

材料判定の目安を満足しない土を農業用ため池堤体土として 活用するための地盤改良技術に関する文献調査および今後の展望

姫野 季之¹・佐野 博昭²・本田 欽也³・河野 正臣⁴・
澄川 圭治⁵・河野 真也⁶・太田 宗一郎⁷

¹都市・環境工学科, ²防衛大学校, ³日鉄高炉セメント株式会社, ⁴株式会社九州建設マネジメントセンター
⁵日本製鉄株式会社, ⁶株式会社ソイルテック, ⁷タナベ環境工学株式会社

農業用ため池の改修工事にあたっては、良質な堤体土を必要量確保する必要があるが、量や性状を満足する土の確保が困難となっており、改修工事の実施の支障となる事態が生じている。そこで、筆者らは、農業用ため池の築堤材料としての目安を満足しない土を改良して活用する技術の開発を行っているところであり、このための手段として固化材を用いた化学的改良に着目している。ここで、化学的改良に用いられる代表的な固化材として、セメント系、石灰系およびスラグ系の固化材があり、それぞれ多くの実績を有している。本報では、これらの代表的な固化材に関する文献調査を行うとともに、既往の研究による固化原理や改良効果の違いについてまとめ、さらに、今後の展望について述べる。

キーワード：農業用ため池，材料判定の目安，化学的改良，改良土，固化材

1. はじめに

農業用ため池（以後、ため池と略記する）とは、降水量が少なく、流域の大きな河川に恵まれない地域などで、農業用水を確保するために水を貯え取水ができるよう、人工的に造成された池のことをいう¹⁾。全国に15万箇所存在し、特に西日本に多く分布しているが、その多くは江戸時代以前に築造され、各地域において試行錯誤を繰り返して得られた経験をもとに造られたものと推測されているとのことであり¹⁾、老朽化に伴う安全面に不安を抱えている。実際に、地震や台風、集中豪雨のたびに多くのため池が決壊して下流域に被害を及ぼしており¹⁾、各自治体はハード対策およびソフト対策についての計画・推進を進めている。

ここで、大分県には2,118箇所のため池があり、そのほとんどが明治以前に築造されたものであるとされている。また、このうち決壊した場合の浸水想定区域に家屋や公共施設等が存在し、人的被害を与える恐れのあるため池1,029箇所を防災重点農業用ため池としている²⁾。このため、ため池の整備にあたっては、決壊の危険性の高い箇所や老朽化が進んだ箇所から順次改修を行うとともに、人家等に影響を及ぼす利用されていないため池は廃止工事を行っているところである²⁾。他方、必要な材料の確保をはじめ改修時に直面する課題は多く、技術者を悩ませている。

そこで、本報では、化学的改良を施した土をため池堤体

表-1 材料判定の目安の一例（文献3）より一部抜粋）

項目	内容
粒度分布	高い密度を与える粒度分布であり、適度に細粒分が含まれていること。
コンシステンシー	収縮性が小さく、適度の組成を有すること。
比重	2.6以上
透水性	少なくとも現場にて締固めた状態の透水係数が $5 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ を最大値として緩和することができる。
締固め度	土質材料の含水状態により、密度、せん断強度、透水係数が変化し、最適含水比付近でせん断強度が極大となり、最適含水比からやや湿潤側で透水係数が極小となること等から、材料の透水性、強度、施工性を判定する。
せん断強さ	見かけの粘着力と内部摩擦力で表されるが、安定解析を行う場合には三軸圧縮試験により求める必要がある。また、統一分類等によりある程度せん断強さが推定できる。

表-2 地盤改良工法ならびに補強に関する工法分類法 (文献4)より一部抜粋)

原理	大分類	中分類
物理的改良	置換工法	押出し置換工法 圧入置換工法 他
	圧密・排水工法	載荷重工法 バーチカルドレン工法 他
	締固め工法	表層締固め工法 振動締固め工法 他
化学的改良	化学的安定処理	表層混合処理 事前混合固化処理工法 他

土として活用するための検討に資するため、セメント系固化材、石灰系固化材およびスラグ系固化材を対象に文献調査を行うとともに固化原理や改良効果の違いについて整理した結果を報告するものである。

2. 材料判定の目安

ため池は、堤体、洪水吐、取水施設、土砂吐および緊急放流施設から構成されている。このうち、堤体の改修には、遮水性の高い土（以後、刃金土と称する）を用いた前刃金工法が一般的であり、これは、刃金土を遮水材料として上流側に用いる工法である。表-1は、刃金土として用いることができる土質材料の性質の目安を示しており³⁾、これらの目安を満足していない土質材料は用いることができない。そのため、前刃金工法を適用する際には、必要量の良質な刃金土を改修工事現場近く（10kmを目安）で確保することが求められるが、困難なことが多く、自治体担当者を悩ます要因となっている。

3. 文献調査の概要

筆者らは、材料判定の目安を満足する土質材料の確保のためのひとつの手段として、目安を満足していない土質材料に固化材を添加することで、前出表-1に示した目安³⁾を満足する土質材料へと改良する地盤改良工法の適用性を検討しているところである。通常、地盤を改良して良質な土質に改善する方法には、物理的に改良する方法と化学的に改良する方法があるが⁴⁾ (表-2参照)、本研究では、セメント系固化材や石灰系固化材を用いて固化する化学的改良工法に着目するものである。また、セメント系固化材や石灰系固化材のほかにスラグ系固化材も物理化学的性質の改善や強度発現に寄与する⁵⁾ことが報告されていることからスラグ系固化材も検討項目に加えるものとする。

そこで、これらの固化材による固化原理および特性を調査・整理することによって前述の課題の解決に向けた検討への端緒とするため、文献調査を行うこととした。文献調

表-3 主なセメント系固化材の種類と特徴⁶⁾

種類		特徴
汎用固化材	特殊土用	軟弱地盤（砂質土・シルト・粘土・火山灰質土）に幅広く使用できるほか、改良土からの六価クロム溶出を抑制する効果がある固化材
	一般軟弱土用	軟弱地盤に幅広く使用できる固化材
高有機質土用固化材		腐食土・有機質土・泥土等有機物含有量の多い土に効果がある固化材
発塵抑制型固化材		粉体で使用した場合に発塵の少ない固化材

査は、1990年度以降に関係学協会を中心とした機関誌、各種学会等で発表された論文等を対象に行った。その結果、セメント系固化材は184編、石灰系固化材は44編、スラグ系固化材は48編、合計276編の文献を検索することができた。本報では紙面の都合上、主要論文のリスト（セメント系固化材に関しては2000年以降に限る）を参考資料として巻末に付すものとする。

4. 固化材の固化原理と改良土の特性^{5)~9)}

(1) セメント系固化材^{6)~8)}

表-3に主なセメント系固化材の種類と特徴を示す⁶⁾。セメントで土を固める技術が広く認知されたのは、ポルトランドセメントが世の中に登場して約100年以上が経過した1930年代にアメリカで「ソイルセメント」が開発されてからである。ポルトランドセメントを用いた改良土は、セメントの収縮に伴うひび割れの懸念や有機分を多く含んだ土に対して改良効果が低い等の課題が示された。そのため、1970年代に入るとポルトランドセメントをベースとした地盤改良に特化した「セメント系固化材」と呼ばれる特殊なセメントが登場するようになった。土を固めるセメント類を大別すると、ポルトランドセメント、混合セメント（主に高炉セメント）、セメント系固化材の3種類に大別される。

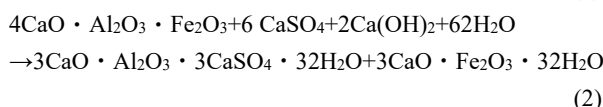
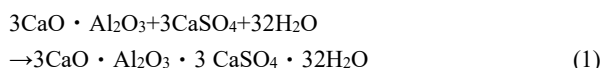
ポルトランドセメントおよび混合セメントの仕様は、日本工業規格（JIS）に定められている。一方、セメント系固化材は、JISで仕様が定められておらず、セメントメーカー各社が、特定成分や粒度を調整して各種の軟弱土を効果的に改良できる様に配合を行っている。

セメント系固化材の種類としては、母材のセメントの種類や有効成分の調整によって、汎用固化材（一般軟弱土用、特殊土用）、高有機質土用固化材および発塵抑制型固化材がある。

セメント系の固化材は、ポルトランドセメントによる水和反応が主なものであり、セメント系固化材を土に混ぜる

と、セメントが土中の水の一部と反応して主な水和物としてケイ酸カルシウム水和物 (C-H-S) が生成される。ケイ酸カルシウム水和物の生成により土中の水分が水和反応物に取り込まれ、土粒子間の距離が近くなり、土粒子同士が密着する。さらに、水和反応が進むと水酸化カルシウム (Ca(OH)₂) が生成され、土中の粘土鉱物とポズラン反応を起こし、ケイ酸カルシウム等が生成して、改良土の長期強度向上に寄与する。

一般的なセメント系材料は、良質な砂質土等では強度発現性は高いが、含水比の高い軟弱土や有機物や粘土鉱物を多く含む土では、強度発現性が低い。これを補うために開発されたセメント系固化材は、セメントに比べて硫酸塩分が多く調整されている。硫酸塩分が多いセメント系固化材は、水和反応時にエトリンガイト (3CaO・Al₂O₃・3CaSO₄・32H₂O) が生成され、土粒子間の空隙部分に骨格構造を形成して強度発現性が高まる。一般的に硫酸塩には石膏が用いられ、反応は式(1)、(2)のように示される。エトリンガイトは、土中の多量の水と結合した針状の結晶であり、水分が多くて空気の透過の少ない地盤中において炭酸化による分解が進みにくく、安定性の高い水和物である。



セメント系固化材による改良効果に及ぼす影響因子として、固化材の種類および対象とする土質などが挙げられる。改良前の土の含水比が高いほど、強度発現性が低くなるほか、土粒子の微粒分が多くなるほど強度発現性が小さくなること、有機物含有量や粘土鉱物の含有量が多くなるほど強度発現性が小さくなること、土のpHが低いと水和反応が阻害され、強度発現性が小さくなることなどが報告されている。そのため、使用する場合は事前に室内配合試験等を行って改良効果を確認する必要がある。

改良土の特性は、次のようなことが報告されている。まず、強度は、添加量の増加および材齢の経過に伴う水和反応の進行により増加し、雰囲気温度が高いほど水和反応が進みやすく強度が増加する。これに伴って透水係数は低下する。また、セメント系固化材は、一般のセメントよりエトリンガイトの生成量が多いことから、固化材の過剰添加や固化材と土の混合不良(固化材の過剰添加部分の偏在)がある場合、エトリンガイトの生成に伴う体積の膨張が生じる可能性に留意する必要がある。

(2) 石灰系固化材^{8),9)}

表-4に石灰系固化材の種類と特徴を示す⁹⁾。ここで、石灰系固化材は、生石灰、軽焼ドロマイト、消石灰および水

表-4 石灰系固化材の種類と特徴⁹⁾

種類	特徴・用途
一般軟弱土用	軟弱土(砂質土・シルト・粘土・火山灰質粘土)に幅広く使用できる汎用品
有機質土用	腐食土・有機質土・ヘドロなどの有機物含有量の多い土に効果がある固化材
発塵抑制型	施工上防塵性が要求される場合に使用される固化材

酸化ドロマイトを母材(主成分)とし、これに添加材として石膏、スラグ微粉末およびアルミナ含有物質またはフライアッシュなどのポズラン物質を添加したものでセメントを含有していない固化材を指している。石灰系固化材は、従来の石灰では固化しにくい含水比の高い粘性土や有機質土を固化するために開発されたものであり、石灰単体では強度発現の小さい土質に対して効果があり、高い強度が得られる。

生石灰 (CaO) を土に添加すると土中の水分 (H₂O) と反応を起こして、式(3)のように消石灰 (Ca(OH)₂) が生成される。この反応により土中水は水和水(生石灰重量の0.32倍)として取り込まれ、かつ発熱反応により蒸発(生石灰重量の0.45倍)する。



生成直後の消石灰は絶乾状態であり、極めて高いサクシオンを有しており、この状態は周囲の土と平衡するまで持続され、さらに含水比を低下させる。土中で生成された消石灰は、比表面積が12,000cm²/gと微細粒子となり分散性に優れ、なおかつ反応性に富んでいる。土中で生成された消石灰は土中水に溶解し、カルシウムイオン (Ca²⁺) が土粒子表面に付着している水素イオン (H⁺)、ナトリウムイオン (Na⁺)、カリウムイオン (K⁺) とイオン交換し、土粒子表面に吸着し、土粒子表面の帯電状態が変わり、団粒化する。これにより、土の塑性指数が低下する。

石膏系 (CaSO₄) の添加材、あるいは石膏系とスラグなどのアルミナ系 (Al₂O₃) の添加材によって生成したエトリンガイト結晶 (3CaO・Al₂O₃・3CaSO₄・32H₂O) が、空隙に針状に絡みあって土粒子を拘束する。また、土中の水分が結晶水に取り込まれ含水比を低下させる。イオン交換反応によって、OH⁻イオンが土中水をアルカリ雰囲気になると、土粒子の粘土鉱物や、コロイドを形成しているシリカ (SiO₂) やアルミナ (Al₂O₃) と消石灰 (Ca(OH)₂) が化学的に結合し、不溶性の水和化合物を生成して土粒子を凝結し、この反応が長期間継続する。長期的に土中に含まれる炭酸または炭酸ガスによって炭酸カルシウムを生成し

て、不透水膜を形成し団結化を促進する。

石灰系固化材による改良効果に及ぼす影響因子として、細粒分が極端に少ない礫質土は、改良効果が小さいこと、地下水等で固化前に水位が高くなる箇所では強度発現性が小さくなること、含水比が低い土質の場合には改良土の密度が小さくなること、外気温が低い場合、強度発現性が小さくなることなどが挙げられる。

改良土の特性には、含水比や塑性指数を低下させ、施工性が早期に改善できることや、低強度から高強度まで所要の強度を長期にわたって発現させること、有機質土や泥土などに対する強度発現が可能であること、長期の仮置きを行っても強度の発現性は良いこと、改良土を破碎後に改良土を再度締め固めることによって再固化すること、盛土の変形や圧縮に追従できることなどが挙げられる。

(3) スラグ系固化材^{5), 10)}

鉄鋼の生産工程で副生する製鋼スラグを原料とするスラグ系固化材は、碎石状で締固めに適した粒度組成であるとともに、石灰分を多く含むことから軟弱土中の水分と反応して固化する性質があり、軟弱な建設残土や農地土などに混合して利用可能な土に改良できる。また、従来の粉体系改良材に比べて粉塵の発生が少なく、安価なため工事費の縮減が可能である。改良土は転圧性に優れ、過度に固化せず再掘削性を有しており、化学成分特性は、CaO含有量が30%以上、かつ、塩基度(CaO/SiO₂)が1.5以上である。

スラグ系固化材を適用すると、まず、粗粒分混合による粒度改善が図られる。次に、混合することによって土中の含水比が低減し、土粒子表面へのカルシウムイオンの吸着により団粒化して強度が高くなる。可溶性カルシウム分のポゾラン反応等による固化効果等による強度増加と再泥化抑制が図られる。

スラグ系固化材による改良効果に及ぼす影響として、軟弱土の含水比が高くなると効果が小さくなることなどが挙げられる。このほか、軟弱土中の細粒分含有率が多くなる場合や軟弱土中のSi、Al成分の溶出量が少ない場合、軟弱土中に含まれる有機物量が多い場合に改良効果が小さいことなどが報告されている。

改良土の特性としては、材齢の経過に伴う水和反応の進行により強度が増加すること、粒度改善により転圧性に優れていること、改良土は過度に固化しないため再掘削が容易であること、添加によって購入土量の抑制が図られ、安価な改良土を得ることができることなどが挙げられる。なお、スラグ系固化材は水と接すると高いアルカリ性を示すことから使用にあたっては事前に施工場所の確認を行う必要がある。

5. まとめと今後の展望

本報では、材料判定の目安を満足していない土質材料に

化学的改良を施してため池堤体土として活用するための検討に資するため、セメント系固化材、石灰系固化材およびスラグ系固化材を対象に文献調査を行うとともに固化原理や改良効果の違いについて整理した。ため池の改修に関する課題は、全国各地の自治体関係者が共通で抱える切実な課題であることから上述の検討内容に類似する研究事例も多い。しかしながら、使用する固化材や期待される土の物理・化学的および力学的性質の改善効果については土が堆積する場所や種類などによって大きく異なる。そのため、既往の手法をそのまま適用できるとは限らず、現場から採取した土試料と固化材を事前に混ぜ合わせることでその組み合わせの適合性を確認する必要がある。

筆者らは、本報で整理した各固化材の留意点などを踏まえ、大分県内で採取した材料判定の目安を満足していない土質材料を用いてセメント系固化材、石灰系固化材およびスラグ系固化材による改良効果に関する検討に既に着手しており、その結果については別報にて報告するものとする。また、今後は良質土を確保するための大分県内の土取場マップの作成や良質土確保のための迅速な土質材料判定のシステムを構築する予定である。

謝辞: 本報は、大分ため池技術研究会研究助成の補助を受けて実施した。ここに深甚なる感意を表す。

参考文献

- 1) 農林水産省：ため池（参照日：2023年8月29日）
https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tam_eike/
- 2) 大分県：大分県のため池（参照日：2023年8月29日）
<https://www.pref.oita.jp/soshiki/15980/oitaken-tameike.html>
- 3) (公社) 農業農村工学会：土地改良事業設計指針「ため池整備」, pp. 9-19, 2015.
- 4) 社団法人地盤工学会：地盤工学用語辞典, p. 411, 2006.
- 5) 佐野博昭, 工藤俊昭, 山田幹雄, 田辺和康：鉄鋼スラグの混入が土の一軸圧縮試験結果に及ぼす影響, 建設用原材料, 17(1), pp. 23-30, 2009.
- 6) 一般社団法人 セメント協会編：セメント系固化材による地盤改良マニュアル (第5版), 技報堂, p. 4, 2021.
- 7) 一般社団法人 セメント協会編：セメント系固化材による地盤改良マニュアル (第5版), 技報堂, pp. 31-92, 2021.
- 8) 黒澤 功, 小嶋利司：講座 土を固める技術の動向 2. セメント・石灰で固める, 地盤工学会誌67(10), pp. 44-51, 2019.
- 9) 日本石灰協会編：石灰による地盤改良マニュアル (第4版), 日本石灰協会, pp. 7-11, 2014.
- 10) 田中裕一, 中川雅夫, 木曾英滋：土を固める技術の動向 8.スラグで固める, 地盤工学会誌68(3), pp. 34-41, 2019.

参考資料

論文題目	筆頭著者	発行年	出典
〈セメント系固化材43編〉			
固化処理したため池泥土の盛土材への適用性の研究	福島伸二	2000	土木学会論文集, 666, III-53, pp.99-116
固化処理したため池底泥土の堤体盛土材への適用性確認のための現場実証試験	福島伸二	2001	土木学会論文集, 680, III-55, pp.269-284
浚渫泥土を利用した貧配合セメント処理土の力学特性	渡部要一	2001	土木学会論文集, 694, III-57, pp.331-342
セメント混合浚渫土の固化強度と均一性評価	湯 怡新	2001	土と基礎, 49(5), pp.4-6
原位置における固化処理地盤の強度評価	笠間清信	2001	土と基礎, 49(5), pp.19-21
セメント改良された軟弱粘土地盤の剛性の評価	菅井正澄	2001	土と基礎, 49(5), pp.22-24
改良地盤の強度変形特性と支持力	前田良刀	2001	土と基礎, 49(5), pp.16-18
固化処理した底泥土を砕・転圧した築堤土の目標強度設定・配合試験法と施工管理法の提案	福島伸二	2002	土木学会論文集, 715, III-60, pp.165-178
固化した流動化処理土の力学的特性と品質基準に関する考察	久野悟郎	2003	土木学会論文集, 750, III-65, pp.99-113
固化処理底泥土で築造した傾斜遮水ゾーンによる老朽ため池の改修事例	福島伸二	2004	土木学会論文集, 764, III-67, pp.341-357
講座「土を固める原理と応用」1.講座を始めるにあたって	三木博史	2004	土と基礎, 52(10), pp.45-46
講座「土を固める原理と応用」2.セメントとセメント系固化材の化学	岡林茂生	2004	土と基礎, 52(11), pp.59-66
講座「土を固める原理と応用」3.改良土の特性	金城徳一	2004	土と基礎, 49-5(562), pp.4-6
講座「土を固める原理と応用」6.固化材と環境および固化改良土の有効利用	金城徳一	2005	土と基礎, 53(2), pp.43-50
固化処理底泥土からなる築堤土の非排水強度特性	鈴木素之	2005	土木学会論文集, 792, III-71, pp.211-216
固化処理底泥土による老朽ため池堤体改修の新設計法の提案	谷 茂	2006	農業土木学会論文集, 243, pp.301-308
フィルダムにおける固化処理底泥土を用いた堤体補強法とその設計法に関する事例研究	福島伸二	2007	土木学会論文集C, 63(2), pp.358-375
底泥土の固化処理強度に及ぼす粒度と含水比の影響	福島伸二	2007	土木学会論文集C, 63(2), pp.376-388
老朽化フィルダムに堆積した底泥土の固化処理強度に及ぼす粒度の影響に関する調査研究	北島 明	2007	土木学会論文集C, 63(2), pp.417-427
フィルダム堆積土のリサイクル利用による堤体改修について	谷 茂	2007	土と基礎, 55(10), pp.32-34
含水比と粒度が変化する底泥土における固化処理時における強度管理法の適用性	北島 明	2007	地盤工学ジャーナル, 2(3), pp.253-269
老朽化した堤体の固化処理底泥土を用いた改修法におけるゾーニング	福島伸二	2008	土と基礎, 56(3), pp.26-29
セメントおよび石灰改良土の発現強度に及ぼす養生温度の影響	佐藤厚子	2008	地盤工学ジャーナル, 3(4), pp.331-342
固化処理底泥土によるフィルダムの堤体改修における設計法	福島伸二	2008	農業農村工学会論文集, 256, pp.375-388
芦ノ町池堆積土の固化処理工法	岡村裕司	2008	水土の知, 76(5), pp.452-453
砕・転圧盛土工法による老朽ため池・フィルダムの堤体改修の特徴	谷 茂	2008	水土の知, 76(8), pp.729-733
固化処理底泥土を用いた老朽ため池堤体改修における堤体ゾーニングパターンの事例研究	福島伸二	2009	土木学会論文集C, 65(4), pp.789-805
固化改良した含水比と粒度が変化する混合泥土を用いた長原口池堤体改修工事	福島伸二	2011	地盤工学会誌, 59(9), pp.30-33
高含水比のセメント処理土の硬化過程	田中洋行	2012	地盤工学会誌, 60(6), pp.16-19
固化改良土の強度特性の長期的な経時変化	三上大道	2012	地盤工学会誌, 60(11), pp.8-11
フィルダムにおける貯水池内底泥土の固化改良土を用いた堤体耐震補強技術	福島伸二	2013	地盤工学会誌, 61(1), pp.18-21
浚渫土のセメント改良による他事業への利活用事例	中村伸二	2014	水土の知, 82(7), pp.543-546
特殊土における石灰・セメント固化反応ー有機質土ー	松山祐介	2018	セメント・コンクリート, 854, pp.26-31
土を固める技術の動向 1.講座をはじめるにあたって	北詰昌樹	2019	地盤工学会誌, 67(10), pp.42-43
土を固める技術の動向 2.セメント・石灰で固める	黒澤 巧	2019	地盤工学会誌, 67(10), pp.44-51
土を固める技術の動向 3.軽くして固める技術	渡部要一	2019	地盤工学会誌, 67(11/12), pp.46-53

土を固める技術の動向 4.補強材を入れて固める	峯岸邦夫	2019	地盤工学会誌, 67(11/12), pp.54-61
含水比の異なる周辺土との接触がセメント安定処理土の表層強度に与える影響	泉尾英文	2019	地盤工学ジャーナル, 14(4), pp.307-320
土を固める技術の動向 5.もうひと手間かける技術	笠間清信	2020	地盤工学会誌, 68(1), pp.38-41
土を固める技術の動向 6.海外の土を固める	野津光夫	2020	地盤工学会誌, 68(1), pp.42-45
土を固める技術の動向 7.混ぜずに固める技術	佐々木隆光	2020	地盤工学会誌, 68(2), pp.31-38
土を固める技術の動向 8.スラグで固める	田中裕一	2020	地盤工学会誌, 68(3), pp.34-41
土を固める技術の動向 9.講座を終えるにあたって	北詰昌樹	2020	地盤工学会誌, 68(3), pp.42-43
〈石灰系固化材13編〉			
火山灰風化粘性土の化学的・物理的性質	諸戸靖史	1991	土と基礎, 39(6), pp.9-14
生石灰を用いた建設残土の埋め戻し材としての再利用	吉田 保	1992	土と基礎, 40(6), pp.23-28
各種火山灰質粘性土の生石灰による土質安定処理と凍害防止	石田 宏	1993	土と基礎, 41(4), pp.33-38
生石灰安定処理土の反応機構と強度特性	石田 宏	1994	土と基礎, 42(4), pp.9-14
有機質火山灰質粘性土の安定処理と凍上防止	石田 宏	1997	土と基礎, 45(4), pp.9-12
石灰系固化材を用いた安定処理土の強度と凍上性	川端伸一郎	1997	農業土木学会論文集, 192(65-6), pp.829-835
石灰系土質安定材の現状と将来	山田洋夫	1990	石膏と石灰, 229, pp.92-95
関東ロームの石灰安定処理における反応性	宗 永焜	2001	土と基礎, 49(2), pp.13-16
消石灰と石膏による児島湖浚渫土の透水性改良	石黒宗秀	2002	農業土木学会論文集, 221(70-5), pp.575-580
石灰処理されたコアを有するため池の動的挙動 - 芸予地震による被害事例からの検討 -	小林範之	2003	農業土木学会論文集, 225(71-3), pp.303-310
石膏系固化材と石こう混合物による改良土を利用したため池堤体の改修	下窪健一	2007	水土の知, 75(9), pp.846-848
ため池コア材への旧堤体土・底泥土再利用に関する一考察 - 兵庫県下における老朽ため池を事例として -	鈴木麻里子	2013	農業土木学会論文集, 284(81-2), pp.171-176
石灰系固化材で安定処理された砂質土の耐液状化性能	森井俊廣	2019	農業土木学会論文集, 308(87-1), pp.II_59-II_64
〈スラグ系固化材14編〉			
高炉水砕スラグ水和反応の液相分析による検討	大門正樹	1982	石膏と石灰, 176, pp.3-8
高炉水砕スラグの水和におよぼす刺激剤の作用	青木茂樹	1982	石膏と石灰, 181, pp.22-28
電気炉製鋼スラグの物理的, 化学的性質	桑山 忠	1999	土と基礎, 38(12), pp.23-28
事例報告 地盤工学において用いられる水砕スラグの特性	松田 博	2000	土と基礎, 48(6), pp.22-24
高炉水砕スラグの港湾構造物への裏込めへの利用	菊池嘉昭	2003	基礎工, 32(7), pp.58-61
高炉水砕スラグの地盤改良材としての適用性に関する基礎的研究	松田 博	2004	土木学会論文集, 764, III-67, pp.85-99
高炉水砕スラグの硬化特性と地盤改良工法への適用	篠崎晴彦	2006	土木学会論文集C, 62(4), pp.858-869
高炉水砕スラグの硬化促進方法と効果強度評価方法の検討	菊池嘉昭	2011	土木学会論文集C, 67(1), pp.145-159
高炉水砕スラグの人工地盤への適用	岡本 隆	2012	地盤工学会誌, 60-11(658), pp.4-7
カルシア改質土で造成された地盤の特徴	赤司有三	2012	地盤工学会誌, 60-11(658), pp.12-15
製鋼スラグを用いた林道整備の開発	田辺和康	2012	地盤工学会誌, 60-11(658), pp.16-19
土工材料として用いられる高炉水砕スラグの地盤工学的諸特性	松田 博	2012	地盤工学会誌, 60-11(658), pp.20-23
浚渫土と鉄鋼スラグの混合土の工学的特性と混合の施工方法	湯 怡新	2013	地盤と建設, 31(1), pp.113-118
講座 土を固める技術 8.スラグで固める	田中裕一	2020	地盤工学会誌, 68(3), pp.34-41

(2023.9.29受付)