軍の管理する道路などで、その工学的根拠に基づく利用が明らかにされると、沖縄における路盤材料の主役を果すようになり、本土の一部地域でも使用されるようになった。C. R. R. はその外にも、滑走路舗装基盤材料として、また、港湾、エプロン、倉庫等の舗装基盤材としてその用途は広い。

沖縄における自動車交通も、日毎に増加・大型化してゆく現状において、既設道路の点検・改修はもちろん新設道路の重用性を思うと、C. R. R. の特性を検討し、合理的な利用方法を確立しておくことは意義深いと考える。そして、それは、鉱物資源に乏しい沖縄の貴重な資産とし

† 受付：1969年10月31日

※ 琉球大学理工学部土木工学科

て、開発振興への道にも通ずると思う。

本研究は、沖縄の地域性に即した道路路盤の改良発展工法に関する基礎的研究の一つとして、C. R. R. の路盤材としての特性を基礎実験によって検討することを、目的としている。本報文では、C. R. R. に関連する琉球諸島の地質、産地、埋蔵量および採掘現状等の総括を行ない、C. R. R. およびその処理工法についての室内基礎実験の結果とその検討を取扱う。

Ⅱ コーラルリーフロックの概説

1 琉球列島の地質概要

琉球列島は、通常、琉球弧と呼ばれているが、太平洋西北部の地質学的特質とも言える花綵列島をつくる代表弧—朝鮮・琉球弧—の南半分にあたり、九州と台湾との間にあって北東から南西につらなる長さ約1200kmにもおよぶ列島で、その凹面は東支那海に面し、凸面部は太平洋に面している。

琉球列島の地質全般については、すでによく知られた半沢博士のすぐれた調査研究があるので、こゝでは、沖縄諸島地質図と地層区分表および地史一覽表を引用しておくにとどめ、構造区分関係での最近の研究(小西健二, 1965等)を概略紹介することにする。

琉球列島とその周辺は、10の地形区(または現在の地質構造区)に区分されるが、琉球列島として海上に露出する岩体のほとんどは、古期琉球火山岩区、琉球火山帯および琉球地背斜区に属する。古期琉球火山岩区は、第三紀中新統—鮮新統の安山岩質を主とする火山岩類で特徴づけられる“新第三紀火山帯”で、琉球地背斜区にほぼ平行にその内側沿いに、西表島、石垣島、久米島、粟国島、トカラ列島、草垣群島などの島嶼がこの中に入るが、基盤岩類はほとんどの島で露出してない。琉球火山帯は、第四紀の高アルミナ玄武岩型のマグマに由来すると考えられる火山岩類で特徴づけられ、有史記録をもつ火山も少なくない。大局的には、古期琉球火山岩区の外側(東南側)の位置を占める傾向があり、琉球地背斜軸に対し、ほとんど平走しており、硫黄島から諏訪之瀬島、中之島、口之永良部島、鬼界カルデラを経て開聞岳火山、桜島火山、霧島火山へと追跡される。琉球地背斜区は、琉球列島の脊梁山地に相当する部分で、西表島、石垣島、宮古島、沖縄島、与論島、徳之島、奄美大島、屋久島へとつらなる主隆起軸が考えられるが、これを更に互いに並走するいくつかの構造累帯に区分することができ、大きくみて、先島群島(西南琉球)、沖縄・奄美大島群島(中部琉球)、大隅群島(東北琉球)に3分され、新第三系下の基盤岩類は、石垣累帯、本部累帯、国頭累帯、島尻累帯および熊毛累帯の順に、構造類帯として内側(大体時代的に古い)のものから、次第に外側(新しい)のものになるように雁行状に配列する特徴が認められる。石垣累帯は藍閃片岩相で特徴づけられ、複雑に褶曲する結晶片岩類(古生界、恐らく先二疊系)から成り、それをnonconformableに覆う第三系中新統(下部)が発達する。古期琉球火山岩区の一部と重なり、第三系中新統(～鮮新統)の安山岩質火山岩類や火砕岩類や花崗斑岩が発達する。石垣島の北部(平久保、伊原間、野底半島部と屋良部、川平半島部)西表島、嘉弥真島、小浜島、鳩間島、久米島、粟国島、硫黄島、上之根島、横当島、宝島、小宝島などが本累帯に入る。本部累帯は比較的ゆるやかに、大きな波長で・曲する部分と、西北側に軸面を向ける同斜褶曲や、同傾向の衝上断層の発達する部分とから成る。古生界の堆積岩類(石灰岩、チャート、砂岩、頁岩、凝灰岩等)と緑色岩類(輝緑岩、斑礫岩等)を主とし、その上に斜交不整合に乗り、現在は古生界の間にたゞみこ

沖縄地質図

1 : 500,000

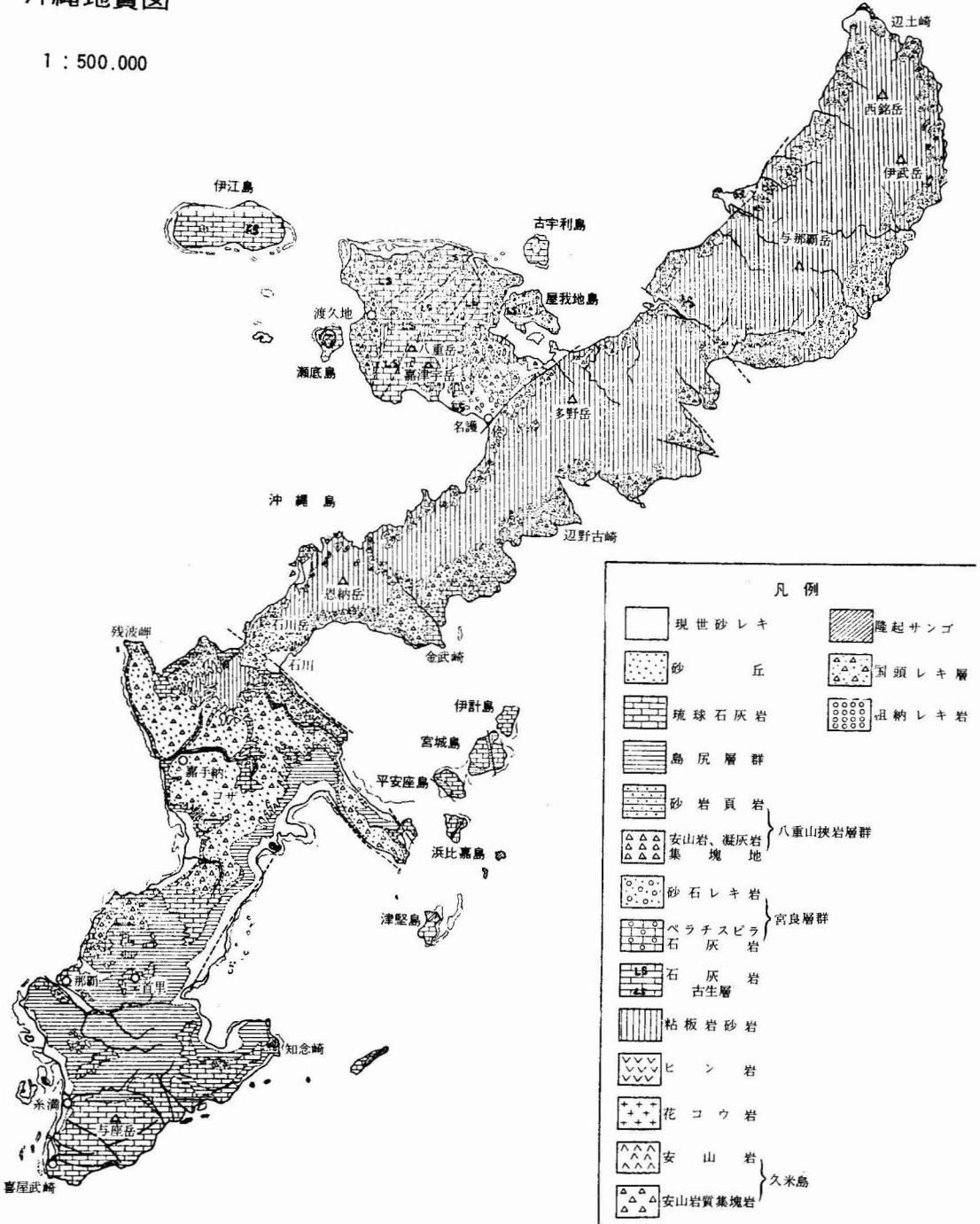


Fig. 1-a Geological Map of Okinawa Island

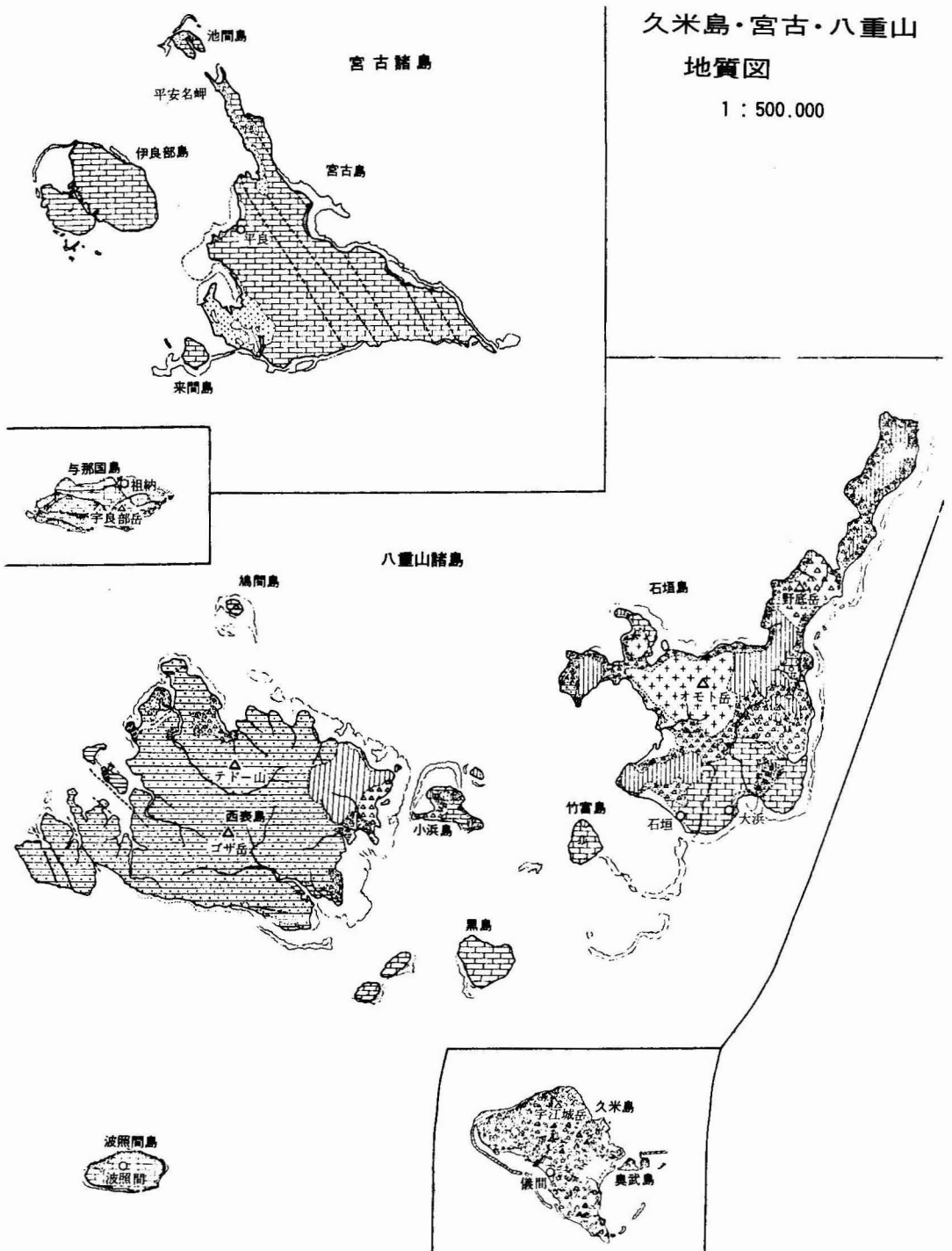


Fig. 1-b Geological Map of Miyako, Yaeyama, Kumejima Islands.

表-1 琉球群島の地史一覽表

	地質時代		地質變動		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 上部二疊記 下部中生代		火成岩噴出し、地殻変動を起こす。 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		陸地上昇す。宮良層海上露出。	高千穂期	
5	同新第三期 前	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	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	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		琉球群島の交山の山頂のみ海面上にあり 約720米沈下
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		
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		
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-2 琉球群島の地層

地層	岩石および地質構造	露出地
古生層	<p>片岩、珪岩、板岩、砂岩、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。</p> <p>上記岩石の一部は火成岩によって貫入。</p> <p>花崗岩、斑岩、玢岩噴出し、激しい褶曲および反転を受く。</p> <p>一般走向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。</p> <p>注) 小西によれば一部は中生層に属す。</p>	奄美大島、徳の島、沖の永良部島、与論島、沖縄島、古宇利島、伊江島、瀬底島、屋我地島、伊平屋島、慶良間列島、石垣島、小浜島、竹富島、西表島、嘉弥真島
宮良層群	<p>ち密石灰岩に砂岩、礫岩随伴。</p> <p>第三紀上部始新統で激しく褶曲された古生層の削磨された表面に堆積</p>	石垣島、小浜島
八重山夾炭層	<p>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。</p> <p>層中に石灰層を夾在、宮良層群の次に堆積す。</p>	西表島、与那国島、鳩間島、小浜島、石垣島、波照間島、仲の御神島
島尻層群	<p>軟い淡青色泥灰岩、軟い褐色砂岩。</p> <p>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。</p> <p>注) 福田らは新里層、与那原層、那覇層に分く</p>	喜界島、沖縄島、平安座島、池離島、浜比嘉島、久米島、宮古島
祖納礫層	<p>丸く削磨された硬砂岩、石灰岩の礫、漂石。</p> <p>八重山夾炭層より若く、琉球石灰岩より古いが、島尻層群の上部が下部かはなお疑問</p>	西表島字祖納の東部、内離島西端

地層	岩石および地質構造	露出地
<p>琉球石灰岩</p>	<p>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 (第四紀氷河期) 更新世質粗く、硬固ならず、多孔質のもの多し。 牧港石灰岩 (第四紀氷河期後期) 粒状珊瑚が粗に固結堆積俗称粟石</p>	<p>トカラ列島、慶良間群島、渡名喜島、粟国島、伊平屋島、伊是名島、仲の御神島を除く、ほとんどの琉球群島。 那覇港南岸、糸満、兼城、糸洲、知念、大里、南風原、首里、具志川、赤道、今帰仁。 読谷楚辺、具志頭、本部、上本部、今帰仁。 玉城港川、牧港海岸。</p>
<p>国頭礫層</p>	<p>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。</p>	<p>与那国島、鳩間島、波照間島、竹富島および宮古諸島を除く、大方の島々海岸近い広大な高い台地。</p>
<p>沿岸隆起地帯の珊瑚積礫</p>	<p>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。</p>	<p>最も低い沿岸台地。 久米島、喜界島が最も典型的。</p>
<p>砂丘</p>	<p>有孔虫の砂。 再々軟い石灰岩 (琉球石灰岩異質) と結合。</p>	<p>喜界島、奄美大島、久米島その他の諸島の海岸や奥地。</p>

まれたように向斜状に保存される瀬海ないし汽水成の白亜系(?)や更に弱い変形をこうむった浅海相の第三系始新統(宮良累層)の存在で特徴づけられる。石垣島の主部(南半部)、黒島、竹富島、新城島、渡名喜島、出砂島、伊平屋島、伊是名島、伊江島、屋那覇島、具志川島、野甫島、屋我地島、古宇利島、瀬底島、沖縄本島本部半島と西海岸の岬部(赤丸崎、辺土岬)、与論島、沖之永良部島、徳之島、奄美大島西半部、草垣群島がこの累帯に属する。国頭累帯は複雑に褶曲し、部分的に層状含銅硫化鉄鉱床を胚胎する緑色片岩相の結晶片岩類、千枚岩類から成る累層と、稀に白亜紀化石が見出される以外に示準に役立つぬおびたゞしい量の生痕化石のみを産する砂岩、頁岩の単調な繰り返しから成る厚い累層の発達で特徴づけられる。沖縄本島の脊梁山地(本部半島部と西海岸の一部を除く国頭地方の大部分)、慶良間群島、加計呂麻島東半部、請島東半部、奄美大島東半部などが国頭累帯に属する島嶼である。島尻累帯は中部琉球では小藤文次郎により第三系帯と呼ばれた部分に一致するが、基盤岩類はほとんどSubsurfaceである。西南琉球では海面下、東北琉球では火山島の基盤岩類に追跡される。沖縄本島南部(中頭の南半と島尻)、喜界島、奄美大島笠利半島、薩南黒島、竹島、悉石島、諏訪之瀬島、中之島、口之島、口之永良部島等がこの累帯に入る、熊毛累帯は複雑に褶曲したFlysck相の古第三系の厚い層と、それを斜交不整合に覆う浅海成第三系中新統の発達で特徴づけられ、種ヶ島、馬毛島、屋久島が本累帯に入る。

このほか、新第三系および第四系についての新しい調査報告が、MacNeil, F, Stearn (1960) や工業技術院地質調査所沖縄天然ガス鉱床調査団(福田ら)によってなされているが、これらをまとめて表-3に示することにする。

表-3 沖縄本島中南部の新生界層序区分対照表

紀	世	半 沢 (1935)	MacNeil (1960)	工技院地質調査所 (1967-'69)	
第 四 紀	更新世		隆起海浜堆積物	琉球石灰岩	
	洪積世	隆起海浜堆積物	琉球群島 牧港石灰岩		
		国頭礫層	琉球群島 一部国頭礫層 読谷石灰岩 那覇石灰岩		
第 三 紀	鮮新世	琉球石灰岩	琉球群島 知念砂層	島 新里層 尻 与那原層 層 那覇層 群 小禄砂岩 未区分	
			島 新里凝灰岩		
	中新世	島尻層群	与那原粘土層 粘土、シルト質砂層		与那原粘土層 塊状砂層

2 沖縄本島における産地および埋蔵量

C.R.R.とは、半沢博士命名の琉球石灰岩のうち、白色かまたは淡黄色を呈して固結力が弱く、珊瑚礁の有機物質を多量に含んでいる石灰岩である。琉球石灰岩は、かつては隆起珊瑚礁 (Raised Coral Reef Rock)と考られたが、含有する化石は造礁珊瑚もあるが一般には有孔虫の含有量が多いと言われる。したがって、C.R.R.は、沖縄近海に多い珊瑚の遺骸、貝殻、中間の深さにある熱帯・亜熱帯地域特有の有孔虫、腕足類などの動物性有機物と石灰質海藻類の植物性有機物などが、地質変動期の噴火作用による高熱を受け溶解して大部分が炭酸カルシウム化し、堆積硬化してできたものと思われる。それ故に、この層は、沖縄本島、宮古島、石垣島などに広く散在している。沖縄本島におけるC.R.R.生産地は、図-2 (1964年現在) のよう

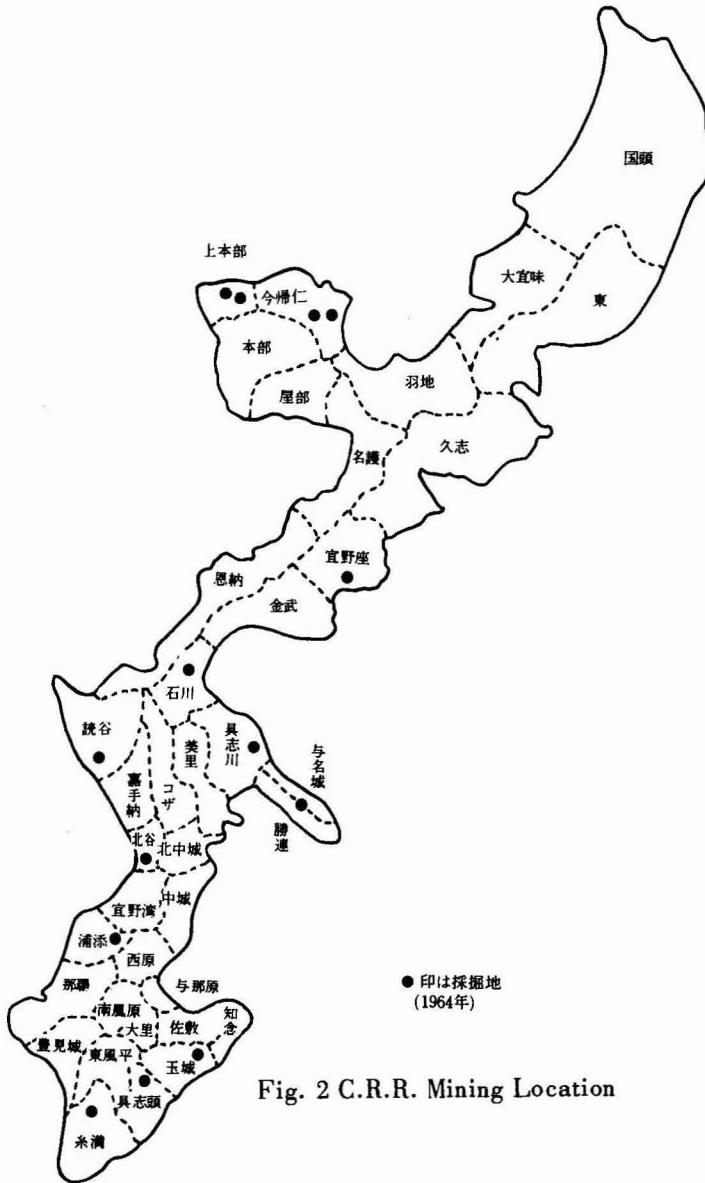


Fig. 2 C.R.R. Mining Location

である。たゞ、後にC.R.R.採掘業のところで述べるように、その生産量の変動が著しく、この中で現在相当大企模に生産している所は読谷地区である。

現在、沖縄諸島におけるC.R.R.の埋蔵量はほとんど無尽蔵とも言われているが、沖縄本島の埋蔵量は、その地質図をもとに琉球政府通産局（1964年時経済局）によって推定されたものによれば、約8億屯となっている。その内訳は、南部地区に約2億屯、読谷を中心とする中部地区に約5.6億屯、本部半島を中心とする北部地区に約0.5億屯となっている。これを地区別に示したものが、表-4である。

表-4 C.R.R.の地区別推定埋蔵量

単位：万屯

地名	分布面積 (km ²)	厚さ (m)	理論推定 埋蔵量	地名	分布面積 (km ²)	厚さ (m)	理論推定 埋増量
南部				与久田	0.20	20	500
与座岳	4.64	30	18,100	宇嘉地	0.04	〃	100
新里	0.42	〃	1,700	長浜	0.12	〃	300
小計			19,800	読谷	11.78	30	46,000
中部				嘉手納	0.20	20	500
瀬良垣	0.08	20	200	〃	0.12	〃	300
大田	0.20	〃	500	北谷	0.24	〃	600
恩納	1.06	〃	2,700	小計			56,000
金武	0.16	〃	400	北部			
〃	0.98	〃	2,500	浦崎	1.82	20	4,700
月の浜	0.16	〃	400	小計			4,700
山田	0.24	〃	600				
〃	0.10	〃	250	合計			80,400
〃	0.06	〃	150				

3 C.R.R. 採掘事業

C.R.R.の上には通常2～3米厚の表土が覆っているので、採掘に先だつてこの表土を除去する必要がある。C.R.R.層厚は普通20～30米であり、ブルドーザーやショベルなどの重機を使用して、すべて露天堀形式で行なわれている。一度採掘されたC.R.R.はこれを簡易なふるいによって粉末と大塊に大別され、塊はこれをクラッシャーにかけて所要の粒度に粉碎し野積み貯蔵されている。読谷村座喜味地区での採掘状況を写真1, 2に示してある。



Picture 1 Mining Spot



Picture 2 Mining Spot

C.R.R. は、琉球列島のみならず、島内に賦存する資源として、島内需要にこたえることは勿論であるが、なお輸出の振興を図るべく、1962年に南西諸島物資に指定され、以来少量ながら本土輸出の実績を積んできている。更に、企業としての健全化を期すべく、1965年に社団法人一琉球コーラルリーフロック生産輸出業協会が設立された。C.R.R. 企業の特徴は、採掘が容易で、かつ大量採掘が可能であり、重機械類の投入で需要に即応できることにある。

C.R.R. 採掘事業所は、C.R.R. の産地にしたがって各地に散在しているが、沖縄本島の読谷村座喜味原一帯と具志頭村新城一帯に集中的に所在しており、その状況は表-5 に示す

表-5 C.R.R. 採掘業の地区別事業所数、生産量、従業員数

地区別	事業所数 (比率)	生産量(比率)	従業員数	従業員数 事業所数
北部	0	0	0	0
中部	13 (54%)	919,200吨 (86%)	164人	12.6人
南部	8 (33)	96,200 (9)	42	5.3
宮古	2 (9)	25,800 (2)	4	2.0
石垣	1 (4)	34,000 (3)	6	6.0
計	24 (100%)	1,075,200吨 (100%)	216人	平均6.5人

注) この表は1968年3月までに行なった67年次実態調査の結果である。

とおりである。この表から事業所24のうち本島中南部地域でその87%、生産量において実に95%の高率を占めていることがわかる。

C.R.R. 生産量は図-3に示すようにその変動はいちじるしい。これは、建設工事の量に大

図 3 C.R.R. 生産量推移

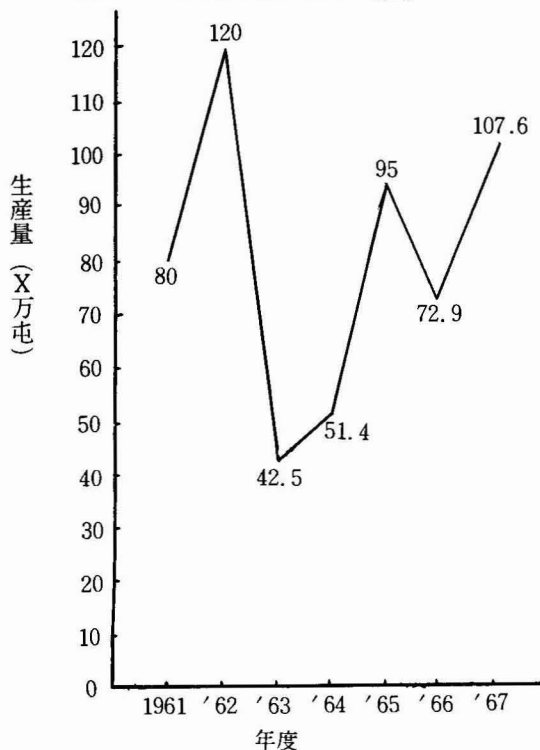


Fig 3. C.R.R. Mining Quantities for these few years.

大きく左右されるためと考えられるが、現にC. R. R.採掘業者の67%は土木業を兼業しているのである。このことは、表-6に示されているが、むしろ土木業者がC. R. R.を自家採掘の形式をとっていると言ってよからう。

表-6 C. R. R. 採掘業者の土木兼業状況

兼業率 地区別	CRR 専 業	30~50 %	50~70 %	70~85 %	計
北 部	—	—	—	—	—
中 部	7ヶ所	3	2	1	13
南 部	1	2	1	4	8
宮 古	0	1	0	1	2
石 垣	0	1	0	0	1
計	8	7	3	6	24

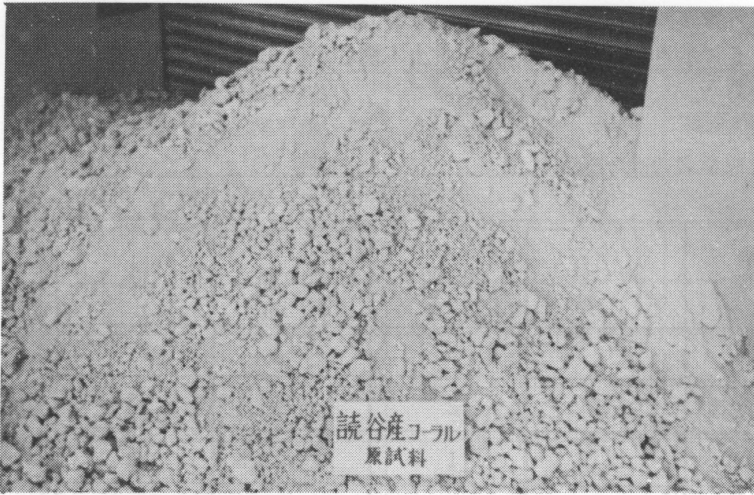
C. R. R.の輸出実績は、表-7に示してあるが、まだまだ少ないので、今後その面に対策を講じる必要があり、たとえば、積込荷役作業の施設の充実、専用船の配慮、さらには輸出用港湾の設置などを図り、それとあわせて、採掘事業所での材料の規格管理、輸出検査の実施を強力に推進すべきである。

表-7 C. R. R. 輸出実績

年	1963年	1964年	1965年	1966年	1967年	計
数量 (吨)	4,510	13,799	4,577	6,761	27,000	56,647
金額 (弗)	8,589	28,643	8,154	11,872	49,950	107,208

Ⅲ C. R. R.の基本的性質

今回の実験に使用したC. R. R. 試料は、読谷村座喜味の採掘場から採取し、一時期（夏期）に大量に実験室へ搬入して気乾状態になるまで放置したものであり、写真-3, 4, 5にこれを示してある。



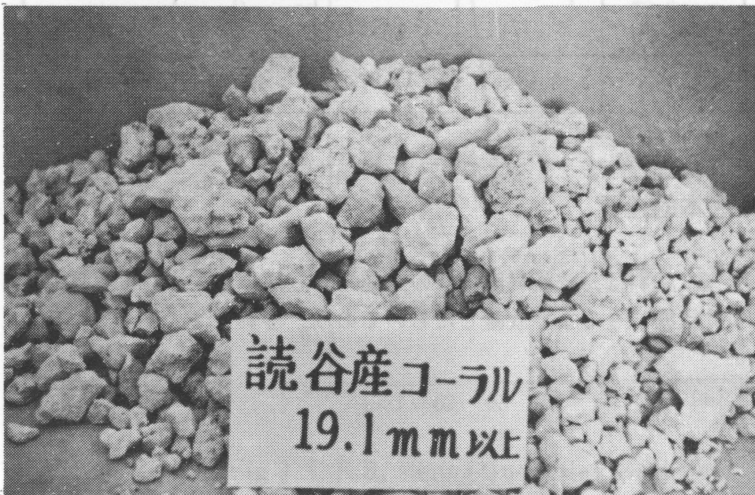
Picture 3

C.R.R. (Natural)



Picture 4

C.R.R. (> 4760μ)



Picture 5

C.R.R. (> 19.1mm)

1 物理的性質

本資料の物理的性質は表-8のとおりである。なお、粒径加積曲線は、図-4に示してある。
 C. R. R. は石粉の集りの如く表面部がもろいので、搬入時や実験時に、粒度組成が細粒化の傾向にあることを考慮に入れる必要がある。

表-8 C. R. R. の物理的性質

比 重 2.714		液 性 限 界 21.76 %					塑 性 限 界 測 定 不 能				収 縮 限 界 19.46 %	
試 料	レキ分 %	砂 分 %	シルト分 %	粘土分 %	60% 径 mm	10% 径 mm	均 等 係 数	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	
全試料	63.0	20.7	7.1	8.0	9.3	0.0065	1430	36.8	25.73	16.33	三角座標	統一法
2 mm以下	0	54.3	22.2	17.5	0.25	0.0016	156	100	69.92	44.37	砂質ローム	M _L

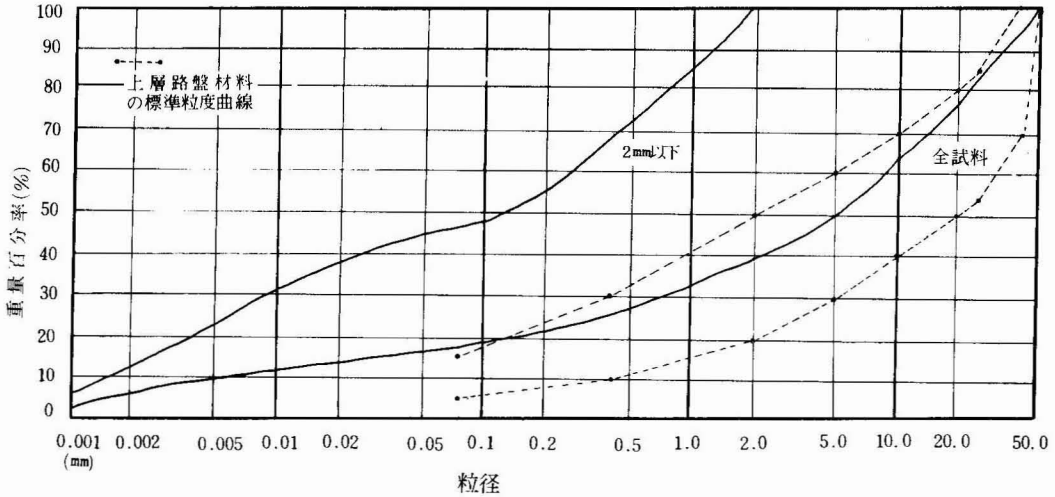


Fig. 4 Grain Size Distribution.

2 骨材としての性質

コンクリート骨材として、JISA 1104, JISA 1109, JISA 1110 に準じて試験を行なった結果は表-9 に示してある。

表-9 C.R.R. の骨材としての性質

	範 囲	比 重	吸 水 量 %	単位容積重量 t/m ³
細 骨 材	5mm以下	2.27	12.24	1.447
粗 骨 材	10~50mm	2.32	9.45	1.376

3 化学組成

本実験資料については化学分析を行なわなかったが、参考のために、同じ読谷地区から採ったC.R.R. についての試験結果(建設省土木研究所)を引用しておく。化学分析は、内部(試料A)と表面(試料B)について行なわれており、表-10a, 10b のとおりである。表から明らかのように、炭酸カルシウム($CaCO_3$)含有率は試料のどの部分にしても、約99%であり、C.R.R. は純度の高い炭酸カルシウムであることがわかる。なお、この炭酸カルシウムの大部分は、方解石として存在し、ごく一部が霰石として存在するようである。

表-10a C.R.R. の化学組成

項目 試料	強 熱 減 量 %	不 溶 分 %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	計
A	43.71	0.20	—	0.30	0.03	55.39	0.43	100.06
B	43.43	0.81	0.03	0.10	0.10	54.88	0.43	99.76

表-10b C.R.R. の炭酸カルシウム含有率

試 料	CaO含 有 率 よ り 算 出 %	強 熱 減 量 よ り 算 出 %
A	98.85	99.34
B	97.94	98.70

IV C. R. R. の力学的性質の試験

1 突固め試験

突固め試験は、JIS A 1210の規定 (土質工学会—土質試験法—昭40) に準じて行なったが、突固め試料は各供試体ごとに新しい試料を用い、くり返して使用することをさけた。なお、試験用モールドの内径は9.98種、高さは12.74種であった。突固め試験結果は表-11のとおりである。こゝで、セメント量はC. R. R. の乾燥重量に対するセメントの重量比で表示してあり、セメントは普通ポルトランドセメント市販品を使用した。

表-11 最適含水比と最大乾燥密度

セメント量 (%)	0	2	4	6	8
最適含水比 (%)	16.3	16.1	16.0	15.8	15.6
最大乾燥密度 (kg/cm ³)	1.764	1.766	1.768	1.770	1.772

2 C. B. R 試験

C. B. R. 試験は、JIS A1211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。本機の規格は、ランマー重量10 lbs, 落下高18吋となっている。吸水膨脹試験の際の押え荷重は5kgとし、膨脹の止み次第 (1~2昼夜) 水槽からとり出した。貫入試験は、米国製 Versa-Tester に貫入ピストンをとりつけて行なった。突固め試験結果および C. B. R. 試験結果は、それぞれ表-12, 13に示すとおりである。

表-12 C. B. R. 突固め試験結果

セメント量 (%)	0	0.5	1.0	1.5	2.0
最適含水比 (%)	13.3	13.2	13.0	12.8	12.5
最大乾燥密度 (kg/cm ³)	1.905	1.907	1.910	1.912	1.915

表-13 C. B. R. 試験結果

セメント量	突固め日数	締固め時含水比(%)	締固め時 γ_d (g/cm^3)	膨脹比(%)	C. B. R.(%)	修正C B R	吸水量(%)
0 (%)	55	14.11	1.88	0.0~	186.3	71.2	0.8
	25	13.55	1.81	"	30.8		1.70
	10	13.52	1.66	"	7.6		2.17
	55	14.40	1.91(?)	"	57.3	34.2	0.6
	25	13.48	1.79	"	28.8		1.42
	10	13.17	1.64	"	8.6		2.79
	55	12.79	1.83	"	99.3	65.0	1.53
	25	13.54	1.75	"	13.1		3.57
	10	13.76	1.65	"	1.6		4.59
	55	12.53	1.89	"	57.3	30.0	1.15
	25	12.78	1.77	"	13.1		2.79
	10	12.84	1.66	"	4.9		4.56
1 (%)	55	12.48	1.90	0.0~	197.1	82.5	0.64
	25	12.36	1.82	"	92.4		1.75
	10	12.30	1.68	"	23.2		4.24
	55	12.38	1.89	"	225.0	105.0	0.99
	25	12.79	1.77	"	64.5		2.52
	10	12.95	1.67	"	9.9		4.78
	55	12.33	1.84	"	229.0	115.0	1.23
	25	12.79	1.73	"	72.8		3.06
	10	13.29	1.66	"	23.1		4.36
	55	12.82	1.90	"	145.0	89.5	0.51
	25	13.12	1.78	"	89.8		2.19
	10	13.79	1.63	"	14.8		4.27
2 (%)	55	12.99	1.87	0.0~	411.4	322.5	0.94
	25	12.46	1.75	"	104.0		2.72
	10	12.30	1.66	"	65.8		4.11
	55	12.53	1.91	"	321.7	218.0	0.89
	25	12.78	1.76	"	104.0		2.88
	10	13.19	1.63	"	62.8		4.18
	55	12.32	1.84	"	377.0	315.0	0.72
	25	12.66	1.78	"	150.0		2.36
	10	12.87	1.64	"	36.0		4.62
	55	12.37	1.86	"	284.0	211.5	0.93
	25	12.77	1.76	"	79.3		2.88
	10	13.02	1.63	"	13.1		5.07

3 一軸圧縮試験

供試体作製は、「土質試験法」第12章作製方法1に準拠した。養生方法は、モールドからとりだ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安置する方法をとった。その間に供試体重量の変化のないことを確認し、非水浸条件で圧縮試験を行なった。圧縮試験は、歪制御形式（1mm/min）を採用し、米国製電動式一軸圧縮試験機（Cap. Roving Ring 10,000, 6,000, 2,000 lbs.）を用いた。

(1) 含水比を変えた場合の強度試験

C. R. R. とセメントを0, 2, 4, 6および8%の割合で混合し、含水比を13, 14, 15, 16, 17および18%になるよう給水して、各セメント量ごとに5本の供試体を作製した。各供試体ごとに、作製時の含水比と乾燥密度を測定した。パラフィンワックスで被覆養生した供試体を、6日後に重量チェックを行ない、パラフィン除去後直ちに重量を測定して、湿気箱（ $28 \pm 1^\circ$, $97 \pm 2\%$ ）中に24時間養生して7日強度を求めた。なお、圧縮試験直前に供試体の重量を測定したがほとんど変化がなかった。パラフィン除去後、24時間非水浸湿気箱内養生を施したのは、気乾（室温 $28 \pm 1^\circ$ ）した場合にはその強度がかなりでる（セメント0%の場合は約3倍）ので、条件を悪くとしたのである。また、C. R. R. の場合供試体作製直後の強度は、ほとんど期待できず、一般的な7日強度基準にしたがった。圧縮試験の結果を、それぞれ平均値で示したのが、表-14である。

表-14 セメント量、含水比を変えた場合の強度試験結果

セメント量 (%)	作製時含水比 (%)	作製時乾燥密度 (ρ / cm^3)	7日圧縮強度 (kg / cm^2)	セメント量 (%)	作製時含水比 (%)	作製時乾燥密度 (ρ / cm^3)	7日圧縮強度 (kg / cm^2)	
0	12.47	1.67	2.22	6	16.60	1.73	16.23	
	15.05	1.69	2.66		17.80	1.74	9.82	
	16.03	1.72	3.02		12.55	1.67	20.05	
	16.53	1.74	3.12			13.60	1.69	24.48
	16.80	1.74	2.23			15.00	1.72	26.62
2	12.50	1.65	7.66	15.45	1.75	32.09		
	14.00	1.69	8.03	16.48	1.77	27.84		
	15.10	1.70	9.08	17.00	1.75	21.29		
	15.50	1.71	10.12	17.70	1.74	17.02		
	15.90	1.72	10.44	8	12.55	1.68	29.90	
16.70	1.75	6.51	14.23		1.70	38.20		
18.20	1.74	4.89	15.00		1.73	42.63		
4	12.70	1.65	13.36		15.90	1.75	37.61	
	14.30	1.69	14.96		16.70	1.74	32.91	
	15.00	1.71	20.19	17.90	1.73	28.74		
	15.80	1.72	22.98					

(2) 養生期間を変えた場合の強度試験

突固め試験の結果を利用して、最適含水比におけるセメント量と強度の関係および養生期間の強度に及ぼす影響を調べた。その結果を表-15にまとめて示した。C. R. R.の場合、作製時の含の含水比管理がむずかしく、各供試体毎にO. M. C. と一致させることはできなかったが、それに近い値を得ることができたので、平均的な値を表に記してある。各セメント量ごとに9個の供試体を作製し、各々3コずつを養生日数にしたがってふりあてた。養生方法については、7日強度は6日パラフィン被覆養生+1日湿気箱内養生、14日強度は13日パラフィン被覆養生+1日湿気箱内養生、28日強度は27日パラフィン被覆養生+1日湿気箱内養生という条件で求めた。湿気箱はその間前記温度および湿度を保つようにした。

表-15 養成日数による強度変化

セトメ量 ン(%)	養生 日数	作製時 含水比 (%)	作製時 乾燥密度 (ρ /cm ³)	一軸圧縮 強度 (kg/cm ²)	セトメ量 ン(%)	養生 日数	作製時 含水比 (%)	作製時 乾燥密度 (ρ /cm ³)	一軸圧縮 強度 (kg/cm ²)
0	7			3.22	6	7			31.96
	14	16.43 (16.30)	1.74 (1.764)	3.53		14	15.70 (15.30)	1.73 (1.770)	36.81
	28			3.90		28			39.55
2	7			10.64	8	7			43.31
	14	15.90 (16.1)	1.72 (1.766)	11.63		14	15.50 (15.60)	1.75 (1.772)	46.54
	28			13.83		28			57.00
4	7			23.73	注) ()内はO. M. C. および γ_{dmax} . を示す。				
	14	15.80 (16.0)	1.73 (1.768)	24.42					
	28			27.45					

(3) 強度回復能試験

C. R. R. 路盤はヒビワレが生じて、交通転圧により再び接着する性質を有すると思われるので、その強度復元能力を、一軸圧縮試験によって調べてみた。供試体作製および養生方法は(2)の場合と同じである。試験方法は、先ず7日強度(初回強度)を求めるが、試験の際、供試体表面におけるクラックの発生と進行状況に注意しつゝ、最高強度を確認したら直ちに除荷し、静かに湿気箱内に戻し、一週間後にそのまゝ試験機にかけて再圧縮試験を行なうという方法をとった。強度回復は供試体の破壊面のゆ着によるものと思われるが、それには適度の湿気が必要かと考えられ、養生箱中の湿度を99±1%を保持するようにした。試験結果は表-16に示してある。

表-16 強度回復能試験結果

セメント量 (%)	作製時含水比 (%)	初回強度(7日目) (kg/cm ²)	再圧縮強度(14日目) (kg/cm ²)	増加率 (%)	セメント量 (%)	作製時含水比 (%)	初回強度(7日目) (kg/cm ²)	再圧縮強度(14日目) (kg/cm ²)	増加率 (%)
0	16.84	1.94	3.17	63.4	4	16.11	20.69	18.46	—
	16.78	1.97	3.17	60.9		16.00	11.79	17.83	51.2
	16.76	1.14	2.77	143.0		15.96	12.19	17.56	44.1
	16.69	1.68	3.39	101.8		16.63	15.19	16.76	10.3
	16.77	1.30	3.19	145.4		15.80	19.13	20.34	6.3
2	16.70	7.62	10.03	31.6	6	15.86	28.10	26.81	—
	16.55	7.59	10.42	37.3		15.97	29.26	30.93	8.5
	16.72	7.41	12.43	67.7		15.79	33.68	25.13	—
	15.70	8.73	10.56	20.0		16.06	29.18	26.38	—
	15.50	7.95	12.06	51.7		15.70	34.96	32.16	—

(4) 高温養生による強度試験

C. R. R. の強度増をはかる方法の一として熱処理が考えられるが、これはC. R. R. が加熱によってその主成分をなす炭酸カルシウムに化学変化をきたすためと思われる。しかし、実際的な立場から加熱時間をあまり長くしたり、非常に高い温度で処理したりすることは好ましくない。予備テストによれば、普通炉乾燥温度（110℃）のもとで約5時間熱すると、水分は外見上ほとんど蒸発し、その後はC. R. R. 自身の化学変化が考えられたので、今回は、7日強度をたてまえとして6日間パラフィン被覆養生のあと24時間炉乾燥処理を試みた。供試体作製およびパラフィン被覆養生については(2)と同方法を取り、パラフィン除去後3本は炉乾燥処理、3本は湿気箱内養生を行なった。各セメント量ごとに6本一組とし、このテストを2回実施した結果を表-17に示す。

表-17 熱処理試験結果

セメント量 (%)	作製時含水比 (%)	qu_1 (kg/cm ²)	qu_2 (kg/cm ²)	増加率 (%)	セメント量 (%)	作製時含水比 (%)	qu_1 (kg/cm ²)	qu_2 (kg/cm ²)	増加率 (%)
0	15.97	2.03	7.10	250	0	16.30	1.8	5.76	220
	15.69	1.90	4.92	159		16.20	2.0	7.37	269
	15.63	2.04	7.40	263		16.20	2.2	8.33	279
2	16.23	7.23	17.69	145	2	15.80	7.65	28.20	267
	16.13	9.48	25.49	169		15.80	7.89	30.14	282
	15.73	9.02	19.75	119		15.60	6.37	20.96	228
4	15.81	20.83	41.49	99	4	16.10	14.51	42.80	195
	15.68	17.48	35.38	102		15.90	16.84	48.92	190
	15.59	21.74	45.04	107		15.70	15.21	45.61	200
6	16.23	22.66	49.07	116	6	15.90	25.88	58.19	125
	16.07	27.14	53.06	96		15.80	25.45	52.54	106
	16.03	28.19	55.25	96		15.50	26.05	62.53	140

注) 増加率 = $\frac{qu_2 - qu_1}{qu_1} \times 100$ (%)

qu_1 湿気箱養生7日強度
 qu_2 熱養生7日強度

組合せは大-大、
中-中、小-小とした。

V 試験結果の検討および考察

1. 突固め試験について

セメント量と最適含水比、最大乾燥密度の関係を示すと、図-5のとおりである。突固め効果については、ソイルセメントの場合と同様セメント量が増加すれば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、その変量はさほど顕著なものではない。したがって、先に述べたように、C. R. R. の突固めについてはその含水比の管理などに意を払う必要がある。C. R. R. の場合、含水量が増加すると、突固め時にダイレイタンスー（水の滲出）が大きく、また突固め面のむくりがいちじるしく成型に不都合をきたす。

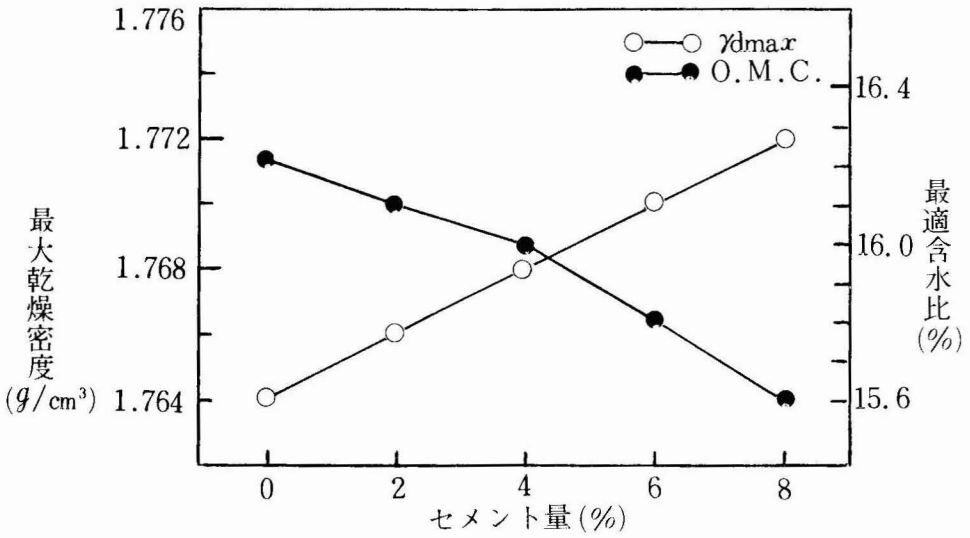


Fig. 5 Relationship between γ_{dmax} , O.M.C. and Cement Content.

2 C. B. R. 試験について

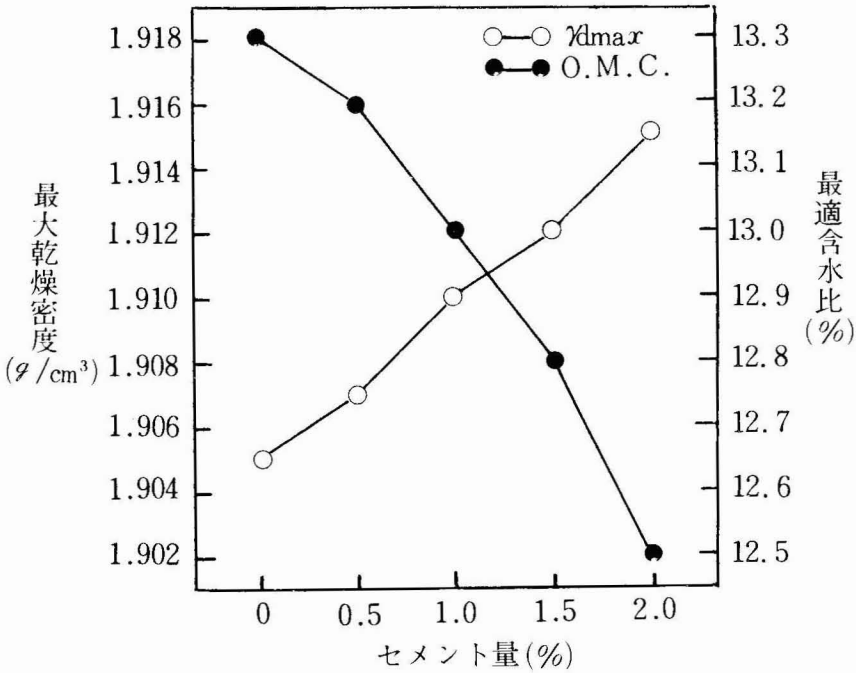


Fig. 6 Relationship between γ_{dmax} , O.M.C. and Cement Content (C.B.R.)

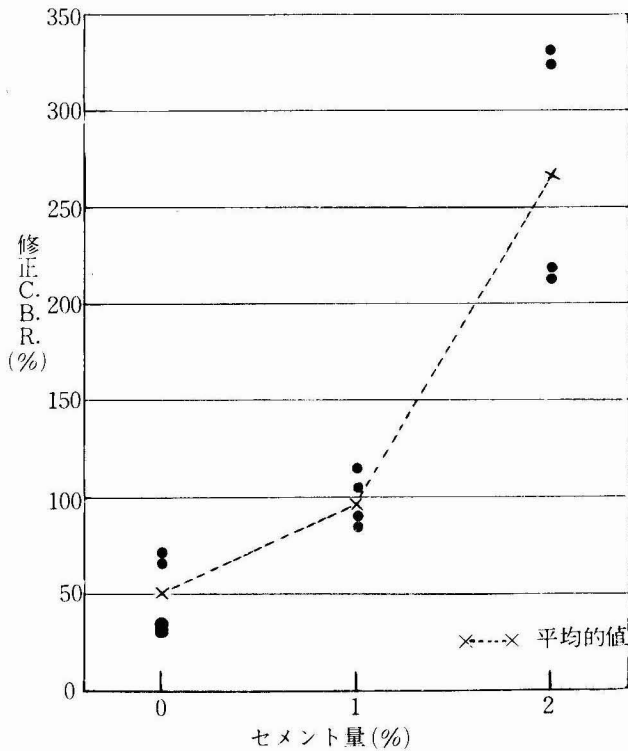


Fig. 7 Relationship between C.B.R. and Cement Content

セメント量と最適含水比、最大乾燥密度との関係を示すと、図-6のようになり、締固め効果については1と同様なことが言える。更に、セメント量とC. B. R. の関係は、図-7に示すとおりで、セメント量が増加するとC. B. R. も増大するが、その増加のしかたはいちじるしいものがある。C. R. R. の場合、供試体作製の際、大きな粒石がまじっていてその詰まり方に変動があり、特に貫入面下にそれがあると、初期荷重値は大きくでてくることがある。その結果C. B. R. 値にもバラツキがみられるのは止むを得ないと思われるが、一方、含水比の調整もなかなかむづかしく、O.M.C.および最大乾燥密度を得ていないため、締固め時の乾燥密度とC. B. R. の関係が定かではない。結局、C. R. R. の締固め方法については、今後研究を重ねて検討を加えてゆきたい。なお、「アスファルト舗装要綱」や「土木研究所案」（表-18）と本試験結果を比較してみると、C. R. R. にセメントを僅少量添加することによって、よい結果が得られるようである。

表-18 Pavement Design Criteria

計画交通容量	イルセメントの設計圧縮強度 (kg/cm ²)		修正C・B・R・ (%)
	アスファルト舗装	コンクリート舗装	アスファルト舗装
2000台/日未 満	20	10	45以上
2000~7500台/日	25	10	65以上
7500台/日以 上	30	10	70以上

3 一軸圧縮試について

(1) 含水比が強度におよぼす影響

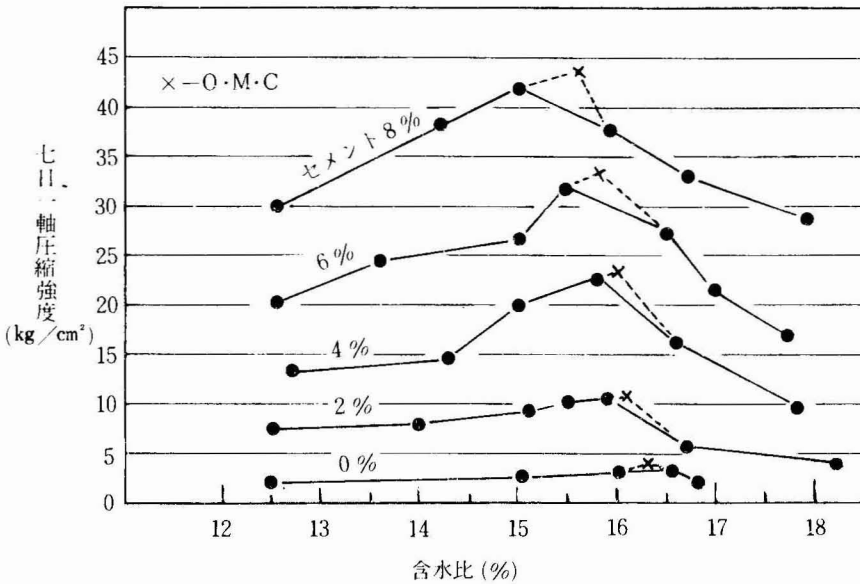


Fig. 8 Relationship between Unconfined Compressive Strength and Moisture Content for each Cement Content.

含水比が低い時のC. R. R. はザラザラしていてもよく、含水費が高くなるとクシヨグショシて変形しやすく、いづれも強度は期待できない。図-8は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示したものである。C. R. R. およびそのセメント処理土は、O. M. C. で最大強度が得られ、それよりdry側でも、wet側でも、強度は減少しているので、突固め試験の結果を利用してよい。ただ、乾燥密度と強度の間に明確な関係が見出されないけれども、含水比の方が強度を大きく左右することは確かである。図から、C. R. R. のみではその強度が低くて含水比による強度の差異が顕著にあらわれていないが、セメント量が増えるにつれて、含

水比の影響はいちじるしくなり、O. M. C. に近づく（または遠ざかる）と急激な強度の増（または減）認められる。なお、C. R. R. の一軸圧縮供試体を水浸すると瞬時にして崩壊するので、これが今後の課題の一つである。

(2) セメント量および養生日数が強度におよぼす影響

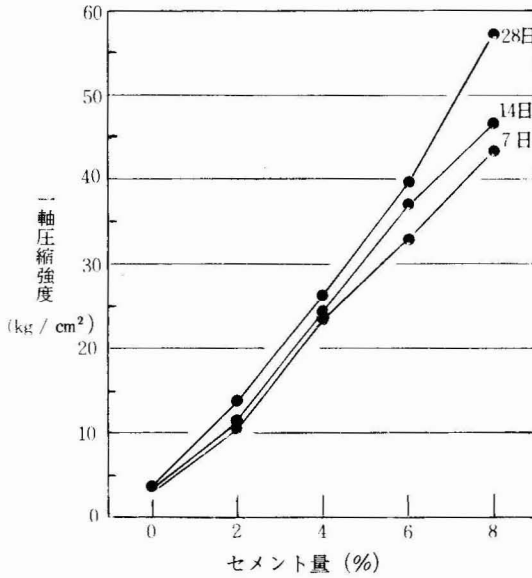


Fig. 9 Relationship between Unconfined Compressive Strength and Cement Content.

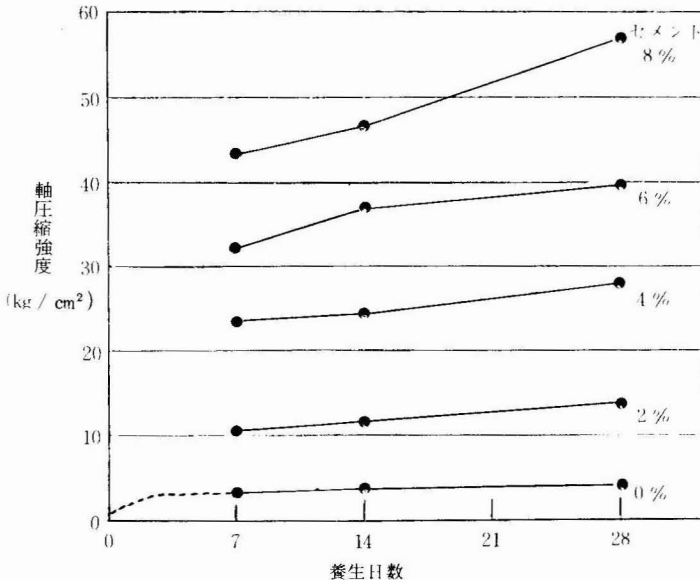


Fig. 10 Relationship between Unconfined Compressive Strength and Curing Days.

C. R. R. においても、セメント量の増加は強度の増加をもたらしており、図-9 にその関係を示す。一方、養生日数による強度の増は、図-10 に示すように、あまり期得はできないが、セメント量が増えるほどその増加割合は大きくなる傾向がある。C. R. R. は、供試体作製後2日程で、28日強度の75%位、7日強度の90%位の強度を発揮しているのので、養生日数の短縮が考えられる。このようなことから、C. R. R. は短期間で水分による固結硬化作用が終了し、その後は水分が強度に及ぼす影響は僅少となりむしろCaCO₃の硬化度が問題となるように思われる。その点、セメントを加えると、セメントの働らきが影響し長びくようである。設計圧縮強度について、表-18を参照すると、C. R. R. の場合はセメント量を4%添加すればよいと思う。

(3) 強度回復能について

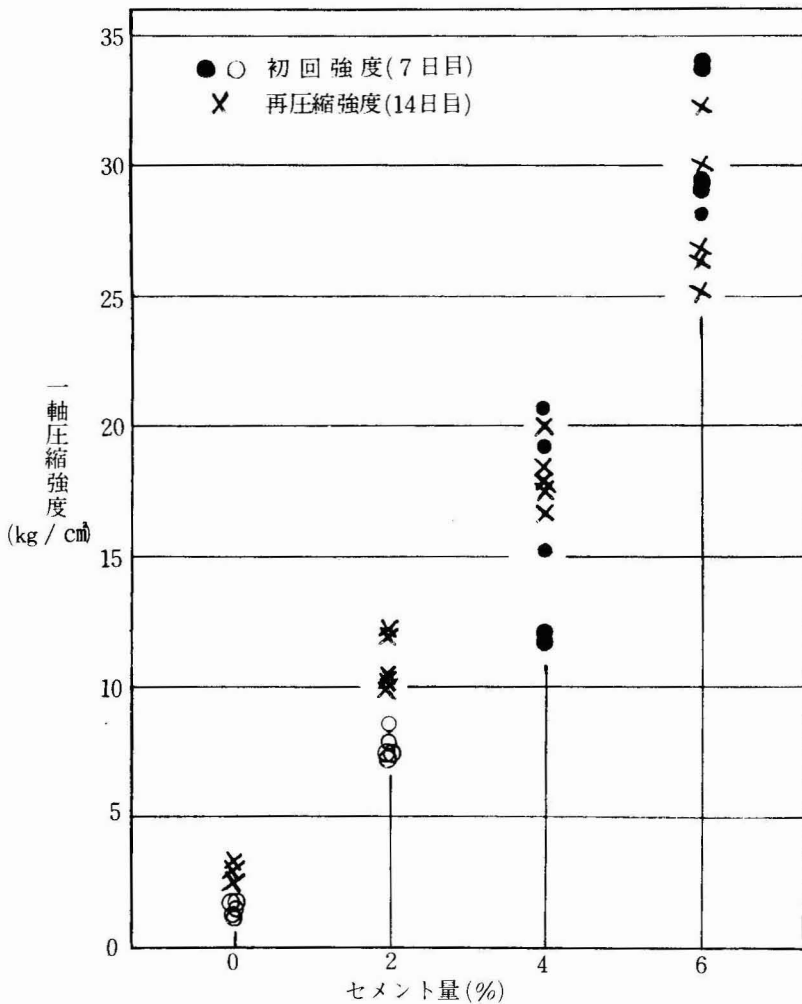


Fig. 11 Strength Recovery of C.R.R. for each Cement Content

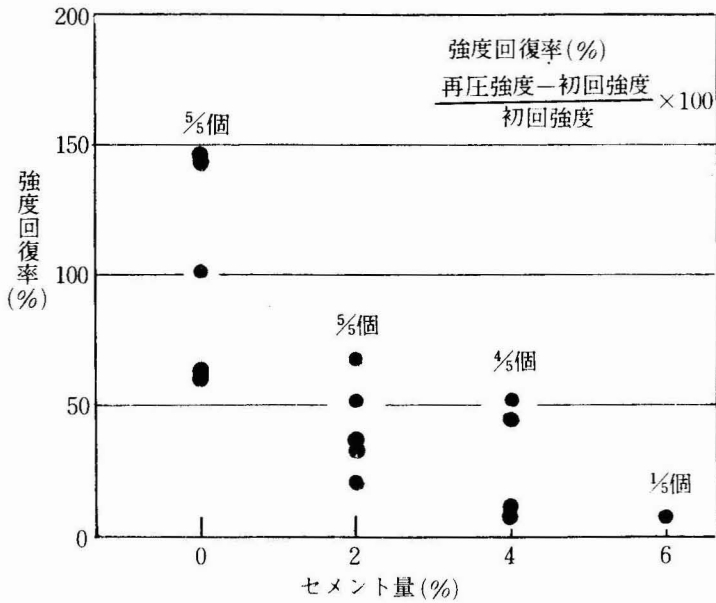


Fig. 12 Strength Recovery Rate of C.R.R. for Each Cement Content

路盤などの場合、C.R.R. のヒビワレは、交通荷重によって再接着がおこるものと考えられるが、本実験ではヒビワレがかなり進行しているにもかかわらず、除荷後all around pressureはかけずにそのまま、湿気箱中に安置して、再圧縮試験を行なった。その結果はかなり良好な強度回復作用が認められ、図-11にこれを示す。C.R.R. は、ヒビワレが発生し、表面でこれがかなり進行していても、強度を保っているのので、再圧縮の際これらが密接してしまうようなことはない。11図から、C.R.R. のみまたはセメント量が少ない場合は、初回強度よりも再圧縮強度の方が大きくでているのは注目に値する。強度回復の程度を示すと、図-12のようになり、セメント量0、2%では各供試体とも強度増がみられるが、4%では5個中4個、6%で5個中1個という割合で、強度回復作用がにぶくなっている。このことから、強度回復能力は、C.R.R. の本質的なものに関係していると思われ、今後、その機構を追求してゆきたい。ただ、ヒビワレ発生後そのまま、乾燥してゆくと、このような現象は期待できず、水分の助けが必要かと思われるので、水浸崩壊の欠点を考慮に入れつゝ、それをいかに処理するか（今回は単に湿度を高くしたのみ）が問題であろう。

(4) 高温養生の効果について

C.R.R. の通常強度を高めること、水浸による強度の激減を防止することのために加熱したのであるが、強度試験の結果良好な成績をあげ得たので、これを図-13に示す。図から、C.R.R. のみまたはセメント量が少ない場合は、高温処理によって強度のいちじるしい増が認められ、これも、C.R.R. の本質的なもの(CaCO₃の加熱による化学変化特性)に原因すると考えられる。コンクリートの焼熱による強度減を思うと、セメント量が増えると上記の効果は当然減少する。今回は、温度110℃、加熱時間を1日としたが、温度および加熱時間の短縮と、

熱処理後の耐水性（崩壊）の検討が、今後の問題となる。なお、熱処理後の強度回復能については疑問が残るが、これも検討してみたい。

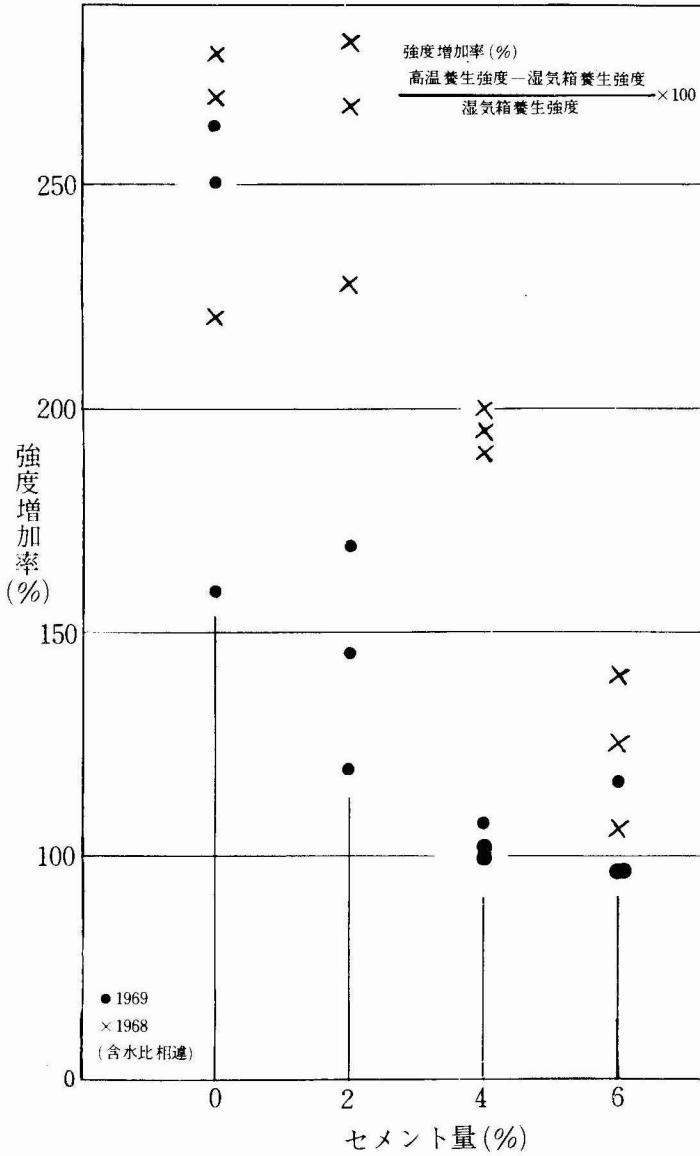


Fig. 13 Strength Augmentation by Heating

Ⅳ あとがき

以上、沖縄産C.R.R.の概況と基礎的実験について述べてきたが、まだ緒についたばかりで、今後の調査研究に待つ所多いことは言うまでもない。C.R.R.の特性を考慮して、その耐水性および耐久性についての実用的な安定処理工法の開発と、路盤効果の解明をおしすすめてゆく必要がある。また、今後のC.R.R.採掘事業の安定と発展を図るについては、生産輸出形態の合理化によってコストダウンをはかりつゝ、需要開拓への努力が望まれる。

C.R.R.の路盤材料としての調査・研究には、土木研究所や大阪市などの報告(沖縄産)や、九大山内教授らによる報文(徳之島、喜界島産)があり、有益な指針を与えられた。

最後に、本報文を書くにあたって、いろいろと参考引用させていただいた文献や報告書をあげて、深く感謝の意を表するとともに、卒業研究として協力してくれた、本学科卒業生、伊良部、神谷、仲村の諸君にも謝意を表する次第である。

参考文献

- 1、琉球群島の地形・地質・及鉱床
琉球政府経済局編 (1954)
- 2、琉球列島(南西諸島)の構造区分
小西健二(1965)地質学雑誌71-840
- 3、工業概観1969
琉球工業連合会
- 4、沖縄コーラルリーフロック調査報告書
国際建設技術協会-沖縄コーラルリーフロック調査団(1964)
- 5、路盤・基盤用新骨材コーラルリーフロック
沖縄コーラル資源開発株式会社(福岡)
- 6、第3次沖縄天然ガス鉱床調査の記録
福田理外14(1967)地質ニュースNos157,158