

セメント安定処理土のアルカリ溶出特性とその制御

嘉門 雅史・勝見 武・大山 将

ENVIRONMENTAL IMPACT AND CONTROL OF ALKALINE MIGRATION BY CEMENT STABILIZED SOIL

By Masashi KAMON, Takeshi KATSUMI and Sho OYAMA

Synopsis

A large number of surplus soils are generated from construction works and most of them are only disposed of in waste disposal sites. In order to promote effective use of the surplus soils, it is required to improve their properties by cement and/or lime stabilization. However, as cement or lime stabilized soils exhibit the high value of pH, the environmental impact of the alkaline solution must be carefully concerned.

The objective of this study is to discuss the method or concept to control the environmental impact induced by the use of cement stabilized soil. The alkaline leachate characteristics from the stabilized soils, the buffer ability of cover layer and the interaction of these functions were investigated through the experimental studies; alluvial clay and decomposed granite were used in this study and a series of permeability and pH test were carried out on compound specimens of stabilized soil and buffer layer. Based on the experimental results, the minimum thickness of cover layer of the stabilized-soil embankment was estimated through the parametric study. It is concluded that the buffer ability of cover soil and the permeability of both stabilized soils and cover layer are important to control the environmental impact by alkaline leachate.

1. 緒 言

建設省による平成5年度建設副産物実体調査結果によれば、Table 1¹⁾に示すように建設発生土および建設汚泥がそれぞれ43,700万m³、1,500万t発生し、さらにその53%、92%が利用されずに処分されている。平成2年度の同様の調査と比較すれば、アスファルトコンクリート塊、コンクリート塊等の副産物の再利用率が50%から78%、48%から67%にそれぞれ大幅に増加したのに対し、建設発生土は発生量が17%増加、建設汚泥は再利用率が8%から2%に低下と、今後より一層の発生抑制と再利用を推進していく必要があることが示される。大都市圏では処分地を確保することが難しく、副産物運搬距離の遠隔化と処分費の増大、その結果としての不法投棄の増加など、建設発生土、汚泥管理に課せられた課題は大きい。特にそのままでは再利用が不可能な建設汚泥や、あるいは利用側の要求基準を満たさない発生土なども、品質改良して再利用していくことが強く望まれる状況にある。

平成6年には「建設発生土利用技術マニュアル」²⁾が建設省により作成され、発生土の効率的な利用を図るため、大きく5段階の土質区分基準が設けられた。さらに、この土質区分基準に基づいて用途別の適用性が示され、今後の発生土の再利用のための有用な指標となっている。前述した建設汚泥や品質要求基準を満たさない発生土については、セメントや石灰系固化材を用いた安定処理により再利用を促進するよう

Table 1. Generation and recycle of by-products from construction works

Type of by-product	Generation	Recycle (%)	Reduction (%)	Disposal (%)
Surplus soil	43.7×10^8 (m ³) (37.5×10^8 (m ³))	47 (36)	—	53 (64)
Waste sludge	1.5×10^7 (t) (1.4×10^7 (t))	2 (8)	6 (13)	92 (79)
Waste concrete	2.6×10^7 (t) (2.5×10^7 (t))	67 (48)	—	33 (52)
Asphalt-concrete mixture	2.2×10^7 (t) (1.8×10^7 (t))	78 (50)	—	22 (50)
Mixed by-product	0.8×10^7 (t) (1.0×10^7 (t))	6 (14)	9 (17)	85 (69)
Waste wood	0.8×10^7 (t) (0.8×10^7 (t))	26 (31)	14 (25)	60 (44)
Total of wastes	7.6×10^7 (t) (7.6×10^7 (t))	48 (35)	3 (7)	49 (58)

The numbers in and out of parenthesis stand the results investigated in 1990 and 1993 respectively.

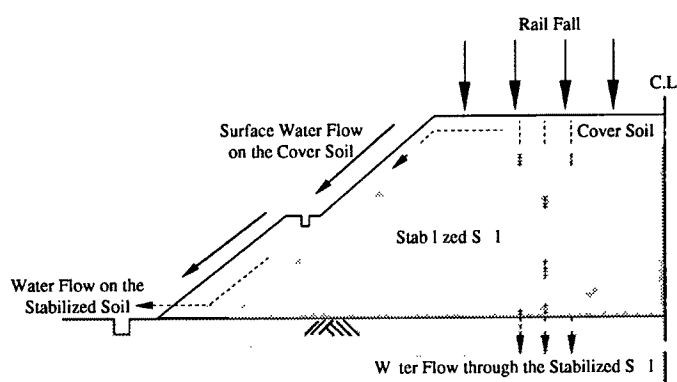


Fig. 1. Water flow around the embankment using stabilized soil.

記述されている。しかしながら、セメント系、石灰系の固化材で安定処理した改良土は通常 pH が高く、初期には高アルカリ性の溶出水が発生することが危惧される。ただし、これらの改良材に起因するアルカリ性はカルシウムアルカリ性であるため³⁾、通常は炭酸ガスにより容易に中和され、また、改良土の周辺土壌を 30 cm 程度通過することで土に吸着され、周辺に影響を与えることはほとんどないと考えられている²⁾。そのため、「建設発生土利用技術マニュアル」ではアルカリ二次公害の防止に関して設計上詳しく触れられておらず、自治体によってはアルカリ性を呈する改良土の受け入れを拒否するケースも生じているのが現状である。

そこで、本研究では、改良土を利用していく際のアルカリ溶出の制御を目的として、ろ過層（緩衝層）の緩衝機能の評価、改良土からのアルカリ溶出特性の把握を行い、アルカリ溶出制御としてのろ過層厚の算定の考え方を示した。なお、Fig. 1 に改良土を盛土に適用した場合の、生じるアルカリ溶出水として改良土と水の接触のイメージを表した。

2. セメント安定処理土からのアルカリ溶出特性とろ過土の緩衝能に関する実験的検討

2.1 使用材料

特に関西地方都市圏での分布特性や入手状況を考慮して、実験には改良対象土として沖積粘土、アルカリろ過層としてまさ土を使用した。これらの諸特性を **Table 2** に示す。

改良土は、改良土そのものの透水係数や発現強度を考慮し、自然含水比（80.4%）の沖積粘土（L.L.: 65.9%, P.L.: 31.2%）に普通ポルトランドセメントを乾燥重量に対して 10% 添加したもの（改良土 I）、および含水比を 300% に調整した沖積粘土に普通ポルトランドセメントを 100 kg/m³ 添加した流動化処理土（改良土 II）の 2 種類を用いた。改良土の諸特性を **Table 3** に示す。

Table 2. Physical properties of the soils used in this study

	Alluvial Clay	Decomposed Granite
Particle density (g/cm ³)	2.62	2.64
Natural water content (%)	80.4	7.14
Liquid limit (%)	69.5	—
Plastic limit (%)	31.2	—
Optimum water content (%)	—	18.0
Maximum dry density (g/cm ³)	—	1.725
Gravel fraction (%)	0.2	16.26
Sand fraction (%)	2.7	75.4
Silt fraction (%)	59.1	6.77
Clay fraction (%)	38.0	1.57
Permeability (cm/s)	—	3.6×10^{-5}
Soil type	CH	S-M
Ignition loss (%)	9.39	—
pH	8.66	5.20

Table 3. Physical properties of the stabilized soil used in this study

	Stabilized soil I		Stabilized soil II	
Aging (d)	7	28	7	28
Unconfined compressive strength (MPa)	0.62	1.01	0.032	0.071
Wet density (g/cm ³)	1.53	1.59	1.27	1.27
Dry density (g/cm ³)	0.90	0.90	0.41	0.42
pH	12.8	12.2	12.9	12.8

2.2 土のアルカリ緩衝能力に関する実験的検討

まず、ろ過層として想定するまさ土のアルカリ緩衝能力を評価するためにアルカリ水流下試験を行った。実験は、直径 5.1 cm の円筒形モールド（20 cm）の下部 15 cm にアルカリろ過層としてまさ土（最適含水比：18%）を締固めて充填し、上部から水酸化カルシウム飽和溶液（pH = 12.8）を浸透させ、所定量

浸透後にまさ土の pH を測定したものである。実験結果を Fig. 2 に示す。ろ過層の高アルカリ領域は流下量の増加に伴いろ過層上部から下部に下降しており、ろ過層のアルカリ中和作用はろ過層内で一樣に起こるのではなく、流下したアルカリ量に見合った土量の領域内だけで起こることが示される。したがって、アルカリ溶出がろ過層のアルカリ中和能力を超えなければ、系外に高アルカリ水が排出されることはないが、改良土から高アルカリ水が継続的に溶出する場合は、ろ過層のアルカリ中和能力を超えた時点で急に高アルカリ水が系外へ排出されると考えられる。

ろ過土のアルカリ中和能力の把握が重要であることが示された訳だが、そこで、まさ土のアルカリ中和能力を実験により求めた。数種類の割合で水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 水溶液とまさ土とを混合し、2 時間放置後に懸濁液の pH を測定した。まさ土の単位乾燥重量に対して加えた水酸化物イオン (OH^-) 量とまさ土懸濁液の pH 値の関係を Fig. 3 に示す。加えた OH^- イオン量と懸濁液の pH 値の関係は初期 pH 値ごとに一本の曲線で表され、初期 pH が 12 を超える場合は、まさ土懸濁液の pH は初期 pH 値より若干低くなる程度であるが、初期 pH 値が 12 よりも低い場合は、加えた OH^- イオン量の減少とともにまさ土懸濁液の pH は低くなる。次に、試料土によって中和された水酸化物イオン量を、試料土の単位乾燥重量あたりに換算したものを土のアルカリ中和能力と定義し⁴⁾、加えた OH^- イオン量とその際にまさ土が発揮したアルカリ中和能力の関係を Fig. 4 に示す。ここでまさ土のアルカリ中和能力 C (mol/g) は、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液の初期 pH 値を pH 、まさ土懸濁液の pH 値を pH' 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液の容量を V (l)、まさ土の乾燥重量を W (g) として式(1) より求めた。

$$C = (10^{(\text{pH}-14)} - 10^{(\text{pH}'-14)}) \times V/W \dots\dots (1)$$

加えた OH^- イオン量とアルカリ中和能力の関係は 1 本の曲線で表される。また、加えた OH^- イオン量によってまさ土のアルカリ中和能力は変化するが、これには上限がある。Fig. 4 では、加えた OH^- イオン量が 2×10^{-5} mol/g 程度までは直線的にアルカリ中和能力は増加し、加えた OH^- イオン量のほぼ全量を中和しているが、それ以上になると頭打ちになり約 9×10^{-5} mol/g 以上は中和しなくなる。この量は本研究で使ったまさ土のアルカリ中和能力の限界値であると考えられる。三木ら⁴⁾は 10 種類の土の水酸化カルシウム飽和水溶液に対するアルカリ中和能力を測定しているが、まさ土のアルカリ中和能力値は 9

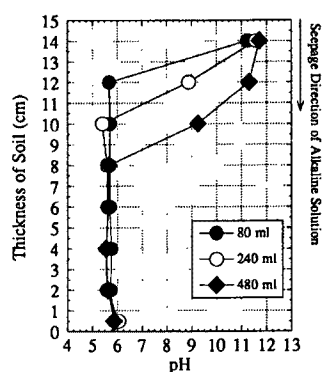


Fig. 2. pH in the compacted decomposed granite after the alkaline seepage.

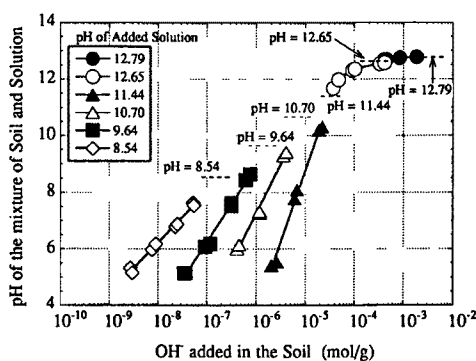


Fig. 3. Alkaline buffer ability of decomposed granite.

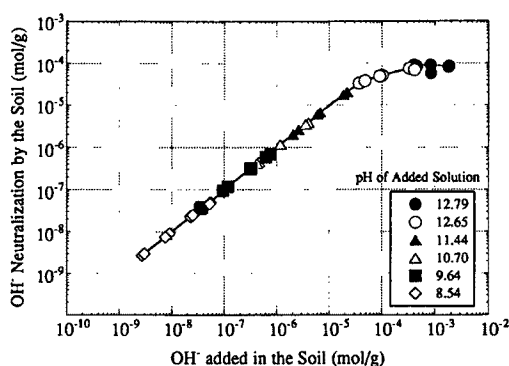


Fig. 4. Alkaline neutralization ability of decomposed granite.

$\times 10^{-5}$ mol/g と測定されており、本研究で使したまき土とほぼ同じ値となっている。

2.3 アルカリの拡散と緩衝に関する検討

2.2 で評価したろ過土のアルカリ中和能力とともに、ろ過層におけるアルカリの拡散移動機構も重要な要素である。間隙水の移動が無い状態でのアルカリ拡散について、以下の実験により検討した。Fig. 5 (a) のように直径 5.1 cm の円筒形モールド (20 cm) の下部 5 cm に改良土 I を充填し、上部 10 cm にアルカリろ過層としてまき土 (最適含水比：18%) を締固めて充填した。7 日養生後に上部から蒸留水を注ぎ水を張って放置し、94 日後に改良土およびろ過層の pH を測定した。

実験結果を Fig. 6 に示す。改良土上部のろ過層のうち、改良土から 3 cm までは pH が 10 を超える高アルカリ性を示すが、それより上部のろ過層はまき土自身の pH に近い値を示している。この結果、ろ過層の土が水で飽和されて改良土に水が接触する条件 (アルカリの溶出が考えられる条件) でも、改良土に接触する水に流れがない場合は、改良土から溶出したアルカリはろ過層の内の改良土近傍 3 cm 程度の領域内でアルカリの拡散は止まり、ろ過層内の pH 分布が均衡状態を保つことを示している。Shackelford and Daniel⁵⁾ は土中での各イオンの拡散係数を求めており、それによると水酸化物イオンの拡散係数は他のイオンに比較して高く、土中で移動されやすいことを示している。

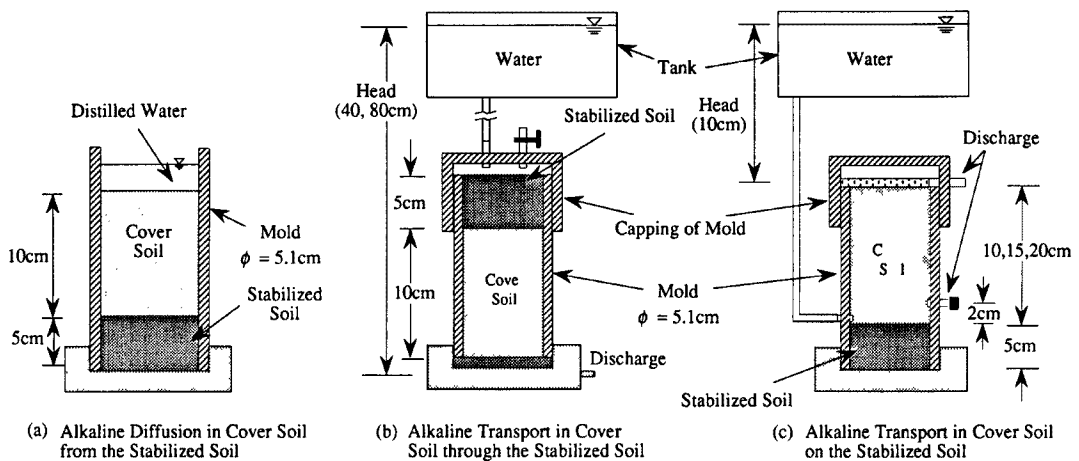


Fig. 5. Experimental equipment on alkaline migration

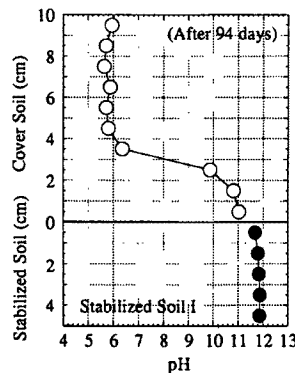


Fig. 6. pH distribution in the stabilized and the cover soil (after 94 days).

2.4 改良土を通過する浸透水の pH に関する検討

改良土が透水性を有することを想定し、地盤に浸入した水が高アルカリ性を長期間保つ改良土中を通過することによって起こるアルカリ溶出の形態をモデル化して、Fig. 5 (b) に示す実験を行った。円筒形モールド (15 cm) 上部 5 cm に改良土 II を、下部 10 cm にまさ土 (最適含水比 : 18%) を締固めて充填し、所定材令 (7, 28 日) 養生後に水頭差 40 cm, 80 cm で通水を行った。試験中には浸透量、浸透水の pH を適宜測定し、通水試験終了後にろ過層のまさ土および改良土の pH を測定した。

浸出水の pH 傾向を Fig. 7 に示す。改良土の材令に関わらず浸透量が 650 ml を超えるあたりから、浸出水の pH は改良土のみから溶出される pH と同等までに上昇し、いったん高アルカリ水が排出された後は浸出水はアルカリを維持する。通水試験後のろ過層内は Fig. 8 に示すように一様に高アルカリ性を示しており、アルカリ中和能力を使いきっていると考えられる。2.2 に基づき、まさ土のアルカリ中和能力の限界値 $9 \times 10^{-5} \text{ mol/g}$ 、改良土からの溶出水の pH を 12.6 とすると、ろ過土透過水の pH が 8.6 を超えるのは 1,180 ml と計算される。Fig. 4 に示されるように、アルカリ中和能力そのものは系に加えられる OH^- に依存することから、実験値よりも大きい値が得られたと考えられる。

水頭差を変化させた場合 (Fig. 9), 水頭差が下がると浸出水の pH の上昇に要する浸透量は若干増加し、浸出水の pH 上昇後の pH 値は下がっている。浸透水の流速がろ過層のアルカリ中和能力に影響を及ぼすこと、また浸出水の pH が上昇し始めるまで日数を要するので改良土自身の pH 低下が生じうることが、その原因として予想される。

同様の実験を改良土 I に対して行ったところ、透水性が低いため通水されなかった。そこで、改良土 I を 4 分割あるいは粉碎して供試体とし、実験を行った。Fig. 10

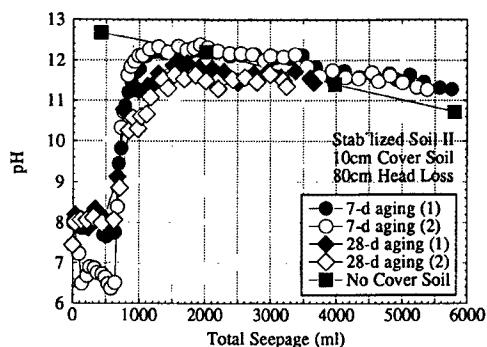


Fig. 7. Relationship between the seepage and pH value of discharge.

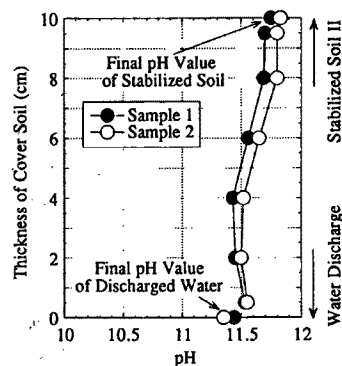


Fig. 8. pH distribution in cover soil after alkaline seepage.

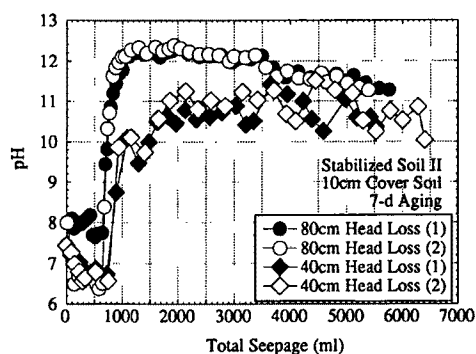


Fig. 9. Relationship between the seepage and pH value of discharge from the stabilized soil II.

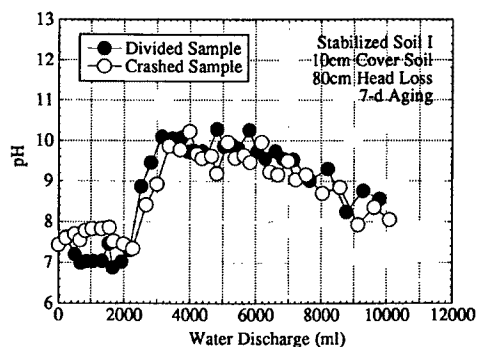


Fig. 10. Relationship between the seepage and pH value of discharge from the stabilized soil I.

にその結果を示す。総流量が約 3,000 ml で pH が 10 前後に上昇し、その後少しずつ pH は低下する。分割・粉碎によりマッスとしての改良土の透水性が上昇して、アルカリが溶出された結果となった。なお、改良土 II の実験結果 (Fig. 7) と比較してアルカリ水が排出されるまでの総流量は多く、pH も低いのは、分割・粉碎試料の場合、改良土全体を浸透水が通過するのではなく、改良土の分割ブロックの表面のみで水が接触するため、ある量の水と接触し改良土表面からのアルカリ溶出が終了することが原因として考えられる。

2.5 改良土表面を流れる水の pH に関する検討

改良土そのものは不透水性であり、地盤内に浸入した水が改良土中を通過せずその表面を流れることによって起こるアルカリ溶出の形態をモデル化して、Fig. 5 (c) に示す実験を行った。円筒形モールド下部 5 cm に改良土 I を、上部 10, 15, 20 cm にアルカリろ過層としてまさ土を締固めて充填し、28 日養生後に通水試験 (水頭差: 10 cm) を行った。試験中の浸透量、浸透水の pH を適宜測定し、また改良土の上部 2 cm の箇所に設けた排水口より適宜排水させ pH を測定した。

浸出水の pH 傾向を Fig. 11 に示す。ろ過層が 10 cm の試料の浸出水の pH は浸透量の増加とともに徐々に上昇していくが環境基準値である pH = 8.6 は超えていない。改良土上 2 cm から排水した浸出水の pH は 8.2 ~ 8.5 の値を示している。ろ過層厚が 15, 20 cm の試料はともに浸透量が少ないため浸出水の pH 値はまだ 7.2 付近と中性域である。改良土上 2 cm から排水した浸出水の pH 値は、ろ過層厚 15 cm の試料では通水初期には 9.9 を示すが、排出量の増加にしたがい 9.0 まで低下してきている。ろ過層厚 20 cm の試料は pH = 9.9 ~ 10.3 と高い値を保持している。改良土表面に水を供給し、ろ過層のみに浸透させた場合の浸出水の pH は、浸透量に対して徐々に上昇していく傾向がある。また、改良土近傍のろ過層の pH は初期には上昇するが、浸透水による希釈・拡散、改良土からのアルカリ溶出の低下によって、最終的にはろ過層内の pH は均一化される傾向であると考えられる。

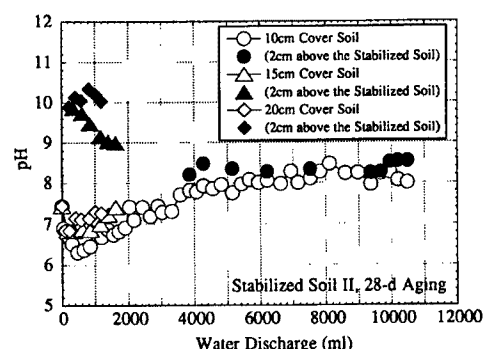


Fig. 11. Relationship between water discharge and pH

2.6 土槽実験によるアルカリ溶出特性に関する検討

不透水性の改良土を想定し、地盤内に浸入した水が改良土中を通過せずその表面を流れることによって起こるアルカリ溶出の形態を幅 20 cm、高さ 55 cm、奥行き 250 cm の鉄製土槽を用いてモデル化した。Fig. 12 のように改良土 I を排水側壁面から 30 cm の位置から厚さ 5 cm で敷き詰め、7 日養生後に改良土

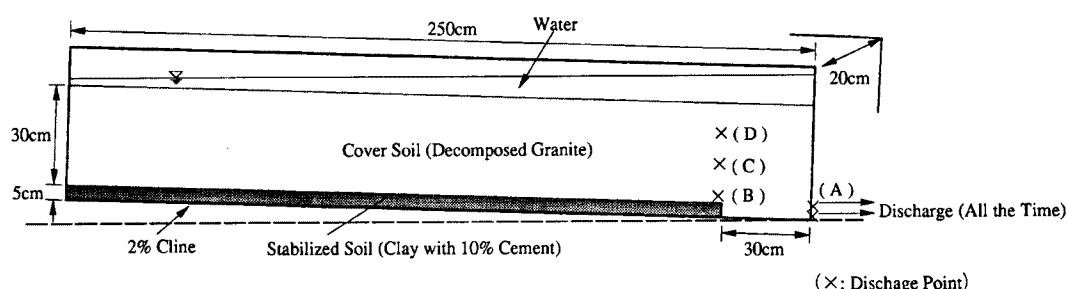


Fig. 12. Equipment for tank test.

上部 30 cm に覆土層としてまさ土（含水比：最適含水比より湿潤側）を締固めて充填した。その後土槽内に水道水を貯め、排水口（図中の (A)）から常時排水させて排水量および排出水の pH を測定した。また、7 日に 1 回の割合で覆土層内部の改良土上 3, 13, 23 cm の位置（図中の (B), (C), (D)）からも排水させ pH を測定した。実験終了後には覆土層および改良土の pH を測定した。

排水口および覆土層内部からの排出水の pH 傾向・排水量を Fig. 13 に示す。実験は 66 日間実施し、その間系全体から 141 l の水が排水されている。排出水の pH はばらつきがあるものの 5.5～7.4 と弱酸性～中性域であった。pH が 7 以下の値がしばしば測定されたが、これはろ過層のまさ土が元々弱酸性であるからである。ろ過層内部から排水させた水の pH も 5.0～6.5 と弱酸性側であり、アルカリの溶出は認められなかった。実験終了後にろ過層内部および改良土の pH を測定した。その結果を Fig. 14 に示す。ろ過層で pH が上昇しているのは、改良土に接している土（ $\text{pH} = 9.3 \sim 10.8$ ）および改良土上 1 cm の層の土（ $\text{pH} = 6.7 \sim 10.0$ ）であった。改良土上 2 cm から上のろ過層はほぼ $\text{pH} = 6.5$ 以下であった。また、排水口側の壁面から 30 cm の位置までの改良土を敷き詰めていない区間のろ過層も pH の上昇が認められなかった。この結果は、実験の目的であった改良土の表面を水平方向に流れる形態を再現できたかについては疑問が残ったが（66 日間に系全体から排出された水 141 l は、地盤に浸入する浸透水量を日本の年間降雨量の全国平均値 1,760 mm の 1/3 と仮定すると、半月分の降雨量に相当する）、しかしながら、アルカリろ過層のまさ土を十分に締固め、透水性を下げて出来るだけ改良土に接触する水の流れを抑えてやれば、改良土から溶出するアルカリはまさ土によってわずか 2 cm 程度の領域で中和される、言い換えれば数 cm の領域にアルカリを封じ込めることが可能であることが、より大きなスケールで確認されたことになると考えられる。

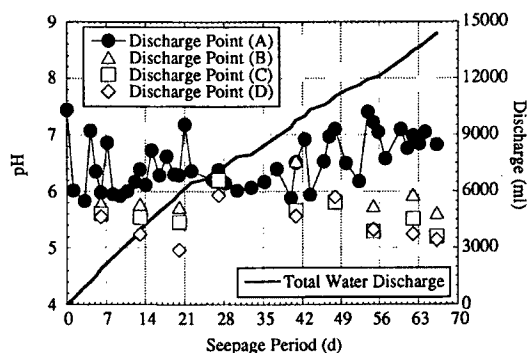


Fig. 13. pH characteristics and seepage period in tank test.

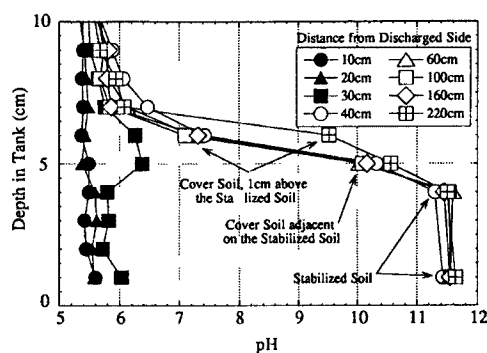


Fig. 14. pH characteristics of the stabilized and the cover soil after tank test.

3. 改良土の利用用途を考慮したアルカリ溶出制御方法に関する検討

3.1 パラメトリックスタディーの方法

改良土の盛土への適用を想定して、アルカリ溶出制御に必要なろ過層厚の算定をパラメトリックスタディーにより行った。Fig. 15 に示すような盛土断面に対し、降雨によって地盤に浸入した水が、高アルカリ性を長期間保つ改良土中を通過することによって起こるアルカリ溶出に関して、改良土の周辺土（まさ土）のアルカリ緩衝能によって浸透水の pH を排水基準である 8.6 以下に抑えるために必要となるろ過層厚を算出した。ただし、ここでは以下の仮定を設けている。(1) 盛土中を浸透する水は鉛直方向にしか流れない。また、盛土中の動水勾配は一定で 1 とする。(2) 改良土から溶出するアルカリに対して、ろ過機能を

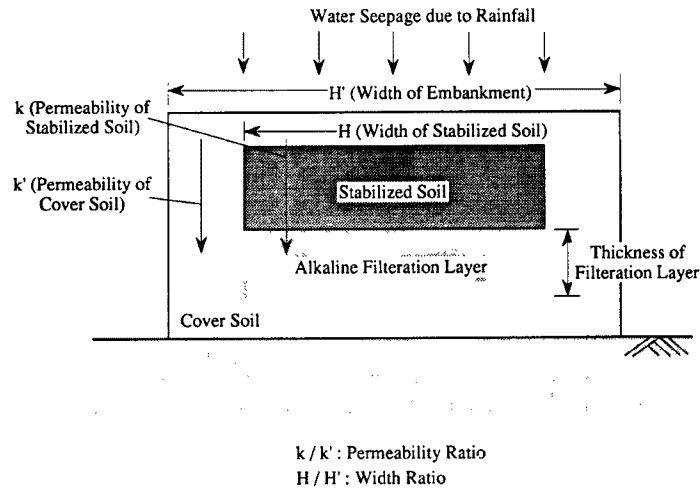


Fig. 15. Typical section for parametric study of alkaline migration.

発揮するのは改良土直下の土のみとする。(3) 地盤に浸入する浸透水量は日本の年間降雨量の全国平均値 1,760 mm の 1/3 とする。次に改良土中に浸透する水の量 L (mm) は、改良土の透水係数を k (cm/s), まさ土 (アルカリろ過層) の透水係数を k' (cm/s), 改良土幅を H (m), 盛土幅を H' (m), 想定期間を X (年) として式(2) より算出した。

$$L = 1760/3 \times kH / (kH + k'(H' - H)) \times X$$

$$1760/3 \times X / (1 + k'/k(H'/H - 1)) \dots\dots\dots (2)$$

改良土からの浸出水の pH がまさ土のアルカリろ過機能によって 8.6 以下に抑えられるには、まさ土のアルカリ中和能力を C (mol/g), 改良土からの溶出水の pH 値を pH, 改良土から溶出したアルカリ水量 V (l), ろ過機能を発揮する改良土直下の土 (まさ土) の乾燥重量を W (g) とすると、式(3) を満足する必要がある。

$$C > (10^{(pH-14)} - 10^{(8.6-14)}) \times V/W \dots\dots\dots (3)$$

ここで、まさ土の乾燥密度を γ_d (g/cm³), アルカリろ過層厚を x (cm), 改良土幅を H (m), 奥行きは単位長さ (1 m) とすると、

$$W = \gamma_d \times 100 \times 100H \times x = 10^4 \cdot \gamma_d \cdot H \cdot x (g)$$

$$V = L \times 1/10 \times 100 \times 100H \times 1/1000 = L \cdot H (l) \quad \text{となるので,}$$

式(3) は次のように変形される。

$$x > (10^{(pH-14)} - 10^{(8.6-14)}) \cdot 10^4 \cdot L / (\gamma_d \cdot C) \dots\dots\dots (4)$$

式(4) を満たすろ過層厚 x (cm) をまさ土の乾燥密度を 1.73 g/cm³, 改良土からの溶出水の pH 値を 11 ~ 12, まさ土のアルカリ中和能力を 3×10^{-5} および 9×10^{-5} mol/g として算出した。

3.2 結果および考察

Fig. 16 は 1 年間の降雨に対して必要となるろ過層厚を、透水係数比 $k/k' = 0.1$ の場合について盛土の幅員比 (H/H') およびまさ土のアルカリ中和能力 (C) 別に示している。改良土からの溶出水の pH が 12, $H/H' = 0.9$, $C = 3 \times 10^{-5}$ (mol/g) のときにろ過層厚は最大 3.6 cm 必要と算出された。盛土における改

良土とろ過土の幅員比 (H/H') を変化させることにより、必要となるろ過層厚の値が大きく影響を受けることが明らかである。また、改良土からの溶出水の pH の設定が計算結果に影響を及ぼすことが示される。

Fig. 17 は 30 年間の降雨に対して必要となるろ過層厚を、盛土の幅員比 $H/H' = 0.9$ の場合について透水係数比 (k/k') およびま土のアルカリ中和能力別に示している。Fig. 16 に示した結果を同様に、アルカリ中和能力の高い土をろ過層に使用することが有利であることが示される。しかしながら、アルカリ中和能力の高い土は一般的に細粒土が多く、これらをろ過層に使用した場合、透水係数比 (k/k') が高くなる。Fig. 17 に示すように、例えば改良土とろ過土の透水係数が等しい ($k/k' = 1$) 場合、改良土からの溶出水の pH が 12、 $C = 3 \times 10^{-5}$ (mol/g) でろ過層厚が 200 cm 以上も必要なことになる。同条件で透水係数比のみ異なる場合は、必要なろ過層厚が大幅に軽減されることから、ろ過土の選定にあたってはアルカリ中和能力だけでなく透水性も考慮することが重要であることが示される。また、言い換えれば、改良土の透水性を出来るだけ低くするよう配合決定や施工管理を行うことが求められる。なお、この計算では、30 年間にわたって改良土からの溶出水は高アルカリを維持すると仮定しているが、実際には年月の経過により pH は低下すると考えられ、この計算結果は安全側の指標を示していることになる。

4. 結 言

本研究は、近年大量に発生し処理処分が問題となっている建設発生土の有効利用を目的とし、品質改良したセメント安定処理土からのアルカリ溶出特性とその制御方法を議論したものである。本研究で得られた結果を以下に要約する。

- (1) セメント改良土層、覆土層 (ろ過層) に対する浸透試験から、浸透量がある一定値を超えると改良土層を通過した覆土層からの浸出水の pH は、セメント改良土のみから溶出される pH と同等までに上昇し、覆土層の機能には限界があることが明かとなった。また、その限界値の目安は覆土層のアルカリ中和能力からオーダー的に推定しうるため、覆土のアルカリ中和能力の把握が重要であることを示した。
- (2) 改良土の透水性が低ければ、改良土中を浸透水が通過することができず、アルカリ溶出の懸念は少ないと考えられる。また、改良土そのものの透水性が低くても、クラックの発生や粉碎などでマスとしての透水性が高い場合は改良土層を浸透水が通過しアルカリ成分が溶出される。
- (3) 浸透水を改良土に浸透させず、覆土層 (ろ過層) のみに浸透させた場合、改良土付近の初期の pH は上昇するものの、浸透を続ければ改良土層からのアルカリの供給が限界に達し、ろ過層内での拡散希釈が進行することを示した。また、土槽実験においては、改良土近傍のろ過層のみの pH が上昇し、

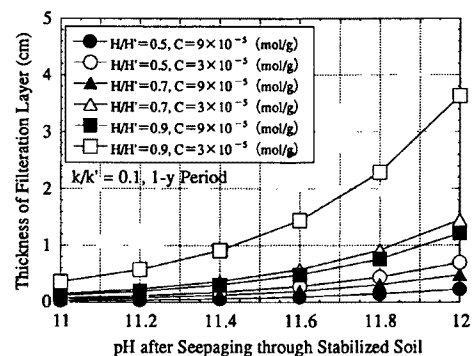


Fig. 16. Required thickness of filtration layer in the stabilized soil embankment to one year rainfall.

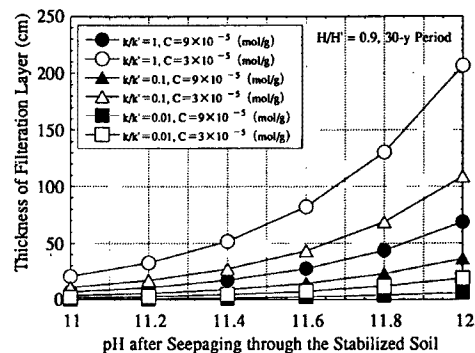


Fig. 17. Required thickness of filtration layer in the stabilized soil embankment to 30 years rainfall.

その他の部分の pH は上昇しないことを示した。

- (4) 盛土への適用を例にろ過層厚の算定手法を示し、設計の考え方を議論した。特に、本研究で行った実験結果およびパラメトリックスタディに基づき、透水性の低い改良土層を構築することが設計、施工の段階で求められることを示した。

末尾ながら、実験を行うに際し、試料提供いただいた株式会社鴻池組 中澤重一博士、新田喜宣氏、ならびに実験協力を得た京都大学防災研究所 清水博樹技官に深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 建設省：平成 5 年度建設副産物実態調査結果について，1995.
- 2) 建設省大臣官房技術調査室監修・建設発生土利用マニュアル検討委員会編集：建設発生土利用技術マニュアル，1994.
- 3) 木次恭一：軟弱地盤改良技術と環境問題，セメントコンクリート，No.511，pp.104－115，1989.
- 4) 三木博史・森 範行・古性 隆：土のアルカリ中和能力及び土中でのアルカリ浸透深さに関する試験，土木学会第 49 回年次学術講演会，pp.1534－1135，1994.
- 5) C.D. Shackelford and D.E. Daniel：Diffusion in Saturated Soils, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 3, pp. 467－484, 1991.