琉球大学学術リポジトリ

国頭マージ土の締固めに関する 2,3 の特性(農業工学科)

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 琉球大学農学部
	公開日: 2008-02-14
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 宮城, 調勝, Miyagi, Norikatsu
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3941

国頭マージ土の締固めに関する2，3の特性

宮 城 調 勝*

Norikatsu MIYAGI : Some compaction characteristics of Kunigami-Maaji

Summary

The purpose of this paper is to examine the compaction characteristics of various Kunigami-Maaji soils and its gravel mixtures, which are frequently used for fill material of earth dams. The conclutions are as follows. (I) Maximum dry density of general Kunigami-Maaji soils obtained from compaction test, show the value in a range of 1.35 − 1.60 t/m^3. (2) Relationship between $1/\rho_{dmax}$ and optimum moisture become linear and it can be shown that : $1/\rho_{dmax} = 0.371 + 0.0114\ W_{opt}$. (3) Permeability coefficient shows the least value in a range of 1.35 − 1.60 t/m^3 in dry density and 20−−30% in optimum moisture.

緒　　言

国頭マージは沖縄地方で最も広く分布する土であるが，母岩の種類が多岐にわたるため物理的性質も広範囲にまたがる。例えば，頁岩，砂岩から成る嘉陽層では砂質土であるが，変成岩から成る名護層の地域では粘質土である。他にこれらの堆積した国頭礫層（第四紀）および久米島，石垣島等に分布する安山岩，花崗岩類の風化土もあり，それぞれ地域，場所によってその物理性を異にする。

このように物理性が大きな変化に富むことは，当然力学性にも大きな差異をもたらすことになる。過去のフィルダム築堤材料の設計数値をみても地域によって大きな差が認められたが，これらの数値は材料の締固め乾燥密度によってある程度評価することができる。

国頭マージは一般には細粒分を多く含む土で，締固め時の乾燥密度が小さいため，築堤材料として使用する場合にはその下層の礫または礫質土が混ざるように計画的に掘削採土する場合が多い。しかしこの場合でも岩級区分でいうC級以上の岩質の礫が混合されることはまれであり，多くの場合は礫といえども礫の組織を留めるだけで，風化の進んだD級（くさり礫）である。従ってこれらの土の締固め乾燥密度には国頭マージの性質はもちろんのこと，混入される礫の強度も大きな影響を与えることになる。

この試験では各種の国頭マージ土およびその下層から出てくる，強度の異なるいくつかの礫混合土について突固め試験を行い，締固め特性を明らかにすると同時に，締固めた試料の透水係数と乾燥密度および最適含水比との関係についても調べてみた。

* 琉球大学農学部農業工学科
琉球大学農学部学術報告　32：83〜90（1985）

試料および試験方法

1　試料

実験に使用した土および礫はできるだけ性質の異なるものを集めた。まず国頭マージの物理的性質を表1に示す。国頭マージ土の中で最も代表的な土は試料名読谷Bであり，この土は千枚岩の風化土で粘土に分類される。読谷Aおよび久米島試料は国頭マージの中でも最も赤色の濃い土で，いずれも細粒分が多く高い液性限界値を示す。読谷Aが千枚岩の風化土であるのに対し，久米島試料は安山岩類の風化土である。羽地A，Bは沖縄本島北部で採取した土で緑色千枚岩の風化土である。Aが表層部であるのに対し，Bは3～5 mの深さに位置し，岩の組織は留めているが，風化が進み大部分が手で容易につぶれる岩質を主体とする土である。

表1　国頭マージ土の物理的性質

試料名	比重	粒度組成			コンシステンシー		
		砂分%	シルト分%	粘土分%	w_L %	w_P %	I_P
読谷A	2.81	11.0	13.3	75.7	83.8	34.5	49.3
読谷B	2.75	14.9	32.8	52.3	55.5	32.3	23.2
久米島	2.71	6.0	14.4	79.6	77.0	36.9	40.1
羽地A	2.89	39.8	45.1	15.1	52.9	38.4	14.5
羽地B	2.79	44.1	38.3	17.6	73.1	48.6	24.5

礫材はその強度によって分類した（表2）。この中で最も強度の大きい礫は名護礫（千枚岩）で圧縮強度が220～510 kgf/cm^{2}の範囲にあり，平均値が385 kgf/cm^{2}であった。この千枚岩層に達する深さは場所によって大きく異なるが，この試料の場合5～8 mの深さで採取したもので，長さ10～30cmの細長い形状のブロックを粒径25.4mm以下に破砕したものを使用した。

読谷B礫は千枚岩の強風化層（岩級区分でD級）から採取したブロックを粒径25.4mm以下に破砕したもので，岩の圧縮強度も11～25kgf/cm^2（平均値19.60kgf/cm^2）程度であり，その上層の国頭マージ土に近い色を呈している。名護礫に比べると乾燥密度も低くなり，吸水率が20%近い値を示す。またこの礫は，乾湿の繰返しにより，一部にスレーキング現象が認められる。

羽地礫はA，Bとも非常に溶脱の進んだ礫で，礫の層理に沿って部分的に強度の差が大きいために圧縮試験用コアの切り出しができなかったが，圧縮強度はほぼ1 kgf/cm^{2}以下と推定される。両試料とも乾燥密度が極端に小さい礫質で，それだけに吸水率も平均値で50～60%と非常に大きい特殊な礫である。

2.　試験方法

突固めによる土の締固め試験はJIS　A　1210に従い，モールド径10cm，試料の最大粒径は25.4 mmとして非繰返し法によった。また突固めエネルギーは5.6 ×10^4 m·kgf/ m^{3}を基準にした。

結果および考察

国頭マージ試料と礫混合土について行った締固め試験の結果を図1に示す。代表的国頭マージである読谷Bに名護礫を混合した試料の締固め曲線は1, 2, 3であり，礫質の風化度が低く堅固なだけに最大乾燥密度（ρ_{dmax}）も1.70～1.85t/m^{3}と大きな値が得られ，礫の混合割合が大きくなるにつれて礫混合の効果が現われている。

表2　礫の性質　　（括弧内は平均値）

試料名	湿潤密度 (t/m^3)	乾燥密度 (t/m^3)	吸水率 (%)	圧縮強度 (kgf/cm^2)
名護	2.53～2.62 (2.57)	2.46～2.59 (2.51)	1.3～2.8 (2.3)	223～510 (385)
読谷B	1.98～2.07 (2.01)	1.66～1.74 (1.70)	16.4～19.0 (18.3)	11～26 (19.6)
羽地A	1.67～1.75 (1.71)	1.06～1.17 (1.12)	49.0～58.1 (53.4)	
羽地B	1.62～1.97 (1.78)	0.95～1.52 (1.21)	29.9～71.0 (49.7)	

読谷Bの締固め曲線は7であるが，これに岩級区分でD級の読谷B礫を混合した試料の曲線が4,5,6であり，礫の割合が増えるにつれてρ_{dmax}はわずかに大きくなっている。しかし礫のρ_dが名護礫に比べて低いため，ρ_{dmax}も1.60～1.65t/m^3の範囲にあって礫混合の効果が小さい結果を示している。

曲線8は黄褐色の強風化千枚岩を砕いた試料であるが，ρ_{dmax}は1.52t/m^3程度であり，自然状態のρ_d＝1.4～1.5 t/m^3よりわずかに大きくなっている。

曲線10は粘土分の多い読谷Aで，読谷Bに比べるとρ_{dmax}は低く，最適含水比（w_{opt}）も30%となっている。この試料よりさらに赤色の濃いラテライトに似た土が曲線12と16である。読谷赤色土（12）の場合，物理的性質は読谷Aに似た土であるが，久米島（16）と同様にρ_{dmax}は低い値を示す。これに類する土は，まれにではあるが各地域で確認されている。

羽地A，Bは物理的性質には大差はないが，締固め曲線では9と17に示すように大きく異なることがわかる。羽地Aの2㎜以下に，同地層から出てくる礫（25.4㎜以下に調整）を50%混合した試料の曲線は14のようになり，礫を混合することによってρ_{dmax}は大きく低下し，w_{opt}も7%大きくなった。この原因は，礫のρ_dが1.00～1.17 t/m^3と極端に小さいため，締固めエネルギーが礫の破砕のために吸収されたことによるものと思われる。この試料についてエネルギー（E_c）を150%，200%と増加させた結果は11，12の曲線で，E_c=150%とした場合，E_c=100%に比べて5%程度ρ_{dmax}の増加が見られるが，E_c=200%とした場合は逆にE_c=150%に対して1%程度ρ_{dmax}が低下している。すなわちE_cを上げても効果が現われていない。E_c=200%の場合はモールド内の試料に破壊が起ったが，これは礫の破砕によって礫中に含まれる高い水分量が流出した影響だと思われる。

羽地Bについては10㎜以下試料（17）に対し，25.4㎜以下の礫割合50%（15）の場合は，ρ_{dmax}が増加はしているもののわずか1.5%程度である。しかし羽地Aとは反対の傾向を示したことは，羽地B礫のρ_dの平均値がAを上まわるためと思われる。またw_{opt}は5%増加しているが，このことも礫中に含まれる水分の影響と考えられ，一般的なρ_{dmax}～w_{opt}の関係とは逆の変化をみせている。

試験に使用した礫の破砕率をみると（図2），羽地A礫については混合率50%一点だけの測定値であるが，80～90%の高い破砕率を示している。このことは礫質の吸水率が高いことと併せて，締固め結果にいろいろな影響を与えていることがわかる。読谷礫の破砕率は，礫20%試料については30%程度，礫60%試料で50%程度となり，礫率の増加に伴って破砕率も増えているが，これは礫どうしのかみ合いが多くなるからである。名護礫の場合は，礫率60%でも破砕率は10%程度で小さい。

各種の国頭マージ土およびその礫質土は，締固め試験の結果から大まかに3つのグループに分けることができる。[9]すなわち一般的国頭マージはρ_{dmax}= 1.35 ～ 1.60 t/m^3の範囲にあり，ρ_{dmax}が1.60 t/m^3以上の値が得られる土は下層の礫質が混合された土とみてよい。また，ρ_{dmax}= 1.35 t/m^3以下

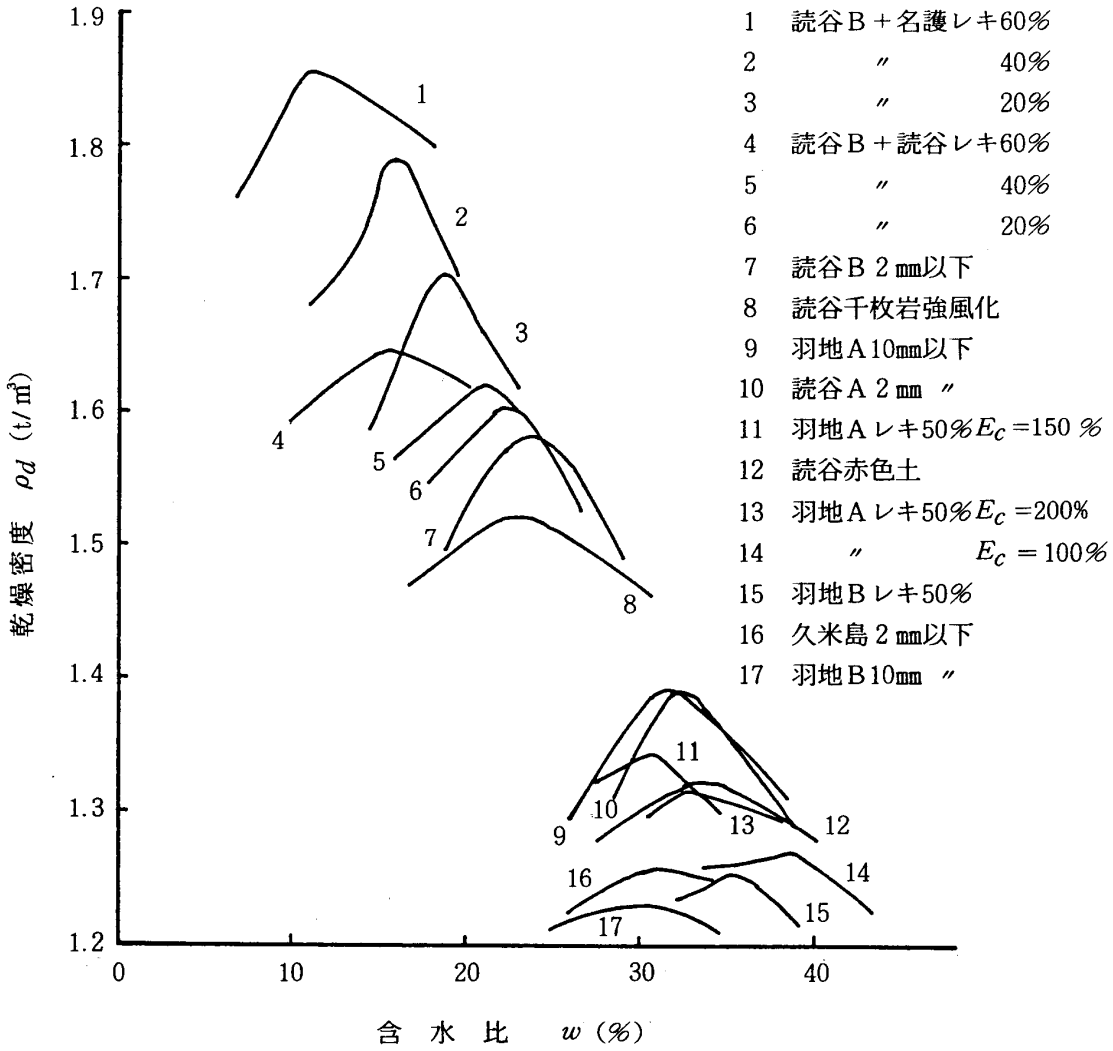

図1　土の締固め曲線

の値を示すグループは国頭マージの中でも特殊土として取扱う必要のある土で，力学的にも問題の多い土である。

締固め効果の大きい粒度分布の理想型にTalbot曲線があるが，Talbotによれば，Pを材料の通過百分率，dを材料の粒径，Dを最大粒径，nを指数とすると，$P=(d/D)^n$の関係が成り立ち，上式のnが0.25～0.5で最もよく締まると言われている[1)]。しかし一般的国頭マージはこの範囲をはずれ，米国開拓局の示す最もクラックの入りやすいとする範囲内にあることが多い。

沖縄地方各地の試験値と既存のデータ[3,4,5,7)]をρ_{dmax}とw_{opt}の関係で整理すると図3のようになる。図の中で沖縄本島の試料は変成岩の風化土であり，石垣試料は主として火成岩の風化土であるが，w_{opt}が30%以上になると両者の分布がわずかに違ってきている。またこれらの資料を$1/\rho_{max}$～w_{opt}の関係（図4）でみると，次のようになる。

$1/\rho_{dmax} = 0.0122\,w_{opt} + 0.351$（沖縄本島）

$1/\rho_{dmax} = 0.0104\,w_{opt} + 0.399$（石　垣）

$1/\rho_{dmax} = 0.0114\,w_{opt} + 0.371$（全 試 料）

この関係は，沖縄本島の場合は洒井ら[8]の示す関係に比較的近く，また石垣の場合は森[2]の示す関係に非常に近い値を示している。

国頭マージは細粒分を多く含むためにフィルダムの材料としては一般にコア材として使用される。コア材の条件としては第一に遮水性であり，次に遮水性の許容される範囲内で力学的に優れていることである。国頭マージ土を単独使用する場合，遮水性には問題ないとみてよいが，力学的に劣る場合が多い。このようなことから国頭マージに礫質を混ぜて使用する計画が多くなってきたが，礫の割合が多くなると当然透水係数（k）は大きくなる。図5はρ_{dmax}の試料について，礫率を20%間隔で増した場合のkの変化を調べた結果であるが，両

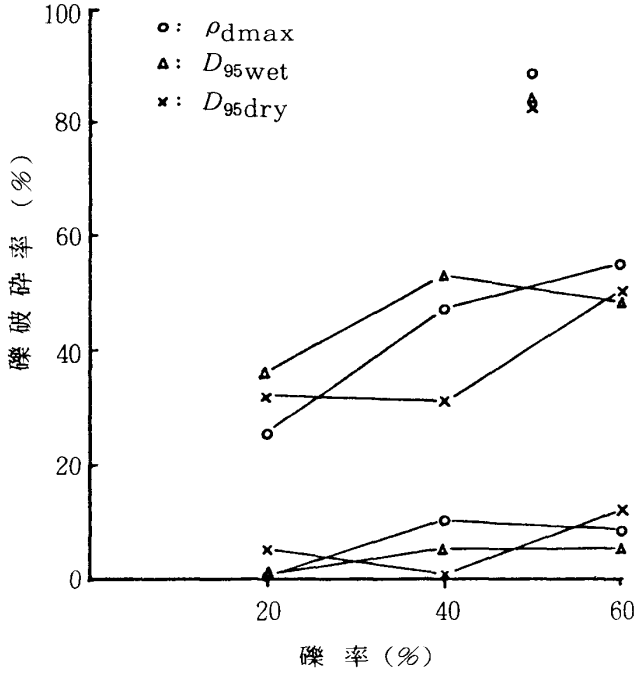

図2　礫の破砕率

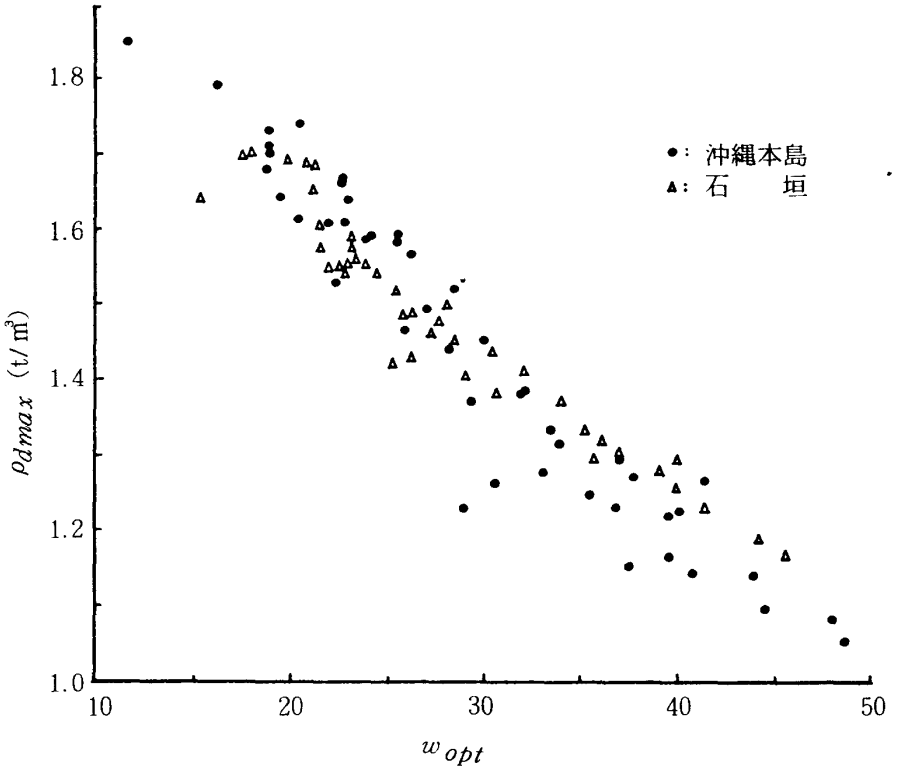

図3　最大乾燥密度（ρ_{dmax}）と最適含水比（w_{opt}）の関係

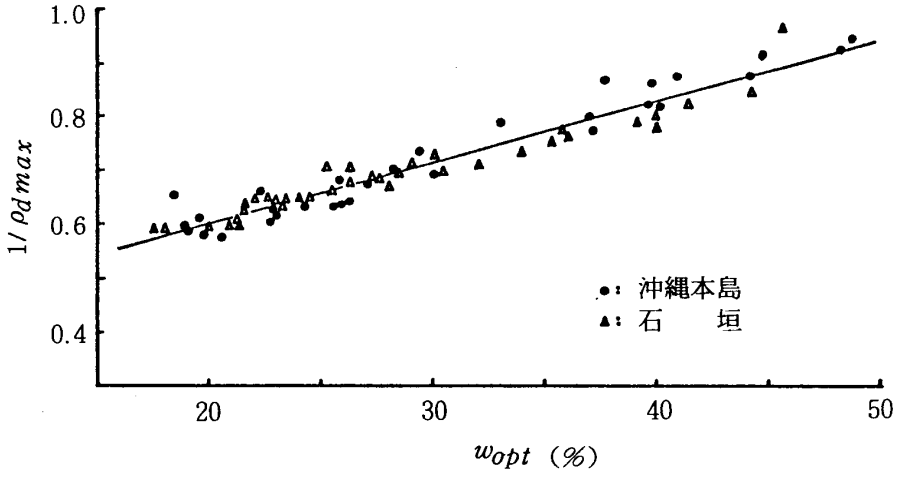

図 4　$1/\rho_{dmax}$ と w_{opt} の関係

試料とも40～60%の間で急激にkが大きくなる傾向にある。このことから土の強度増加を目的とした礫の割合は40～50%程度が限界と思われる。

実験値および既存のデータ[5,6,7]のkをρ_dに対してプロットしてみると図 6 のようになり，ρ_d= 1.35 ～ 1.65t/ m^3 の間ではkは小さいが，その前後では大きくなる傾向にある。これは，ρ_d が小さくなれば空隙率が大きくなってk は大きくなるが，ρ_d が 1.65t/ m^{3}以上に大きくなることは礫率が多い影響であり，その場合空隙率は小さいがkを支配する比較的大きな空隙が部分的にできるためである。さらにkをw_{opt}に対してプロットしてみると（図 7），w_{opt} が20～30%の範囲にある土はk が小さく，その前後では大きくなる傾向にある。w_{opt} が20～30%の範囲にある土のρ_{dmax}は図 3 においてはρ_{dmax} = 1.65 ～ 1.40 t/ m^3 に相当する。

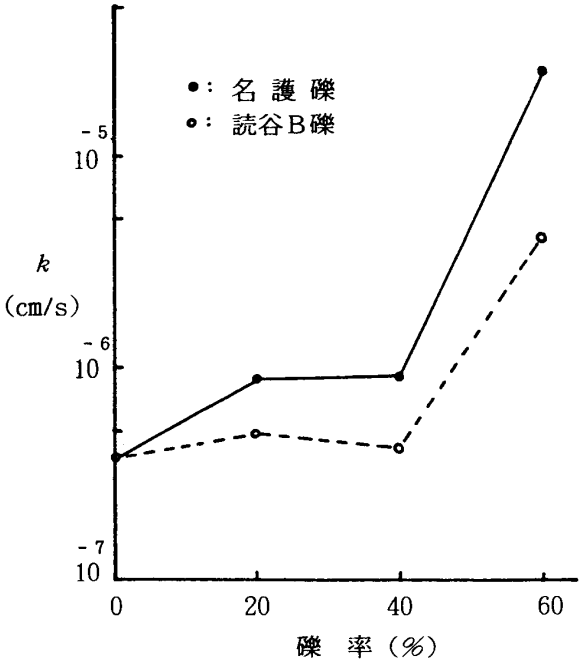

図 5　礫率と透水係数（k）の関係

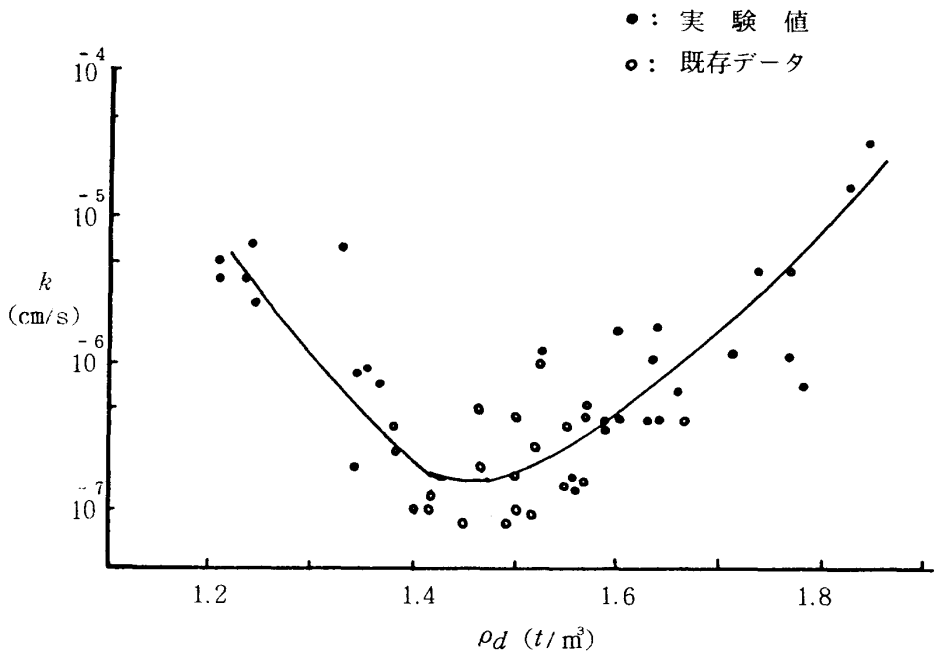

図6　透水係数（k）と乾燥密度（ρ_d）の関係

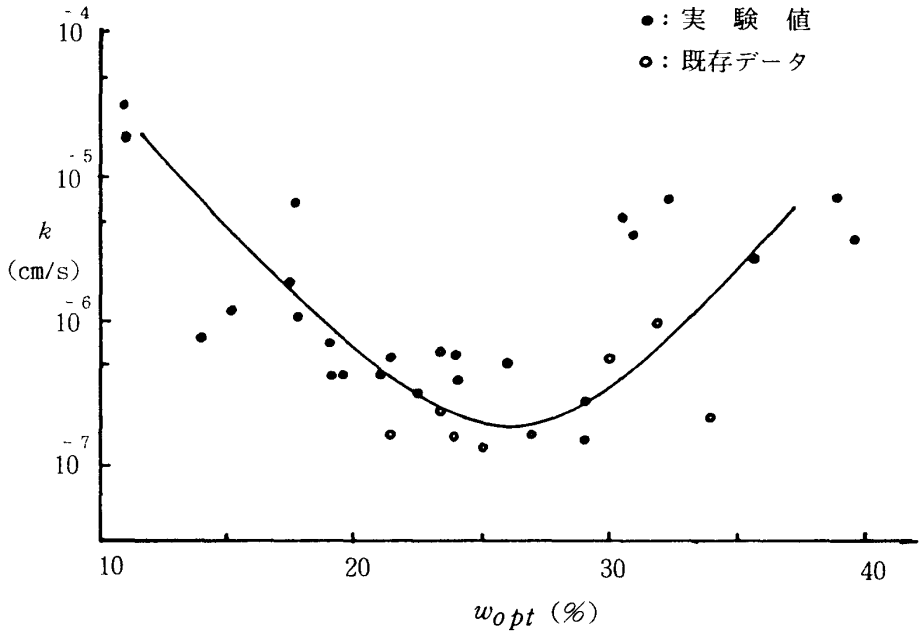

図7　透水係数（k）と最適含水比（w_{opt}）の関係

摘　　要

数種の国頭マージとその礫混合土についての締固め試験結果を検討してきたが，試験に使用した礫材はその強度によって分けてきた。礫材の圧縮強度として 100 kgf/cm^2 程度のものが必要であったが，実際の地層では岩の風化程度がその附近で急激に変化するために試料が得難く，実験には使用していない。また試料として取扱った礫のいずれかまたはそれに類する岩層は，フィルダム築堤の際の土取場ではほぼ確実に遭遇する地層である。

この試験結果をまとめてみると次のようになる。

1. 一般的な国頭マージ土の ρ_{dmax} はほぼ 1.35～1.60 t/m^3 程度であって，他の力学試験の結果から判断してさらに ρ_d を上げる必要がある場合は礫質の選択が必要である。
2. 国頭マージ土の $1/\rho_{dmax}$～w_{opt} の関係は，$1/\rho_{dmax} = 0.0114\, w_{opt} + 0.371$ で表わされる。
3. 締固めた試料の透水係数が最も小さな値を示す範囲は，ρ_d で 1.35 ～ 1.65 t/m^3，w_{opt} で20～30％の土であり，その前後では透水係数は大きくなる傾向にある。
4. 礫の割合が40～50％以上になると，透水係数は急激に大きくなる。

引　用　文　献

1. 赤井浩一　1957　土の粒度配合による締固め特性の変化，土と基礎，**5**：19～22
2. 森　満雄　1962　土の最大乾燥密度と最適含水比について，土と基礎，**9**：12～16
3. 沖縄総合事務局　1979　底原ダム調査報告書
4. 沖縄県農林水産部　1982　大浦ダム工事誌
5. 沖縄県農林水産部　1983　長浜ダム調査報告書
6. 沖縄県農林水産部　1983　鍋川ダム調査報告書
7. 沖縄総合事務局　1983　名蔵ダム調査報告書
8. 洒井式武郎，佐藤　悟　1957　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，**2**：30～33
9. 山内豊聡　1983　九州・沖縄の特殊土，215 ～ 225　福岡，土質工学会九州支部