

# 九州灰土の特性に関する研究

— その2, 灰土の土質化学的諸性質 —

喜田大三  
中田礼嘉  
原田政太  
(大林道路株式会社)

## 1. まえがき

道路建設において、土は主要な天然の建設材料である。ところで、建設材料の使用に際しては、その物理・力学・化学的諸性質を十分把握していなければならない。しかるに土は天然の建設材料であるため、その化学的諸性質は複雑であり、従来から物理・力学的諸性質のみ測定して、道路の設計・施工が行なわれてきた。しかし、工事をより確実にしかも経済的に遂行するためには、それだけでは不十分であり、工事の設計・施工前にそれら諸性質を発現させる原因となる化学的諸性質、すなわち土質化学的諸性質をも把握しておく必要がある。このような考えに基づき、東名高速道路の建設時には、特に立川ロームおよび愛鷹ロームの主要鉱物である非晶質粘土鉱物のアロフェンが注目され、研究が行なわれた。そして本報では、以下に述べる灰土の土質化学的諸性質に関する研究によって、このような土質化学的検討が道路建設時にきわめて重要であることを再認識した。

さて、九州縦貫自動車道のうち熊本市郊外の路線付近には、灰土と呼ばれている阿蘇火山の火山碎屑物の風化粘土が多量に分布しており、その土工量は100万 $m^3$ を越えると試算されている<sup>8)</sup>。そして、この灰土はきわめて特異な物理的・力学的諸性質を有している。すなわち灰土は、その含水比が火山灰質粘土である関東ロームの立川ロームあるいは愛鷹ロームの約半以下に過ぎなく、一見乾燥した感じのする土であって、練返しを受けない切土部では普通ブルドーザ、場合によってはダンプトラックの走行が可能である。ところが、それを掘りおこして盛土部へ運搬すると、運搬時の練返しによって湿地ブルドーザの走行さえ困難となるのである。

そこで、日本道路公団では本工事に先立ち、灰土のトラフイカビリティーの確保と灰土を用いた盛土の安定に関して、1968年5月～1969年2月に大規模な試験工事を熊本県鹿本郡植木町で行なった<sup>5,9)</sup>。

本報では、灰土の特性に関する研究<sup>6,7)</sup>の一つとし

て、このような灰土の特異な物理的、力学的諸性質が発現する原因を土質化学的手法を用いて究明した。なお、本報文の内容を1969年6月に開催された第4回土質工学研究発表会<sup>3)</sup>ならびに日本粘土学会誌“粘土科学”<sup>4)</sup>に既に報告している。

## 2. 灰土の成因と産状

九州縦貫自動車道の建設予定地のうち、熊本市郊外の路線付近の地層は図—1に示すように上層より黒ボク、赤ボク、灰土、熔結凝灰岩、砂礫および花崗岩などから構成されている。

さて、熔結凝灰岩は阿蘇火山の第3回目(約3万3千年前)の噴火で、洪積世後期のカルデラ形成に関連した降下軽石などが、その熱と堆積の圧力によって再度熔融を行なって形成されたといわれている。一般にこの凝灰岩の層厚は約30m以上と推定されており、植木町より北上するにつれて漸次、薄くなっている<sup>5)</sup>。

そして灰土は、阿蘇火山の第3回目、第4回目(約1万2千年前)の噴火で生成した未熔結部が風化した粘土であるといわれている<sup>9)</sup>。その層厚は図—1に示した熊本県鹿本郡植木町付近でもっとも厚く(5～10m)、北上するにつれて徐々に薄くなっている。

さらに、灰土の上層には現在の表層を構成する、沖積世カルデラ形成後の火山灰土、すなわち赤ボクおよび黒ボクが堆積している。

## 3. 粘土鉱物および二・三の化学的組成に関する検討

灰土およびその上層の黒ボクおよび赤ボクの土性は

深度	地層	土色
0m	黒ボク	黒褐色
	赤ボク	黄褐色
2	灰土	桃色
4		
6	灰土	灰褐色
8		
10	灰土	灰色
12	弱熔結凝灰岩	

図—1 植木町付近における代表的な土層断面

るといわれている<sup>9)</sup>。その層厚は図—1に示した熊本県鹿本郡植木町付近でもっとも厚く(5～10m)、北上するにつれて徐々に薄くなっている。

いずれも粘土である。このような粘土の物理的および力学的諸性質は、粘土分を構成している粘土鉱物および二・三の化学的組成に著しく影響される場合が多いので、以下にこれを検討した。

3.1. 試料

表一に示すように、深度別に6ヶ所から採取した土を試料とした。なお、灰土と比較するために、立川ローム（東京都北多摩郡清瀬町で採取した赤褐色土）および愛鷹ローム（静岡県沼津市で採取した赤褐色土）も供試した。

番号	採取地点	深度	通称名
1	STA.No233+80	GL-0.5m	黒ボク
2	STA.No233+60	GL-1.0m	赤ボク
3	"	2.0m	灰土
4	"	3.0m	"
5	"	5.0m	"
6	"	10.0m	"

表一 試料

3.2. 測定項目と実験法

(1) 粒度分析 JIS A 1204 による。

(2) X線分析 分析装置：島津製作所製の自記X線回折装置 (GX-3B型)。測定条件：CuK $\alpha$  (Ni), 40 KV, 20mA, 2°/min, T. C. 10 sec, D. S. 10mm, S. S. 0.5mm, R.S. 0.25mm。試料調製：黒ボクを除く土は有機物除去を省略し、常法にてその粘土分を採取・気乾後、それを乳鉢で粉砕し、54 $\mu$ 以下を無方位試料とした。一方、黒ボクは6%過酸化水素水による有機物除去処理を行なったのち、その粘土分を上述のようにして無方位試料とした。そして、必要に応じて定方位試料とし、加熱処理を行なった。

(3) 示差熱分析 分析装置：島津製作所製の自記示差熱分析装置 (DT-2A型)。測定条件：中性物質 $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、雰囲気大気中、試料の量約 0.5g, C. S. 2min/div, 感度 $\pm$ 0.5 $\mu$ V, 加熱速度10°C/min, 容器PR-10。調料調製：X線分析の場合と同様。

(4) 加熱減量測定 分析装置：示差熱分析装置と同様であるが、特殊な天秤が付属している。測定条件：中性物質  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、雰囲気大気中, C.S. 2min/div, 感度 200~400mg, 加熱速度 10°C/min, 容器 PR-10。試料調製：X線分析の場合と同様。

(5) 電子顕微鏡観察 分析装置：日本電子製スーパー Scope (JEM-30B型)。測定条件：電子加速電圧 30KV。試料調整：乳鉢にごく少量の供試土(湿土)をのせ、蒸留水 4~5 滴を加え乳棒でよく混ぜ合わせる。ペースト状になった試料をカーボン補強したメッ

シュ上に白金耳で微量のせ、膜面上に肉眼で試料が認められなくなるまで蒸留水を流し、これを自然乾燥して検鏡した。

(6) 粘土鉱物の表面積測定 試料中の粘土分を常法により採取し、その表面積を BET 法で測定した。

(7) 陽イオン交換容量 (CEC) 測定 試料に吸着している全陽イオンをアンモニウムイオンに置換させ、つぎに置換した全アンモニウムイオン量をホールモール法で測定した。

(8) 交換性陽イオン量測定 (7)において、アンモニウムイオンを置換した陽イオンのうち、ナトリウムおよびカリウムの定量は炎光分析法で、またカルシウムおよびマグネシウムの定量は EDTA によるキレート滴定法で行なった。

(9) 水素イオン濃度 (pH) 測定 試料を蒸留水あるいは 1 規定塩化カルウム液に 1:10 の割合で懸濁させ、30分後にガラス電極法で測定した。

(10) 0.2N 塩酸可溶性成分 試料 2g を 0.2N 塩酸 100ml に入れ、40°C で 1 時間加熱後、それをろ過する。その濾液中の鉄 (Fe), アルミニウム (Al), ケイ素 (Si) を比色分析する。すなわち、濾液中の Fe はオフェナントロリン法にて、Al はアルミノン法にて、Si はモリブデン青法にてそれぞれ発色させ、島津光電比色計 (スペクトロニック 20) で比色定量した。

3.3. 実験結果と考察

(1) 試料の粒度組成と鉱物分析結果を表二に示す。

表二に示したように、すべての供試土および立川ローム、愛鷹ロームの土性はいずれも粘土と判定された。そして、これらの土の粘土分を構成する主なる粘土鉱物を X線分析、示差熱分析、加熱減量測定ならびに電子顕微鏡によって検討した結果、黒ボク、立川ロームおよび愛鷹ロームでは非晶質粘土鉱物アロフェンであるが、赤ボクおよび灰土では 1:1 型結晶質粘土鉱物ハロイサイトであることが判明した。

以下に、これら粘土鉱物の同定経過を述べる。

まず、試料の X線回折曲線を図二に示す。同図において 10Å (8.8°), 4.4Å (20.2°) のピークはそれぞれハロイサイトの (001), (020) あるいは (110) のものである。ハロイサイトの (001) のピークを雲母系

番号	地層	粒度組成			土性	鉱物分析				
		sand	silt	clay		X線	示差熱	熱天秤	電顕	総合判定
1	黒ボク	13%	48%	39%	粘土	H, Q, F	G, Q, H	A	A, I	アロフェン質土
2	赤ボク	37	27	36	"	H, Q, F	H, Q	H	H	ハロイサイト質土
3	灰土	33	34	33	"	H, Q, F	H, Q	H	H	ハロイサイト質土
4	"	31	31	38	"	"	"	"	"	"
5	"	34	33	33	"	"	"	"	"	"
6	"	36	31	33	"	"	"	"	"	"
	立川ローム	23	42	35	"	Q, F	G, Q	A	A, I	アロフェン質土
	愛鷹ローム	28	34	38	"	Q, F	G, Q	A	A, I	アロフェン質土

H:ハロイサイト G:ギブサイト A:アロフェン I:イモゴライト Q:石英 F:長石

表二 試料の粒度組成と粘土鉱物

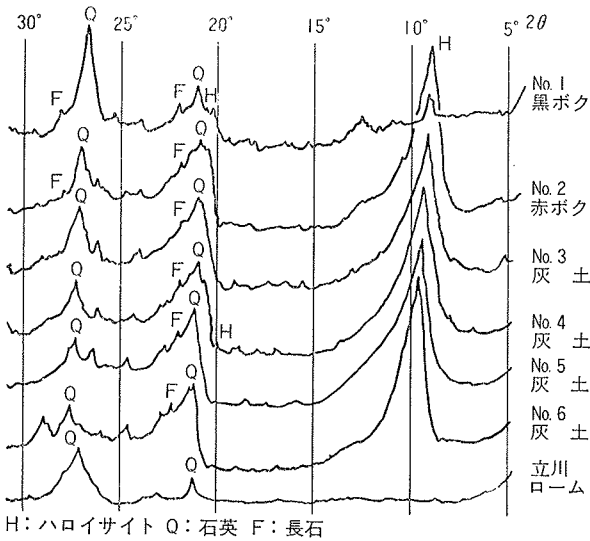


図-2 粘土分のX線回折曲線

粘土鉱物と区別するために、試料を加熱処理した。すなわち、電気恒温乾燥器中で 150°C、1 時間加熱処理した定方位試料をデシケーター中で空冷後、X線分析した。その結果、10 Å のピークが 7.2~7.5 Å (12.3~11.8°) に変位したので、ハロイサイトであると判定した。

また 4.21~4.29 Å (21.1~20.7°)、3.3 Å (26.7°) のピークはそれぞれ一次鉱物である石英の (001)、(101) のものである。さらに 4 Å (22.3°)、3.73 Å (23.8°)、3.44 Å (25.9°) などのピークもそれぞれ一次鉱物である長石の (201)、(111) および (130)、(112) のものである。

つぎに試料の示差熱分析曲線を図-3 に示す。同図において 100~200°C の吸熱ピークは粘土粒子表面の吸着水の脱水によるものである。黒ボクおよび立川ローム

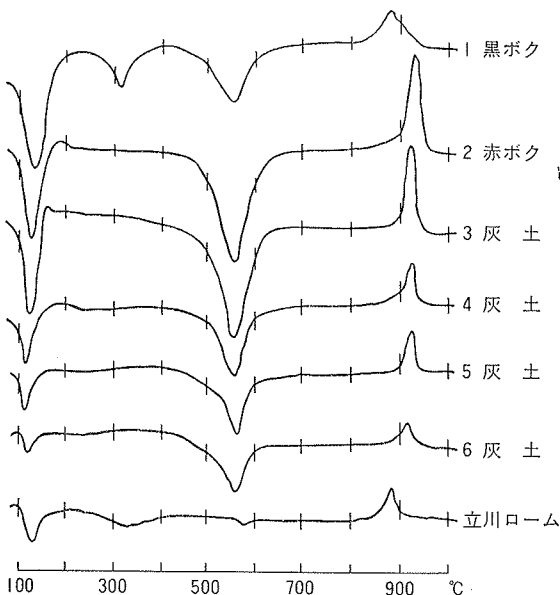


図-3 粘土分の示差熱分析曲線

ームに見られる 315°C の大きな吸熱ピークはギブサイトの分解によるものである。また立川ロームを除く試料の 500~600°C の大きな吸熱ピークおよび 900~1000°C の発熱ピークは、上述の X線分析の結果と考えあわせれば、ハロイサイトのものと思われる。なお立川ロームにおける 570°C 付近の小さな吸熱ピークは石英のものである。

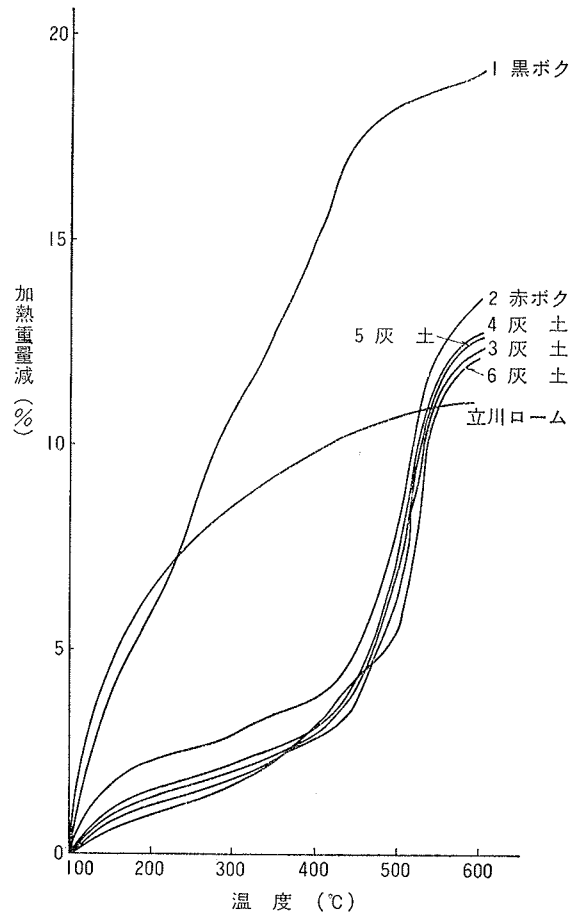
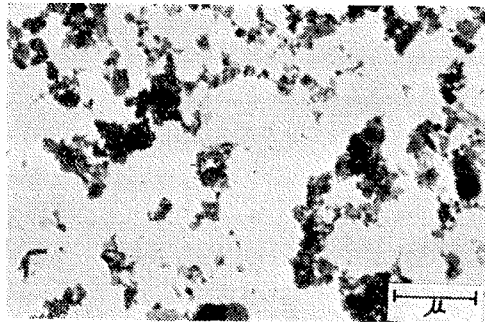


図-4 粘土分の加熱減量曲線

さらに試料の加熱による重量の変化曲線を図-4 に示す。同図において黒ボクおよび立川ロームでは、加熱にともない急激に減量し続ける。これはアロフェンの特徴である。赤ボクおよび灰土では 100~400°C の減量は徐々であるが、470~570°C では急激である。これはハロイサイトあるいはカオリナイトなどの特徴である。

そして試料の電子顕微鏡写真の代表例を図-5 に示す。黒ボク、立川ロームおよび愛鷹ロームの写真にはきわめて微細な球状粒子が網状あるいは戻状につながっているのが観察されるが、これはイモゴライトおよびアロフェンであると思われる。赤ボクおよび灰土の写真には多くの中空管状および少しの栗のイガ状の粒子が認められるが、これはハロイサイトである。



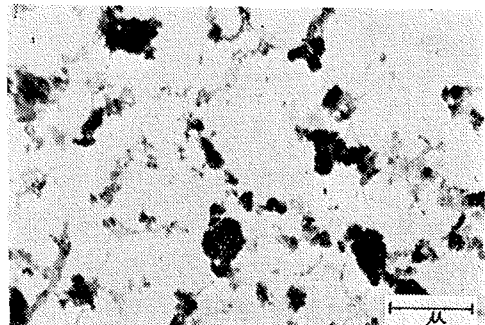
(1) 黒ボク



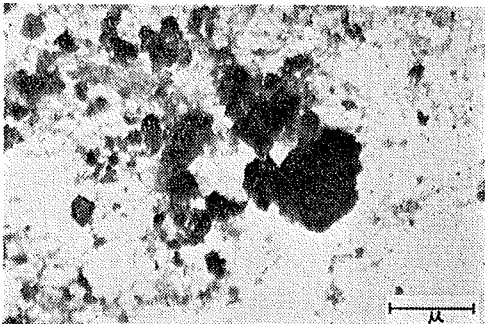
(2) 赤ボク



(3) 灰土



(4) 立川ローム



(5) 愛鷹ローム

図-5 試料の電子顕微鏡写真

(2) 赤ボクおよび代表的な灰土 (No. 5) の二・三の化学的組成およびそれら土の粘土分の表面積の測定結果を表-3に示す。

試料	pH	陽イオン交換容量 (meq/100g)	交換性陽イオン量 (meq/100g)					0.2N塩酸可溶性成分(%)				表面積* (m <sup>2</sup> /g粘土)	
			Na	K	Ca	Mg	合計	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	合計		
赤ボク	6.7	5.0	19.4	0.4	0.2	5.1	5.1	10.8	0.90	4.23	1.16	6.29	40~100
灰土(No.5)	7.9	5.4	24.6	0.3	1.0	6.1	4.6	12.0	0.29	0.64	0.41	1.34	

\*立川ローム、愛鷹ローム(アロフェン質土)では500~800m<sup>2</sup>/g粘土

表-3 赤ボクおよび灰土の二・三の化学的組成と粘土分の表面積

表-3に示したように、灰土では土粒子間の結合物質である三・二酸化物すなわち塩酸可溶性成分が少なく、その量は赤ボクの21%に過ぎないことが判明した。

また、ハロイサイト質土の赤ボクおよび灰土の粘土分の表面積はアロフェン質土の立川ロームおよび愛鷹ロームのそれよりもきわめて小さいことが明らかになった。

#### 4. 物理的性質に関する検討

##### 4.1. 試料

前章で使用したものと同一土を試料とした。

##### 4.2. 測定項目と実験法

(1) 自然含水比 JIS A 1203 による。

(2) pF 水分量<sup>1,2)</sup> 遠心分離機を用いて、pF 値 4.1 における非分離水量と分離水量を測定する。非分離水量とは測定 pF 値よりも大きい、つまり pF 値 7 (105°C乾燥に相当する) までの水量、一方分離水量とは測定 pF 値よりも小さい、つまり pF 値 0 までの水量である。そして、その結果を乾土あたりの水量(%)として表示する。

(3) コンシステンシー限界 JIS A 1205 および 1206による。

(4) 比重 JIS A 1202 による。

##### 4.3. 実験結果と考察

試料の物理的性質を表-4に示す。

番号	地層	自然含水比	pF 4.1における			コンシステンシー限界*			比重
			非分離水	分離水	pF水分特性値	LL	PL	PI	
1	黒ボク	65%	37%	28%	43%	99%	59%	40%	2.6
2	赤ボク	52	35	17	33	55	45	10	2.6
3	灰土	55	31	24	44	62	45	17	2.6
4	"	57	29	28	49	61	48	13	2.7
5	"	58	26	32	55	55	41	14	2.7
6	"	62	26	36	58	55	37	18	2.7
立川ローム	練返し 無	131	89	42	32	138	75	63	2.7
	練返し 有		79	52	40				
愛鷹ローム	練返し 無	100	62	38		130	94	36	2.8
	練返し 有	162	84	78	48				

\* LL (液性限界), PL (塑性限界), PI (塑性指数)

表-4 試料の物理的諸性質

##### (1) 自然含水比

含水比は土を構成する材質、粒度、粒子の配列(孔隙率) および飽和度などによって大きく影響される。

さて、表一4で明らかのように、赤ボクおよび灰土の自然含水比は52~62%の範囲にあり、それは立川ロームおよび愛鷹ロームの約半分以下である。このような含水比の差異の1要因として含有粘土鉱物の種類の差異があげられる。すなわち、表一3に示したように、ハロイサイト質土の赤ボクおよび灰土の粘土分の表面積はアロフェン質土の立川ロームおよび愛鷹ロームのそれよりもきわめて小さいからである。

## (2) pF 水分特性

pF 水分特性値とは、自然含水比に対する pF 値 4.1 における分離水量の割合(%)であると定義<sup>1,2)</sup>し、試料の pF 水分特性値を求めた。

その結果、表一4に示したように、深度が増加するにつれて灰土の含水比はそれほど大きく変動しないが、分離水量は多くなり、したがって pF 水分特性値も増大する傾向にあることが判明した。これらの灰土の自然含水比は液性限界に類似しているが、このような土では pF 水分特性値が大きい土ほど練返しによって軟弱化しやすい土であると判断できる。この現象は 5.3 に後述の鋭敏比などからも裏付けることができた。なお、試料は輸送中に練返しを受けており、表一4の pF 水分特性値は練返し時のものとみなしてよいと考える。そして、参考までに表一4には立川ロームおよび愛鷹ロームの pF 水分特性値も併記したが、灰土のそれは立川ロームおよび愛鷹ロームに類似もしくは上まわっていることが明らかになった。いいかえれば、灰土の方が練返しによる水分の自由水化が大きく、軟弱化しやすいことを示唆している。なお、pF 水分量の測定結果に基づいて、6章で灰土の骨組構造について推察する。

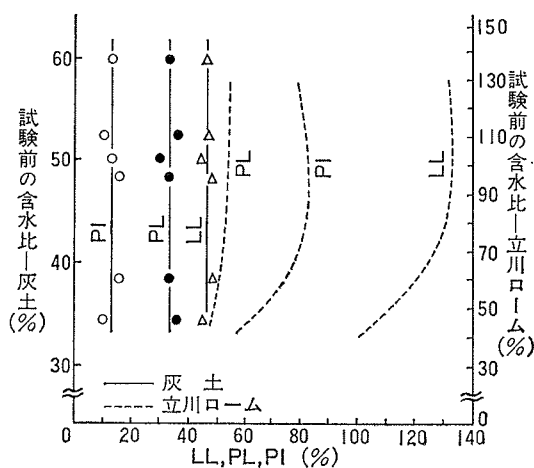
ところで、pF 値 4.1~4.2 における非分離水量は自然含水比と無関係に土の材質を示しているものと考えられる。すなわち、立川ロームおよび愛鷹ロームの非分離水量は灰土の約3倍である。これも、前述のように、含有粘土鉱物の表面積の差異が大いに関与していると思われる。

なお、非分離水量が土の材質と関連している例として、愛鷹ロームの非分離水量を測定することによって、複雑な層序を分類することができたことが挙げられる<sup>1,2)</sup>。

## (3) コンシステンシー限界

表一4で示したように、いずれの試料も自然含水比が液性限界にきわめて類似している。またアロフェンを主体とする黒ボク、立川ロームおよび愛鷹ロームの液性限界(W<sub>L</sub>)、塑性限界(W<sub>P</sub>)、塑性指数(I<sub>P</sub>)の各値は、ハロイサイトを主体とする赤ボクおよび灰土のそれよりも大きい。

さて、灰土および立川ロームの初期含水比がコンシステンシーにおよぼす影響を調べ、図一6にそれを示した。灰土では初期含水比を60%から35%まで変化させたが、コンシステンシーの変化は無視できる程度であった。一方、立川ロームでは初期含水比を130%から40%まで変化させたが、コンシステンシーの変化は初期含水比が約80%以下では著しく大きい。いいかえれば、灰土では乾燥または湿潤の過程における土と水との相互作用が可逆的であるのに対し、初期含水比が約80%以下の立川ロームではそれは非可逆的であることを示唆している。このちがいが両者の含有粘土鉱物の種類の差異によるものと思われる。



図一6 初期含水比がおよぼすコンシステンシーの変化

## 5. 力学的性質に関する検討

### 5.1. 試料

3章で使用したのと同じ土を試料とした。

### 5.2. 測定項目と実験法

- (1) 鋭敏比 JIS A 1216 による。
- (2) 締固め特性 JIS A 1210 による。
- (3) コーン指数 KODAN 101 による。
- (4) 三軸試験
- (5) 現場 CBR

### 5.3. 実験結果と考察

#### (1) 鋭敏比

表一5に試料の鋭敏比およびその他の力学的性質の測定結果を示す。

試料番号	地層	地山強度		一軸強度		コン指数 (kg/cm <sup>2</sup> )		三軸試験		現場 CBR	
		地山	繰返し	繰返し	鋭敏比	地山	突固(1)	突固(2)	c		φ
1	黒ボク	1.4	1.0	0.30	3.3	11.0	-	-	-	-	4.4
2	赤ボク	1.3	1.2	0.24	5.0	15.0	-	-	-	-	-
3	灰土	1.4	1.6	0.23	7.0	8.6	-	-	-	-	2.2
4	"	1.4	1.1	0.04	27.5	9.1	3.0	8.0	0.30	17	-
5	"	1.3	0.6	測定不能	超鋭敏	12.0	1.8	9.9	0.38	21	1.7
6	"	-	-	-	-	6.3	-	-	-	-	-
	立川ローム	-	-	0.06	8.1	9.0	-	-	0.35	27	-
	愛鷹ローム	1.4	1.5	0.14	10.8	20.0	1.4	2.8	0.44	24	-

突固 (1)3層42回 (2)3層10回

表一5 試料の力学的諸性質

同表に示したように、灰土では練返しによって一軸強度は著しく低下し、鋭敏比（地山の一軸強度／練返しの一軸強度）は黒ボクおよび赤ボクのそれよりも高い。したがって、灰土は黒ボクおよび赤ボクよりも練返しによる強度低下が著しいと判断した。

そして、灰土のうちでも下層ほど鋭敏比は高かった。このような鋭敏比の増加傾向は3.3に前述のpF水分特性値の増加傾向と同じであった。このことはpF水分量の測定が土の鋭敏性を推定するのに役立つことを示唆している。なお、立川ロームの鋭敏比も高く、普通2～12の範囲にある<sup>10)</sup>といわれているが、灰土の下層における鋭敏比は立川ロームのそれを上まわっており、灰土は立川ロームより練返しによる軟弱化が大きいといえる。この結果は、4.3に前述のpF水分特性値の測定結果と一致している。

なお、鋭敏比の測定結果に基づいて、6章で灰土の骨組構造について推察する。

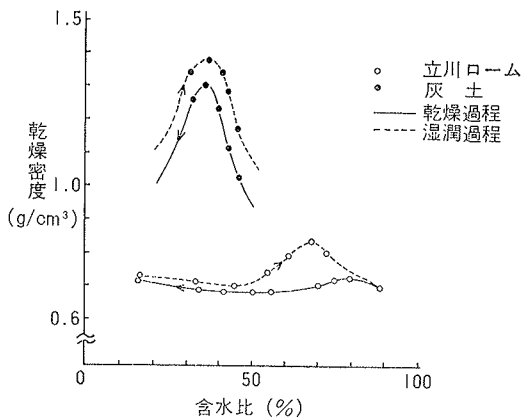
(2) コーン指数

地山における乱さない土のコーン指数 ( $q_c$ ) は赤ボクが一番大きく、ついで黒ボク、灰土の順で低下する。そして灰土の  $q_c$  値は、表一5に示したように、突固めによる練返しが多いほど一軸強度の場合と同じく低下した。

なお、灰土における  $q_c$  値とpF水分特性値との間に、次のような関係が報告されている<sup>12)</sup>。 $q_c$  値が8～15  $\text{kg/cm}^2$  と比較相高い場合のpF水分特性値は50%以下であり、 $q_c$  値が5～10  $\text{kg/cm}^2$  と低下した場合のそれは55%以上となり、強度が小さい土ほどpF水分特性値は大きくなる傾向がある。

(3) 締固め特性

図一7に種々の含水比の灰土および立川ロームを突固めたときの乾燥密度の変化を示す。なお、灰土および立川ロームの初期含水比は、湿潤過程の場合それぞれ



図一7 灰土および立川ロームの締固め曲線

れ30.5%、51.0%、乾燥過程の場合それぞれ38.5%、123%であった。

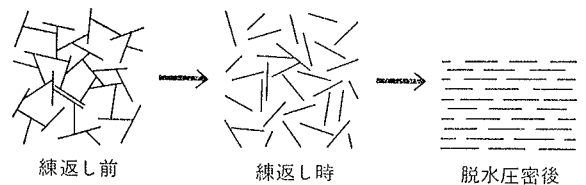
さて、灰土および立川ロームの土性はともに粘土であるが、図一8に示したように、乾燥過程の場合、立川ロームでははっきりしたピーク（最適含水比）が認められないが、灰土ではそれが認められる。一方湿潤過程の場合、両者とも明瞭なピークがみられる。そして立川ロームではその初期含水比によって最適含水比も異なる<sup>11)</sup>といわれている。これらの事象は、4.3に前述のように、乾燥または湿潤の過程における土と水との相互作用が、ハロイサイト質土の灰土では可逆的であるのに対し、アロフェン質土の立川ロームでは非可逆的であることに起因すると推察される。

6. 灰土の骨組構造

前章において例示したように、灰土は練返しによって著しく軟弱化する。このような事象は粘土質の灰土中の粘土粒子の骨組構造が大いに関与していると推察されるので、以下にその構造を検討する。

3.3に前述したように、灰土の主なる粘土鉱物はハロイサイトである。ハロイサイトの形状は一般に中空管状あるいは栗のイガ状であるが、灰土には図一5の電子顕微鏡写真で示したように、中空管状のものが多量に含まれていた。

さて、自然状態において粘土粒子はその環境条件によって、各種の骨組構造をとっている。灰土の場合、粘土粒子間の結合物質（3.3参照）、pF水分特性値（4.3参照）および鋭敏比（5.3参照）などの測定結果を総合判断すれば、図一8に示すような骨組構造をしていると推察される。



図一8 練返しによる灰土の骨組構造の変化の模式図

すなわち、練返し前における灰土の骨組構造はハロイサイト粒子が凝集していわゆる double T と呼ばれる構造をしている。しかし練返し時には、ハロイサイト粒子間の結合物質である三・二酸化物が少ないために、粒子間の連結は容易に切断され、間ゲキ中に充満している水は自由水（分離水）となって多量放出され、ハロイサイト粒子は一見水中に浮遊した状態になる。その結果、土は軟弱化するのである。

ところで、図一8に示すように、なんらかの方法に

よって、この自由水を除去すると粘土粒子は密に配向するため、強度は著しく増大するはずである。

上述の推論は、後日行なわれた植木試験盛土工事において裏付けられた<sup>5)</sup>。すなわち、切土部から盛土部へ運搬した灰土は練返しによって軟弱化し、その強度（コーン指数）は6~12 kg/cm<sup>2</sup> から0.2~3.2 kg/cm<sup>2</sup> へ低下した。しかし、盛土部にフィルター層を設置し、圧密と自由水の除去を行なうことにより、その強度は著しく増大し10~70 kg/cm<sup>2</sup> に達し、測定値の大部分は切土部における強度より大きくなった。その際、灰土の土量変化率C（=盛土部の土量/切土部の土量）は0.78と算出され、関東ロームの標準値0.86よりも小さい。この事象は灰土では圧密による自由水の除去が容易に行なわれることを示唆している。

なお、同試験工事において、灰土の生石灰安定処理も行なわれ、生石灰は灰土の自由水を迅速に除去してトラフィカビリティを改善し、さらにハロイサイト粒子とのポゾラン反応によって強度を増大する効果があることを確認した<sup>3,4)</sup>。しかし、上述のように、フィルターによる圧密・脱水によって強度増大が可能であり、しかも生石灰安定処理よりも施工費が安いことが判明したので、日本道路公団では、無処理の灰土と灰土の上層にあって強度の大きい赤ボクとを混合し、フィルターを設置しながら路体強度を得るように決定した。そして、灰土の圧密・脱水のために約2ヶ月の放置期間を工程に計上した<sup>9)</sup>。

## 7. まとめ

九州縦貫自動車道の建設予定地のうち熊本市郊外の路線付近に多量に分布している火山砕屑岩の風化粘土である灰土は、その含水比が火山灰質粘土の関東ロームに属する立川ロームあるいは愛鷹ロームの約半分以上であるのに、練返しによる軟弱化がきわめて著しいという特異な物理・力学的諸性質を有している。

そこで本報では、このような灰土の特異的な諸性質の発現する原因を土質化学的手法を用いて究明した。その結果、次のことが判明した。

(1) 関東ロームに属する立川ロームおよび愛鷹ロームの主要な含有粘土鉱物は表面積の大きなアロフェンであるのに反して、灰土のそれは表面積の小さいハロイサイトであった。

(2) 灰土の自然含水比および pF 4.1 の非分離水量が関東ロームのそれらの約半分以上であるのは、上記のような含有粘土鉱物の表面積の差異が大いに関与しているものと推察された。

(3) 灰土の鋭敏比はきわめて大きく、練返しによっ

て著しく軟弱化するのは、次の理由によると判断した。練返しを受けない灰土では、ハロイサイトの粘土粒子がいわゆる double T の骨組構造をしている。しかし、粘土粒子間の結合物質が少ないため、練返し時にその構造が容易に破壊され、間ゲキ中に充満している水が自由水となって多量に放出され、粘土粒子は一見水中に浮遊した状態になるのである。このような水の質的变化を pF 水分特性値によっても確認した。

## 謝辞

本研究に対して、日本道路公団福岡支社熊本工事々務所から多くの便宜と助言を賜わった。また当社縦貫道熊本工事々務所から試料の提供を受けた。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 喜田・中田：大林組技研報 No. 2, 149, (1968)
- 2) 喜田・中田：関東ローム（火山灰質粘性土）に関するシンポジウム講演集, 39, (1970)
- 3) 喜田・中田・原田：第4回土質工学研究発表会講演集, 399, (1969)
- 4) 喜田・中田・原田：粘土科学, Vol. 9, No. 1~2, 28, (1966)
- 5) 日本道路公団福岡支社・日本道路公団試験所・(株)大林組：九州縦貫自動車道福岡熊本線 植木試験盛土工事報告書, (1969)
- 6) 斉藤・木村・平間：九州灰土の特性に関する研究 その1 灰土の工学的性質と試験盛土工事, 大林組技研報, No. 4, 52, (1970)
- 7) 斉藤・木村・若松・後藤：九州灰土の特性に関する研究 その3 灰土の振動特性, 大林組技研報, No. 4, 67, (1970)
- 8) 下荒磯・椿・大橋・黒木：コンストラクション, Vol. 6, No. 7, 1, (1968)
- 9) 下荒磯：コンストラクション, Vol. 7, No. 4, 34, (1969)
- 10) 後藤：土木学会第19回年次学術講演概要, (1964)
- 11) たとえば, 関東ローム研究グループ：関東ローム, 築地書館, (1965)
- 12) 持永・黒木：関東ローム（火山灰質粘性土）に関するシンポジウム講演集, 69, (1970)