

# 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)ー沖縄産 コーラルリーフロックその2ー

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2012-07-13 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/20.500.12000/24958">http://hdl.handle.net/20.500.12000/24958</a>

## 路盤の安定処理工法に関する基礎的研究 (II)

—沖繩産コーラルリーフロックその2—

上 原 方 成\*

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

— Coral Reef Rock, 2 —

Hosei UEHARA

#### Synopsis

Experimental studies concerning the improvement of the local base materials of Okinawa Islands has been made, and a part of the investigative results on Coral Reef Rock was reported before.

Present paper describes, first, the effect of the compacting method on the density and strength of Coral Reef Rock of Okinawa island. Those methods are, 1) Manual Impact Compaction-JIS and Proctor method, 2) Laboratory Manual Kneading Compaction by Harvard Miniature Device, and 3) Laboratory Static Compaction by a jack. Moisture-density relations and 7 day-cured-uncon-fined compressive strengths of those compacted samples are presented and discussed.

Secondly, the Coral Reef Rock stabilization test results by some chemicals are presented. The mixed and statically compacted samples are soaked in water for the slaking test. The treatment with a chemical; Di-ammonium Hydrogen Phosphate  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , appears to be highly evaluated.

#### I まえがき

沖繩諸島における道路路盤等の改良発展工法に関する基礎的研究シリーズの一つとして、先に、沖繩産コーラルリーフロック（以後C.R.R.と書く）の地質事情、基本的性質、若干の力学的性質およびセメント安定処理試験の結果について報告した。今回は、その続報として、C.R.R.の締固め手段による締固め効果とその力学的性質の比較検討およびC.R.R.の耐水性増強を目的とした薬液安定処理についての基礎実験的研究の結果を報告する。前者においては、締固め手段として、動的突固め(JIS型)、半動的締固め(Harvard Miniature型)と静的締固め(ジャッキ載荷型)の三

方法を採用し、それぞれの締固め密度および一軸圧縮強度試験の結果を検討した。後者においては、各種薬液とC.R.R.を混合し、静的に締固めた供試体を水中に浸漬してその崩壊テストを行なった。試験の結果、かなりの耐水性増を期待できる薬剤をみつけることができたので、ここに報告し、今後ともより詳細なテストを行なってその成果を追求していきたい。

#### II C.R.R.の物理的性質

今回使用した試料は、沖繩島読谷村楚辺産のものであり、その物理的性質は、表-1に示す通りである。試料搬入の都合により、実験の前半は表中の試料Aを、後半は試料Bを主として用いた。試料Aは採掘現場から直接採取し、試料Bは現場ではなく市内集積販売所から採取したものである。C.R.R.は、その採掘

受付：1971年9月30日

\* 琉球大学理工学部土木工学科

表一 C. R. R. の物理的性質

比重 2.712		液性限界 21.76%					塑性限界 測定 塑性 不 能				収縮限界 20.55%		分類 統一法
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 三角座標		
A	全試料	60.5	23.2	13.1	2.2	6.2	0.0078	795	39.49	25.78	16.08		
	2mm以下	0	59.3	32.2	8.5	0.325	0.0049	66	100	65.29	40.73	ロ砂   △質	
B	全試料	46.8	33.2	12.7	7.3	3.5	0.0065	540	54.24	32.82	19.41		ML
	2mm以下	0	62.5	22.8	14.7	0.39	0.0030	130	100	60.35	38.17	ロ砂   △質	

地点および採掘方法などにより、性状に多少の変動があるのは止むを得ないが、品質管理についてはもっと厳しくする必要がある。

Ⅲ C.R.R.の力学的性質の試験

A 締固め試験

C. R. R. の締固め効果を判断する目的をもっており、ここでは、試験方法を現行の代表的三方式を使って行なった。

1. 突固め試験

これは、動的締固め方法として最もよく利用されているもので、JIS A1210—1969 1—1法(土質工学会；土質試験法一昭44)に準じて行なった。試料準備は乾燥法により、非くりかえし法およびくりかえし法を実施した。試験結果は、試料Bについては図一1の通りであり、試料Aについては前回の報告同様(非くりかえし法のみ)表一2に示す通りである。

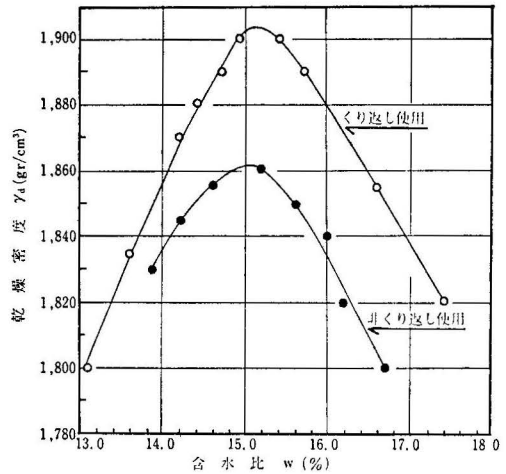


Fig. 1 Relationship between Dry Density and Moisture Content (SampleB)

表一2 最大乾燥密度と最適含水比(試料A)

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 (g/cm³)	1,764	1,766	1,768	1,770	1,772

※  
2. 半動的締固め試験

2)

これは、Harvard Miniature Compaction Test と言われているもので、タンパーに比較的急速な圧力をかけて土に押しつけることによって締固めを行な

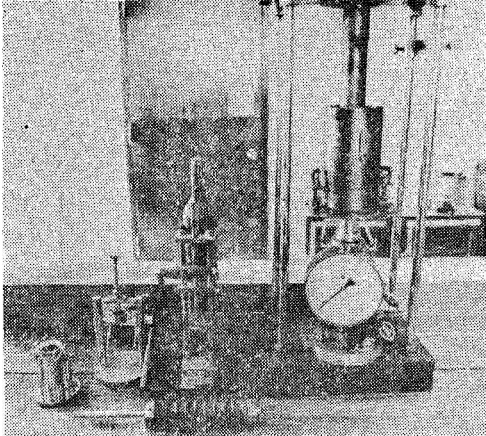


Plate-1-a Compaction Apparatus, Harvard (L), Static (R.)

う。装置が非常に小型で、労力がはぶけて短時間に数多くのテストができる利点があり。現場での転圧状態をよく再現することができるとも言われている。本実験では、4760 $\mu$ フルイ通過試料を用いて、20 lbs タンパーにより所定の層数、所定の押しつけ回数によって締固め作業を行なった。その試験結果 (試料B) を表-3 および図-2 に示す。

表-3 半動的締固め試験結果

層数	三層			五層			
	10	25	55	10	25	55	
0	OMC	16.30	15.95	15.60	15.75	15.42	14.50
	$\gamma_{dmax}$	1,732	1,801	1,827	1,812	1,838	1,860
4	OMC	16.25	15.75	15.50	15.45	14.65	14.25
	$\gamma_{dmax}$	1,738	1,820	1,831	1,823	1,843	1,875
8	OMC	16.27	15.70	14.65	15.35	14.57	14.20
	$\gamma_{dmax}$	1,797	1,832	1,859	1,835	1,859	1,887

注) 単位はOMC; %,  $\gamma_{dmax}$ ; g/cm<sup>3</sup>

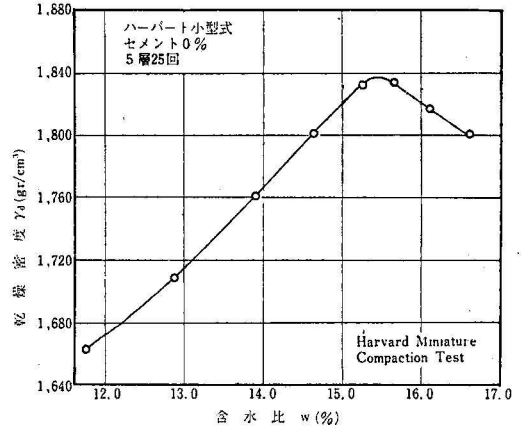


Fig. 2 a Relationship between Dry Density and Moisture Content (Sample B)

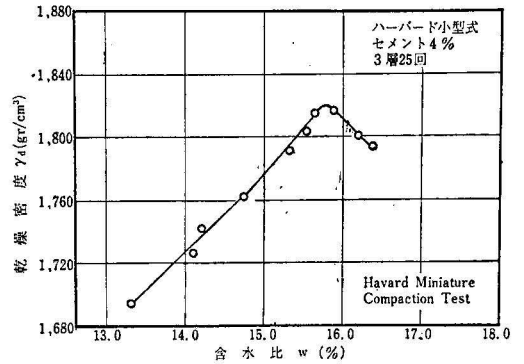


Fig. 2 b Relationship between Dry Density and Moisture Content (Sample B)

※Manual Kneading-Type Compactor とも言われる。

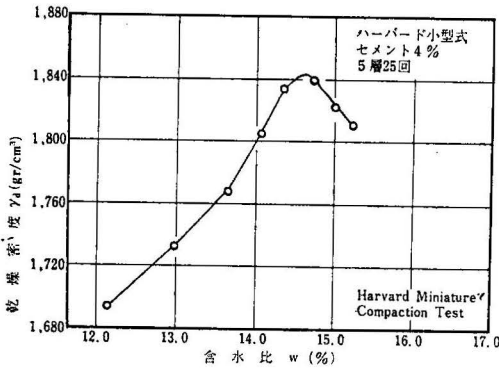


Fig-2 c Relationship between Dry Density and Moisture Content (Sample B)

3. 静的締固め試験

この方法には、California Static Load Compaction Test 【(B)(b)】 や締固めて作る安定処理土の締固めおよび一軸圧縮試験方法 (土質工学会 JIS 原案) の作製方法-2またはBSのソイルセメント供試

体作製に用いる方法があるが、ここでは CBR 載荷装置 (四柱式荷重枠; 直結式油圧テストジャッキ5 ton) を利用して上方からのみ圧縮荷重を加えた。モールドは JISA 1210の10種タイプを用い、4760 $\mu$ フルイ通過試料1.5kgを計量し、所定の水量を加えてよく混ぜ、それをモールド中に一層または二層に詰めて、ほぼ同一径の円形載荷板をのせて載荷した。載荷方法は、所定の荷重 (1 ton~4 ton) に達するまで急速に荷重を加えてそのまま一分間保ち、そして除荷して供試体高さ、重量および含水比を測定する操作をくりかえした。試験結果 (試料B) の一部を表-4 および図-3 に示してある。

表-4 静的締固め試験結果

層数	一 層				二 層		
	1 ton		3 ton		3 ton		
荷重	OMC (%)	$\gamma_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	OMC (%)	$\gamma_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	OMC (%)	$\gamma_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	
セメント量 (%)	0	18.00	1,735	16.60	1,782	15.23	1,811
	4	18.00	1,750	16.60	1,790	—	—
	8	18.00	1,750	16.60	1,790	—	—

注) OMC : 実測可能な含水比の最大値  
 $\gamma_{dmax}$  : 上記含水比に対応する乾燥密度

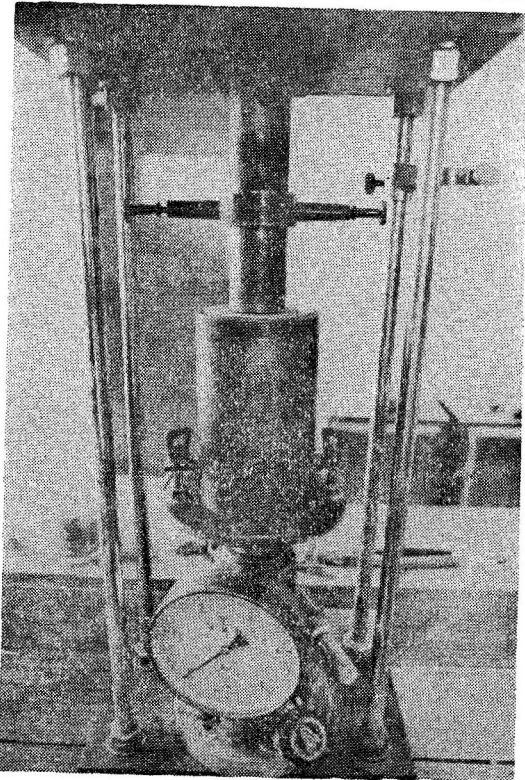


Plate-1-b Static Compaction Test

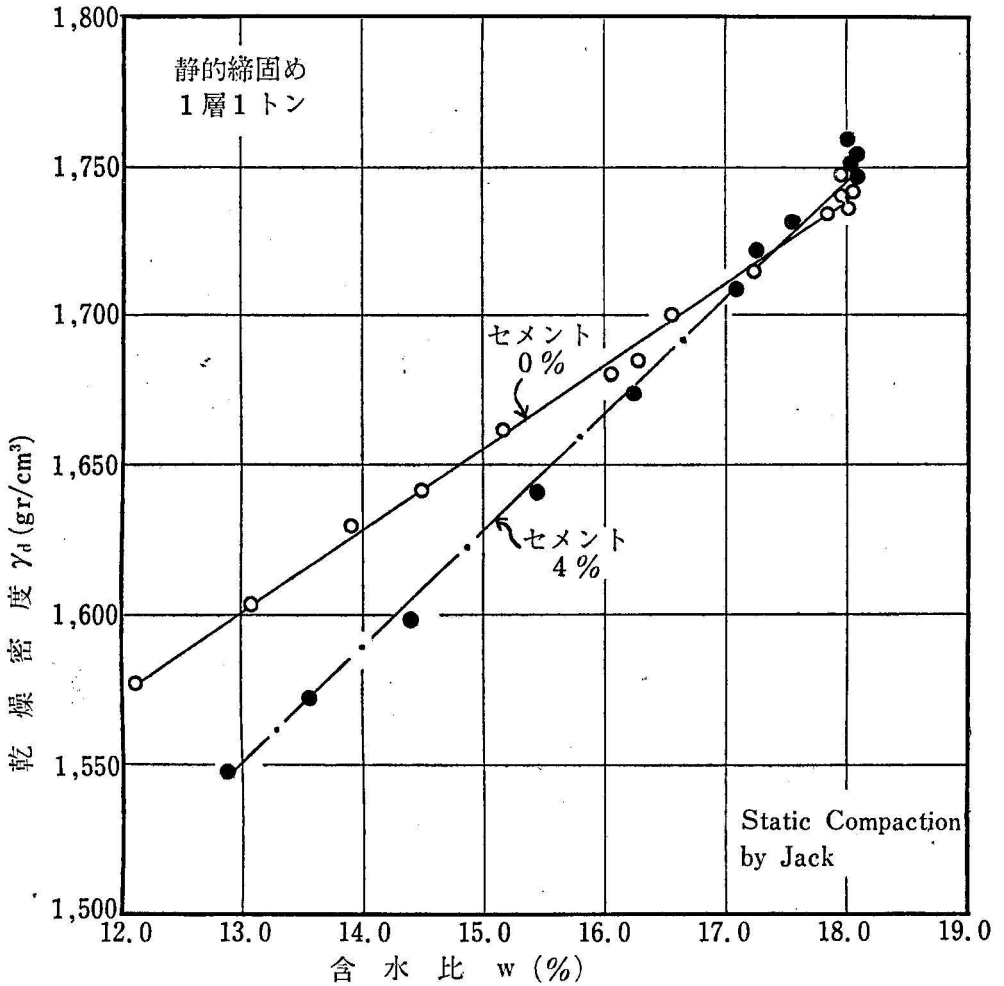


Fig. 3 Relationship between Dry Density and Moisture Content (Sample B)

B 一軸圧縮試験

1. 締固め方法のちがいによる強度の変化

このテストでは、まず三つの締固め手段によって、同一含水比、同一乾燥密度という条件で7日非水浸一軸圧縮強度を比較することにした。供試体作製時含水比は、A 試料についての標準突固め試験結果による最適含水比を採用したが、実験操作の都合により、供試体の寸法は下記の通りとした。

○動的締固め；JIS A 1210 1969 径10糎モールド

○半動的締固め；Harvard Miniature型 径3.33糎  
高さ7.19糎

○静的締固め；BS細粒土用モールド 径5糎 高さ  
7糎

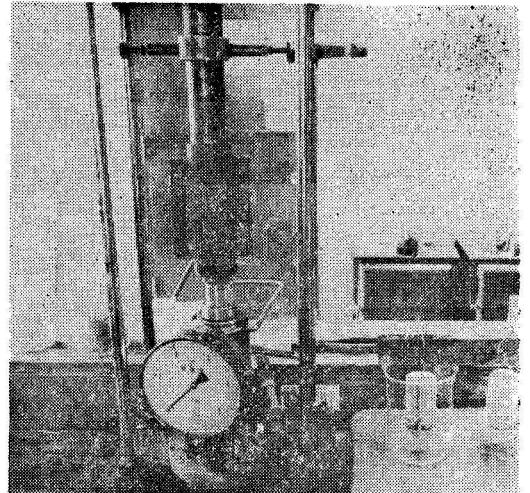


Plate-2 Statically Compacted Samples for Unconfined Compr. Test

供試体は、それぞれ3本以上作製し、いずれも含水比が変化しないよう、湿度<sup>※</sup>ほぼ100%、温度27°Cの湿気箱で7日間養生し、重量変化のないことを確認して圧縮試験を行なった。

○試験には歪制御形式（1mm/min）を採用した。

○試験結果の平均値を表一5に示してある。

表一5 三締固め方法による一軸圧縮強度（7日 $q_u$ ）

セメント量 (%)	作製時含水比 (%)	動的締固め (kg/cm <sup>2</sup> )	半動的締固め (kg/cm <sup>2</sup> )	静的締固め (kg/cm <sup>2</sup> )	静的締固め (kg/cm <sup>2</sup> )
0	16.30	3.22	0.86	0.83	3.93
2	16.10	10.64	6.93	9.26	14.92
4	16.00	23.73	18.70	20.10	27.44
6	15.80	33.00	31.96	32.50	41.92
8	15.60	43.31	39.20	45.76	50.59
		A試料	B試料	B試料	A試料

注) 動的のをぞいていずれも一層締固め供試体、同一乾燥密度

但し、静的締固めおよび半動的締固めはそれぞれ一層とし、あらかじめ計算された所定の混合物重量が所定の供試体寸法になるよう詰める必要があるため、載荷重および押しつけ回数は問題としなかった。

2. 最適含水比における強度のちが

ここでは、B-1の場合とは別に各締固め試験における最適含水比でもって供試体を作製し、それぞれの7日一軸圧縮強度を比較してみた。供試体形状および寸法、養生の条件は前記と同様である。試料Bについての試験結果（平均値）は、表一6に示す通りである。

表一6 最適含水比における7日一軸圧縮強度（試料B）

方法 セメント量 (%)	静的一層 1トン (kg/cm <sup>2</sup> )	静的一層 3トン (kg/cm <sup>2</sup> )	半動的三層 25回 (kg/cm <sup>2</sup> )	半動的五層 25回 (kg/cm <sup>2</sup> )
0	2.34	3.27	1.42	2.03
4	25.86	26.49	24.63	26.44
8	60.62	61.57	51.69	55.17

※ 1gr以内の変化は可とした。

IV 薬液安定処理試験

このテストは、C.R.R.が水に弱く、締固めを行なっても浸水すると数分で全崩壊してしまうので、短時間に疎水性したがって耐水性を高めるために、適当な安定処理剤を選定することを目的としている。今回は、これまで土質安定等で利用されている薬剤、セメントをのぞいて10余種について予備テストを行ない、そのうち効果があると思われた若干の薬剤について本試験を実施した。耐水性を判定するのに、浸水崩壊テスト（スレーキングテスト）を行なった。これは、それぞれの薬剤の水溶液をつくり、所定の含水（液）比でC.R.R.と混合、静的に圧縮締固めた供試体（5cmφ×7cmh）をつくり、作製直後または24時間内湿気箱で養生して、写真一3のようにバケツに満た

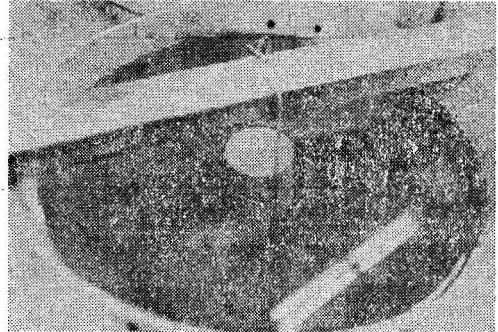


Plate-3 Slaking Test

した水中に吊し、全部崩壊しつくすまでの時間によって判定した。なお、水溶液は水1CC=1grとして、薬剤の重量比で濃度をきめた。また、供試体を浸漬する場合、水面から供試体上面までの深さは約2種となるようにした。

予備テストでは、各種薬液は15%濃度とし、動的締固めで得られた最適含水比の15%を基準にして供試体を3体ずつ作製した。試験の結果、リン酸水素ニアンモニウム、水酸化ナトリウム、リグニン、アクリル酸が有望であると思われたので、それらの水溶液濃度を変えて同試験を行なった。但し、アクリル酸は高価であるので採用せず、また、リグニンについては割高ではあるが、重クロム酸カリ混合との関係でテストを試みた。試験結果の一部を示すと、表一7a、7bの通りである。

表一7a 浸水崩壊試験結果(1)

養生条件		作製直後(分)	24時間後(分)
薬剂 (15%水溶液)			
C.R.R.のみ		6, 7, 7	15, 15, 15
塩化ナトリウム	NaCl 58.44 一級	27, 29, 34	18, 19, 21
水酸化ナトリウム	N <sub>2</sub> OH 40.00 一級	20, 24, 27	3時間経過後変化なし, 24時間後少量残
硫酸ナトリウム	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O 322.21 一級	35, 39, 43	28, 29, 29
塩化カルシウム	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O 147.02 一級	17, 17, 19	15, 17, 21
リン酸水素二アンモニウム	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 132.06 一級	10, 13, 16	キレツ発生するが崩壊せず
アクリル酸	98% CH <sub>2</sub> :CHCHO MEHQ 200 ppm	30, 30, 35	85, 100, 190
リグニン	脱アルカリ 95%	11, 12, 13	97, 110, 120

表一7b 浸水崩壊試験結果(2)

濃度	養生	薬剂	リン酸水素二アンモニウム	水酸化ナトリウム	リグニン(脱アルカリ)	重クロム酸カリ 2%+リグニン	重クロム酸カリ 4%+リグニン
2	直後		5, 6, 6	7, 8, 8	6, 7, 7	8, 8, 9	7, 8, 9
%	24時間後		上面一部崩壊するのみ	12, 13, 14	20, 20, 22	18, 18, 19	20, 20, 33
4	直後		6, 7, 8	8, 9, 9	7, 10, 10	7, 8, 9	7, 9, 9
%	24時間後		キレツ発生するが崩壊せず	12, 12, 15	33, 35, 40	29, 30, 46	22, 22, 25
8	直後		6, 6, 9	9, 10, 10	10, 11, 11	8, 8, 9	10, 10, 11
%	24時間後		崩壊せず	19, 24, 27	60, 85, 95	86, 130, 180	23, 24, 24

注) 重クロム酸カリ (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, 294.19一級) の添加割合はリグニン量に対するものである。



## V 試験結果の検討および考察

### 1 締固め特性

1) JIS A 1210、動的締固めで、くり返しテストか非くり返しにかよって当然締固め効果が変わるが、図一1から、最適含水比の値にはあまり差異がなく、乾燥密度では  $1.855\text{gr}/\text{cm}^3$  から  $1.903\text{gr}/\text{cm}^3$  に増えていることがわかる。これは、くり返しによって原試料の粒度分布に変動（細粒化）が生じることと、包含水分子の吸着安定などが原因であろう。しかし、試みに粒度分布のチェックを行なってみると、本実験では4570 $\mu$ フルイ通過試料を用いているので、2mm前後の粒径の粒子のしめる割合は、増えるが、それより細粒分はさほど増えない。また、くり返し使用回数についても、二度以後はその粒度分布に変化があまり見られないこともわかった。

2) 半動的締固めにおいては、締固め操作すなわち、押しつける力の加え方、層数および押しつけ回数の妥当な値が問題であるが、表一3から層数および押しつけ回数が増えると、最適含水比は減少し、乾燥密度が増大する傾向にある。また、セメント混入量が増えるにつれても同様なことがいえる。ただ、実際には、装置が小型のために、層数を多くしても押しつけによってそれまでの層を貫入するような状態で締固められていること、殊に、C.R.R.が粗粒質であるために給水量が漸増してある程度以上になると、その余分の水は表面または底部から排出されることなど、今後C.R.R.の半動的締固めについては、妥当な判定基準を求める必要があろう。

3) 静的締固めにおいては、圧縮荷重の大きさとモールドの容積（層厚）などに問題があると思われる。今回は、1ton $\sim$ 3ton ( $50.93\text{kg}/\text{cm}^2\sim 152.86\text{kg}/\text{cm}^2$ ) と便宜的にきめたが、突固め試験における仕事量のような考え方はこの場合適用できない。本法でC.R.R.を締固めると、図一3からわかるように、「山型」のいわゆる最適含水比—最大乾燥密度の関係が見られないのは特徴的であらう。

の増加につれてほぼlinearに増大していくが、ある含水比でストップし、それ以上給水締固めを行なっても実測含水比は変わらない。これは、この載荷方法が圧密的圧縮であり、排水が余儀なくされるためにほかならず、殊に粗粒質のC.R.R.においてはやむをえないことだと思ふ。もつとも、計算上の給水量(%)を考慮に入れて判定すると、先端の方でわずかな「山形」がみられる。上述のことから静的締固めでは、表一4中のOMCというのはいずれも実測可能な含水比の最大値をもって表わし、それに対応する乾燥密度でもって $\gamma_{dmax}$ と表示してある。なお、これらの値は、載荷重の大きさによって左右されるが、セメント混入量を増して細粒分増の働きを期待したが、これはあまり影響がないようである。(表一4参照)。

4) 締固め試験方法間の比較は、上記のことなどから、ファクターが多いことと、各々の締固めメカニズムが従来の諸説からは必ずしも明確にできないことと、定量的には困難なことである。ただ、実験室における操作の面からみて、C.R.R.の場合、半動的締固めが適するように思われ（粒径の大きいものを含む時は別である）五層25回ないし五層35回を目途とした。また、後述の強度判定の点からみても、半動的締固め方法を実験室での手段として評価していきたい。更に、C.R.R.のような粗粒土の場合、半動的締固め、静的締固めの各方法では計算上の含水比（給水量%）と実測含水比との間に、水量が増えるにつれて著しく相違がみられるので、図一4のような関係を求めてみた。これから、示方上の含水比（OMCとして）と現場での転圧を行なった土の含水比との関係については一考を要しよう。ただし、セメントを混入した場合は、もちろん両者に差異はあるが、このような明瞭な関係は得られなかった。

※ T.W.Lambe, R.V. WhitmanのSoil mechanics, 1939のFigs 34.3および34.4にTurnbullの報告(1930)として似た一例（圧縮荷重200psi $\approx 14\text{kg}/\text{cm}^2$ ）がある。

※ たとえば、R. R. Proctor, (1933) C.A. Hogentogler (1936), T.W. Lambe (1960)ら, R. E. Olson (1933) および松尾ら (1971) の報告がある。

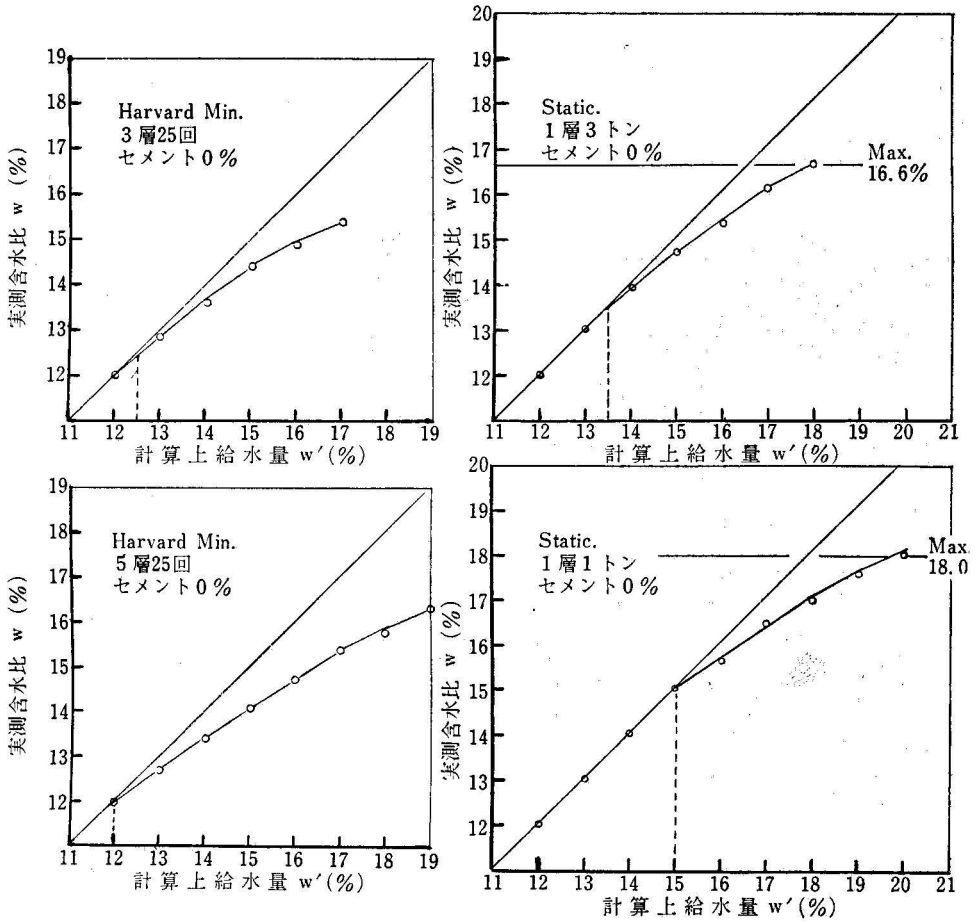


Fig. 4 Differences between Moisture Contents Calculated and Moisture Contents Measured.

※ 2 強度特性

一軸圧縮強度に関しては、締固め方法による強度の変化について一概には断定できないが、供試体寸法(径と高さの比)や破壊状況などを考慮にいれているならば、表一5、一6から、同一含水比(同一乾燥密

度)の場合も、それぞれの最適含水比で締固めた場合も、静的、半動的、動的の順で強度が大きくなると言える。図一5に、最適含水比における強度の比較を示したが、セメント量がゼロないし少量の場合は、三者にあまり差異がないことがわかる。他方、動的突固め試験の結果からは、現場での転圧の効果は安全側に見つけられていると言えよう。

※ 締固め方法の影響についてはたとえば Seed, H. B, C.K. Chan が 1939 年に // Structure and Strength Characteristics of Compacted Clays// (ASCE vol.83—SMS) の中でも論じている。

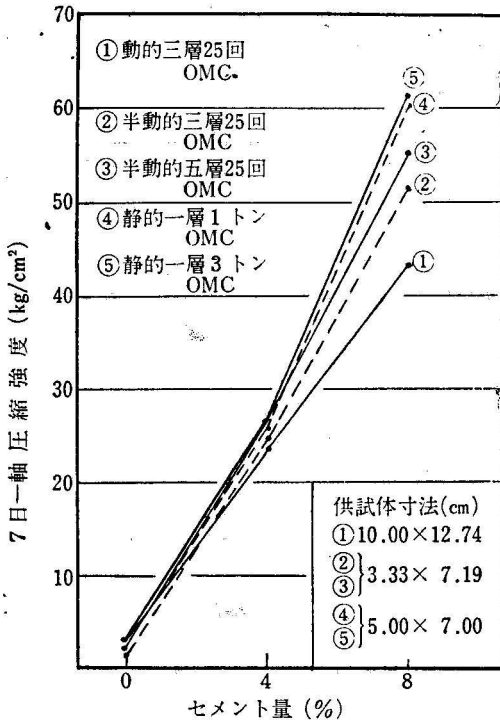


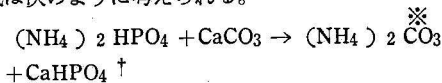
Fig.—5 Unconfined Compressive Strength for JIS, Havard, Static Type at Optimum Moisture Content.

### 3 薬液安定処理効果

今回の実験から、リン酸水素二アンモニウムやクロムリグニンなどが耐水性増にかなりの効果をもたらすことがわかった。特に、リン酸水素二アンモニウムにおいては、それが著しく、その理由は一応以下に述べるように推察される。

4)

リン酸水素二アンモニウムは、無色単斜晶系の結晶で、溶解度は水 15°C で 131gr/100gr、加熱すれば 155°C でアンモニアを放ってリン酸二水素アンモニウムとなり、また湿った空気中では徐々にアンモニアを放って分解する。一般にリン安と呼ばれ、肥料、布、紙等の防炎剤などに利用されている。これを C.R.R. と混合すると C.R.R. の主成分である炭酸カルシウム（約 98%）と反応して、リン酸水素カルシウム（第二リン酸カルシウム）を生成するものと推定し、その反応式は次のように考えられる。



※ 炭酸アンモニウム；水溶性、常温で  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{NH}_3$  としてアンモニア揮散、60°加温して  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  となる。

†  $\text{Ca}_3\text{PO}_4$  の生成も考えられる。

4)

この  $\text{CaHPO}_4$  がリン酸水素カルシウムで、白色結晶性粉末でほとんど水に溶けない（酸には易溶）性質をもっており、現に浸漬テストを行なった場合、他の薬液でつくった供試体はポロポロと粒子の分離をきたして崩壊してしまうが、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  水溶液でつくったものは、硬化して、たとえスレーキングによる亀裂の発生（ヘヤークラックから拡大発展）があっても、瓦解して個々の粒子に分離崩壊する様子は見受けられないのである。ただリン酸 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) そのものでは効果がみられないので、明確なメカニズムはわかっていない。もっともリン酸には水素が多くて、かえって  $\text{CaHPO}_4$  の生成には条件が悪いのか、または  $\text{CaCO}_3$  が破壊されるのではないかと考えられる。一方、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  中の  $\text{NH}_4$  系と  $\text{PO}_4$  系のいずれが主因となっているかを確かめる意味で、塩化アンモニウム ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )、硝酸アンモニウム ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) リン酸水素二ナトリウム ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) の薬液を使って同様な試みをやったが、前二者によるものは 24 時間養生後も 10 数分でポロポロと崩壊しつくした。  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  水溶液によったものは、供試体作製時の乾燥化がやや早い感じを受け、供試体ももろさを呈し、24 時間養生後もスレーキング時間は長びくが結局崩壊してしまった。これらの点については、今後実験による検討を加えてはつきりさせたい。なお、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  の水溶液濃度を数パーセント以上にすれば、数時間の養生（反応時間のゆとりを与えること）でも崩壊しないようであるが、締固め含水（液）比のこと（今回はすべて  $W=15\%$ ）もあわせて、今後もっと実験量をふやして確認していきたい。

### VI あとがき

以上、C.R.R. の締固め方法による特性と耐水性改良についての実験結果の検討を報告してきたが、今後の研究に期するところが多いと考える。なかでも、残された研究課題として、実験室における C.R.R. の締固め手段およびメカニズムとその効果の合理的判定のし方に検討を加えることと、薬液安定処理工法の開発方法として、特にリン酸水素アンモニウム処理 C.R.R. の養生時間および温度、水溶液濃度および締固め含液比、更に反応機構の解明と力学的性質（強さ、サクシオンなど）等について、積極的に実験研究をすすめていきたい。

最後に、本研究の実施にあたって、実験など卒業研究テーマとして協力してくれた本学科卒業生、伊良波、上地、与那覇の諸君に謝意を表します。

引 用 文 献

- 1) 上原 路盤の安定処理工法に関する基礎的研究  
（Ⅰ） 琉球大学工学部紀要工学篇第  
3号 1970
- 2) S.D.Wilson Suggested Method of Test  
for Moisture-Density Relations on  
Soils Using Harvard Compaction  
Apparatus, Procedures for Testing  
Soils, A.S.T.M. 1954
- 3) H.R.B.. Bull.319 Factors Influencing  
Compaction Test Results 1952
- 4) 化学大辞典第九卷 共立出版 昭37  
最新無機化学 改稿版 広川書店 昭44