

報 文

寒冷地における凍結融解と土壌侵食

— スレーキング特性に与えるカルシウム添加の影響 —

饗庭 直樹\*・三原真智人\*\*・成岡 市\*\*・安富 六郎\*\*\*・穴瀬 真\*\*

Freezing—Melting and Soil Erosion in Cold Region  
—Effect of Calcium Addition on Slaking Properties—

Naoki Aiba\*・Machito Mihara\*\*・Hajime Narioka\*\*・Rokuro Yasutomi\*\*\*・Makoto Anase\*\*

\* Shiga Prefecture, \*\* Tokyo University of Agriculture

\*\*\* Tokyo University of Agriculture and Technology

Summary

The runoff of soil particles occurs severely during snow melting or rainfall in cold region. Freezing and melting cycles affect the soil structure and slaking properties. The authors investigated that the effect of calcium addition on the decrease in slaking percentage.

Soil structure became stable after the addition of  $\text{CaCl}_2$  solution. As  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  suspension was hardly to infiltrate the soil,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  suspension was only effective to increase the stability of soil surface. However, the protection effect was remarkable when  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  solid was mixed in the soil.

It is possible to protect the consolidated slopes with the spreading  $\text{CaCl}_2$  solution. Also,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  solid should be mixed in the soil to protect the slopes at the reclamation.

Key words: Cold region, Soil erosion, Freezing and Melting, Slaking, Calcium

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 71, 11—15, 1995)

1. はじめに

寒冷地において凍結融解に伴う土壌構造の変化や侵食機構は、以前より論議されている重要な課題である(長沢・梅田, 1981・1986)。その一端として前報において Medina, S. M. ら(1995)は土壌が凍結融解の繰り返しを受けると土壌分散性が高まり、団粒構造が破壊されることについて報告した。しかし凍結融解による構造変化や侵食機構のみならず、土壌の保全対策にも興味注がれている。

本報では、寒冷地造成畑法面の融雪期における土壌構造の安定性を高めることを目的として、カルシウムを添加した土壌のスレーキング特性を調べた。寒冷地における有効な土壌保全のため、カルシウムの種類、添加量、添加方法について実証的に検討を行った。カルシウム添加による土壌の物理化学性の変化に関する論議は今後の課題とした。

2. 供試土

研究対象地は北海道網走郡女満別の改良山成畑工による造成畑の盛土法面である。この地域は未熟な火山灰土で覆われており、腐植が少なく粒子が多孔質で軽く、侵食を受けやすいのが特徴である(前田ら, 1986, 梅田ら, 1989)。農地造成事業関係者からの聞き取り調査および土壌断面調査の結果、凍結深さが切土部心土の約60cm深さまで進んでいたと判断されたので、凍結の影響が少ない心土100cm深さの土壌を供試した。100cm<sup>3</sup>定容量円筒に水分調整した生土である供試土を入れ、ランマー落下回数でエネルギーを等しくして突固め供試体を作成した。供試体の乾燥密度は、法面15~20cm深さの乾燥密度(1.05g/cm<sup>3</sup>)とした。凍結融解前の供試土における土壌の物理性を表-1に示した。

表-1 供試土における土壌物理性  
Physical properties of soil sample

Sampled site	Specific gravity	Particle size distribution (%)			Water content (%)
		Coarse sand	Fine sand	Silt Clay	
Memambetu Hokkaido	2.68	23.3	24.5	28.6 23.6	51.04

\*滋賀県庁、\*\*東京農業大学農業部、\*\*\*東京農工大学農学部

キーワード: 寒冷地、土壌侵食、凍結融解、スレーキング、カルシウム

閉式の供試体における凍結融解の繰り返しには、冷凍庫(-35℃)と恒温室(+20℃±2℃)を用いた。供試体全体が様な温度分布になるように凍結時間を17時間、融解時間を7時間として、これを1サイクルとした。

### 3. 実験方法

#### 1) 土壌のスレーキング試験

スレーキングは土の農学および工学的特性を示す指標の一つであり、粘土分を含む土壌に独特のものである。スレーキングには土性、土壌構造、水分状態、履歴など多くの要因が関与することがわかっている(佐藤, 1983)。しかし測定方法について統一規格が定まっていないので、本試験においては佐藤(1983)の測定方法に準拠した。実験装置を図-1に示した。また崩落率は次式にて求めた。

$$R_{s1} = 100 \times W_1 / W_2$$

但し、 $R_{s1}$ :崩落率(%),  $W_1$ :崩落土の炉乾燥重量(g),  $W_2$ :全供試土(崩落土+残留土)の炉乾燥重量(g)である。

一般にスレーキング試験は団粒の分析法、表示法とともに様々な方法がとられている。その原因として、組成と構造性との混同により団粒の概念が必ずしも確立していない問題が指摘されている(山田・横瀬, 1991)。

スレーキング試験において結果の再現性は低いと考えられる。しかし本研究はカルシウムの種類や濃度などを変化させてカルシウム添加がスレーキング特性に与える影響を明らかにしようと試みたもので、同一条件の供試体は各1供試体とした。

#### 2) カルシウムを添加した土壌の凍結融解

団粒形成の要因には、高分解性有機物、炭酸カルシウムなどがある(横瀬・山田, 1977, 山田・古家, 1982)。本研究では、凝集効果、土壌に対する影響、水質に対する影

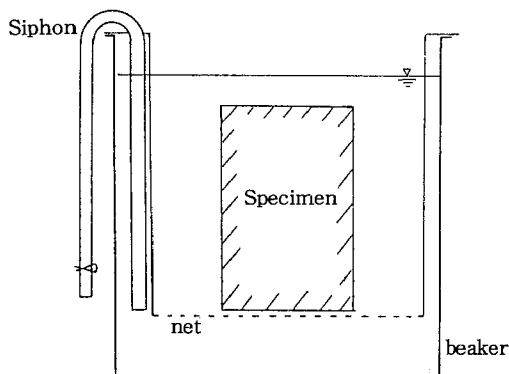


図-1 スレーキング実験装置  
Illustration of slaking apparatus

響などを考慮に入れて、カルシウムを添加した土壌の凍結融解によるスレーキング特性の変化を調べた。また各試験で比較のため、カルシウムを添加させない供試体のスレーキング試験を行った。

#### 2-1) 塩化カルシウム溶液の浸潤試験

濃度を変化させた塩化カルシウム( $\text{CaCl}_2$ )溶液を供試体に滴下浸潤させ、定容量円筒に密封して恒温室内で24時間静置した。その後、冷凍庫と恒温室で凍結融解の履歴を施した。濃度は乾土100g当たりカルシウムを100mg添加、50mg添加、25mg添加、0mg添加(無添加)して調整した(以下、試料100、試料50など)。

スレーキング試験後、溶液のpHや浮遊物質(SS)を測定した。SSはスレーキング試験終了時の容器内溶液の水面下5cmから25cm<sup>3</sup>を採水し、HACH社製水質分析器を用いて測定した。

#### 2-2) 水酸化カルシウム懸濁液の浸潤試験

乾土100g当たりカルシウムが200mg、100mg、50mg、0mg(無添加)含まれるように、水酸化カルシウム( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )懸濁液を供試体に滴下浸潤させた(以下、試料200、試料100など)。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は溶解度が低く完全に溶解しないため、この懸濁液を十分攪拌して供試体に滴下浸潤させた。

#### 2-3) 水酸化カルシウム粉の攪拌混合試験

供試土の突固めを行う前に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 粉を攪拌混合させて、乾土100g当たりカルシウムが200mg、100mg、50mg、0mg(無添加)含まれるように調整した(以下、試料200、試料100など)。

### 4. 実験結果と考察

#### 1) 塩化カルシウム溶液の浸潤による影響

$\text{CaCl}_2$ は溶解度が高いので供試体に浸透しやすく、氷点降下や $\text{Ca}^{2+}$ による凝集効果も期待できる。 $\text{CaCl}_2$ 溶液を浸潤させた場合のスレーキング試験結果を図-2に、pH測定結果を図-3に、SS測定結果を図-4に示した。

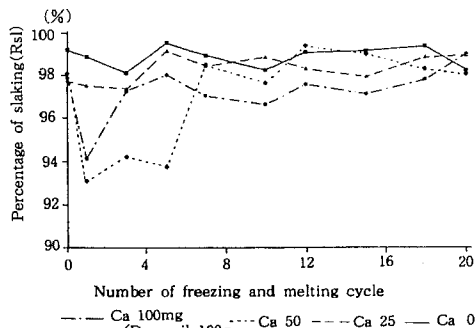


図-2 スレーキング特性に与える $\text{CaCl}_2$ 添加の影響  
Effect of  $\text{CaCl}_2$  addition on slaking property

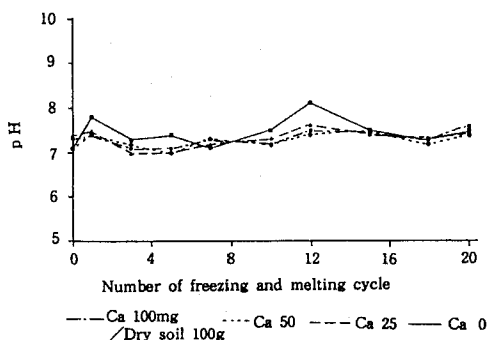


図-3 pHに与えるCaCl<sub>2</sub>添加の影響  
Effect of CaCl<sub>2</sub> addition on pH

図-2に示したように、試料0と試料25において崩落率の差は小さかったが、試料50や試料100ではカルシウム添加による崩落率の低下は明らかであった。また試料50の崩落率が5サイクル以内で低い値を示したが、5サイクルを越えると崩落率は上昇した。試料100の崩落率は少ないサイクル数において試料50を上回ったが、それ以降は他の試料の崩落率を下回る傾向を示した。また試料100においても0サイクルより1～3サイクルで低い崩落率を示した。

図-3に示したように、凍結融解サイクル数やCaCl<sub>2</sub>添加量によるpHの変化は、ほとんど見られなかった。また図-4に示したようにSSは試料0で大きく、試料100では安定して低い値を示した。試料25のSSはサイクル数に対して不安定な値を示しているが、試料100では低い値で安定してサイクル数の影響がほとんどなかった。また試料50のSSは凍結融解初期に安定していたが、サイクル数の増加に従って上昇する傾向を示した。

これらの結果から、試料100ではCa<sup>2+</sup>が溶液中に充分拡散し、SSが低くなったと考えられる。つまり適量のCaCl<sub>2</sub>を用いることにより、懸濁水のCa<sup>2+</sup>による凝集効果が発揮できたといえる。

## 2) 水酸化カルシウム懸濁液の浸潤による影響

Ca(OH)<sub>2</sub>は火山灰土壌の酸性矯正ができ、CaCl<sub>2</sub>に比べて周辺環境に対する影響が少ないと考えられている。崩落率と凍結融解サイクル数の関係を図-5に、スレーキング試験終了時における溶液のpH測定結果を図-6に示した。

図-5に示したように、試料0の崩落率は他の試料を上回った。試料50と試料100は、サイクル数に従って崩落率が上昇する緩やかな曲線を示した。試料200においては12サイクルで崩落率が一部低下しているが、全体的に増加傾向を示した。試料50および試料100と試料200における崩落率の違いは、Ca(OH)<sub>2</sub>懸濁液の濃度が原因と考えられる。Ca(OH)<sub>2</sub>が土壌中に浸潤した部分のみ

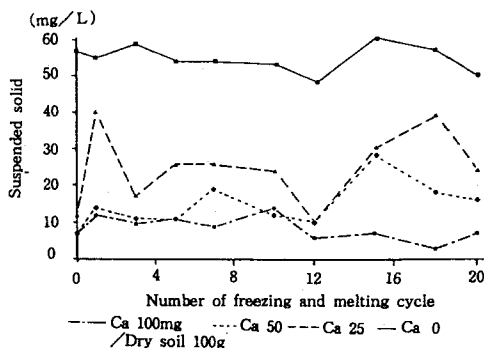


図-4 浮遊物質に与えるCaCl<sub>2</sub>添加の影響  
Effect of CaCl<sub>2</sub> addition on suspended solid

が崩落せずに金網上に残った。つまり3種類の濃度のCa(OH)<sub>2</sub>液はすべて懸濁状態であるが、試料200ではCa(OH)<sub>2</sub>懸濁液の粘性が高く、供試体中への浸潤が十分進まなかったと思われる。

これらの結果より、Ca<sup>2+</sup>の効果を期待するにはこれを土壌に十分混合させることが必要であると判断した。また図-6に示したように、Ca(OH)<sub>2</sub>添加量に従って溶液のpHはアルカリ性を示した。Ca(OH)<sub>2</sub>添加による土壌の酸性矯正の効果を発揮できると思われる。

## 3) 水酸化カルシウム粉の混合による影響

Ca(OH)<sub>2</sub>粉を攪拌混合させた場合のスレーキング試験結果を図-7に、pH測定結果を図-8に、SS測定結果を図-9に示した。

図-7に示したように、試料0の崩落率は他の試料を上回り、カルシウム添加による崩落率の低下が明らかとなった。また試料50～200では膠結作用と粒子間の凝集が原因と見られる崩落率の低下が1～3サイクルで生じた。また図-8に示したように、溶液のpHはCa(OH)<sub>2</sub>添加量に従ってアルカリ性を示した。

凍結融解初期のSSは低く、サイクル数の増加に伴っ

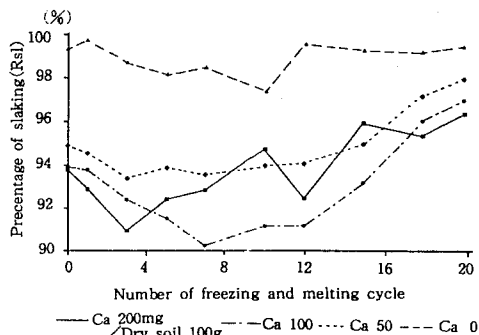


図-5 スレーキング特性に与えるCa(OH)<sub>2</sub>添加の影響  
Effect of suspended Ca(OH)<sub>2</sub> addition on slaking property

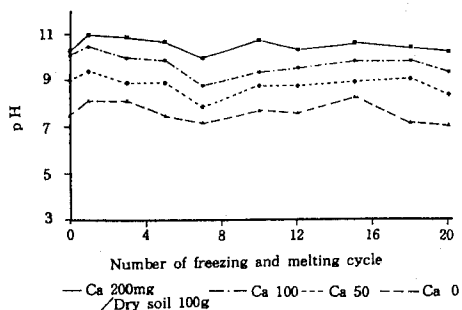


図-6 pHに与えるCa(OH)<sub>2</sub>添加の影響  
Effect of suspended Ca(OH)<sub>2</sub> addition on pH

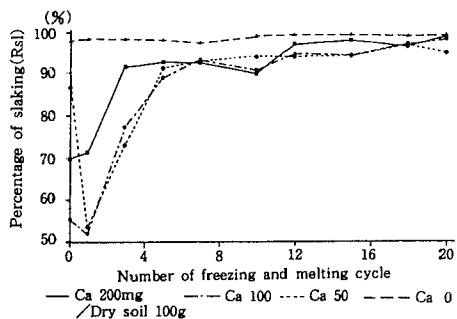


図-7 スレーキング特性に与えるCa(OH)<sub>2</sub>混合の影響  
Effect of suspended Ca(OH)<sub>2</sub> mixing on slaking property

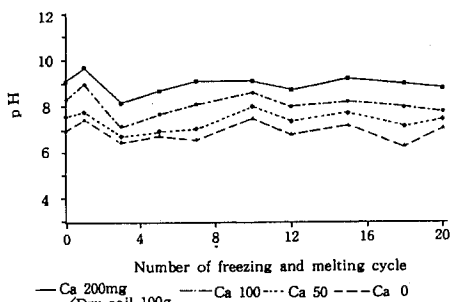


図-8 pHに与えるCa(OH)<sub>2</sub>混合の影響  
Effect of Ca(OH)<sub>2</sub> mixing on pH

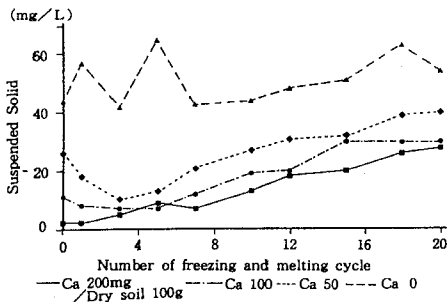


図-9 浮遊物質に与えるCa(OH)<sub>2</sub>混合の影響  
Effect of Ca(OH)<sub>2</sub> mixing on suspended solid

て上昇した。凍結融解の繰り返しにより団粒保持機能が低下してきたためと思われる。またCa(OH)<sub>2</sub>添加量に従ってSSが減少する傾向を示した。

これらの試験結果より、Ca(OH)<sub>2</sub>の攪拌混合試料における崩落率は無添加試料を下回った。また試験終了時における攪拌混合試料溶液のSSも無添加試料を下回った。難溶解性のCa(OH)<sub>2</sub>の効果を発揮させるためには、土壌中に攪拌混合させることが必要であり、法面散布よりも、Ca(OH)<sub>2</sub>を予め混合させた土壌を法面に用いた方が効果的であることがわかった。

### 5. おわりに

法面土壌における凍結融解が土壌のスレーキング特性に及ぼす影響を低減させるため、施工時にCa(OH)<sub>2</sub>を法面土壌に攪拌混合させる1つの方法を考えた。また施工が終了している法面については、高濃度のCaCl<sub>2</sub>溶液やCa<sup>2+</sup>を多く含む溶液を表面散布することにより、法面の安定化を期待できることが明らかとなった。

本報では、凍結融解の繰り返しを受けた法面表土の団粒形成を促進することにより土塊を安定させる方法を検討したが、法面の植生被覆やアグロフォーレストリーの導入などの対策も考えられ、今後も検討を続ける必要がある。

最後に本研究を遂行するにあたり、北海道開発局網走開発建設部関係各位から多大なご協力を賜った。ここに記して深謝申し上げます。

### 引用文献

土壌保全セミナー(代表:梅田安治)(1989):北海道における農地造成と保全:6-37  
前田隆,相馬尅之,矢沢正士,藤原幸彦(1986):火山灰土の凍上性および粗粒火山灰の凍上抑制材としての適正判定に関する研究(課題番号59460188),S.61科研費補助金(一般研究B)報告書  
Medina,S.M.,成岡市,三原真智人,穴瀬真,安富六郎(1995):寒冷地における凍結融解と土壌侵食,凍結融解の繰り返しと土壌団粒の配列構造に及ぼす影響,土壌の物理性,71:5-10  
長沢徹明,梅田安治(1981):土の耐水食性に及ぼす凍結融解作用の影響,凍結・融解土の特性に関する研究(V),農土論集,94:48-54  
長沢徹明,梅田安治(1986):凍結融解条件による土の構造変化への影響,凍結・融解土の特性に関する研究(VII),農土論集,123:49-55  
佐藤晃一(1983):スレーキング,土の理工学性実験ガイド,農業土木学会:123-124

山田宣良, 古家 隆(1982)：圃場における団粒形成因子,  
土壌の団粒に関する研究(Ⅳ), 農土論集, 98: 1-6

山田宣良, 横瀬広司(1991)：団粒分布に基づく土壌の団  
粒評価法, 農土誌, 59(4): 31-35

横瀬広司, 山田宣良(1977)：団粒を形成する因子につい  
て, 土壌の団粒に関する研究(Ⅰ), 農土論集, 70:  
1-6

(受稿年月日 1994年5月10日)