

安定処理土における凍結融解に対する抵抗性と微視的構造について

鳥居 和之*, 川村 満紀**, 榎場 重正*, 五十嵐心一***

Resistibility against Freezing-Thawing Cycles and Microstructure in Stabilized Soils.

Kazuyuki TORII, Mitsunori KAWAMURA, Shigemasa HASABA and
Shinichi IGARASHI

In the regions of the cold weather, the deterioration of the subbase in roads by freezing-thawing action is often observed. Although the durability of stabilized soils is considered to be important, the evaluation of the resistibility of stabilized soils against freezing-thawing cycles has been little established in general.

The purpose of this study is to evaluate the resistibility of the various stabilized soils against freezing-thawing cycles in terms of the compressive strength of the stabilized soils undergoing freezing-thawing cycles. The relationship between the resistibility against the freezing-thawing cycles and the microstructure in the stabilized soils is discussed on the basis of the pore size distributions obtained by the mercury porosimeter and the SEM observation of their microstructural features.

1. ま え が き

土質安定処理の効果は、一般に一軸圧縮強度および CBR 値で示されるような安定処理土の力学的特性によって評価されることが多いが、実際の道路舗装においては、凍結融解作用による路床および路盤の劣化現象が多く観察されている¹⁾。安定処理土の凍結融解作用に対する耐久性は安定処理土の重要な性質の一つと認識されているが、我が国では安定処理土の耐久性に関する適切な試験法が確立されていないことから、この方面についての系統的な研究はあまり実施されていないのが現状のようである。

安定処理土の凍結融解作用による劣化現象は、処理土の毛細管空隙中の水分が凍結することによる氷晶核の形成とそれとともなう水分の移動によって発生する内部組織の破壊に起因するようである。したがって、安定処理土中の水分の分布状態は力学的性質よりも凍結融解に対する抵抗性により重要な影響をおよぼすも

のと考えられる²⁾。

安定処理土の凍結融解に対する抵抗性に影響を与える試験条件としては、凍結速度、凍結温度、凍結時間、融解温度および水分の供給状態などが考えられるが、B. J. Dempsy によりこれらの諸条件の中で凍結速度が最も重要であると指摘されている³⁾。また、安定処理土の内部構造については、マトリックス部分の空隙特性、透水性および給合力（引張強度）が凍結融解に対する抵抗性において重要であり、これらの性質に関連して試料土の物理および化学的性質、安定材の種類および添加量、および養生期間が重要な要因となるようである⁴⁾。

これらの理由により、安定処理土の凍結融解に対する抵抗性を評価する場合には、凍結融解の試験条件および処理土の含水状態とともに安定処理土の空隙特性（空隙量および空隙の大きさの分布）および反応生成物によって形成される土粒子間の給合状況などの微視

* 土木工学科

** 複合材料応用研究センター

*** 大学院生

的内部構造の特徴を把握することが必要である。

このような観点より、本研究においては、各種安定処理土の凍結融解に対する抵抗性を反応生成物の特徴、細孔径分布および土粒子間の給合状況などの微視的内部構造との関係より把握することによって、安定処理土の凍結融解に対する抵抗性におよぼす試料土の物理および化学的性質、安定材の種類および添加量の影響について、2、3の考察を加えた。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および混合割合

本実験に使用した砂質土および粘性土の物理的性質および化学成分は表1および表2に示すとおりである。使用セメントおよび消石灰は普通ポルトランドセメントおよび試薬一級水酸化カルシウムであり、石膏は排煙脱硫石膏（2水塩）である。

セメント（または消石灰）処理土の添加量は試料土の乾燥重量に対して5%および10%である。また、セメント（または消石灰）-石膏処理土の添加量は10%であり、石膏のセメント（または消石灰）に対する比率

表一1 試料土の物理的性質

分類	粘性土		砂質土	
	粘土	砂質ローム	粘土	砂質ローム
砂分 (%)	25.0	76.5		
シルト分 (%)	23.0	17.5		
粘土分 (%)	52.0	6.0		
液性限界 (%)	65.8	—		
塑性限界 (%)	31.5	—		
塑性指数	34.3	—		
最適含水比 (%)	31.8	23.4		
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.404	1.570		
比重	2.703	2.677		

表一2 試料土の化学成分 (%)

	粘性土	砂質土
lg. Loss	10.3	8.0
Si O ₂	47.9	58.4
Al ₂ O ₃	24.4	12.0
Fe ₂ O ₃	12.0	13.7
CaO	—	0.1
MgO	0.3	3.7
K ₂ O	1.3	1.2
Na ₂ O	0.1	1.8

(G/C (またはL))を1/3および1とした。

2. 2 実験方法

(1) 凍結融解に対する抵抗性の評価

締固め試験によって求めた最適含水比および最大乾燥密度（表3参照）となるように作成した供試体（φ5×10cm）は、セメントとセメント-石膏処理では6日間、消石灰と消石灰-石膏処理では9日間それぞれ恒温恒湿室内（温度：20℃、湿度：90%）にて密封養生をした後に、各供試体の含水状態を一定にするために恒温水槽に1日間浸漬した。

凍結融解試験に使用した供試体は図1に示すような密閉した容器中において、図2に示す凍結融解の過程を12サイクル繰返した。予備実験において、凍結温度が処理土の諸性質に及ぼす影響は-10℃以下ではほぼ一定であり、本実験に使用した供試体に関しては、24時間の凍結および融解時間により供試体内部は完全に凍結および融解の状態に達していることが確かめられている。

本研究における凍結融解の温度条件は、北陸地方において観測される道路舗装の実際の温度履歴を考慮して、路盤の凍結および融解温度に近いと考えられる凍結（供試体を温度-10℃±3℃の冷凍室中に24時間放

表一3 各種処理土の締固め試験結果

	粘性土		砂質土	
	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm ³)
セメント10%	30.8	1.380	20.5	1.584
セメント:石膏(1:1)	31.2	1.368	21.5	1.548
消石灰10%	33.9	1.304	22.0	1.524
消石灰:石膏(1:1)	32.4	1.336	20.5	1.532

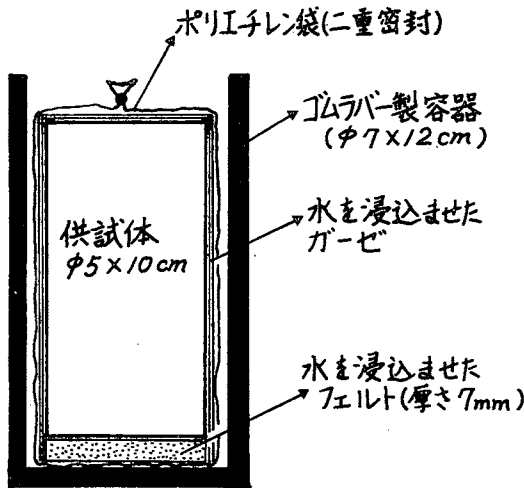


図1 凍結融解用供試体の概略

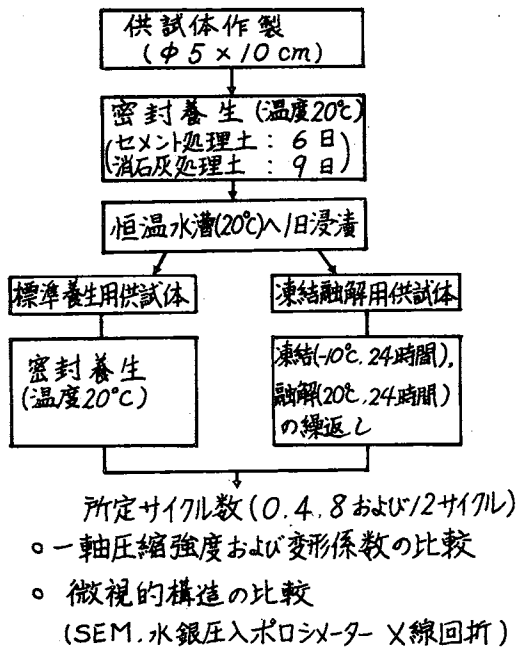


図2 凍結融解試験過程の概略

置) および融解 (供試体を温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ の恒温室中に24時間放置) の各条件を決定した。標準供試体は凍結融解供試体が凍結融解の繰返し中、温度 20°C の恒温室中において密封養生を継続した。凍結融解および標準の各供試体は、4、8および12サイクルの終了時においてオートグラフを使用して一軸圧縮強度試験 (ひずみ速度: $1\%/\text{min}$) を実施し、一軸圧縮強度および

変形係数 (E50) の比較を行った。

(2) X線回折およびSEM観察

供試体中心部より採取した試料片を乳ばちで粉碎することによって得られた粉末試料について、X線回折装置 (Cu- $\text{K}\alpha$, Ni フィルター) を使用してX線回折図を得た。また、凍結融解の繰返しを受けた供試体より採取した試料片を室温で真空乾燥した後に、炭素および金で蒸着し、SEMによる供試体破断面の観察を行った。

(3) 細孔径分布の測定

凍結融解試験の開始時および終了時における供試体より採取した試料片を凍結乾燥 (温度: -55°C , 凍結時間: 8時間) した後に、水銀圧入式ポロシメーターにより細孔径分布の測定を行った。

3. セメントおよび消石灰処理土の凍結融解に対する抵抗性と微視的構造

3. 1 凍結融解に対する抵抗性

凍結融解作用による土構造の破壊および粘土~水系の状態の変化は強度および水分保持能力の低下をもたらす。この土粒子と間隙水の相互作用は比表面積の大きなものほど一般に著しいことから、凍結融解の繰返しによる影響は砂質土よりも粘性土において顕著に認められるようである^{5),6)}。

図3および図4はセメントおよび消石灰処理土の凍結融解の繰返しにともなう圧縮強度および変形係数の変化を示したものである。図3に示すように、粘性土を使用したセメントおよび消石灰処理土 (添加量: 5%) では水浸後における圧縮強度の回復がほとんど認められないのが特徴であり、両処理土とも3~4サ

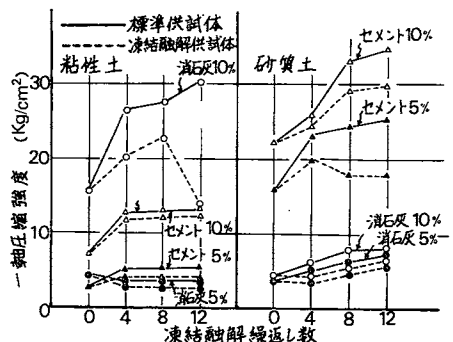


図3 セメントおよび消石灰処理土の凍結融解の繰返しにともなう圧縮強度の変化

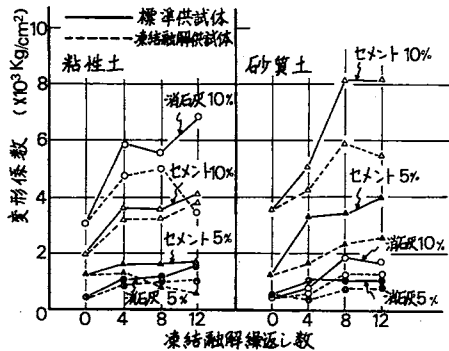


図4 セメントおよび消石灰処理土の凍結融解の繰返しにもなう変形係数の変化

イクルの凍結融解の繰返しによりクラックが発生した。一方、粘性土を使用したセメントおよび消石灰処理土（添加量：10%）では添加量5%の場合と比較して供試体の劣化はあまりみられず、両処理土とも8サイクル程度までは比較的大きな凍結融解に対する抵抗性を示すが、消石灰処理土（添加量：10%）はセメント処理土と異なり、12サイクルでは凍結融解の開始時よりも圧縮強度が低下した。

砂質土を使用した消石灰処理土では、添加量5%および10%のいずれの場合も土粒子間の固結力が小さいために、1～2サイクルより供試体表面にクラックおよびスケリングの発生が認められた（写真1参照）。一方、砂質土を使用したセメント処理土では、凍結融解の繰返し中における劣化現象はまったく観察されず、添加量10%のものは添加量5%のものと比較して凍結融解の繰返し中も圧縮強度の顕著な増加がみられた。

また、図4より明らかなように、凍結融解の繰返しによる供試体の劣化の傾向は、圧縮強度よりも変形係数においてより顕著に認められる。このことは凍結融解の繰返しによって処理土の内部に発生する微細クラックが圧縮強度よりも変形係数により大きな影響をおよぼすためと考えられる。

以上の結果より、セメントおよび消石灰処理土では未処理土のように凍結融解の繰返しによって供試体の一部が崩壊するといったような大きな劣化現象はみられず、いずれの場合も比較的大きな凍結融解に対する抵抗性を示すが、全体としてセメント処理土は消石灰処理土よりも大きな凍結融解に対する抵抗性を示す。消石灰処理土における強度発現の主要因であるポゾラ

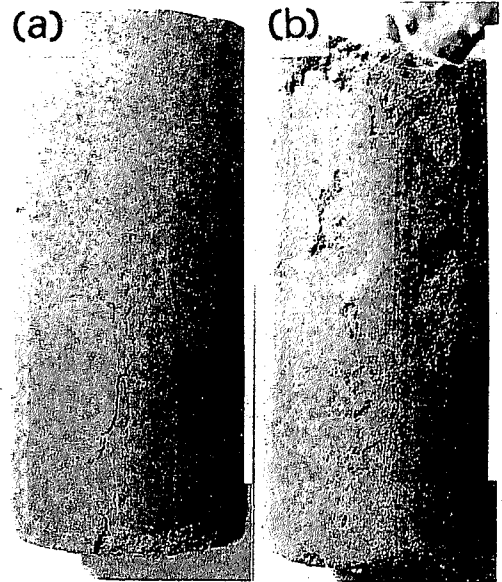


写真1 砂質土を用いた消石灰処理土の凍結融解繰返し後の外観

(a) 消石灰5%, 凍結融解4サイクル
(b) 消石灰10%, 凍結融解8サイクル

ン反応は、材令および養生温度による影響が著しく、低温では反応がかなり抑制されることが明らかにされている⁷⁾。したがって、セメント処理土と消石灰処理土間の低温における反応性と土粒子間の結合機構の相違を考慮すると、消石灰処理土はセメント処理土よりも凍結融解の繰返しを受ける以前に十分な養生期間を確保することが必要である。

3. 2 微視的構造

(1) 細孔径分布の特徴

セメントおよび消石灰処理土の微視的構造の特徴を把握するために、凍結融解の開始時および終了時における細孔径分布の変化を検討した。

図5はセメントおよび消石灰処理土の凍結融解試験の開始時における細孔径分布を示したものである。図5に示すように、粘性土を使用したセメント処理土においては、添加量による細孔径分布の相違がほとんど認められないが、砂質土を使用したセメント処理土においては、添加量10%のものは添加量5%のものと比較して全範囲の細孔量はかなり減少しており、セメントモルタルに近い緻密な構造が形成されている。一方、粘性土を使用した消石灰処理土においては、添加量10%のものは添加量5%のものと比較して $0.04\mu\text{m}$ 以

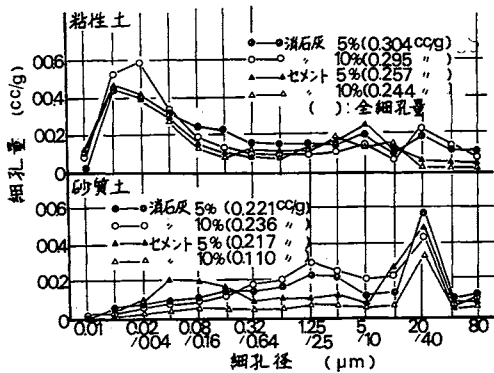


図5 セメントおよび消石灰処理土の凍結融解の開始時における細孔径分布

下の微細な空隙の増加および $0.08\mu\text{m}$ 以上の空隙の減少が認められ、このことは消石灰と粘性土間のポゾラン反応が活発であることを示している。一方、砂質土を使用した消石灰処理土においては、比較的に粗い空隙の存在が顕著であり、消石灰の添加による処理効果はほとんど認められない。

一般に、セメントモルタルなどの多孔質材料においては、強度および耐久性と細孔量との関係が認められているが、安定処理土においてこのような関係を検討した例は少ないようである⁸⁾。

図6はセメントおよび消石灰処理土における圧縮強度と細孔量の関係を示したものである。図6に示すように、砂質土を使用したセメント処理土においては圧縮強度と細孔量との相関性は認められるが、粘性土を使用した処理土においては相関性はあまり認められない。しかし、L. A. G. Aylmore⁹⁾によって指摘されているように、圧縮強度に及ぼす影響が大きいと考えら

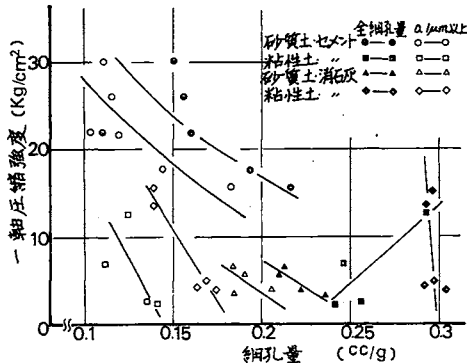


図6 セメントおよび消石灰処理土の圧縮強度と細孔量

れる比較的大きな空隙 ($0.1\mu\text{m}$ 以上) についての相関性を調べてみると、砂質土および粘性土の両処理土とも圧縮強度と細孔量 ($0.1\mu\text{m}$ 以上) との間に明確な関係が認められた。一方、表4に示すように凍結融解の繰返しが処理土の細孔径分布に及ぼす影響についてはあまり明確ではないが、凍結融解に対する抵抗性の小さな処理土では凍結融解の繰返しにより数 μm 以上の大きな空隙量が增大する傾向が認められる。これらの結果より判断して、安定処理土の凍結融解に対する抵抗性においては処理土中の大きな空隙の量とそれらの空隙の連続性が重要であると考えられる。

表一4 凍結融解の開始および終了時における細孔量 (cc/g)

		凍結融解開始時		12サイクル完了時	
		全空隙量	$0.1\mu\text{m}$ 以上	全空隙量	$0.1\mu\text{m}$ 以上
粘性土	消石灰 5%	0.304	0.183	0.292	0.163
	" 10%	0.295	0.137	0.294	0.139
	セメント 5%	0.257	0.135	0.262	0.140
	" 10%	0.244	0.111	0.304	0.131
砂質土	消石灰 5%	0.221	0.205	0.223	0.189
	" 10%	0.236	0.184	0.212	0.184
	セメント 5%	0.217	0.181	0.191	0.143
	" 10%	0.110	0.101	0.173	0.134

(2) SEMによる観察

凍結融解試験終了時における安定処理土の内部構造の変化をSEMによって調べた。

粘性土を使用した消石灰処理土では、反応生成物として C_3AH_6 と思われる板状結晶が観察され、凍結融解による劣化の形跡として粘土粒子より成る団粒間に空隙およびクラックの存在が認められる (写真2(a), (b))。また、砂質土を使用した消石灰処理土でも砂粒子間に比較的大きなクラックが同様に観察される (写真2(c))。

一方、凍結融解に対する抵抗性が大きい砂質土を使用したセメント処理土では、凍結融解による劣化の形跡はまったくみられず、個々の砂粒子が多数のC-S-Hゲルにより強固に結合されている様子が観察される (写真2(f))。一方、粘性土を使用したセメント処理土では、C-S-Hゲルによる団粒間の結合が局部的であるために、全体としての結合組織は砂質土の場合と比較してあまり緻密ではない (写真2(d), (e))。

以上の観察結果より、安定材の添加量および養生期

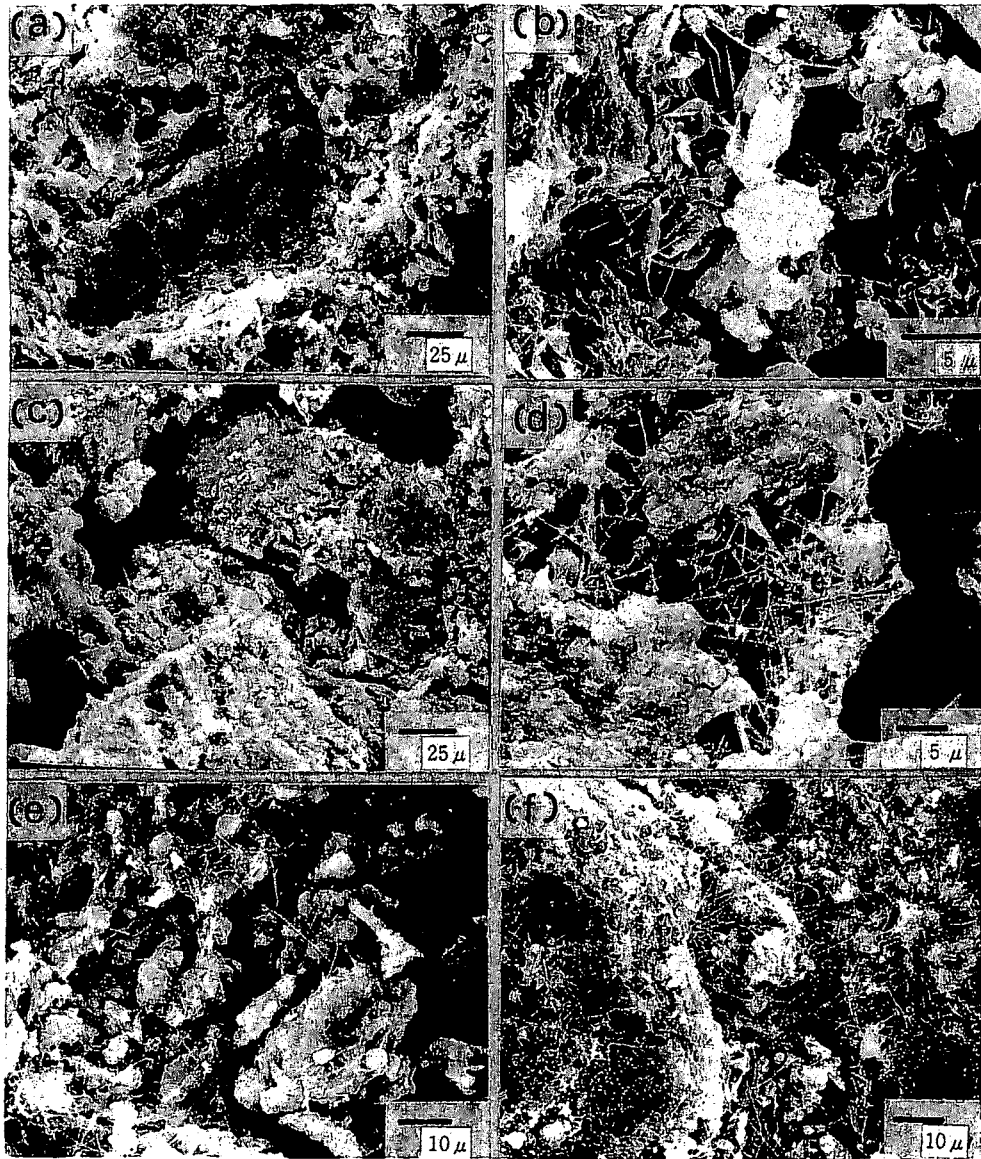


写真2 凍結融解の繰返し(12サイクル)を受けたセメントおよび消石灰処理土のSEM像

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| (a) 粘性土, 消石灰 5%, 450倍 | (b) 粘性土, 消石灰 5%, 3,000倍 |
| (c) 砂質土, 消石灰 5%, 450倍 | (d) 粘性土, セメント 5%, 2,000倍 |
| (e) 粘性土, セメント 10%, 1,000倍 | (f) 砂質土, セメント 10%, 1,000倍 |

間が適切に選択されたセメントおよび消石灰処理土では均一でかつ緻密な土構造が形成されており、これらの処理土では水分の侵入しやすい大きな空隙の減少と処理土内の水分状態の均一性の確保によって、強度特性とともに凍結融解に対する抵抗性も大きく改善されるものと考えられる。

4. セメント(または消石灰)一石膏処理土の凍結融解に対する抵抗性と微視的構造

4. 1 凍結融解に対する抵抗性

セメント(または消石灰)一石膏処理土ではエトリンガイトの生成によって強度特性が改善されるとともに、試料土の種類および石膏/セメント(または消石

灰) 比によってはある程度の膨張を示すことが明らかにされている¹⁰⁾。また、エトリンガイトの結晶構造は温度および湿度の急激な変化に対して不安定であることから、セメント (または消石灰) - 石膏処理土における膨張の影響とともに生成したエトリンガイトの凍結融解作用に対する安定性も同時に検討する必要があるものと考えられる。

図7および図8はセメント (または消石灰) - 石膏処理土の凍結融解の繰返しにともなう圧縮強度および変形係数の変化を示したものである。図7に示すように、粘性土を使用したセメント-石膏処理土では、セメント単味の場合と異なり水浸後の標準養生期間において顕著な強度増加がみられるのが特徴である。セメント-石膏処理土における石膏/セメント比 (G/C) の影響については、G/C=1はG/C=1/3と比較して凍結融解に対する抵抗性がかなり小さく、G/C=1の供試

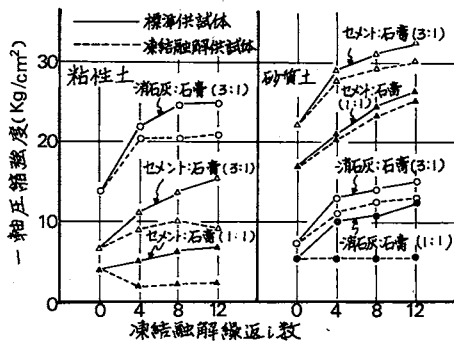


図7 セメント (または消石灰) - 石膏処理土 (添加量: 10%) の凍結融解の繰返しにともなう圧縮強度の変化

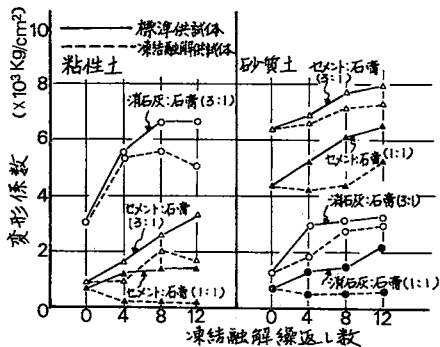


図8 セメント (または消石灰) - 石膏処理土 (添加量: 10%) の凍結融解の繰返しにともなう変形係数の変化

体では2~3サイクルでクラックが発生し、以後の凍結融解の繰返しによって著しい圧縮強度の低下が認められた。一方、粘性土を使用した消石灰-石膏処理土では石膏/消石灰比により水浸時に著しい膨張を示すことが明らかになった。すなわち、石膏量の多いG/L=1では水浸時に亀甲状のクラックが多数発生し、水分の侵入に対する本処理土の安定性が問題となった (写真3参照)。しかし、石膏量の少ないG/L=1/3では、G/L=1においてみられたような水浸時におけるクラックの発生はまったく認められず、消石灰-石膏処理土 (G/L=1/3) は消石灰単味 (添加量: 10%) と比較して凍結融解に対する抵抗性が大きい。

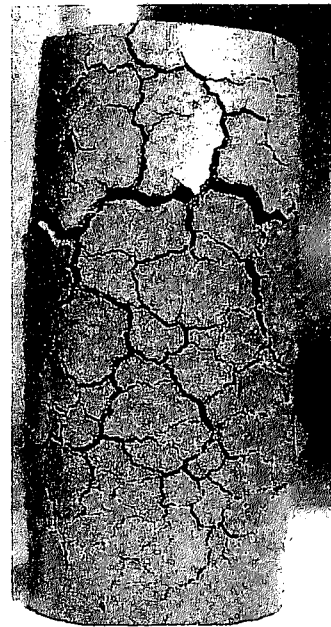


写真3 粘性土を用いた消石灰-石膏処理土 (添加量: 10%, 消石灰-石膏 (1:1) の水浸後の外観

砂質土を使用したセメント-石膏処理土では、いずれの石膏/セメント比 (G/C=1およびG/C=1/3) においても凍結融解の繰返しによる圧縮強度の低下はみられず、セメント単味の場合と比較して石膏の添加によって凍結融解に対する抵抗性が改善されることが明らかになった。一方、砂質土を使用した消石灰-石膏処理土では、G/L=1/3のものは消石灰単味の場合と比較して凍結融解に対する抵抗性が大きい、他の処理土と比較して大きな膨張を示すG/L=1のものは2サイクルでクラックが発生し、凍結融解に対する抵抗

性がかなり低下する。

以上の結果より、セメント（または消石灰）一石膏処理土の凍結融解に対する抵抗性は試料土の種類およびセメント（または消石灰）と石膏の混合割合によって大きく異なる。すなわち、エトリンガイトの生成により大きな膨張を示すような石膏添加量の多い混合割合の処理土では水侵による安定性および凍結融解に対する抵抗性が低下するが、試料土の種類に応じて適切なセメント（または消石灰）と石膏の混合割合を選択することにより、処理土の強度特性とともに凍結融解に対する抵抗性も大きく改善される。

4. 2 微視的構造

(1) 細孔径分布の特徴

図9はセメント（または消石灰）一石膏処理土の凍結融解試験の開始時における細孔径分布を示したものである。図9に示すように、粘性土を使用した各処理土間の細孔径分布には明確な相違はあまりみられないが、セメント一石膏処理土（添加量：10%，G/C=1/3）ではセメント単味と比較して0.08~2.5 μm の空隙量の増加が、消石灰一石膏処理土（添加量：10%，G/L=1/3）では消石灰単味の場合と比較して0.04~0.16 μm の空隙量の増加がそれぞれ認められる。一方、砂質土を使用したセメント一石膏処理土（添加量：10%，G/C=1/3）ではセメント単味の場合と比較して0.16 μm 以上の空隙量の増加が、消石灰一石膏処理土（添加量：10%，G/L=1/3）では消石灰単味の場合と比較して1 μm 以下の空隙量の増加と1~20 μm の空隙量の減少がそれぞれ認められる。さらに、砂質土を使用したセメント（または消石灰）一石膏処理土では粘性土の場

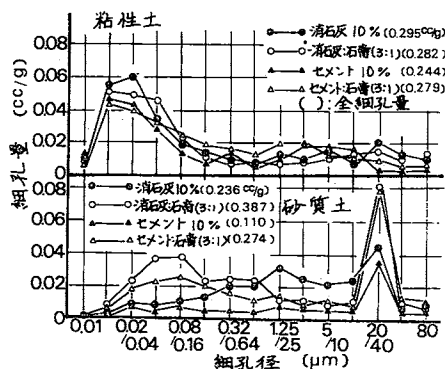


図9 セメント（または消石灰）一石膏処理土（添加量：10%）の凍結融解の開始時における細孔径分布

合と異なり水浸によって発生したと思われる20~40 μm のかなり大きな空隙量の増加が顕著である。

セメント（または消石灰）一石膏処理土における比較的大きな空隙の増加はエトリンガイトの生成による土粒子間の空隙の拡張によって発生したものである。このような処理土の膨張現象は粘性土よりも砂質土において、また石膏添加量の多い混合割合（G/C又はL=1）において顕著に認められることから、エトリンガイトの生成による粗い空隙の増加は凍結融解に対する抵抗性を低下させるようである。

(2) X線回折およびSEMによる観察

凍結融解試験の開始時における水浸供試体のSEM観察より、セメント（または消石灰）一石膏処理土におけるエトリンガイトの生成量およびその形態は、粘性土と砂質土およびセメント（または消石灰）と石膏間の混合割合によって大きく相違することが明らかになった。

粘性土を使用した消石灰一石膏処理土（添加量：10%，G/L=1/3）において生成するエトリンガイトは2~3 μm の微細な針状であるのに対して、水浸時において亀甲状のクラックが認められた消石灰一石膏処理土（添加量：10%，G/L=1）において生成するエトリンガイトは5~10 μm の棒状であり、石膏と粘土粒子の接触部分に花卉状に良く発達しているのが認められた。（写真4(a), (b), (c)）。また、図10に示す水浸および非水浸におけるX線回折の比較より明らかなように、粘性土を使用した消石灰一石膏処理土（添加量：

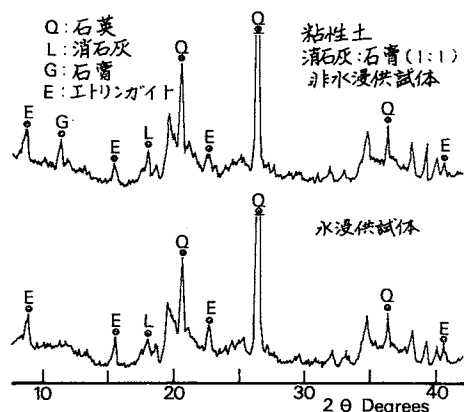


図10 粘性土を用いた消石灰一石膏処理土（添加量：10%，消石灰：石膏（1：1））の非水浸および水浸供試体のX線回折図

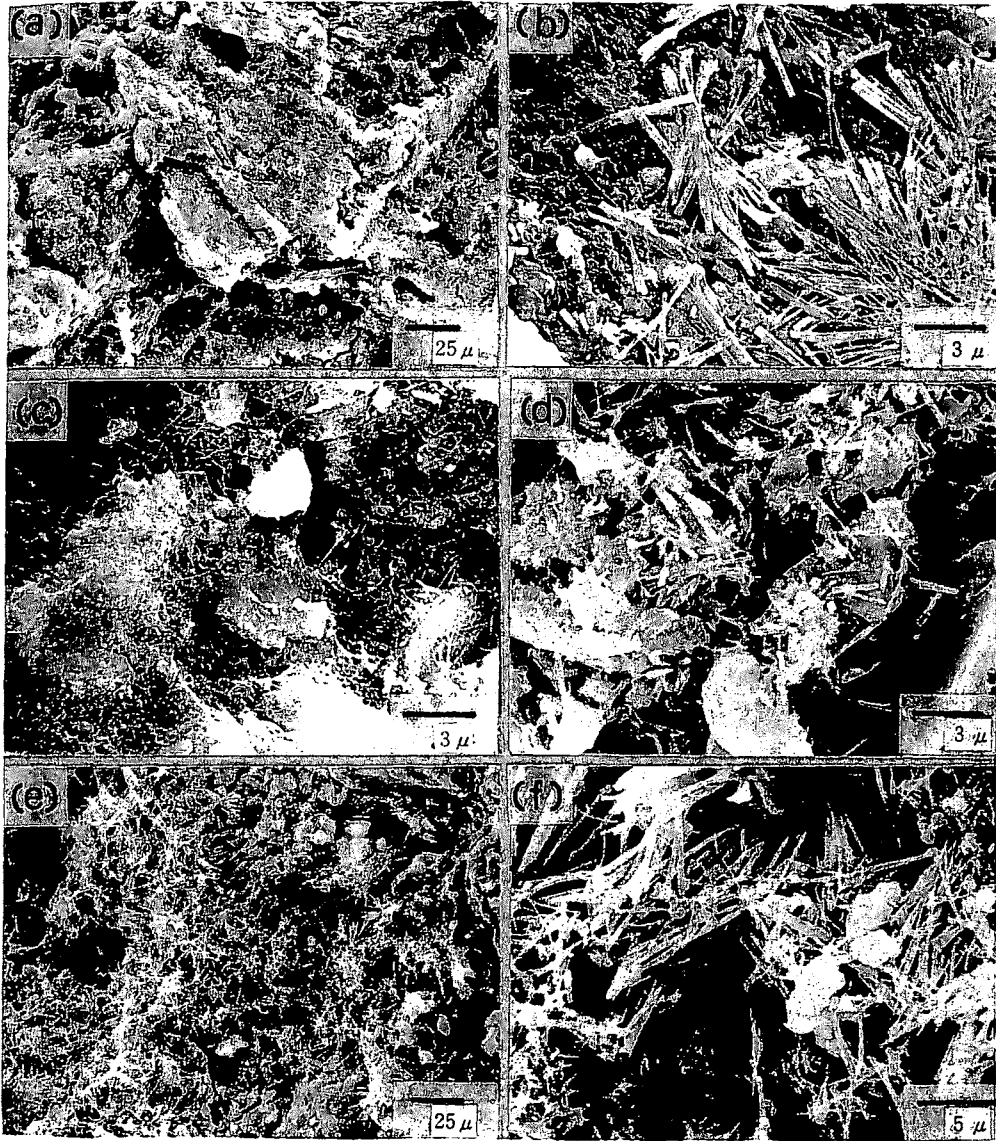


写真4 セメント（または消石灰）-石膏処理土（添加量：10%）のSEM像

- (a) 粘性土，消石灰-石膏（1：1），水浸，450倍
- (b) 粘性土，消石灰-石膏（1：1），水浸，4,500倍
- (c) 粘性土，消石灰-石膏（3：1），水浸，4,500倍
- (d) 砂質土，消石灰-石膏（3：1），水浸，4,500倍
- (e) 粘性土，セメント-石膏（3：1），凍結融解12サイクル，450倍
- (f) 粘性土，セメント-石膏（3：1），凍結融解12サイクル，3,000倍

10%， $G/L=1$ ）では水浸させることによって石膏のピークが減少する。したがって，粘性土を使用した消石灰-石膏処理土（添加量：10%， $G/L=1$ ）において水浸時にクラックが発生したのは，本処理土において石膏粒子付近に多量に生成したエトリンガイトの結晶

成長および再水和が水浸によって促進され，急激な膨張が生じたためと考えられる¹⁰⁾。

一方，砂質土を使用した消石灰-石膏処理土（添加量：10%， $G/L=1/3$ ）においても同様に針状のエトリンガイトがみられるが，これらのエトリンガイトは砂

粒子間の空隙を押し上げるように生成しており、エトリンガイトの周囲には多量の空隙が認められる(写真4(d))。

凍結融解の繰返しが処理土中のエトリンガイトに及ぼす影響について、温度および湿度の変化によってエトリンガイトの結合水のあるものは容易に遊離し、エトリンガイトはその骨格構造を残したままで結晶性を失うことが報告されている¹¹⁾。図11に示す凍結融解の繰返しを受けたものとそうでないものとのX線回折図の比較より明らかなように、凍結融解供試体においてもエトリンガイトの明瞭なピークが存在し、その結晶性が保持されている。また、SEM観察においても凍結融解の繰返しによるエトリンガイトの形態の変化はほとんど認められない(写真4(e), (f))。以上の結果より、安定処理土中に生成したエトリンガイトは凍結融解の繰返し中も結晶性が保持されており、安定であると考えられる。

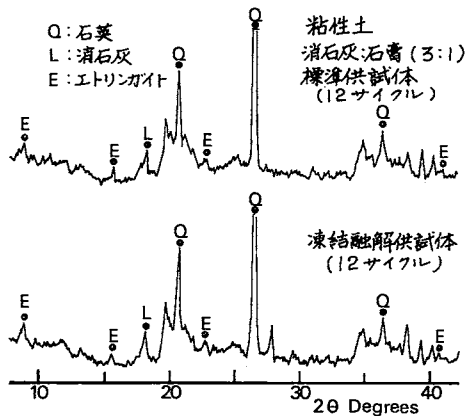


図11 粘性土を用いた消石灰—石膏処理土(添加量:10%, 消石灰:石膏(3:1))の標準および凍結融解供試体のX線回折図

5. 結 論

安定処理土の凍結融解に対する抵抗性を空隙特性および反応生成物によって形成される土粒子間の結合状況などの微視的内部構造の特徴より検討を行った。

得られたおもな結果をまとめると次のようである。

(1) 安定処理土の凍結融解に対する抵抗性は処理土の空隙分布および均一性と密接な関係があり、添加量および養生条件が十分であるセメントおよび消石灰処理土では水の浸入しやすしい比較的粗い空隙が減少

することによって凍結融解に対する抵抗性が大きく改善される。

- (2) セメント処理土と消石灰処理土における低温での反応性および土粒子間の結合機構の相違を考慮すると、消石灰処理土は凍結融解の繰返しを受ける前に十分な養生期間を確保することが必要である。
- (3) エトリンガイトの生成によって大きな膨張を示すようなセメント(または消石灰)—石膏処理土では凍結融解に対する抵抗性が低下する。
- (4) セメント(または消石灰)—石膏処理土におけるエトリンガイトの生成量および形態はセメント(または消石灰)と石膏の混合割合および粘性土と砂質土によって大きく異なり、これらの微視的内部構造の相違が処理土の凍結融解に対する抵抗性および水浸時の安定性に影響を及ぼす。
- (5) セメント(または消石灰)—石膏処理土において生成したエトリンガイトは凍結融解の繰返し中も結晶性が保持されており、安定である。

〈参考文 献〉

- 1) 久保宏: 道路舗装の凍上とその対策, 土と基礎, No. 277, pp. 9~14, 1981.
- 2) 木下誠一: 凍土の物理学, 森北出版, 1982.
- 3) Dempsey, B. J. and M. R. Thompson, Effects of Freeze-Thaw Parameters on the Durability of Stabilized Materials, Highway Research Record, No. 379, pp. 10~18, 1972.
- 4) Andres, R. J., R. Gibala and E. J. Baremberg: Some Factors Affecting the Durability of Lime-Fly Ash-Aggregate Mixtures, The Annual Meeting of the Transportation Research Board, pp. 1~10, 1975.
- 5) 長沢徹明・梅田安治: 凍結融解土の水分特性とせん断強さ, 農業土木学会論文集, No. 54, pp. 6~10, 1974.
- 6) 長沢徹明・梅田安治: 土の強さにおよぼす凍結融解過程の影響, 農業土木学会論文集, No. 60, pp. 19~23, 1975.
- 7) Federal Highway Association: Soil Stabilization in Pavement Structures A User's Manual (2), Mixture Design Considerations, 1979.
- 8) Bye, G. C.: Portland Cement, Composition, Production and Properties, Pergamon Press, 1983.
- 9) Aylmore, L. A. G. and I. G. Sills: Pore Structure and Mechanical Strength of Soils in Relation to Their Constitution, Modification of Soil Structure, John Wiley & Sons, 1976.
- 10) 榑場重正・川村満紀・鳥居和之: 排煙脱硫石膏および高炉水

砕スラブを使用した安定処理土における反応生成物と強度特性，土木学会論文報告集，No. 320，pp. 77～82，1982.

- 11) 坂内秀雄・中川晃次：エトリンガイトの加熱変化，Gypsum & Lime，pp. 11～17，1968.

(昭和58年10月17日受理)