

大山ロームならびに各種風化土の工学的特性

On the Engineering Properties of Daisen Loamy Soil and Weathered Rock

岩本 志信* (Shinobu Iwamoto)
新 任修** (Tsugunobu Atarashi)
藤村 尚*** (Hisashi Fujimura)

キーワード：火山灰質粘性土／含水量／残積土／締固め／特殊土／比重／プレッシャーメーター試験

1. ま え が き

鳥取県の地質は

- ① 氾濫原堆積物・砂州堆積物よりなる沖積平野
- ② 砂丘堆積物よりなる海岸線
- ③ 大山火山噴出物よりなる大山山麓
- ④ 鮮新世火山岩類よりなる中部地域の丘陵地帯
- ⑤ 中新世火山岩類・堆積岩類よりなる東部地域の丘陵地帯
- ⑥ 白亜紀侵入岩類・古生層よりなる中国山地

の5ブロックに大別できる。

このうち、土木構造物は過去主として①の沖積平野を対象として建設されてきたが、近年の農地開発や宅地開発は、丘陵を構成する風化土が比較的厚いこととあいまって周辺の丘陵部(③～⑤)に多くなっており、道路建設もこれに付随して丘陵部で急増してきた。今日これらの設計は主として経験に頼って実施されているが、丘陵を構成する特殊土(ロームや風化土)については既存資料が少なく、構造物や切土・盛土の設計にあたってはその設計定数の設定に苦慮しているのが現状である。

昭和62年10月の台風19号は県中部に多大な被害を及ぼしたが、その多くは農地災害で、丘陵部に開発された農地や道路も大きな被害を受けた。その特徴はロームや風化土による盛土斜面の崩壊が多かったことである。これに比較すると切土斜面や自然斜面の崩壊件数はやや少なかったが、それでもかなりの崩壊が発生し、ロームや風化土の土質定数設定の難しさを示している。

以上の現状を考慮して、今後も開発の進むことが予想される大山山麓や丘陵の発達する県中部に着目し、これを構成するロームや風化土の分布状況や土質工学的性質を整理して、その特性を明らかにし、基礎設計資料として供することとした。なお、この成果は筆者らのグループで進めている鳥取地域における地盤調査に際して実施された土質試験・調査結果のデータベース化の一環を担うものである。

2. 地質概要

図-1に示したように、地質年代の新しいものほど細かく、古いものほど粗く分類すると、鳥取県の地質は表-1の10種に大別される。

このうち、鳥取県中部に特徴的な地質は③大山ローム、⑤大山火山砕屑岩・火砕流ならびに⑥鮮新世火山岩類で、それぞれ次のような特徴を有する。

③大山ローム

黒ぼく(O_v)、軽石(P_v)、褐色ローム(L_m)の3層で構成され、それぞれ固有の性質を有する。また、その層厚は厚いところで10m以上に達する。

* 西谷技術コンサルタント(株)地質部 次長, ** 西谷技術コンサルタント(株)地質部 係長
*** 鳥取大学工学部海洋土木工学科 助教授

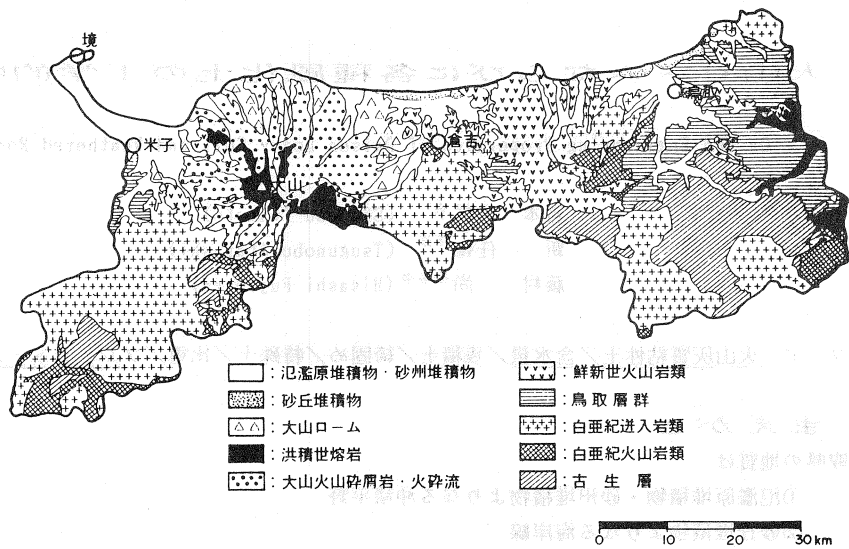


図-1 鳥取県地質図

⑤大山火山碎屑岩・火砕流

時代的に前期洪積世の大山凝灰角礫岩(D_v)と後期洪積世の弥山熱雲(N_u), 名和軽石流(P_r)に分けられるが、後者は米子市を中心とする西部地区に集中し、中部では見られない。

D_vは凝灰岩と凝灰角礫岩の互層で構成されるが、全体としては凝灰角礫岩が優勢である。新鮮なものは半固結状を呈し、10m以上の垂直に近い急崖を形成するが、鳥取県中部では風化が著しく、10~20mの厚さでN=10~20以下の土砂状を呈することがある。この場合、礫は大部分が腐れ礫と化している。

⑥鮮新世火山岩類(P_v)

大別すれば、玄武岩類と安山岩類およびこれらの火山碎屑岩類の3種の地層よりなるが、いずれも上部10~20mは粘土化していることが多く、その場合、N値は10以下のことが多い。

以上の外、鳥取県中部には花崗岩が広く分布するが、花崗岩については既に多くの研究⁽¹⁾が発表されているので、ここでは黒ぼく(O_v), 軽石(P_u), 褐色ローム(L_m), 大山凝灰角礫岩風化土(D_v), 鮮新世火山岩類風化土(P_v)の5種類の土を採り上げ、整理した。

3. 物理的性質

岩石の風化は岩石から土への物理・化学的な変化で、細粒化、含水比の増大、密度の減少、強度の低

表-1 鳥取県の地質

地質年代	地層・岩盤名	層相・岩相
第四紀	沖積世 ①氾濫原・砂州堆積物	礫, 砂, 粘土
	②砂丘堆積物	砂
	③大山ローム	ローム, 軽石, 黒ぼく
	洪積世 ④熔岩	安山岩熔岩
	⑤火山碎屑岩・火砕流	凝灰岩, 凝灰角礫岩
第三紀中新世	鮮新世 ⑥火山岩類	安山岩, 玄武岩, 同質火山碎屑岩
	⑦鳥取層群	泥岩, 砂岩, 礫岩, 火山碎屑岩
中生代	⑧進入岩類	花崗岩, 花崗閃緑岩
	白亜紀 ⑨火山岩類	流紋岩類, 安山岩類
	古生代 ⑩古生層	非変成古生層, 三都変成岩類

(62年度土質工学会中国支部セミナー報告会で、鳥取県の地質概要として伊藤により報告されたものを一部加筆修正したものである。)

下などの現象となって現れる。また、比重は土の最も基本的な性質であり、土の工学的性質を説明するうえで欠かせないものである。

比重、含水量、粒度組成などは乱した試料で試験することが可能であるので、風化や特殊土の力学的性質の指標とできれば、設計上極めて便利である。そこで、ここでは各特殊土の物理的諸定数を統計的に整理するとともに、試験の比較的容易な含水比に着目して他の定数との相関を求め、力学的性質の指標としての可否を検討した。

3.1 比 重

黒ぼく(O_v)、軽石(P_v)ならびに大山凝灰角礫岩風化土(D_v)は資料数が少なく、ヒストグラムにまとめることができなかつたが、6~13個の資料を得たのでそれぞれの分布範囲と平均値を表-2に示す。

同表に示したように、黒ぼくは軽石や図-2の褐色ロームと比較して比重が小さいが、このことは一般に言われているように黒ぼくに多量の腐植物が混入することに起因し、軽石と褐色ロームは同程度の比重を示す。

一方、褐色ローム(L_m)と鮮新世火山岩類風化土(P_v)については16~40個の資料を得たので、図-2のヒストグラムにまとめた。ここに示したように、L_mではG_s=2.65~2.80、P_vではG_s=2.75~2.85の比重を示すことが多く、両者には多少の違いがみられる。

表-2 比重の分布範囲

地 層 名	個 数	比 重 G _s	
		分布範囲	平均
黒 ぼ く	13	2.35~2.57	2.48
軽 石	6	2.72~2.84	2.78
大山凝灰角礫岩	7	2.69~2.74	2.72

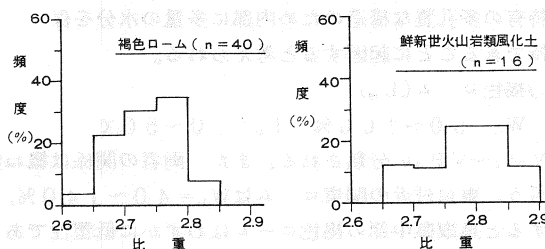


図-2 比重ヒストグラム

3.2 粒度組成

O_v、L_m、D_v、P_vそれぞれの粒度組成を礫・砂分含有率として図-3のヒストグラムにまとめた。また、P_vについては表-3に示した。それぞれの特徴は次のとおりである。

(1)黒ぼく(O_v)

概ね50%以下の範囲で礫・砂分を混入しており、10~30%の含有率を示すことが多い。

(2)軽石(P_v)

34~40%の礫・砂分を混入するが、35%内外のことが多い。

(3)褐色ローム(L_m)

礫・砂分は50%以下で、10~30%のことが多い。

(4)大山凝灰角礫岩風化土(D_v)

40%以上の礫・砂分を混入し、なかでも80%以上のものが多い。

(5)鮮新世火山岩類風化土(P_v)

人力掘削の容易な風化の著しいもののデータが大半であったので、礫・砂分含有率も30%以下が

表-3 礫・砂分含有率

地 層 名	個 数	礫・砂分含有率 (%)	
		分布範囲	平均
軽 石	5	34.0~39.6	36.0

大部分を占めた。風化程度の比較的低いものデータが集積されればこの粒度組成もおのずと異なったものになると考えられる。

3.3 コンシステンシー

各土のコンシステンシーは液性限界(W_L)と塑性指数(I_p)の関係として整理し、図-4の塑性図にまとめた。

(1) 黒ぼく (O_v)

$W_L=60\sim 130\%$, $I_p=5\sim 50$ の範囲にあり、日本統一土質分類では OV に分類される。黒ぼくは、一般に $W_L=120\sim 250\%$, $I_p=60\sim 100$ の範囲のものが多いが⁽²⁾、これと比べると鳥取県中部の黒ぼくはかなり低塑性である。

(2) 軽石 (P_v)

$W_L=160\sim 200\%$, $I_p=60\sim 90$ で、 VH_2 に分類される。黒ぼくとはべて液性限界ならびに塑性指数がかなり高いが、このことは軽石特有の多孔質な構造のため内部に多量の水分を保持できることに起因すると考えられる。

(3) 褐色ローム (L_m)

$W_L=50\sim 100\%$, $I_p=10\sim 50$ で、 $VH_1\sim VH_2$ に分類される。また、両者の関係は概ね塑性図のA線の下側を $\Delta I_p=20$ 程度の幅で沿う。東京付近の関東ロームは $W_L=40\sim 140\%$, $I_p=20\sim 90$ である⁽³⁾ので、これと比較すると鳥取県中部の褐色ロームはわずかに低塑性である。

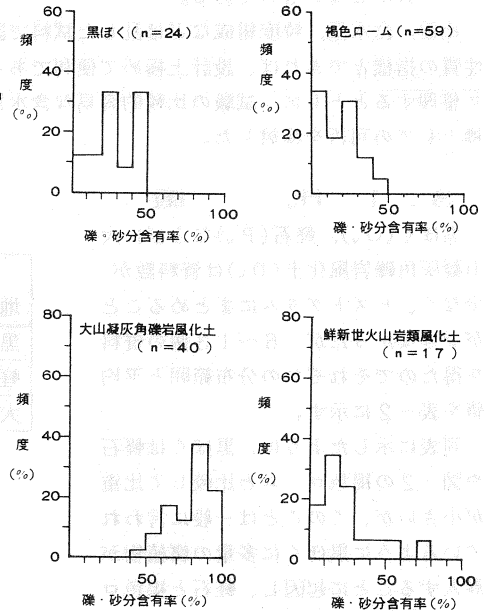


図-3 礫・砂分含有率ヒストグラム

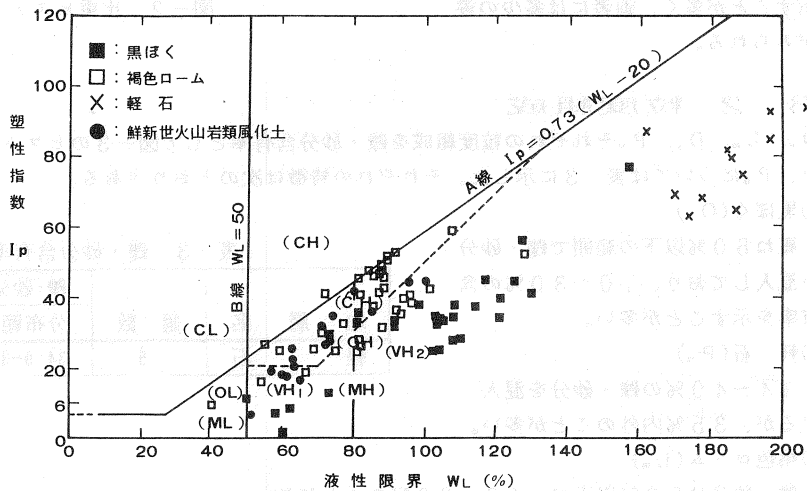


図-4 塑性図(日本統一土質分類)

(4) 鮮新世火山岩類風化土 (P_v)

$W_L = 50 \sim 100\%$, $I_p = 10 \sim 50$ で、 L_m に類似している。

3.4 自然含水比

P_u の一部を除けばすべて地下水面以上の含水比である。

O_v , L_m , D_v , P_v それぞれの自然含水比(W_n)は図-5に示すとおりである。また、 P_u は資料が少ないので表-4に示すにとどめた。

(1) 黒ぼく(O_v)

$W_n = 30 \sim 140\%$ の広い範囲にあるが、 $60 \sim 80\%$ を示すことが多い。

(2) 軽石(P_u)

地下水面以上では $W_n = 140 \sim 170\%$ 、地下水面以下では $W_n = 190 \sim 200\%$ を示し、地下水面の上と下では 40% 程度異なる。

(3) 褐色ローム(L_m)

$W_n = 30 \sim 140\%$ の広い範囲にあるが、 $40 \sim 80\%$ を示すことが多い。

(4) 大山凝灰角礫岩風化土(D_v)

$W_n = 60\%$ 以下の範囲にあり、 $10 \sim 30\%$ と $40 \sim 50\%$ の2箇所にピークが認められる。これは岩相の相違に起因するもので、前者が凝灰角礫岩、後者が凝灰岩に相当する。

(5) 鮮新世火山岩類風化土(P_v)

$W_n = 20 \sim 70\%$ の範囲にあり、 $40 \sim 50\%$ にピークが現れる。なお、本層は風化の程度により、 $N = 1$ の極めて軟弱なものから、 $N = 30 \sim 50$ と比較的硬質なものまでみられた。含水比もその風化程度によって異なると思われるが、資料が少ないので、これについては今後の課題としたい。

一方、前述のように、岩石は風化の進行に伴いその物性を様々に変化させる。その一つに含水比があるが、含水比は比較的容易に求めることができるので、自然含水比を風化度の指標とすることができれば、設計上便利である。また、自然含水比は土の力学的性質と密接な関係のあることが一般に知られており、これと他の物性値を関連付けることは有意義と考えられる。

比重と自然含水比の関係は、図-6に示すとおりである。同図に示したように、黒ぼくを除けば比重と自然含水比の相関は認められない。黒ぼくでは明瞭な相関が認められるが、これは腐植物の多少に起因するものと考えられる。

表-4 自然含水比

地層名	状態	個数	自然含水比 W_n (%)	
			分布範囲	平均
軽石	地下水面 以上	4	138~169	153
	地下水面 以下	3	190~201	195

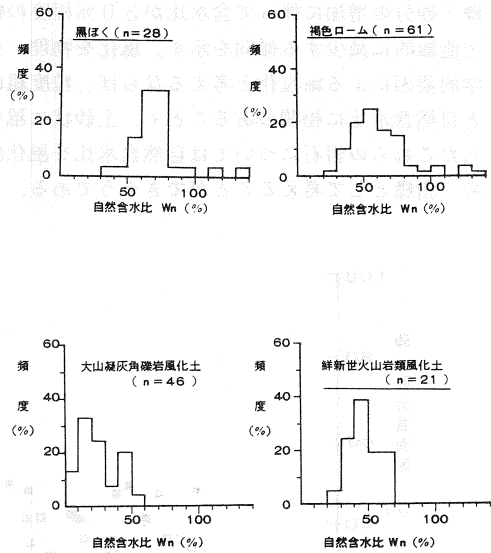


図-5 自然含水比ヒストグラム

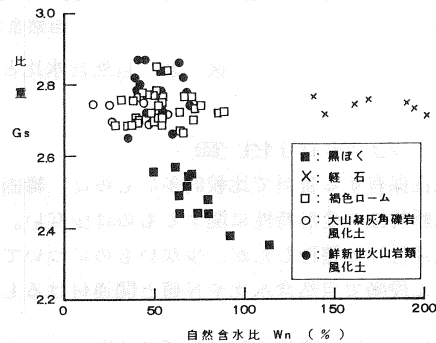


図-6 自然含水比と比重の関係

粒度組成と自然含水比の関係を図-7ならびに図-8に示す。これらに示したように軽石と褐色ロームでは相関が認められない。一定の飽和度で比較すればある程度の相関を得られると考えられるが、飽和度に関するデータが少ないのでその相関を求めることは出来なかった。一方、黒ぼくや大山凝灰角礫岩風化土ならびに鮮新世火山岩類風化土ではパラツキが大きいながらもある程度の相関が認められ、礫・砂分の増大に従い含水比が減少する。すなわち、未風化のものは半固結状～固結状を示す大山凝灰角礫岩と鮮新世火山岩類では礫・砂分の増加に伴って含水比が30%程度の幅で直線的に減少する傾向を示す。風化を物理・化学的要因による細粒化と考えるならば、粒度組成と自然含水比に相関のあることで、土砂状に風化したこれらの岩石については自然含水比を風化度の一指標として考えることができそうである。

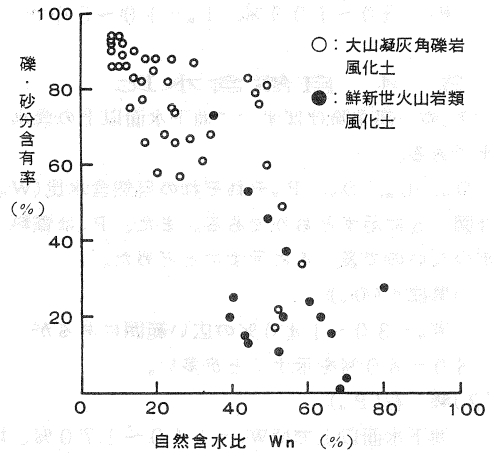


図-7 自然含水比と礫・砂分の関係(D_v, P_v)

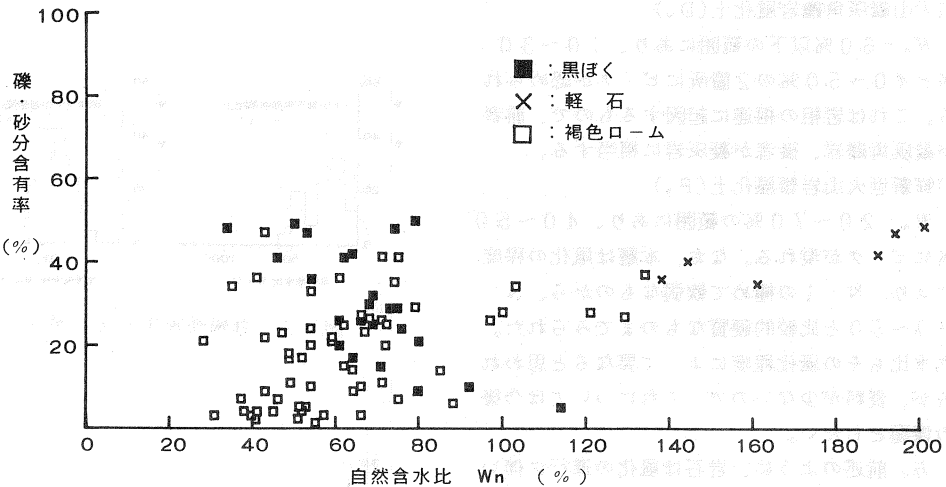


図-8 自然含水比と礫・砂分の関係(O_v, P_u, L_m)

4. 力学的性質

現在保有する資料で比較的多いものは、締固め特性、CBR、締固め土の透水性等に関するもので、せん断特性や変形特性に関するものは少ない。そこで、資料の多いものについては主として自然含水比と関連付けて整理したが、少ないものについては試験結果を一覧表に示すにとどめ、今後資料数がまとまった段階で自然含水比やN値と関連付けるものとする。

4.1 締固め特性

ロームや風化土等の特殊土は乾燥させると性質が変化するので、締固め試験はすべて非乾燥・非繰返し法で実施した。また、ランマーの重量は2.5kg、モールド径は15cmである。

最適含水比(W_{opt})並びに最大乾燥密度(ρ_{dmax})を自然含水比との関係として図-9、図-10にま

とめた。

これらの図に示したように、 ρ_{dmax} 並びに W_{opt} は自然含水比とよい相関関係にあり、土質に関係なく比例直線関係を示す。そのうち、自然含水比は最適含水比と等しいか、10%以内の湿潤側に位置することが多い。

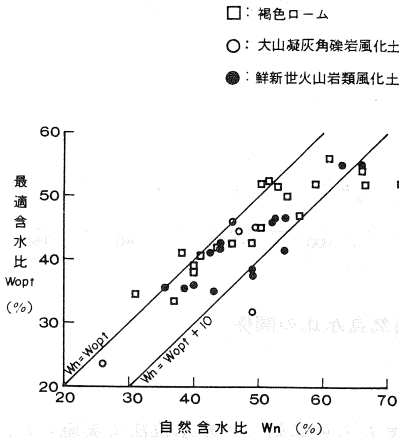


図-9 W_{opt} と自然含水比の関係

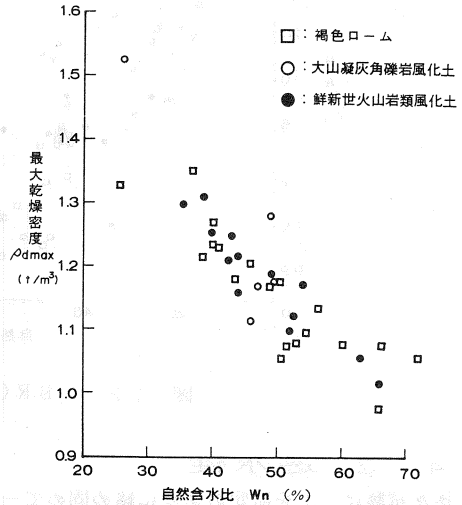


図-10 ρ_{dmax} と自然含水比の関係

4.2 CBR

乱さない土のCBRを図-11に、乱した土のCBRを図-12にそれぞれ自然含水比との関係として示す。これらの図に示すように、土質にかかわらず自然含水比とCBRの関係としてみたときの両者はよい相関関係にあることがわかる。すなわち、CBR値を対数としてプロットすると、含水比の増大に伴いCBR値が減少する直線関係を示す。

なお、各々の土のCBRは次のような概略値を示す。

(1) 黒ぼく(O_v)

乱した土ではCBR=1%未満のことが多い。一方、乱さない土では1~3%である。

(2) 褐色ローム(L_m)

乱した土では $W_n=40\sim50\%$ においてCBR=2~4%を、 $W_n=50\%$ 以上においてはCBR=1%以下のことが多い。一方、乱さない土では2%程度である。

(3) 軽石(P_v)

乱した土ではCBR=1%未満である。

(4) 大山凝灰角礫岩(D_v)

乱した土では概ねCBR=4%以上で、自然含水比の減少に伴いCBRは増大する。ちなみに、 $W_n=10\%$ 程度ではCBR=70~100%である。

(5) 鮮新世火山岩類風化土(P_v)

乱した土では $W_n=30\sim60\%$ において、CBR=4~8%を示す。

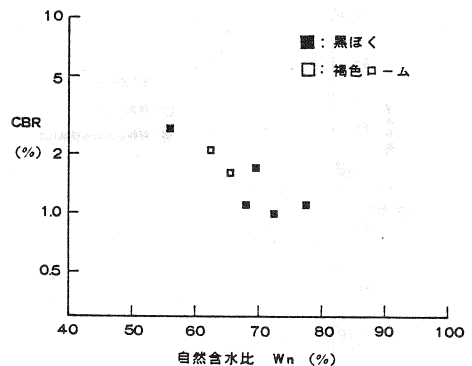


図-11 CBR(乱さない)と自然含水比の関係

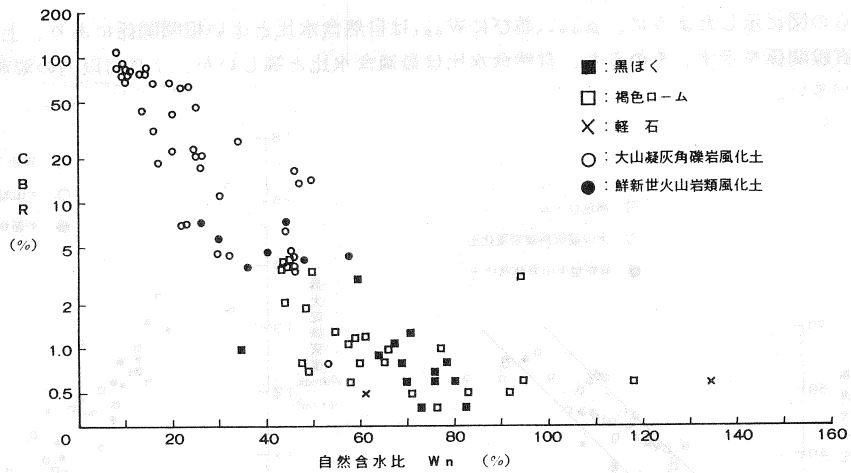


図-1 2 CBR(乱した)と自然含水比の関係

4.3 透水性

透水試験は、土を所定の密度に締め固めて一昼夜水浸させたものに対し、変水位法で実施した。締め固め土の透水性は最大乾燥密度に対する締め固め度(D)ごとに透水係数(k_v)と乾燥密度(ρ_d)の関係としてまとめ、図-1 3、図-1 4に示す。

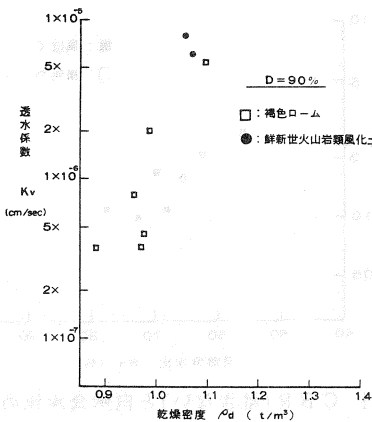


図-13 締め固め土(D=90%)の k_v と乾燥密度の関係

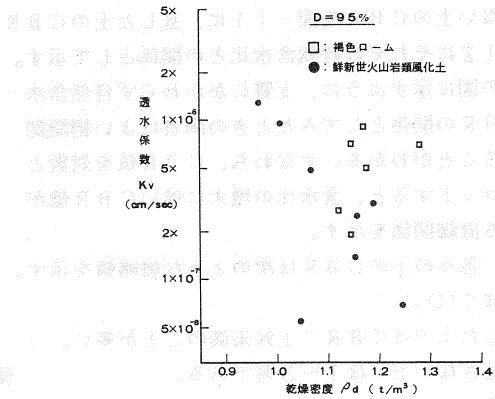


図-14 締め固め土(D=95%)の k_v と乾燥密度の関係

同図に示したように、各締め固め度とも透水係数と乾燥密度の関係は不明瞭である。なお、ここにプロットした土質は褐色ローム(L_m)と鮮新世火山岩類風化土(P_v)の2種類であり、いずれもD=95%では $k_v = 1.0 * 10^{-6}$ cm/sec以下である。また、D=90%ではそれより1オーダー程度高い透水性を示す傾向にある。

これらの試験結果は様々な地点で採取したものに対して得たものであり、同じ試料でD値を変化させて透水性を比較したものではないが、締め固め土の透水性は乾燥密度そのものよりD値に影響される傾向がある。

4.4 せん断特性

大山ロームや鮮新世火山岩類風化土ではせん断試験の数が少ないうえ試験条件が様々であるので、締固め土と乱さない土に対して現在保有する資料を表-5並びに表-6の一覧表に示すとどめる。

表-5 締固め土のせん断特性

土質	V _n (%)	最大乾燥密度 ρ _{max} (t/m ³)	締固め度 D(%)	乾燥密度 ρ _s (t/m ³)	試験方法	せん断特性		
						q _u (t/m ²)	C(t/m ²)	φ(deg)
L _u	72	1.06	90	1.64	一軸	4.1	-	-
	66	1.08	90	1.61	一軸	5.7	-	-
	53	1.08	90	1.49	一軸	5.6	-	-
P _v	43	1.25	85	1.52	三軸(CU)	-	0.0	40.0
	44	1.16	90	1.50	三軸(UU)	-	3.6	12.6
	35	1.30	90	1.58	三軸(UU)	-	1.5	29.6
	52	1.10	95	1.59	三軸(UU)	-	8.5	31.1
	39	1.31	95	1.73	三軸(UU)	-	28.8	15.8

表-6 乱さない土のせん断特性

土質	N	自然含水比 W _n (%)	乾燥密度 ρ _s (t/m ³)	試験方法	せん断定数		
					q _u (t/m ²)	C(t/m ²)	φ(deg)
D _u	35	35	1.68	一軸	114	-	-
	24	24	1.67	一軸	104	-	-
	44	44	1.13	一軸	54	-	-
	51	51	1.01	一軸	51	-	-
	57	57	1.09	三軸(CU)	-	1.8	32.5
P _v	60	60	1.61	一軸	-	12.9	15.1
	70	70	1.60	三軸(UU)	-	2.2	9.7
	68	68	1.60	一軸	-	6.4	11.7

4.5 鮮新世火山岩類風化土(P_v)の変形係数

P_vのボーリング孔内水平載荷試験で求めた変形係数(E_b)とN値の関係は図-15に示すとおりである。

資料数が少なく断定はできないが、E_bの値は未固結堆積物で一般に言われている

$$E_b = 7N \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

の4倍程度の大きさを示している。

5. 結 論

- (1) 風化土の自然含水比は粒度組成と相関が認められ、岩石の風化を細粒化と考えるならば風化度の一指標として有効と考えられる。
- (2) 自然含水比と締固め特性、CBRは良好な相関関係にあり、その関係は土の種類に関係なく一定である。
- (3) 締固め土の透水性は乾燥密度そのものより締固め度に支配されるようであるが、今後の資料収集にまつたれる。
- (4) 鮮新世火山岩類風化土の変形係数(E_b)は、未固結堆積物について従来いわれてきたN値との関係より4倍程度大きい傾向を示すが、これについても今後の資料収集にまつたれる。

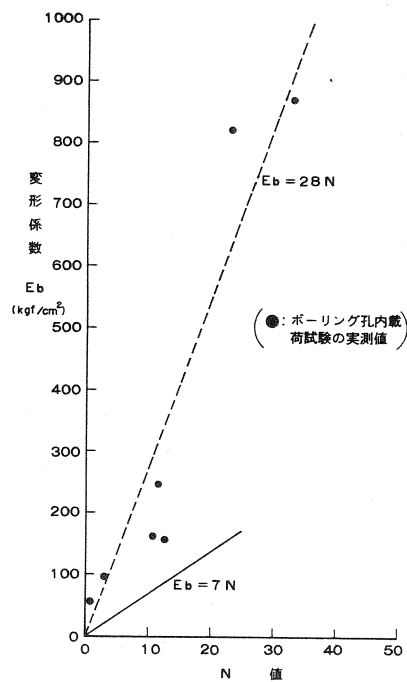


図-15 鮮新世火山岩類風化土の変形係数とN値の関係

参考文献

- (1) たとえば土質工学会編：風化花崗岩とまき土の工学的性質とその応用，1979
- (2) 山内 豊聡，前田 隆：本邦各種粘性土の土構造と工学的性質，多賀出版，1985
- (3) 関東ローム研究グループ：関東ローム，築地書館，1965