

「有明海沿岸低平地域における最近の化学的地盤改良の 動向と課題」について

佐賀大学低平地研究センター 日野 剛徳



画像出展先: 不動建設株式会社/地盤対策, <http://www.fudo.co.jp/geo/index.html>

1. 概説

・地盤工学ハンドブック(1999版)第4編第8章において、(株)日建設計中瀬土質研究所寺師昌明氏によりまとめられているのが参考になる。

・軟弱地盤と地盤改良

- (1)軟弱地盤の定義
- (2)軟弱地盤で生じる問題と対策
- (3)地盤改良

・地盤改良技術の変遷

- (1)社会のニーズと地盤改良の変遷
- (2)代表的な工法の適用例と技術の発達
 - a)圧密・排水を主とする工法
 - b)締固めを主とする工法
 - c)化学的固化による工法
 - d)荷重調整による工法

・地盤改良技術の将来展望

- ・地盤改良工法の分類と実施に際する留意事項(別著者)
- ・具体的工法に関する内容...(別著者ら)

2. 軟弱地盤と地盤改良

(1) 軟弱地盤の定義

軟弱地盤 . . . 軟らかい粘土、シルト、有機質土、あるいは緩い砂質土などの土層で構成される地盤のこと。

・ **沖積平野**、沼沢地、山間の谷部などに堆積した沖積地に多く存在。

・ 埋立てや盛土などによる人工地盤の造成に、高含水比の浚渫泥土、石炭灰などの産業副産物、ごみなど多様な材料が用いられて軟弱地盤を構成している場合もある。

土質工学用語辞典における定義 . . .

建造物の基礎地盤として十分な地耐力を有しない地盤。

2. 軟弱地盤と地盤改良

豆知識:「沖積」という用語について

・ドイツ。特に「洪積」という用語は、通常の河川作用では説明のできない堆積物の存在する時代に対し、その名称として用いられたもの。「ノアの箱船」、「大洪水説」、等がその起源。(遠藤:1995)

沖積平野... 欧米では河川堆積物によって形成された新しい時代のことをいう。

我が国では沖積世(完新世)の堆積物によってつくられた平野の意味に使われることが多く、この場合には、平野を構成される地層には海成層も含まれる。

時代区分としての用語の使い方には要注意！！

沖積世 (Alluvium) () 完新世 (Holocene) ()

洪積世 (Diluvium) (×) 更新世 (Pleistocene) ()



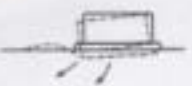

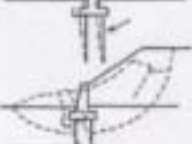
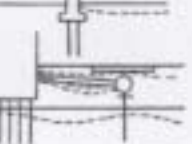
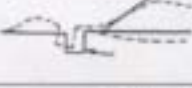

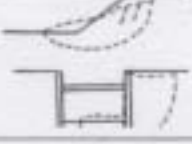
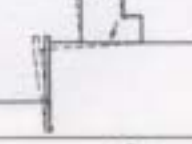
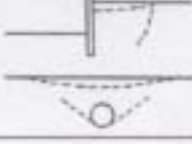
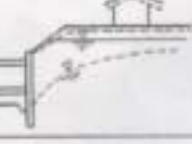
沖積層(群) (Alluvial deposits) () 完新統 (Holocene deposits) ()

洪積層(群) (Diluvial deposits) (×) 更新統 (Pleistocene deposits) ()

2. 軟弱地盤と地盤改良

(2)軟弱地盤で生じる問題と対策 (1)

- ・稲田(1981)による。
- ・載荷に起因する問題と除荷に起因する問題に大別。
- ・さらにそれぞれを安定問題と沈下を含む変形の問題とに大別している。

	せん断 (安定)	圧密 (沈下)
盛土・構造物・載荷	① 基礎地盤のせん断に伴う盛土の変状または破壊 	① 過大沈下または、不同沈下による盛土の変状 
	② 基礎の支持力不足による構造物の変状または破壊 	② 過大沈下または不同沈下による構造物の変状 
	③ 偏載荷重または土圧による構造物および基礎の変位、傾斜または破壊 	③ 構造物と盛土、各構造物間に生ずる不同沈下または不等変形による段差、変状 
	④ 盛土または構造物荷重による側方地盤の流動、隆起 	④ 盛土または構造物荷重による側方地盤圧密沈下と変位 
開削・地中掘削	① せん断に伴う掘削斜面の崩壊と掘削面のヒービング 	① 膨張その他による土圧変化に伴う掘削斜面、土留め壁の変状 
	② 掘削時の応力解放、緩みなどに伴う側方または上方地盤の変形 	② 掘削時の排水による地下水位低下に伴う周辺地盤の沈下 

2. 軟弱地盤と地盤改良 (2)軟弱地盤で生じる問題と対策 (2)

- ・寺師(1991)による。
- ・表中 ほど大きな問題となることに注意。

地盤の諸問題 構造物	①-1 地盤が破壊するか	①-2 地盤の隆起や上向き の安全性	② どの程度地盤が変 形するか	③-1 どの程度地盤が構 造物に力を与える か	③-2 どの程度構造物に地 盤が拘束力や付加力 を与えるか	④ 地盤の状 態
	支持力 ㊟、㊞ すべり破壊 ㊞ 側方流動 ㊞ 液状化 ㊟	ヒービング ㊞ ボイリング ㊟ 浮上がり ㊟、㊞	圧密沈下 ㊞ 圧縮沈下 ㊟ せん断変形 ㊞、㊟	主働土圧 ㊟、㊞ 受働土圧 ㊟、㊞ 水 圧 ㊟、㊞	地盤反力 ㊟、㊞ 摩擦抵抗力 ㊟、㊞ 負の摩擦力 ㊟、㊞ 引抜き抵抗力 ㊟、㊞	透水性 ㊟、㊞ 遮水性 ㊟、㊞ 密度 ㊟、㊞
土 構 造 物	㊞	△	㊞	△	△	○
土留め構造物	○	㊞	㊞	㊞	○	㊞
基礎構造物	○	△	㊞	㊞	㊞	○
地下構造物	○	㊞	㊞	㊞	㊞	㊞
水利構造物	㊞	△	㊞	△	△	㊞
沿岸・海洋構造物	㊞	△	㊞	㊞	㊞	△
補強土構造物	㊞	△	㊞	○	㊞	○

(注) 1) 地盤の諸問題欄の㊟は砂質土、㊞は粘性土における問題を示す。

2) 表中㊞は大きな問題、○は問題、△はあまり問題ではないことを示す。

2. 軟弱地盤と地盤改良 (2)軟弱地盤で生じる問題と対策 (3)

・軟弱地盤での建設を余儀なくされた場合の対策(軟弱地盤対策)は、大別すると以下のとおりである。

構造物への工夫

- ・地盤に作用する荷重やモーメントの低減
- ・構造物の底面積拡大や地下階設置による地中応力増分の低減
- ・深い基礎による軟弱土層の回避
- ・変形に馴染みやすい構造の工夫、その他

軟弱な地盤材料の除去と良質材料への置換

軟弱な地盤材料の特性の一時的または恒久的改良

軟弱な地盤材料に不足している特性を有する材料の導入による地盤の補強

2. 軟弱地盤と地盤改良 (3)地盤改良

地盤改良の基本原理

置換

圧密・排水

締固め

化学的固化

注入

荷重調整

安定処理・粒度調整

補強

地盤改良...

地盤の工学的性質を改善して安定化することがイメージされる用語。比較的浅い層から深い層までを対象。

土質安定処理...

主として道路関係で用いられてきた用語。不良土に安定材を混入して処理することを意味する場合が多く、比較的浅い層を対象。主要な原理は上述のと。

3. 地盤改良技術の変遷

(1) 社会のニーズと地盤改良の変遷 (1)

地盤改良技術...

- ・確実に良好な改良地盤を造成するための**施工技術**や**施工管理技術**(ハードな技術)
- ・**地盤改良の効果**を適切に予測し判定する**技術**(ソフトな技術)

施工技術の発展...

・現場での切実な要請, 社会のニーズの変化と新しい材料や施工機械の導入に支えられてきた.



・バーチカルドレーン工法を唯一の例外として、土質力学の進歩によって開発された工法は皆無。

・**地盤改良技術の大きな柱である改良効果を予測判定する技術は、いつも施工技術の進歩を後から追いかけてきているのが実態。**



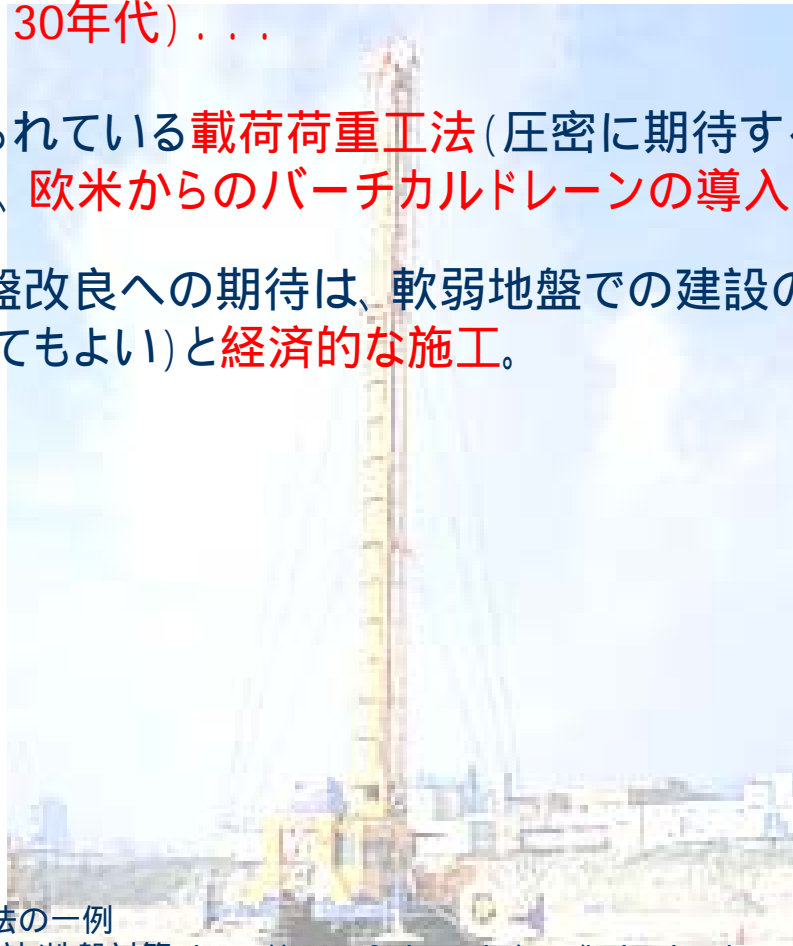
この問題については後述

3. 地盤改良技術の変遷

(1) 社会のニーズと地盤改良の変遷 (2)

初期(昭和20年代～30年代)...

- ・戦前から用いられている**載荷荷重工法**(圧密に期待する方法)と**置換工法**の活用に加えて、**欧米からのバーチカルドレーンの導入**と活用の時代。
- ・この時期の地盤改良への期待は、**軟弱地盤での建設の安全の確保**(安定の確保と言い換えてもよい)と**経済的な施工**。



現在のバーチカルドレーン工法の一例
画像出展先: 不動建設株式会社/地盤対策, <http://www.fudo.co.jp/geo/index.html>

3. 地盤改良技術の変遷

(1) 社会のニーズと地盤改良の変遷 (3)

中期(昭和40年代～50年代)...

- ・港湾の工事での地盤改良に対する期待は**初期**と同様。
- ・陸上では高速道路の急速な整備に伴い、地盤改良に安定の確保よりも、むしろ残留沈下対策を大きく期待。
- ・海側と陸側の地盤改良への期待の違いが、バーチカルドレーンの有効性に関する論争を引き起こす。
- ・新潟地震を教訓に、地震時には**緩い砂地盤も軟弱地盤**であるとの認識が深まり、**緩い砂の締固め**が次第に地盤改良技術の大きな柱の一つとなってくる。
- ・高度経済成長が急速施工を促し、また、環境面の制約もあり、バーチカルドレーン工法や置換工法の限界が感じられ、**サンドコンパクションパイル工法**の開発、**深層混合処理工法**の開発が相次ぐ。
- ・**国産技術の開発の時代**。

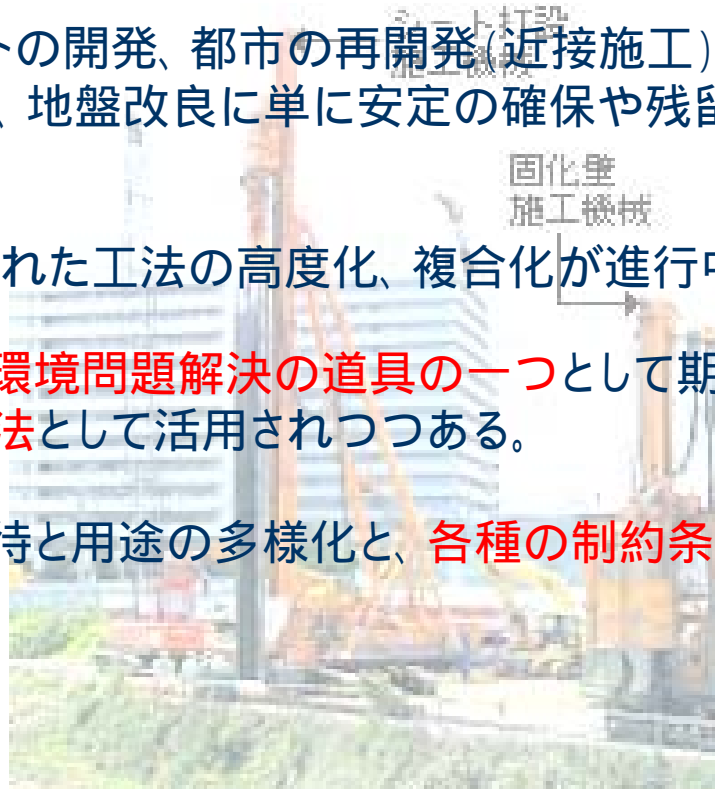
現在のサンドコンパクションパイル工法(左)・DJM工法(右)の一例
画像出展先: 不動建設株式会社/地盤対策, <http://www.fudo.co.jp/geo/index.html>

3. 地盤改良技術の変遷

(1) 社会のニーズと地盤改良の変遷 (4)

最近(昭和60年代以降)...

- ・ウォーターフロントの開発、都市の再開発(近接施工)、**廃棄物・副産物のリサイクル**など多様な期待は、地盤改良に単に安定の確保や残留沈下の抑制を期待するだけでなくなる。
- ・これまでに開発された工法の高度化、複合化が進行中。
- ・**地盤改良技術が環境問題解決の道具の一つ**として期待され、またリサイクルに際しての**重要な手法**として活用されつつある。
- ・地盤改良への期待と用途の多様化と、**各種の制約条件の増加の時代**。



遮水壁工法の一例

画像出展先: 不動建設株式会社/地盤対策, <http://www.fudo.co.jp/geo/index.html>

3. 地盤改良技術の変遷

(2) 代表的な工法の適用例と技術の発達 (1)

圧密・排水を主とする工法

・圧密・排水工法の代表はバーチカドレーンを併用する載荷重工法。

サンドドレーン

バーチカドレーンの中で最も歴史が長い。
昭和27年着工の長崎港中の島漁港岸壁復旧工事において
初めて導入。

ペーパードレーン

材料としての信頼性に乏しく、間もなく市場から駆逐。

パックドレーン

砂を袋に封入して打設。小口径のドレーン。

プラスチックボードドレーン

最近多用。

バーチカドレーン工法の一例

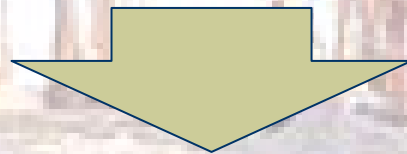
画像出展先: 不動建設株式会社/地盤対策, <http://www.fudo.co.jp/geo/index.html>

3. 地盤改良技術の変遷

(2) 代表的な工法の適用例と技術の発達 (2)

締固めを主とする工法

- ・基礎地盤の深部に至る締固め工法の代表はサンドコンパクションパイル(SCP)工法。
- ・本来は、緩い砂地盤の一様化と支持力改善をねらって深層に至る締固めをするために開発された工法であるが、粘性土地盤にも幅広く適用されるようになった。
- ・SCP工法は施工中の振動や変形が大きいため、既存施設の近隣で用いると、既存構造物に大きな悪影響を及ぼすことが懸念。



- ・無振動型の締固め工法の最近の開発動向が注目される。

サンドコンパクションパイル工法の一例

画像出展先: 不動建設株式会社/地盤対策, <http://www.fudo.co.jp/geo/index.html>

3. 地盤改良技術の変遷 (2)代表的な工法の適用例と技術の発達 (3)

化学的固化による工法

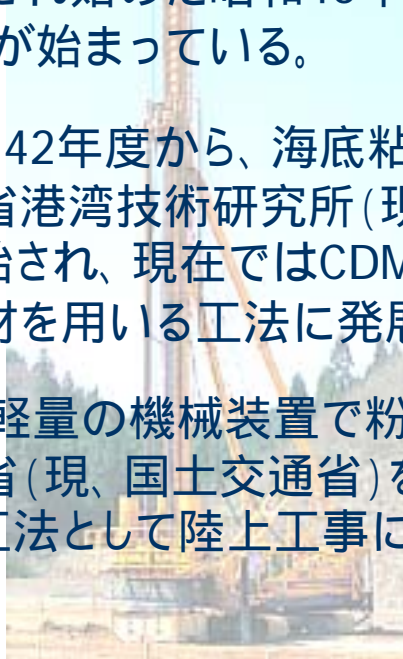
・環境保全や急速施工という時代の要請によって、従来多用されてきた地盤改良工法の利用に制約が予想され始めた昭和40年代に、化学的固化による深層地盤改良工法の可能性の模索が始まっている。

CDM工法

昭和42年度から、海底粘土地盤を念頭に置いた開発が運輸省港湾技術研究所(現,(独)港湾空港技術研究所)で開始され、現在ではCDM工法と呼ばれるスラリー状の安定材を用いる工法に発展。

DJM工法

より軽量の機械装置で粉体を安定材とする技術開発が建設省(現、国土交通省)を中心とするグループで進められ、DJM工法として陸上工事にも多用されるようになった。



DJM工法の一例

画像出展先:不動建設株式会社/地盤対策, <http://www.fudo.co.jp/geo/index.html>

3. 地盤改良技術の変遷

(2) 代表的な工法の適用例と技術の発達 (4)

荷重調整による工法

・軽量材を利用するアイデアは、既に昭和40年代に生まれている。矢板壁に作用する受動土圧を低減させるために、発泡スチロールをセメントで重量制御したブロックを作製し、裏込め材料として用いる工法。

荷重軽減工法

・流動化処理工法、軽量盛土工法、気泡混合土工法、発泡スチロール工法、等。

・重量調整は、必ずしも軽量材とは限らない。関西国際空港におけるターミナルビルの事例。掘削部分の埋戻し材料として大量の鉄鉱石の活用。

土圧低減工法



EPS工法の一例

画像出展先: 不動建設株式会社/地盤対策, <http://www.fudo.co.jp/geo/index.html>

4. 地盤改良技術の将来展望

寺師(1991)は次のように述べている

構造物の機能を満たすために、構造物が地盤に期待する要件を満足させるために地盤改良を含む軟弱地盤対策が実施される。すなわち、**適正な地盤改良を計画し、設計・施工**するためには、難しい制約条件の中での設計で前提とする改良工を実現するためのハードな施工技術と同様に、**改良効果を予測し評価するソフトな技術の確立が重要**である。

- 1) 廃棄物、建設発生土のリサイクル
- 2) 浚渫泥土の有効利用
- 3) 汚染地盤の封じ込めや原位置における浄化

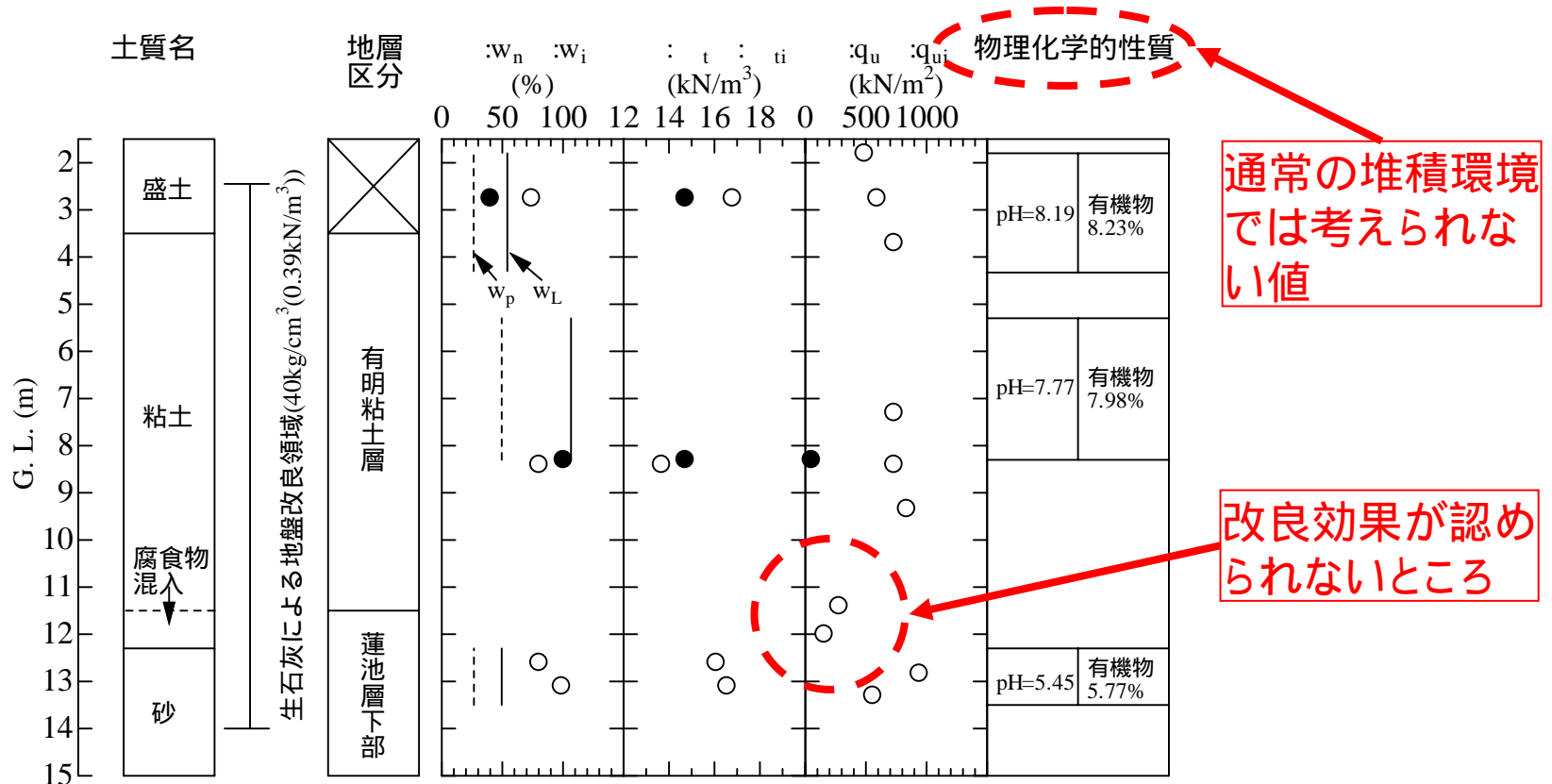
地盤工学のみならず、化学、微生物学、毒物学等周辺の学問領域との共同作業が望まれる

- 4) 構造物自身の調整機能

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.1 深層混合処理工法におけるトラブル事例 (1)

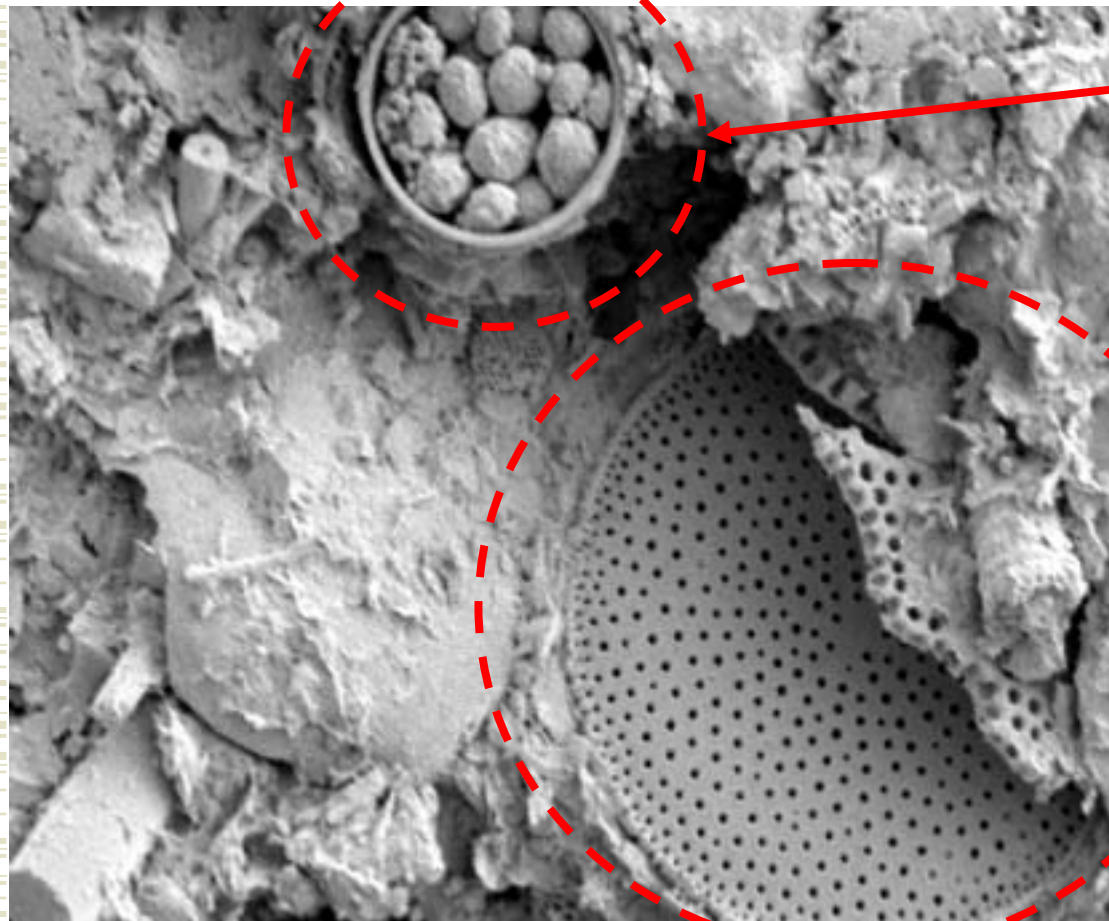
- ・事前調査の不備、配合設計の不備、不十分な攪拌、etc
- ・高自然含水比、低塩分、酸性化、高有機物含有、etc



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.1 深層混合処理工法におけるトラブル事例 (2)

・生物起源パイライト($\text{FeS} / \text{FeS}_2$)は、酸化されると酸化鉄(Fe_2O_3 、赤褐色)と硫酸根(SO_4^{2-})を生成する。



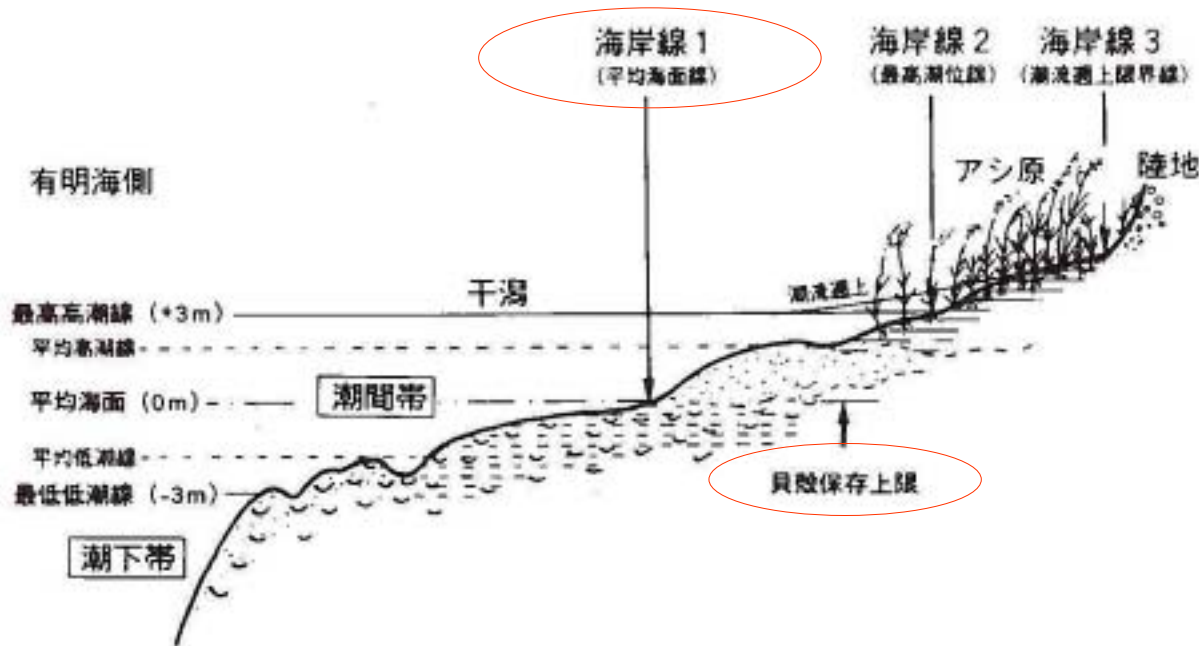
生物起源パイライト
($\text{FeS} / \text{FeS}_2$)

珪藻遺骸(無定形シリカ)

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.1 深層混合処理工法におけるトラブル事例 (3)

- ・海岸線1を境として、有明粘土層と蓮池層の堆積当初の環境は異なる。
- ・貝殻含有の有無によって完新統が区分できる根拠。



海岸線1より海側: 貝殻の保存条件が良い 有明粘土層(有明粘土)

- ・pH 8.3の弱アルカリ性の海水が平均的に支配する領域
- ・生物起源パイライト(FeS)の酸化によって生成された硫酸(H_2SO_4)は海水で中和され, pH=8.3の弱アルカリ性を保つ
- ・カルシウムイオン(Ca^{2+})と炭酸水素イオン($(HCO_3)^-$)が過飽和

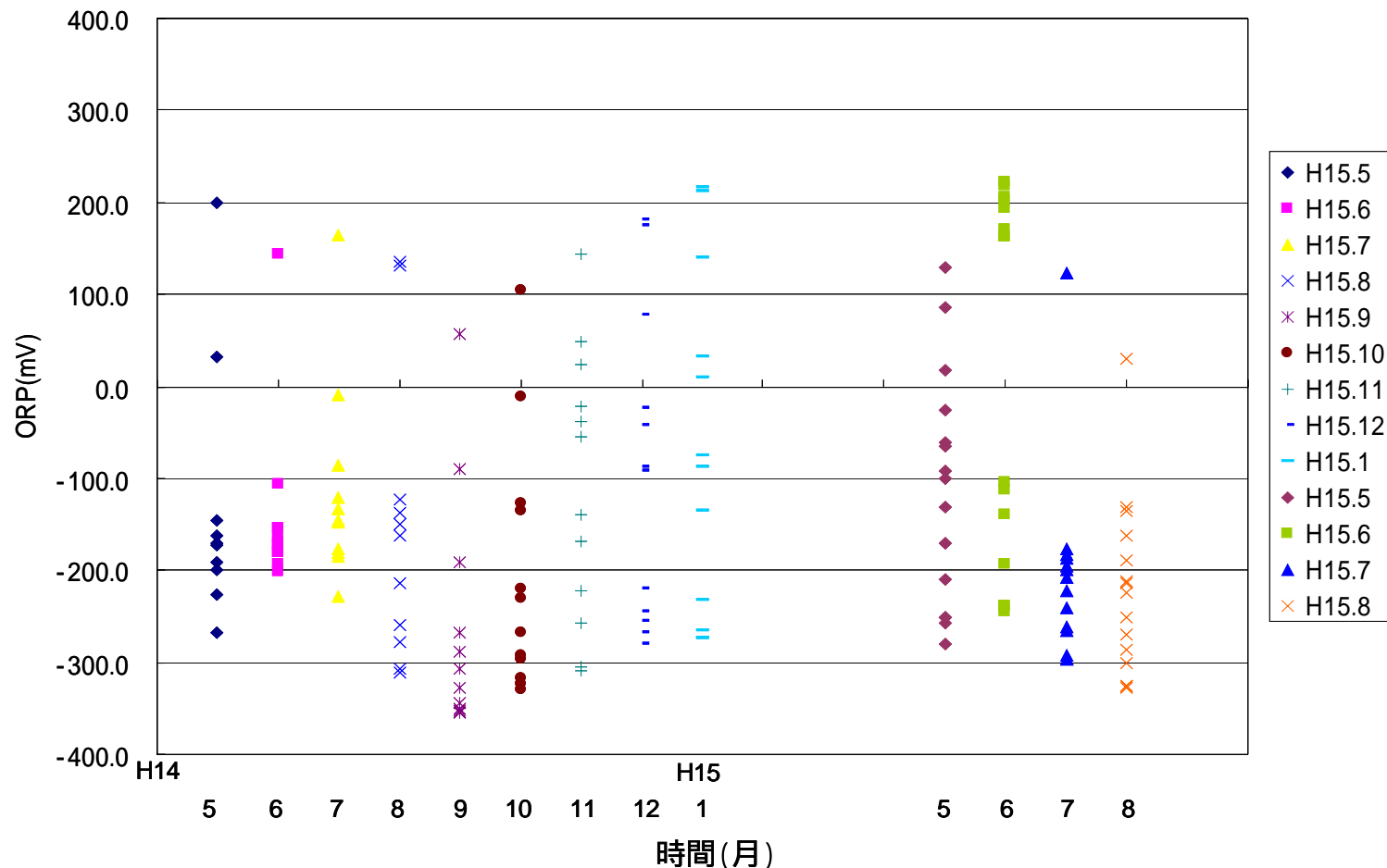
海岸線1より陸側: 貝殻の保存条件が悪い 蓮池層(蓮池粘土)

- ・硫酸(H_2SO_4)は容易に中和されず, 酸性を保つ
- ・ Ca^{2+} と $(HCO_3)^-$ は不飽和

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.1 深層混合処理工法におけるトラブル事例 (4)

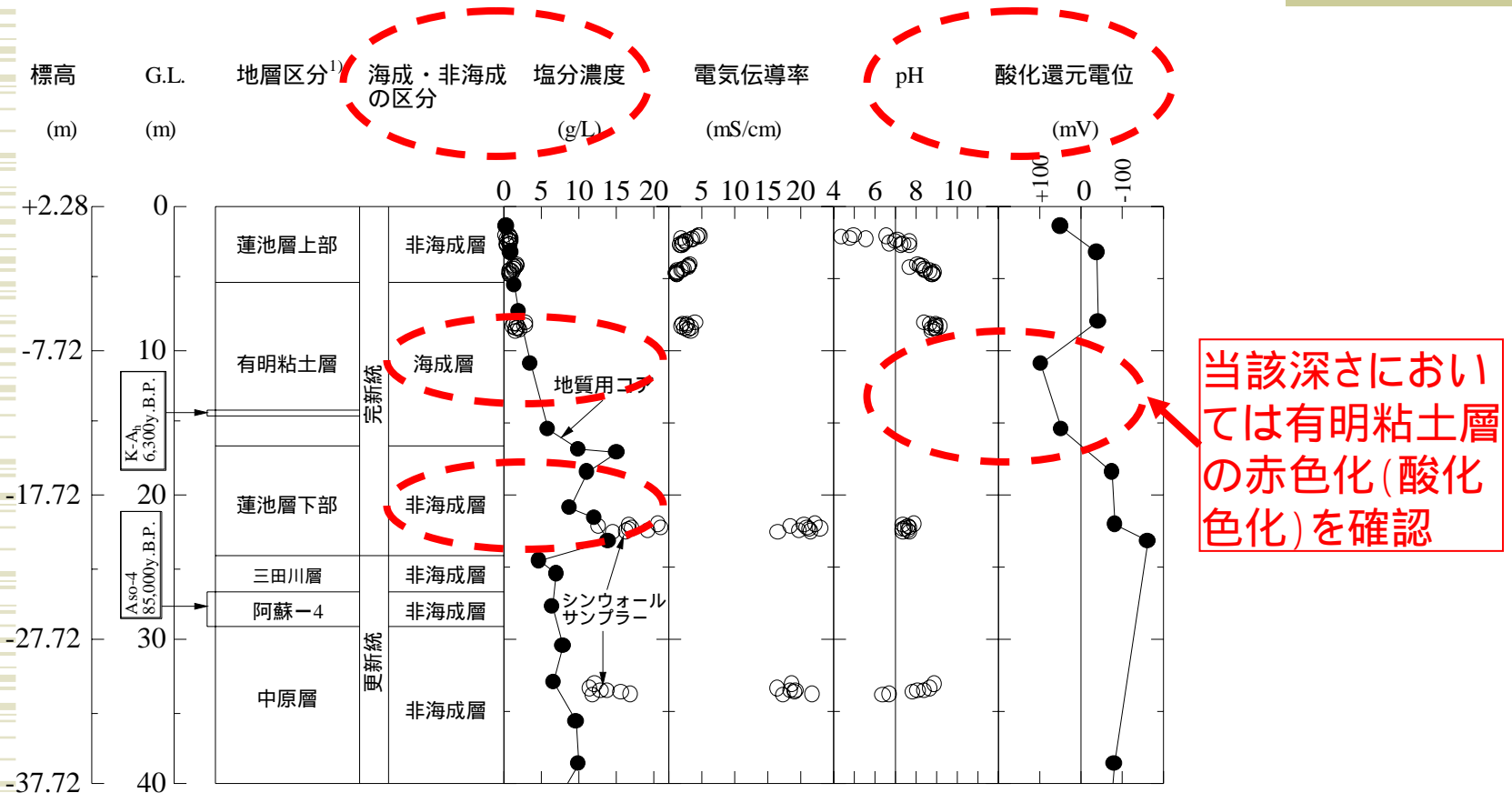
・有明海底下におけるG.L.0m~1mというわずかな地層深さが増すことによって、有明粘土層における酸化還元電位(図中ではORPと表記)の値はプラス(有酸素状態)からマイナス(貧酸素状態)に転じる。



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

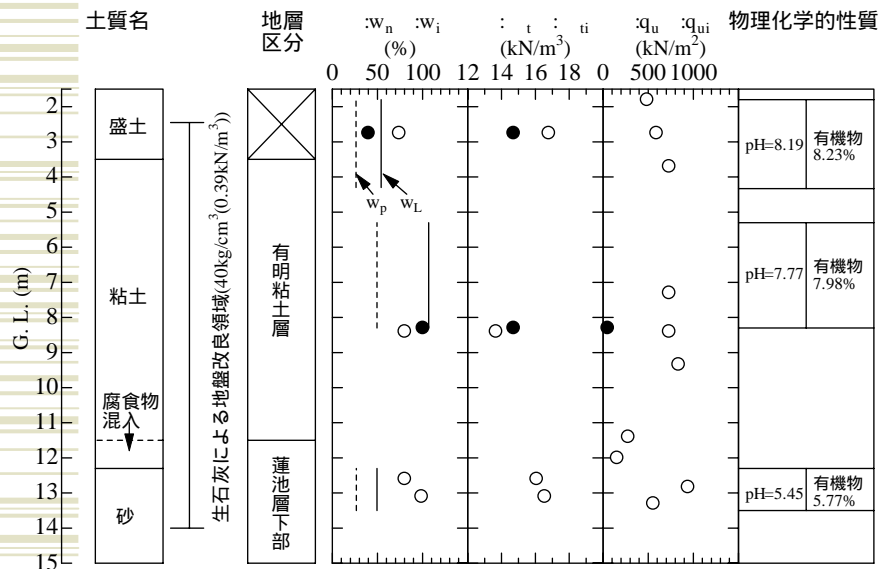
5.1 深層混合処理工法におけるトラブル事例 (5)

- ・さらに地層深さが増すことによって、有明粘土層における酸化還元電位の値は一層マイナスに転じるのが、通常の堆積環境。
- ・同図は典型的な2次的な堆積環境の変化を示すもの。



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.1 深層混合処理工法におけるトラブル事例 (6)



1) 当該物理化学的性質は本当に掘削直後のものとするれば、**2次的な堆積環境の変化。**

2) 何らかの要因で事前に問題深さのところに酸素が流入しており、完新統のpHは酸性側に傾き、有機物が活性化。**ただし、この環境は決して堆積当初のものを留めているわけではない。**

3) **不運にも問題地層のところに深層混合処理工法が充てられてしまった。**

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.2 閉鎖性水域における地盤改良工事のトラブル事例 (1)

- ・既往の地盤改良工法における物理化学的な知見では解決困難な問題となっている。

平成12年末～13年初頭における
深刻な海苔色落ち被害の発生



諫早湾の締切および干拓事業に主因論が集中

平成15年度, 有明海に謎の浮遊物の大量発生



干拓造成現場における石灰系固化材による
地盤改良が原因に指摘されるようになってき
ている

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.2 閉鎖性水域における地盤改良工事のトラブル事例 (2)

- 1) 諫早干拓造成現場における浮泥・底泥・粘土地盤に対して石灰系固化材を用いた地盤改良を行うと、土中からアルカリ分が溶出する。(Al³⁺やSi⁴⁺のことを指しているものと思われる。)
- 2) 溶出したアルカリ分が調整池内に流れ込んで珪藻類の資源となり、調整池内で大量の珪藻が増産されることになる。(Al³⁺やSi⁴⁺は珪藻骨格の主成分。)
- 3) 大量増産された珪藻類は、調整池の開門に伴って有明海へ放流される。(なぜか海苔漁期におけるポンプ排水については言及されない。)
- 4) 有明海に放流された珪藻類はその後赤潮と化し、海苔を始めとする水産資源養殖場に遡上して先に栄養塩類を消化してしまい、その後被害をもたらす。

↓

本当か？？？

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.2 閉鎖性水域における地盤改良工事のトラブル事例 (3)

・自然条件下においても泥類からのアルカリ分溶出は起こり得る。

- 1)有明海沿岸低平地域に堆積する海成の浮泥・底泥・粘土は、その中に大量の貝殻や珪藻遺骸・火山ガラス(無定形シリカという。)を含む。
- 2)貝殻は、海水のような Ca^{2+} 過飽和かつ弱アルカリ性の環境で保存条件がよく、逆に珪藻遺骸・火山ガラスは酸性環境で保存条件のよいことがわかっている。
(相反する保存条件を好む物質が粘土中に含まれている。)
- 3)この泥類が塩溶脱に代表される2次的な環境の変化をもたらされると、含有貝殻の溶解が生じ、アルカリ性が高まる。すると珪藻遺骸・火山ガラスの溶解が始まって、泥類中に Al^{3+} 、 Si^{4+} 等のアルカリ分が溶出される。
- 4)2次的な環境の変化をもたらされた泥類中には Ca^{2+} 、 Al^{3+} 、 Si^{4+} のアルカリ分が溶存することになるが、これらは泥類の外には溶出せずに泥類中で固化している可能性がある。(まるで石灰系固化材による地盤改良のメカニズム。)
- 5)しかるに海成泥類の鋭敏性や圧縮性が発達するに至る。

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.2 閉鎖性水域における地盤改良工事のトラブル事例 (4)

・表は、土木研究センター深層混合処理工法マニュアル編集委員会(1999)による。

改良材の種類	比表面積 (cm ² /g)	化学組成(%)				備考
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃	
普通ポルトランドセメント	2,500以上	20 ~ 23	3.8 ~ 5.8	63 ~ 65	1.5 ~ 2.3	JIS R 5210, 5211を参照
高炉セメントB種	3,000以上	24 ~ 27	7.0 ~ 9.5	52 ~ 58	1.2 ~ 2.6	高炉セメントにはA種、B種、C種があるが、主にB種が用いられる。
セメント系固化材* (一般軟弱土用)	2,700以上	15 ~ 25	3.5以上	40 ~ 70	4.0以上	-

*)セメント系固化材には、上記の「一般軟弱土用」以外に「高有機質土用」、「特殊固化用」等の多数の製品がある。
これら特殊用途製品はメーカー各社の固有の技術で混合成分の適正化を図っていることから、使用に際しては改良土対象に適したものを選定する必要がある。

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.2 閉鎖性水域における地盤改良工事のトラブル事例 (5)

- ・表は、土木研究センター深層混合処理工法マニュアル編集委員会(1999)による。
- ・セメントはそれ自身に固まる成分(Si^{4+} , Al^{3+} 等)を有している。石灰は有していない。

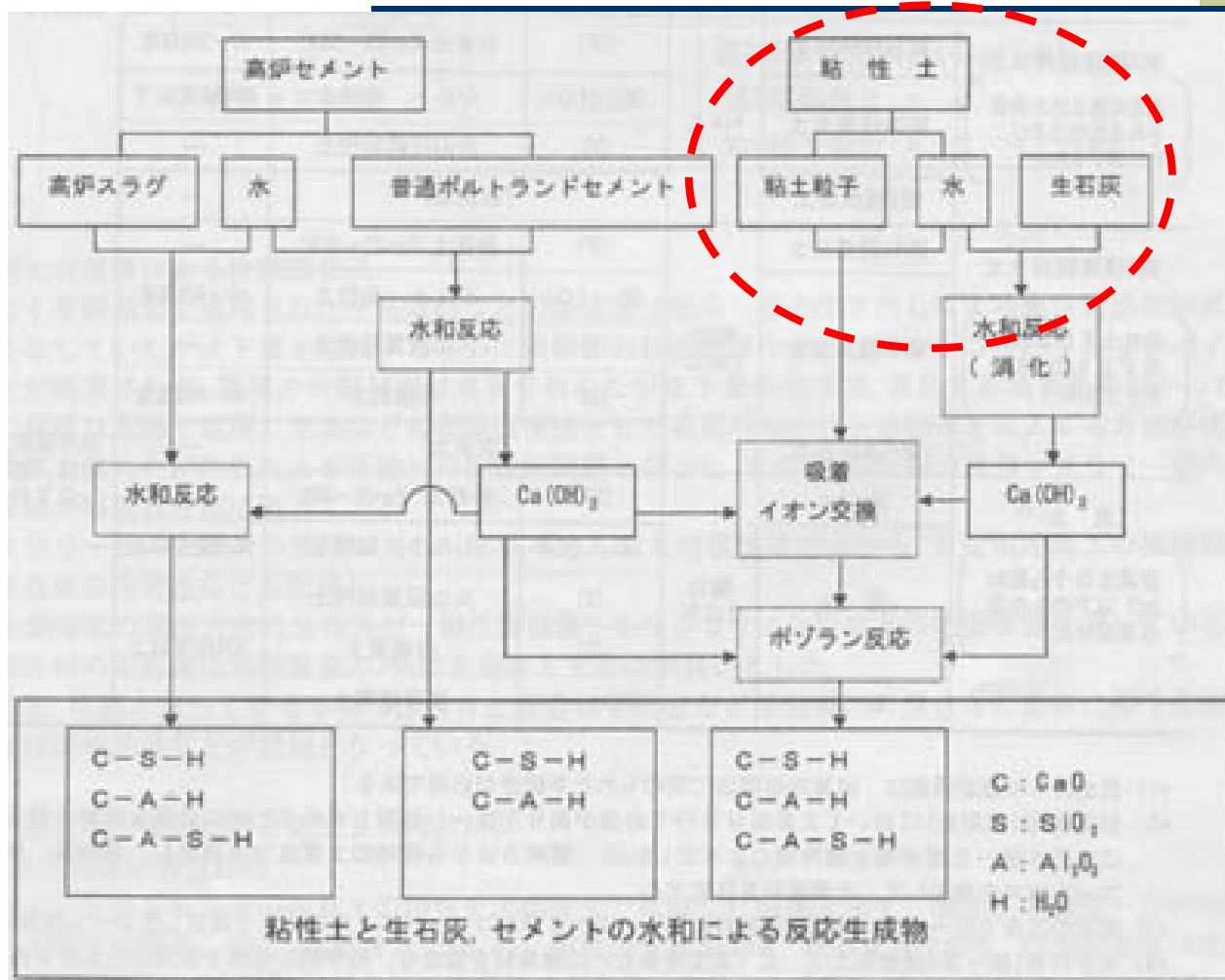
改良材の種類	化学組成(%)				備考
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	SO_3	
生石灰(特級)	-	-	93.0以上	-	JIS R 9001 を参照
消石灰(特級)	-	-	72.5以上	-	
2成分系固化材	1 ~ 20	2 ~ 25	60 ~ 95	0 ~ 20	石灰系固化材には2成分系, 3成分系, 多成分系があるが, 主に2成分系が用いられる。

*石灰系固化材は生石灰や消石灰を主成分(母材)とし、これに添加材料として石こう、セメント、スラグ微粉末、アルミナ含有物質、またはフライアッシュなどを配合したものである。母材に1種類の添加材料を組み合わせたものを2成分系、2種類の添加材料を組み合わせたものを3成分系、3種類以上の添加材料を組み合わせたものを多成分系という。

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.2 閉鎖性水域における地盤改良工事のトラブル事例 (6)

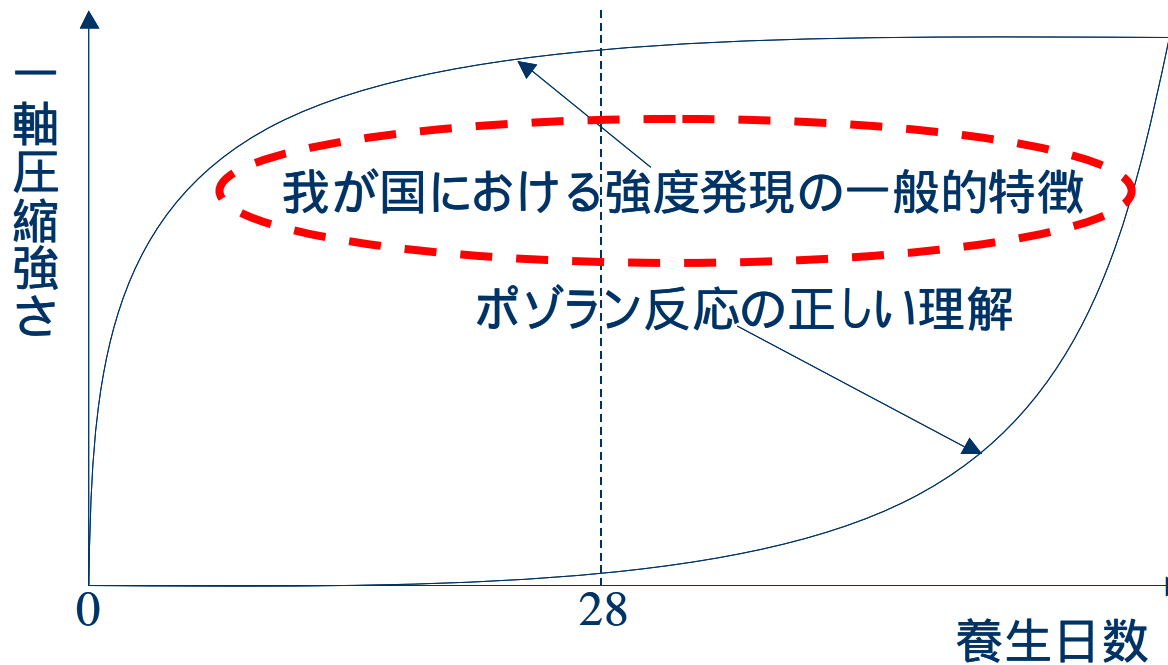
・図は、土木研究センター深層混合処理工法マニュアル編集委員会(1999)による。
 ・生石灰、水および「粘土粒子」と説明されているところに問題。純粹化学の範疇ではこの解釈でよい。
 実際の粘土の場合のメカニズムは異なる。



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.2 閉鎖性水域における地盤改良工事のトラブル事例 (7)

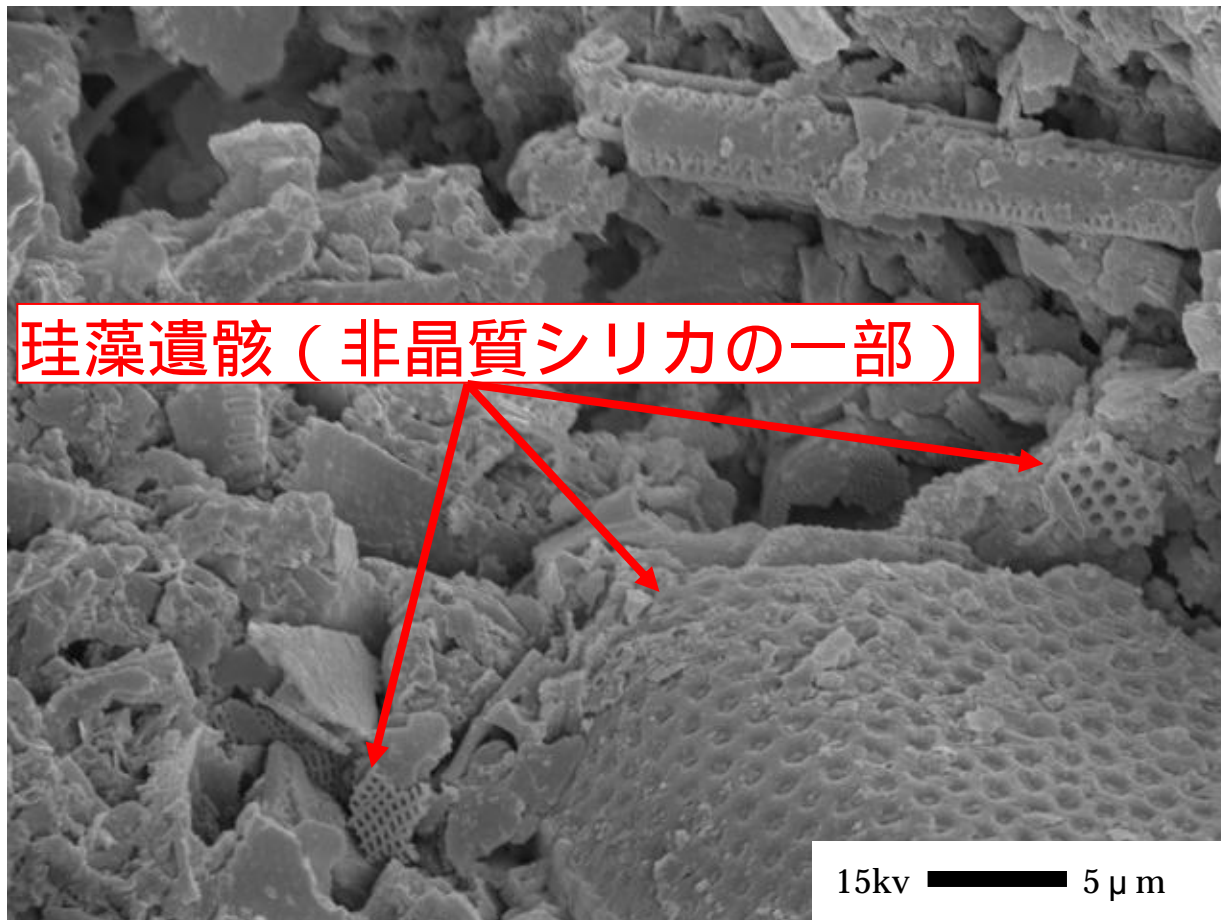
- ・一般に、我が国における沖積粘土を石灰系固化材で地盤改良すると、7日養生における一軸圧縮強さは28日養生のものに対して概ね50%~80%の値を示し、強度発現が早い。
- ・しかしながら、なぜ「強度発現」が早いのか、については「お座なり」。



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

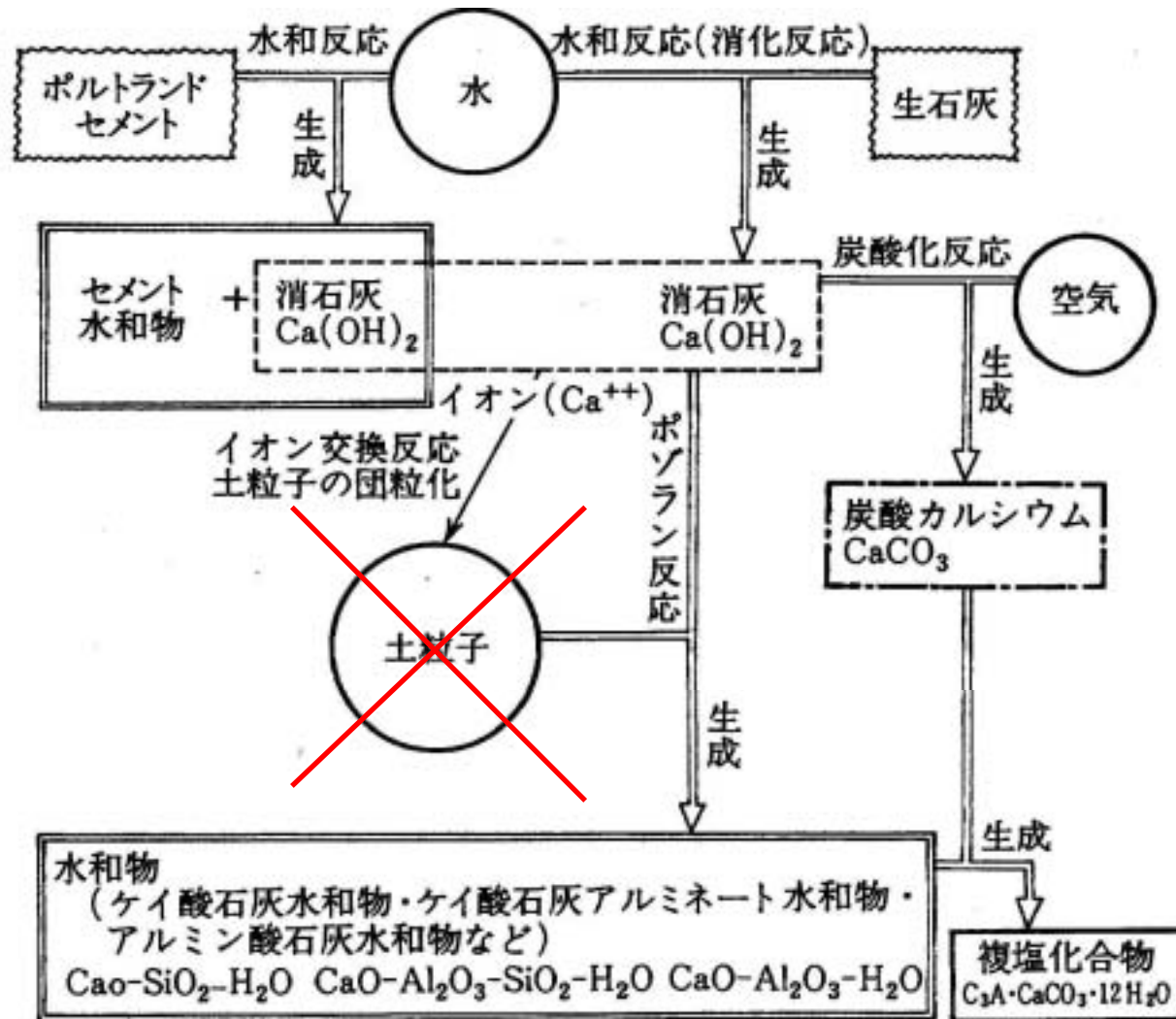
5.2 閉鎖性水域における地盤改良工事のトラブル事例 (8)

- ・底質の観察結果(表層から5cmの部分)。
- ・堆積当初の形をとどめる珪藻遺骸が多数混在。



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

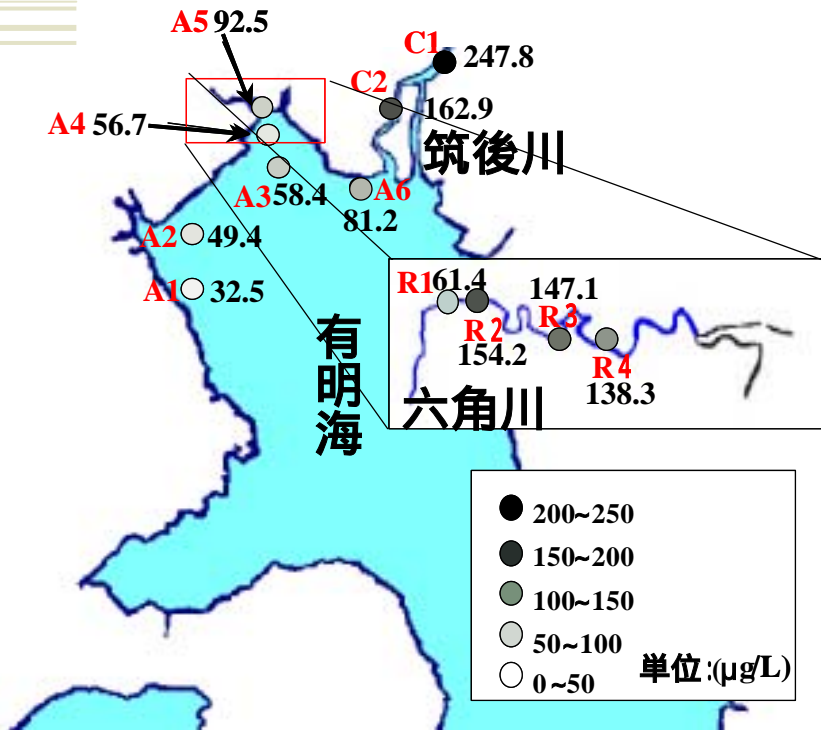
5.2 閉鎖性水域における地盤改良工事のトラブル事例 (9)



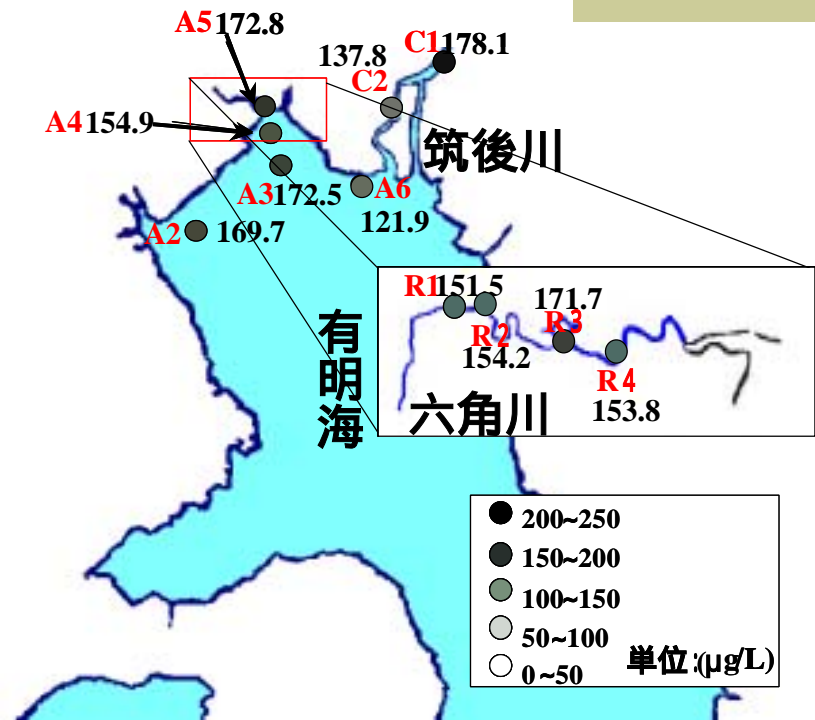
セメントおよび石灰と土との基本的な反応の一覧
 (社)地盤工学会:入門シリーズ20 環境地盤工学入門, p.207, 2003.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.2 閉鎖性水域における地盤改良工事のトラブル事例 (10)



有明海・主要河川における溶存シリカの濃度分布

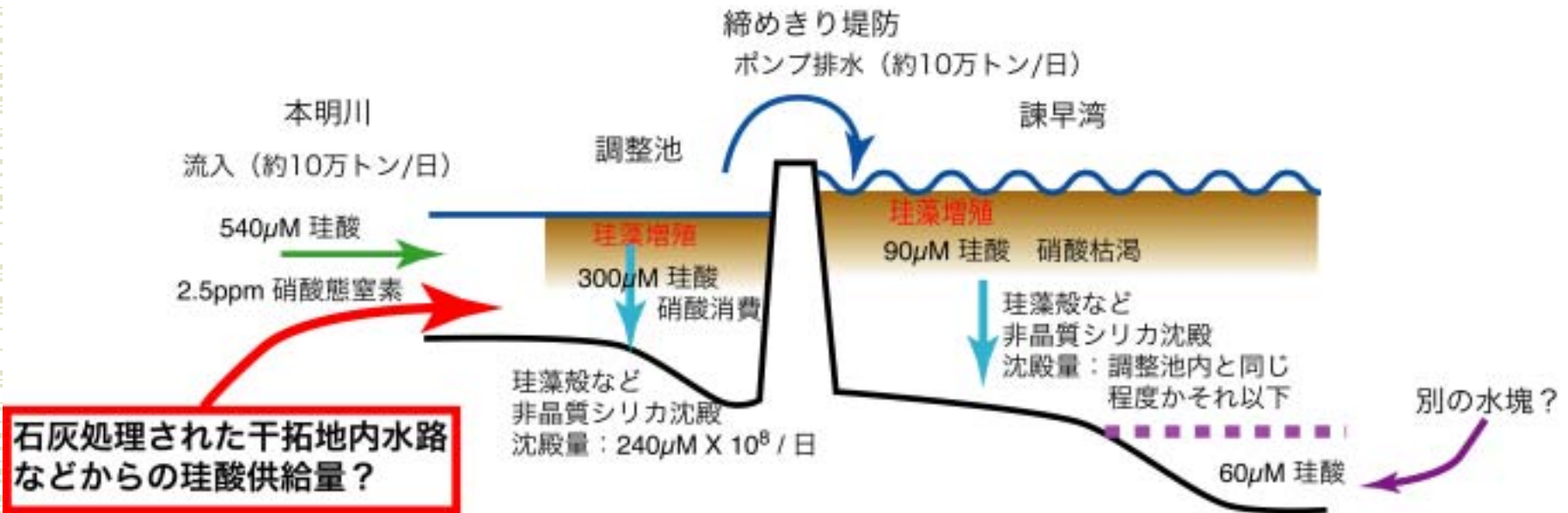


浮泥・底泥中間隙水における溶存シリカの濃度分布

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.2 閉鎖性水域における地盤改良工事のトラブル事例 (11)

- ・地盤改良工法による影響は今のところ否定的。
- ・調整堤防の存在が正常な物質循環を妨げている可能性はある。要継続調査。
- ・浚渫土においては貧酸素水塊を生じさせぬよう注意が必要。



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (1)

・Kamon et al., 1996; 林ら, 2004; 原ら, 2008.



攪拌前の状況



攪拌状況



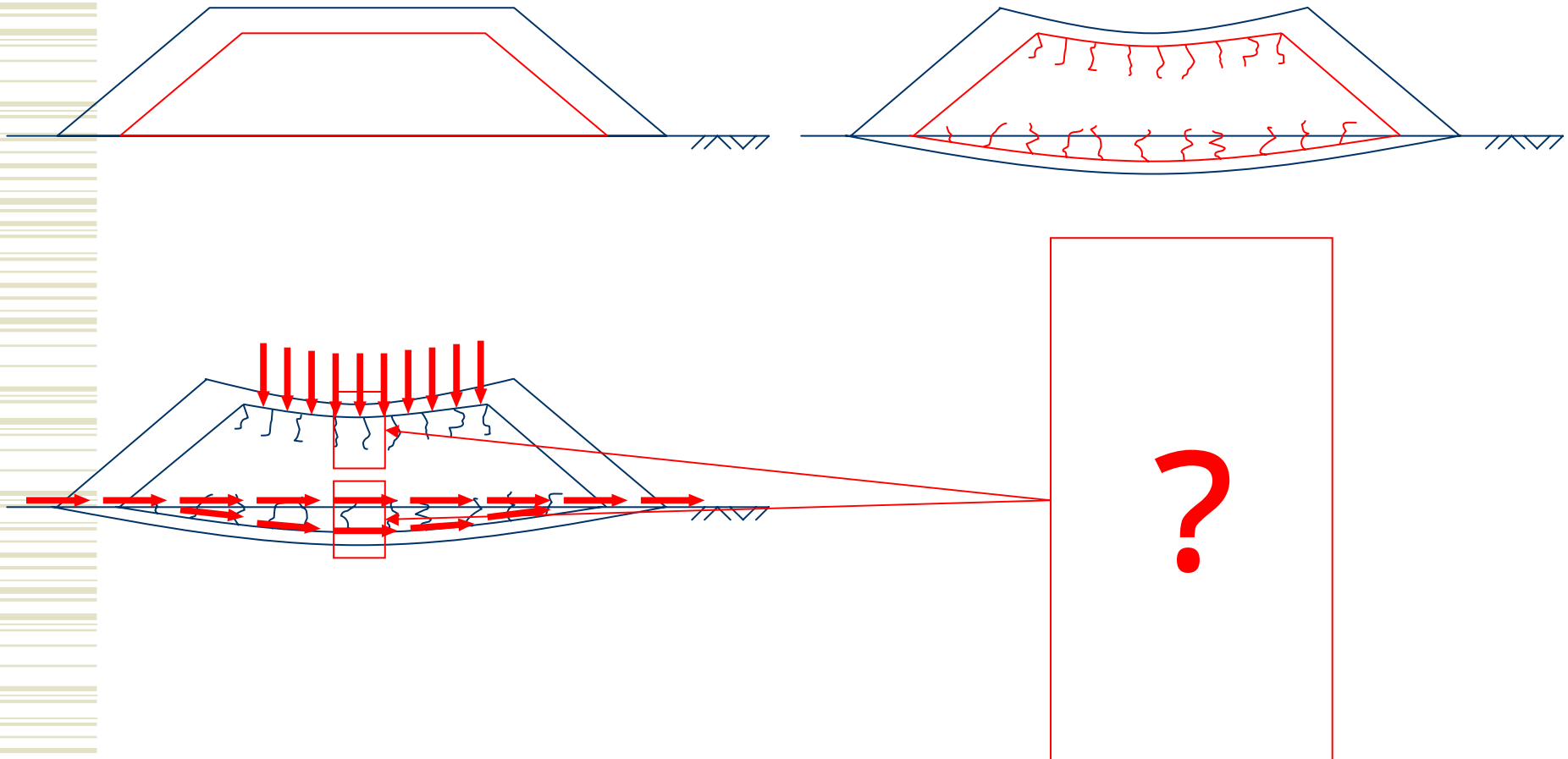
改良28日目以降の開削現場の状況



開削断面

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (2)

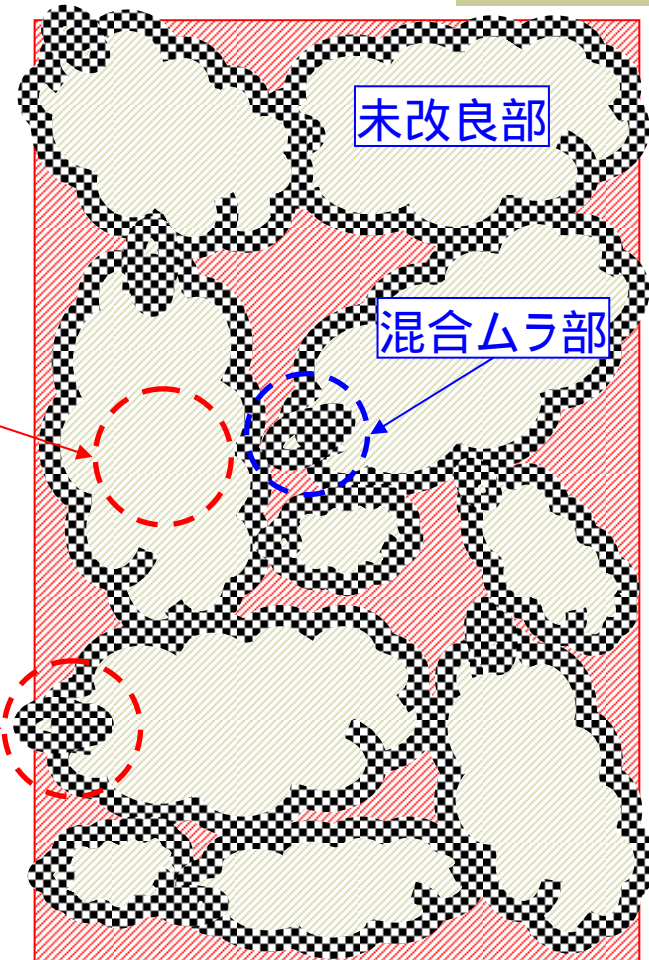


5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (3)

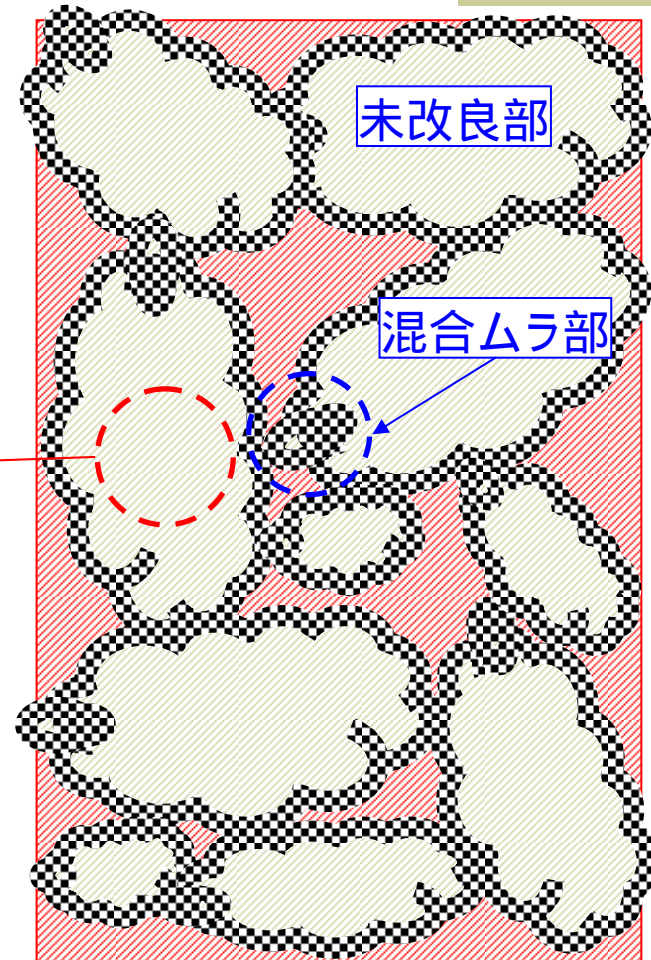
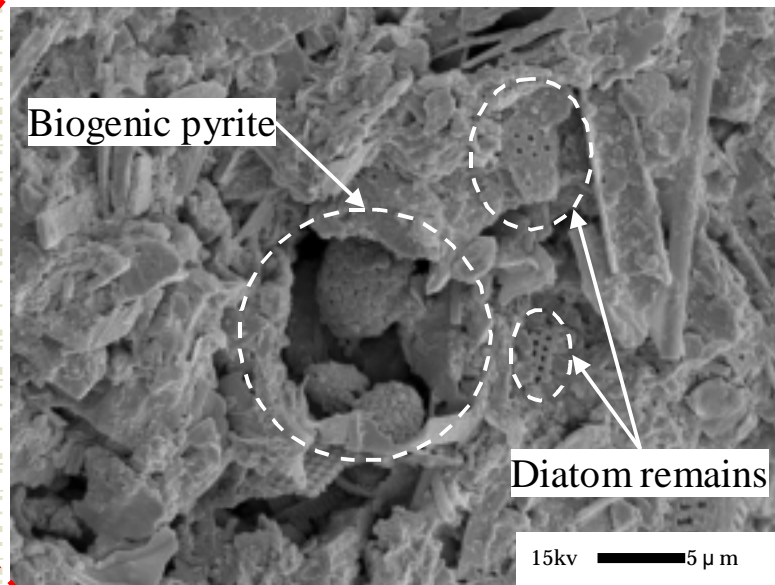


混合ムラのある改良体



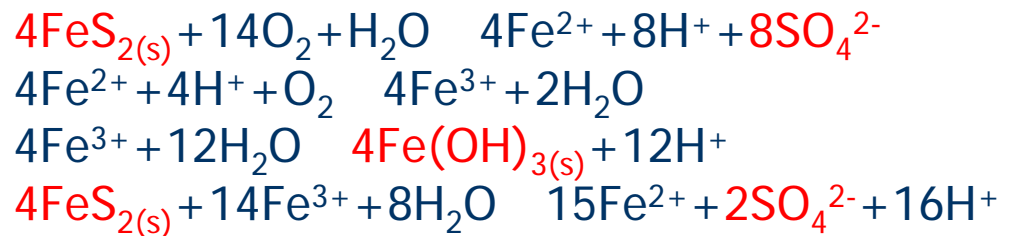
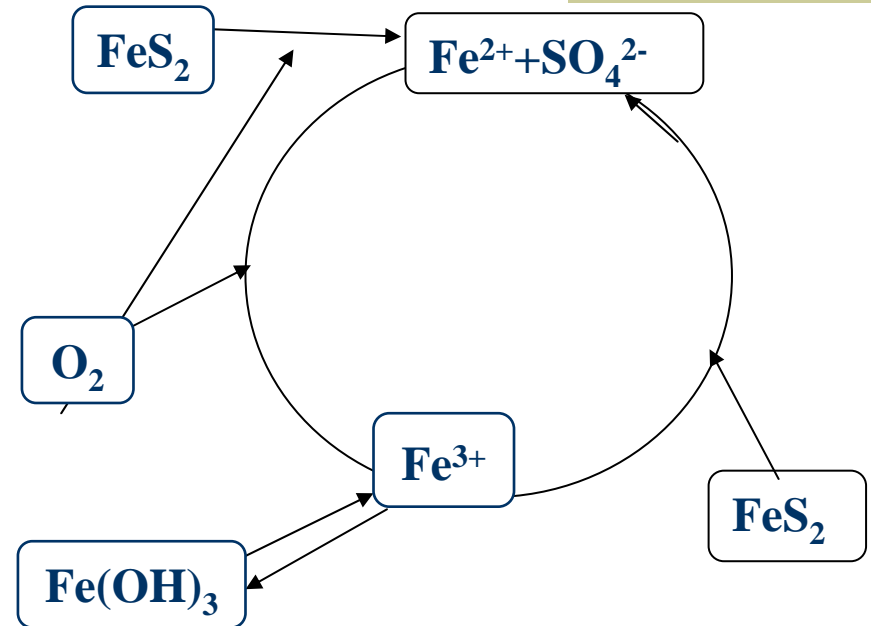
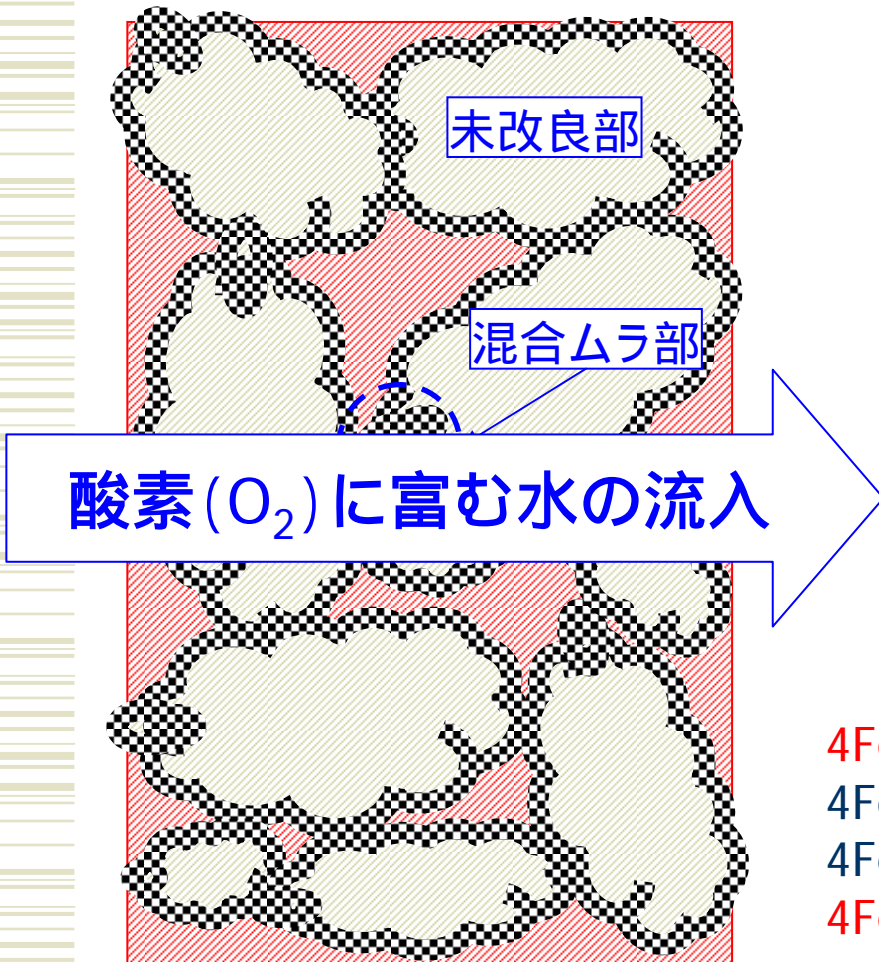
5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (4)



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

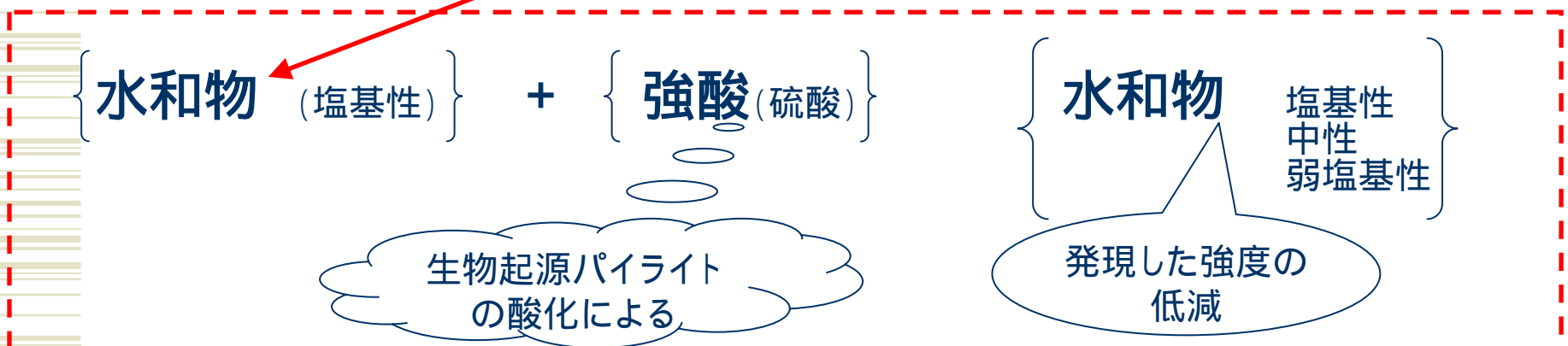
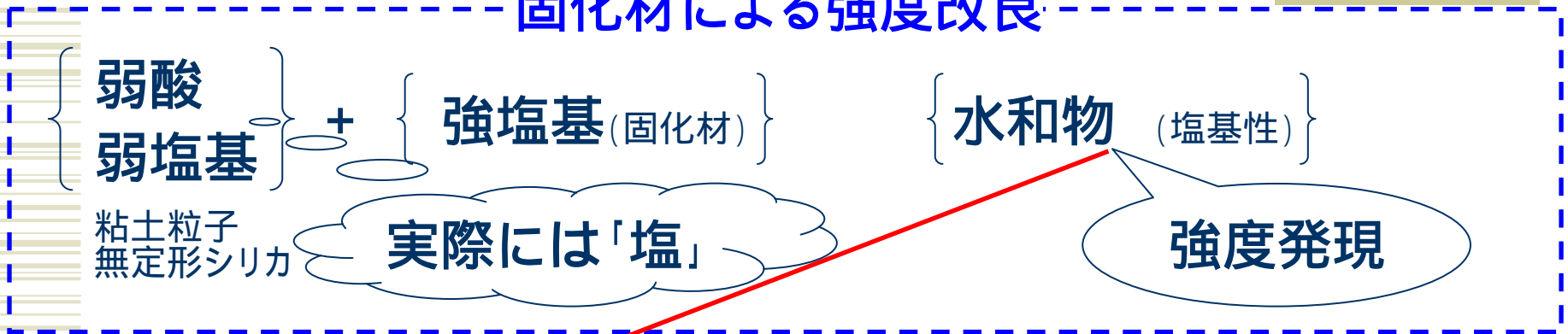
5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (5)



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (6)

----- 固化材による強度改良 -----



----- 酸化して生成された硫酸による固化材改良効果の低減 -----

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (7)

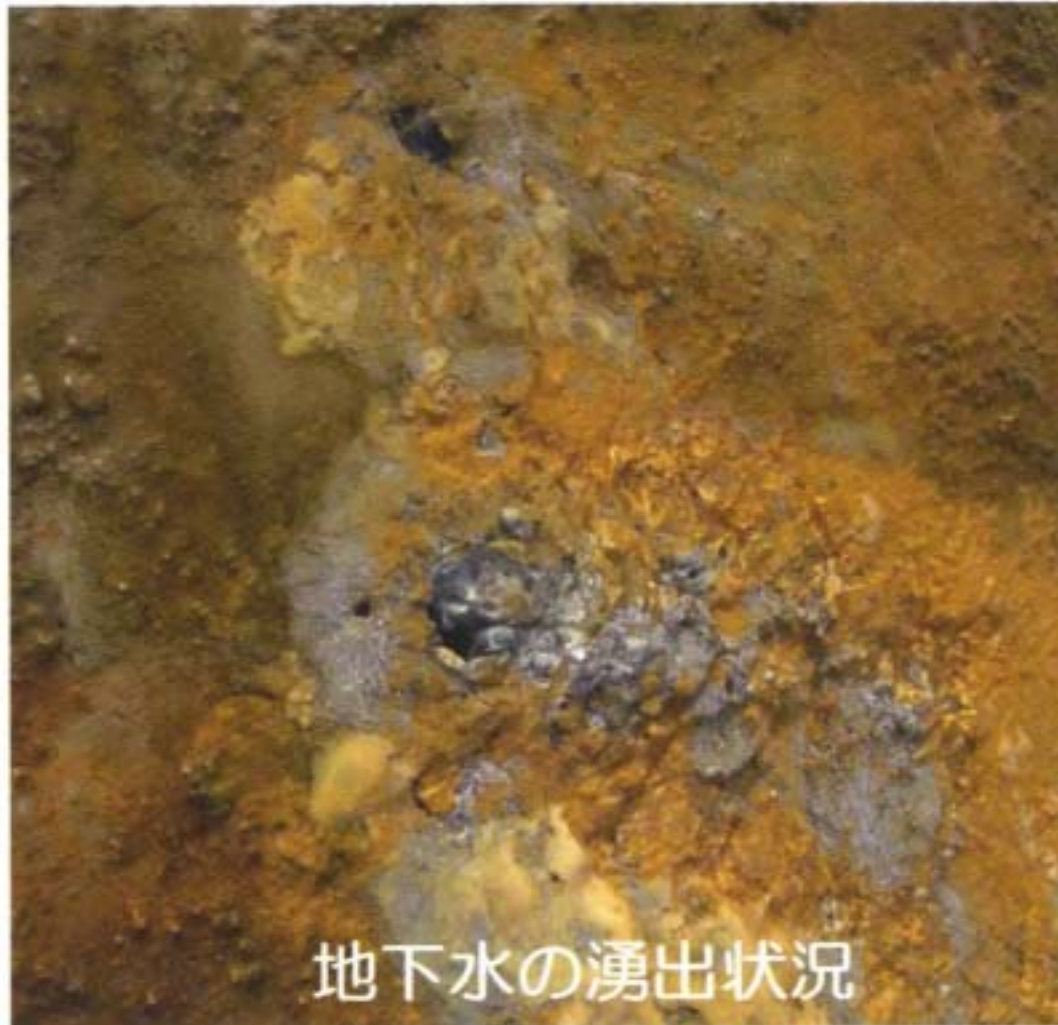


調整池内に湧出する地下水の様子(第2貝塚)

国交省・九地整・佐賀河川総合開発事務所:佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～, p.13, 2007.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (8)



調整池内に湧出する地下水の様子(第2貝塚)
国交省・九地整・佐賀河川総合開発事務所:佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～, p.13, 2007.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題


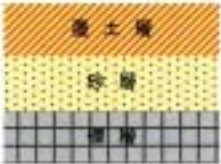



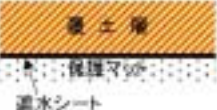
5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (9)



調整池内に湧出する地下水の様子(第2貝塚)
国交省・九地整・佐賀河川総合開発事務所:佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～, p.14, 2007.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (10)

分類	土質系キャッピング工法				シート系キャッピング工法	
	粘土層工法	毛管バリア工法	安定処理土工法		土質遮水工法	遮水シート工法
断面構造						
材質	粘土	砂+礫	現地発生土+石灰	現地発生土+セメント	ベントナイトシート	遮水シート
概要	透水性の低い粘土によるキャッピング	毛管力の働きによって形成される遮水層による工法	雨水浸透防止と石灰の中和反応を有した工法	セメント改良を行い、雨水浸透及び洪水等による浸食を防止する	ベントナイト等を用いた土質遮水工法	人工素材を用いた雨水遮断工法
施工性	△	△	○	○	○	△
遮水性	○	△	○	○	△	○
耐久性	△	○	△	○	△	△
経済性	◎	○	○	○	△	△
懸念点	①含水量が高く施工性が悪い。 ②表面に亀裂が生じ遮水性が低下する。 ③酸化するとキャッピング自体から硫酸を発生する可能性がある。 ④乾裂防止のため、覆土が必要である。	①完全な遮水構造ではないため、水没の可能性がある場所では、目詰り等により機能が不十分となる可能性が高い。 ②洪水時に流失する可能性があるため、覆土が必要である。	①表面に乾裂が生じ雨水が浸透する可能性がある。 ②酸性水が発生しても石灰で中和するが、石灰が消費回くされると効果が無い。 ③乾裂防止のため覆土が必要である。	①表面に乾裂が生じ雨水が浸透する可能性があるため、覆土が必要である。 ②耐久性は石灰処理土よりも高い。	①電解質イオンを多く含む浸出水に対して膨潤が抑制され、遮水性が低下する。	①シート単独では、破壊の恐れが高い(自己修復する材料もある) ②洪水時に水没した場合に掘圧力により浮き上がって流出する恐れがあり、覆土が必要となる。
総合評価	△	△	○	◎	△	△

キャッピングの材料と構造の比較表

国交省・九地整・佐賀河川総合開発事務所:佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～, p.41, 2007.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (11)



1. 第3貝塚全景 (施工前)



2. トレンチ埋め戻し前



3. トレンチ埋め戻し状況 (粘土塗り立て)



4. トレンチ埋め戻し状況 (粘土塗り立て)

対策工の施工状況写真

国交省・九地整・佐賀河川総合開発事務所:佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～, p.76, 2007.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (12)



5. トレンチ埋め戻し状況 (粘土塗り立て)



6. トレンチ埋め戻し状況 (粘土塗り立て)



7. トレンチ埋め戻し状況 (粘土塗り立て)



8. トレンチ埋め戻し状況 (安定処理土転圧)

対策工の施工状況写真

国交省・九地整・佐賀河川総合開発事務所:佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～, p.76, 2007.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (13)



9. トレンチ埋め戻し完了



10. 粘性土敷設状況



11. 粘性土敷設状況 (全景)



12. 土布シート敷設状況

対策工の施工状況写真

国交省・九地整・佐賀河川総合開発事務所:佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～, p.77, 2007.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (14)



13. 土木シート重ね幅 (50cm)



14. 互層状 (粘土・砂) 敷均し状況



15. 互層状 (粘土・砂) 敷均し状況



16. 1次混合 (バックホウ)

対策工の施工状況写真

国交省・九地整・佐賀河川総合開発事務所:佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～, p.77, 2007.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (15)



17. 2次混合 (自走式土質改良機)



18. 2次混合 (混合土排出)



19. 2次混合機械 (自走式土質改良機)



20. セメント改良層敷均し状況

対策工の施工状況写真

国交省・九地整・佐賀河川総合開発事務所:佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～, p.78, 2007.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (16)



21. セメント改良層敷均し状況



22. セメント改良層敷均し状況



23. 敷均し機械 (超湿地ブルドーザ)



24. セメント転圧状況

対策工の施工状況写真

国交省・九地整・佐賀河川総合開発事務所: 佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～, p.78, 2007.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (17)



25, セメント改良層完成状況



26, 互層状《石灰処理土・砂》敷均し状況



27, 1次混合(バックホウ)

対策工の施工状況写真

国交省・九地整・佐賀河川総合開発事務所:佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～, p.79, 2007.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.3 改良土の劣化問題と対策の事例 (18)



28. 2次混合 (自走式土質改良機)



29. 覆土層法面成形状況



30. キャッピング完成状況 (その1)



31. キャッピング完成状況 (その2)

対策工の施工状況写真

国交省・九地整・佐賀河川総合開発事務所:佐賀導水事業巨勢川調整池～東名遺跡の保存対策～, p.79, 2007.

5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (1)

日 時:平成21年6月10日(水)

14:00 ~ 17:00

場 所:佐賀大学本庄キャンパス
理工学部都市工学科北棟2階
都市2番教室

当日の進行について:

14:00 ~ 14:05

開会挨拶

低平地研究会・地盤専門部会長 日野剛徳氏

14:05 ~ 14:25

有明海沿岸低平地域における軟弱地盤の酸化還元特性
と化学的地盤改良に及ぼす影響に関する一考察

佐賀大学低平地研究センター 日野剛徳氏

佐賀大学理工学部都市工学科 根上武仁氏

14:25 ~ 14:45

ジオコンポジットを用いた粘性土盛土の構築技術

佐賀大学理工学部都市工学科 柴 錦春氏

14:45 ~ 15:05

盛土材料に応じた管理手法の実例

朝日テクノ株式会社 福岡 仁氏

15:05 ~ 15:25

東与賀公園造成における浚渫土有効利用の事例報告

株式会社島内エンジニア 島内 明氏

15:25 ~ 15:40

休憩

15:40 ~ 16:00

浮泥・底泥安定処理土の盛土材料としての有効利用
に関する現場試験

松尾建設株式会社 真崎照吉氏

16:00 ~ 16:20

福岡208号有明海沿岸道路の建設発生土利用と
施工管理

日本地研株式会社 野村正二氏

16:20 ~ 16:55

総合討議

16:55

閉会挨拶

前出・日野剛徳氏

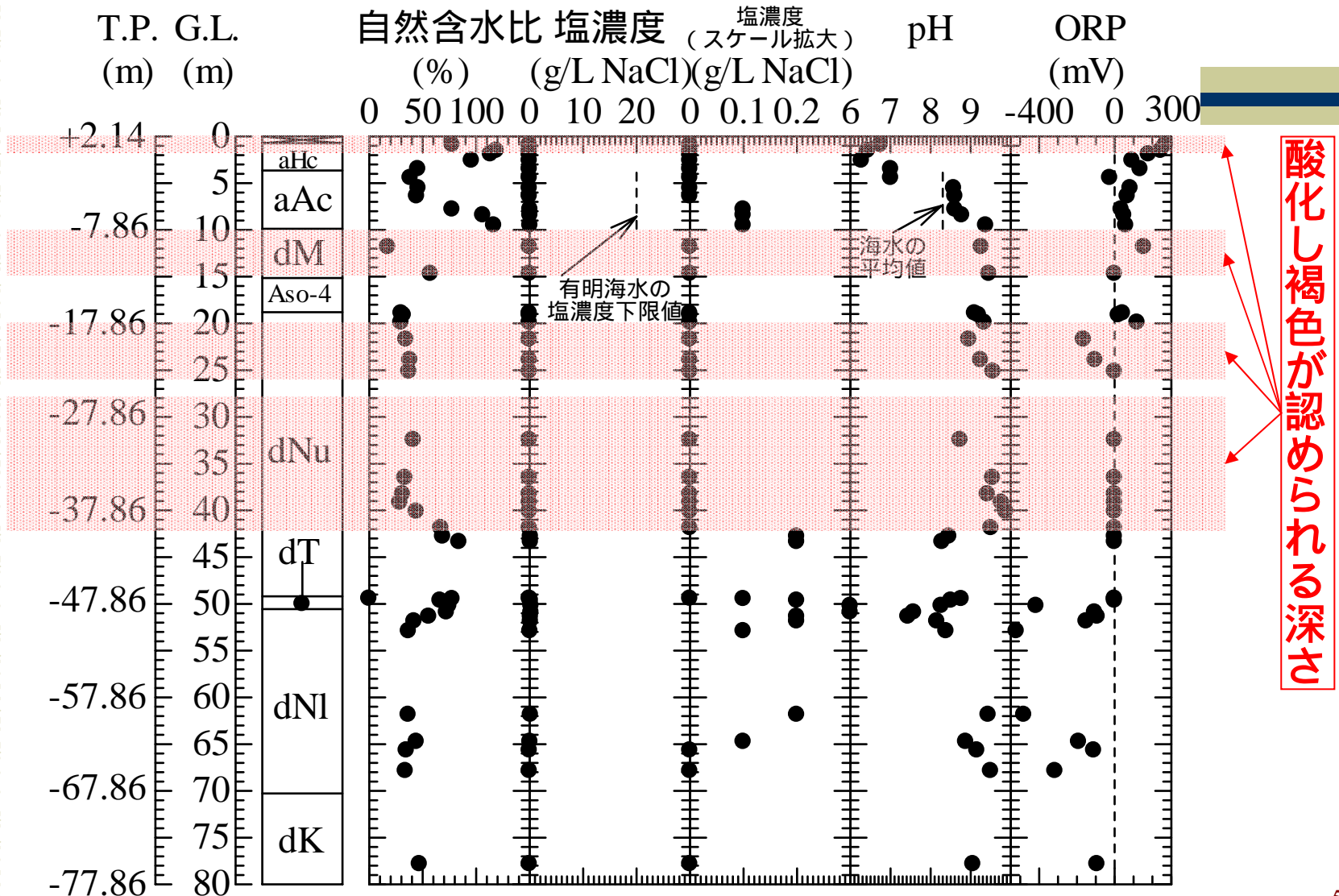
5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (2)



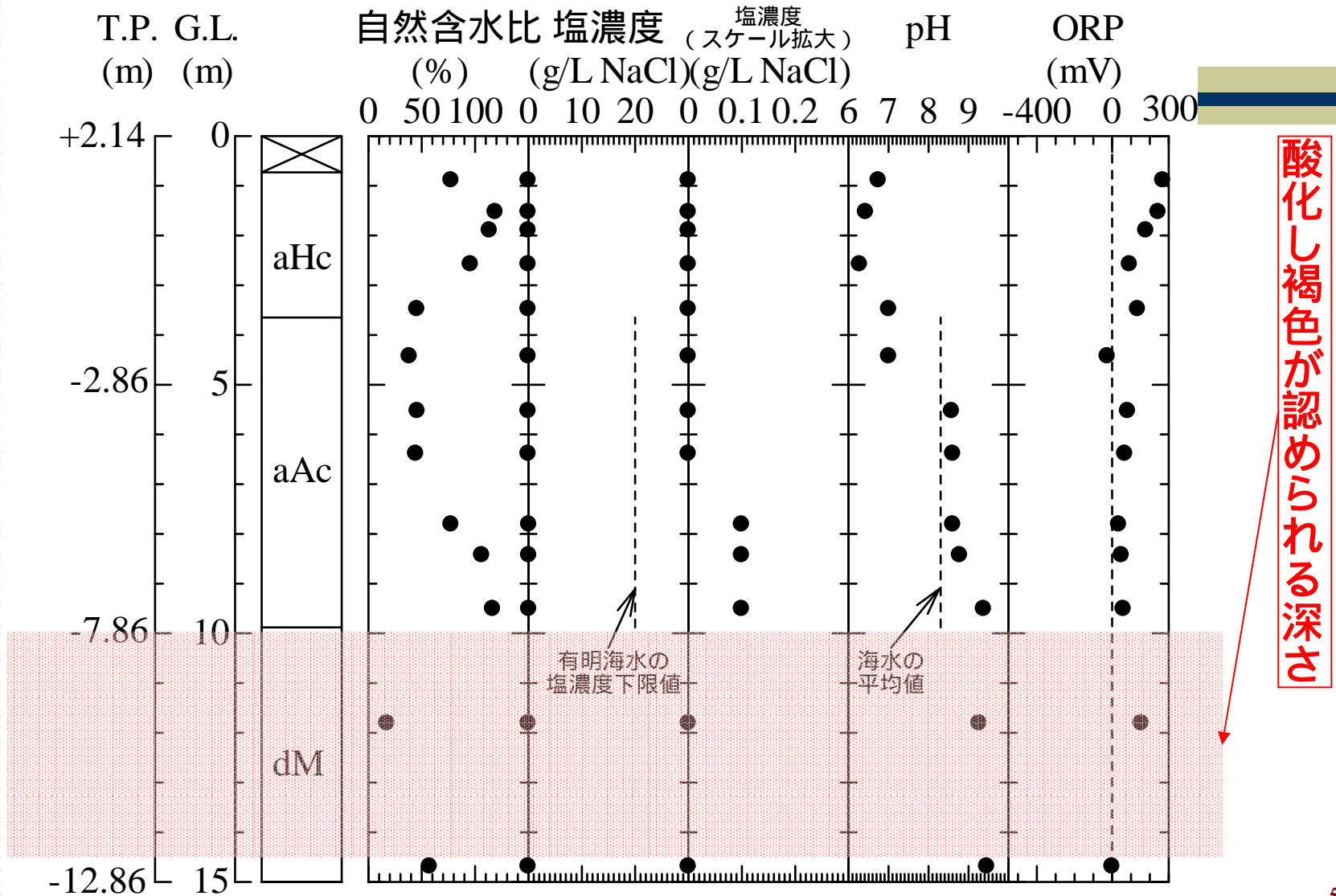
5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (3)



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (4)



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (5)



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (6)



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (7)



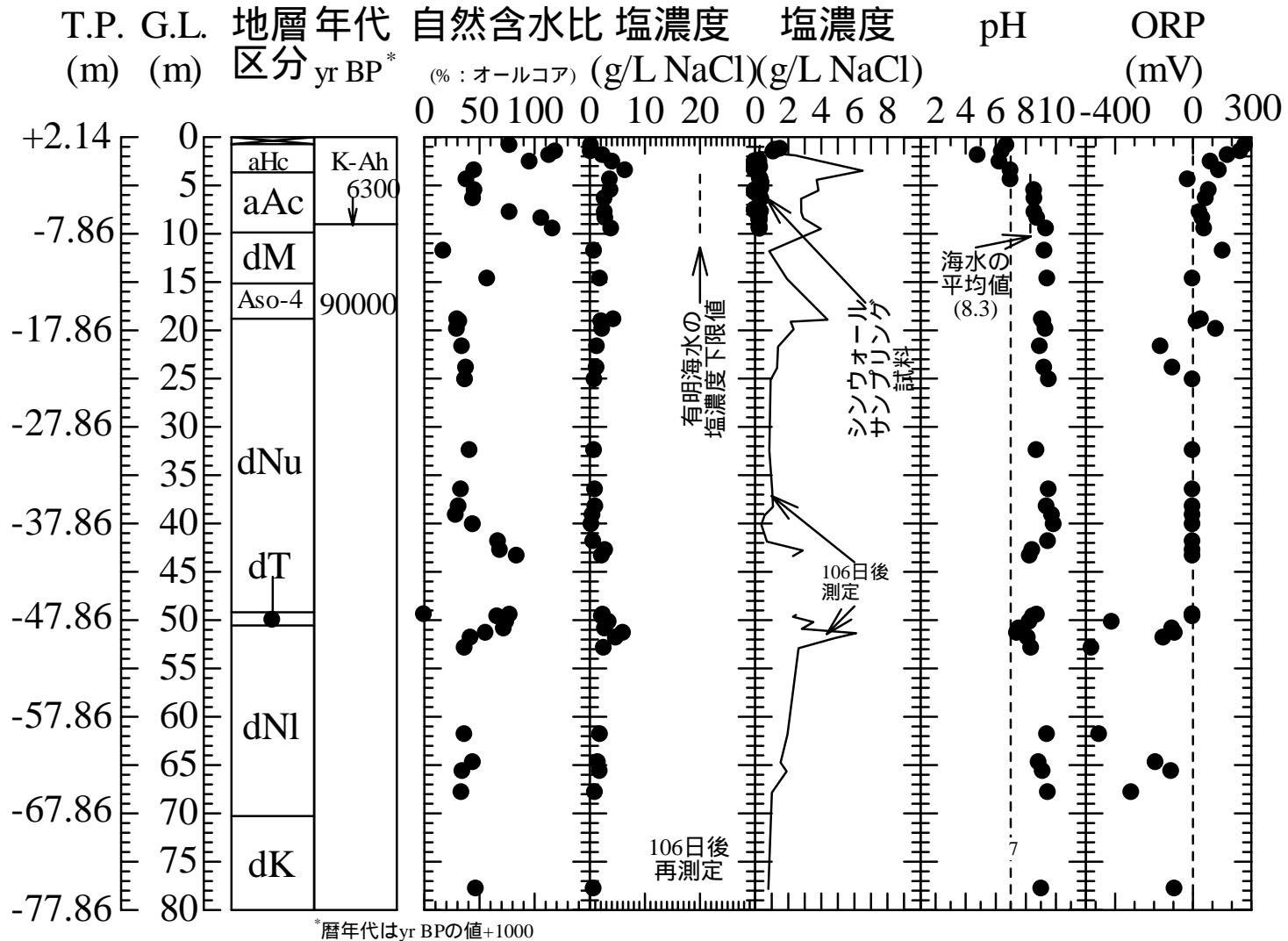
5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (8)



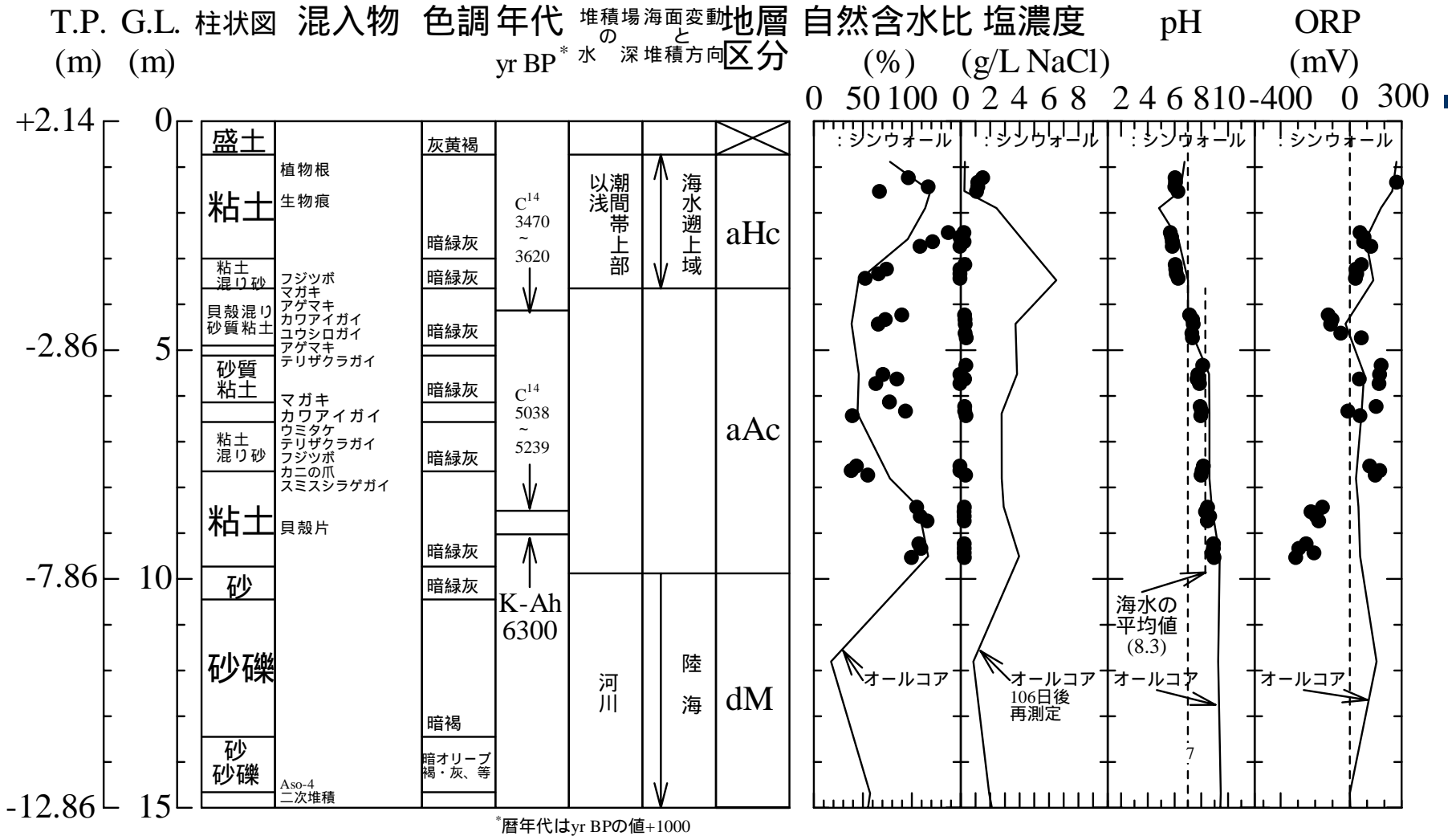
5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (9)



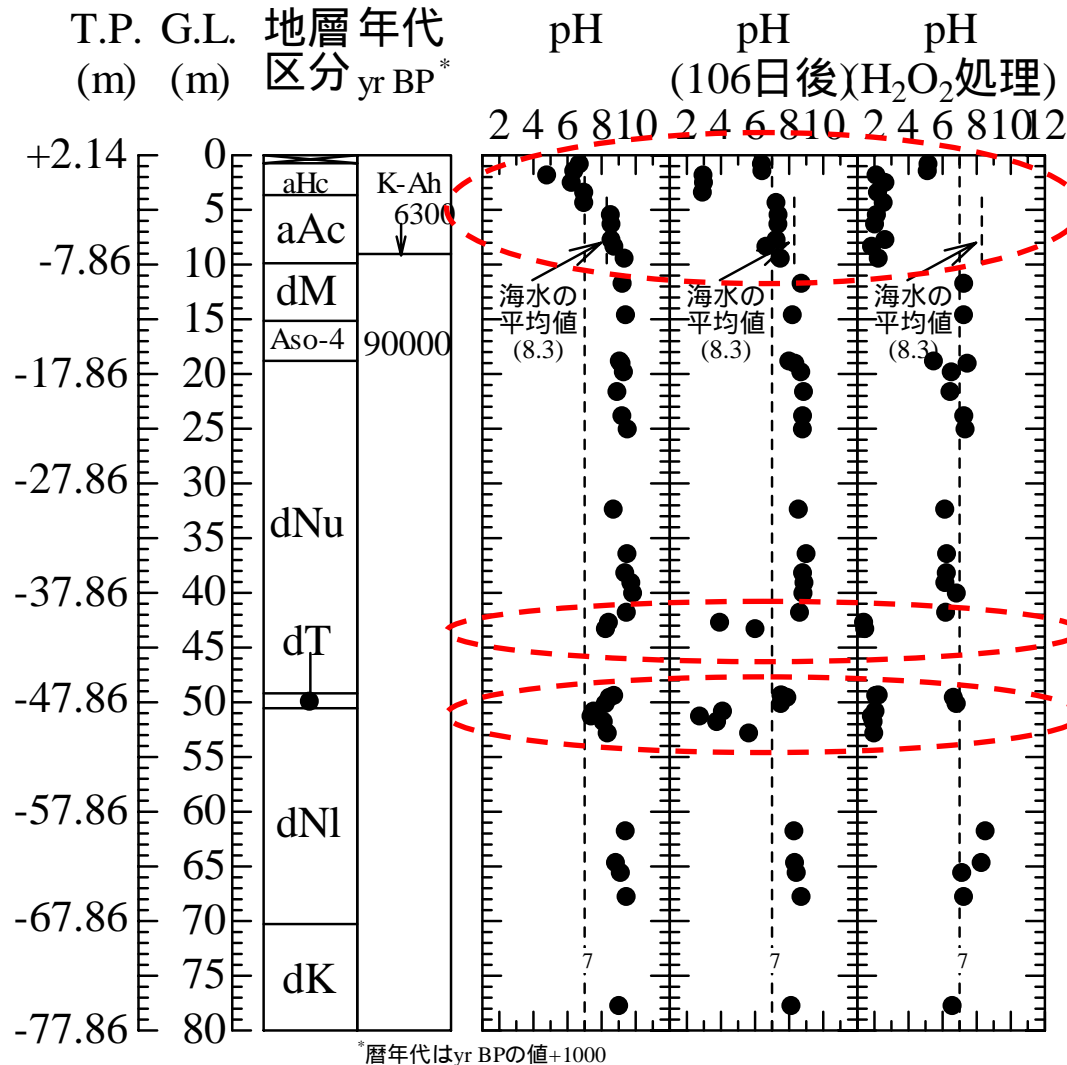
5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (10)



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

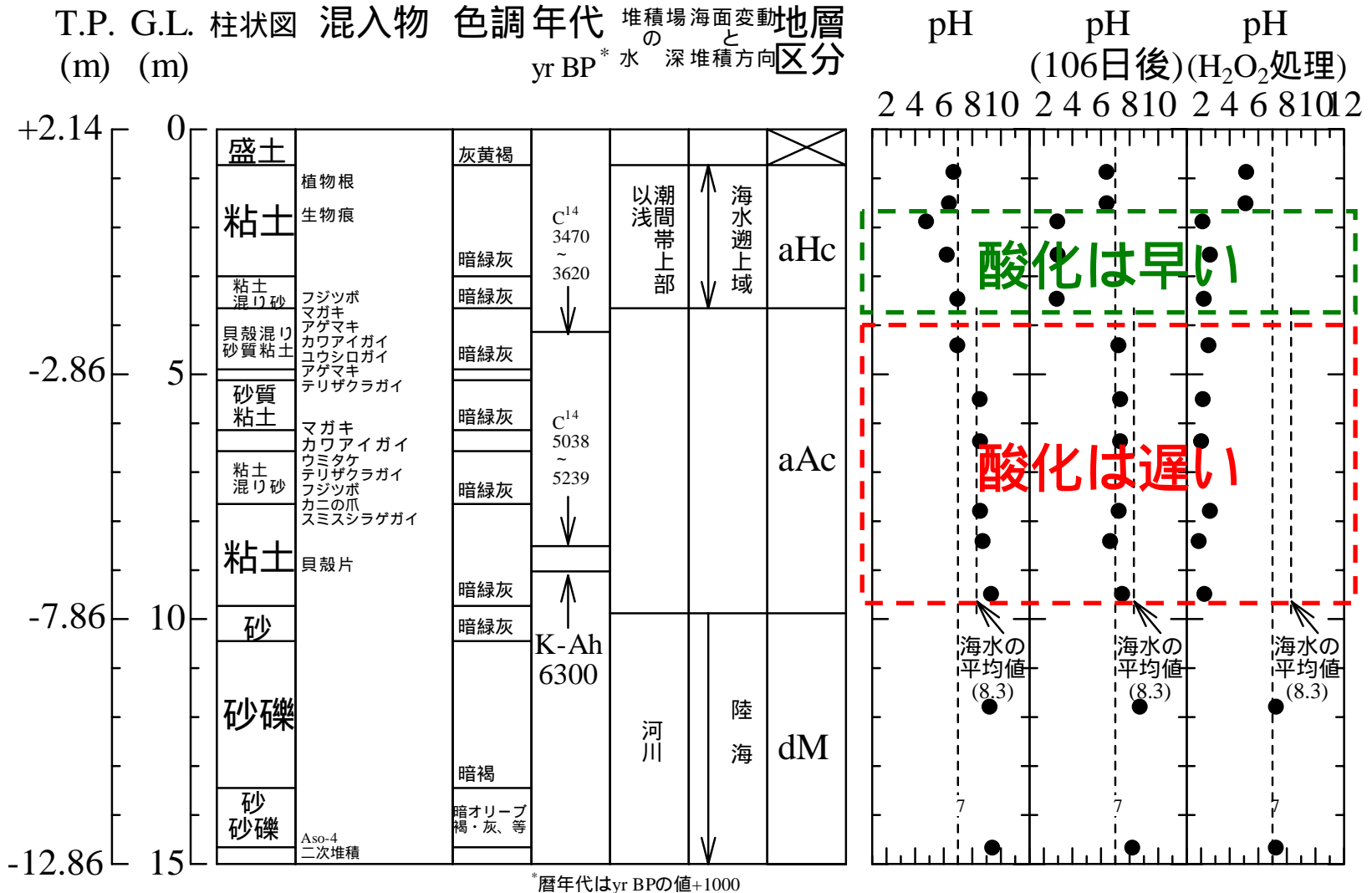
5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (11)



pHが大きく酸性に傾く深さ

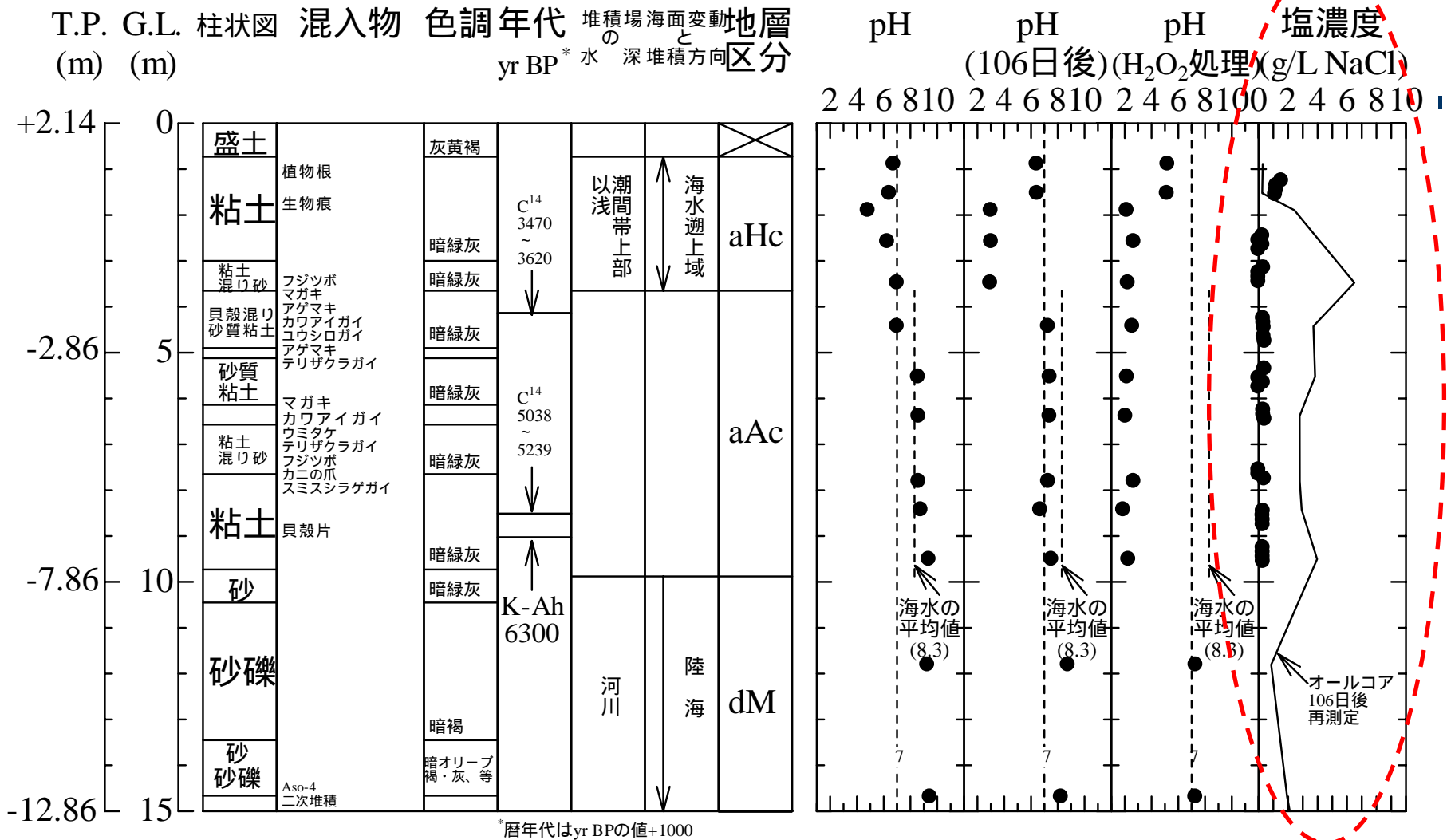
5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (12)



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (13)



5. 有明海沿岸低平地域における化学的地盤改良の動向と課題

5.4 軟弱地盤に忍び寄る地下風化現象 (14)

有明海沿岸低平地域に堆積する粘性土に不可避免的に生じる酸化還元反応
(強酸性土化する潜在性 既往の対策事例として東名遺跡の保存対策)

安定処理土に対して指摘される劣化問題
(生物起源パイライトを起源とする硫酸の生成、塩分、等)

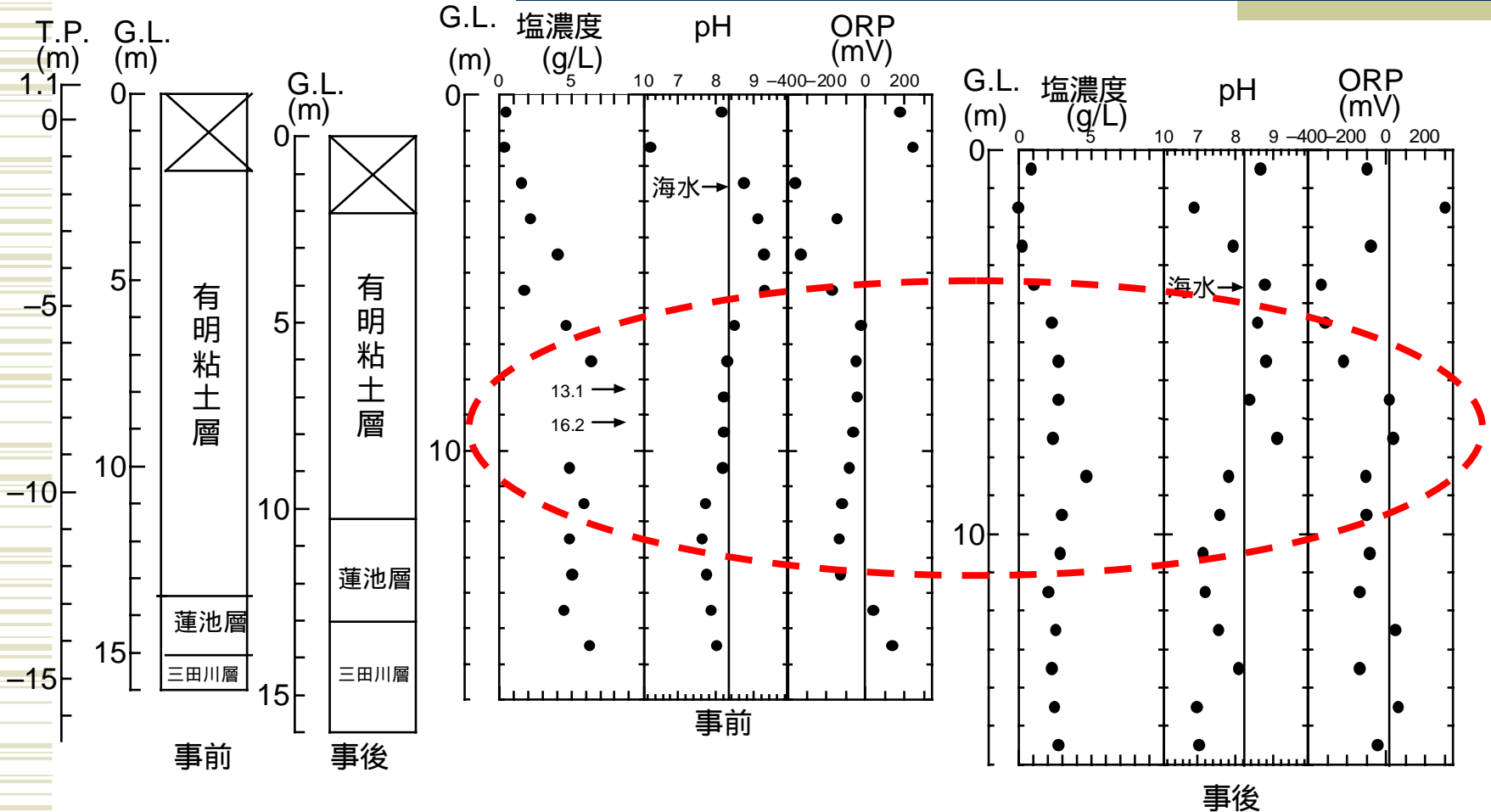
状態諸量の考え方
(安定処理に伴う改良土の軽量化は本当にメリットになり得るか?)

品質管理と施工管理
(室内試験結果は施工管理のプロセスにおいてどの部分のことを評価していることになるのか?)

コスト!

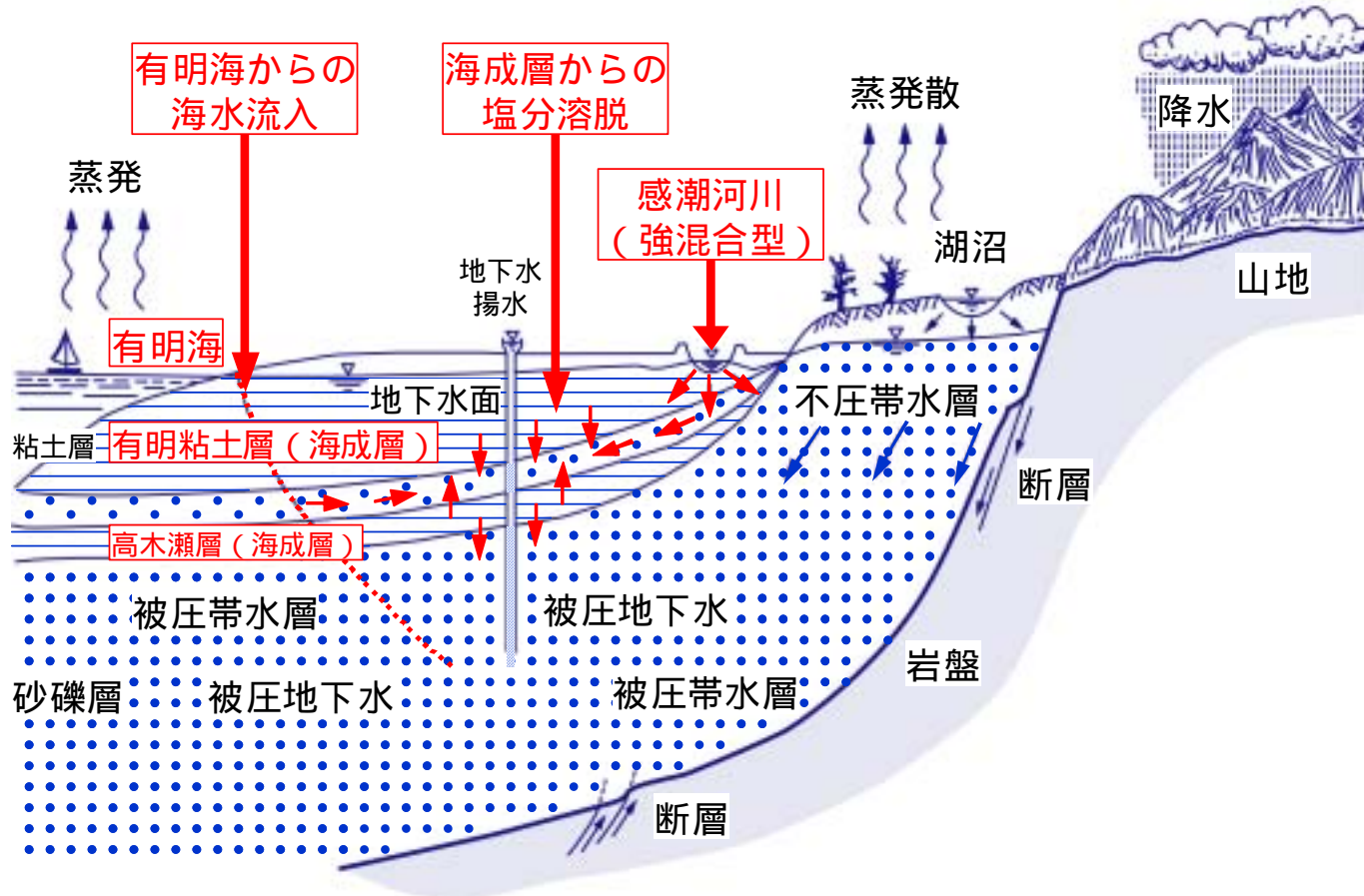
6. 有明海沿岸低平地域における物理的地盤改良の動向と課題 物理的圧密促進工法における改良前後の地盤環境調査結果 (1)

- ・事前・事後におけるボーリング地点にはわずかのずれがある。
- ・周辺の引込み沈下、亀裂、周辺へのアルカリ害化、などの問題が生じた。

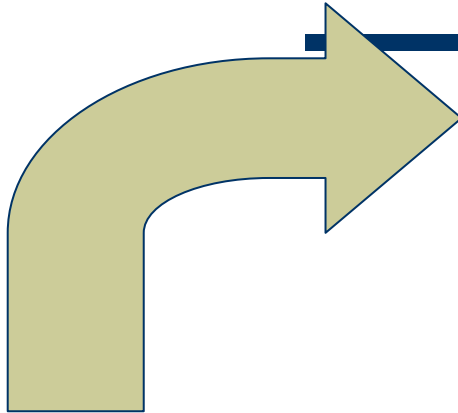


6. 有明海沿岸低平地域における物理的地盤改良の動向と課題 物理的圧密促進工法における改良前後の地盤環境調査結果 (2)

・砂層直上における粘土層の透水性は、これまでのように難透水性と理解しておいてよいのか？
堆積環境の視点によれば、両層の間で著しい地下水流動が生じている可能性がうかがえる。
(バーチカルドレーン不貫通深さ決定の根拠。)



7. 有明海沿岸低平地域における軟弱地盤の堆積環境と地盤・環境特性との関係に関する今後の研究の展開



	有明粘土層 (堆積当初)	有明粘土層 (2次変化)	運池層 (堆積当初)	運池層 (2次変化)
地層区分	海成層	海成層	非海成層	非海成層
塩濃度	塩濃度 20g/L (海水値)	塩濃度 < 20g/L (海水値より低い)	塩濃度 < 20g/L (汽水値 - 淡水値)	塩濃度 < 20g/L (汽水値 - 淡水値) (稀に新しい海水値 - 淡水値と同様)
pH	pH 8.3 (海水値)	pH > 8.3 (酸化の影響を受けると強酸性を示す)	pH < 7	pH < 7 (酸化の影響を受けると強酸性を示す) (稀に新しい海水値 - 淡水値と同様)
酸化還元電位	還元状態	還元状態 (稀に酸化状態)	還元 - 酸化状態 (表層数 cm から還元状態)	還元 - 酸化状態 (稀に酸化状態)
間隙水中溶解陽イオン (ナトリウム吸着比 SAR で表示)	SAR 7.28 (海水値と同様)	SAR < 7.28 (Ca ²⁺ が多い)	海水値 - 淡水値と同様	淡水値と同様 (稀に新しい海水値 - 淡水値と同様)
有機物含有量	多い	少ない	多い (アシ等の地下茎等)	多い (アシ等の地下茎等) (稀に腐食状態)
間隙水の年代・起源	海水 (化石水)	汽水 - 淡水 (稀に新しい海水値 - 淡水値と同様)	海水 - 淡水 (化石水)	汽水 - 淡水 (稀に新しい海水値 - 淡水値と同様)
含有貝殻の量および状態	含み変化なし	含むが溶け始めている (Ca ²⁺ の溶出)	含むが溶け始めている (Ca ²⁺ の溶出)	含まない
珪藻遺骸の量および状態 (無定形シリカ)	含むが溶け始めている (Al ³⁺ , Si ⁴⁺ の溶出)	含むが溶け始めている (Al ³⁺ , Si ⁴⁺ の溶出)	有明粘土層より多く 含み変化なし	有明粘土層より多く 含み変化なし (稀に溶け始めている) (Al ³⁺ , Si ⁴⁺ の溶出)
セメンテーション 寄与物質の存在	Ca ²⁺ (海水値と同様) Al ³⁺ , Si ⁴⁺ (海水値より多い)	Ca ²⁺ (海水値と同様かそれ以上) Al ³⁺ , Si ⁴⁺ (海水値より多い)	Ca ²⁺ (海水値 - 淡水値と同様) Al ³⁺ , Si ⁴⁺ (海水値 - 淡水値と同様)	Ca ²⁺ (汽水値 - 淡水値と同様) (稀に新しい海水値 - 淡水値と同様) Al ³⁺ , Si ⁴⁺ (汽水値 - 淡水値と同様) (稀に新しい海水値 - 淡水値と同様)
鋭敏性	通常	高鋭敏性 (特に塩分溶脱の著しい 有明粘土層)	通常	通常
液性指数 I _L 鋭敏比 S _t	I _L 1 S _t < 5	I _L 1 S _t < 5 S _t 20	I _L 1 S _t < 5	I _L 1 S _t < 5
圧縮性	通常	高圧縮性	通常	通常
圧縮指数 C _c				



青枠四項目の調査結果から以下の項目を把握できるよう研究中

8. 地盤改良技術の将来展望

- 1)地盤改良技術における地盤調査法の早急な改善。特にオールコアの一層の有効利用。(部分部分をほじるのではなく、半割して地層を見よう。)
- 2)地盤改良技術における物理化学的性質の観点の早急な改訂。特に環境モニタリングの方法。(一般市民・漁業関係者は我々以上に「アルカリ」用語の内容を熟知している。)
- 3)化学的固化工法における攪拌混合能力の一層の向上。(化学的固化工法を余儀なくされる場合はとにもかくにもその場にしっかり改良物質を固定。)
- 4)地盤改良技術のさらなる向上・発展を目指して産官学連携の構築・役割分担。(例えば、産:技術開発・分野横断、官:環境コスト・分野横断、学:物質循環・分野横断。)