

—ノート—

## 石灰が関東ロームに及ぼす影響について

建 部 英 博

The Properties of Kanto-Loam Treated with Lime

Hidehiro TATEBE

関東ロームの地盤改良の方法として石灰を混合した場合、関東ロームがどのような性質変化をするか検討し、さらに散布しただけの場合どの程度改良されるかどうかについての検討を行った。

## §まえがき

関東ロームの様な高含水比粘性土に石灰を混ぜ、地盤改良を行う方法については従来から種々の研究並びに施工が行なわれている。それらの報告によると関東ロームに石灰を混合し、混合物（石灰と関東ローム）の含水比を低下させ力学的強度等の改良に役立たせようとする速効的作用、又、石灰と関東ロームの中に含まれている粘土鉱物との反応に基づき遅効的作用が期待出来るとされている。特に関東ロームの様な有機質土には石灰は有効であり、圧縮強度が増大し、関東ロームの親水性が疎水性に変化し、トラフィカビリティー、路床の改良等に有効に役立つといわれている。この様な安定処理の効果は混合する石灰の量によって大きく左右されるものであるが、実際に現場で混合を行うに際しては関東ロームの土塊を十分に砕く事が出来ず石灰との均一な混合を行う事は非常に難しい。又、実際に混合を行なったとしても規定量の石灰が均一に混合されているかどうかを見分ける事も難しい。しかしながら現場においては品質管理の面からも混合物の石灰量を推定する必要があり、簡単な試験方法が要望されている。関東ロームに石灰を混合すると含水比が低下するとともに液性限界値、塑性限界値等が変化し、又、圧縮強度等も増加するといわれているので今回これらの実験を行い、関東ロームに石灰を加えた場合、どの程度の土質改良が行なわれるかを確認し、又、それぞれの実験結果から逆に混合物中に含まれている石灰の量を推定出来るかどうかについての検討を行った。又、施工時の均一な混合の困難さを解決する実用方法の1つとして関東ロームと石灰とを混ぜずいわゆるサンドイッチの施工を行った場合に関東ロームをどの程度改良する事が出来るかを検討するため、関東ローム上面に石灰を散布し、密封した状態で含水比や貫入抵抗値がどの程度変化するか測定を行った。

## §実験種目及び材料

## ◎実験種目

- 消石灰混合による液性限界試験、塑性限界試験
- 消石灰混合による一軸圧縮試験
- 消石灰散布による含水比の変化
- 消石灰散布による貫入抵抗試験

## ◎材料

関東ローム

試料採取場所 ; 東工大、土木建築棟裏庭  
地下0.5~1.0m

試料採取時含水比 ; 129%  
比重 ; 2.82

試料の保存はビニール袋に入れ採取した場所に埋め戻し  
随時必要量を取り出し実験を行った。

石灰 ; 奥多摩化工製消石灰

## §液性限界、塑性限界試験 (LL, PL 試験)

## ○実験方法

関東ロームは自然含水比で0.42mmふるいを通過したものを使用し規定量の石灰を入れ良く混合したものを試料とした。この試料はアルミ罐に密封して保存し、決められた期日に必要量だけ取り出し実験を行った。石灰混合量は関東ロームの乾燥密度に対して0%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20%, 30%とし石灰混合後、混合当日、および2日、4日、7日、24日後にLL, PLの実験を行った。尚混合時における関東ロームの含水比は127%であり石灰の含水比はほぼ0%であった。石灰混合直後における含水比測定結果はほぼ固体重量と水分量からの計算通りの値であった。液性限界試験はJIS・A1205の試験器を用いて行ったが試料については関東ロームが特殊な土である為、加水のみとし試料を追加して含水比を低下させる様な事は行なわなかった。又、加水には噴霧器を用い、加水後10分間静置しその後30分間の手練りを行い試料と水を十分に混合した。塑性限界試験はJIS・A1209

の要領で行ったが試験開始時の含水比は液性限界付近を規準して行った。試料保存中の含水比の低下はほとんどみられず24日経過した後の試料の含水比変化は混合直後と比較して最大5%程度であり試料の密封はほぼ満足できるものと思われる。(図一1)

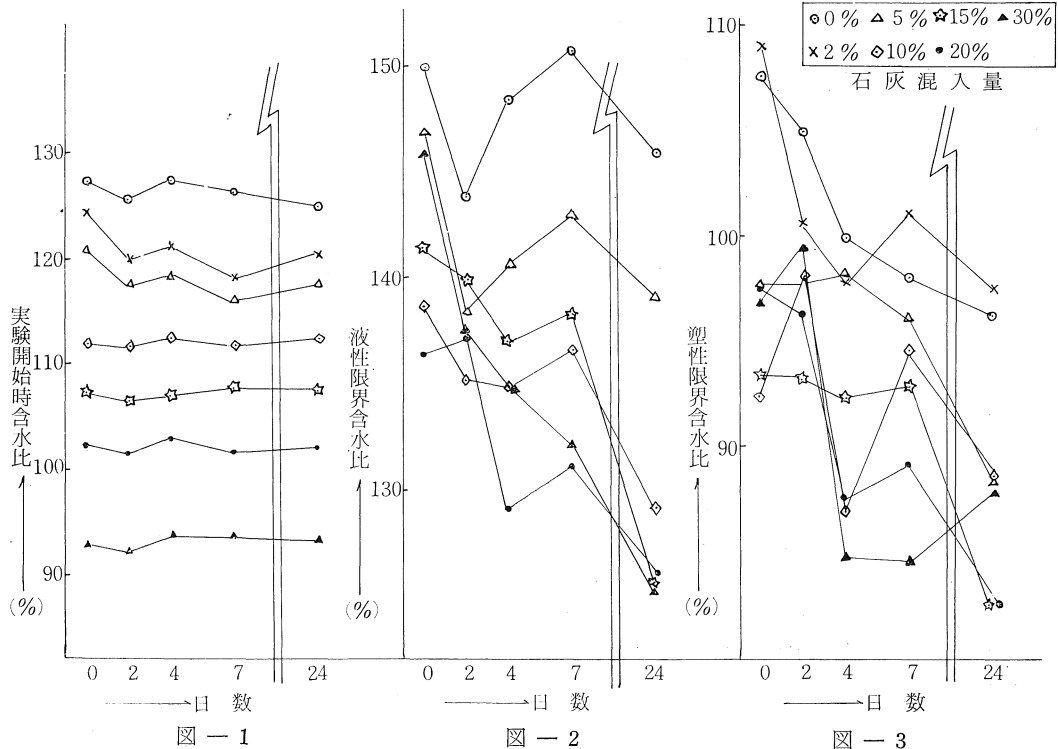
○実験結果及び考察

実験結果は、図一2、図一3に示す通りであり、かなりのばらつきがみられるが次の事がいえる。液性限界値は石灰の混合量の多いもの程その値は低い。これは勿論関東ロームに石灰を混合した為に実験開始時の含水比は石灰混合量の多いもの程低くなっているが、石灰混合後の含水比  $W_0$  と液性限界値  $W_L$  との差、 $W_L - W_0$  は特に15%以上の石灰を混合した場合に大きな値となっている。すなわち実験開始時の含水量の状態から液性限界に達するまでに必要な水の量  $W_L - W_0$  は試料混合後2日目までは30%の石灰を混合した場合には45%であり、石灰を混合しない場合には18%の水を加えるだけで液性限界に達してしまう。すなわち  $W_L - W_0$  が大きいという事は石灰を混合した後に多少の水が加えられても液化しにくいという点では土の安定上好ましい傾向にあるといえる。(図一4)。養生日数による液性限界値の影響は石灰混合量の多いもの、すなわち15%以上のものについては養生日数が増えるにつれて徐々に低下してくる傾向にある。しかし、その低下量も養生日数が増加するにつれ

て少なくなっている。塑性限界値についても石灰の混合量が多いもの程低く、又、養生日数の増加と共に徐々に低下してくる傾向にある。塑性指数  $P.I$  は  $W_L - W_P$  で表わされるが液性限界、塑性限界いずれも石灰の混合量が多いもの程低く、又、養生日数による低下も同じような傾向を示しているため塑性指数は石灰混合量、養生日数に余り関係なく40~50の範囲に納まっている。(図一5)

コンシステンシー指数  $I_c$  について

コンシステンシー指数  $I_c$  は  $W_L - W_P / P.I$  で表わされ粘性土の相対的かたさを意味するもので  $I_c \geq 1$  である場合には自然含水比が塑性限界かあるいはそれ以下であるという事であり比較的安定な状態にあるとされている。又、 $I_c = 0$  にある場合には自然含水比が液性限界に近くこの様な土を乱せば液状をていし強度が著しく低下する可能性があるとしてされている。関東ロームの様な土に対しては、一概にこのコンシステンシー指数のみによって土の良否を判断する事は出来ないが実験結果からこの  $I_c$  を求めてみると、図一6に示す通り石灰混入量が多ければ多い程大きな値を示している。すなわち2日目を例にとると、30%混合では  $I_c = 1.1$ 、20%混合で0.85、10%混合では0.65、5%混合で0.52、0%では0.45という値になっている。24日養生後のコンシステンシー指数  $I_c$  は、石灰30%混合で0.85、0%では0.43となり石灰量が増すにつれ



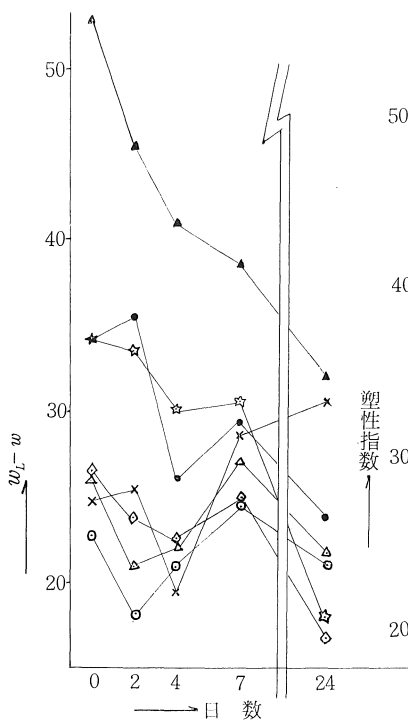


図 - 4

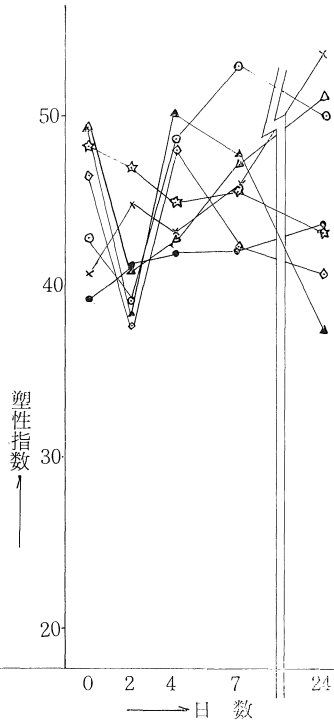


図 - 5

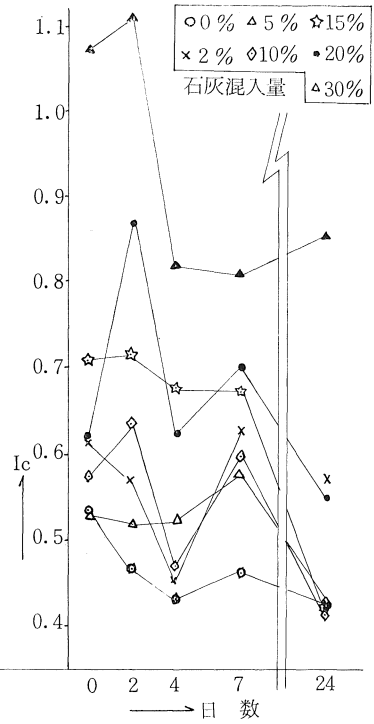
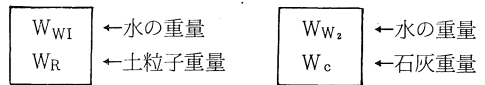


図 - 6

て安定な状態となり得る事を示している。又、養生日数によるコンステンシー指数の変化は時間と共に多少小さな値となる様であるが余り顕著な差はないようである。

○石灰と関東ロームの化学反応が及ぼす影響

含水比の高い関東ロームに殆んど水分を持たない石灰を混合すれば含水比が低下するのは当然の事であるが、時間の経過と共に石灰と関東ロームの化学反応がおこるとすれば、それが何等かの形で土の性質に影響を及ぼすと思われる。その影響が液性限界値の変化となって表われるか否かについての検討を行った。すなわち関東ロームが初期状態から液性限界に達する迄に必要な水の量は同一条件の下では一定のはずであり、又、石灰のみの初期状態から液性限界に達するのに必要な水の量も一定のはずである。すなわち関東ロームと石灰を混合した場合の液性限界に達するのに必要とする水の量は、化学変化による影響がなければ関東ローム、石灰の各々に必要な水の量を加えたものであり、常に一定の値を示すはずである。石灰の液性限界は試験の困難さから確定する事は出来ないが一応47%程度であろうと推定し、関東ロームと石灰の混合物の液性限界値を計算してみた。すなわち関東ロームの液性限界を  $W_{RI}$ 、土粒子重量を  $W_R$ 、水の重量を  $W_{WI}$  とし石灰の液性限界を  $W_{CI}$ 、その時の石灰重量を  $W_C$ 、水の重量を  $W_{W2}$  とすると混合物の液性限界値は次の様に表わす事が出来る。



$$\begin{aligned}
 W_{WI} / W_R &= W_{RI} \\
 W_{W2} / W_C &= W_{CI} \\
 W_C / W_R &= K \quad \text{とおくと} \\
 W_L (\%) &= \frac{W_{WI} + W_{W2}}{W_R + W_C} \times 100 \\
 &= \frac{W_R \cdot W_{RI} + K \cdot W_R \cdot W_{CI}}{W_R + K \cdot W_R} \times 100 \\
 &= \frac{W_{RI} + K \cdot W_{CI}}{1 + K} \times 100
 \end{aligned}$$

以上の計算式より求めた各混合物の液性限界値は次のとおりである。

石灰混合率 %	2	5	10	15	20	30
液性限界値 $W_L$	148.0	145.1	140.6	136.6	132.8	126.2

すなわち石灰混合量10%以上のものについては、養生日数の増加と共に計算で求めた値より実験で求めた液性限界値の方が少い値となる傾向がみられ、時間と共に何等かの化学変化が液性限界値を低くする影響を与えている

ものと思われる。尚、関東ロームと石灰を混合した場合の液性限界のうち、石灰部分が受け持つ水の量は液性限界試験結果を利用すると次の様に求められる。

$$W_{W_2} = \frac{W_L}{100} (W_R + K \cdot W_R) - W_{W_1}$$

$W_L$ は実験結果、 $W_R$ を100、 $W_{W_1}=150$ とした時の $W_{W_2}$ は図-7に示す結果となる。

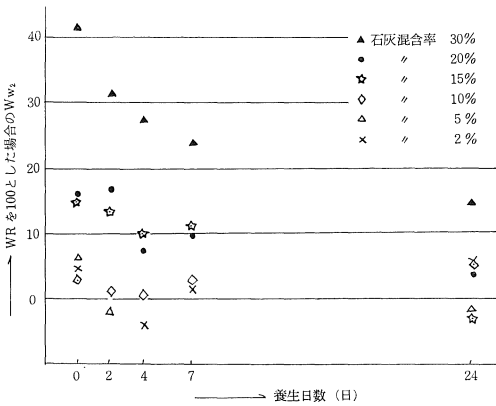


図 - 7

以上の結果から関東ロームに石灰を混合すると含水比を低下させると共に、液性限界値を低くし、コンシステンシー指数を増加させる事が判明した。しかしながら液性限界試験、塑性限界試験を行ないその結果から逆に混合物中に含まれている石灰の量を推定する事は実験データのばらつき等を考慮に入れると信頼性はとばしい様に思われる。むしろ関東ロームに石灰を混合した場合の含水比の低下量はほぼ一定であり、養生日数によっても比較的安定した含水比を保っているため、密封されている様な状態の下ではあらかじめ関東ロームや石灰の含水比を測定しておけば、現場から混合物を採取し、多めの試料で含水比を測定する事により、混合物中に含まれている石灰の量を推定する方が良い様に思われる。

§ 石灰が圧縮強度に及ぼす影響

関東ロームに石灰を混合すると力学的強度が増加するといわれており圧縮強度による実験結果も発表されている。それ等によると石灰混合後養生日数が多くなるにつれて圧縮強度も増加し、又、石灰混合量が多ければ多い程圧縮強度も増加するといわれている。今回一軸圧縮試験を行い、石灰の圧縮強度に及ぼす影響の程度を調べその結果から逆に混合物中に含まれている石灰量が推定出来るか否かについての検討を行った。

○ 実験要領

5 # ふるいを通過させた関東ロームに規定量の石灰を

入れ十分に混合した混合物(関東ロームと石灰)を作り、土の安定処理用モールドに規定量に入れ一定の高さになる様ジャッキで圧縮した。供試体は直径 5cm、高さ約10cmの円柱形で、圧縮した時の荷重は約 500Kgであった。石灰の混入量は関東ロームの乾燥重量に対して5%、10%、15%のものを作り、あわせて石灰を混合しない関東ロームだけのものの4種類について実験を行った。

又、出来上った供試体は素早く和紙とパラフィンでシールを行い20℃の恒温室において養生を行った。一軸圧縮試験は供試体作成直後及び、3日、7日、14日、21日、28日養生の後に行った。

○ 実験結果及び考察

一軸圧縮試験後に測定した含水比はいずれの混合物でも初日目の含水比と大差なく、最大で5%程度のばらつきであった。これはほぼ完全なシールが出来ていた事と同時に28日間の養生では石灰の化学反応による含水比の低下は殆んど期待できないものと思われる。しかしながら関東ロームと石灰を混合してから初日目の一軸圧縮試験終了時迄の約2時間の間に含水比は約5%程低下している。尚、関東ロームだけの場合でも約2%程の含水比の低下が見られるが、石灰と関東ロームと混合した場合には混合後短時間のうちに含水比の低下が起こるものと思われる。一軸圧縮試験結果は 図-8 に示す通りである。圧縮強度は石灰混入量の多いものほど大きく示されている。すなわち関東ロームだけの場合では1.82Kg/cm<sup>2</sup>、5%、10%、15%の石灰混合時には 1.93Kg/cm<sup>2</sup>、2.05Kg/cm<sup>2</sup>、2.73Kg/cm<sup>2</sup> となっており、混合した石灰量の増加割合よりもはるかに大きな強度増加率を示す。(平均値)ロームのみを1.00とした場合の強度増加

石灰量	0日目	3日目	7日目	14日目	21日目	28日目
0%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5%	1.01	1.04	1.05	1.10	1.03	1.15
10%	1.19	1.23	1.08	1.10	1.08	1.15
15%	1.37	1.70	1.59	1.30	1.62	1.60

一方土のかたさを表す1つの要因とされている変形係数は養生日数によらず比較的安定した値となっており、石灰混合量が増えるにつれて大きな値となっている(図-9)。これは圧縮強度が増加してもひずみ量が増えず、逆に減る傾向にある為であり、その量は関東ロームだけの場合を規準に7日目をみると、石灰混合量5%、10%、15%の時それぞれ20%、50%、110%増となっており、土のひずみを好まない様な条件の場所においては石灰の混合は有効であるといえよう。今回の実験においては(28日間養生)一般にいわれている様な養生日数の増加と共に圧縮強度が増加するという傾向はみられなかった。

以上の結果から関東ロームに石灰を混入する事は圧縮強度の増加、変形係数の増加等を目的とする場合には有効な方法であり、その効果も短時間のうちにあらわれるものと思われる。しかしながら圧縮強度を規準に混合物中

に含まれている石灰量を推定する事は実用上手間もかかり、転圧具合、データーのばらつき等の点で無理があると思われる。

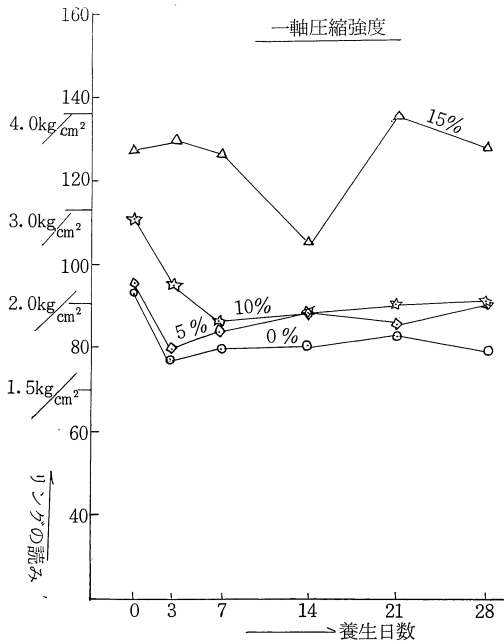


図 - 8

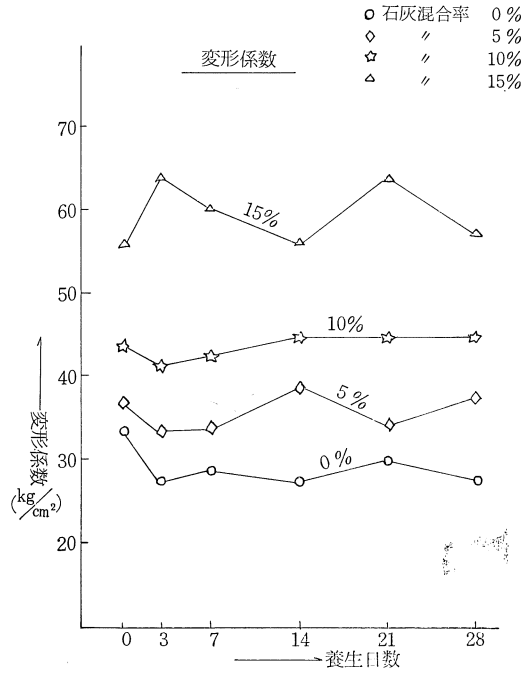


図 - 9

§ 石灰散布による効果

関東ロームに石灰を混合するという、いわゆる石灰による土質安定処理工法を行う場合、常にその混合方法が問題点となっている。すなわち従来現場で関東ロームと石灰を混合する方法として石灰を関東ローム上に散布しロード・スタビライザー等の機械を用いて混合を行っているが高含水比粘性土である関東ロームは大きな土塊となる事等の原因で均一な混合を行うには非常に多くの

手間と時間を要している。そこでこの混合の困難さを解決する実用的方法として、混合を行わず石灰を散布しその上から関東ロームを敷くといういわゆるサンドイッチ的施工が行い得るか否かについての検討を行った。すなわち関東ロームに石灰を散布した場合にはどの程度の深さまで石灰の影響が及ぶかについての検討を行った。その手段として石灰を散布した場合の石灰に面して、ある距離にある関東ロームの含水比変化の測定、又、貫入試

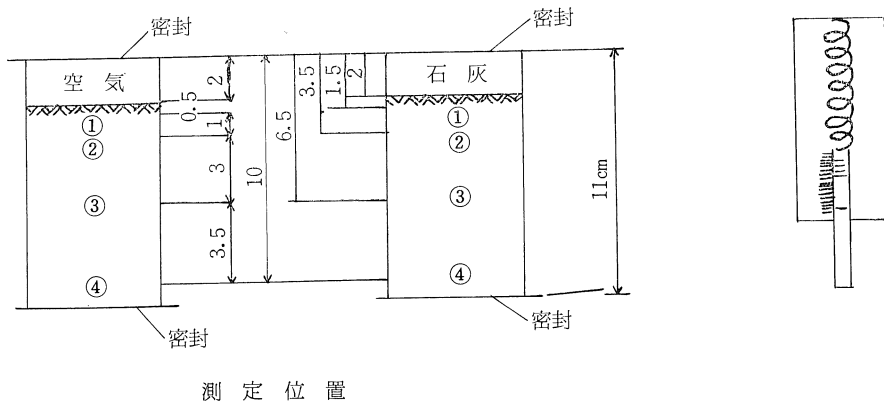


図 - 10

験機による貫入抵抗値の測定を行った。

○実験要領

内径50mm、長さ11cmの塩化ビニールパイプに底をつけて供試体容器とし、この中に5mmのふるいを通過した関東ロームを入れ約20Kgの荷重で供試体を縮固めた。その上に約2cm厚の石灰を散布し、上蓋をして密封し時間の経過と共に含水比の測定を行った。測定は供試体作成後1日、4日、7日、14日、21日、28日、42日後に行った。土の力学的性質を示す1つの手段として貫入試験機による貫入抵抗値の測定を行った。貫入試験は含水比測定と同じ要領で供試体を作成し図-10に示す貫入試験機を用い決められた貫入時における抵抗値を測定した。

○実験結果及び考察

実験結果は図-11に示す通り初期含水比130%の関東ロームは2cm厚の石灰散布により散布後24時間目には、石灰に面している付近で約30%の含水比低下が生じており、石灰散布面から8cmの位置でも約10%の含水比低下が認められている。しかしその後養生日数が経過しても表面付近の含水比は低下せず、むしろ多少増加する傾向にある。すなわち石灰散布による含水比の低下は石灰散布後短時間の間に起こるものであり、長期間密封されて養生を行った場合には全体が同じ含水量になるうとするため石灰に接している付近の含水量は徐々に増加し、又、含水量の多い下部の方では徐々に含水比が

少くなっている傾向が見られる。石灰散布後短時間のうちに起こる含水比の低下は図-12に示す通り、124%の初期含水比を持つ関東ロームは位置①に於て4時間後に12.5%、24時間後には20%の含水比低下がみられ石灰散布面から約8cm下方の位置④においても4時間後に2%、24時間後に13%もの含水比比低下が認められた。又、関東ロームだけの場合については上部2cmの空隙があるにもかかわらず24時間経過した後の表面付近、位置①の含水比低下は3.5%、表面から8cm離れた位置④では1%程度にとどまっている。貫入試験については石灰を散布したもの、関東ロームだけのものについて行い、貫入深さ5mm互に貫入抵抗値の測定を行った。貫入棒の長さが短いため約3cmの貫入深さまでしか実験を行えず、表面付近のみの石灰散布による影響について検討を行った。尚、石灰散布の場合は貫入試験を行う前に散布した石灰を取り除いて実験を行った。実験結果は図-13に示す通り関東ロームだけの場合は供試体作製後6時間、48時間後においてもほとんど一定の貫入抵抗を示して居り養生時間による貫入抵抗値の増加は認められない。しかし、石灰を散布した場合は散布後短時間のうちに貫入抵抗値の増加が認められている。石灰散布後6時間目、16時間目の貫入抵抗値及び関東ロームだけの場合と石灰を散布した場合の比を次頁の表に示す。

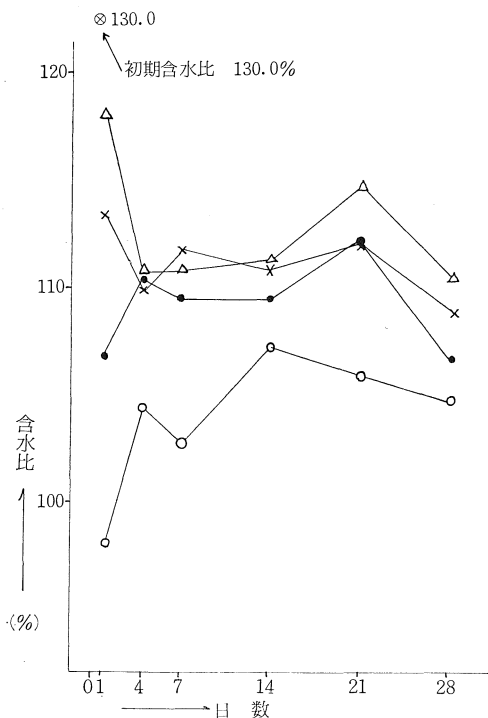


図 - 11

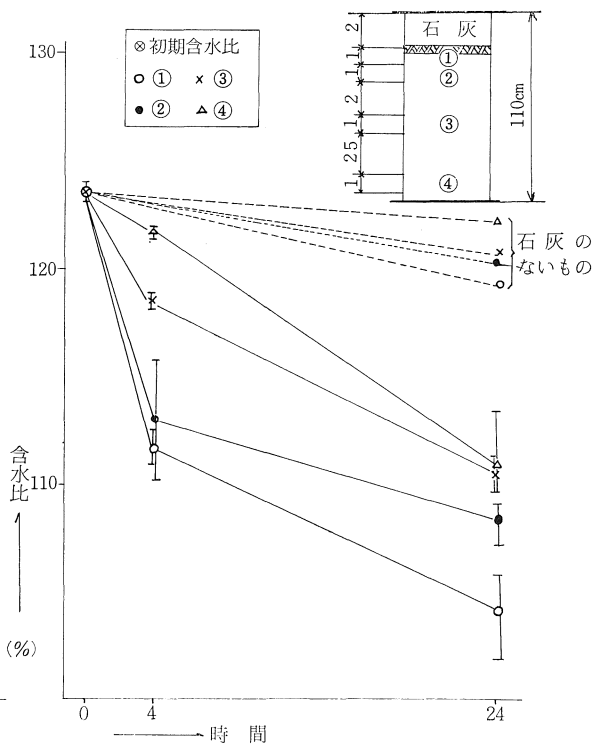


図 - 12

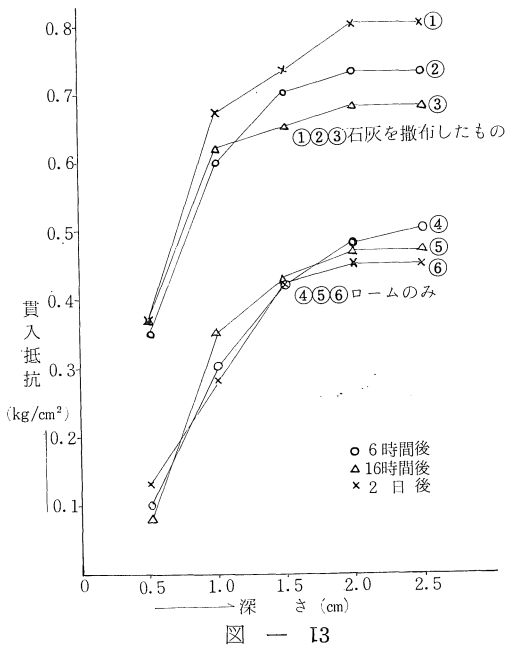


図 — I3

6時間後

貫入深さ (mm)	5	10	15	20	25
石灰散布時貫入抵抗A	0.35	0.60	0.70	0.73	0.73
ロームのみ貫入抵抗B	0.13	0.30	0.42	0.48	0.50
A/B	2.7	2.0	1.7	1.5	1.5

16時間後

貫入深さ (mm)	5	10	15	20	25
石灰散布時貫入抵抗A	0.37	0.67	0.73	0.80	0.80
ロームのみ貫入抵抗B	0.10	0.28	0.42	0.45	0.45
A/B	3.7	2.4	1.7	1.8	1.8

これによると石灰に近い表面付近の貫入抵抗は石灰を散布しない場合と比較してかなり大きな値となっている。すなわち10mm貫入時においては石灰散布後6時間目では石灰を散布しない場合の2倍、16時間目には2.4倍となり石灰の散布が貫入抵抗値の増加に大きな影響を及ぼしているといえよう。一方貫入深さが増加するとこの比は除々に小さくなってきており25mm貫入時における貫入抵抗の比は散布後6時間目で1.5倍、16時間後は1.8倍となっている。しかしいずれも石灰を散布した方が大きな貫入抵抗を示しており、このような条件（石灰を関東ローム上に散布し、密封）の下において、石灰が関東ロームに及ぼす土質改良の効果はかなり期待できるものであり、又、石灰散布後短時間のうちにその効果があらわれるものといえよう。以上の結果から石灰散布の効果は含水比と共に貫入抵抗値も増大させており、関東ロームの力学的性質も改良されているといえよう。これらの事は石灰を関東ロームと混合せずに地盤改良を行う、いわゆるサンドイッチ的施工法の可能性を示すものであろう。