

地域の特徴とそれにおける課題

- ・鹿児島県中央部に位置する桜島が噴火
→鹿児島県本土面積約52%がシラス地盤
- ・年平均降水量は2300mm以上で梅雨時期から夏場にかけて降水量が増加
- ・更に近年では激しい雨が振る続ける線状降水帯が発生しやすい傾向にある

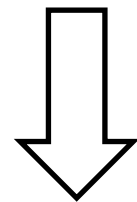


シラス地盤は水に弱く水を含むと崩れやすい

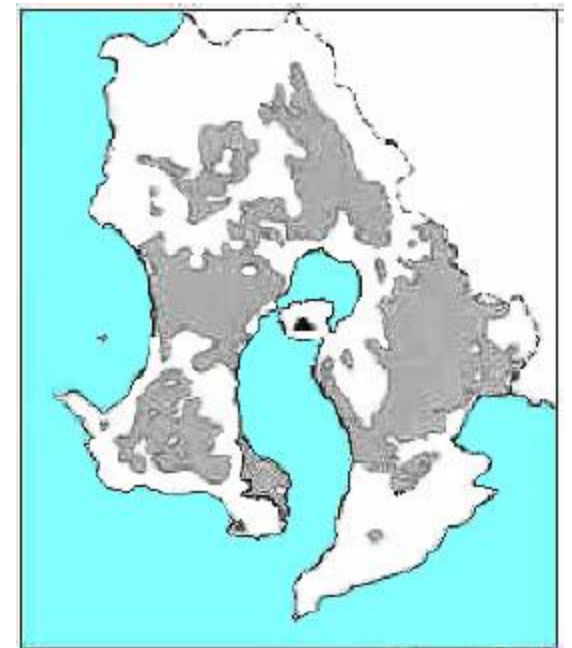


シラス地盤が原因となって度々大きな土砂災害が
引き起こされてきた

特に1993年に発生した「8.6水害」と呼ばれる集中豪雨
では大規模な土砂災害相次ぎ甚大な被害をもたらした



どうにかシラス地盤による土砂災害を減らしたいと考え
環境負荷の小さい地盤改良を目指し「SDGsに配慮したシラスの改良」
というテーマを掲げ本活動を行った



鹿児島県のシラス台地の分布

<https://www.fureai-cloud.jp/tie/doc/view/1646/>

シラス地盤のもたらす土砂災害

鹿児島県内の土砂災害 うち赤枠はシラス地盤での土砂災害

年	犠牲者数 (人)	主な土砂災害概要
T3	58	桜島 大正噴火。大隅半島とつながる。
S13	454	台風により大隅地方で犠牲者。
S17	16	台風により牧園町霧島温泉で地すべり。
S23	38	梅雨により霧島町松永でがけ崩れ。
S24	35	台風により牧園町霧島温泉で地すべり。
S29	7	梅雨により伊集院町でがけ崩れ。
S29	9	台風により牧園町新湯温泉でがけ崩れ。
S30	1	桜島 昭和噴火。
S41	15	梅雨により鹿児島市、鹿屋市等でがけ崩れ。
S46	47	台風により串木野市、輝北町等でがけ崩れ。
S49	8	桜島町野尻川、第一古里川で土石流。
S51	32	梅雨により鹿児島市、松山町等でがけ崩れ。
S52	9	梅雨により鹿児島市竜ヶ水で土石流。
S61	18	梅雨により鹿児島市、上竜尾、平野町等でがけ崩れ。
H1	2	台風により垂水市でがけ崩れ。
H2	12	台風により鹿児島市でがけ崩れ。
H5	105	鹿児島地方を中心とした集中豪雨による史上最悪の土砂災害。
H7	1	梅雨により南種子町茎永で地すべり。
H9	24	梅雨により出水市針原で大規模な土石流災害。死者21人。 台風により田代町鶴岡でがけ崩れ。死者3人。
H12	1	梅雨により大崎町でがけ崩れ。
H15	2	梅雨により菱刈町前目でがけ崩れ。
H17	5	台風により垂水市でがけ崩れ。土石流。
H18	3	県北部豪雨災害により菱刈町で2人、薩摩川内市祁答院町で1人死亡。
H22	2	梅雨により霧島市大窪で土石流。死者1名 奄美豪雨災害により龍郷町でがけ崩れ。死者1名
H23	1	奄美北部豪雨災害により龍郷町で土石流。
H28	1	梅雨により姶良市蒲生町でがけ崩れ。
H30	2	梅雨により鹿児島市古里町でがけ崩れ。
R1	2	6月末からの大雨により、鹿児島市本城町でがけ崩れ。死者1人。 曾於市大隅町でがけ崩れ。死者1人。

1993年8.6水害の被害にあわれた方々(本校職員、
県庁職員、一般市民)へのインタビュー

被害状況

- JR日豊本線、国道10号線は寸断
- 高速道路は上り線は土砂崩れで通行止め
- 甲突川は氾濫し天文館は水没

復旧状況

- 避難所が設置され支援物資が届く
- 一般道路はすぐに復旧
- 高速道路の復旧は1週間ほどかかった
- 被害の大きかった国道10号線は1か月かかった

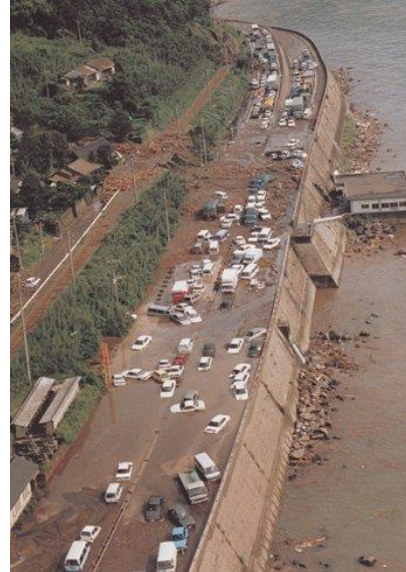
災害後の対応

- 国道10号線に雨量によって降りるストッパーの設置
- JRもすぐに止まるようになった

シラス地盤のもたらす土砂災害



<https://haradaoffice.biz/former-hanakura-hospital/>



<https://www.sci.kagoshima-u.ac.jp/oyo/advanced/disaster/1993.html>

8.6水害だけじゃない

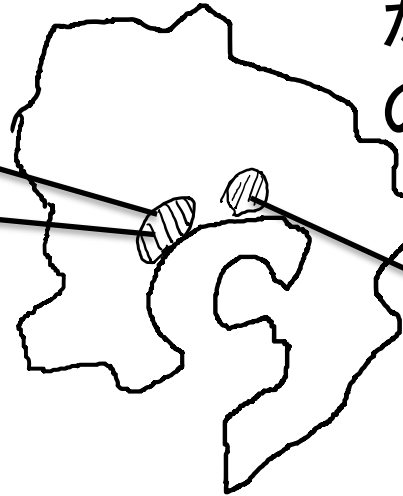
2016年
梅雨前線豪雨により始良市
鹿児島市などで36件の土砂災害
が発生し全壊2戸、一部損壊12戸
の被害が発生

史上最悪の8.6水害

1993年

7/31~8/2の集中豪雨、8/5~8/6集中豪雨
8/10の台風10号、9/3の台風13号と連続した
大規模な降水により甚大な土砂災害が発生した

国道では約1200台の車が動けなくなり、竜ヶ水
地区では家屋7戸全壊、駅に停車していた列車
2本の破壊が起きた



https://www.pref.kagoshima.jp/ah08/kouhou/documents/87752_20220513165439-1.pdf

シラスによる地盤災害
の克服が喫緊の課題

SDGsに配慮した地盤改良

現在はセメント系固化材が広く普及しているが...

セメント系固化材の特徴

長所

- ・砂質土・粘性土・シルト・有機質土・泥土など幅広い土質に効果を発揮
- ・長期にわたり安定した強度が得られる

短所

- ・地盤をアルカリ化し、植物の生育を阻害
- ・六価クロムが発生し、土壤汚染を招く可能性がある
- ・産業廃棄物にあたるため、不動産売買時のマイナス要因と見なされる



本活動における特徴

今回の検証では我が国の伝統工法である三和土の手法をシラスの改良に採用

長所

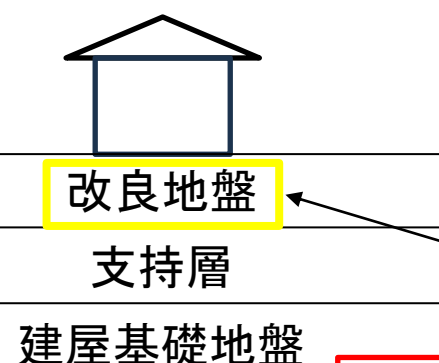
- ・重金属が含まれない
- ・耐水性がある

短所

- ・施工の際に締め固める必要がある
- ・強度発現に時間がかかる



セメント系固化材を用いた場合と同様に恒久的な強さが得られるかつ耐水性があるため水を含むと崩壊するシラスの欠点を補うことができる



重金属を含むため原状復帰の場合は除去あるいは置換
↓
現状復帰にかなりの費用が掛かり将来的な価値が下がる

アイデア検証方法

1. 試料の準備

- ① 炉乾燥シラス 90% (最大粒径9.5mm)
- ② 水酸化カルシウム 5%
- ③ カオリン粘土 5% (シラスの細粒分を補うため)
- ④ 塩化マグネシウム六水和物 20%水溶液 (苦汁)

2. 供試体作製

- (1) 構造物基礎を想定しJIS A1216 (JGS0811) の手順にしたがって1.①~④を用いて供試体を3個作成
- (2) これを3組作成

3. 養生

加水無し, 養生4週目および8週目まで週1回供試体体積の 0.5%にあたる1ccを供試体上部より加水した3種類の供試体について91日後に試験を行う

7月30, 31日					10月29, 30日										
種類	養生期間 (週)														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
W8	作成	週1回体積の0.5%の水を供試体上面より								加水なしで湿潤養生					試験
W4		添加して湿潤養生													
W0															

4. 試験

一軸圧縮試験と定水位透水試験を行う

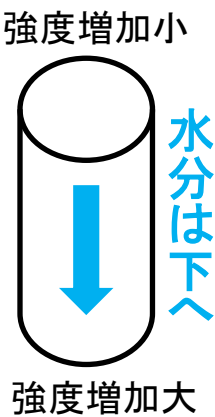
3. で加水した理由

供試体内の水分が養生中に
下方へ移動

↓
供試体内で強度偏在のおそれ

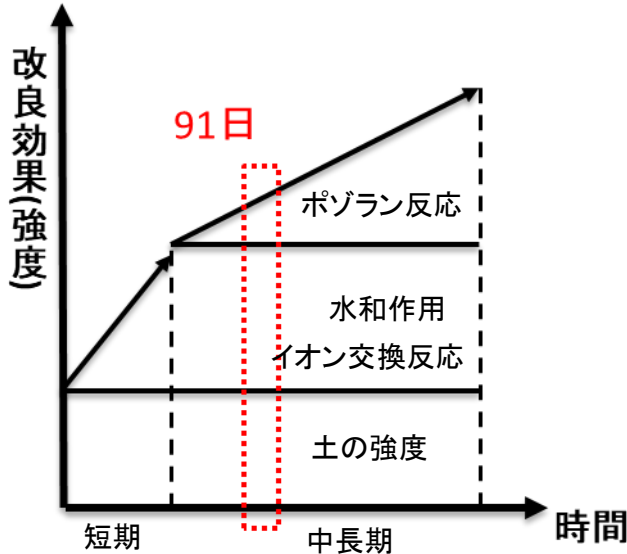
↓
養生4週目まで1週間に1度1cc加水
養生8週目まで1週間に1度1cc加水
加水なし

の三つの供試体を作成する



3. で養生日数を91日とした理由

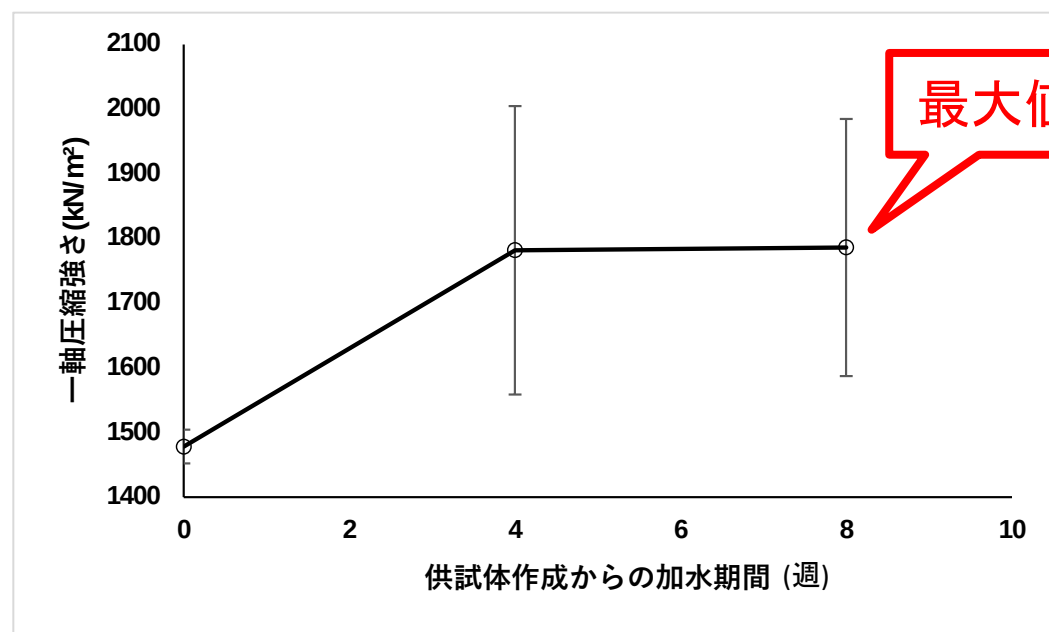
三和土では養生28日以降にポズラン反応
による強度発現が期待できるため



三和土の硬化反応モデル

試験結果

①一軸圧縮試験



左図より

加水期間無し

1477kN/m²

加水期間4週

1781kN/m²

加水期間8週

1786kN/m²

より加水期間8週で最大値が得られた

これは砂質土の設計基準強度である

1000～2000kN/m²の範囲内である

②定水位透水試験

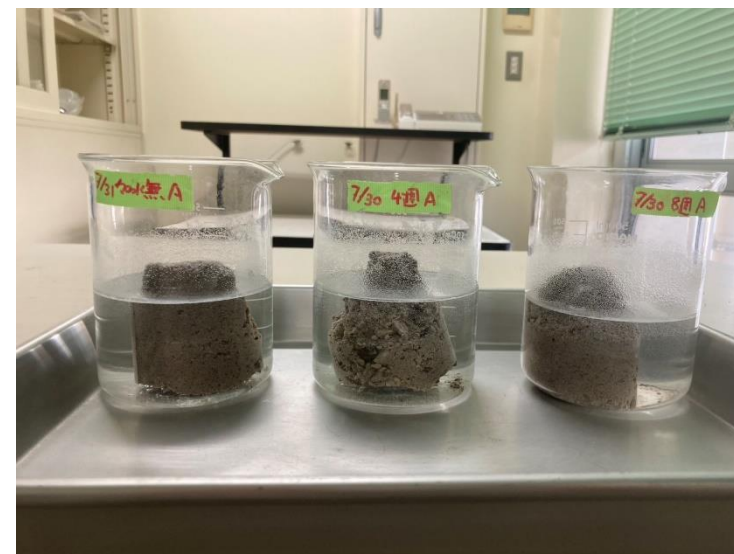
1回目	2回目	3回目
$6.2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	$7.7 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	$5.2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$

以上より平均値である $6.4 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ を透水係数とした



改良前のシラスと同様に透水性は低いと判定された

一軸圧縮試験後の供試体を500mLのビーカーに入れ三和土で改良したシラスの耐水性を確認した



水浸28日後も原型をとどめていた



三和土による改良でシラスが耐水性を得た

ステークホルダーインタビュー

11/4, 11, 18, 25の
授業終了後にインタビュー

本校非常勤講師
末吉智宏様
(株)大翔 取締役技術部長
技術士(建設部門)

都市環境デザイン工学科5年
日置大智

地元の建設技術コンサルタントである株式会社 大翔 様と試験結果を検証し
三和土による改良土がどのような場面で利用できるか意見を伺った

改良土の活用方法

① 堤防などの鋼度としての利用

試験結果より改良土は透水係数は低いと判定された(10^{-6} m/s程度)

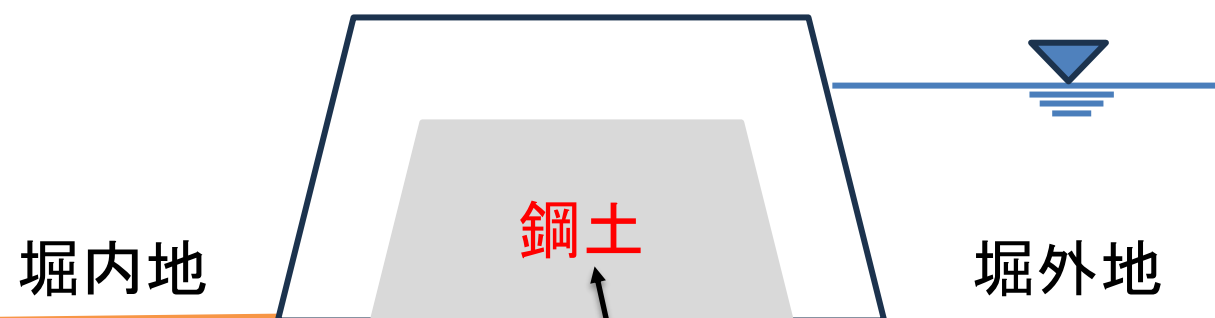
使用するシラスの粒度を今回のものより細かくすれば透水係数を低下できる



河川や溜池の堤防には透水係数が $10^{-6} \sim 10^{-8}$ m/s程度の低い材料が適している



堤防の鋼土 (コア材)としての利用



堤体盛土して用いる遮水を目的とした土

② 抑え盛土としての利用

集中降雨等により土が多くの水を含む



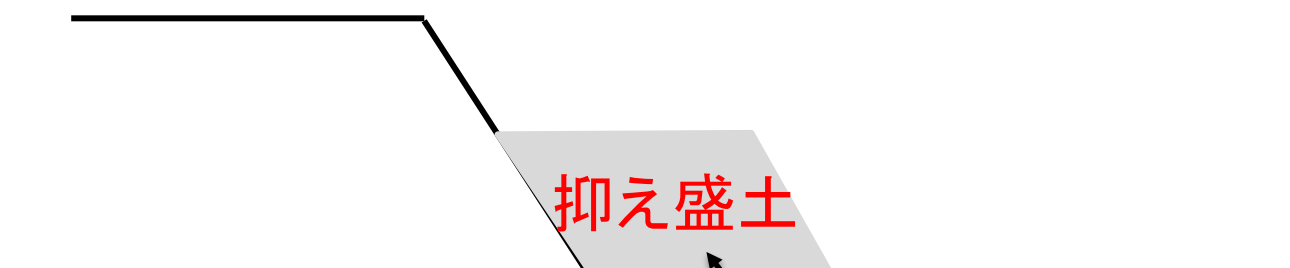
シラスは水に弱く多くの水を含むと斜面崩壊し土砂崩れの危険がある



土の飽和を防ぐため水の排水が必要



改良土を抑え盛土として利用
斜面の安定性を確保しつつシラスの粒度を粗くして水の排水を良くする



地すべりを防ぐために斜面下部に設置する盛土

改良土の活用方法

活動のための資源配分

③ 建設材料土としての活用

現地発生土の利用により外来種の侵入を抑制でき、SDGsの以下の目標達成への貢献が期待できる



- ・材料の運搬にかかるエネルギーの削減
- ・製造に際し大量のCO₂を排出するセメントの使用を回避



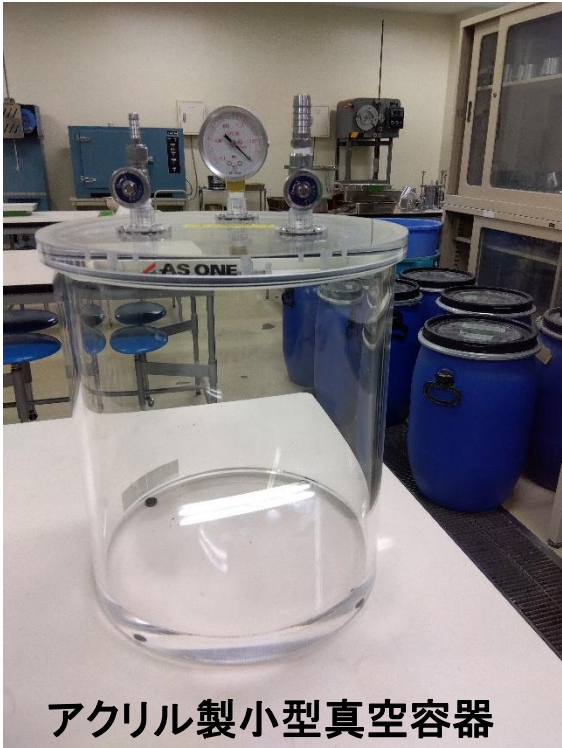
- ・材料の運搬に伴う騒音や振動の削減
- ・セメント系固化材のように重金属を含んでいないので地盤の汚染を回避



- ・セイタカアワダチソウのような外来種の侵入の抑制と生態系の破壊の防止

支給された活動資金の使途

品目	金額	用途
アクリル小型真空容器	¥92,378	透水試験
電子天秤	¥55,220	含水比測定等
ヘキサメタリン酸ナトリウム	¥2,079	粒度試験
水酸化カルシウム14本	¥21,532	三和土材料
塩化マグネシウム六水和物5本	¥8,240	三和土材料
カセットボンベ1パック	¥521	密度試験
合計	¥179,970	



- ・カオリン粘土は本校地盤工学研究室のものを用いた

まとめ

今回の活動の成果

1. 鹿児島県で頻発する土砂災害の特性を理解し課題を理解
2. 三和土を用いてSDGs達成という付加価値を有する解決策を提案
3. 改良した供試体の室内試験結果より改良土の活用方法の検討

今後の展開

1. 今回の活動から見えた社会実装への課題
 - (1) 周辺環境・シラスの性状把握手法
 - (2) 宅地造成などへの利用拡大のための調査
 - (3) 実証実験を行い公共の盛り土材、地盤改良への採用



産官と連携し設計・施工指針の整備を目指す

2. 鹿児島県外への展開

シラスも含め日本全国には様々な火山噴出物で形成された地盤があるのでそれらの地盤に対して今回採用した三和土の活用ができるのかを検討

謝辞

今回の活動をご支援いただきました防災科研 三輪学央 様、横山仁 様、(株)大翔 様、本校 内田一平准教授 に感謝申し上げます。