もみ殻を活用した液状化対策工法の開発

富山県立大学　兵動太一

背景~戸建て住宅における液状化対策の課題~

令和6年能登半島地震(石川)

- **戸建て住宅の被害**

(消防庁HP2/21時点)
全壊(8,905棟)，半壊(12,196棟)
戸建て住宅も液状化による被害が多数確認された.

戸建て住宅に液状化被害が生じた要因

→対策費が高額かつ
自己負担割合が多い

工法	注入工法
工事費	500~800万円
自己負担率	50~75%

日本建築学会より

既存の液状化対策工法

→今後は施行面積が狭くても低額となる工法が求められる

地盤工学会関東支部より

背景~液状化対策工法の種類~

液状化対策工法

・地盤の密度増大による対策（サンドコンパクションパイル工法等）
・地下水位低下工法
・**地盤改良による対策(深層混合処理工法や浸透固化処理工法など)**
→戸建て住宅のような狭隘部にも適用可能

地盤注入材

懸濁系 **セメント系懸濁液型**

・六価クロムなどによる発がん性物質の含有
・環境影響の懸念

溶液系 **水ガラス系溶液型**

・セメントと比較して強度発現性に劣る
・長期耐久性に課題

両方の欠点を満たす材料探しの必要性！！

背景~ジオポリマーについて~

ジオポリマー(GP)…アルカリ水溶液と活性フィラーの
縮重合反応によって生成される固化体.

<u>セメントの代替品</u>としての利用が期待されている.

GP(GPコンクリート)の適用例

大分県の温泉地区の
歩車道境界ブロック

引用：一宮ら2017より

<u>GPの耐酸性と耐熱性を期待</u>

オーストラリアの
ウエスト・ウェルキャンプ空港

引用：一宮2017より

<u>GPの配合および施工性の確認</u>

目的

GPはこれまでコンクリート分野においてのみ適用されてきたが
地盤工学の分野に適用する場合…

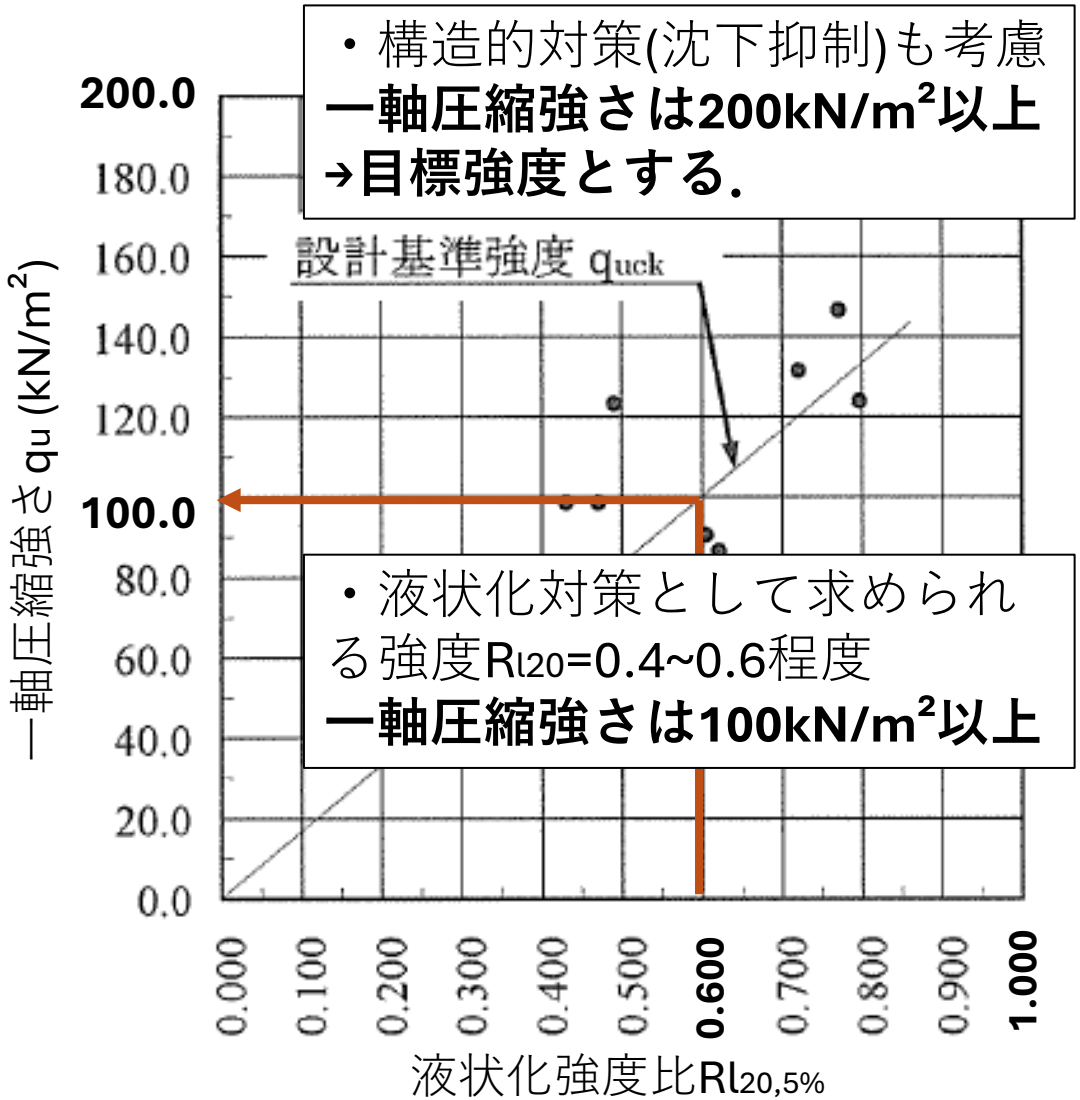
✓ コンクリートほどの強度は求められないため，
アルカリ水溶液の濃度を減らせ(水分割合を増やせる)，
液状化対策におけるコストを抑えることができる．

✓ 活性フィラーに排出量の25%が焼却・廃棄されている
もみ殻を用いることにより，さらなるコスト削減や
環境負荷の低減が期待できる．

針貫入試験により，アルカリ水溶液がもみ殻灰ベースの
GP改良土の強度に及ぼす影響を調べ，液状化対策への適用
性の可否を評価

本研究における目標強度

一軸圧縮試験からの一軸圧縮強さ*qu*と三軸試験からの液状化強度比Rl20の関係



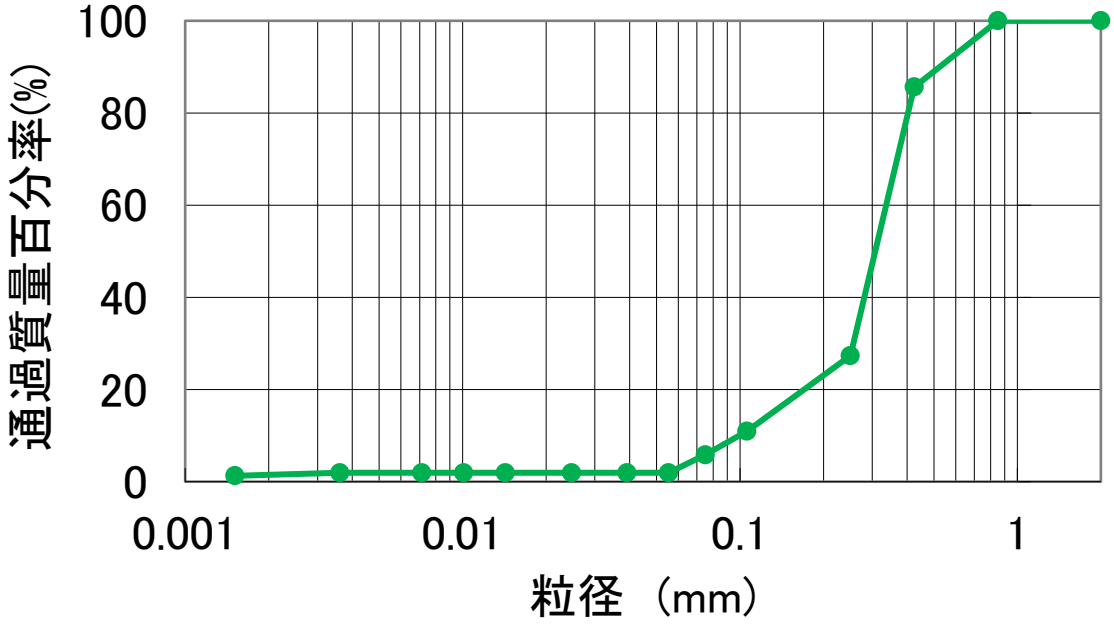
一般財団法人
沿岸技術研究センター：
浸透固化処理マニュアル
より

試験試料～土質材料

土質試料

東北珪砂6号

含水比w=0.065(%),
土粒子密度ρs=2.61(g/cm^3),
2mmふるい通過百分率=100(%),
均等係数Uc=3.5,
曲率係数Uc'=1.90



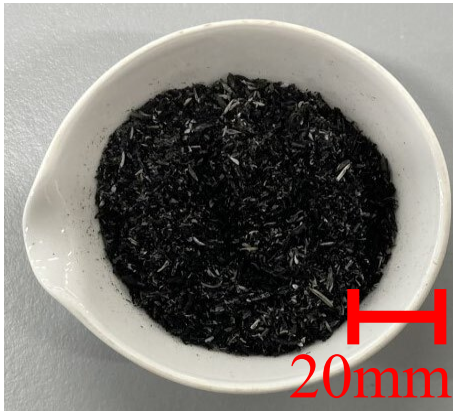
試験試料～ジオポリマー改良材～

活性フィラー

富山県産
もみ殻灰(RA)

SiO_2=83%
w=1.0%,
ρ_s=2.19Mg/m^3

粉砕後の外見



アルカリ水溶液

①水ガラス3号(WG)
成分
NaOH, SiO_2,H_2O

②石灰水(LW)
0.2%濃度
成分
NaOH,H_2O

NHは反応促進剤として利用する
水酸化ナトリウム水溶液(NH)5%濃度
成分
NaOH,H_2O

もみ殻灰は粉砕機にて粉砕し，2mm
ふるい通過分を使用
*ρ_sはバイオマスを土質試料と
見なして便宜的に算出した.

既往の研究に基づく配合割合の決定

セメントの代替品となるGPだが，地盤分野への適用例はほとんどない．

▼

寺井の配合（GPモルタルの配合）に倣い，以下の配合割合で試験を実施．
任意の量の蒸留水を加え，コストダウンを図る．

標準配合(質量構成比%)					
土質試料	ジオポリマー改良材				水
	活性フィラー	アルカリ水溶液			
東北珪砂6号	もみ殻灰	水ガラス	石灰水	水酸化ナトリウム水溶液	蒸留水
49	34	12	-	5	任意
49	34	-	12	5	任意

$$\textbf{水分希釈率(\%)} = \frac{\text{添加した蒸留水の質量}}{\text{ジオポリマーの質量}} \times 100$$

針貫入試験[JGS3431-2012]

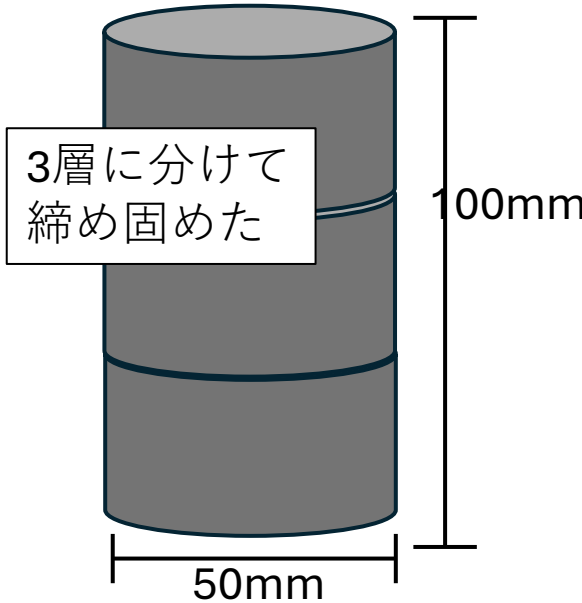
供試体作製方法
ボウルに試料を入れ，ゴムへらを用いて混合した．その後，プラモールド(ϕ=50mm,h=100mm)に3層に分け，各層をタンピング法にて25回締め固めた．

養生条件
室温室温20℃±3℃, 湿度70±3%程度の養生室にて所定の期間(養生7~168日)気中養生を行った．

針貫入試験の実施
***1ケースにつき，3回強度の測定を行なった．**

針貫入勾配*NP* (N/mm)の算出
$NP=P/L$
P：貫入荷重(N)
L：針の貫入長(mm)

*NPのままだと，目標強度(一軸圧縮強さ200kN/m²)との比較ができないため，NPを一軸圧縮強さに変換する必要がある．



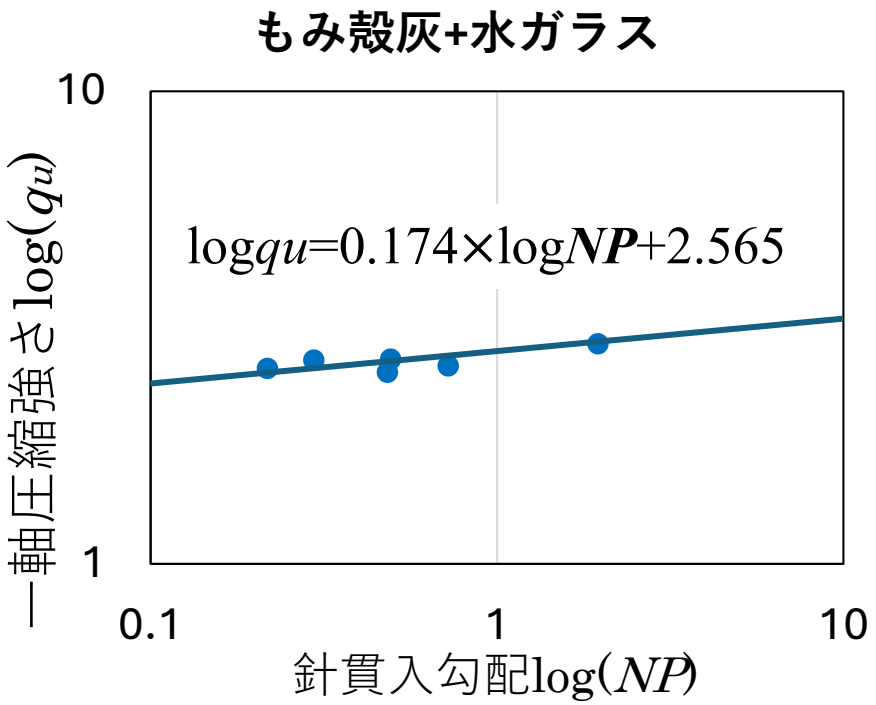
換算一軸圧縮強さq_{uE}の算出方法

針貫入勾配NP (N/mm)
$NP=P/L$
P：貫入荷重(N)
L：針の貫入長(mm)

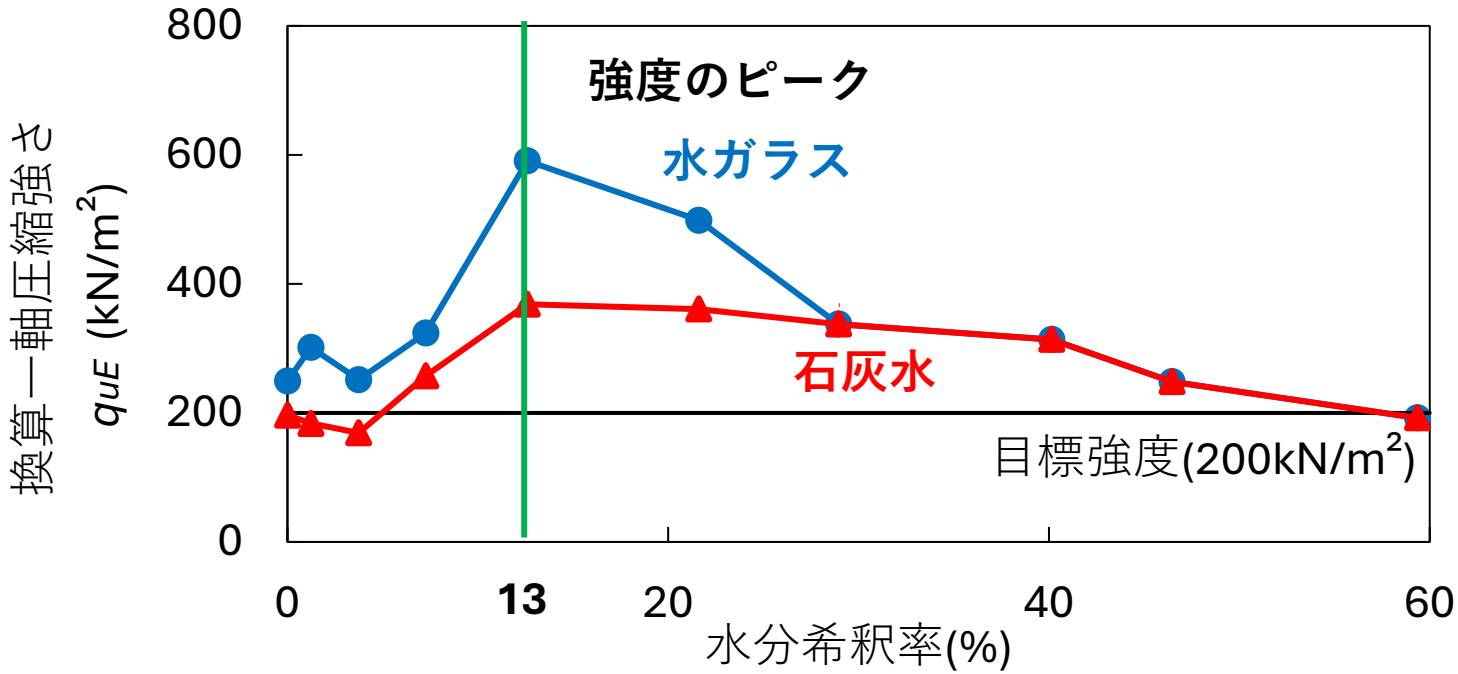
換算一軸圧縮強さq_{uE} (kN/m²)

- 同一の供試体に対して一軸圧縮試験および針貫入試験を実施し，算出した一軸圧縮強さと針貫入勾配をプロットした.
- 本研究では上記で求めた近似式から換算一軸圧縮強さを算出する.

(**石灰水**はほとんどのケースで脱型できず近似式が求められなかったため，便宜的に水ガラスのものを用いた)



養生28日目における水分希釈率と換算一軸圧縮強さの関係



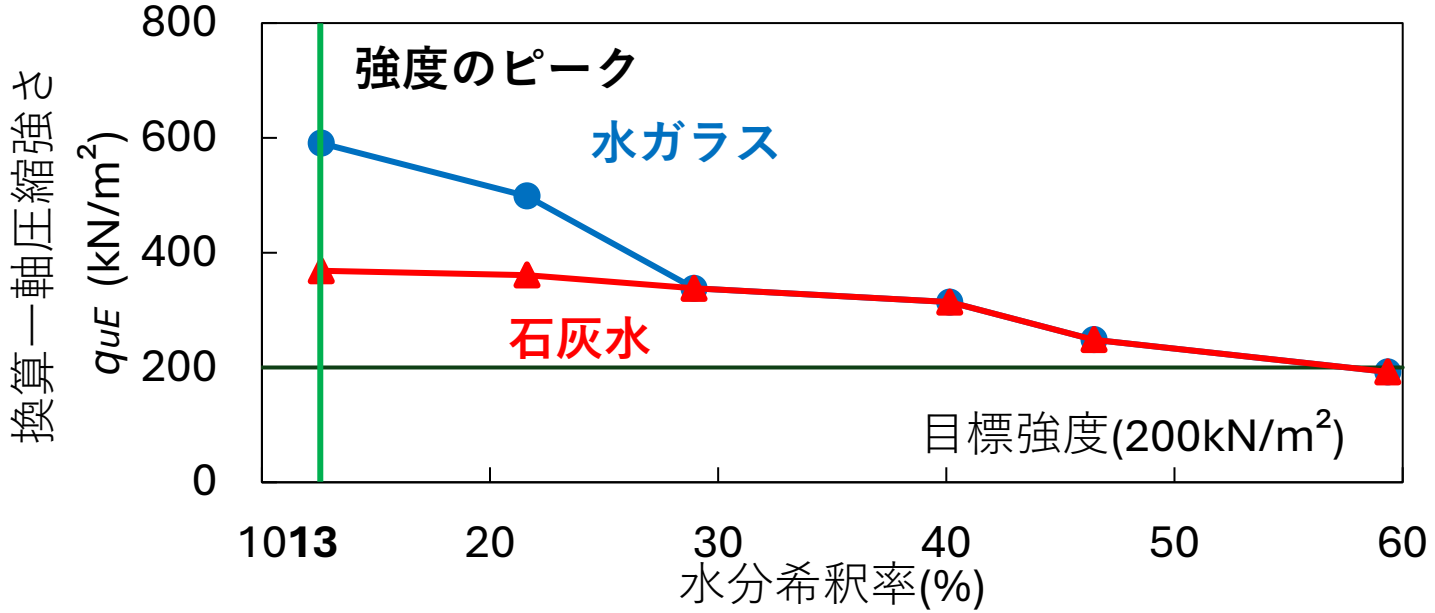
佐藤ら(2014)によると竹を混合したセメント改良土を撹拌した際に
竹の持つ吸水性が作用して，充分に水和反応を起こせず，脆性的になった.

- **もみ殻灰も吸水性を有するため，似た現象が起きた.**

アルカリ水溶液に含まれるアルカリ成分が全体に浸透しにくく，
充分に反応できなかったのではないか.

水アルカリモル比W/Aによる評価手法

- **養生28日目におけるもみ殻灰の水分希釈率と換算一軸圧縮強さの関係**



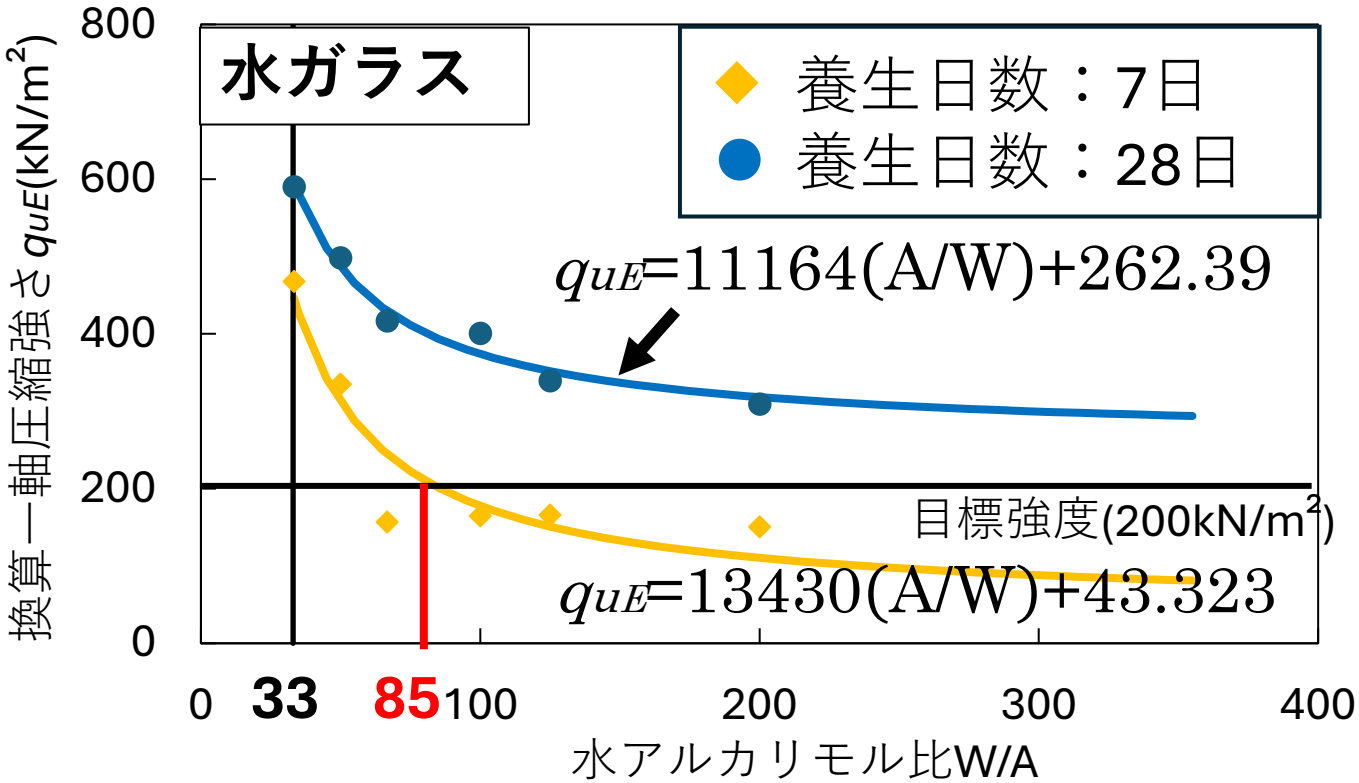
水分希釈率では本ケース以外の配合では強度の評価ができない

評価に汎用性を持たせるため…

水アルカリモル比(W/A)で評価する

$$\text{水アルカリモル比W/A}=\frac{\text{水のモル比}}{\text{アルカリ成分のモル比}}$$

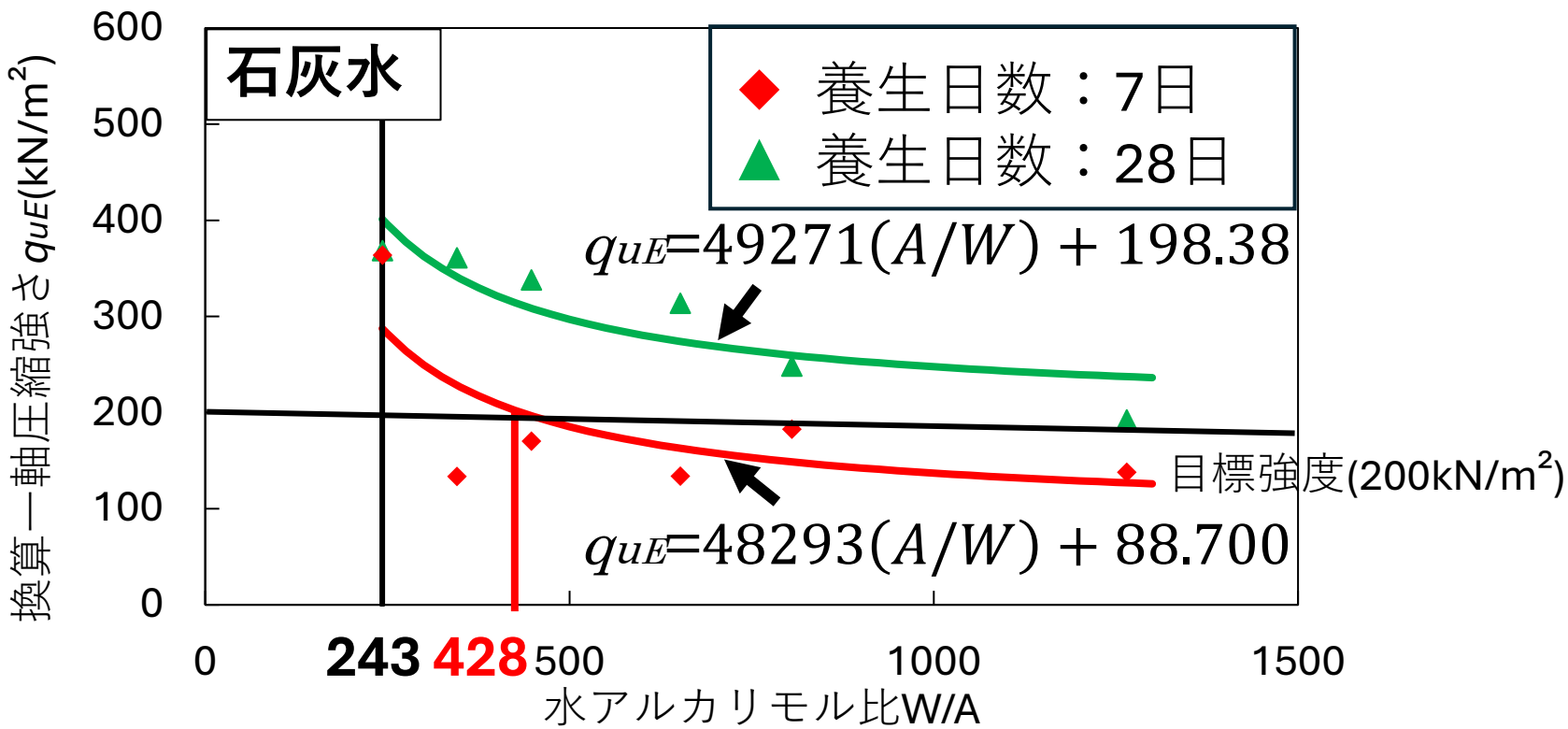
ジオポリマー改良土の強度評価(水ガラス)



養生28日目においては全てのケースで目標強度(200kN/m^2)を達成した.

養生日数7日目においては**33≦W/A≦ 85**のとき
目標強度(200kN/m^2)を満たすと推定できる.

ジオポリマー改良土の強度評価(石灰水)



養生28日目においては全てのケースで目標強度(200kN/m^2)を達成した.

養生日数7日目においては**243≤W/A≤ 428**のときであれば目標強度(200kN/m^2)を満たせると推定される.

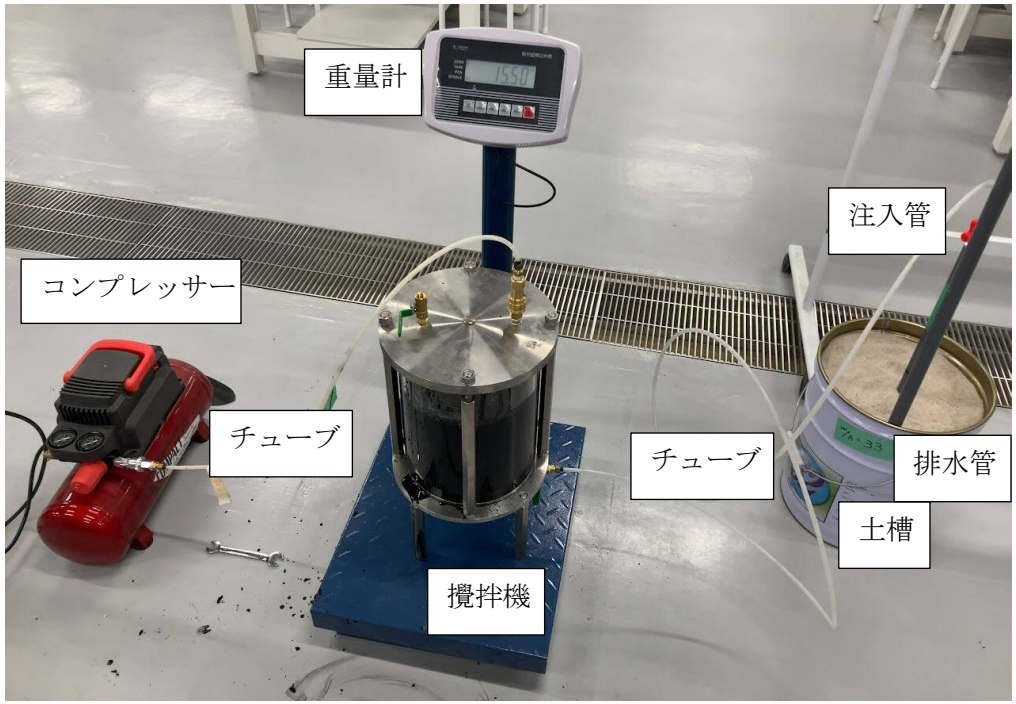
今後の展開

実施工を想定した実験

- 浸透固化処理工法を想定した簡易土槽実験

⇒今回は目詰まりを起こし失敗…GPにあった分散材の必要性？

- 想定より強度が発現したため，土質材料に直接混合し，軽量盛土材として使用できないか？？

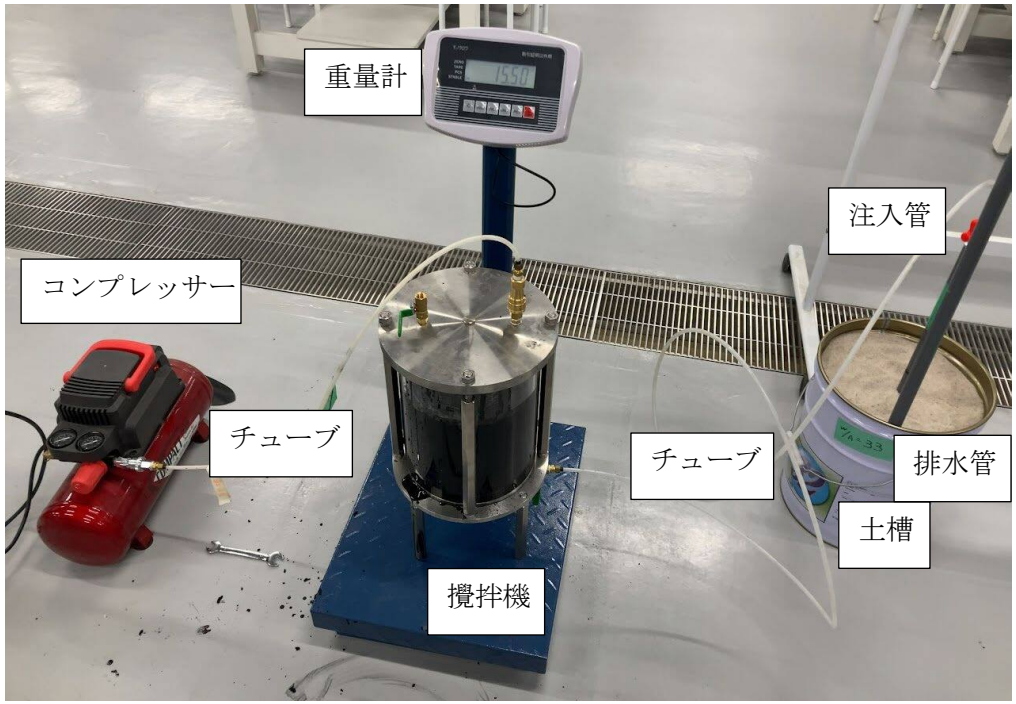


今後の展開

実社会に実装された時のインパクト

- 地盤改良材として利用されるため今まで焼却処分していたもみ殻に付加価値が得られる.

⇒最近問題になっているコメの価格問題や，稲作農家への収入の適正化（後継者不足の解消も含む）を解決する一助になる



謝辞

本研究，報告は，飯塚悠貴くんの修士論文の研究の一部を
元に作成しました。また試料提供にご協力して頂いた，本学・立田准教授や，
自治体のご担当者様に深くお礼を申し上げます。

**最後にとやま呉西圏域調査研究事業の
手厚いご支援に心から感謝いたします**