

琉球大学学術リポジトリ

土の締固めに関する研究(第1報)

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 琉球大学理工学部 公開日: 2013-06-07 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/20.500.12000/26274

土の締固めに関する研究（第1報）

上 原 方 成*

Experimental Studies on Soil Compaction

Hosei UEHARA

Synopsis

The results of experimental studies on the compaction of local soils are reported in this paper. Three types of compacting apparatus; Dynamic (Proctor or JIS type), Kneading (Harvard min. type) and Static (compressive loading type) ones, are used to investigate their differences of compacting effects on the four soils which are the representative soils on Okimawa island.

Three or four different shapes of compaction curve; typical 1-peak type, 2-peak type, $1 - \frac{1}{2}$ peak type and $\frac{1}{2} - 1$ peak type, are resulted from each apparatus. JIS type or Kneading type has three shapes and Static type has four shapes of curve for those four soils. Also, there are two ~ three different types of the compaction curve in each soil by means of those three compacting apparatus.

Factors influencing on the test results are widely known and in this study, especially, the size distribution, mineral composition and compacting apparatus are correlated to the compaction effects.

Further, laboratory cone penetration tests are performed into the compacted soils by JIS type apparatus to investigate the engineering characteristics or the structures of those improved soils.

I まえがき

土の締固めについては、従来、いろんな問題提起がなされており、特にその「材料」としての利用ということから、土質工学の分野でも、経験的な立場に立ったものとして、理論的な検討は、なかなかに困難なものがあった。1933年に R. R. Proctor が論文を発表してから、工学的な研究対象として取扱われるようになったものの、締固め手法、方法、締固まり機構や現場締固め工法との関連など、締固めがより必須的な土木工事であるだけに、数多くの研究報告がなされ今日に至っている。室内試験の締固め手法についてみると、いわゆる、突き固め試験が標準となって採用され

ているが、突き固めによる土の締固まり機構およびその特性や現場におけるローラー締固め等とのむすびつきについては、まだ未解決の問題が多い。これは、締固め試験結果に影響を及ぼす因子として、土の種類・性状はもちろんのこと、試料の準備のしかた、モールドの形状寸法、締固め方法、体積および含水比計測のしかたなど種々あげられ、一方、締固まりメカニズムを知るための、締固められた土の構造判定に関する諸研究が、なお今日的問題点であることから、当然のことであろう。本研究では、締固め方法の中で、締固め手段（装置）による土の締固め特性を調べ、それぞれの土の種類による影響と締固まりメカニズムの検討を目的として、沖縄の代表的な4種の“土”について、動的（JIS 突き固め方式）、半動的（Harvard kneading type）および静的（圧縮方式）締固め試験

受付け：1974年4月30日

*琉球大学理工学部土木工学科

を実施した。また、JIS 方式により締固めた土については、室内コーン貫入試験を行ない、その締固め効果および様態についての検討を試みた。なお、本報文は、第27回年次学術講演会（昭和47年）に一部発表したものと、第29回年次学術講演会（昭和49年）発表予定のものに追加しまとめたものである。

Ⅱ 試料土および試験方法

1. 試料土

沖縄本島の地質事情から、土の種類は、河川・海岸における冲積性堆積物もふくめて、多くあるが、分布および量、これまでの建設工事対象頻度からみて、中南部地域の、新第三紀中新世、第四紀洪積世の島尻層

群（泥岩、砂岩）や那覇累層、読谷石灰岩を母岩（コーラル）とする土と中北部地域の、古生代、中世代の与那嶺、本部、名護および嘉陽の各層や洪積世国頭レキ層を母岩とする土が主としてあげられる。今回、試料として採用したものは、路盤材として広く使用されているコーラル、俗称クチャと呼ばれている島尻層泥岩土（堅硬な土塊を人為的に粉碎したもの）、俗称ニービと呼ばれる島尻層砂岩土（弱固結軟岩質で気乾による粉碎）および俗称国頭マーデと広く呼ばれている石川市以北の国頭レキ層土の4種であり、実験室に大量搬入して気乾状態になるまで放置したものを使用した。試料土の生成、物理的性質、粒度組成については、表1、2および図-1に示すとおりである。

表-1 試料土の生成

土の呼称	地質（母岩）	分布（採取地）
島尻層泥岩土	新第三紀中新世～鮮新世 (島尻層群泥岩：帶緑～帶青色・過圧密硬質粘土)	沖縄市、具志川市東部以南 (浦添市バイパス工事現場)
島尻層砂岩土	同 上 (島尻層群砂岩：帶緑灰～茶褐色・細粒砂岩)	同 上
コーラル	第四紀洪積世（読谷石灰岩 ：多孔質、透水性、白色・サンゴ片多）	本部町浜元一浦崎、読谷、糸満市一東風平村一具志頭村接地（読谷村楚辺）
国頭レキ層土	同 上 (国頭レキ層：残存段丘上の泥質、砂、レキ堆積物)	石川市以北東西海岸段丘 (石川市北郊外)

表-2 試料土の物理諸量及粒度組成

試料土	比重		液性限界 (%)	塑性限界 (%)	収縮限界 (%)
	2 mm以下	5 mm以下			
島尻層泥岩土	2.722	2.767	59.60	29.63	22.51
島尻層砂岩土	2.740	2.743	(23.18)	N.P.	22.81
コーラル	2.698	2.726	(21.76)	N.P.	20.29
国頭レキ層土	2.676	2.704	36.39	30.99	30.43
試料土	泥岩土	砂岩土	コーラル 2 mm	コーラル 5 mm	レキ層土 2 mm
砂・レキ分 5.0~0.074	32.0	51.0	65.0	72.0	17.0
シルト分 0.074~0.005	48.0	39.0	27.0	21.5	35.0
粘土分 <0.005mm	20.0	10.0	8.0	6.5	48.0
有効径 mm	0.0015	0.002	0.005	0.011	0.013
均等係数	34.0	800	20.0	40.0	59.2
分類	旧三角座標	粘土質ローム	砂質ローム	砂質ローム	ローム
	日本三角	細粒土 F	砂質土 SM	砂質土 SM	細粒土 F
	ソ性図	粘土 CH	(ML)	(ML)	シルト ML

注：液性限界；()内の値は試験困難によっておゝよその値。粒度組成；コーラル搬入（実用）試料の最大粒径は約50mm、レキ以上63%，砂分20%，細粒分17%……分類レキ質土{G F}

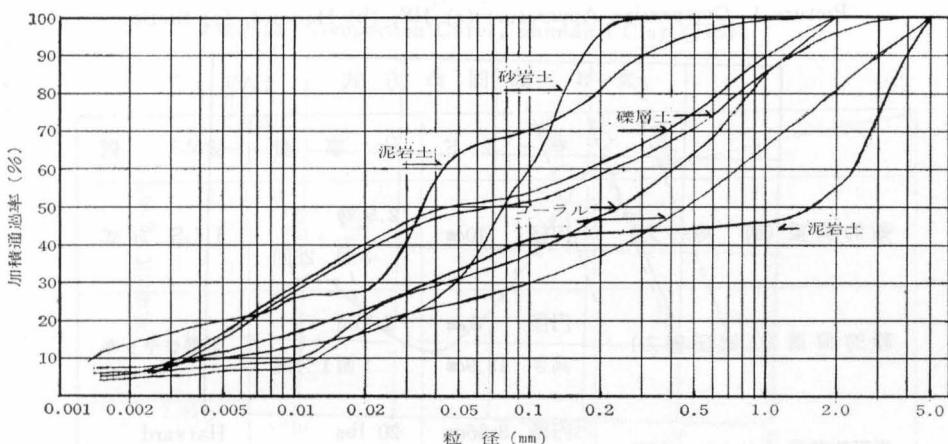
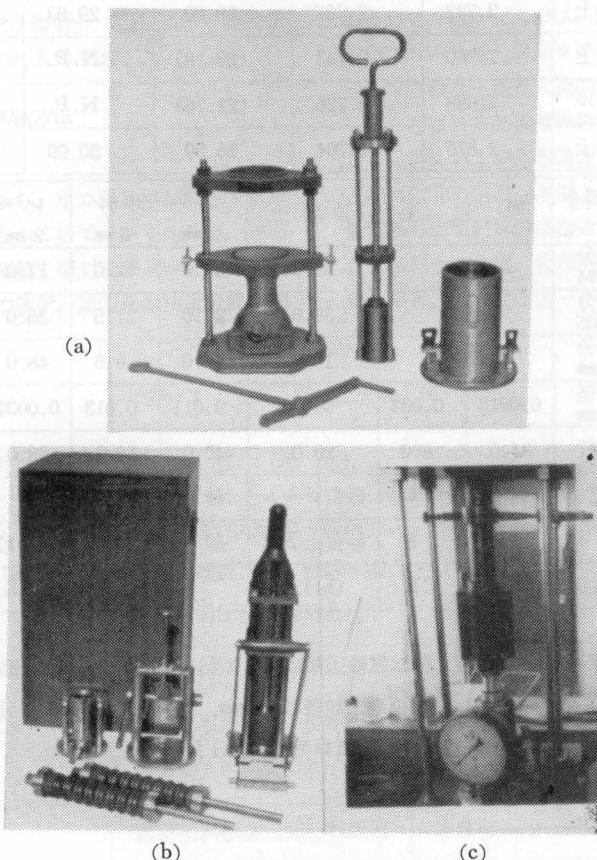


Fig. -1 Grain Size Distributions

2. 締固め試験方法

試料土は、5 mmフルイを通過したもので、気乾状態（初期含水比最低、乾燥法）から締固め、くり返し法および非くり返し法とともに実施した。締固め方式は、

写真1および表-3のとおりである。試験方法は、動的方式が JISA 1210—1969（土質工学会）の第1方法（1・1 法¹⁾）に準拠し、半動的方式が、S. D. Wilson²⁾によって提案された方法に準拠した。静的締固め試験



Picture 1 Compaction Apparatus; (a) JIS, (b) Harvard, (c) Static

表-3 締 固 め 方 式

	モールド	仕事量	装置
動的荷重（衝専力）	内径 10cm 3層 25回	2.5 kg 3層 25回	J I S 方 式
静的荷重（圧密圧縮力）	内径 5cm 高さ 13.9cm	2 ton 1層 1分間	手動ジャッキ
半動的荷重（スプリング圧）	内径 3.36cm 高さ 7.14cm	20 lbs 3層 25回	Harvard min. type

は、室内 CBR 載荷装置を利用し、内径 5 cm、高さ 17.8 cm の BS 細粒土用二つ割れモールドに、所定の重量の試料をモールド上端まで適当に充填して、上端からのみプランジャーをおしこみ、手動ジャッキによつて、最高 2.0ton に達せしめ、そのまま 1 分間保持する要領で締固めた。あとモールド内の供試体の高さを計測して、湿潤密度の算定に用いた。

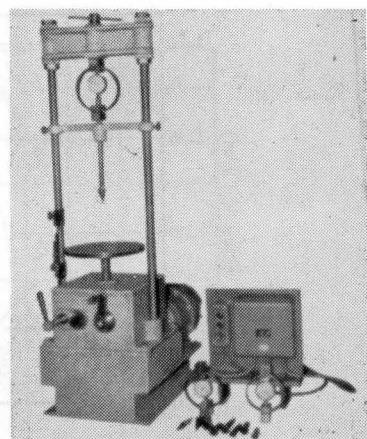
3. コーン貫入試験方法

JISA 1210 (1・1法) によって締固めた供試体（気乾状態から含水比 1～2 % 間隔でふやした）を即座に、先端角 30°、円錐底面積 6.45cm² のコーンを、1 cm/sec の速さで貫入し、5 cm 貫入深さまでの最大貫入抵抗値を求めた。同時に、含水比および乾燥密度をも求めて対比した。

III 試験の結果および検討

1. 締固め試験について

1) 動的 (JIS), 半動的 (Harvard), および静



Picture 2 Cone Penetration Apparatus

的 (Static) 締固め方式による、4 試料土についての、くり返し、非くり返し試験の結果は、図-2, 3, 4, 5 および表-4 に示してある。

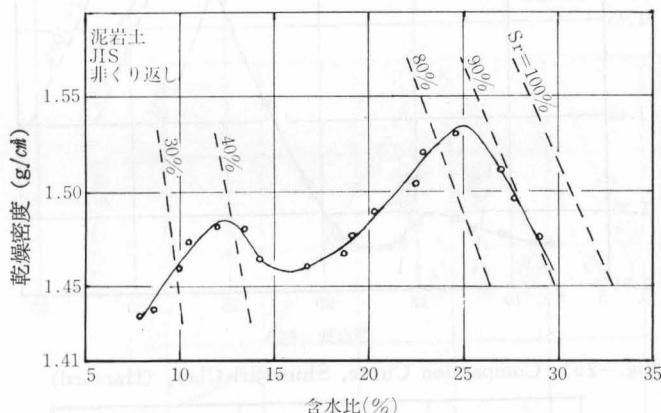


Fig.-2a Compaction Curve, Shimajiri Clay (JIS)

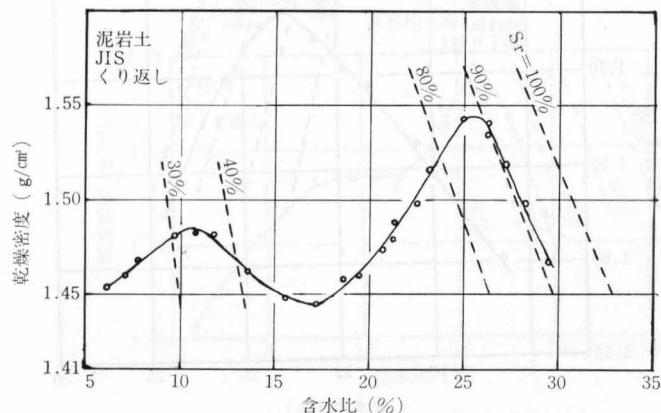


Fig.-2a' Compaction Curve, Shimajiri Clay, (JIS)

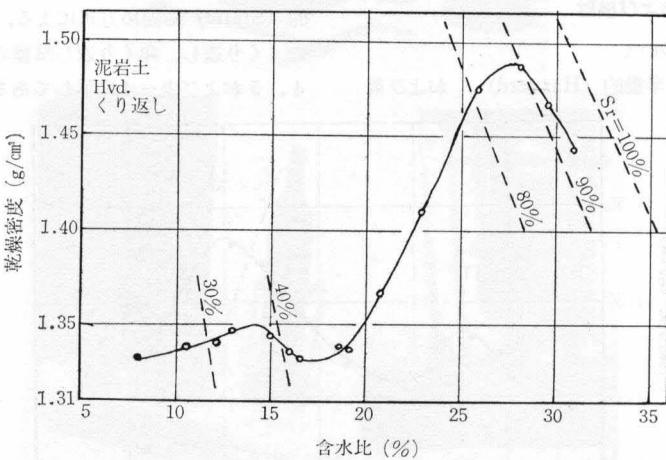
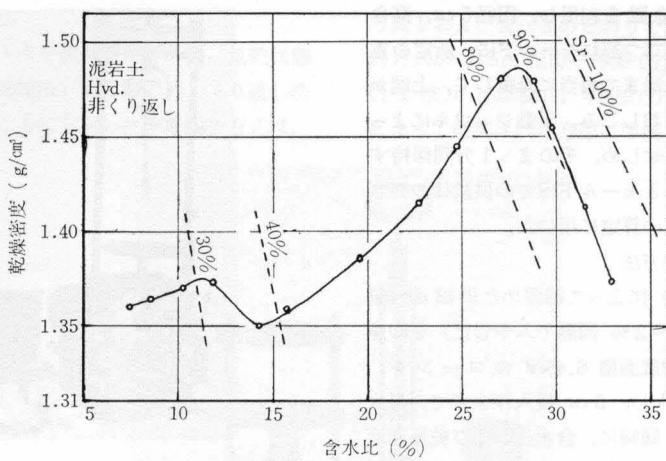


Fig. -2b' Compaction Curve, Shimajiri Clay, (Harvard)

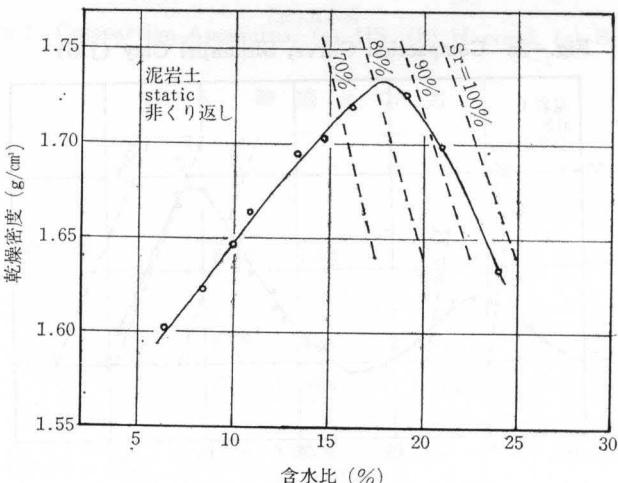


Fig. -2c Compaction Curve, Shimajiri Clay (Static)

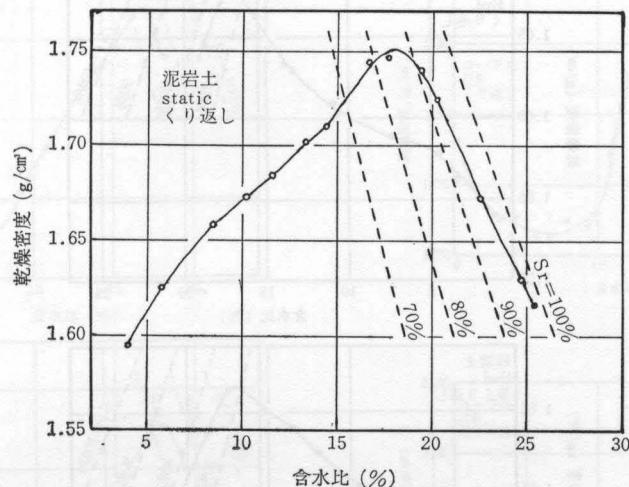


Fig.-2c' Compaction Curve, Shimajiri Clay (Static)

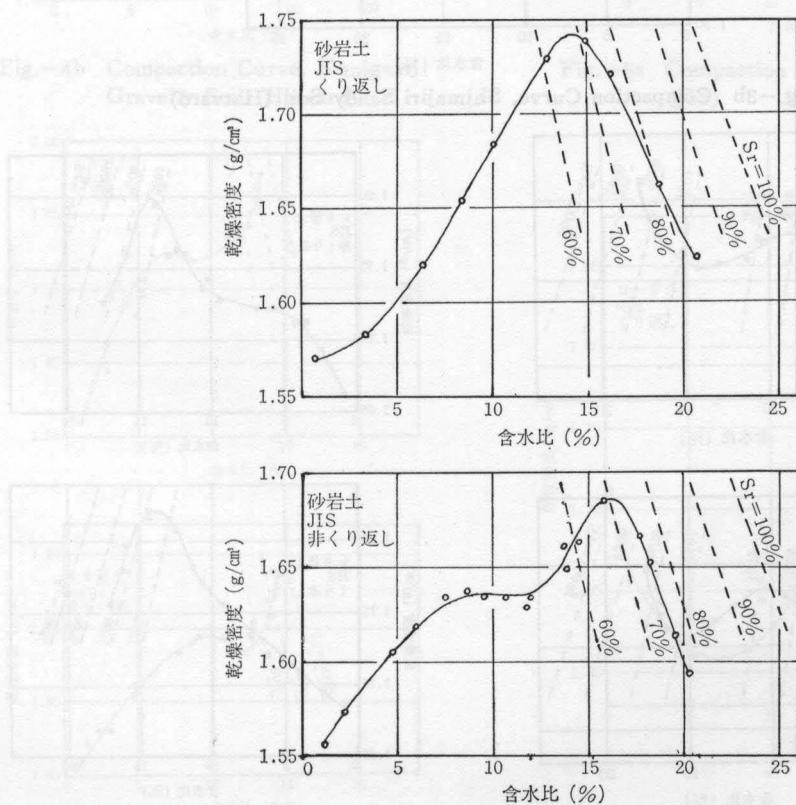


Fig.-3a Compaction Curve, Shimajiri Sandy Soil (JIS)

上原：土の締固めに関する研究（第1報）

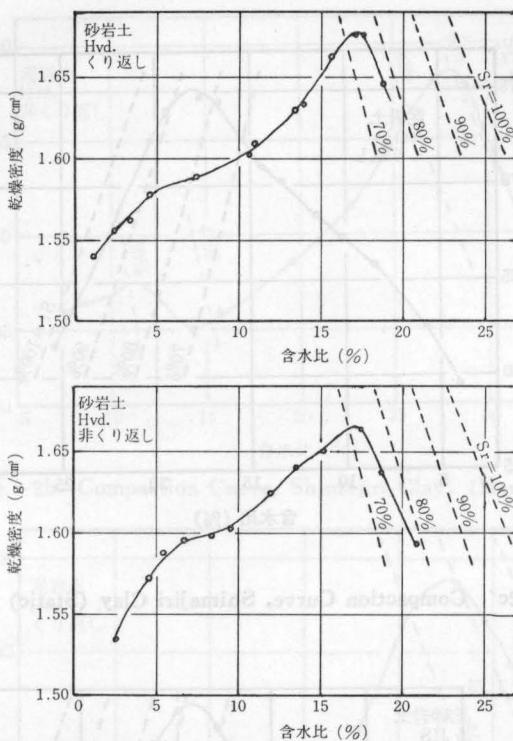


Fig. -3b Compaction Curve, Shimajiri Sandy Soil (Harvard)

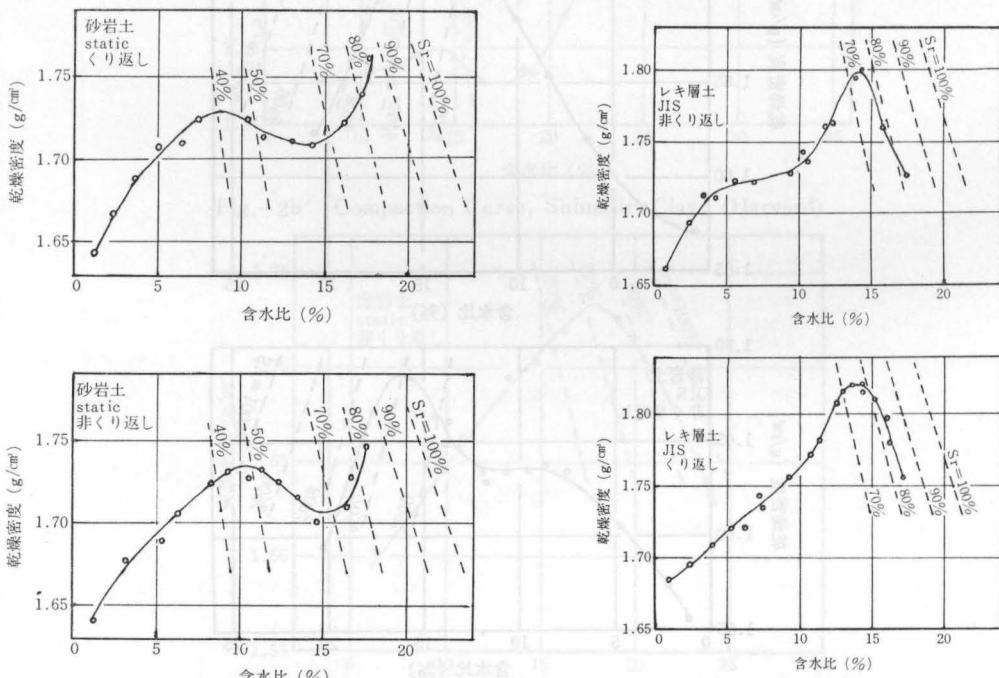


Fig. -3c Compaction Curve, Shimajiri Sandy Soil (Static)

Fig. -4a Compaction Curve, Kunigami Gravely Soil (JIS)

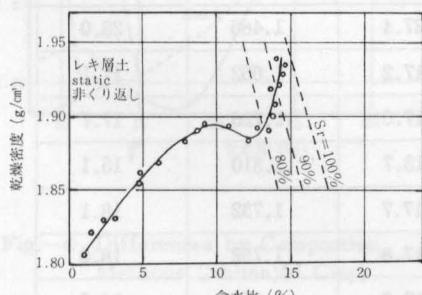
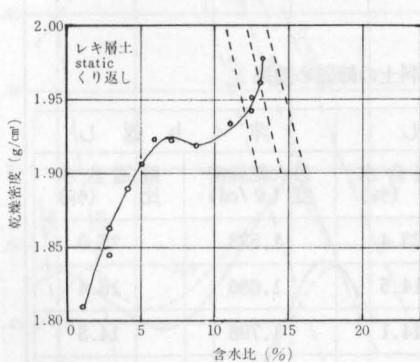
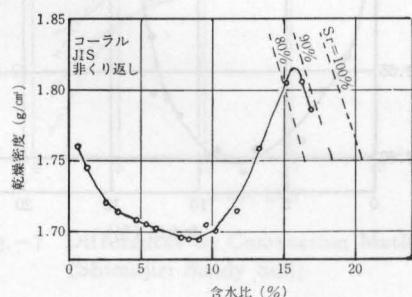
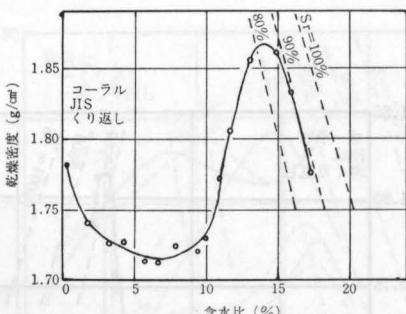
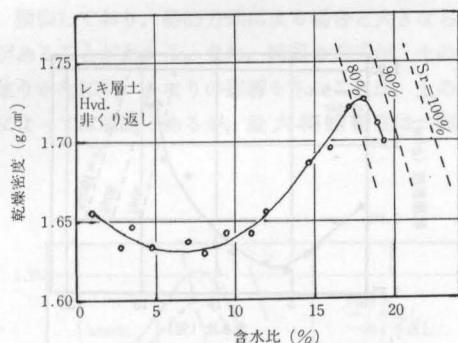
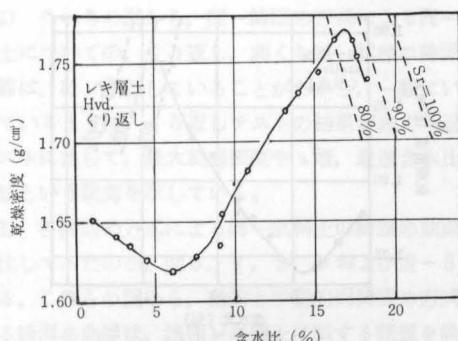


Fig.-4b Compaction Curve, Kunigami Gravely Soil (Harvard)

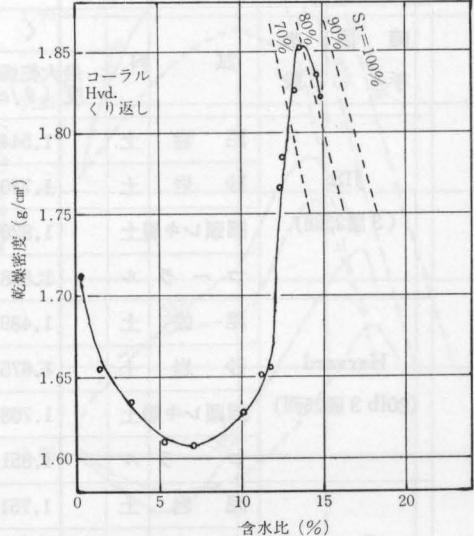


Fig.-5a Compaction Curve, Corals (JIS)

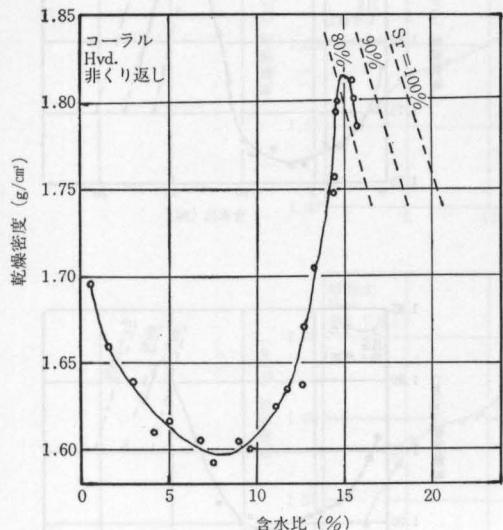


Fig.-5b' Compaction Curve, Corals, (Harvard)

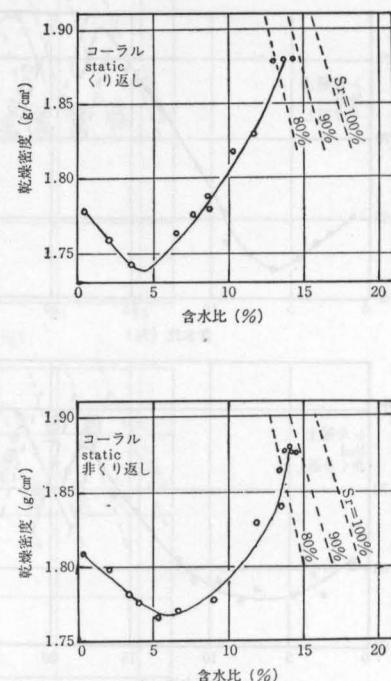


Fig.-5c Compaction Curve, Corals, (Static)

表一4 締固め手段による各試料土の締固め効果

締 固 め 手 段	試 料	く り 反 し		非 く り 反 し	
		最大乾燥密 度 (g/cm³)	最適含水 比 (%)	最大乾燥密 度 (g/cm³)	最適含水 比 (%)
JIS (3層25回)	泥 岩 土	1,544	23.4	1,533	25.0
	砂 岩 土	1,740	14.5	1,686	16.4
	国頭レキ層土	1,820	14.1	1,798	14.5
	コ ー ラ ル	1,868	14.2	1,813	15.8
Harvard (20lb 3層25回)	泥 岩 土	1,489	27.4	1,486	28.0
	砂 岩 土	1,675	17.2	1,662	17.1
	国頭レキ層土	1,768	17.0	1,726	17.7
	コ ー ラ ル	1,851	13.7	1,810	15.1
Static (2ton 1分)	泥 岩 土	1,751	17.7	1,732	18.1
	砂 岩 土	1,759	17.8	1,752	18.0
	国頭レキ層土	1,977	13.2	1,938	14.0
	コ ー ラ ル	1,879	13.7	1,876	14.4

2) これらの図から、同一締固め方式による同一試料土についての、くり返し、非くり返し試験の締固め曲線は、ほど類似していることがわかり、一般にいわれているように、くり返しテストの結果が非くり返しテストに比して、最大乾燥密度や Δ 増、最適含水比や Δ 減という傾向を示している。

3) 各締固め方式による同一試料土の締固め曲線を対比してみたのが、図6, 7, 8, 9および表-5である。これらの図から、動的と半動的両締固め方式による締固め曲線は、国頭レキ層土に関する問題を除いて、類似しており、静的方式による場合と大きなちがいがあることがわかる。また、締固め方式が、土の締固まりかたに³⁾、かなりの影響をもつことが、土の種類によっては明瞭であるが、最大乾燥密度は、何れ

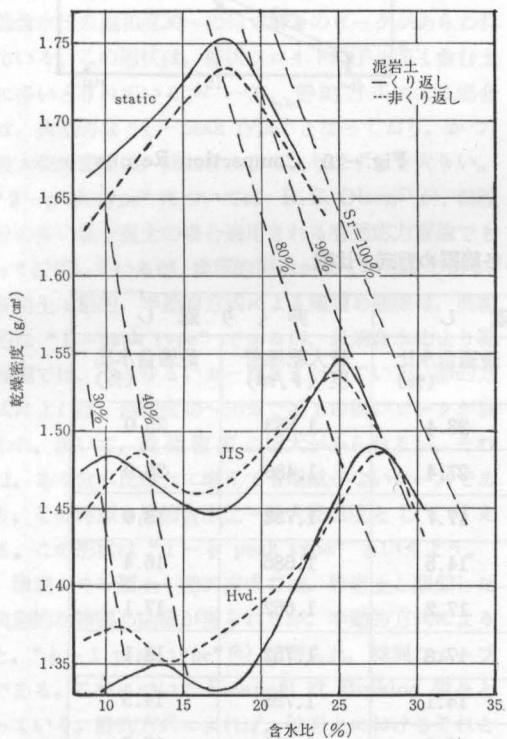


Fig.-6 Differences by Compaction Methods (Shimajiri Clay)

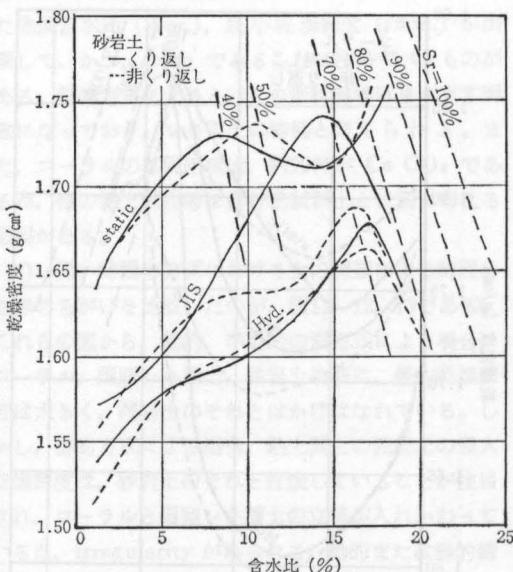


Fig.-7 Differences by Compaction Methods (Shimajiri Sandy Soil)

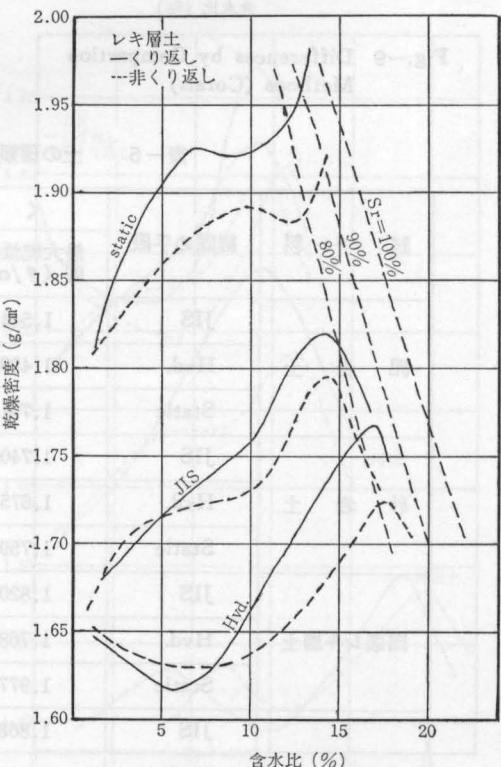


Fig.-8 Differences by Compaction Methods (Kunigami Gravelly Soil)

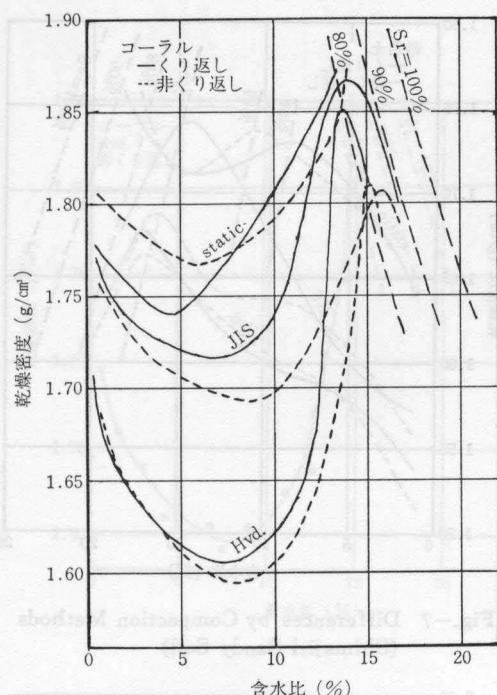


Fig. -9 Differences by Compaction Methods (Corals)

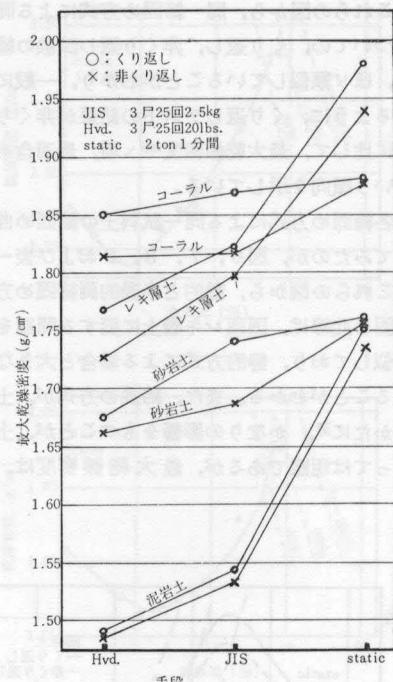


Fig. -10 Compaction Results

表-5 土の種類による各締固め方式の比較

試 料	締固め手段	く り 返 し		非く り 返 し	
		最大乾燥密度 (g/cm³)	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm³)	最適含水比 (%)
泥 岩 土	JIS	1,544	23.4	1,533	25.0
	Hvd.	1,489	27.4	1,486	28.0
	Static	1,751	17.7	1,732	18.0
砂 岩 土	JIS	1,740	14.5	1,686	16.4
	Hvd.	1,675	17.2	1,662	17.1
	Static	1,759	17.8	1,752	18.1
国頭レキ層土	JIS	1,820	14.1	1,798	14.5
	Hvd.	1,768	17.0	1,726	17.7
	Static	1,977	13.2	1,938	14.0
コ ー ラ ル	JIS	1,868	14.2	1,813	15.8
	Hvd.	1,851	13.7	1,810	15.1
	Static	1,879	13.7	1,876	14.4

も、飽和度80~90%で得られていることがわかる。さらに、図-10から、三方式における最大乾燥密度に、大きなちがいがあるので土（細粒土Fである泥岩土および国頭レキ層土）と、大きなちがいのない土（コーラルおよび砂岩土）とがあることがわかり、土の種類と性状に関係があるといえる。全般的に、今回採用した方式の締固めエネルギーまたは圧力に関しては、Static 方式、JIS 方式、Harvard 方式の順に、大きい最大乾燥密度を与えている。ここで、各試料土について、検討をつけ加えると、およそ次のようなことがいえる。これに関連して、Peter Y. Lee⁴⁾らが、動的方式による多くの土の締固め曲線については、多様な形があるとして、大きく4つに類型化を試みているので、それらの呼称（“”で表示）を使って以下述べることにする。

泥岩土；動的と半動的両方式による締固め曲線は類似していて、二つの極大値“2-peak type”を有し、低含水比の飽和度30~40%で第1のピークがあらわれている。この形状は、板状コロイド粒子を多く含む土に多いとされている。⁵⁾一方、静的方式による場合は、典型的な“1-peak type”となっており、かつ、最大乾燥密度は、前二者によるよりはずっと大きい。“2-peak type”については、R. E. Olson⁵⁾が、細粒分の多い粘土質土の場合適用される有効応力理論でもって説明しているが、臨床的例示がなく不完全である。砂岩土；動的、半動的方式による締固め曲線は、典型的な“1-peak type”であるが、最適含水比より乾燥側では、やゝゆるいカーブをえがいている。静的方式によれば、飽和度40~50%で第1の低いピークが現われ、続いて、乾燥密度の増大がみられるが、それは、ある含水比以上に増えても増減がないケースであり、その時点を最適含水比—最大乾燥密度として考える。この形状は“1- $\frac{1}{2}$ peak type”といえよう。

国頭レキ層土；動的方式では、砂岩土と類似した典型的な締固め曲線が得られるが、半動的方式によると、“ $\frac{1}{2}$ -1 peak type”（注）が得られ、特異なカーブである。これについて Lambe⁶⁾は Bulking 説をとっている。静的方式によれば、砂岩土におけるそれと似たカーブ“1- $\frac{1}{2}$ peak type”を示すが、勾配はこちらが急である。

コーラル；動的、半動的方式によれば、国頭レキ層土の半動的によるそれと類似していて、大きく上に凹

形の締固め曲線を示す。これは、大平ら⁷⁾の提示した危険含水比（Wcr.）、最小乾燥密度（ $\gamma_{min.}$ ）が出現して、かつ、steep であることに注目すべきものがある。静的方式によると、その形状特性はますます明確になっており、レキ質土の特性と考えられる。また、コーラルの鉱物組成は、約99%が Ca CO₃ である点、他の粘土鉱物等を含む三試料土とは別に考える必要がある。

4) 同一締固め方式における土の種類による締固め曲線のちがいを比較したのが、図11、12、13である。これらの図から、動的、半動的両方式による場合、コーラル、国頭レキ層土、砂岩土の順に、最大乾燥密度は大きく、泥岩土のそれとはかけはなれている。しかし、静的方式による場合、粘土質土の泥岩土の最大乾燥密度は、砂岩土のそれと近接していることが注目され、コーラルと国頭レキ層土の立場が入れかわっている点、irregularity がみられる。動的または静的締固め方式において、砂岩土とレキ層土がそれぞれ近似の曲線を与え、半動的方式の場合、コーラルと国頭レキ層土が類似の曲線（ $\frac{1}{2}$ -1 peak type）を示してい

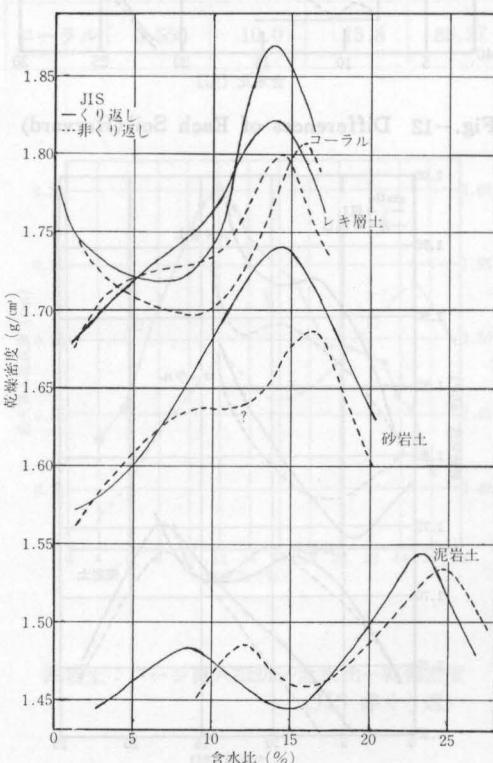


Fig.-11 Differences of Each Soil (JIS)

注) 1- $\frac{1}{2}$ peak type と $\frac{1}{2}$ -1 peak type とは筆者が图形から意識的に区別した。

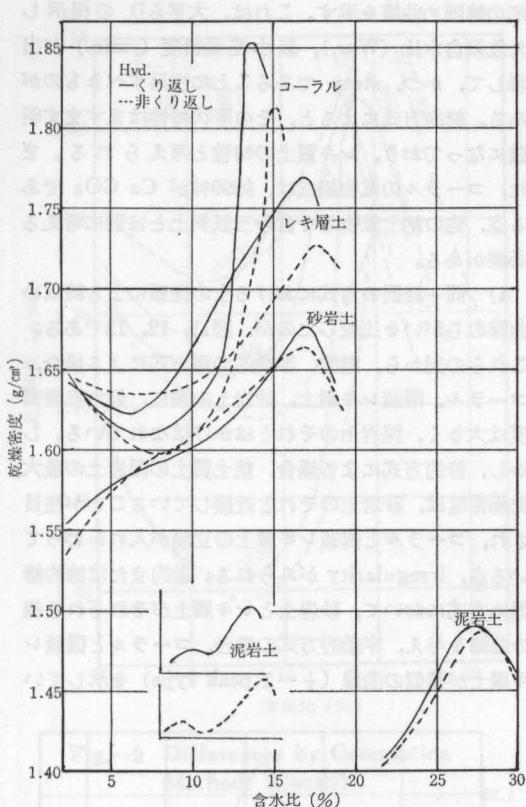


Fig.-12 Differences of Each Soil (Harvard)

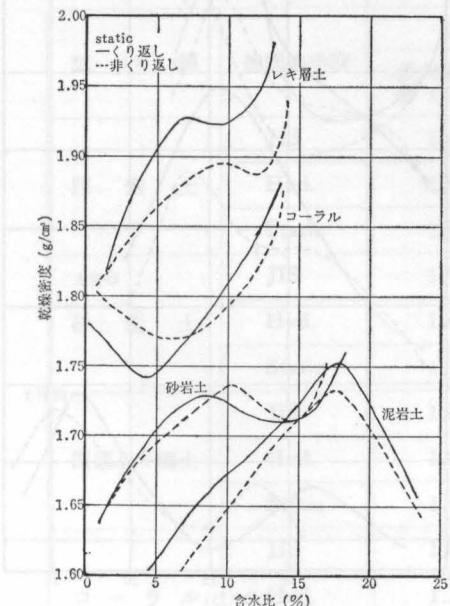


Fig.-13 Differences of Each Soil (Static)

ことなど、締固まり機構を考えるのに困難な問題をもっている。

5) 動的締固め方式 (JIS 1・1法) に対する今回採用した静的および半動的方式の締固めエネルギーまたは圧力を変えて比較してみると、JIS γ_{dmax} に相当する γ_d を得るために、Static の載荷圧は泥岩で 0.4 ton, 砂岩土で 1.0 ton, コーラル 0.83 ton, 国頭レキ層土で 0.7 ton という値を得たが、粘土分の多い国頭レキ層土、泥岩土では、低圧力で JIS 相当値が得られる。一方、JIS 方式と Harvard 方式との比較試験については、コーラルにおいては、両者とも 3 層25回でほぼ同値を得られたが、他においては、Harvard 方式の突き固め回数の増による乾燥密度の増は、さほど期待できず、層数の増や突き固め回数の増は、その作業上に問題があるようと思われる。

6) なお、これらの締固め各方式および各試料土について、締固め特性と粒度組成とを関連づけて、赤井⁸⁾の報告にならってプロットしてみると、図-14のようになり、均等係数が小さくとも、また、大きすぎ

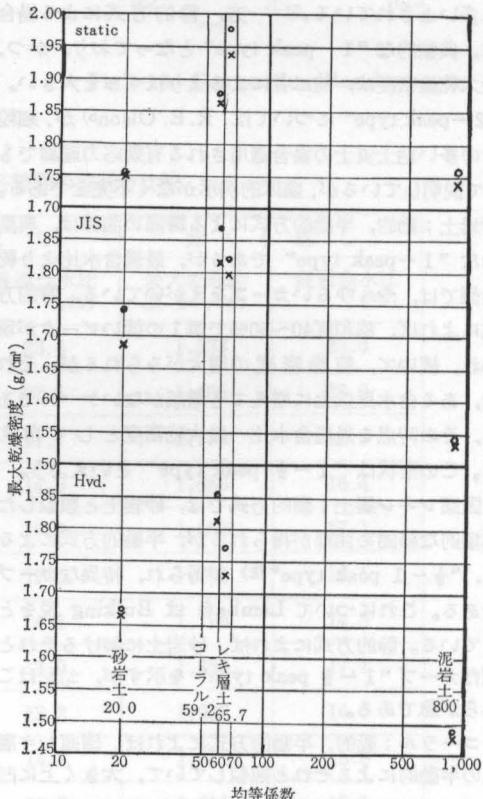
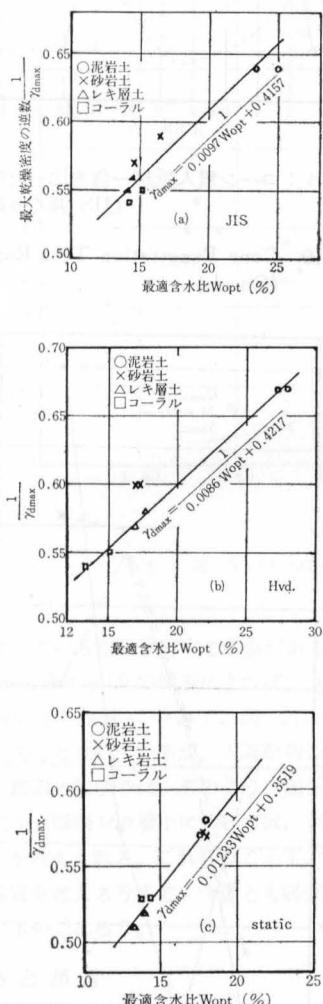


Fig.-14 Relation between Uniformity Coeffivient and Maximum Dry Density

ても、最大乾燥密度は低くなる傾向にあることがわかる。たゞ、本実験では、4試料土とも最大粒径5mmとしていること、泥岩土については、土塊の粉碎のしかたによって粒度分布が変動しうること、および、砂岩土の自然状態最大粒径は2mm以下であることなど、考慮に入れる必要がある。また、最大乾燥密度と最適含水比との関係を、酒井・佐藤⁹⁾や森⁹⁾または赤井⁸⁾や筒内・風間¹⁰⁾の報告と比較してみると、図-15のようになり、各締固め方式によって多少のちがいはあるものの、了承しうる関係にあることがわかった。



最大乾燥密度と最適含水比との関係
(くり返し、非くり返し)

Fig.-15 Covrelation between OptimumM oisture Content and maximum Dry Density

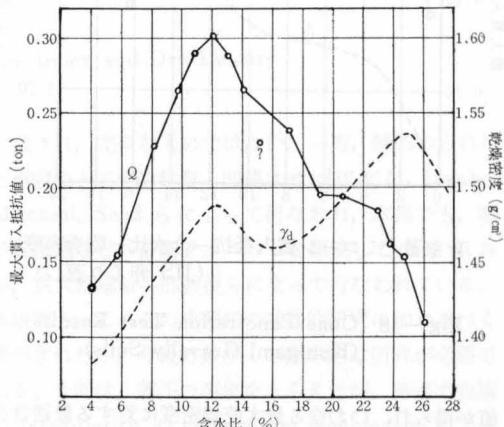
2. コーン貫入試験について

1) JIS締固め土についての室内電動式コーン貫入試験の結果は、表-6に示すとおりであり、それぞれの土について、含水比—最大貫入抵抗値とその時の締固め曲線とを対比させたのが、図-16, 17, 18, 19である。

これらから、砂岩土および国頭レキ層土は、ほゞ類似の曲線をえがき、乾燥密度—セン断強さの原則的なことがらが成立している。しかし、泥岩土では、締固め曲線の第一のピークの位置において、最大貫入抵抗

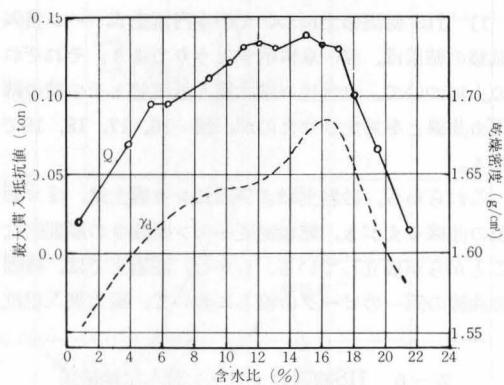
表-6 JIS締固め土コーン貫入試験結果

土の種類	最大コーン貫入抵抗 (tw)	同時含水比 (%)	締固め時最適含水比 (%)	コーン支抗力 (kg/cm²)
泥岩土	0.298	12.0	25.0	46.20
砂岩土	0.139	15.4	16.4	21.55
国頭レキ層土	0.261	13.2	14.5	40.47
コーラル	0.550	10.0	15.8	85.27



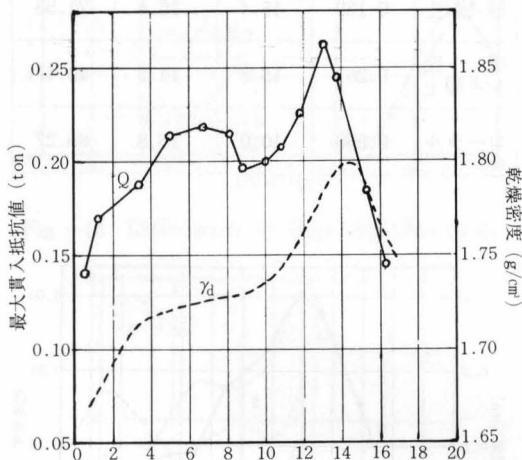
泥岩土：コーン貫入抵抗—含水比—乾燥密度
(JIS 非くり返し)

Fig.-16 Cone Penetration Test Results
(Shimajiri Clay)



砂岩土：コーン貫入抵抗—含水比—乾燥密度
(JIS 非くり返し)

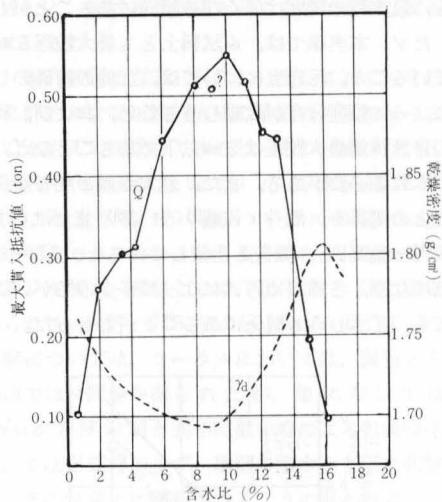
Fig. -17 Cone Penetration Test Results
(Shimajiri Sandy Soils)



レキ層土：コーン貫入抵抗—含水比—乾燥密度
(JIS 非くり返し)

Fig. -18 Cone Penetration Test Results
(Kunigami Gravelly Soils)

値が得られ、いわゆる最大乾燥密度に対する最適含水比よりかなり低い含水比で与えられる。これは、筆者の別の研究¹¹⁾による一軸圧縮強度判定結果と dry side であるという点で同様であるが、今回の場合は、より低含水比側に寄っていることで、泥岩土の締固め特性としてとらえている。さらに、コーラルについては、締固め曲線における、いわゆる危険含水比または最小乾燥密度において、最大の貫入抵抗値が現われている



コーラル：コーン貫入抵抗—含水比—乾燥密度
(JIS 非くり返し)

Fig. -19 Cone Penetration Test Results
(Corals)

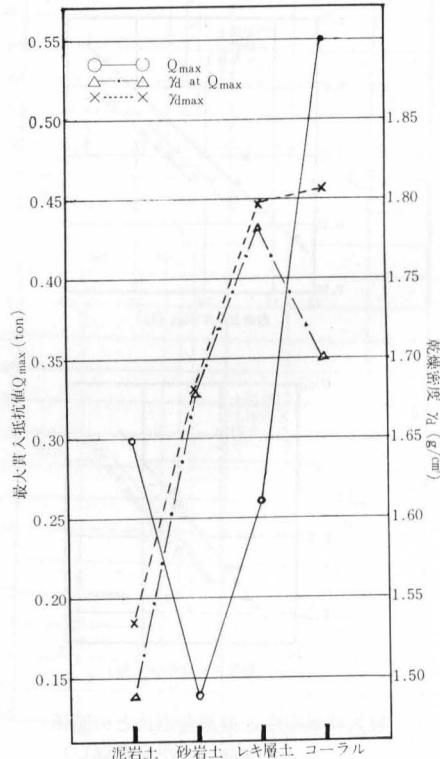


Fig. -20 Relation between Maximum Penetration Resistance and Dry Density

点注目しなければならない。これについても、筆者の他の研究¹¹⁾で、一軸圧縮強度との対比で得た結果とは異なっていることがわかった。これらのこととは、一軸圧縮試験とコーン貫入試験における破壊のメカニズムの相違、また、締固められた土の構造の判定のしかたとの関連などで、今後の課題である。なお、松尾・

宋ら¹²⁾は、砂質土について、乾燥密度一含水比曲線とコーン貫入量一含水比曲線とを対比させて論じているが、本件とは異なった結果となっているので、今後の問題としたい。

2) コーン貫入抵抗値と乾燥密度との関係で総括してみると、図-20のようになり、砂岩土が原則からは

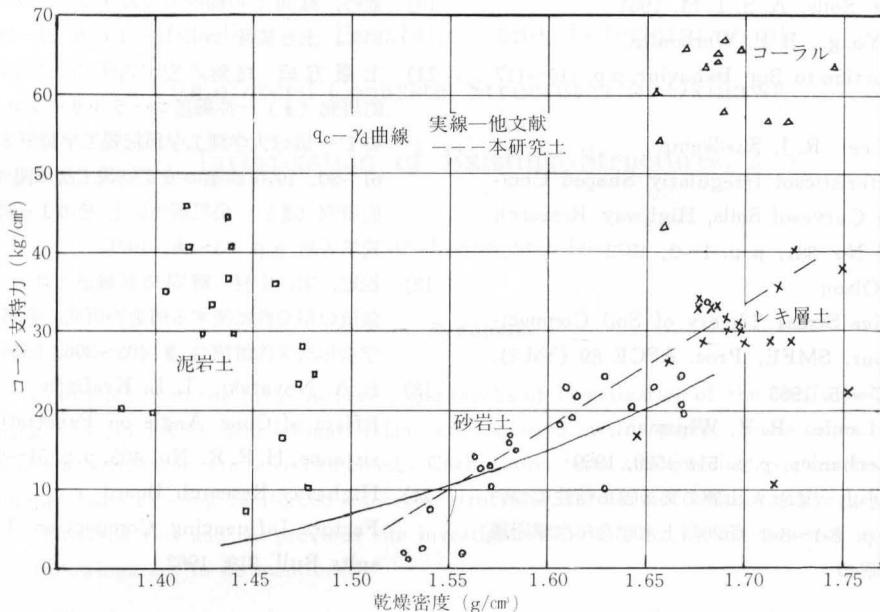


Fig.-21 Correlation between Cone Index and Dry Density

ずれて異なっている点を検討する必要がある。また、E. A. Nowatzkil ら¹³⁾の報告によれば、コーン先端角による $q_c - \gamma_d$ 曲線について、図-21の実線のような関係があるとされているが、人為粉碎のコーラルや泥岩土の締固め状態では、そのような関係は認めがたく、砂岩土と国頭レキ層土については、点線で示すような関係が考えられる。これらのこととも、締固められた土の性質を考えるうえで、今後とも研究しなければならないものであろう。

IV あとがき

土の締固め試験結果に影響をおよぼす諸々の因子についての総括的な報告¹⁴⁾が、10余年も前に出され、その後も、これらについての研究報告が多い。また、前述の各文献などでは、Proctor 以来の締固め理論についての試みも紹介されているが、未だ種々の問題点

が残され、完全なものではない。一方、締固められた土の構造と工学的性質と関連させた研究が、Lambe, Mitchell, Seed らによって行なわれ、本邦でも、電子顕微鏡などの最新テクニックを駆使しての取組みが、京大松尾新一郎教授によって行なわれている。本研究も、これらの諸問題の基礎的研究に加わるべく着手されたが、今後の数多くの臨床的な研究が必要である。今回は、若干の事象をとらえたが、締固め曲線の irregularity や compaction mechanism および compacted soil structure など、土の粒度組成、鉱物組成、コンシステンシー・締固め方式と、複雑に関係していることがわかった。最後に、本研究について、卒業研究として協力してくれた本学科卒業生（昭48・3）上原真造、金城保、宮城孝の諸君に謝意を表します。

参考文献

- 1) 土質工学会 土質試験法（第1回改訂版）
- 2) S. D. Wilson
Suggested Method of Test for Moisture-Density Relations on Soil using Harvard Compaction Apparatus. Procedures for Testing Soils, A. S. T. M. 1964
- 3) R. N. Yong. B. P. Warkentin
Introduction to Soil Behavior, p.p. 115~117 (1966)
- 4) P. Y. Lee. R. J. Suedkamp
Characteristics of Irregularly Shaped Compaction Curves of Soils, Highway Research Record No. 381, p. p. 1~9, 1972
- 5) R. E. Olson
Effective Stress Theory of Soil Compaction, Jour. SMFE, Proc. ASCE 89 (SM 2), p. p. 27~45, 1963
- 6) T. W. Lamle. R. V. Whitman
Soil mechanics, p. p. 514~520, 1969
- 7) 大平, 小山 宝永火山礫の突き固め特性について, p. p. 8-1~8-2 第20回土木学会年次学術講演会, 昭40
- 8) 赤井浩一 土の粒度配合による締固め特性の変化, 土と基礎 vol. 5-5 p. p. 19~22, 1975
- 9) 酒井, 佐藤 土の最大乾燥密度および最適含水比の簡略決定法に関する一試み, 土と基礎 vol. 5-2 p. p. 30~33, 1957
- 森 満雄 土の最大乾燥密度と最適含水比について, 土と基礎 vol. 10-9 p. p. 12~16, 1962
- 10) 箕内, 風間土の締固めにおける水分の働きについて, 土と基礎 vol. 18-3 p. p. 21~28, 1970
- 11) 上原方成 路盤の安定処理工法に関する基礎的研究 (II) 一沖縄産コーラルリーフロック その1 — 琉球大学理工学部紀要工学篇第3号 p.p. 61~90, 1970 路盤の安定処理工法に関する基礎的研究 (III) 一島尻層泥岩土 その1 同上工学篇第4号 p. p. 63~88, 1971
- 12) 松尾, 宋, 中村 締固め試験値とコーン貫入試験値の相関性に関する構造的研究, 第26回土木学会年次学術講演会 III 405~306, 昭46
- 13) E. A. Novatzki. L. L. Kraiath
Effect of Cone Angle on Penetration Resistance, H. R. R. No. 405, p. p. 51~50, 1972
- 14) Highay Research Board
Factors Influencing Compaction Test Results Bull. 319, 1962