

第2章 土性の相異が Dehydration 法の除塩効率に及ぼす影響

2-1. 背景と目的

これまでの豊浦標準砂を用いたカラム実験による Dehydration 法の研究では、Leaching 法との比較、最適除塩用水量やより除塩効果の高い灌漑方法、除塩用水濃度が検討されてきた。

しかしながら、実際の塩害地域の土壌を考えると、その物理性は様々であり、多様な土壌条件下での Dehydration 法の適用の可能性を検証する必要がある。そこで本研究では、土性の相違に着目し、それが Dehydration 法の除塩効率に及ぼす影響を検討することを目的とした。

2-2. 実験方法

本実験では、供試土の粘土含有量、除塩用水の灌水量および除塩回数を変数として実験を行った。実験は供試体作成、除塩作業、データの収集・処理の3段階に大きく分けられる。実験手順を図 2-1に示した。

2-2-1. 供試体作成

カラムは内径 100mm、高さ 10mm のアクリル製円筒 10 個をテープで繋ぎ合わせ、底部には濾紙(東洋濾紙社製 2 種、直径 11.0cm)とランダムに孔をあけたアクリル製多孔板(直径 10.0cm)を敷いて組立て、このカラムに供試土を充填した。また実際に塩捕集シートが敷かれる最上部には、高さ 2.0cm のリードを繋ぎ合わせた。実験カラムの断面および供試体の構成を図 2-2に示した。充填密度については最密と最疎の平均値とした。豊浦標準砂、木節粘土および供試土(S, C₅, C₁₀, C₂₀)の物理性を表 2-1に示した。

実験カラムの下半分には供試土のみを、上半分には供試土に塩化カリウム(KCl)41.14g(1:2 浸出溶液 3.1%相当)を顆粒状のままできるだけ均一に混入し、これを塩類集積供試体とした。豊浦標準砂は、塩濃度 2~3 μ S/cm(1:2 浸出法)になるまで純水で洗浄し、110°Cで 24 時間炉乾させた後、冷暗所で常温保存したものを用いた。供試土の作成においては、水と塩分の挙動を正確に見るために、別途用意したプラスチック容器内に試料土と KCl を入れ、十分に振って混ぜる方法を採用した。この方法で供試土を作成すると塩類分布および含水率分布にばらつきが少なく、また供試体の下半分には塩を含ませていないため、塩の移動に関して変数ごとの違いが明瞭化しやすいという利点がある(桑島ら, 2001)。

実験で使用した塩類は KCl で代表させた。その理由として、KCl は代表的な集積塩類のひとつであり、塩類量の測定に電気伝導度を用いる際に一価イオンが一種類である方が、容易に置換が行えること、また一定割合の粘土を混入した供試体を利用する場合、塩に NaCl を用いた場合に発生する粘土分散の影響が小さくて済むこと等が挙げられる。

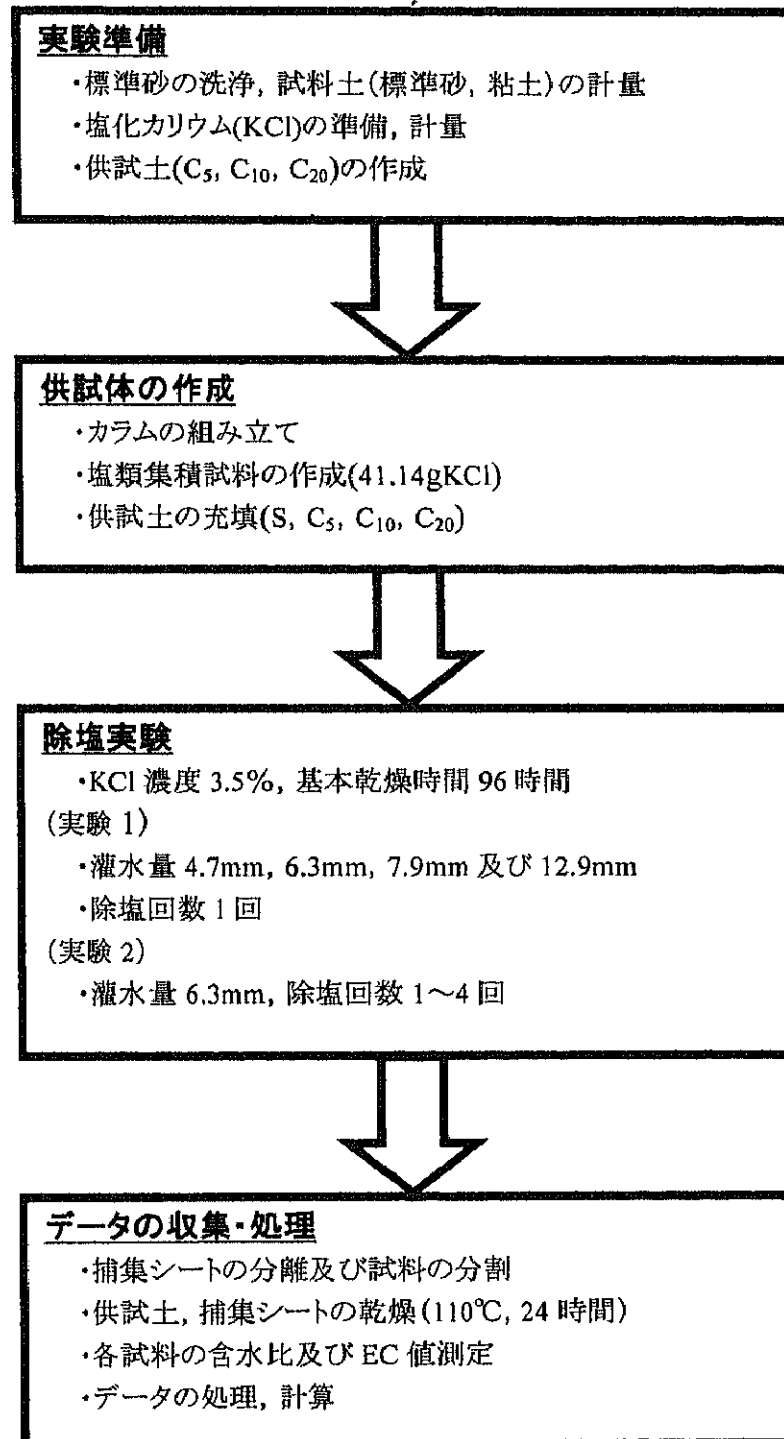


図 2-1 実験手順

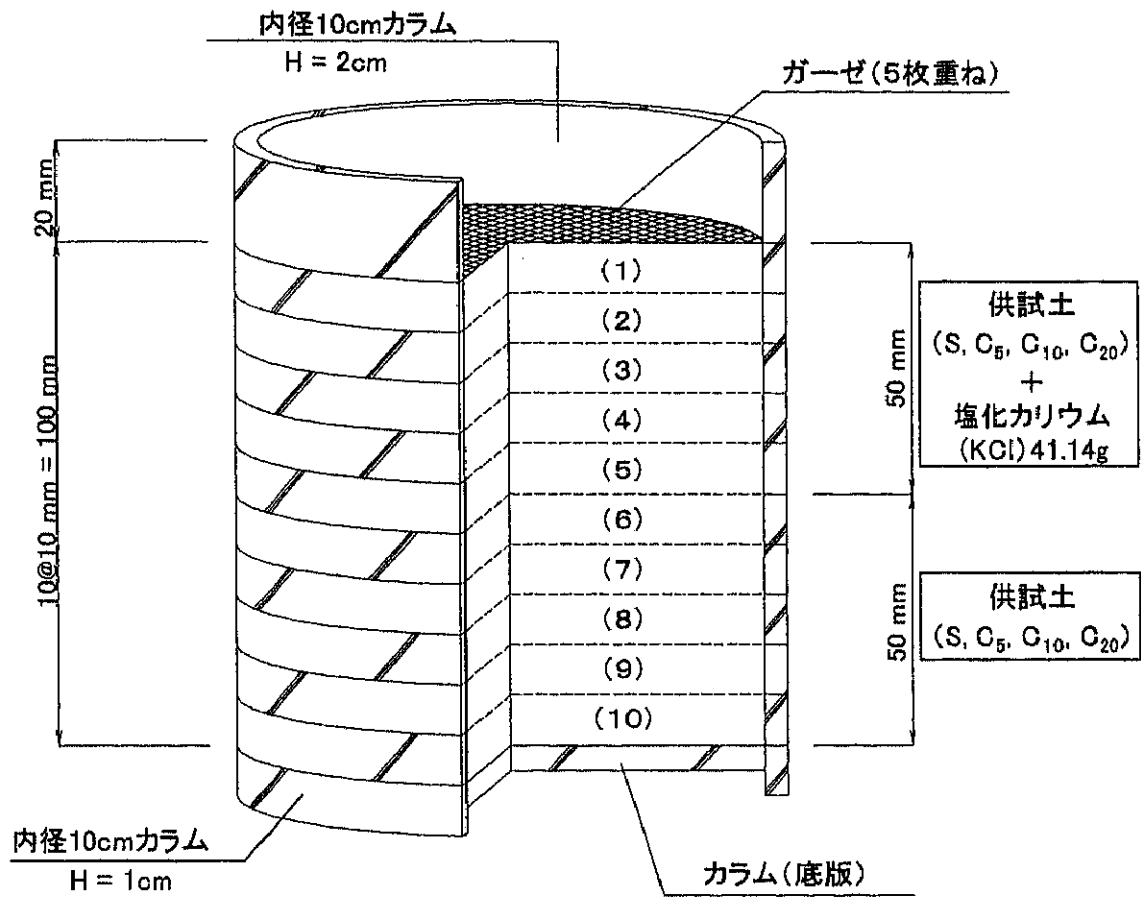


図 2-2 供試体の構成

表 2-1 供試土の物理性

供試体の土性		S	C ₅	C ₁₀	C ₂₀
カラム相当重量(g)	標準砂	1198.69	1126.65	1033.46	903.14
	木節粘土	0.00	59.30	115.00	225.68
	合計	1198.69	1185.95	1148.46	1128.81
土性(%)	砂	100.0	95.7	91.3	82.6
	シルト	0.0	1.0	1.9	3.8
	粘土	0.0	3.4	6.8	13.6
乾燥密度(g/cm ³)		1.53	1.51	1.46	1.44
間隙率(%)		42.0	42.6	44.3	45.2
比表面積(m ² /g)		0.296	1.32	2.45	4.99
カラム 1cm 当たり総表面積(m ²)		35.48	156.55	281.37	563.28

2-2-2. 除塩用水濃度および除塩用水量

実験の基本条件として、除塩回数 1 回につき乾燥時間 96 時間とした。この理由は、安部ら(2000)の豊浦標準砂を用いた場合の実験において、土壌表層と捕集シートの上に液状水の移動がなくなるとみなすのに十分な時間として 96 時間の乾燥時間が設定されていることから、この実験との乾燥条件の統一性を図るためである。供試体の供試土としては、これまでの Dehydration 法の実験で多く用いられてきた豊浦標準砂に木節粘土を混ぜたものを用いた。供試土の名称を混入の割合で区別し、粘土が全体重量の 5%、10%、20%を占めるものをそれぞれ C₅、C₁₀ および C₂₀ と称した。一方、標準砂のみの場合を S とした。KCl 溶液の濃度は、海水利用の可能性を検討することも考慮に入れるため海水と同等の塩濃度を採用して、3.5%KCl 溶液とした。灌水方法については、既に桑島ら(2001)によって灌水流束が除塩効果に影響を及ぼすことが分かっていることから、散水方式を採用した。

1 回あたりの除塩用水量は、各供試土に対してそれぞれ 4.7mm、6.3mm、7.9mm および 15.7mm を設定した。これまでの Dehydration 法の研究から、供試体に豊浦標準砂を用いた実験において、7.9mm で除塩用水利用効率が最大値を示している(安部ら、2000)。従って、粘土を含んだ供試土を用いる今回の実験においても、7.9mm を中心としてその 60%(4.7mm)、80%(6.3mm)および 2 倍(15.7mm)の除塩用水量をそれぞれ設定した。除塩用水量の最大値 15.7mm では底部からの排水が起こらないことは安部ら(2000)によって確認されている。設定した除塩用水量について、間隙体積に間隙体積比 1.87 を乗じて Leaching 法における最適除塩用水量を計算し(Gardner and Brooks, 1956)、その比率を表 2-2に示した。また最近の研究では 7.9mm の 80%量の 6.3mm 付近で除塩用水利用効率が最大値を示したと報告されている(桑島ら、2001)ことから、除塩回数については 1 回の灌水あたり 6.3mm を基本量とし、2 倍の 12.6mm、3 倍の 18.9mm、4 倍の 25.2mm についてそれぞれ 1~4 回灌水し、実験を行った。

2-2-3. 塩捕集シート

塩類捕集材としては、これまでの Dehydration 法に関する研究との統一性を図り、

天然繊維製品で塩類の吸着効率が高い医療用ガーゼ(東栄衛材株式会社製矢羽十字印)を5枚重ねにしたシート状のガーゼを用い、供試体の土壌表面に敷設した。

表 2-2 供試土の除塩用水量と間隙体積比

土性	S	C ₅	C ₁₀	C ₂₀
間隙体積(cm ³)	329.87	334.58	347.93	355.00
最適除塩用水量(Leaching 法)(mm)	78.54	79.66	82.84	84.52
間隙体積比(倍)				
除塩用水量 4.7mm	0.11	0.11	0.11	0.10
〃 6.3mm	0.15	0.15	0.14	0.14
〃 7.9mm	0.19	0.19	0.18	0.17
〃 15.7mm	0.37	0.37	0.35	0.35

2-2-4. 除塩作業

実験装置の概略を図 2-3に示した。はじめに灌水装置(図 2-4)をセットし、給水ガラス管に除塩用水である KCl 溶液を注いだ。その後コックを開き、空気を抜きながらビニール管内を KCl 溶液で満たした。注水口の針から除塩用水が溢れ始めた時点でコックを閉め、注水部を実験台にセットした。ビニール管内の空気を排出したのは、灌水流束を一定に保つため、給水ガラス管のコックの開閉で灌水量をコントロールしやすくするためである。

以上の準備操作が終わった後、コックの開閉によって灌水の開始と中止が確実にできることを確認した。あらかじめ用意しておいた塩類集積供試体の土壌表面に捕集シートを敷設し、電子秤に乗せた供試体の土壌表面が針先から 10cm の位置になるように注水部の真下に据え、重量を測定しながら除塩用水(KCl 溶液)を土壌表面に灌水して除塩処理を行った。除塩処理はすべての実験においてほぼ同じ灌水流束条件下(0.02cm/s)で行った。除塩作業が 2 回以上行われる場合については、それぞれの除塩作業前に捕集シートを交換した。捕集シート敷設後に灌水作業を行ったのは、除塩用水でシートが湿ることによってシートと土壌との密着性が向上し、土壌溶液のシートへの移動が促進されるためである。桑島らは灌水流束を(2.1)式のように定

義しており(2001), 本実験においても同様に用いた.

$$q = V / At \quad (2.1)$$

ここで, q : 灌水流束(cm/s), V : 灌水装置への除塩用水投入量(cm^3), A : 灌水装置底面積(cm^2), t : 灌水時間(s)である.

乾燥過程における恒温恒湿槽内の乾燥条件としては, オーストラリア西部の乾燥地域における夏季の状態を再現するため, 可能蒸発量 13mm/day となる環境を想定し, 乾球温度 40°C , 湿球温度 30.3°C , 相対湿度 50%, 飽差 3.92hPa とした. また, 供試体の側面からの熱の影響を極力取り除くためにカラム側面に発泡スチロールを二重に巻きつけて断熱した(図 2-5).

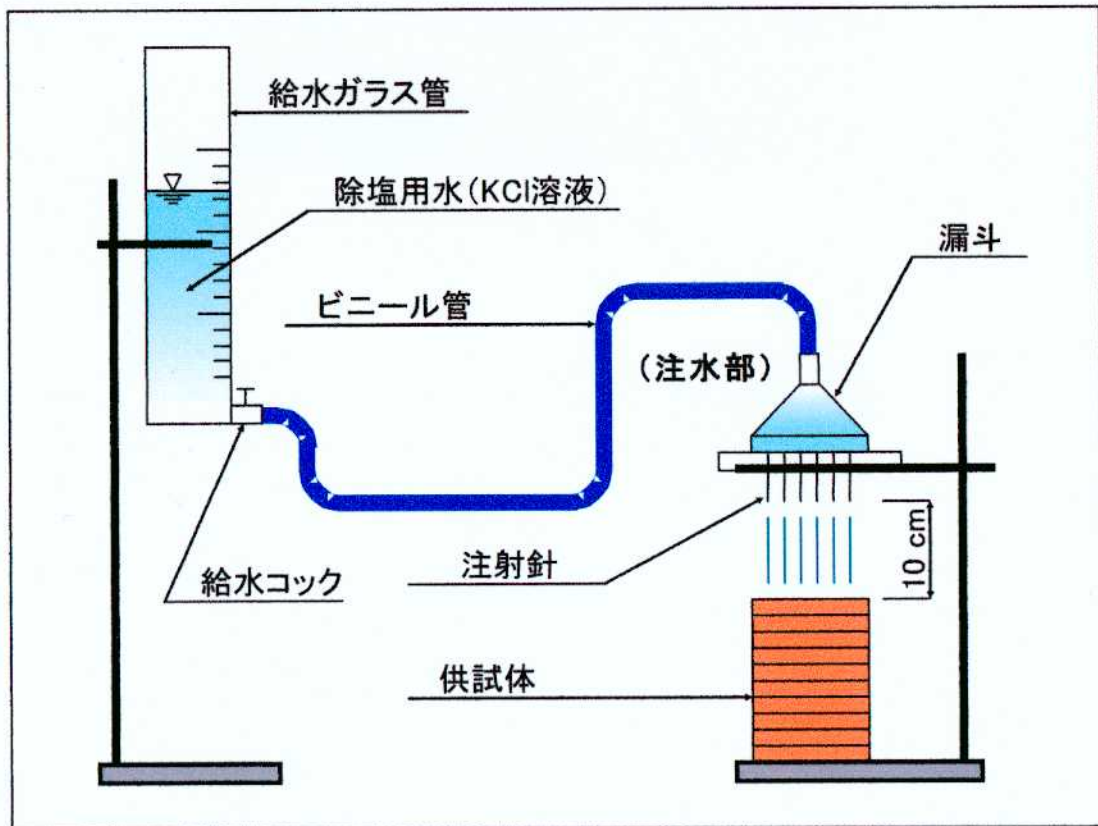


図 2-3 実験装置概略図



図 2-4 灌水装置



図 2-5 断熱材を巻いたカラム

2-2-5. 試料の分割と含水量および電気伝導度の測定

除塩実験が終了した時点で供試体を恒温恒湿槽から取り出し、層厚 1cm 毎に分割して、湿土質量を計測した後に 24 時間絶乾させた。絶乾後の土壌の質量を再び計測して含水量を算出した。その後、絶乾土壌に絶乾土壌質量の 2 倍の純水を加えてよく攪拌し、土壌懸濁液に塩類を抽出させた後に測定された電気伝導度から塩濃度を算出した(長堀ら, 1982)。なお、1:2 浸出法による土壌の塩濃度の算出は、この抽出された土壌懸濁液の電気伝導度と浸出溶液の塩濃度との関係をあらかじめ測定しておき、(2.2)式に示す相関式を用いて行った。

$$\left. \begin{array}{l} y = 10^{-4.3548} \times x^{1.0323} \\ R^2 = 0.9998 \end{array} \right\} \quad (2.2)$$

ここで、 y : 浸出溶液の塩濃度(%), x : 電気伝導度 (EC 値) ($\mu\text{S}/\text{cm}$)である。

捕集シートについては、土壌表面から剥離して質量を計測した後に絶乾させ、質量測定後 200cm^3 の純水を加えて電気伝導度を測定した。電気伝導度の値を KCl 濃度に換算し、その KCl 濃度および溶液量から各層の体積当たりの塩類絶対量を算出した。

2-3. 実験結果と考察

2-3-1. 除塩実験後の供試体の状況

乾燥過程終了後の供試体は、集積した塩類により捕集シートが硬化した状態であった。またシート表面に集積した塩類は白く結晶化しており、粘土含有量の低い供試土ほど顕著に見られた。粘土を含む供試土では、シート直下にクラストが形成されており、除塩用水量が大きいほど硬く、また厚い傾向が伺えた。クラストが厚く形成されている場合には、捕集シートとそれに密着したクラストが一体化し、実験開始直後の高さより若干浮き上がっていた。

2-3-2. 除塩率と除塩用水利用効率

4 種類の供試土(S, C₅, C₁₀, C₂₀)に対して灌水量を変化させながら行った実験における、除塩率と除塩用水量の関係を図 2-6に示した。また桑畠ら(2001)による豊浦標準砂を用いた場合の実験結果を参考として示した。除塩率の算出方法として以下の式を用いた。シートによる塩捕集量は、実際に採取された塩捕集量から除塩用水中に含まれる塩量を差し引いた量とし、修正塩捕集量と称した。

$$D = (C_c / C_0) \times 100 \quad (2.3)$$

ここで、 D : 除塩率(%), C_c : 修正塩捕集量(g), C_0 : 供試体含有塩量(g)である。

実験の結果、S, C₅ については除塩用水量が多いほど、その除塩率は高くなる傾向が見られた。C₁₀ では除塩用水量の大小に大きく影響されず、除塩率は 0%前後を推移した。一方で、C₂₀ における除塩率は最も少ない除塩用水量 4.7mm において既に負の値を示し、除塩用水量が増えるに従って、負の値は増加する結果となった。これは即ち、除塩用水に含まれる塩量さえも捕集することができず、供試体中に蓄積されていることを示している。

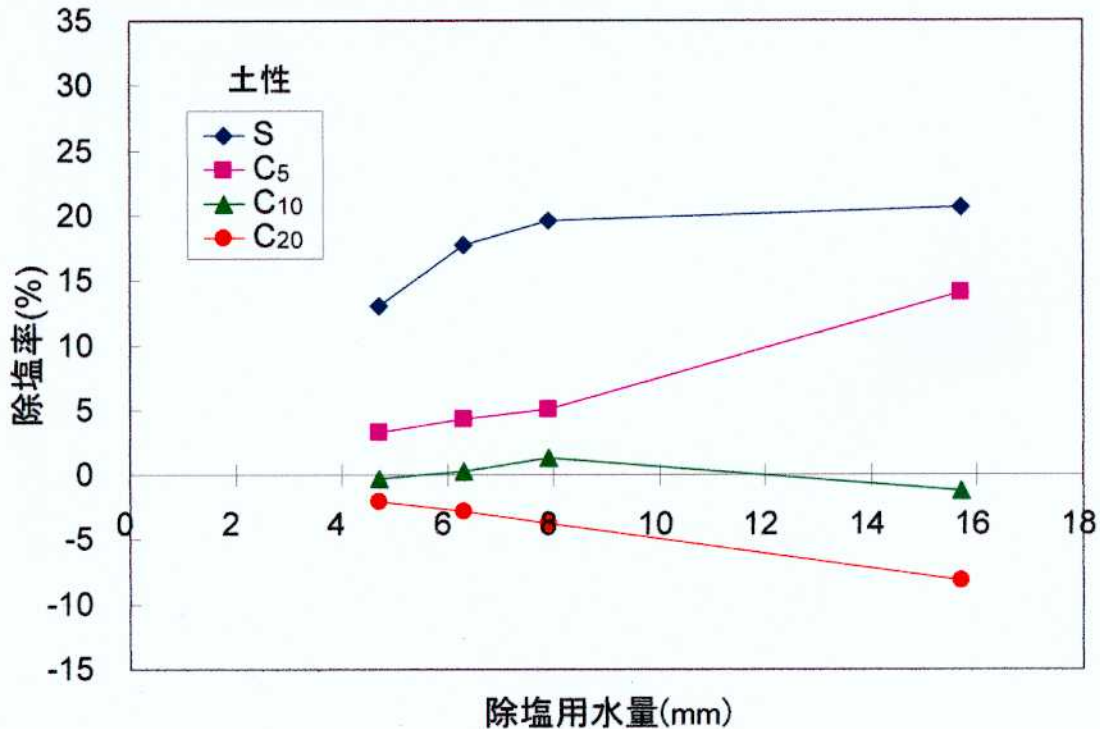


図 2-6 除塩用水量と除塩率変化

また、除塩用水利用効率を図 2-7に示した。除塩用水利用効率は、修正塩捕集量を塩捕集のために用いられた除塩用水量で除したものである。

$$E = C_c / I_q \quad (2.4)$$

ここで、 E : 除塩用水利用効率(g/mm)、 C_c : 修正塩捕集量(g)、 I_q : 除塩用水量(mm)である。

供試土 S の場合の除塩用水利用効率が、4.7mm と 6.3mm でほぼ同じ高い値を示した後、除塩用水量が増加するに従って減少しているのに比べ、粘土が混入されている供試土の場合は、除塩用水量に関係なくほぼ一定であり、また C_5 、 C_{10} 、 C_{20} と粘土含有率が高くなると除塩用水利用効率は低くなる結果となった。

これらの実験結果から、供試土に粘土が含まれると標準砂のみ用いた場合に比べ、除塩率および除塩用水利用効率が極端に下がることが分かる。また本実験条件下では、 C_{10} よりも粘土が多く含まれる土壤では土壤中の塩類をガーゼに捕集することはできず、むしろ除塩用水に含まれる塩類の一部が土壤中に残留してしまう結果となったことから、Dehydration 法を適用する際に高塩濃度の除塩用水を用いる場合、対象土壤に含まれる粘土含有量はその除塩率を大きく左右すると推察される。

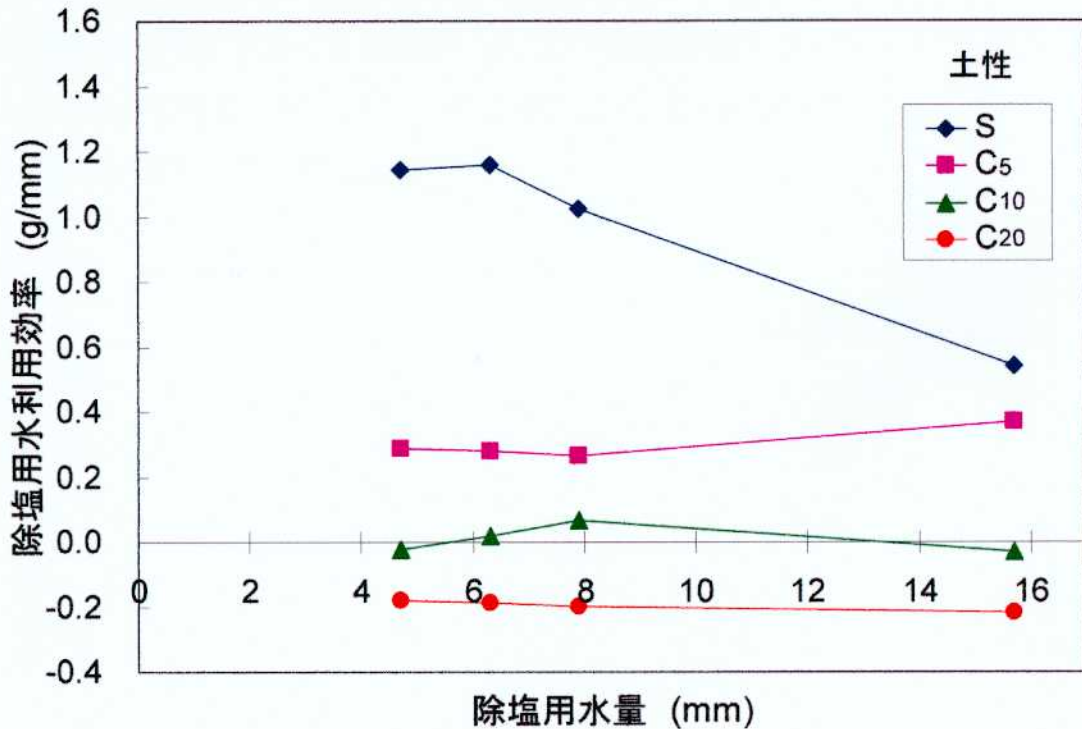


図 2-7 土性別除塩用水利用効率変化

ここで各土性の比表面積に供試土 1cm 厚当たりの重量を乗じて求めた総表面積と除塩率の関係を図 2-8に示した. 粘土含有率が高い, つまり総表面積が大きくなるほど除塩率が低下するという相関関係が見られた. また本実験条件下では, C₁₀ の総表面積付近で除塩率は負に転じ, それよりも大きな総表面積を持つ供試土ではすべての場合で負の値を示している. これは以下のように説明できる. 粘土を含まない場合には, 土壤溶液の土壤吸着は比較的小さく, 毛管現象により土壤溶液が捕集シートまで上昇した結果, 塩類の捕集が効率よく行われた. 一方, 粘土を含む供試土の場合には比表面積が大きく, 吸引力によって土壤溶液が土粒子表面に保持され, 加えて不飽和透水係数が小さいために, 土壤溶液の捕集シートへの移動が制限された結果, 除塩率が低下したと推察される. また, 粘土を含む供試土においては, 捕集シートとして利用した医療用ガーゼの吸引圧よりはるかに高く, 粘土含有率が高くなるほど除塩率が低下する結果を招いた一因と考えられる.

除塩率を左右する要因としては, 塩類の初期状態も挙げられる. 自然集積した状況では, 析出した塩類の濃度は一般的に土壤表面において最も高く, 深さ方向に漸減する. 本実験では, KCl は顆粒状のままできるだけ均一にカラム 4~5cm まで混入

されており、自然集積状態とは分布状況が異なる。土粒子表面に塩が吸着している自然集積状態に比べて顆粒状の KCl は比較的除塩用水に溶解しやすいと考えられ、また溶解後の土壌間隙は大きくなることから透水係数は大きくなり、土壌溶液の移動に影響を与えると推察される。

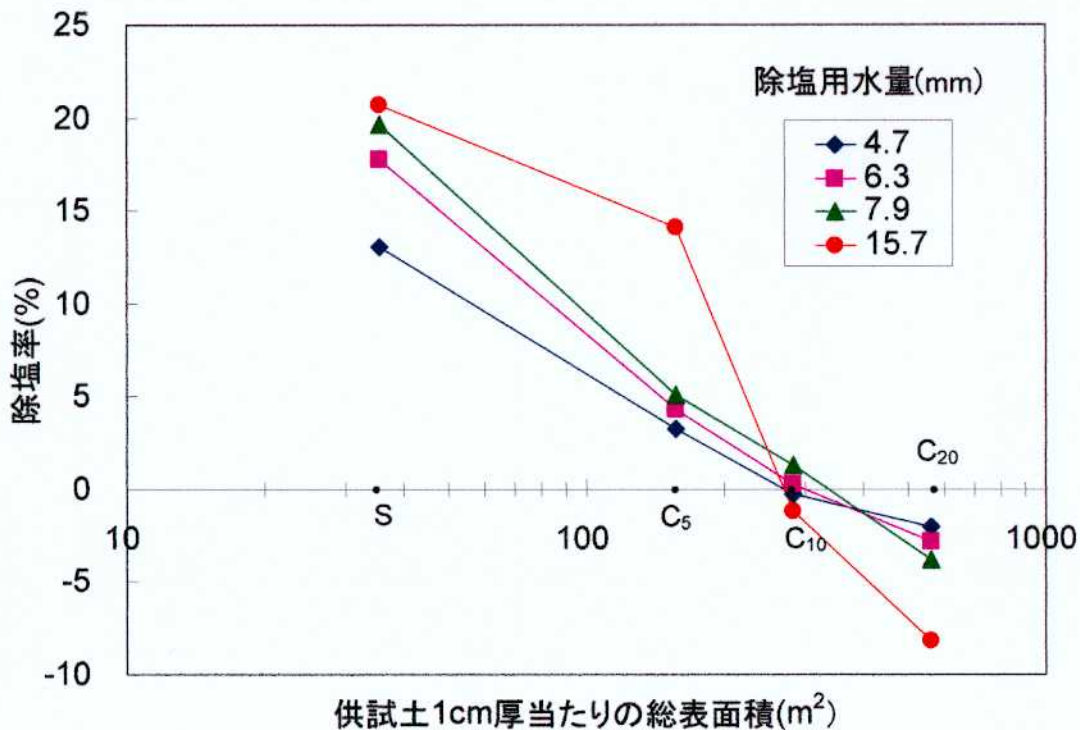


図 2-8 総表面積と除塩率変化

2-3-3. 体積含水率と含塩比

灌水量と土性別除塩率に相関が生じた原因を検討することを目的として、乾燥過程終了後の供試体を 1cm ずつに分割し、それぞれの体積含水率および含塩比を算定した。図 2-9、図 2-10に各灌水量における乾燥過程終了後の体積含水率および含塩比を土性別に示した。ここで含塩比は乾燥過程終了後の供試土中に含まれる塩分総量に対する各層の含塩量の割合を示したものである。

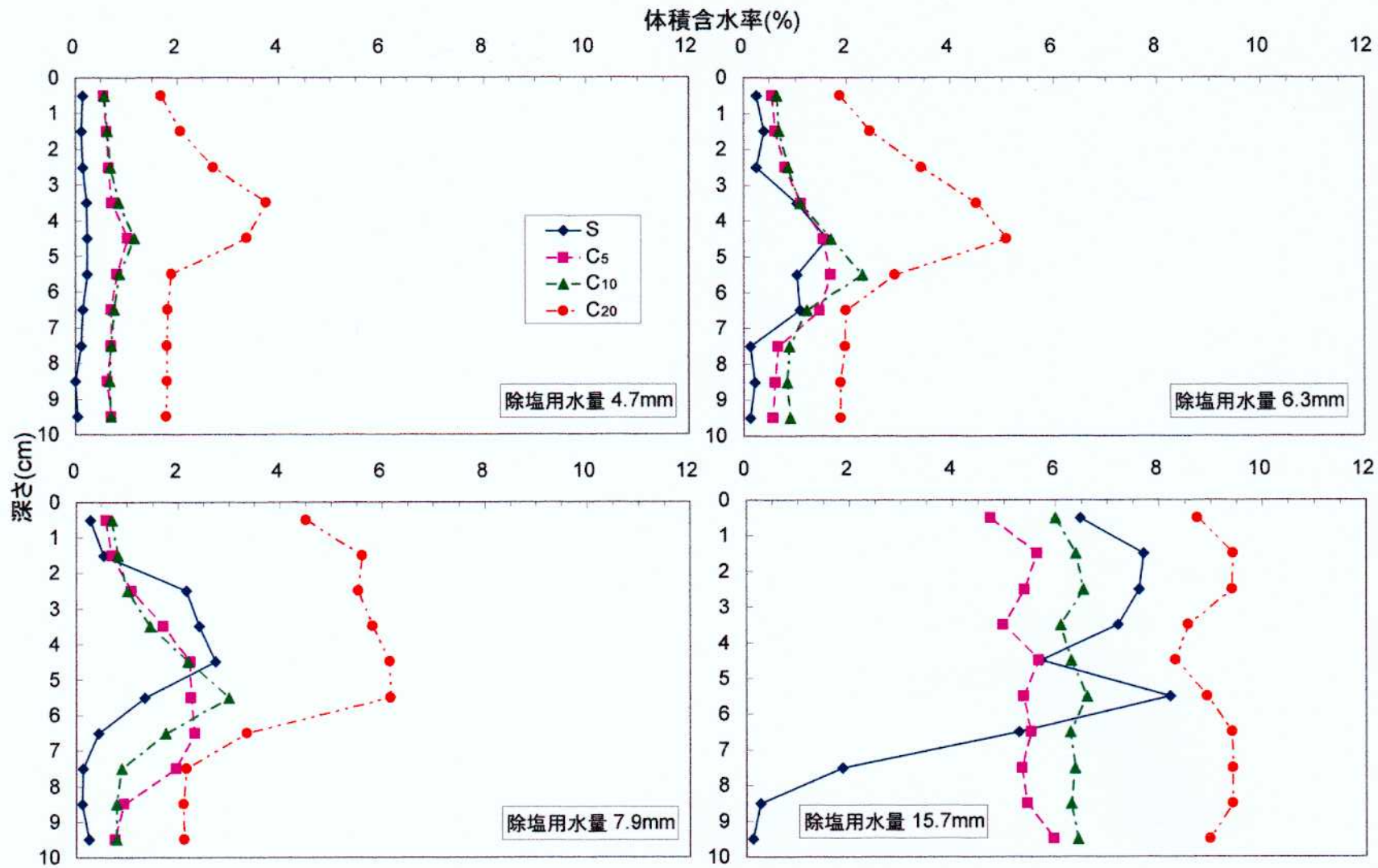


図 2-9 土性別体積含水率変化

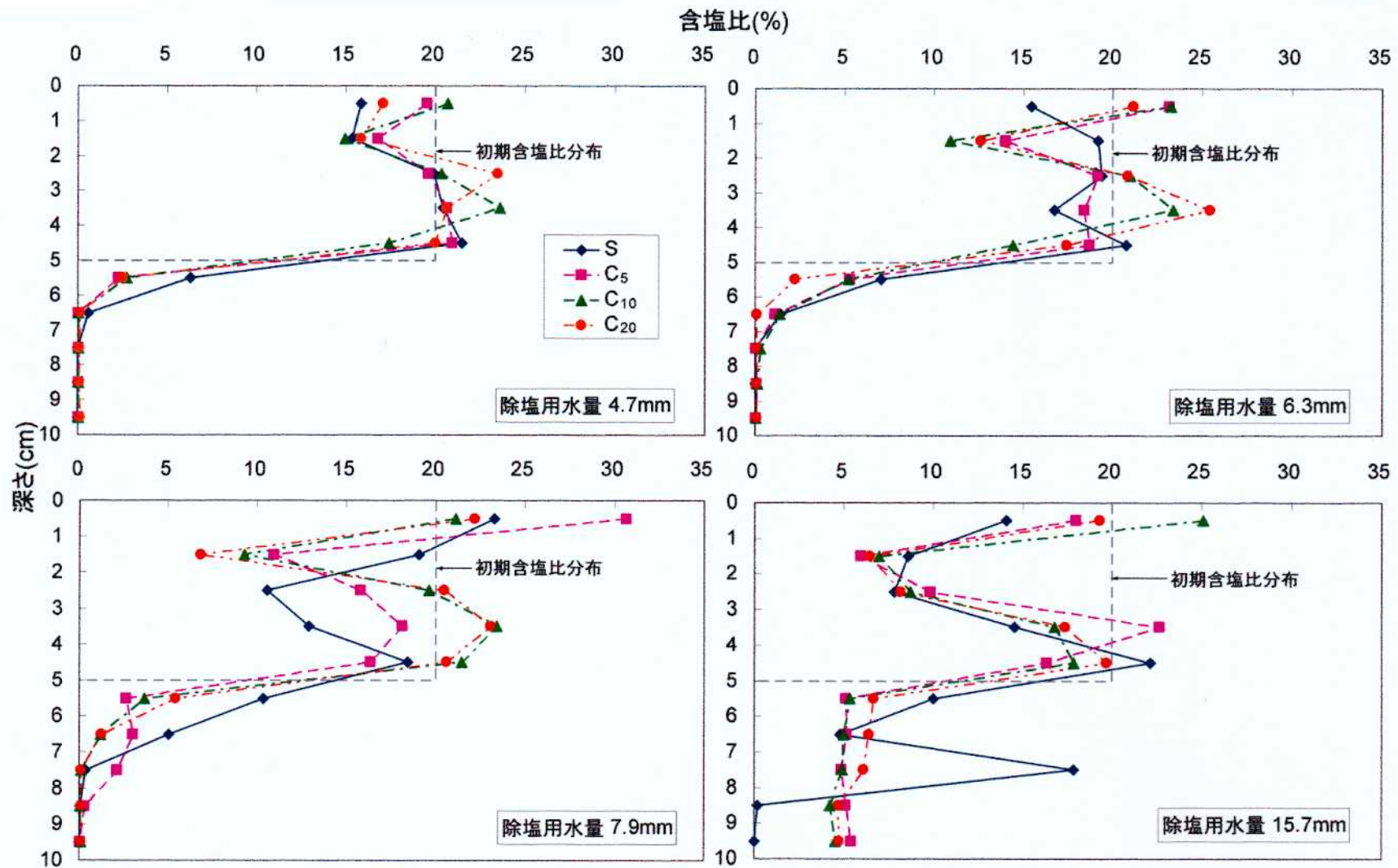


图 2-10 土性別含塩比变化

カラム全体の体積含水率については、除塩用水量 15.7mm の場合とそれ以外では、その傾向は若干異なる。除塩用水量 4.7mm, 6.3mm, 7.9mm の場合では、含水率は供試土 S が最も低く、次いで C₅, C₁₀, C₂₀ の順に高くなる傾向が見られた。また S, C₅, C₁₀ の各層の体積含水率が比較的近い値を示しているのに対して C₂₀ はより高い含水率を示している。各層の含水率は、カラム 0~1cm から徐々に増加し、カラムの中間高さに相当するカラム 4~5cm および 5~6cm 付近でピークを示した後に急激に減少している。除塩用水量が増加するに従ってこの傾向は大きくなる。一方、除塩用水量 15.7mm では、粘土を含む供試土の場合は、その含有量が多いほど含水率は大きく、また供試土表層から最深部まで概ね均一な含水率を示した。供試土 S の場合は表層からカラム 5~6cm までは比較的高い含水率を示しているが、その後急激に小さくなっている。

含塩比については、粘土を含む供試土の場合はすべての除塩用水量において、カラムの上方(深さ 0~5cm)で S 字状をなしており、深さ 6cm 以深で急激に含塩比は小さくなっている。S の場合については 4.7mm と 6.3mm において表層部がカラム 1~2cm の含塩比と同等若しくは低い結果となり、除塩用水量が 7.9mm 以上になるとその傾向は逆転している。また、4.7mm の場合に含塩比が高い値を示したカラム 3~4cm では、除塩用水量が 7.9mm になると逆に小さな値となり、凹状を呈している。除塩用水量が増えるに従い、凹状を示す位置が徐々に上方に移動しているのが分かる。一方、いずれの除塩用水量においてもカラム 4~5cm においては高い含塩比を示している。

これらは次のように説明できる。まず浸潤過程であるが、土性が同じ場合、除塩用水灌水直後の除塩用水の到達深さは、その量が少ないほど浅く、多いほど深くなると考えられる。これはひとつには、除塩用水量が多いほど、灌水直後の溶液を含む層と下層の乾燥層とのポテンシャル勾配が大きくなるためであり、もうひとつは灌水流動が等しいとき、除塩用水量が多いほど灌水時間が長くなり、灌水時間が長いほど、土壤溶液の浸潤も進むためである。また土性が異なる場合には、粘土含有率が高く、土壤溶液の塩濃度が高くなるほど、供試土の持つ透水性は小さくなることから、除塩用水量が同量の場合は、粘土含有量が多くなるに従い、溶液の浸潤速度が極端に小さくなる。灌水終了後は溶液が浸潤していく一方で、土壤表層部では新たな溶液の流入が行われないうえに、再分配によって体積含水率は低下し、透水性はさらに低下す

る。従って、灌水時間が短く、粘土含有量の多い供試土ほど、灌水直後の除塩用水の到達深さは浅くなり、土壌内の塩類を溶解するのも時間がかかることになり、灌水直後には供試土に投入された塩類が十分に溶解していないと推察できる。本実験装置では、浸潤プロセスの経時変化を記録することが困難であったため、今回の研究の課題となる。

次に乾燥過程に入ると、土壌溶液は下方への移動が進む一方で、捕集シート表面での蒸発が開始される。時間の経過とともに乾燥が進むと、捕集シートに吸収された溶液の水分のみが蒸発し、塩類の集積が始まる。供試土表層部では捕集シートでの水分蒸発に伴い土壌溶液の毛管上昇が起こるが、重力ポテンシャルによる土壌溶液の下方移動も同時に行われていると推察される。この時、旺盛な毛管上昇の影響下にある層では、土壌溶液に溶け込んだ KCl が表層まで移動、集積するが、同時に溶液の下方移動によって再分配も行われることになる。そのため、表層直下に含塩比の低い層ができる。層が深くなるほど毛管上昇の影響は弱まり、土壌溶液は拡散を伴い、また混入された KCl を溶かしながらさらに下方へと移動する。透水係数と灌水後の経過時間および除塩用水量が浸潤到達深さを決定する因子であり、除塩用水量が多いほどより深く浸潤している。また塩捕集に関しては、乾燥開始後の恒率蒸発期よりも、減率蒸発期に移行してから旺盛に行われる(桑畠・安部, 2001)。つまり、恒率蒸発段階では比較的高いマトリックポテンシャル下にある土壌溶液の蒸発が旺盛に行われ、減率蒸発期に移行する(乾燥が進む)に従い、捕集シートおよび表層部のマトリックポテンシャルが低下し、土壌溶液の移動が活発になる。乾燥がさらに進むと、より高い力(吸引圧)によって土粒子に保持される土壌溶液のみが土壌中に残されるが、その段階では土壌溶液の移動はほとんど行われなくなる。粘土含有率が高くなれば、上述したようにその透水性はより小さくなり、乾燥過程における土壌溶液の上方移動も難しくなる。

ここで、シートの塩捕集量と供試土上層部の含塩量および含水量の関係を考察する。捕集シート、カラム 0~1cm および 1~2cm に集積した塩分量の関係を図 2-11に示した。

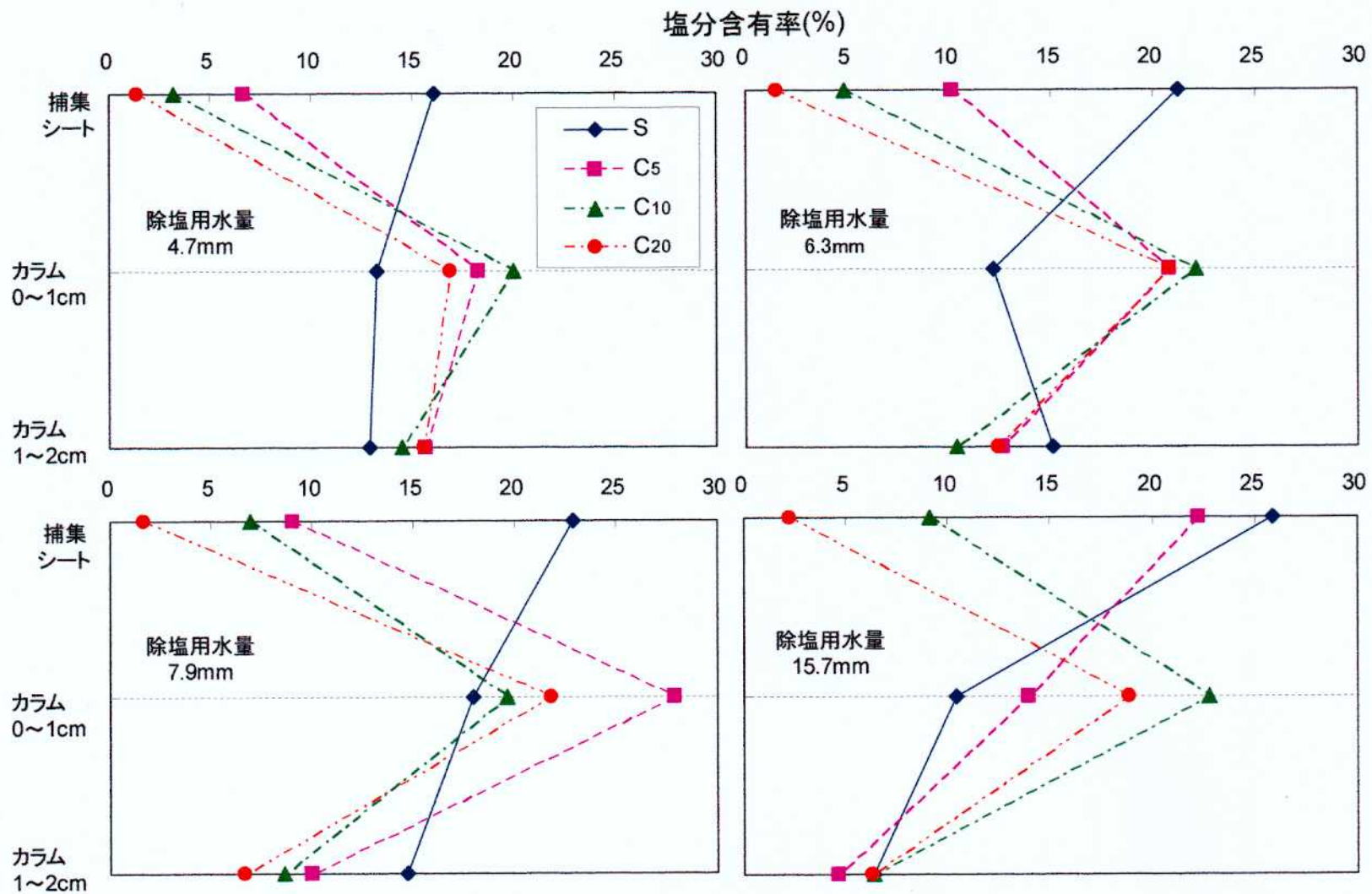


図 2-11 シートと表層部における塩分含有率

供試土および除塩用水に含まれる総 KCl 量に対する各層の塩分量の割合を塩分含有率と称した。

$$R_{sal} = \frac{M_{sal}}{M_c + M_{in}} \times 100 \quad (2.5)$$

ここで、 R_{sal} : 塩分含有率(%), M_{sal} : 各層の塩分量(g), M_c : 供試体中の初期塩分量(g), M_{in} : 除塩用水に含まれる塩分量(g)である。

供試土 S の場合はすべてのケースで捕集シートの塩分含有率が供試土のカラム 0~1cm およびカラム 1~2cm を上回っており、塩類が比較的効率よく捕集シートに移動している。粘土を含む供試土では、カラム 0~1cm で塩分含有率のピークを示しており、KCl がシートに捕集されていないことが分かる。15.7mm の場合の C₅ において S の場合と同様、効率よく塩捕集されているのは、他のケースに比べ、塩分の移動に必要な土壌溶液が多く残されていたためと考えられる。

また、捕集シートからカラム 1~2cm までの乾燥過程終了時の体積含水率と各層に含まれる KCl 量の関係を、横軸に下層と上層の体積含水率の差に対する下層の体積含水率の比、縦軸を下層と上層の KCl 量の差として図 2-12 に示した。なお捕集シートの体積含水率は、他の層と同容積を有する土層の 1 つとみなし、実験終了時の捕集シートに含まれる水分量から算定した。

捕集シートとカラム 0~1cm の間では土性に関わらず体積含水率の差が大きく、溶液移動が本実験における乾燥過程終了時にはほとんど行われていないことが分かる。この時供試土 S の場合は、KCl 量の差が負の値を示していることから、カラム 0~1cm よりも捕集シートの KCl 量が大きい。粘土を含む供試土の場合はカラム 0~1cm の KCl 量の方が、また粘土含有率の高い供試土ほど大きい傾向にある。このことから、捕集シートとカラム 0~1cm の間では塩分移動に必要な土壌溶液の不足が効果的な塩捕集に影響を与えたと考えられ、また供試土の粘土含有率が大きいほど、捕集シートとカラム 0~1cm の間を移動可能な液状水が早く失われたと推察される。

捕集シートとカラム 0~1cm 間に比べ、カラム 0~1cm とカラム 1~2cm 間ではいずれのケースも体積含水率の差が小さく、土壌溶液が連続していることから、カラム 1~2cm からカラム 0~1cm への塩分移動も効率的に行われている。

これら各層の間の溶液および塩分移動に差が生じたのは、各層の持つ物理性の相異にその原因があると考えられ、より効率的に塩捕集を行うためには、捕集シート

に何らかの工夫の必要性があると考えられる。

さらに、粘土含有率が高く、除塩用水量が多い場合に土壌表面に顕著に形成されるクラストが、その除塩率に関連していると推察される。捕集シートと土壌表面は、恒率蒸発期に乾燥が進むが、この段階でクラストの形成は始まる。クラストは非常に緻密で、その間隙は細かな粘土粒子および集積した塩類で塞がれた状態であり、クラストが形成されると、たとえ薄くてもシート表面での水分蒸発が抑制されることにより土壌溶液の移動が制限され、クラストが発達すれば捕集シートへの塩移動、集積はほとんど行われなくなる。その形成プロセスは本実験においては確認できなかったが、粘土含有率が高いほどその形成速度は速く、捕集シートの除塩効果を著しく低下させる結果になったと考えられる。同時に灌水直後にはやや膨潤状態にあったと考えられる粘土が凝縮して、クラストを含む乾燥した供試土表面とその下層部との間に間隙が生じたことが(カラム 0~1cm 層内)、土壌溶液の捕集シートへの移動を困難にした一因であると考えられる。

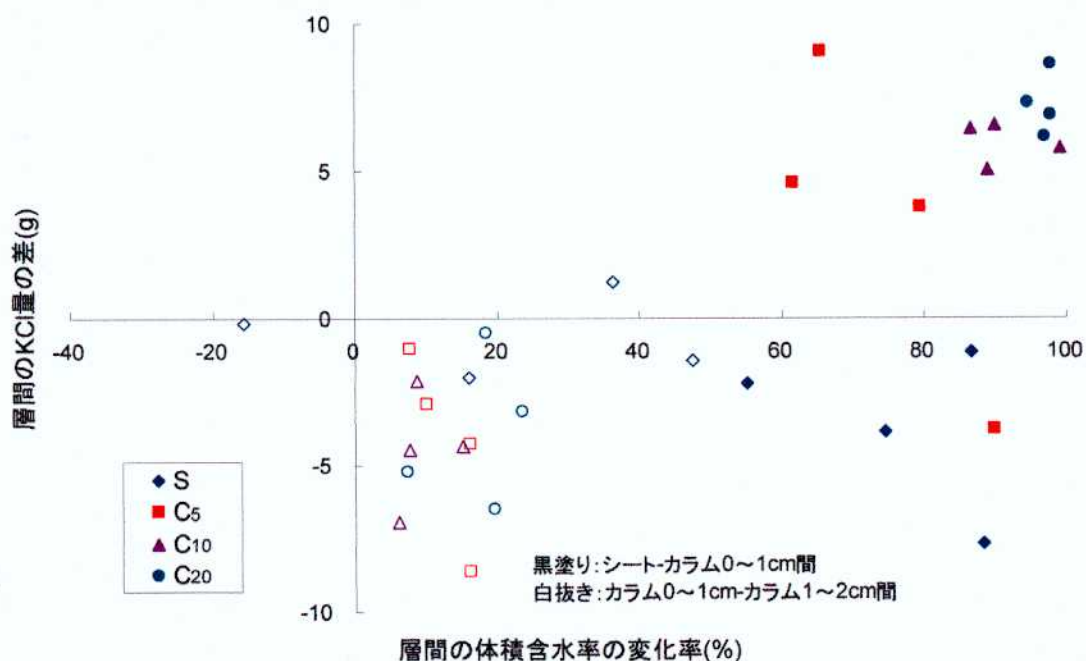


図 2-12 KCl 変化量と体積含水率の変化率の分布

2-3-4. 除塩用水濃度と除塩率の関係

除塩用水に含まれる KCl 量は、その濃度と除塩用水量および灌水面積から算出することができる。除塩用水濃度と除塩用水量当たりの KCl 量は比例関係にあり、内径 10cm のカラムの場合、図 2-13 の直線で示すとおりである。同時に、粘土を含む供試土(C₅, C₁₀, C₂₀)の除塩用水量当たりの実塩捕集量をプロットした。S については粘土を含む供試土に比べて実塩捕集量が大きいと省略した。ここで、実塩捕集量は除塩用水中の KCl 量を含めた実際の塩捕集量である。C₅ は直線の上方に位置しており、実塩捕集量が、除塩用水に含まれる塩量を大きく上回っていることが分かる。C₁₀ では直線に重なるように分布しており、除塩用水中の KCl 量と実塩捕集量がほぼ等しい。C₂₀ については、直線よりも大きく下方に分布していることから、除塩用水中の KCl 量が実塩捕集量を大きく上回っている。3.5%濃度の除塩用水を用いた本実験では、重量比率で 10%以上の粘土を含む場合には、除塩用水に含まれる KCl は捕集されていないことが分かる。

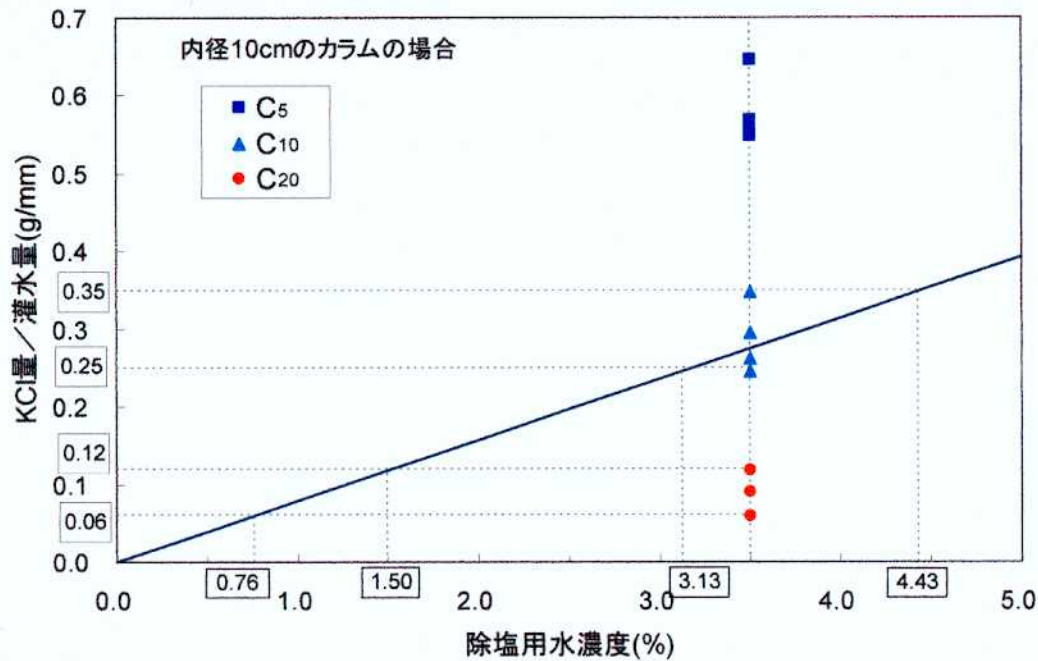


図 2-13 適用可能除塩用水濃度

Dehydration 法における実塩捕集量の決定には、塩移動に関わる因子が支配的であり、除塩用水濃度には大きく左右されないと仮定するならば、本実験条件下におい

て 10%を越える粘土含有率を有する供試土に対して効果的な除塩を行うためには、その土性に応じてより低濃度の除塩用水を用いる必要がある。

2-3-5. 除塩回数と除塩率、体積含水率および含塩比との関係

供試土 C₁₀と C₂₀ について、除塩用水量 6.3mm で除塩作業を 4 回繰り返して行った場合の修正塩捕集量の累積量と除塩率を図 2-14に示した。桑畠らによれば、供試土 S に対して除塩用水量 15.7mm で除塩回数を増やした場合、実塩捕集量は比例的に増加し、また回数を重ねるほど除塩率は徐々に低下する傾向にあった(2001)。この時 1 回あたりの実塩捕集量は 10g 以上、除塩率は 15%以上であった。C₁₀ の修正塩捕集量の累積量は除塩作業回数を重ねると少しずつ上昇しているが、除塩率は低下する傾向にあった。一方 C₂₀ では、徐々に KCl が供試土中に蓄積しており、除塩率も負の値を示しながら推移している。これらの結果は、前項で行った実験から予想しうるものであったが、3.5%の除塩用水を用いた場合でも、C₁₀ 程度の粘土含有率であれば、繰り返して除塩作業を行うことで、塩捕集量を高めることができた。

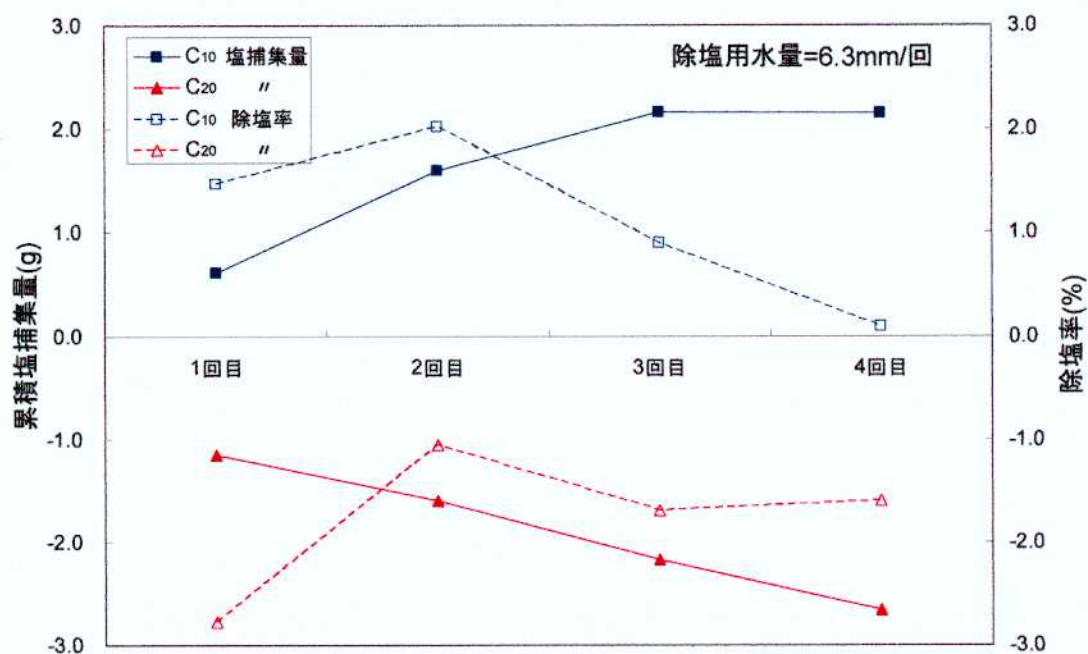


図 2-14 累積塩捕集率と除塩率変化

また、この時の C_{10} と C_{20} の各除塩回数での体積含水率と含塩比を図 2-15 に示した。体積含水率では、 C_{10} については、灌水直後にはカラム上部に除塩用水のほとんどが留まっているのが分かる。特にカラム 0~2cm で含水率が高く、それより深くなるに従い含水率は減少している。カラム下部(深さ 6~10cm)にはほとんど浸潤していない。 C_{20} についても灌水直後の含水率は同様のことがいえる。ただし、 C_{20} ではカラム 2~3cm と 3~4cm の間により大きな差が見られ、難透水性の傾向が強く表れている。それ以深は除塩回数を重ねるごとに含水率が高くなっており、膨らむような曲線を描いている。

また両供試土ともに各除塩回数で表層から一定深さまではほぼ同じ値を示しており、全体的に C_{10} よりも C_{20} の方が高い含水率を示している。これは、各回のマトリックポテンシャル勾配がほぼ一定であるため、その影響を受けて溶液の上方移動が行われるカラム上部では同じ結果になり、さらには、土壤溶液を吸着する粘土をより多く含むために C_{20} の体積含水率が高くなったと考えられる。また、カラム中央部以降の含水率の変化は、上方移動が行われず、重力ポテンシャルによって徐々に土壤溶液が下方に再分配したものと推察される。桑島らが行った S の場合の実験でも、除塩回数が多い(総除塩用水量が多い)ほど土壤溶液の下方への再分配の傾向が指摘されている(2001)。含塩比で特徴的なのは、表層部の体積含水率が各除塩回数で概ね等しいのに対して、含塩比は徐々に減少していることである。これは表層に形成されたクラストが、各回の灌水作業によって一旦分解され、そこに集積していた塩類の一部が洗脱されたあるいは捕集シートに吸収されたためであると考えられる。

カラム 0~1cm からカラム 2~3cm までの各除塩回数の含塩比を図 2-16 に示した。灌水直後はカラム 0~1cm では塩分は洗脱され、カラム 1~2cm および 2~3cm に移動している。カラム 0~1cm では C_{10} 、 C_{20} 共に除塩回数 1 回目でピークを示し、その後は漸減している。これはカラム 0~1cm の塩類がシートに捕集されたことも一因であるが、捕集量が多くないことから複数回の除塩作業によって塩類が下方に再分配されたことが主要因であると考えられる。カラム 1~2cm および 2~3cm においては、 C_{10} では徐々に含塩比が減少しているが、 C_{20} ではカラム 0~1cm の場合とは反対に C_{10} よりも高い含塩比を示しながら増加する傾向が見られた。これらの層では、除塩用水の灌水作業によって一旦下方に再分配された塩類が、一部が減率蒸発期における土壤溶液の毛管上昇に伴い上方移動したのと同時に、残りの一部は下方へ

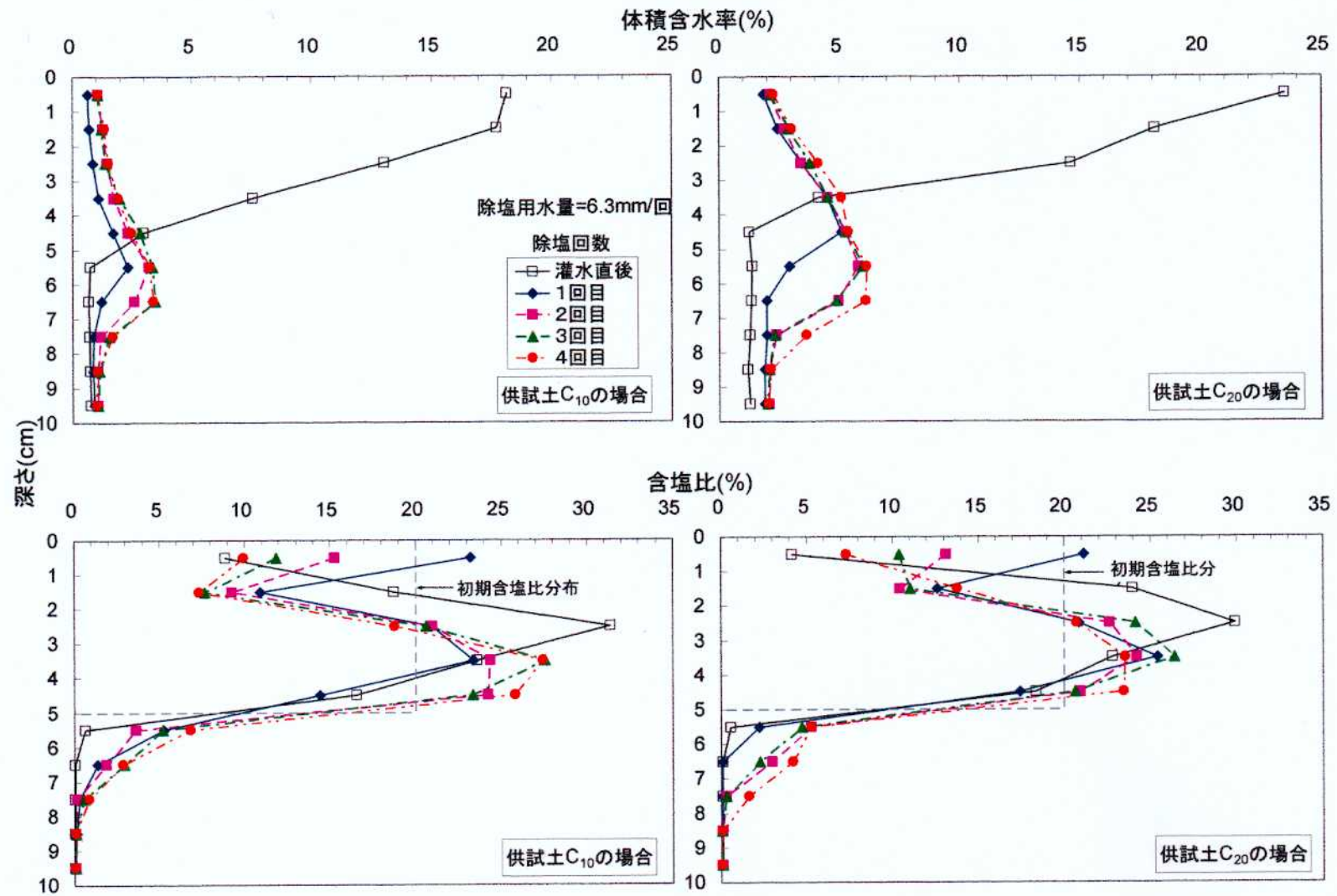


図 2-15 除塩回数別含水率変化および含塩比変化

の再分配が起きたと考えられる。また粘土含有量によって差異が生じたのは、土壤溶液の上方への移動量および下方への移動量が、 C_{20} よりも粘土含有率が低い、すなわち土壤溶液の保持力が小さく、透水性の高い C_{10} の方が大きいためと推察される。

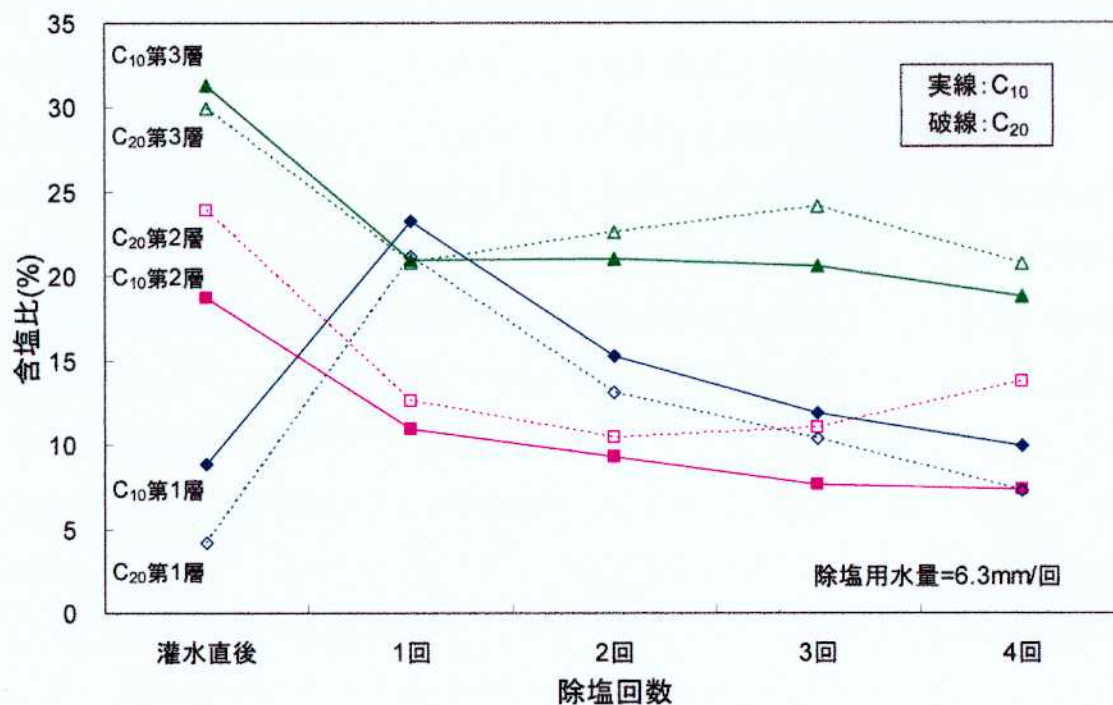


図 2-16 除塩回数と表層部の含塩比変化

2-4. まとめ

土性の相異と除塩効率の関係について、次のことが明らかとなった。粘土を含む土壌では、これまでの Dehydration 法の研究で用いられてきた砂に比べて除塩効率が極めて低くなることが分かった。また粘土を含む供試土に対して高濃度の塩類を含む除塩用水を適用する場合は、粘土含有率が高くなれば除塩率が負の値を示す、つまり除塩用水中の塩類がシートに捕集されず、供試体中に残存してしまうことが確認された。また、除塩用水利用効率に関しては標準砂の場合とは異なり、粘土が含まれると除塩用水量との相関関係は明確でなく、ほぼ一定であることが分かった。除塩回数との関係については、本実験条件下では、 C_{10} の場合には除塩回数を重ねることによって、塩捕集効果が上がることが確認できた。さらに、粘土を含む供試土を用いた場合には、常に土壌表層にクラストが形成され、シートによる塩捕集の阻害要因となっていた。

土性を変化させた今回の実験では、高さ 10cm のカラムの上部 5cm にのみ顆粒状の KCl を均等に充填して塩類集積状態とし、溶液および塩類の移動についての考察を行ったが、自然集積状況とは当然異なることを考慮しておかなければならない。実際の現場では、一般的に土壌の表層に塩類集積が顕著に発生し、それ以深は徐々に塩類含量が漸減する傾向にある。さらに、粘土を含む場合には、度重なる乾燥によって亀裂が生じることもあり、それが水みちとなって除塩用水の浸潤形態も室内実験のそれとは異なることも考えられることから、実際の圃場への適用を考えたときの対処方法を考える必要がある。例えば、クラストの形成については、捕集材とともに除去してしまう方法もある。また、亀裂によって土壌塩類の溶解が十分に行えない場合は、事前に耕起などによって透水性を高めておくなどの方法が考えられる。

今後 Dehydration 法を現場で適用する場合には、実験室との条件の格差をどのように補うことができるのかを考え、捕集材と土壌との密着性を高めるほか、捕集材の飛散防止手段を講じるなどの創意工夫も必要となる。