

関東ロームの物理的性質について

西 堀 高 弘

Study on the Physical Properties of Kanto loam.

Takahiro NISIBORI

The Kanto loam was brought at the diluvial epoch by eruptions of volcanoes located around the Kanto region.

The physical and engineering properties of the Kanto loam are quite different from those of ordinary sedimentary clays. This paper deals mainly with an experimental approach on the physical properties of the Kanto loam. As a result, followings such as distribution of the field moisture, relationship between drying time, temperature and moisture content, effective dispersing agent and so on are defined.

1. まえがき

我国に分布する火山灰質の高含水比粘性土は、面積的に全土の約 $\frac{1}{2}$ に及ぶと云われており、関東地方の関東ロームや信州ローム、東北地方のローム、九州地方のヨナ、灰土、中国地方の大山ロームなどが挙げられる。そのうち関東ロームは、富士・箱根に噴出源をもつ火山灰が偏西風によって関東平野にタイ積し、風化し、粘土化したものである。自然地盤の関東ロームは構造物の基礎地盤として長い間使用され、たいした問題もなしにじゅうぶんな支持力と垂直に近い切り斜面の安定性をそなえ、特別な支障のない土質と考えられていた。しかし戦後の建設の機械化に伴う大規模な土工工事の採用により、重機械が関東ロームを踏み、こねかえし、そして締め固めようとする、土の著しい軟弱化を引起し、機械の走行性を害し、でき上がった構造物の安定性が保持出来ないということが起って来た。このような現象は従来の土質工学的常識からは、全く考えられないものであり、関東ロームへの関心が高まり、基本的・実用的な研究が数多くなされ、東名・中央高速道路における大土工がじゅうぶんな計画性をもってなされるようになって来た。しかしながら、その基本的性質については、地質学的なタイ積時代考証を行なった関東ローム研究グループの研究活動および農業土壌学的な研究はなされているが、工学的な関東ロームの特異性に関する研究はまだじゅうぶんななされているとはいえない。

たとえば、関東ロームの土質試験法についても、どのような試験を、どのような方法で、どれほど行なえば良いか、いまだ決定されたものはなく、多くの機関が別々

に思い思いの試験をやっているのが実状ではないでしょうか。

そこで筆者が数年前から種々やっている、関東ロームの実験において、その時々感じた、ロームの物理的特徴について散見しているものを集めて見た。その中にはすでに言いつくされたものもあるが、関東ロームのような火山灰質の高含水比粘性土の特殊性をもう一度かみしめて、その原因および本質の究明の糸ぐちでも得られるならばと考え、かなり自身の意見を加味した報告を述べて見たいと思う。

2. 関東ロームの地山含水比と密度について

試料は昭和41年5月、東京・文京区春日町の中央大学校内で採取したときのものである。

この土は校内の片すみの土捨て場になっていた所のものであり、平均の地表面より60~70cm高くなっていた。そこに約2m×2m位の穴を掘った。深さ約1m位から不かく乱のローム層が出て来たが、その一番上の層を捨土とし、1.30mの所より各種試験試料を採取した。約1.90mまで掘り必要な試料を採取後、その穴の中でハンドオーガーを用いてそれより下の土を取り、含水比を測定した。含水比試験は各々の深さで採取された土を急いで実験室にはこび、すぐに計量し、炉乾燥した。各々の深さの試料の条件は全く同じと考えられる。

深さと含水比の関係を図1に示した。この図を見ると高々50cmの深さの差により、含水比に10%以上の差が出来ることがわかる。これは採取中に目で見、手で感じた時には全く気づかなかったことで、それほど差が出来

るとは考えられなかった。このように関東ロームの地山の含水比は非常にバラツキが大きく、又その土の性質も水平方向にはあまり差がないが、垂直方向の場合には非常に大きな差を生ずることが多い。

又この時試料採取用円筒を打ち込み1.30, 1.50, 1.80 mの所でその地山密度を求めた結果が図2である。図2にはその含水比の時の乾燥密度および体積図を共にのせてある。

一般に関東ロームの地山密度は $1.1 \sim 1.4 \text{ g/cm}^3$ といわ

れており、この土はだいたいその平均的な値をもっている。この図より言えることは、含水比が最大値と最小値で12%も差が出ていること、それと反対に湿潤密度がさがり、乾燥密度が一定になっていて、土粒子の体積率が変わらず、含水比および密度の変化は、空気間ゲキ率の差であることがわかる。これは地表面への降雨の影響や上載荷重の影響等が考えられるけれど、だいたい一般の地山では降雨の影響は地表面下0.6~1.0m位までと言われており、この場合あてはまらない。又図1の結果からも

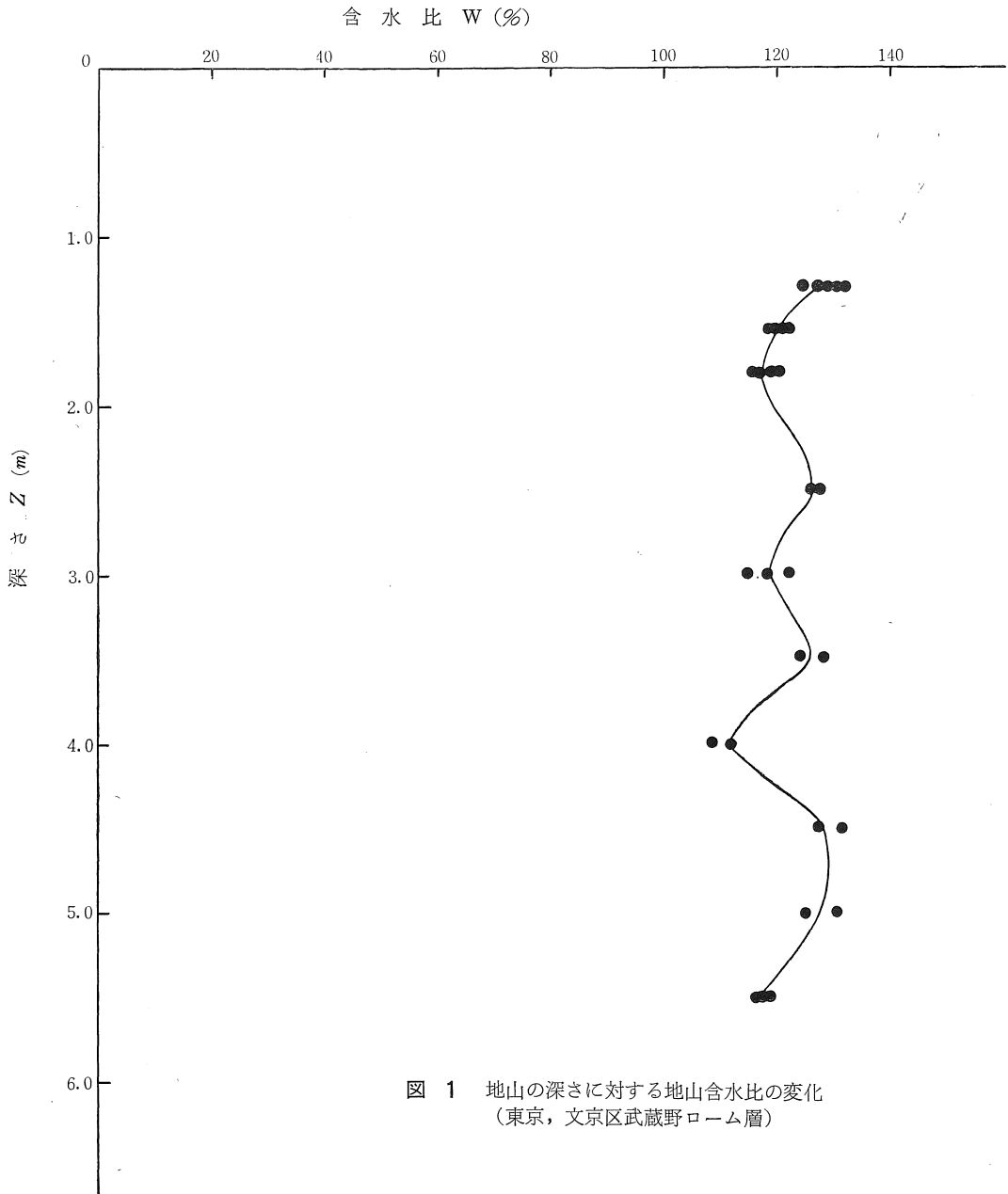


図 1 地山の深さに対する地山含水比の変化 (東京, 文京区武蔵野ローム層)

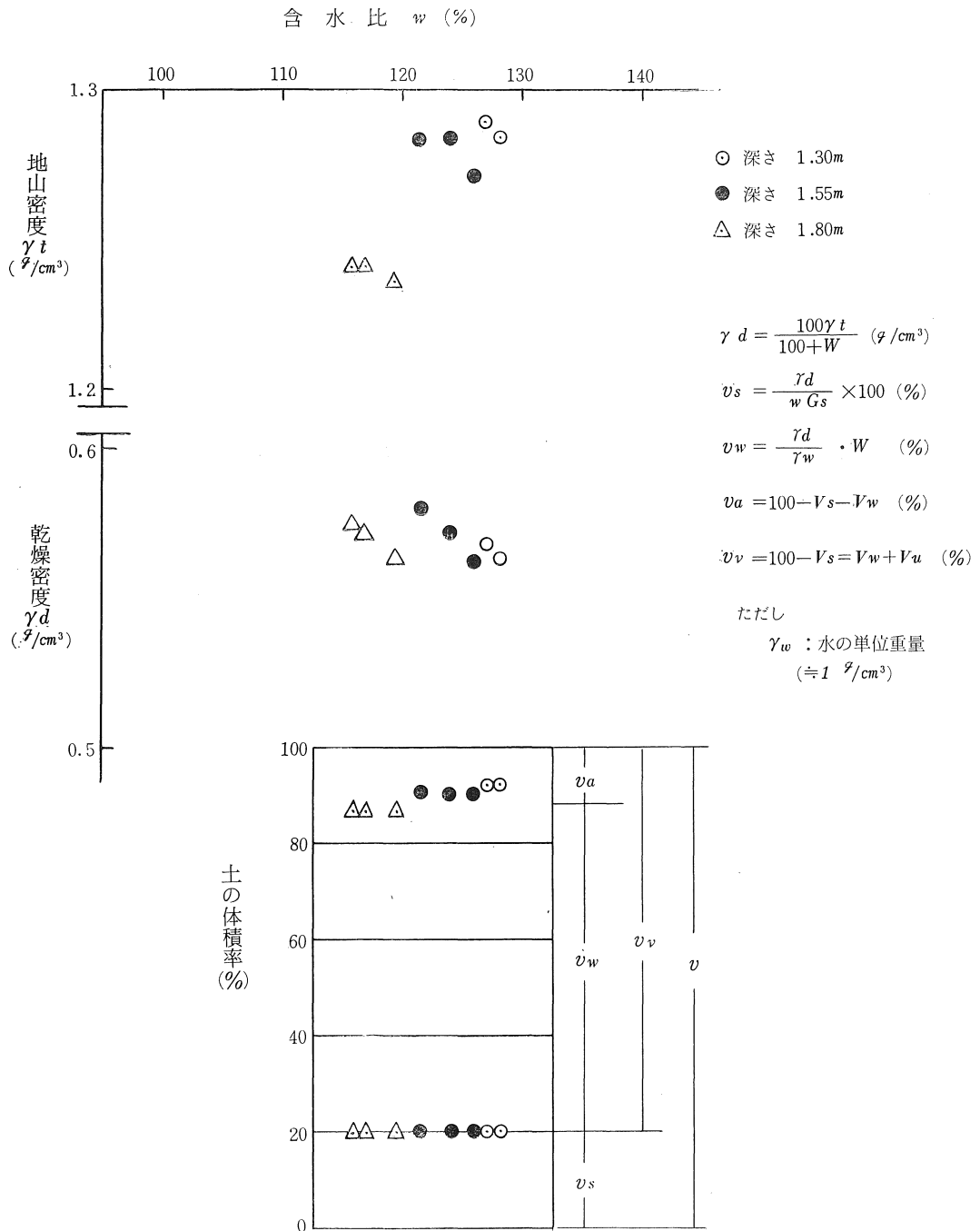
降雨だけの関係でないことが言えると思う。

3. 関東ロームの含水量試験

関東ロームの自然（地山）含水比はだいたい 100%前後から 200%位の高い値を示し、乾燥温度、乾燥時間および試料が固まっているか否かによりかなりバラツキが

出来る。

又自然土の採取時の天候や処理方法などでもかなりの変化がある。すなわち図3に示されているように自然含水比145~157%の土を無風の実験室内に放置し、時間ごとの含水比をはかった結果、1時間後に約2%、6時間後には塊まりで5%、指先でつぶしたものでは約7~8%の



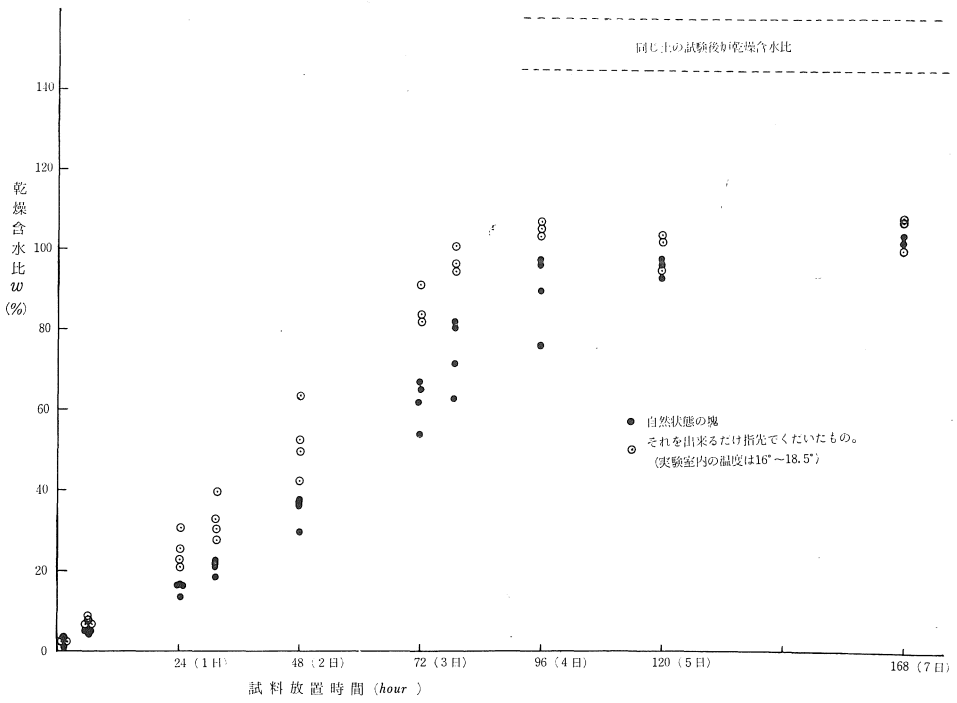


図 3 実験室内に試料を放置したときの乾燥含水比と放置時間の関係 (静岡, 愛鷹)

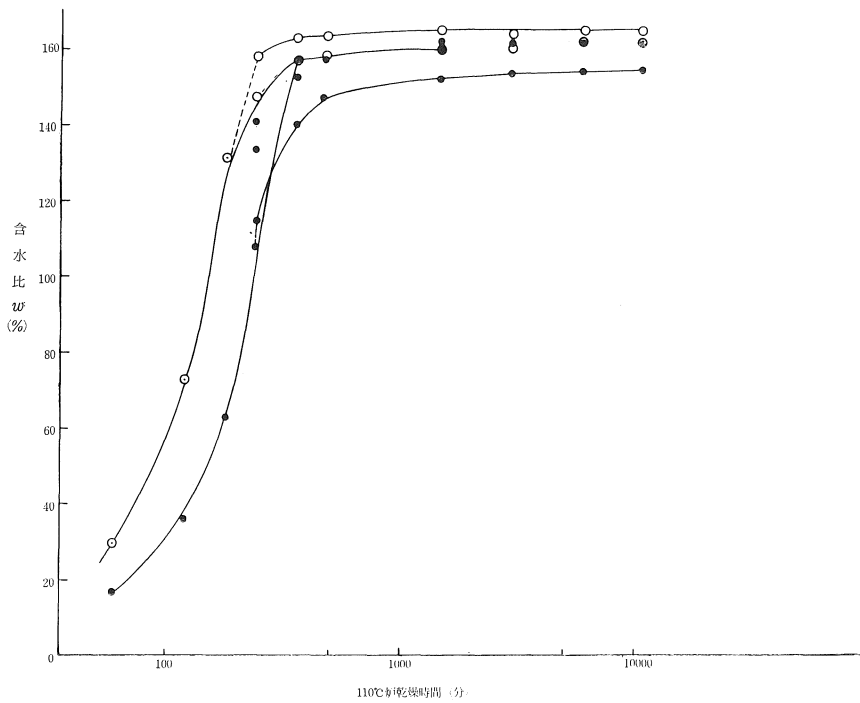


図 4 110°C 炉乾燥による試料の乾燥含水比の時間曲線 (静岡, 愛鷹)

乾燥を示している。図3によると試料が固まっているかどうか、によってその乾燥含水比にかなり差が出来ることがわかる。又室内温度16~18.5℃、湿度60%前後の無風状態に、100時間近くおくと炉乾燥含水比150%に近い土では100%以上の乾燥を示すことがわかる。

関東ロームの含水量試験では、乾燥温度および乾燥時間も大切なものであり、乾燥時間と含水比の関係を図4に示した。それによると関東ロームの乾燥時間は、8時間位ではほぼ自然含水比の97~98%近く乾燥してしまうけれど、試料によっては24時間乾燥した後でも一定せず、図4に見られるように、24時間目の含水比が151.9%であったものが48時間で153.7%、72時間で153.8%、92時間目まで154.1%、168時間で154.6%、192時間目でも154.8%というように少しづつではあるが一様に上昇するものもある。

又乾燥温度の調整も大切なことで、関東ロームの締固め試験や液性限界試験を多量に行なって乾燥炉にいっぱいに入れたとき、炉内の温度が120℃以上になり、あわてて炉の扉をあけて温度を下げたことがあるが、このような水分の多い土では特に温度調整は大切なことである。

すなわち関東ロームの含水比測定においては、なるべく手早く処理し、炉内温度を正しく110℃に調整し、乾燥時間は18時間から24時間位にし、いつも同じような手法と時間を用いることが必要である。

4. 関東ロームの粒度試験

関東ロームの粒度分析はなかなか困難であり、よく発達した団粒構造のために粘土およびシルト粒子の綿毛化を防ぐことは難しいことである。故にこのような土に

粒度分析を行うことの意義が論じられ、関東ロームを粒度分析した報告は皆無に等しいようである。

現行のJISによる方法では全くその値が求まらず、いろいろの方法が提案されているが、いまだその結論が求められていない。関東ロームにおいてはその工学的意味は粒度分析によらず、コンシステンシー限界およびPF水分量やその乾燥程度による性質の変化等で求めることが良いと言われている。しかしながらその土の粘度含有量やシルト分や砂分の量を知ることは、土の分類には必要なことであり、関東ローム同志間の差異を究明するためには、ぜひ必要なことであると思う。

筆者等は昨年新国際空港用地内の御料牧場より採取した武蔵野ローム層と思われる土の粒度分析を行ない一応の成功を見たと思われるので、これを報告したい。この試験には分散剤としてケイ酸ナトリウム(水ガラス)と過酸化水素+ヘキサメタリン酸ナトリウム、過酸化水素+テトラポリソン酸ナトリウム、過酸化水素+水酸化ナトリウムの4種類を用いた。その自然含水比状態の分析結果を図7に示す。又初期含水比を変えて行なった試験結果の粘土分、シルト分および砂分の重量百分率を図8に示した。試験方法は現行のJISに従ったが、試料の前処理に6%過酸化水素を200cc加え、1時間乾燥炉に入れ、翌日まで放置しておいた。これを次の日分散剤を入れる前に、指を入れてその指先の力でこわれる団粒はすべて砕くようにした。指先に少し力を入れてこわれるものは土粒子の塊である、と考えてすべての団粒をくずすように十分に時間をかけた。それに上記の綿毛化防止剤を加えて、分散装置に10分間かけた。この方法によると顕著な綿毛化はほとんど起きなかったが、分散剤による差はかなりはっきりと表われた。図、7、図、8に見ら

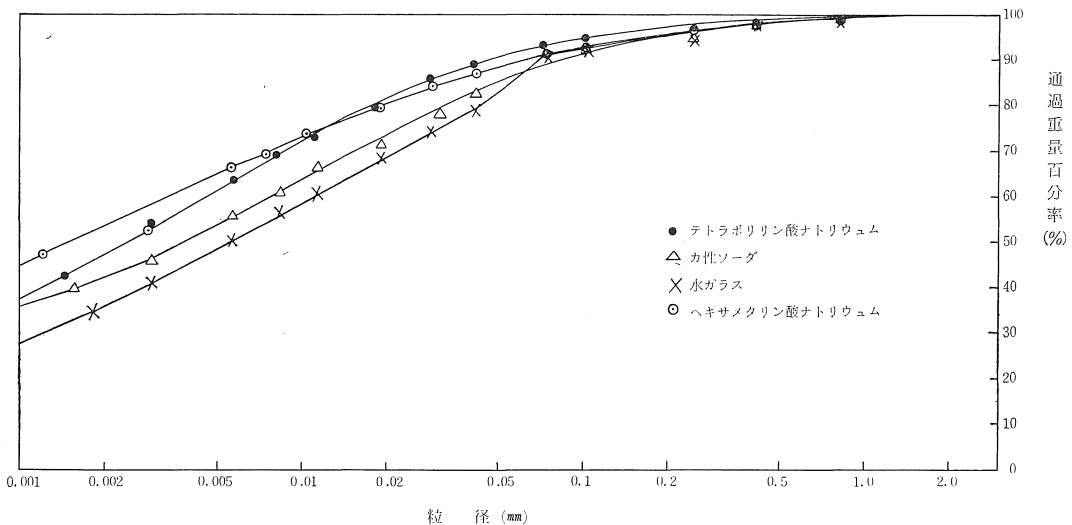


図 5 自然含水比状態の分散剤を変えた粒径加積曲線(栃木, 御料牧場, $W_n = 110 \sim 128\%$)

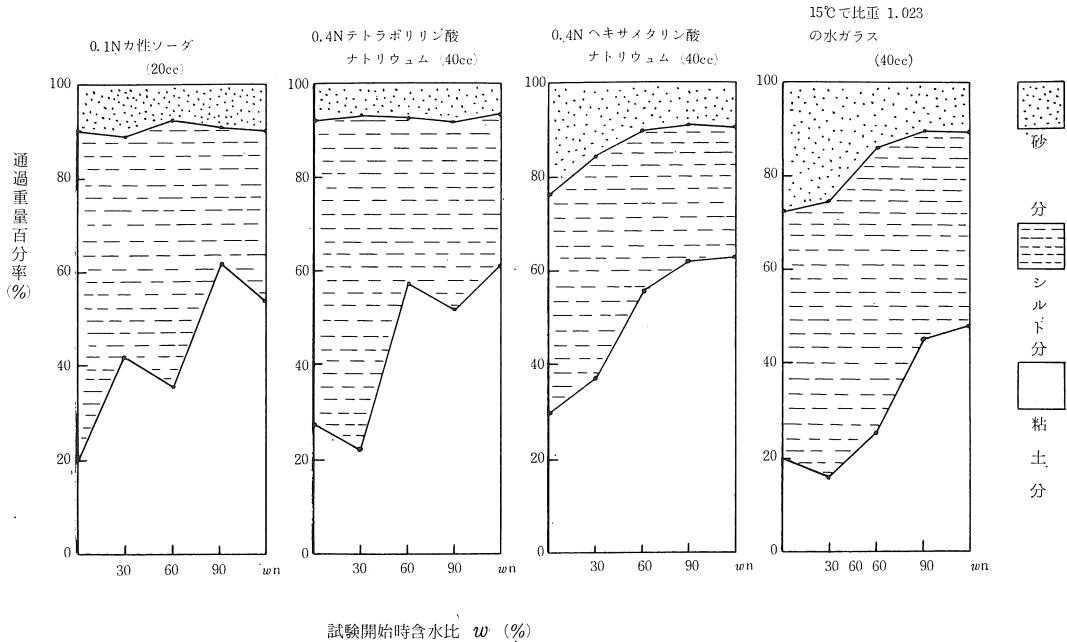


図 6 分散剤別の試験開始時含水比と通過百分率の関係 (栃木, 御料牧場)

れるように、これらの中ではヘキサメタリン酸ナトリウムが非常に良い結果を与えていることがわかる。

この結果求められる粘土分の量をこの土の試験開始前含水比を変えた液性限界試験の結果と比較した、H. B. Seed⁽¹⁾は液性限界値はその粘土鉱物の性質と含有されている粘土量によって決定されるとして次のような式を与えている。

$$W_{LL} = \frac{C}{100} W_{CLL}$$

この式でCは粘土鉱物により決定されるもので100から600の値であるとしている。又 W_{LL} は液性限界、 W_{CLL} は粘土量である。この式に前記の粒度試験で求めた粘土分を入れて、Cを自然含水比と絶乾状態のときに合う値にしてやったのが図7の点線で表わしたものである。これによりかなり求められた粘土量が正確なものであることがわかる。

5 関東ロームの比重値について

土の比重は普通土塊を作っている土粒子群の平均比重をさすものであり、土粒子個々の物質の比重ではない。だから土質試験における比重値は、ある集合体の一部分の値であり、その中の成分により、又場所により、真の値は異なるものとなる。土粒子の比重試験により求める土の比重はあくまでもその土塊の平均比重をさすものである。含水量試験のデータに見られるように、関東ロームにおいてはその含水量保持力が異なるように比重の値も変わることが当然予想される。故に全く同様に見える層であっても比重値に差が出来ることが考えられ、これが関

東ロームの比重試験値のバラツキの原因となっている。

表1は神奈川県大和市の道路工事現場より採取した、自然含水比130%程度の武蔵野ローム層と思われる土の比重試験結果である。

回数	土粒子の比重	比重を求めるのに用いた土の乾燥重量(g)	備考
1	*2.844	8.919	6時間煮沸
	2.975	8.728	
	3.106	8.031	
	2.145	11.034	
2	2.648	10.049	8時間煮沸
	2.746	8.053	
	2.735	10.128	
	2.747	11.631	
3	*2.773	5.251	8時間煮沸
	*2.813	5.513	
	*2.797	8.856	
	2.914	6.656	
	2.754	7.243	
	2.750	6.047	
4	*2.767	6.727	8時間煮沸
	*2.780	8.867	
	*2.841	8.840	
	2.727	9.029	
	*2.779	9.211	
	*2.831	9.028	
	2.853	9.065	

5	*2.781	3.119	8 時間 煮 沸
	3.066	3.606	
	*2.771	4.012	
	2.909	4.362	
	*2.823	4.143	
	*2.804	3.892	
6	2.676	4.420	6 時間 煮 沸
	2.596	8.652	
	2.756	3.488	
	2.674	3.259	
	2.891	4.053	
	2.674	4.951	
7	2.928	5.511	6 時間 煮沸+ 40分真 空吸引
	2.702	4.799	
	*2.823	5.510	
	2.721	4.434	
	*2.819	8.247	
	2.926	7.008	
	*2.807	7.062	
	2.743	6.235	

表1. 神奈川・大和市のロームの比重試験結果

試験は7回行ない、いずれも6時間以上強熱煮沸させて(その内7回目のものは6時間煮沸後40分間真空吸引をかけた。)求めたものであるが、試料の量をいろいろ変えたりしているにもかかわらず、その値は2.6~2.9の間で大きくバラついており、その値の決定には大変苦心した土である。最終的には*印の値を平均して2.80としたのであるが、それが真の値だという確信は全然なかった。

表2は筆者が現在までに実験した関東ロームの比重値である。これらの土を概観して見ると2.9以上の値を示している厚木、愛甲の土は粒径が団粒状で大きく、関東ローム研究グループの作製した関東ローム地質図⁽²⁾によると立川ローム層の分布地域であることがわかった。又その他の自然含水比100~130%位の土は同図でほとんど武蔵野ローム層とされている地域から採取されたものである。その比重値は2.8前後の値を示し、層序区分となんらかの関係があるようであるが、地質学的区分をやっていないのではっきりとは言えない。

しかしながら、比重試験をやった感じたことは厚木、愛甲等の土はあまり力を加えないでその団粒をつぶす限り、さらさらした状態にすぐになってしまうが、大和の土などは始めからその表面に光沢があり、粘着力が強くなっている。すなわち自然土の状態で水気をふくみ、光沢が感じられ、強い粘着力をもっているために土の比重試

験は、バラツキが多く難かしい。これに反して少し乾燥気味などでさらさらして手にあまりつかないような状態の土は、案外にバラつかない高い比重値が求まるようである。

これからあまり表面の水気の多い土の比重試験は、手にあまりつかないで塊がつぶせる位に乾燥させて、90%前後の含水比にして、比重ビンに入れる前に、指先で良く団粒分をつぶすようにしてやるのが良いようである。又脱気のための煮沸時間は、なるべく長い方が良く、強い煮沸で長くすればするほど値のバラツキはなくなるようである。

試料の量は比重ビンに入れる時の状態で10g~15g用いるのが良いようである。

採取場所	比重値	自然含水比(%)	関東ローム地質図による分類
東京 文京(39)	2.87	110~116	武蔵野ローム層
“ “ (40)	2.82	105~115	“
“ “ (41)	2.85	124~130	“
神奈川 大和	2.80	130~135	“
“ 厚木	2.94	85~ 95	立川ローム層
“ 綱島	2.75	110~120	武蔵野ローム層
千葉 成田	2.79	110~118	“
宮城 水戸(上)	2.82	110~120	“
“ “ (中)	2.80	130~138	“
“ “ (下)	2.79	125~130	“
静岡 愛鷹	2.88	145~150	立川ローム層
東京 清瀬	2.87	102~111	武蔵野ローム層
神奈川 愛甲	2.93	96~110	立川ローム層
山梨 上野原	2.80	124~129	武蔵野ローム層
千葉 御料牧場	2.79	109~128	“

表2. 関東ロームの採取場所と比重と自然含水比と層序区分

6. 関東ロームの液性限界・塑性限界について

関東ロームは、図7に見られるように、その試験開始時の乾燥状態によって、液性限界・塑性限界⁽³⁾などの結果が大きく異なることが知られている。図に見られるように、自然含水比128%前後の土の液性限界は約160%であるものが、それを空気乾燥させて10%位にすると液性限界は70%前後となり、実に90%以上の低下を示すことになる。同様に塑性限界も又100%前後から70%以下とい

うように大きな変化を示している。しかしながら、それはどのロームにおいても同様な傾向をもっている。他の多くの試料においても言えることであるが、自然含水比から少しづつ乾燥させて含水比を求めて行くと、ある点まではだいたい自然含水比の時の液性限界・塑性限界とあまり差異は出来ないのであるが、その点をすぎると液性限界は急激に小さくなる。このような変化は他の土にも見られる傾向であるが、関東ロームにおいてはその差があまりにも大きく自然土と絶乾に近い土では全く異なった土であると考えられる。すなわち一定以上に乾燥した関東ロームでは、その後加水される水は、完全に非可逆的なものとして働き、全く異なった土に加水したと同じ結果を示すことになる。しかしながら、その急変点より前においては他の一般的な粘性土とかなり近い変化を示している。図7において、実験時の土の乾燥状態から観察した所では、約70%前後まででは自然土の色に少し黄色味をもち、握ればある程度の弾力性を感じ、小塊は指先で簡単につぶすことが出来る。しかしそれ以上乾燥が進むと、急に色が変わり、白っぽい茶色となって、砂ぼこりを連想させるようになる。この状態になると握っても個々の団粒は硬く、間ゲキは大きくなって弱い力では、良く固められないようになる。もう一つ気づくことはその変化は、すごく急激なものであり、じゅうぶんに注意深く手を入れて乾燥させても、その中間の70%前後の含水比の試料を作ることが出来なかったことである。このあたりで土は一樣に様相を変えるようで、いくら注意しても、15%位飛びはなれた土になってしまい、もしその点の土を作ったとしても、それは前後の土の混合されたものとしか考えられないような色相を呈している。この点でかなり急激な内的な力が働いていることが推察される。この70%という点をこの土の絶乾状態と考えて、その指数特性を調べて見た結果は次式のようになった。

$W_0=70\%$ 以上のとき

$$W_L=0.316\sqrt{W_0}+1.203$$

$$W_P=0.298\sqrt{W_0}+0.678$$

$W_0=70\%$ 以下のとき

$$W_L=1.476\sqrt{W_0}+0.285$$

$$W_P=0.564\sqrt{W_0}+0.489$$

全体では

$$W_L=0.980\sqrt{W_0}+0.774$$

$$W_P=0.621\sqrt{W_0}+0.551$$

この関係を参考文献(4)の式と比べて見ると $W_0=70\%$ のときの液性限界、塑性限界の取り方による差は出ているが、 $W_0=70\%$ 以上においてはかなり勾配が近似し

ており、関東ロームの土性の変位点としては妥当な線ではないかと考えられる。

又液性限界および塑性限界試験においては、注水後の練合せ時間がかかなり重要である。

立川ロームを自然含水比に少し加水して液性限界試験をやったところ、注水後すぐの落下回数が33~34回であったものを、30分放置後20分練合わせたら、26~27回の落下回数になってしまった。そこでなおも約3時間休みなしに練合わせを続けた所、だんだん落下回数はさがって行き、最後には3回の落下回数でみぞが合流するようになってしまった。この土は地質学の先生が採取された、顕著な立川ロームの性質を示す土であったが、外見は普通のロームと全く変わらず、関東ロームの試験の難かしさを感じさせられた。

7. む す び

関東ロームの物理的性質の内、特に気のついたもの、あるいはきわだった特徴のいくつかを思いつくままに述べて来た。それらを列挙して見ると、

- (1) 地山の含水比は垂直方向に非常にバラツキている。
 - (2) 地山の密度は含水比の変化と一致するようである。
 - (3) 含水量試験は炉内温度を 110°C に厳守し、乾燥時間を18時間から24時間とし、30g前後の試料を取るのが良い。
 - (4) 粒度試験には団粒をくたくのに指を用い、普通より多目の分散剤を用い、試料は乾燥重量で50~60gとなるのが良い。
- 又ヘキサメタリン酸ナトリウムが綿毛化防止剤として良い結果を与えるようである。
- (5) 比重試験は自然含水比の90%程度に乾燥させた試料を指先でつぶしながら比重ビンに入れ、強熱煮沸で出来るだけ長く煮ることが良い。
 - (6) 液性限界より、関東ロームの含有水分の変位点を見出すことが出来る。又土によっては練合せ時間を如何にすべきかが大切な問題となる。等を上げることが出来る。

ここで関東ロームの粒子について考えて見たい。関東ロームの粒子は文献(5)に見られるようにくもの巣状をしていて、一つの粒子として考えることは出来ないようである。しかしながらロームの特殊性を考えるためには、なんらかの模型を考える必要がある。一般に現在考えられているのは、軽石状の模型である。たしかにこれでも締固め試験の変化などを説明することは出来る。しかしながら、前に上げたいくつかの現象をすべて説明することは出来ない。たとえば粒度試験の困難さについても軽

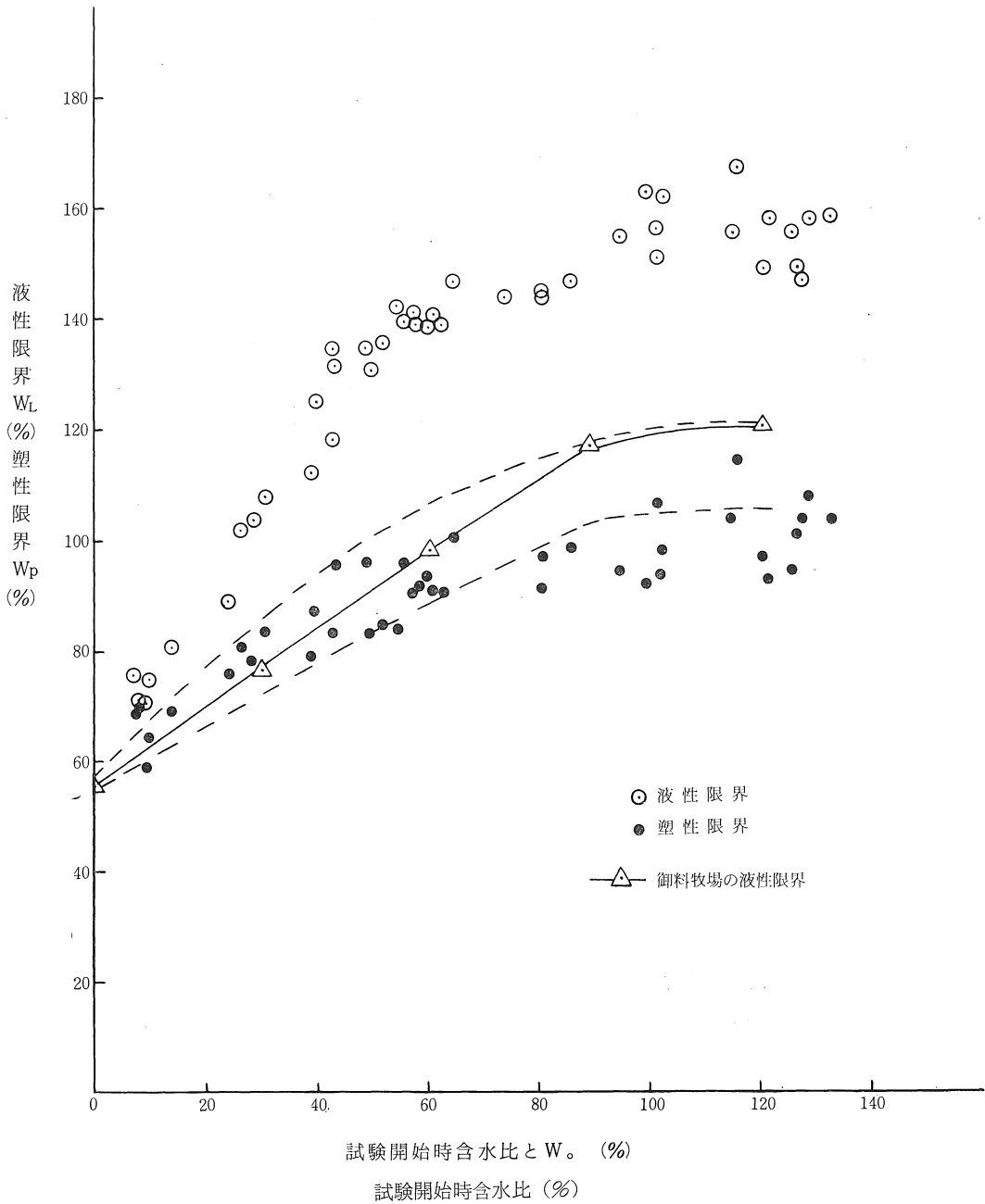


図 7 試料の試験開始時含水比と液性限界、塑性限界の関係（東京，文京区）

石状ではあまりうまく説明出来ないようである。今、筆者の考えている模型は毛の長い細い体型をもった「毛虫」がロームの特徴を説明するのにもっとも合った模型ではないかと思う。すなわち、自然地山状態における関東ロームはちょうど毛虫が冬眠している時のように丸くなって、その長い毛がいっばいにひらいた状態ではないだろうか。そのような状態では丸くなったその内部に強い

拘束力をもって水分をかかえており、その外側の長い毛の部分にも強い毛管力で水をもっているもの同志が、その毛と毛をかさね合って堆積していると考えられる。その土がくずされ、掘り出されることによりその毛の重ね合わせがはずれ、するとその毛についている水分が大変はなれやすくなり、土の表面をこするとすべりやすく、光たくをもつようになる。そしてそれがだんだん乾燥さ

れると共にその毛についている水分が発散されるが、ある程度以上（液性限界の変位点）に行くとちょうど毛虫が少しづつ身体をのばしてゆくようになり、それにつれてその中にもっている水分が順々に発散されて行く状態と考えることが出来る。なおそれ以上乾燥が進むと、毛虫の外側の部分の長い毛と内側部分でかみ合わせによる結合が始まり、その毛虫が完全に伸びきった状態ではいくつかの毛虫同志が結び合ってイモゴナイトのような形状を示すようになると考えるとロームのだいたいの性質を説明出来るのではないだろうか。

参 考 文 献

- ① Seed, H.B, Woodward, J, R, and Lundgren, R, "Fundamental Aspects of The Atterberg Limits." Proc. ASCE, Journal of the Soil mechanics and Foundation Division, November, 1964.
- (2) 関東ローム研究グループ：関東ローム，
築地書館，1965.
- (3) 久野・茨木・西堀：関東ロームの工学的
性質に関する研究
土木学会第21回年次学術講演会講演概要，
S.41.5.
- (4) 神山光男：試料の乾燥状態が土の稠度に及
ぼす影響，土と基礎，第7巻第1号〔31〕
P44~P47.1959.
- (5) 谷津栄寿：粘土と水との系，地学ノート (2)