

日本大学理工学部 正員 浅川 美利

〃 〃 〇星 野 佳 久

まえがき

いわゆる関東ロームは、熱処理をさするまでもなく、気乾しただけでも著しい性質が変わってくることは周知のことである。堆積、生成および組成などの条件で変化の程度は違ってくるが、位置結晶のアロセンが主体となっている立川ロームでは、とくに変化がいろいろあるということも知られている。

本研究では、最近関東ロームの安定処理（枝料土および地盤土に対する）の方法として行なわれている土の熱処理を一応想定して、熱処理した土の本性がどのように変化していくかということをおもな目的とした。そのほかには土性の基本的な問題を考える場合、土粒、水系で取扱うと複雑な因子が入り、解析が困難であるので、土粒子と土の性質の変化の様子を熱処理という手段で行なうということも目的の一つである。研究の方針としては、まず熱処理した土の温度による変化を土質試験によってしうべ、また一方鉱物の分析、回析などによって鉱物組成の変化を追跡し、両者を対照して相互の関係を検討してみた。

I. 実験概要

I-1 試料および試料調製

試料として地質学および粘土鉱物学的に区別され、もっとも土工の対象となっている立川ローム（以下Tロームとする）と武蔵野ローム（以下Mロームとする）の2種（千葉県習志野、日本校庭）を選んだ。

試料は一たん十分気乾し、2000μフルイ、420μフルイでふるい分けカンに貯蔵した。とれを試験目的に応じて再調製するようにした。

I-2 熱処理

調製した試料を一たん100℃の乾燥炉で絶乾しておき、その後電気炉に入れて指定温度（100°, 200°, 300°, 400°, 500°, 600°, 700°および800℃）で5時間熱処理した。処理土は、物理試験には磁性乳ばうで、分析用には、メノウ乳ばうを用いて塊（かたまり）をつぶし、それぞれの目的に応じて試料を再調製した。

I-3 物理試験の項目

① 色別等の判別試験：熱処理土を各温度ごとに分け、区別できる色の観察を行なった。また粒状の大きさと、その割合および指圧による硬さなど

もしうべてみた。

② 土質試験：土粒子の比重、粒度、コンシステンシーおよび締固めと締固めた土の透水試験を熱処理土について行なった。

I-4 鉱物の分析と形態の観察

鉱物組成の変化を、X-線回折装置、示差熱分析装置を用いてしうべ、また土粒子の形態の観察を電子顕微鏡を用いてしうべた。

（備考）なおX-線回折ではアロセンの特性が見分けにくく、示差熱分析を新も行なったが、X-線でもアロセンを石膏、石膏で反応させておいて、二次的に生成したものが特性からアロセンを確認する考えもつた。また顕微鏡は供試体を作るにあたってはベスト法を用いた。

II. 実験結果の考察

II-1. 熱処理した関東ロームの工学的性質の変化

(A) 色別土粒子比重および粒度組成

熱処理土の色を観察すると、図-1(a)に示すようにTローム、Mロームともに主色として3つの色に分けることができる。色の濃淡をさらにTロームでは100°~200° および300°~800°の間でそれぞれ2つの細区分ができる。またMロームでは300°~800°で3つの細区分ができる。これは後述のべる特性温度に有意義な関係がある。

土粒子比重は、300℃

以上ではほぼ一定の

$G_s = 300$ を示すが、そ

れ以下の温度下では低

くめに表われ、特に

100℃~200℃の処理土に

測定上の不安定さが認

められた。高い温度下

で処理したものは粗粒

化し、粒そのものも温度上昇とともにだんだんかたくな

っていてことが観察されるのであるが、粗粒化の傾向を

粒度試験結果を三角座標に表わしてみると、図-2のよう

である。

(B) コンシステンシーの変化

熱処理とともに粗粒化していくことや粘りが失われて

いくことは、上記の試験や手ざわりによってもおよその

状態はわかるが、土の塑性の変化を量的に追跡していく

ためにLL、PL、および収縮による体積変化などの試験を

行なった。その結果は図-3 および図-4に示す。図から

処理温度が高くなるに従って塑性が低減していく状況が

よくわかる。またPLに用いては200℃以上のものは試験

が不可能となる。体積変化からみると粗粒化に伴う収縮

の低下と塑性の低下によるケキ処理温度の限界がMローム

とTロームとは違っている。

(C) 締固めと締固めた土の透水性

処理土をJISA1210の方法で締固め、 W_{opt} 関係を求め

るとともに W_{opt} で締固めた土の透水性をしらべてみた。(図-5参照)

粗粒化に伴って k_{dmax} が増し、 W_{opt} が低くなっていくこと、お

よび透水係数が大になっていくことは土の粗粒化ということだけから

考えても当然である。 k_{dmax} 、 W_{opt} および k_{20} の変化傾向にも上記

コンシステンシー等の変化と同じように処理温度によって特性の変

わるのがめうけられる。厳密な意味での相互関係ということではな

いが処理温度をXとして両者に何等かの関連があることはしられた。

(D) 物理試験結果の統括

以上ごく一般的に試験によって、処理土の変化の傾向を大ざっぱ

に考察したが、総合して次のようなことがいえる。

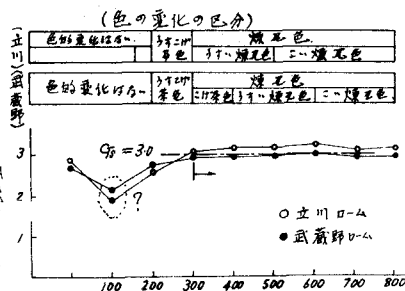


図-1 土粒子の比重の変化

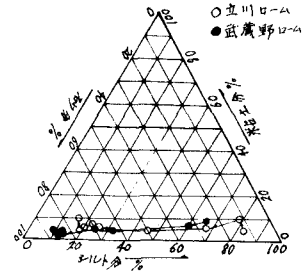


図-2 粗粒化の傾向

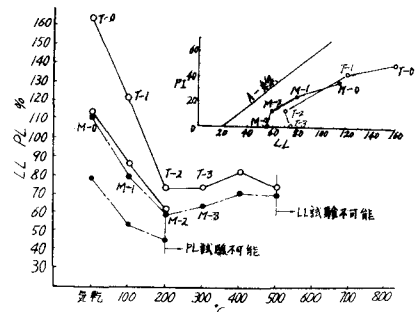


図-3 土の塑性の変化

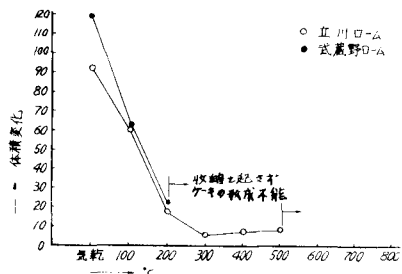


図-4 収縮試験による体積変化

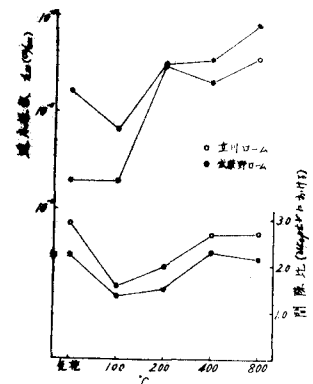


図-5 W_{opt} で締固めた土の透水性変化

(i)土粒子の本性を変えていく特性温度とでも呼べる温度条件がある。たとえば100°~200°の間200°~300°の間および300°~500°の間にどのような温度条件が認められる。

(ii)処理温度の上昇とともに粗粒化が進行し、また低塑性となっているが、400°~500°以上になると、処理土はもとの土とほとんど違った性状を示すようになる。どの状態はボースでかくてもろい種瓦くづさ感にさせるものとなる。

(iii)土粒子比重の変化をみて、それを発展させて考えてみると、土粒子結晶の安定化、高い密度となる傾向がわかる。

以下に粘土鉱物の分析、回折結果を掲げ、上記のことが土粒子の本性の変化と本質の変化との間に何うかの関係があるものかどうかを探る。

Ⅲ 熱処理に伴う土粒子の組成の変化

Ⅲ-1 分析、回折：低位結晶をもつアロエンや加水ハロイサイトは、直接確認することはむずかしい。ここは一般にやられている分析、回折の手段を主として、その存在を確かめることと試みた。電子顕微鏡では、不定形のゲル状物質の状態（見乾土）から、熱処理温度によ

って変わっていくスドボール

の生成さらにどれが壊れて加水ハロイサイトへ変化していく一連の状態を観察した。（表-3参照）

X-線回折では、アロエンのように不完全結晶のもの

は、特性ピークが認められないので、回折図全体の形状から最初アロエン系の状態を知り、その形状の変化を追ってあることと、熱処理によって生成されてくる結晶あるいは結晶が溶解したくま別の鉱物の存在もあわせて確認することとした。また図-8のように石膏石灰を添加し、アロエンあるいは加水ハロイサイトを反応させて二次的に生成される物質の存在によってアロエンの位置を確かめた。ホ素熱分析(DTA)では発熱、吸熱の特性温度がアロエンの場合にも明確に表

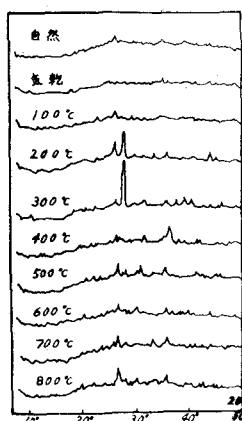


図-6 立川ローム土X線回折図

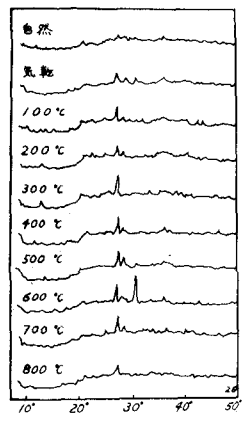


図-7 武蔵野ローム土X線回折図

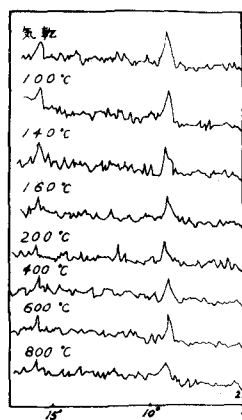


図-8 立川ローム土二次的物質の生成によるX線回折図

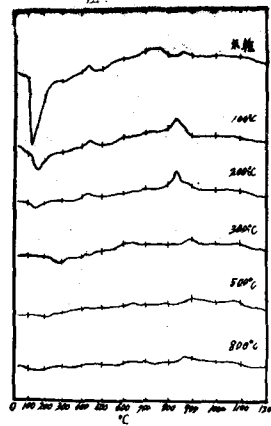


図-9 立川ローム土DTA曲線

表-1 X線回折データー

処理温度 (°C)	200	400	600	800	1000
気乾	○	○	○	○	○
100°C	○	○	○	○	○
200°C	○	○	○	○	○
300°C	○	○	○	○	○
500°C	○	○	○	○	○
800°C	○	○	○	○	○

処理温度 (°C)	10	20	30	40
気乾	○	○	○	○
100°C	○	○	○	○
120°C	○	○	○	○
140°C	○	○	○	○
160°C	○	○	○	○
180°C	○	○	○	○
200°C	○	○	○	○
300°C	○	○	○	○
800°C	○	○	○	○
500°C	○	○	○	○
600°C	○	○	○	○
700°C	○	○	○	○
800°C	○	○	○	○

われるので、

それらの特性

温度における

ピークによって熱

処理後のアロセン

の状態が追跡 写真-1 立川ローム 写真-2 武蔵野ローム

できた。図-9参照) 写真-12は電顕で撮影したもの

例示した。図-6,7はTローム,MロームのX-線回折図を

示した。表-1は、X-線回折を、表-2は示差熱分析をそれぞれ処理温度ごとに整理し、傾向が見やすいように表わしてめた。

Ⅲ-2 結果の要約

表-3はTロームにつき前記の方法によって確認された結果を、熱処理温度をスケールにして表わしてめたものである。右方柱による結果において共通するかあるいは密連の大きいと思われるものを温度をスケールにして考察した。

(1) 120℃以下の処理温度では、組成の本質的変化はないようである。

(2) 140℃~150℃にきわめて微妙な変化が現われる。(結晶の安定化)

(3) 200℃前後に不安定なゲル状物が失われ、別の鉱物の特性が顕著に表われている。

(4) 300℃~400℃: アロセンの特性が失われ、加水ハロサイトや他の鉱物の影響が大きくなる。

(5) 500℃前後: アロセンの特性がほとんど失われてしまう。

(6) 600℃以上: 結晶がきわめて安定となり、他の結晶の生長、生成がほとんどなくなる。

Ⅲ-3 土の物理的性質との関連

熱処理上の物理的性質の変化が処理温度によって特長的に表われることをⅡ,3で指摘しておいた。そこでⅢ,4で考察したことも処理温度をスケールにして整理してあるので、処理温度を基準にして両者を次のように関連づけてみた。

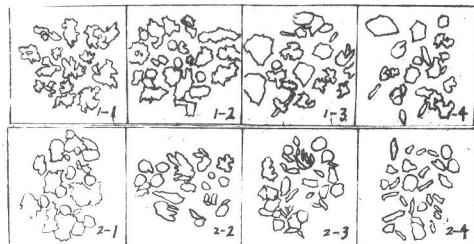


図-10 結晶の発達過程

1-1~1-4 アロセン
2-1~2-4 加水ハロサイト

表-3 分析・回折の考察

処理温度	電子顕微鏡	X-線回折	D.T.A
乾燥 (未処理)	ゲル状物塊 (不完全結晶で隙間が多い) 不規則な粒子が集合。	アロセンの特性をもちピークはみられず。同相固溶体かアロセン型となり、加水ハロサイトがアロセンの特性。	アロセンの特性として120~150℃(昇熱温度)に吸熱ピークがあり、200~300℃に発熱ピークが顕著にみられる。この示差特性は結晶土とは異なる。
100	↓ 同 乾燥土とあまり変わりがないゲル状物塊の中間的な状態の結晶化。ストーホルムの生成。	↓ アロサイト (3.43Å) / アロサイト (3.56Å) が顕著に表われはじめる。	↓ 120~200℃のピーク減少 / 120~150℃のピークは減少。
200	↓ ゲル状物の消失。	↓ ストーホルムが分解し、加水ハロサイトの生成。一部はアロサイトと加水ハロサイトが認められる。	↓ 120~200℃のピークはきわめて小さくなる / 1800~700℃のピークが現われる。
300	↓ ストーホルムが分解し、加水ハロサイトの生成。一部はアロサイトと加水ハロサイトが認められる。	↓ アロサイト (3.43Å) / アロサイト (3.56Å) が顕著に表われはじめる。	↓ 200~300℃のピークはきわめて小さくなる / 1800~700℃のピークが現われる。
400	↓ ストーホルムが分解し、加水ハロサイトの生成。一部はアロサイトと加水ハロサイトが認められる。	↓ アロサイト (3.43Å) / アロサイト (3.56Å) が顕著に表われはじめる。	↓ 200~300℃のピークはきわめて小さくなる / 1800~700℃のピークが現われる。
500	↓ ストーホルムが分解し、加水ハロサイトの生成。一部はアロサイトと加水ハロサイトが認められる。	↓ アロサイト (3.43Å) / アロサイト (3.56Å) が顕著に表われはじめる。	↓ 200~300℃のピークはきわめて小さくなる / 1800~700℃のピークが現われる。
600	↓ ストーホルムが分解し、加水ハロサイトの生成。一部はアロサイトと加水ハロサイトが認められる。	↓ アロサイト (3.43Å) / アロサイト (3.56Å) が顕著に表われはじめる。	↓ 200~300℃のピークはきわめて小さくなる / 1800~700℃のピークが現われる。
700	↓ 400~600℃の場合と異なり、加水ハロサイトの生成が顕著になる。	↓ 生成される結晶の量が増える。	↓ 500℃前後のピークが顕著になる。
800	↓ 400~600℃の場合と異なり、加水ハロサイトの生成が顕著になる。	↓ 生成される結晶の量が増える。	↓ 500℃前後のピークが顕著になる。

処理温度	物理的性質の変化	鉱物の組成の変化
140℃	i) G ₀ の測定において不安定(効果が極度に小さく表われる) ii) 塑性は低下するが、特殊性は認められる。	i) ゲル状物が安定になる。 ii) ストーホルムが生成される。 iii) D.T.Aの吸熱ピークが現われる。
200℃	i) 塑性が失われる。 ii) 細粒部の粗粒化が、いちじるしい。 iii) 色が急変する。	i) 不完全なゲル状物塊が消失する。 ii) 結晶の同化が減少する。
300℃	i) 土壌の密度が高い。 ii) 塑性が全くなくなる。 iii) 色が急変する。	i) ストーホルムが壊れ始める。 ii) 加水ハロサイトが生成する。 iii) アロセンの特性が失われる。 iv) 他の鉱物の特性が顕著にあらわれはじめる。
450~500℃	i) 粗砂のように粗粒化が進む。 ii) 糠足くつのようなかたくなる性質。 iii) 立川ロームでは500℃で肉ひ色が変わる。	i) ストーホルムが大部分壊れ、加水ハロサイトが主体となる。 ii) アロセンの特性がほとんど消失する。 iii) 別の鉱物の影響が明確に表われる。
700℃以上	i) 上記400~500℃と同じような状態。 ii) 粗粒がなくなる。	i) 600℃の組成とあまりかたくなる。 ii) 高率に安定な結晶となる。