

永久構造物の建設を可能にする 軟弱地盤セメント浸透固化改良土 の長期安定性評価方法の開発

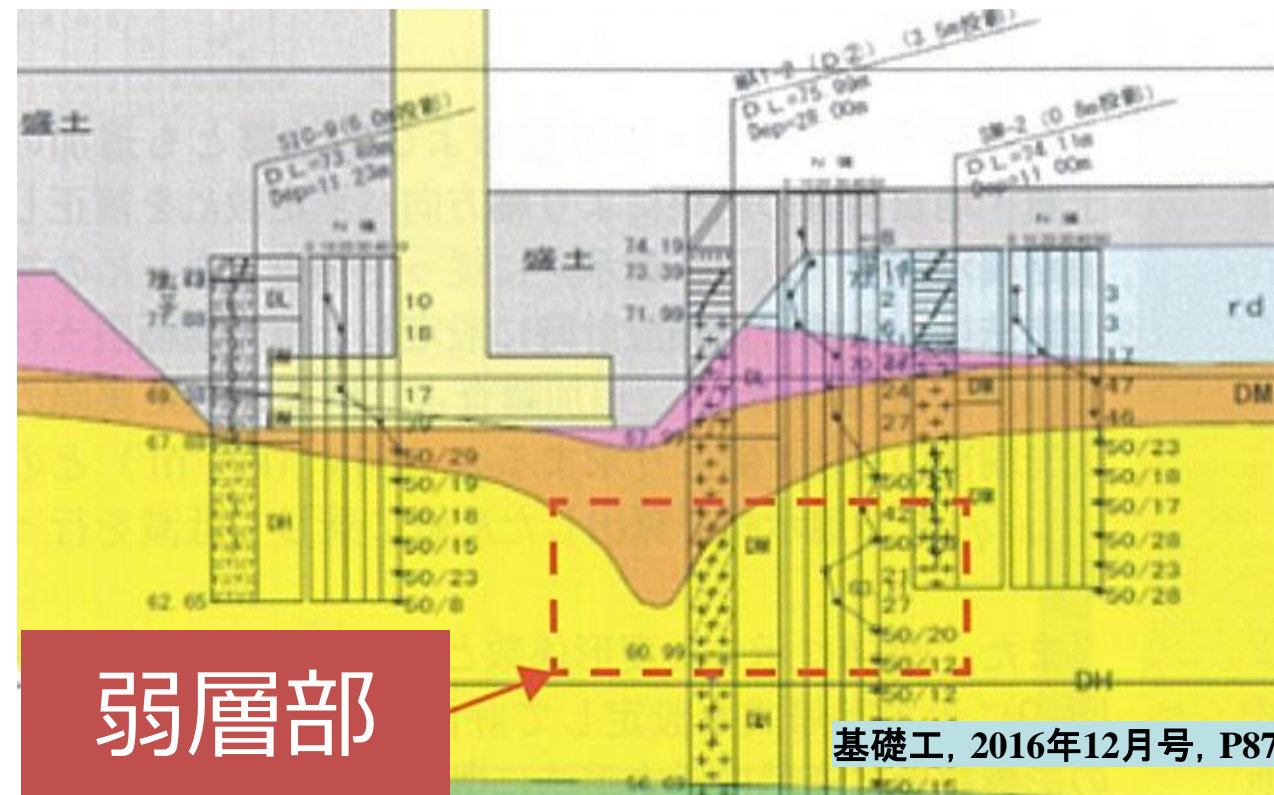
名古屋工業大学 社会工学専攻
環境都市学系プログラム
教授 張 鋒

永久構造物の建設を可能にする軟弱地盤セメント ト浸透固化改良土の長期安定性評価方法の開発



社会背景と技術的課題

- ① 橋台建設中に基礎地盤となる花崗岩が**深層風化**を受け、**支持力が不足**、**基礎が沈下**；対策としてセメント系固化材を用いた浸透注入工法を採用し**地盤改良**を実施
- ② しかし、この方法は主に**仮設構造物**への適用であり；長期安定性に関する定量的な評価は不十分



深層風化による杭基礎の沈下の1例

- ① 化学的風化の要因である**酸**の強さと周辺地盤の**地熱**の影響を実験的に把握
- ② **土-水-温度-化学**の4要素を総合的に考慮できる構成式を提案→セメント処理土の長期安定性を定量的に評価できる**解析手法を開発**し、その実用化を目指す

本技術の特徴（過去の研究と異なる点）

● 試験方法の確立

- ・セメント改良土の配合決定
- ・水中曝露溶液の配合決定



● 要素試験

- ・異なる酸・温度環境下における三軸圧縮・クリープ試験
- ・蛍光X線分析



● 酸/温度を考慮した修正熱弾塑性構成式の提案

- ・限界応力比 M を酸/温度/拘束圧の効果を含む関数として定式化



● 要素シミュレーション

- ・材料パラメータの決定
- ・実験結果と解析結果の比較による構成式のパフォーマンス検証



● FEM解析

- ・要素試験レベルでのFEM解析

実験

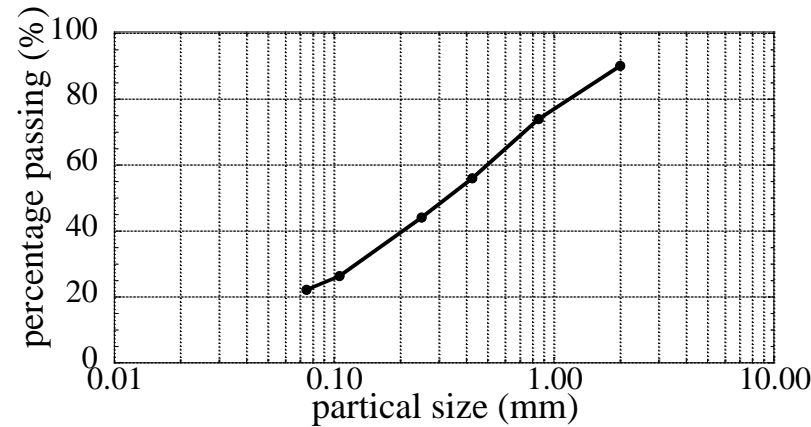
解析

試験方法の確立

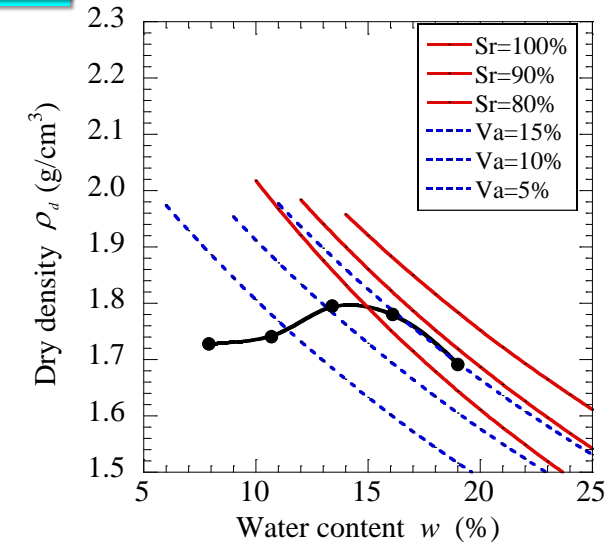
試験試料:セメント改良土

マサ土の物理特性

最適含水比 w_{opt} [%]	14.7
土粒子密度 ρ_s [g/cm ³]	2.641



マサ土の粒径加積曲線



マサ土の締固め曲線

セメント添加率

- ばらつきのおおきさ
- 目標とする1週間強度0.6MPaの有無を踏まえて**5%**と決定

含水比

24時間後のブリーディングの様子を踏まえ $w=27.1\%$ と決定

供試体の作成

- ① マサ土（粒径2mm以下）+ 高炉セメントB種 + 水を練り混ぜ
- ② 恒温湿潤環境下で3週間の気中モールド養生
- ③ H10cm×φ5cmに成型し, 水中曝露を実施



気中モールド養生の様子

異なる酸・温度環境下の要素試験

練り混ぜ

気中モールド養生3週間

水中曝露



水中曝露の様子
(恒温槽+脱気水槽)

- 三軸圧縮・クリープ試験
- 蛍光X線分析

水中曝露条件

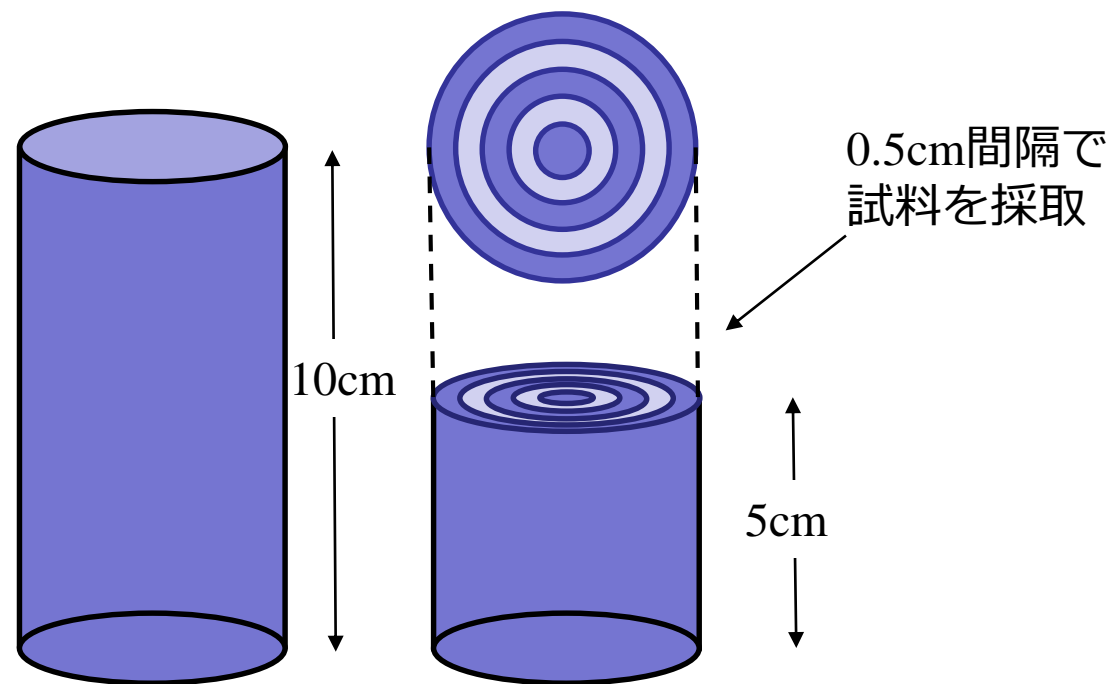
pH	温度 [°C]	水中曝露期間
4	20	1週間
	50	
5	20	
	50	
7	20	
	50	

pHの変動を抑制するために曝露溶液をバッファーとする

- pH4 : **酢酸**(0.3mol/L)と**酢酸ナトリウム**を3 : 1で配合
- pH5 : **酢酸**(0.3mol/L)と**酢酸ナトリウム**を1 : 1で配合
- pH7 : **酢酸**(0.1mol/L)と**リン酸塩バッファー**(0.25mol/L)を5 : 2で配合

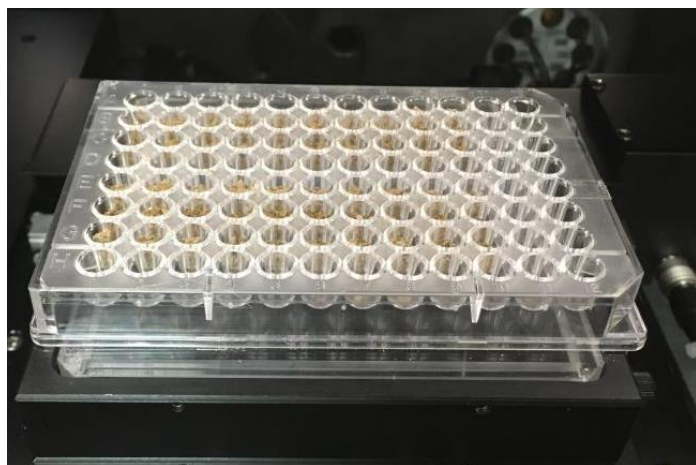
X線分析装置

実験装置：顕微蛍光X線分析装置



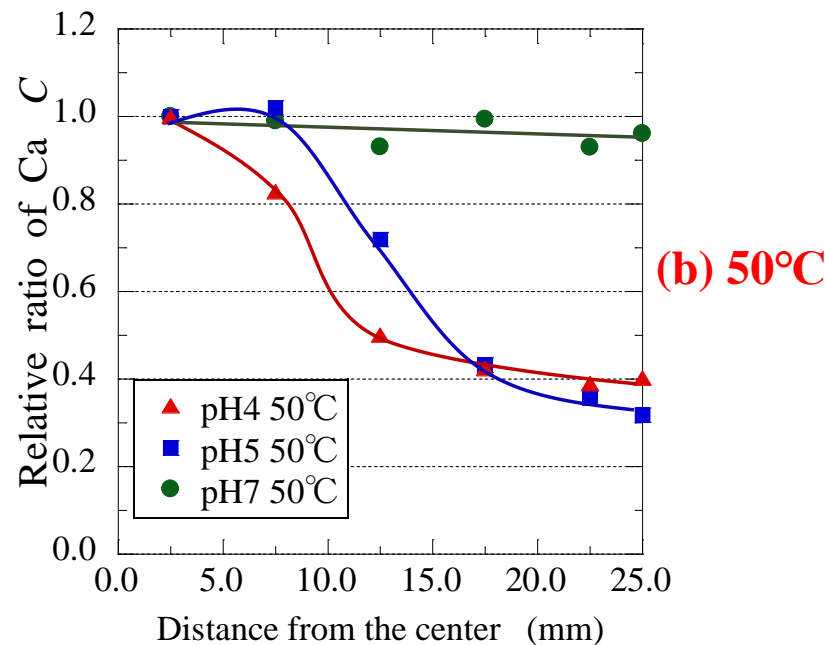
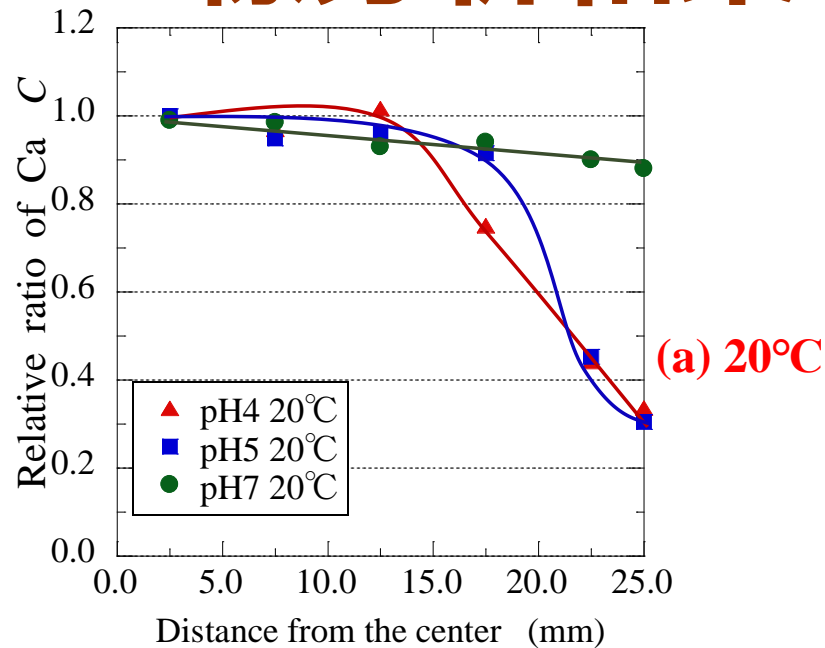
試料の採取位置

分析に用い
る試料



- 水中曝露前後のCa原子数濃度の変化の把握
- 供試体内部の酸の影響の進行度合いの把握

X線分析結果



カルシウム相対濃度 C

$$C = c_{cur} / c_{ini}$$

c_{ini} : 曝露前のカルシウム濃度

c_{cur} : 曝露後のカルシウム濃度

酸の影響

- pH4, 5では酸によるCa溶脱がみられる
- Caの溶脱は線形関係ではなく3次曲線のような挙動

温度の影響

- 高温になるほど酸の影響による劣化の進行度合いが大きい

✓ カルシウム相対濃度 C を酸を表す状態変数として本研究で提案する構成式の中に取り込む

✓ 各データの値をFEM解析で使用するメッシュ内に取り込む

三軸圧縮・クリープ試験装置

実験装置：高温中容量三軸試験機

セル内の**温度制御可能**

→水中曝露時と同一の環境温度で試験を実施

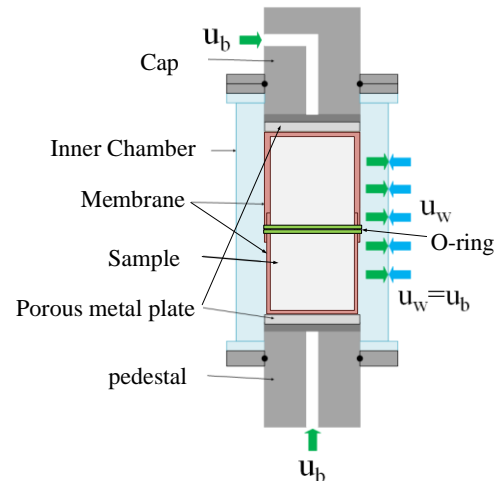
試験条件

拘束圧(MPa)	0.1, 0.3
載荷速度(%/min)	0.1



三軸圧縮試験

インナーチャンバー+底付きメンブレンを使用
→供試体が水に触れることなく体積変化を計測



三軸クリープ試験

温度条件により2種類のメンブレンを使用

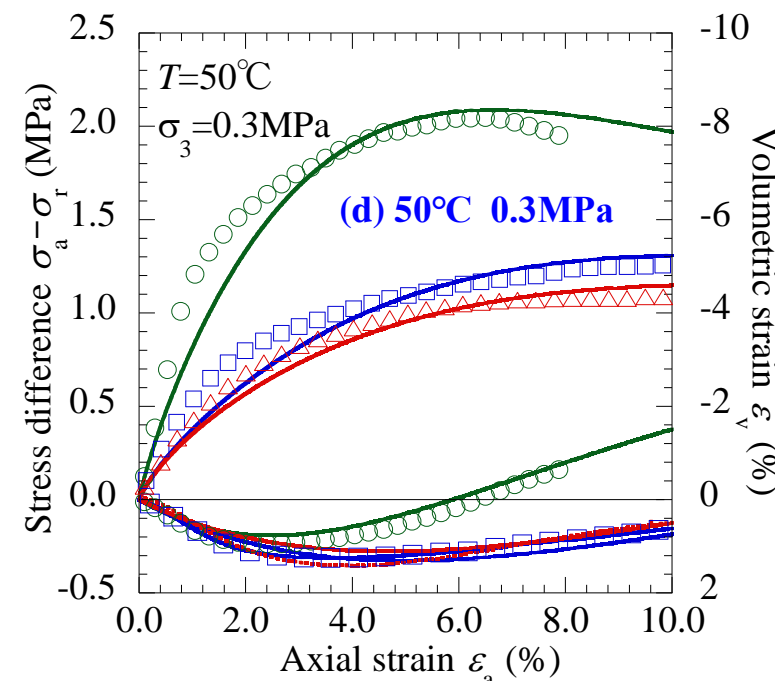
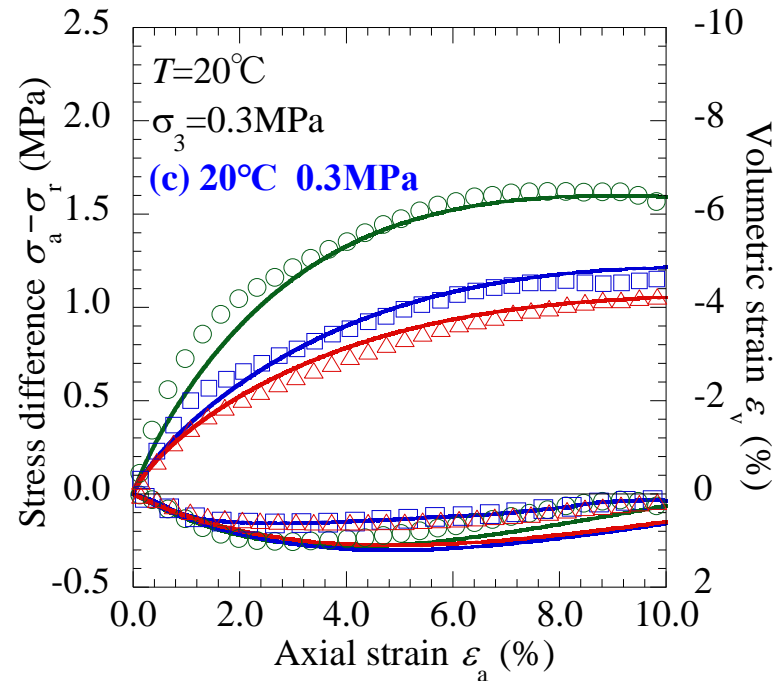
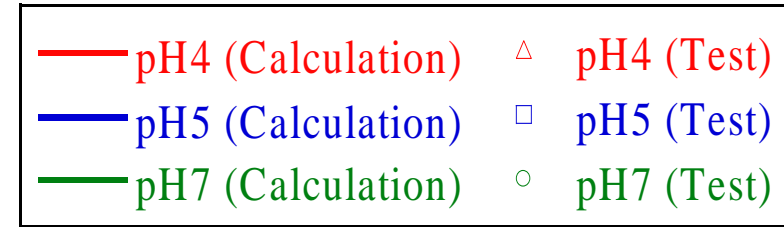
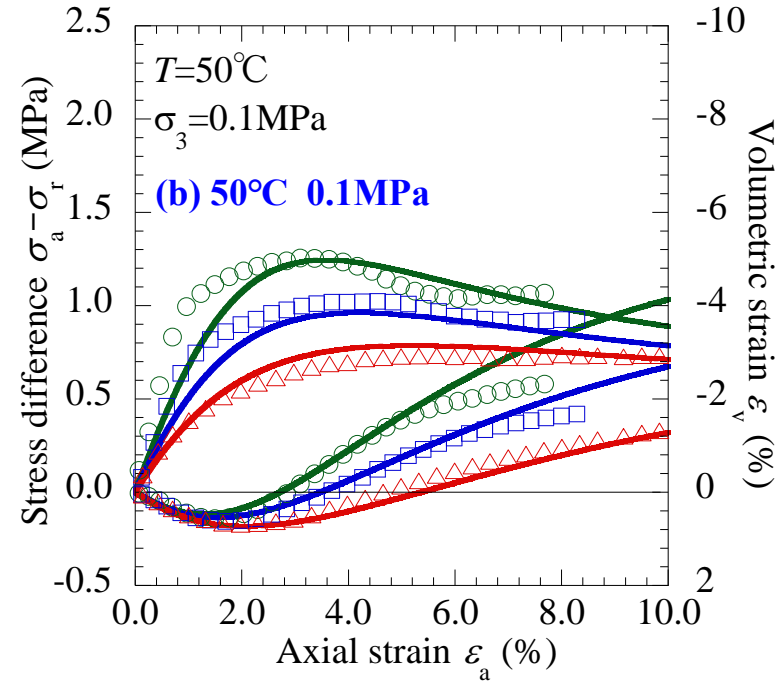
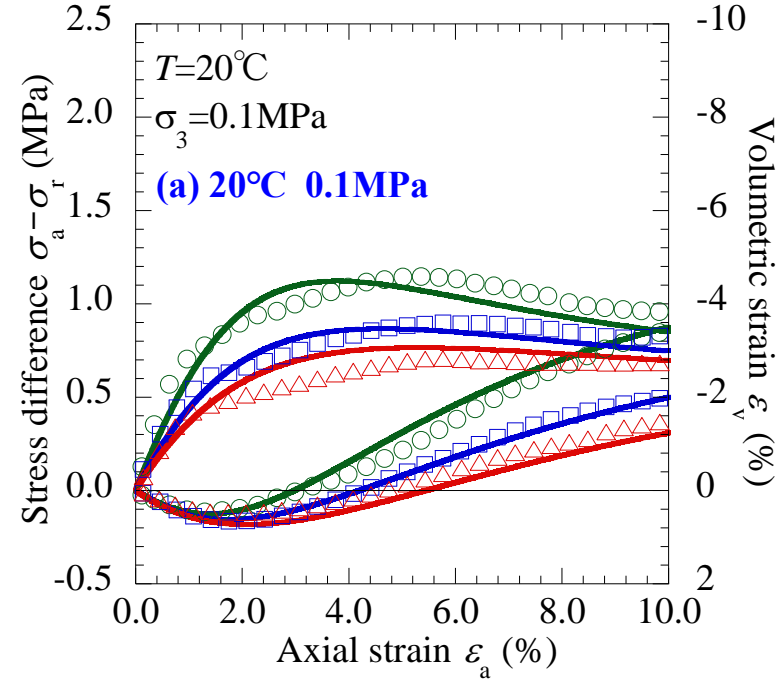


20°C



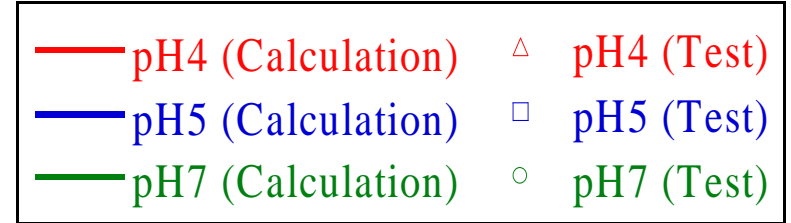
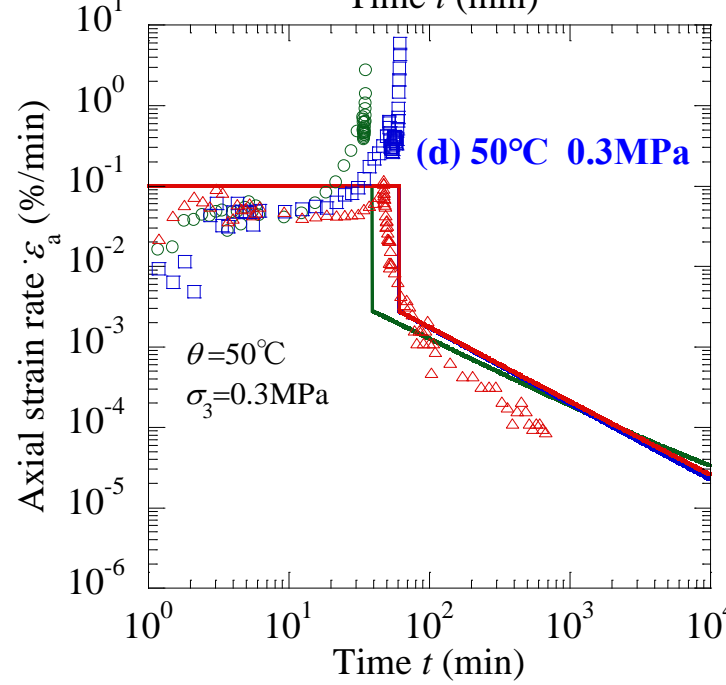
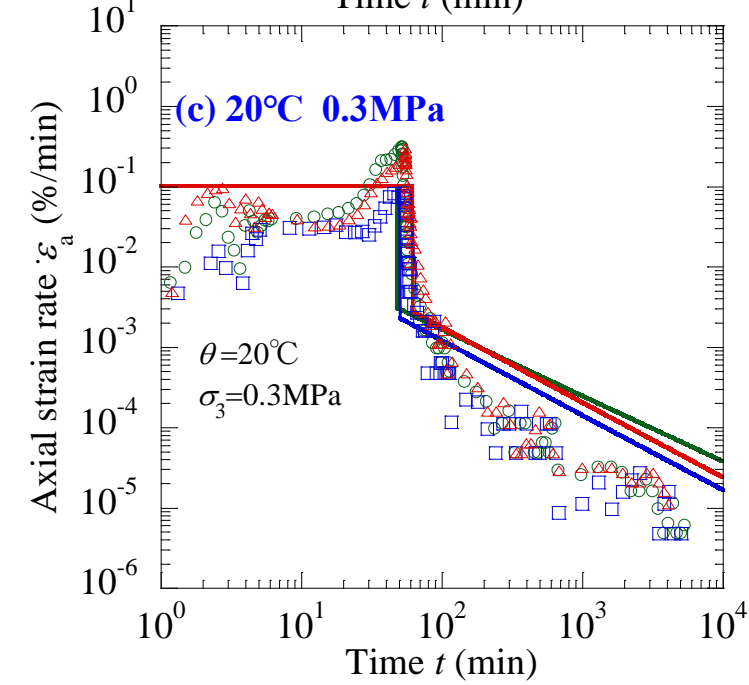
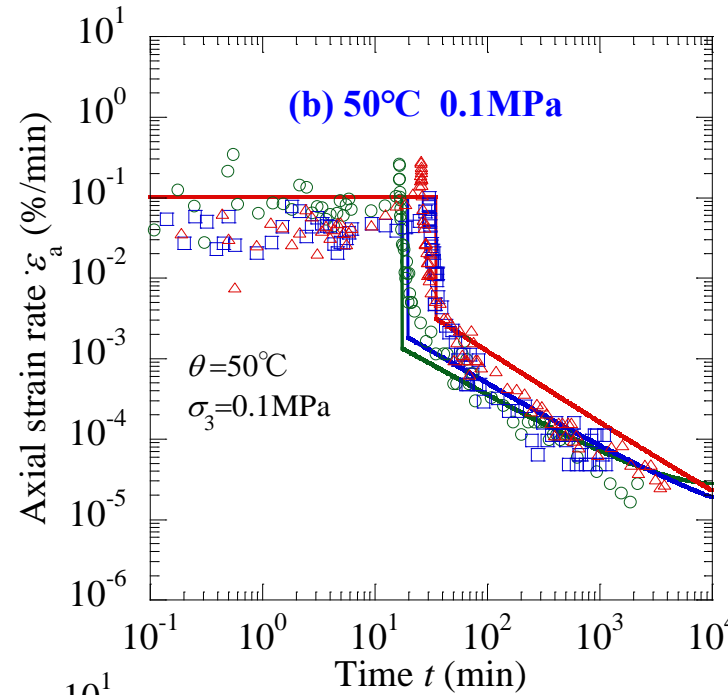
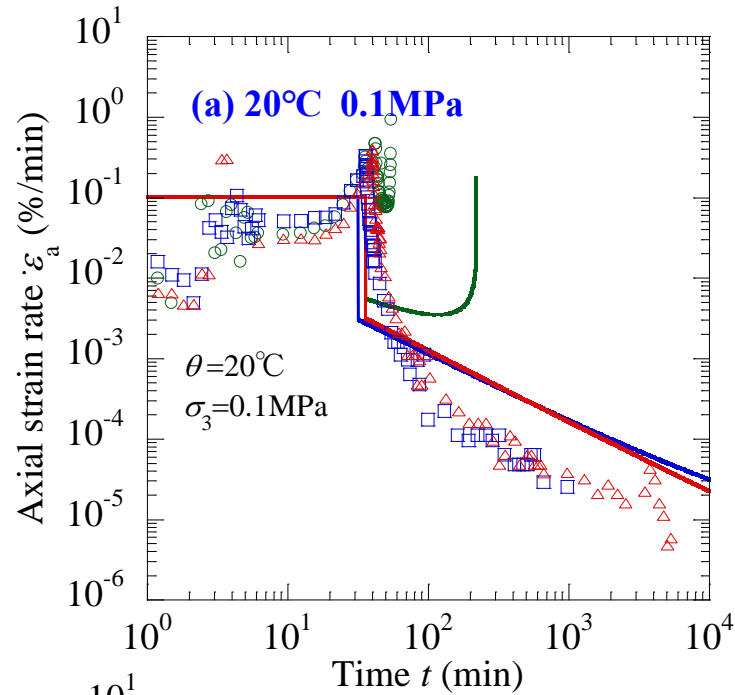
50°C

三軸圧縮試験結果と数値解析結果



三軸圧縮試験結果と
数値解析結果の比較

三軸クリープ試験結果と数値解析結果



実験で破壊に至った条件

- pH7 20°C 0.1MPa
- pH5,7 50°C 0.3MPa

数値解析で破壊に至った条件

- pH7 20°C 0.1MPa

20°Cと50°Cで時間依存性の違いが存在している可能性

三軸クリープ試験結果と数値結果の比較

長期安定性の解析技術の提案

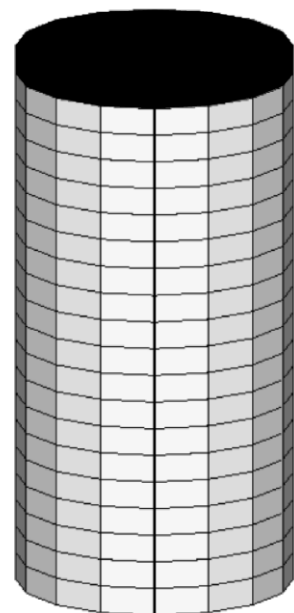
X線分析結果から供試体が不均一で、境界値問題としてFEM解析によりその力学挙動を再現，解析技術の確立の第1歩！

解析プログラム:

熱・水・土・空気連成FEMプログラム

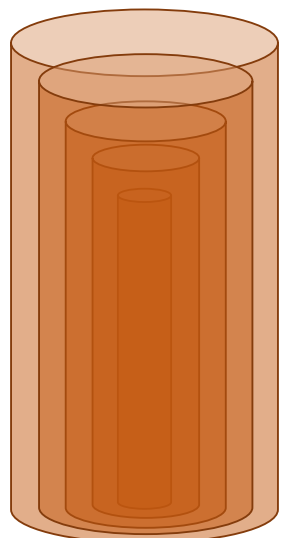
「SOFT」(Xiong et al., 2014a&b)

用いられる構成式: 本研究で提案する温度・酸効果を考慮した熱・弾粘塑性モデル

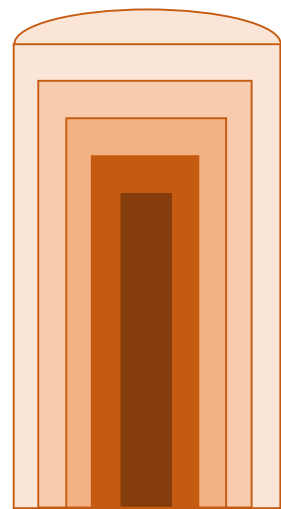


解析に用いられる3次元FEMメッシュ

- 不均一性を境界値問題として解釈→数値手法の有効性を検証
- pH4, pH5の結果を比較

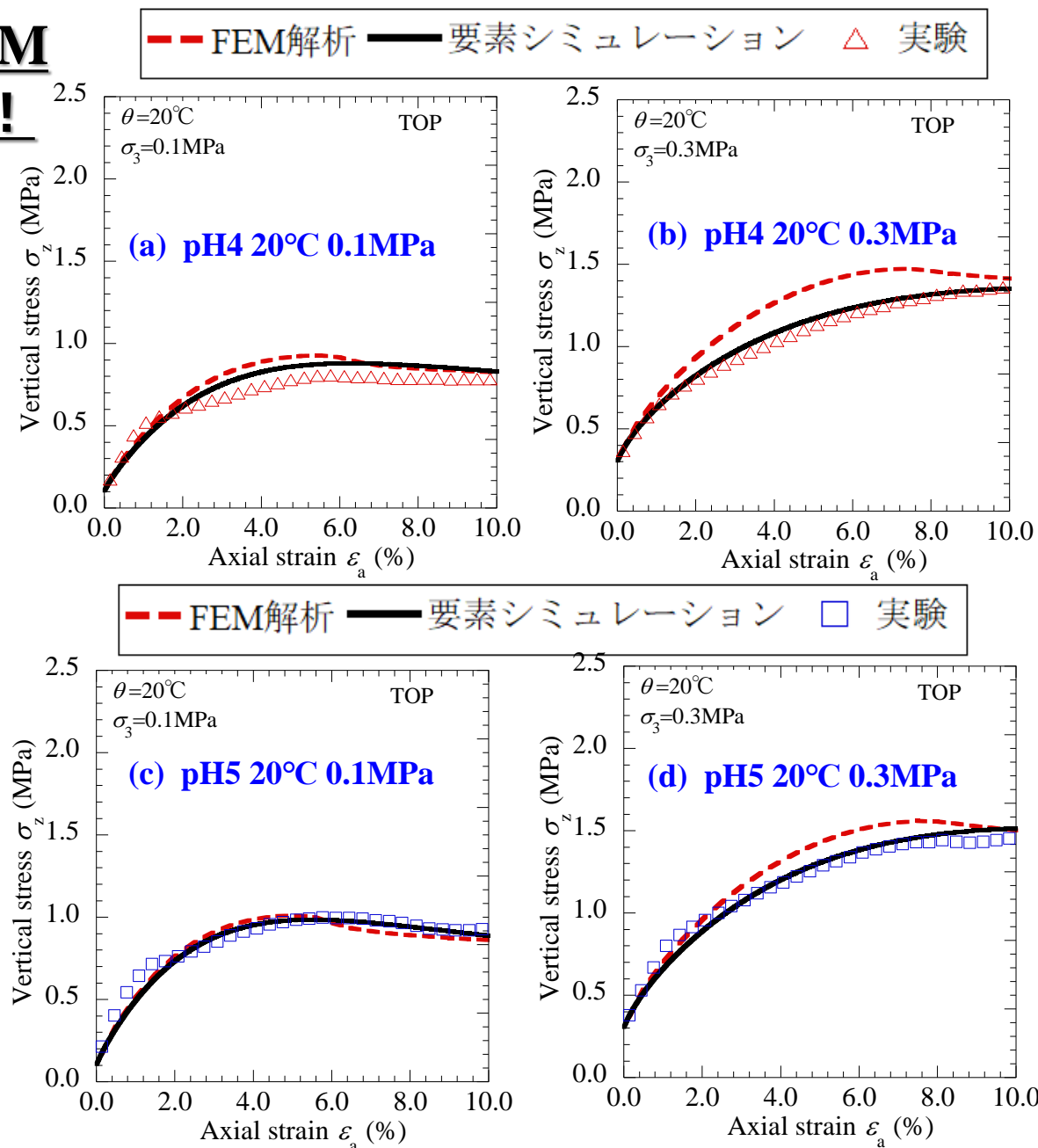


供試体全体図



供試体断面図

カルシウム相対濃度Cの不均一性を考慮



FEM解析結果の検証

結論

得られた知見

- 酸の影響でCaの溶脱は試料の表面から中心部まで3次曲線的な急激に減り、温度が高いほどより中心部まで進行することが確認された。温度と酸の環境はいずれもセメント処理土の力学特性に大きな影響を及ぼす。
- 実験で得られた定量的なデータに基づき、精巧な構成式を提案し、要素シミュレーションにより、異なる試験条件の試験結果を上手く表現することができた。
- 境界値問題である疑似の‘要素試験’を3次元FEM解析により再現し、たとえ真の要素試験ではなくても、セメント処理土の力学特性をある程度精度で同定することができ、数値解析の適用性が立証されたと言える。

今後の展望

- 構造物を含んだ土・構造物一定系の長期安定性を提案するFEM解析手法により実スケールで定量的に計算し、その成果を詳細設計に反映し、評価手法の実装を計る。

本技術に関する情報

試作品の状況

提示可

※提供の際は諸手続が必要となるため、下記問合せ先までご連絡願います。

文献・特許の情報

- Xiong et al., 2014a, Modification of thermo- elasto-viscoplastic model for soft rock and its application to THM analysis on heating tests, ***Soils and Foundations***, **54(2)**, 176–196, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.02.009>
- Xiong et al., 2014b, Soil-water-air coupling finite element analysis on slope failure in unsaturated ground, ***Soils and Foundations***, **54(3)**, 377–395, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.04.007>

研究フェーズ



【お問合せ】

名古屋工業大学 産学官金連携機構

〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町字木市29番

TEL:052-735-5627

E-mail: nitfair@adm.nitech.ac.jp

URL: <https://technofair.web.nitech.ac.jp/>