

9 8 1 8 塩類を用いた侵食土壌流亡防止システムに関する研究

助成研究者：渡辺 兼五 (東京農工大学 農学部)
 共同研究者：安富 六郎 (東京農業大学 地域資源科学部)
 妹尾 學 (日本大学 理工学部)
 穴瀬 真 (東京農業大学 総合研究所)
 東城 清秀 (東京農工大学 農学部)
 三原 真智人 (東京農業大学 地域環境科学部)

寒冷地における凍結融解は土壌侵食の大きな原因となる。特に火山灰土壌の侵食防止には土を分散させない構造を作ることが重要である。この構造形成にカルシウムイオン添加によって耐侵食を増加させることを試みた。寒冷地状態での侵食防止効果、土壌保全、とくに法面保護効果にはスレーキングによる水中での土壌崩落実験によった。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火山灰造成畑の盛土法面である。

実験室での供試体における凍結融解の繰り返しにはそれぞれ調整された供試土を突固め、冷凍庫(-35℃)と恒温室(+20℃±2℃)を用いた。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。塩化カルシウム(CaCl₂)添加試験、水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)添加、および水酸化カルシウム粉の混合の3種類の実験を行った。

塩化カルシウム(CaCl₂)添加試験では乾土100g当たりカルシウムが200mg、100mg、50mg、0mg(無添加)が含まれるように試料調整した。水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)添加試験では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)。水酸化カルシウム粉の攪拌混合試験では供試土の突固めを行う前にCa(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。

1) 塩化カルシウム溶液の浸潤による影響

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。

2) 水酸化カルシウム懸濁液の浸潤による影響

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。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。

3) 水酸化カルシウム粉の混合による影響

カルシウム添加による崩落率の低下が弱いが明らかに見られた。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。

4) 塩類添加の効果

Ca(OH)₂の攪拌混合試料における崩落率は無添加試料よりも減少した。攪拌混合試料溶液のSSも無添加試料も減少した。難溶解性のCa(OH)₂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)₂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。

5) 総合的結果

土壌の凍結は乾燥と同じ効果をもたらすことがpF水分曲線変化からわかる。土壌構造破壊を進行させる。Caカルシウム添加は土壌粒子の結合を高めると同時に凍結侵食防止効果が期待されるため寒冷地の土壌流亡防止に効果がある。これらの効果を高めるためのシステムを図12の示した

9818 塩類を用いた侵食土壌流亡防止システムに関する研究

助成研究者：渡辺 兼五 (東京農工大学 農学部)
 共同研究者：安富 六郎 (東京農業大学 地域資源科学部)
 妹尾 學 (日本大学 理工学部)
 穴瀬 真 (東京農業大学 総合研究所)
 東城 清秀 (東京農工大学 農学部)
 三原 真智人 (東京農業大学 地域環境科学部)

1. はじめに

わが国の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)。北海道網走の事例についてMedina, S. M.ら(1994)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重要な課題である。

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。さらに、凍結融解における物理化学的変化、およびイオン交換体利用に関する考察を行い、侵食防止システムの提案を行った。

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。

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

100cm³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(1.05 g/cm³)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。

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。供試体全体が一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。

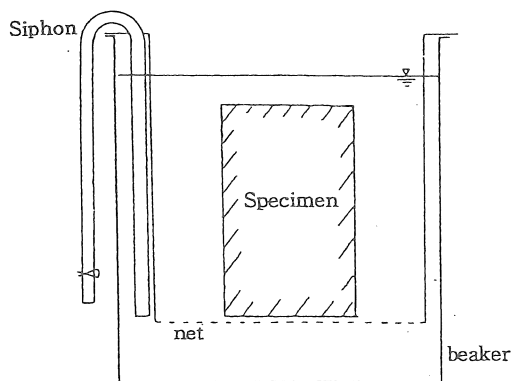


図-1 スレーキング実験装置
Illustration of slaking apparatus

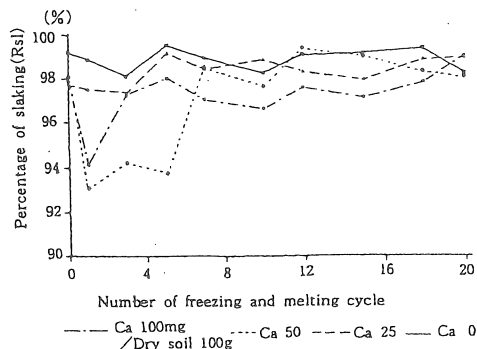


図-2 スレーキング特性に与えるCaCl₂添加の影響
Effect of CaCl₂ addition on slaking property

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(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25cm³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、0 mg(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

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 Ca^{2+} による凝集効果も期待できる。 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CaCl₂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Ca²⁺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CaCl₂を用いることにより、懸濁水のCa²⁺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)₂は火山灰土壌の酸性矯正ができ、CaCl₂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)₂懸濁液の濃度が原因と考えられる。Ca(OH)₂が土壌中に浸潤した部分のみが崩落せずに金網上に残った。つまり3種類

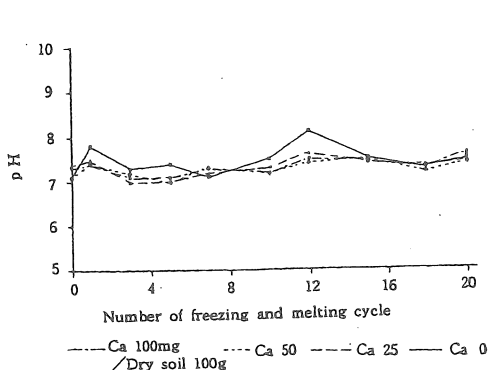


図-3 pHに与えるCaCl₂添加の影響
Effect of CaCl₂ addition on pH

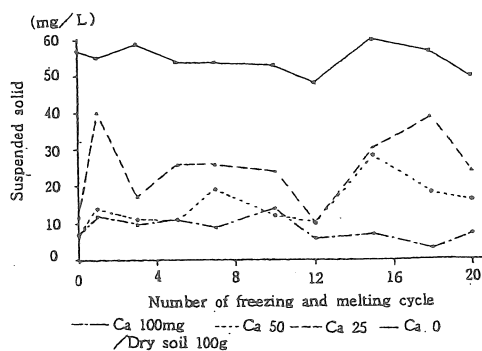


図-4 浮遊物質に与えるCaCl₂添加の影響
Effect of CaCl₂ addition on suspended solid

の濃度のCa(OH)₂液はすべて懸濁状態であるが、試料200ではCa(OH)₂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、Ca²⁺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)₂添加量に従って溶液のpH

はアルカリ性を示した。Ca(OH)₂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。

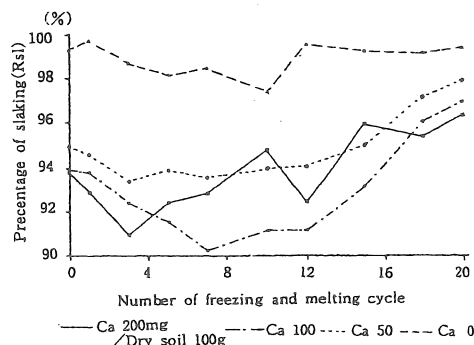


図-5 スレーキング特性に与えるCa(OH)₂添加の影響
Effect of suspended Ca(OH)₂ addition on slaking property

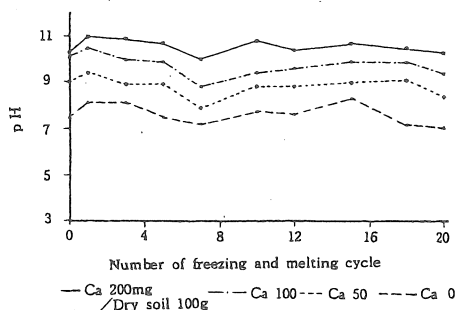


図-6 pHに与えるCa(OH)₂添加の影響
Effect of suspended Ca(OH)₂ addition on pH

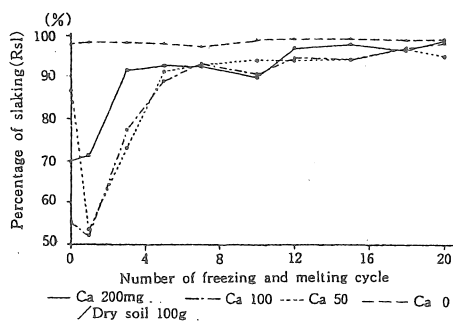


図-7 スレーキング特性に与えるCa(OH)₂混合の影響
Effect of suspended Ca(OH)₂ mixing on slaking property

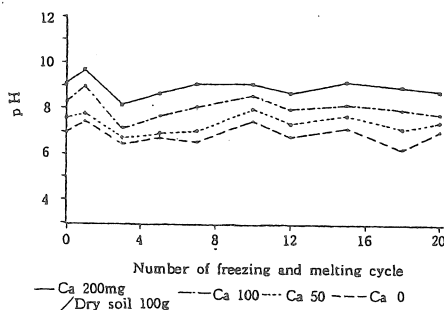


図-8 pHに与えるCa(OH)₂混合の影響
Effect of Ca(OH)₂ mixing on pH

3) 水酸化カルシウム粉の混合による影響

Ca(OH)₂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)₂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)₂添加量に従ってS

Sが減少する傾向を示した。

これらの試験結果より、Ca(OH)₂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)₂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)₂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。

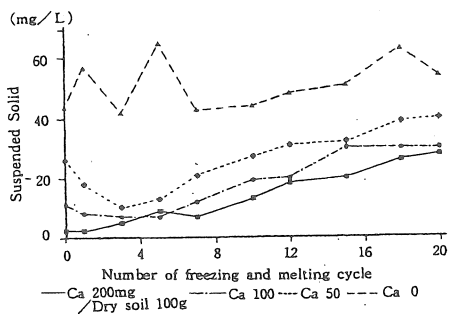


図-9 浮遊物質に与えるCa(OH)₂混合の影響
Effect of Ca(OH)₂ mixing on suspended solid

4) 水の凍結による化学ポテンシャル変化

凍結融解によって生ずる温度差はこの実験条件では最高10℃から最低-30℃の範囲である。その温度差によって起こされるポテンシャル変化を20℃の毛管高さ1cm (pF 0) を基準面としてとれば、それぞれ次のようである。

$$+10^{\circ}\text{C} \text{では } pF = -\log(1299/2320) = 0.25$$

$$-30^{\circ}\text{C} \text{では } pF = -\log(28/2320) = 2$$

表-2 水と氷の蒸気圧
Vapor pressure of water and ice

K	C	Pa
310	37	6228
293	20	2320
283	10	1299
240	-30	28

凍結によって生ずる水→氷による蒸気圧低下はpFから見れば大きな変化はない。しかし土壌水の液体水分として見れば凍結によって毛管水の状態の水は液相から固相へ変化するから、この相変化は凍結による乾燥効果として土壌水分の見かけの減少となる。土壌水分のpF特性曲線から見れば、毛管水領域であるpF3以下の液体としての水は存在しないので、凍結土壌はpF3以上の高いpF水分状態におかれると考えられる。

水と氷の共存の条件下で化学ポテンシャルは0℃以上では氷は水よりも高いから、氷→水へと変化する。0℃以下ではこれとは逆に水→氷へと向かう。温度T = constの場合、

液相としての水の化学ポテンシャル μ_w と固相の μ_i の圧力 P に対する変化はそれぞれ次のようである。

$$\Delta \mu_w = (\partial \mu_w / \partial P) \Delta P = V_w \cdot \Delta P$$

$$\Delta \mu_i = (\partial \mu_i / \partial P) \Delta P = V_i \cdot \Delta P$$

(V_w, V_i はそれぞれ単位重量当たりの液相の体積および固相の体積)

土が凍結すると液相 V_w は固相 V_i に移行して通常はその体積は増大する。土壌構造はこの膨張する力によって著しく変化する。融解時に変化した構造は完全には復元しない。通常は構想は破壊されて微粒子が水に分散しやすくなる。

既往の研究によれば、土壌に吸着された水の状態はその有する化学ポテンシャルによって異なり、 $pF 6.3$ 付近の水の誘電特性は固体的であると考えられている。 $pF 6.3$ 以下 $pF 4$ 付近になると個体的と液体的な両者の特性が観測されている。このことから、両者の特性が凍結乾燥に類似した水の状態を作り出していると考えられる。この場合の液相から固相への移行は土壌の乾燥過程、または凍結過程に相当するであろう。逆に固相から液相への移行過程は湿潤または融解過程に相当する。この両者の移行過程は多くは不可逆である。

実際の土壌水分は塩分の存在によって純水の挙動とは異なるが、低 pF から $pF 3$ 付近までは平衡系にある水分はすべて土壌の間隙に毛管水として存在する。 $pF 3 \sim 6.3$ の領域では、液相と固相が準平衡状態で共存するとすれば、凍結と融解の過程でそれぞれ異なる変化が生ずるのであろう。これが pF 水分曲線にヒステレシスを生ずる原因の一つであると考えられる。

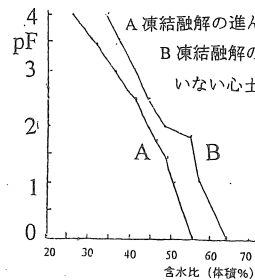
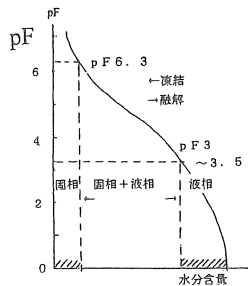


図-10-a 土壌水分の形態の概念図 図-10-b 凍結融解による pF 水分曲線

Effect of soil water freezing and melting on the pF curve

5) カルシウム添加による土壌構造の変化

カルシウム添加によって Ca イオンの土壌表面への吸着は土壌粒子相互の結合を強める。 Na が土壌粒子分散の促進機能を持つものに対してカルシウムによる結合強化の傾向は凝集化が強まることを示し、土壌構造の力学的安定性は高まる。火山灰土壌では石灰の土壌への投入は土壌の耐侵食性を向上させる。しかしこの効果とは逆に土壌水に Ca イオンがある場合、 Ca イオンは凍結過程で特殊な場合を除き氷には取り込まれないので液体と

しての土壤水のイオン濃度は高まる。したがって凍結過程では土壤水の化学ポテンシャルに浸透圧分を加えた低下が見込まれる。凍結の乾燥効果は、Ca イオン添加による土壤構造性の強化と、凍結の土壤水 pF 特性に与える影響 (ヒステレシス) は Ca イオンを含まない場合よりも大きいのは、Ca イオンが土壤と共有結合して土壤の水和性を低下させることに起因すると考えられる。耐侵食性評価には以上の両者の効果を考える必要がある。

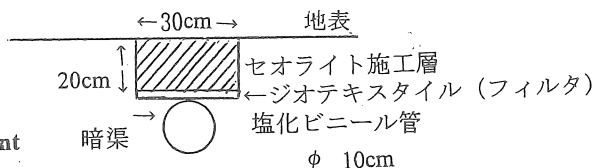
5. 侵食防止に対するイオン交換体の適応

この項目については今回は実験継続中で結果を得るまでに至らなかった。イオン交換膜の利用については、その吸着されたイオンの除去をするための方法について問題があること、およびその維持管理にはコスト高でその実用性に欠けることが主な理由である。そこでこのイオン交換膜に代わってゼオライト (沸石) の利用を現在行っている。その概要は以下のようなものである。

ゼオライトはケイ素四面体にアルミニウムが置換したものが主成分であり、多孔質の構造を持ち、酸性の土壤環境条件でも表面は負に帯電しているのが陽イオンの安定した吸着体である。Na、Ca イオン、生活排水からくるアンモニアイオンの用排水への混入は水質汚濁の原因ともなっている。フィルタとしてゼオライトを暗渠の周りに巻き込めば水質の改善に役立つと考えられる (図-11)。これらは現在実験中である。

図-11

ゼオライトによる水質浄化暗渠
Drain pipe with Zeolite filter
layer for drainage water treatment



6. 侵食防止システム

これらの一連の実験では前年度には畑地土壤における凍結融解によって生じた土壤侵食土壤の排水の水質汚濁を食塩添加によって除去する方法について実験を行ってきた。本年度はカルシウム添加および、流出水に存在するナトリウムイオンあるいはカルシウムイオンの除去をイオン交換材としてゼオライトによる実験を計画した。北海道に見られる粗しょう火山灰土の畑地土壤の侵食防止機構にはその防止システムとしては次のような構図が最適と考えられる。

土壤へのカルシウム添加 (1) → 渦動排砂管装置 (2) → 排水への塩分添加 (3) → 沈砂池 (4) → 排水への塩分添加微細土壤粒子捕捉のための暗渠フィルタ (5) → 地区外へ排水 (6)

(1) 侵食防止のためのカルシウムイオン添加。Ca (OH) 2 添加

(2) 流水を斜流にして粗大粒子と微細粒子とに分離して沈砂池に導入。微細粒子は沈殿せずに懸濁水となる。

(3) 懸濁水に塩類 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ または NaCl を加えて土壌を凝集沈降させる。

(4) 沈砂池にて土壌粒子を沈殿させる。

(5) 暗渠フィルタ周囲をイオン交換体(ゼオライト)で囲み陽イオンを吸着させると同時に排水を濾過して微細な浮遊物を除去する。

(6) 河川への放流

図-12 土粒子流亡による河川水質汚濁を軽減させるシステム

A protection system for river water contamination by clay particles from soil erosion in upland fields

こんごの課題として、イオン交換体の効果とその持続性の検証が必要である。とくにゼオライトの交換容量は pH にほとんど依存しないから、土壌の性質にあまり支配されずに、安定したイオン交換体である。しかも安価であり実用性の高い資材である。畜産排水や畑地の排水管理には大いに利用される可能性がある。このシステムはゼオライトを用いるという点で一般の水質環境保全にとっても有効な方法であるので、これをシステムの中に組み込む実験をもつて継続実験中である。

7. 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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_2 溶液や Ca^{2+} 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、ソルトサイエンス財団および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。

8 引用文献

- Medina, S. M., 成岡 市, 三原真智人, 穴瀬 眞, 安富六郎 (1994): 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が土壌団粒の配列構造に及ぼす影響, 土壌の物理性, 70, 投稿中
- 佐藤晃一(1983): スレーキング, 土の理工学性実験がイト, 農業土木学会: 123-124
- 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

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

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

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

Erosion Protection System by Salt Additives

Kengo WATANABE(Tokyo Univ. of Agric. & Tech.)
Co-Researchers Rokuro YASUTOMI(Tokyo Univ. of Agriculture)
Manabu SENOH (Nihon Univ. Faculty of Sci.& Tech.)
Makoto ANASE (Tokyo Univ. Nodai Research Inst.)
Seisyu TOJO (Tokyo Univ. of Agric. & Tech.)
Machito MIHARA(Tokyo Univ. of Agriculture)

Many troubles of soil erosion are emerging in the cold area of Hokkaido where soil layers freeze and melt several times alternately in Winter and Spring thawing. For preventing the soil erosion we tried to make a resistant soil structure by addition of Calcium ion. The effects for erosion protection, slope soil conservation were evaluated by the slaking test by the measuring of soil particle dispersion ratio. The experimental site is selected at the upland field after consolidation in Abashiri, Hokkaido.

The alternative process between freezing and melting of the standard remolded sample were carried out in the laboratory. One cycle consists of 17 hours freezing time at -35 centigrade and 7hours melting time at +20 centigrade respectively. The 3 types of experiments were made by the addition of CaCl_2 solution, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution and the mixture of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ powder into soil samples. The dry soil of 100mg mixed with Ca ion of 200mg is called here by the name of Sample200, and so on.

1) The effects of CaCl_2 addition in the form of solution to the soil samples: There are no significant differences between sample 0 and Sample25, but Sample50 and Sample100 shows to be resistant against slaking that means low erosivity. Sample50 is not resistant when the alternative process is beyond 5 cycles. Sample100 is more resistant than Sample50 in low cycles (until 3 cycles), but less resistant in high cycles than others. Sample50 seems to be best among others.

2) The effects of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ addition in the form of solution to the samples : Sample0 is worst in erosivity. Sample50 and Sample100 are resistant but decreasing gradually with the number of cycles increasing. Sample200 shows generally better resistivity than other treatments, though it decreases at 12cycles.

3)The effects of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mixed in the form of powder to the samples: Sample50 to 200 show high resistivity except the low range of 1 to 3 cycles.

4) As the results among three types of experiments, it can be suggested that the effects of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mixing in the form of powder to the samples will be the best way because mixing is easy comparing others treatment to handle to increase the erosivity as well SS (suspended solid) decreasing occurred by particle coagulation.

5) Salt Additives can be more effective in combination with other erosion prevention facilities like settling pond and filter drainage system which traps soil particles out of slope erosion.

The effect of freezing on the pF curve is the same as that of drying. This experimental result shows us that the soil structural change will be occurred by expansion and shrinking of soil volume during thaw season. Ca addition makes effect to lower the freezing point of soil water as well as to tighten the soil structure.