

空気注入によって液状化対策を行う世界初の工法

空気注入不飽和化工法 (Air-des工法) の開発



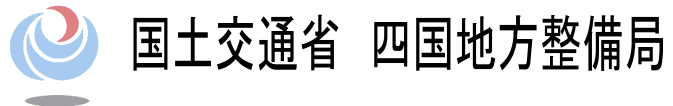
技術研究開発センター
三枝 弘幸

本日の発表内容

- 開発体制および経緯
- 空気注入不飽和化工法（Air-des工法）とは？
- 開発の背景、目的
- 工法の原理
- 工法の特長
- 施工方法
- 品質確認
- 実績
- 工法適用における留意点

開発体制および経緯

【開発体制】



【開発体制】

H18年5月 共同開発に参画(愛媛大、東亜、不動、白石の共同開発開始)

H20年4月 国交省四国地整、ダイヤコンサルタントが共同開発に参画
(現体制のスタート)

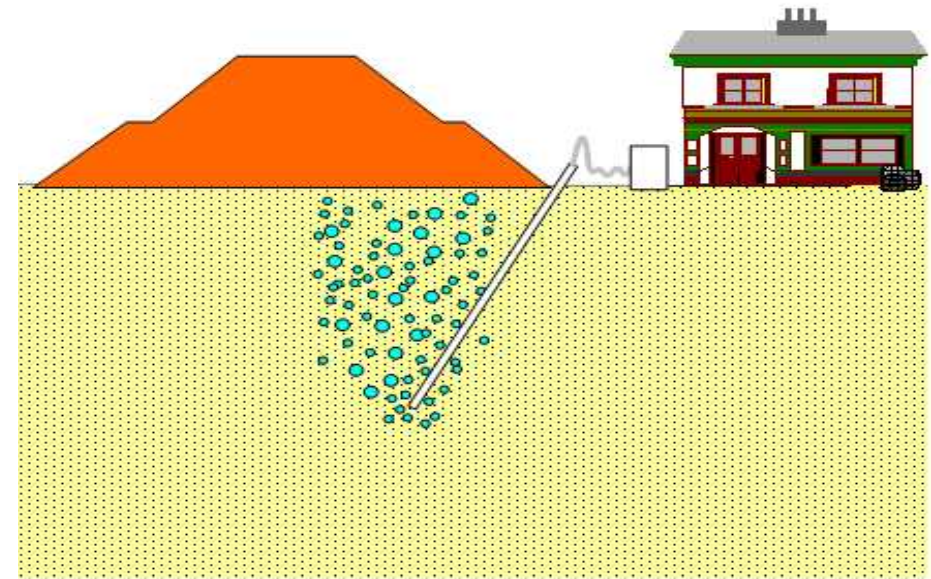
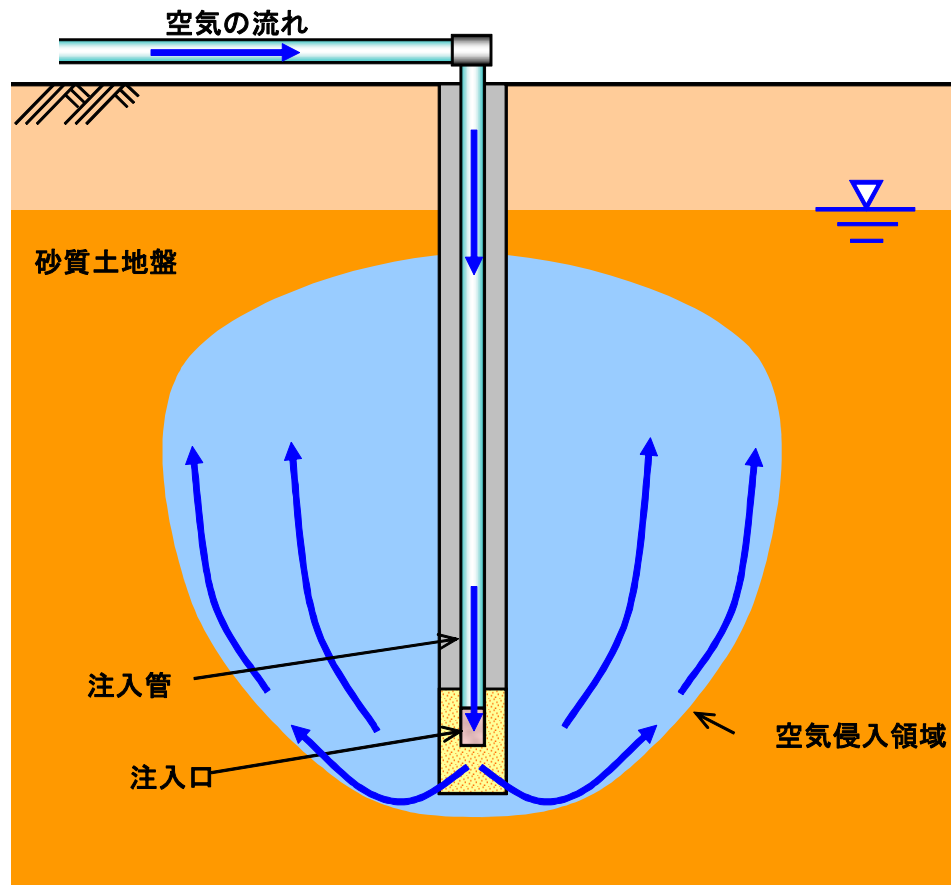
H18年～H23年 千葉県船橋市、袖ヶ浦市、高知県高知市、徳島県鳴門市
にて現場実験を実施

H24年3月 技術マニュアル完成、プレス発表

H24年7月 Air-des工法研究会の設立

空気注入不飽和化工法（Air-des工法）とは

空気注入不飽和化工法（Air-des※工法）は、地盤内に空気を直接注入し、地盤を不飽和化させることで液状化抵抗を増大させる地盤改良工法。 ※Air-des = Air desaturationの略



空気注入のイメージ

開発の背景、目的（1）

1995年の兵庫県南部地震以降、重要構造物に対する耐震対策、液状化対策が進められているが、今日に至るまでの対策進捗率は決して高くない。

【要因】

① 液状化対策に掛かる施工費が概して高価である。

上部構造物よりも地盤改良費の方が高くなるケースがある。

② 供用中の既設構造物直下の施工が難しい。

施工可能な技術が少ない。施工費がさらに高価となる。



大幅なコストダウンが見込める液状化対策工法の開発をめざす（特に既設構造物直下地盤に対して）。

開発の背景、目的 (2)

(1) 不飽和による液状化強度の増加

液状化の3大要因

- ① 緩く堆積した、② 飽和した、③ 砂地盤

わずか数%の飽和度低下により、液状化強度が増加する

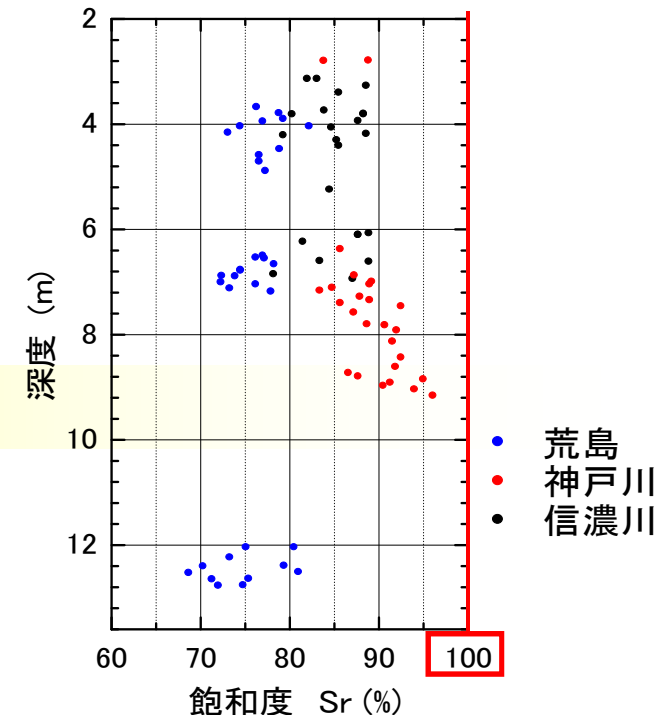
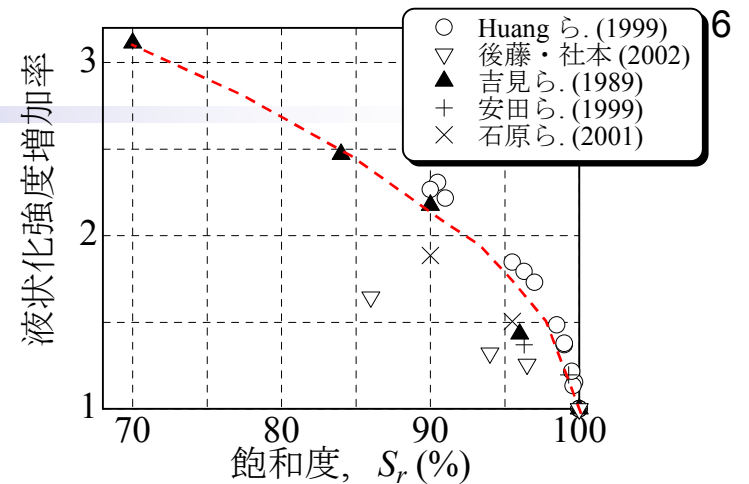
(2) 不飽和化(注入空気)の持続性

砂と同時に大量の空気注入を行うSCP施工において、事後追跡調査(凍結サンプリング)により、**最長26年経過後**まで残存空気が確認された

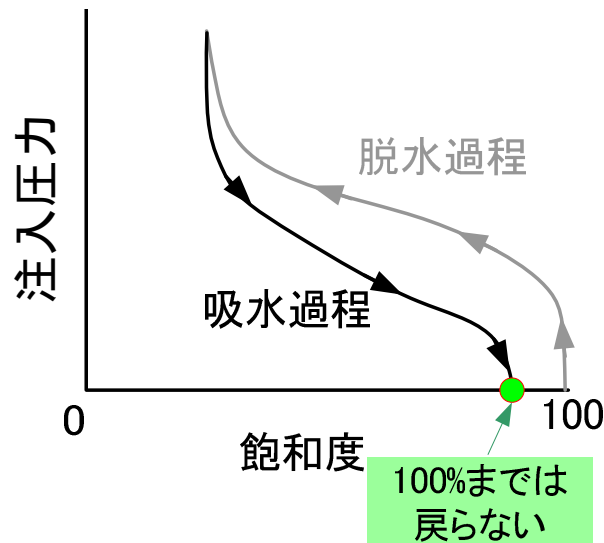
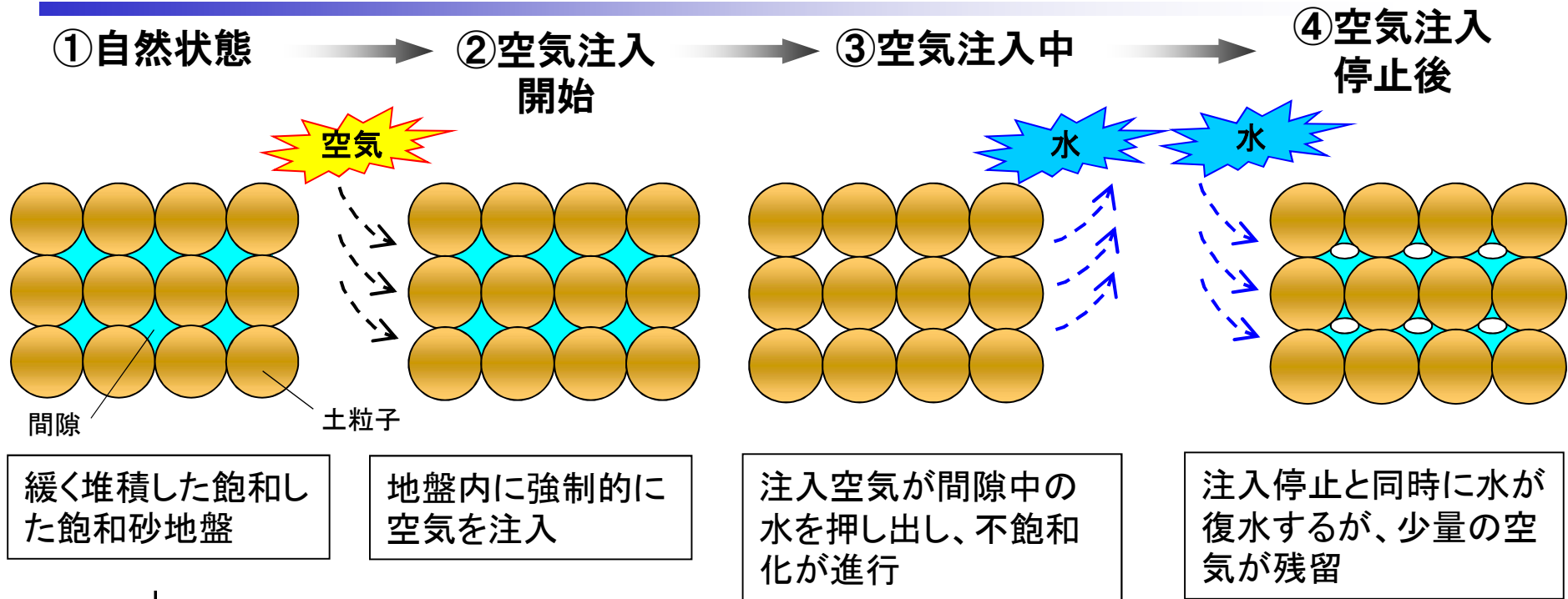
地盤内に空気を注入できれば、長期的に残存する



空気注入不飽和化工法の開発に着手



工法の原理 (1)

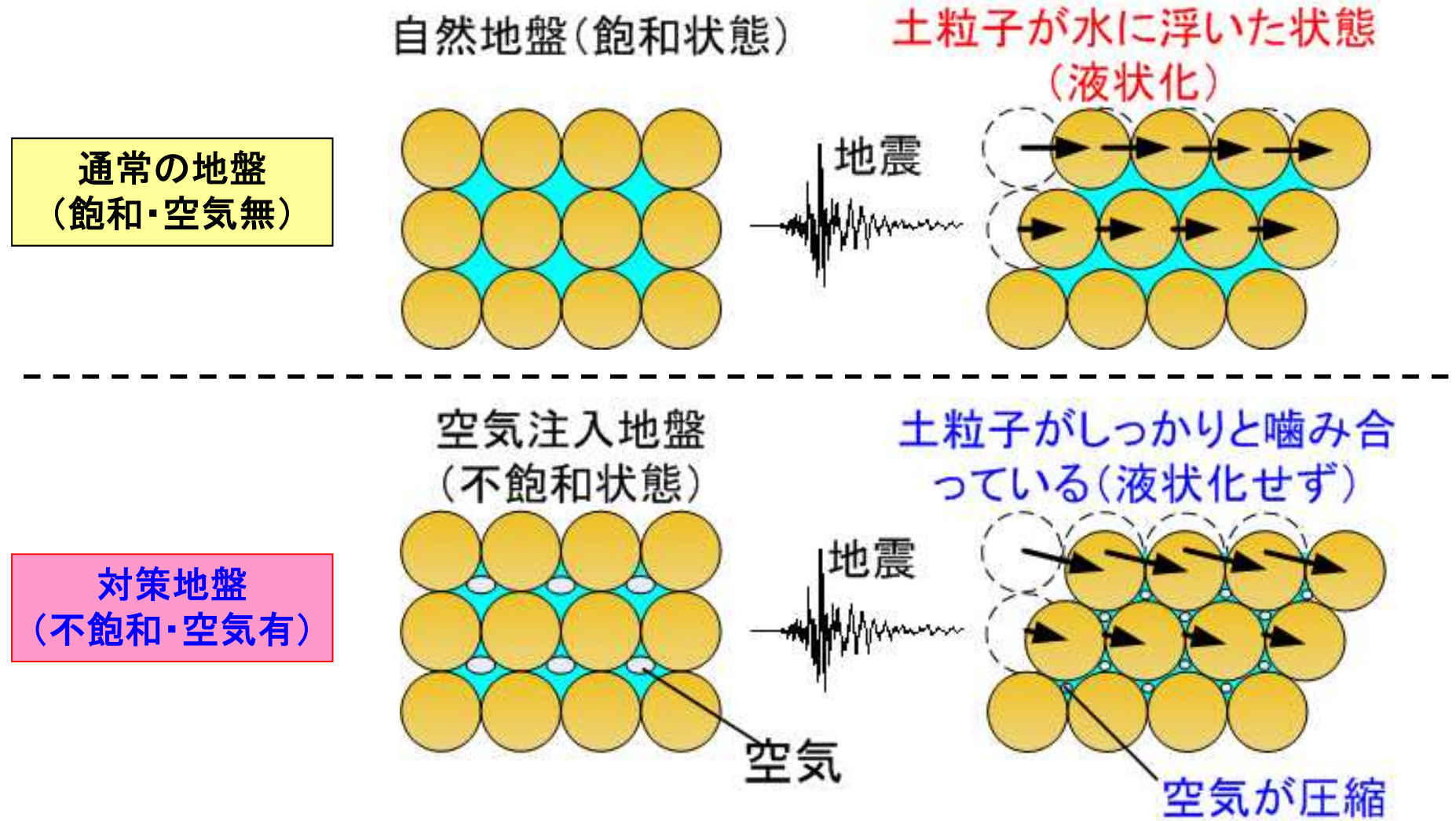


室内試験(保水性試験)の結果からも『一度不飽和状態にすれば、飽和度100%までは回復しない』ことが明らかとなっている。

空気注入により、
長期的な不飽和化が実現

工法の原理 (2)

注入した空気は、地震時の水圧上昇を抑制させるクッションの役目



振動台実験による改良効果の検証



【無対策】

【空気注入】

① 他の液状化対策工法に比べて低コスト

- ◆使用材料が大気中の空気(材料費なし)
- ◆特殊な大型施工機械は必要なし

② 施設を供用中のまま施工可能

- ◆構造物直下地盤に適用可能
- ◆施工に伴う地盤変形は発生しない

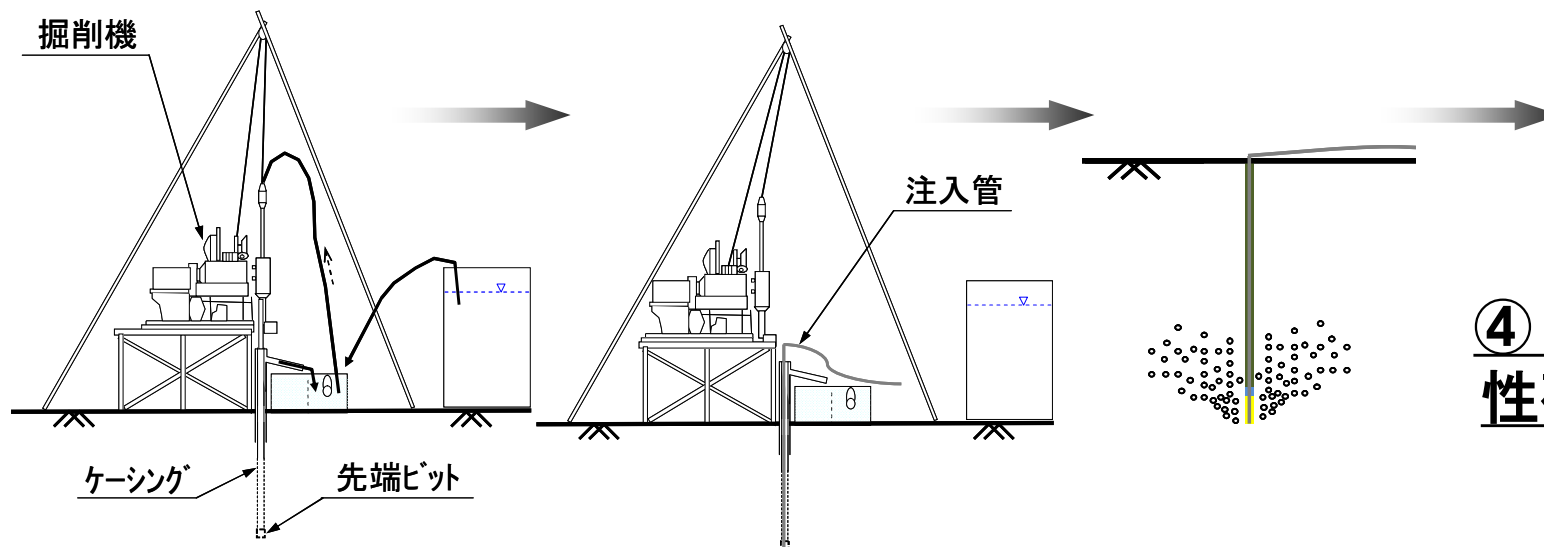
③ 施工に伴う環境負荷を軽減

- ◆材料に起因した環境負荷要因は極めて少ない
- ◆大型機械を使用しない(騒音・振動も小さい)

④ 狭隘なスペースでも施工可能

- ◆材料プラントの設置は不要
- ◆小規模設備で施工が可能

施工方法（１）：施工フロー



① 削孔

掘削機(ボーリングマシンなど)により、**注入管を埋設する削孔**を行います。

② 注入管設置

削孔後、所定の長さ
に加工した**注入管**を
建て込んだ後、埋め
戻します。

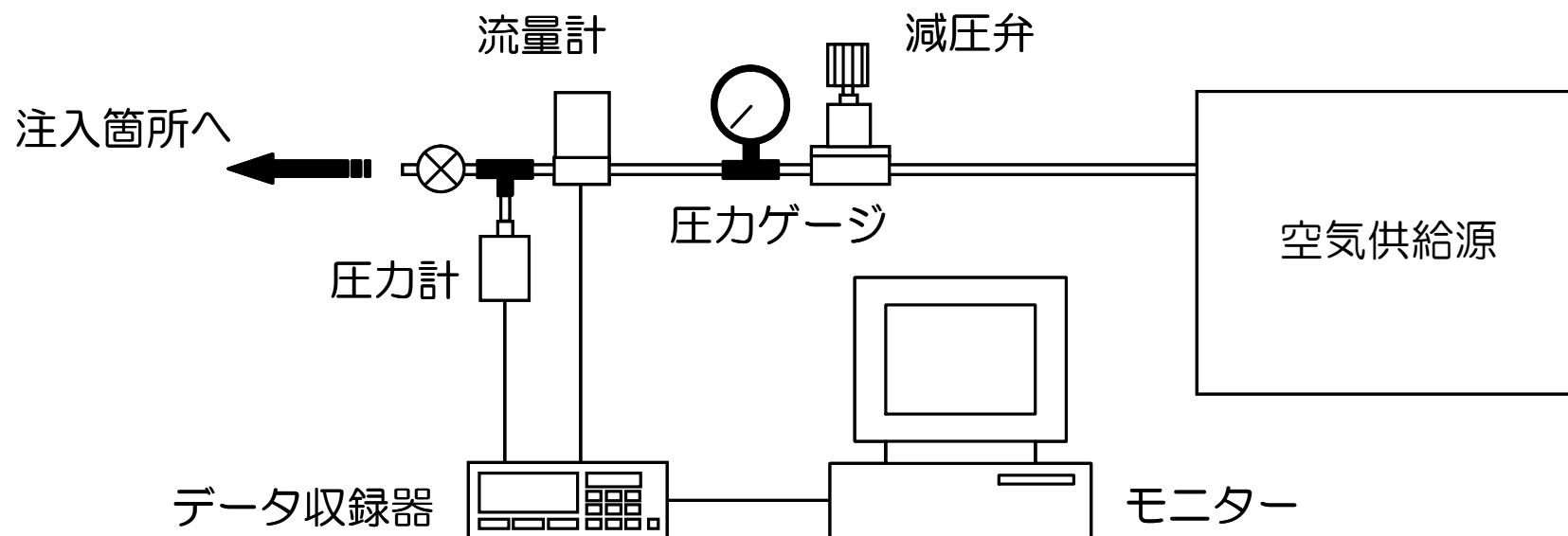
③ 空気注入

埋め戻し材料の硬
化養生後、**空気を注**
入して地盤の不飽
和化を行います。

④ 状態の持続 性確認・メンテ ナンス

空気注入後には地盤が所定の飽和度となっていることを確認します。また数年ごとに不飽和状態を確認し、**必要に応じて空気を再注入**します。

施工方法（２）：空気注入管理システム



空気供給源

コンプレッサーを使用



計測機器

圧力計・流量計で計測

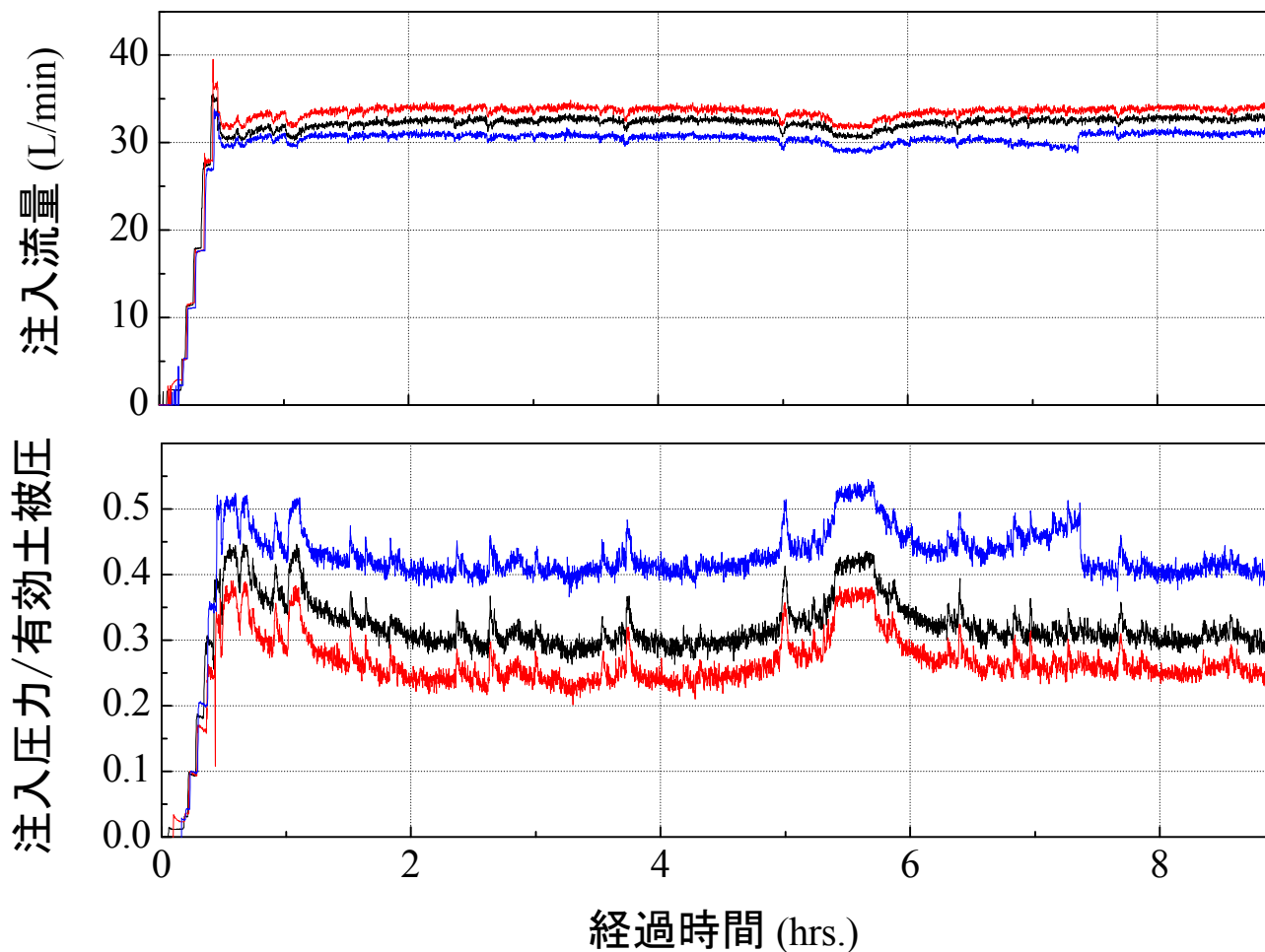


空気注入状況

大掛かりな資機材等は不要

施工方法（3）：管理項目1（圧力・流量）

● **注入圧力・流量**：注入のために作用させる圧力、地盤内への流量



施工方法（４）：管理項目２（地盤比抵抗１）

●地盤の比抵抗：注入された空気の拡がりをモニタリング

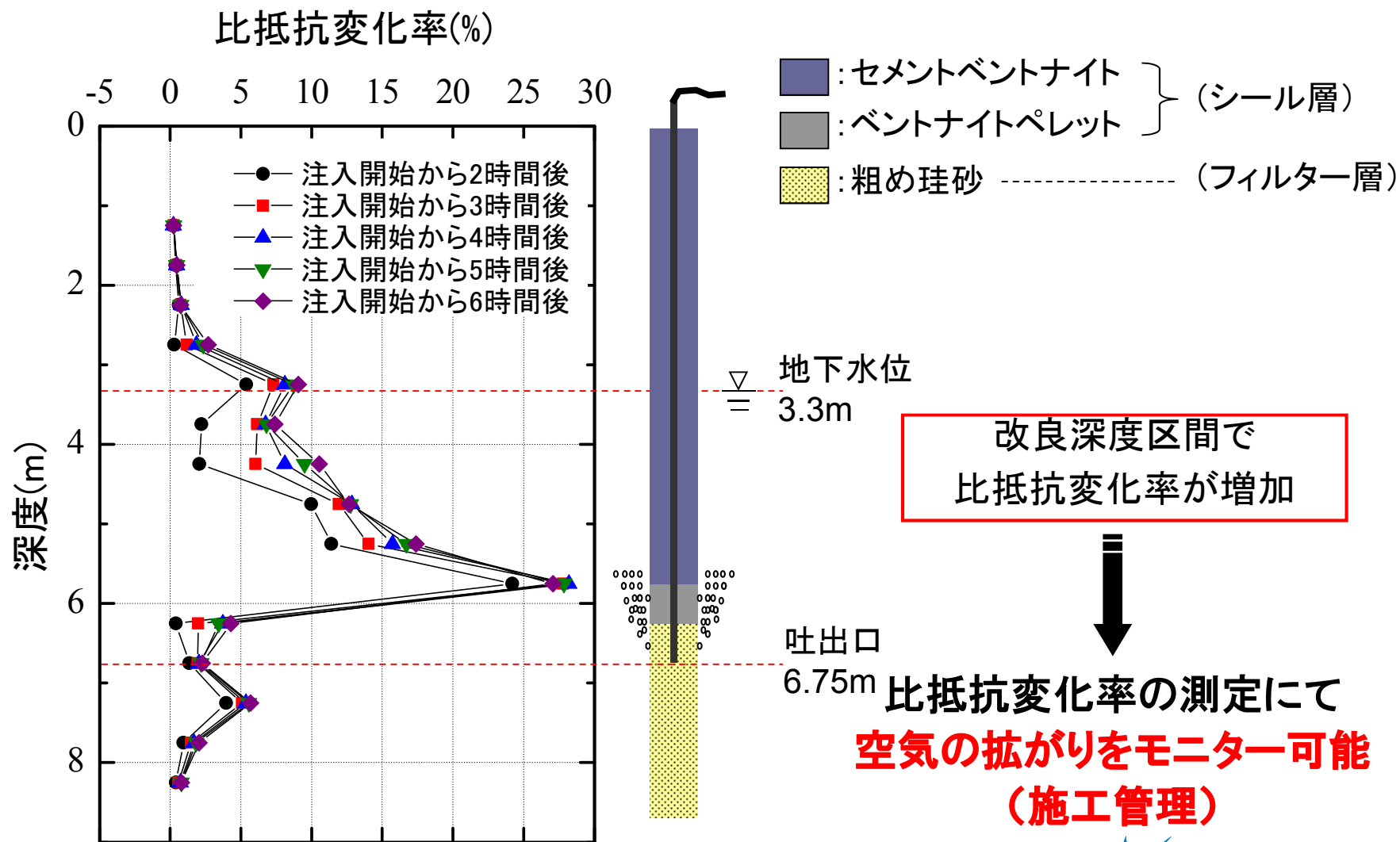
土の比抵抗に影響する因子		土の比抵抗		影響評価
		低い	高い	
間隙率	飽和状態	大きい	小さい	未変化(乱れなし) のため影響小
	不飽和状態	小さい	大きい	
飽和度(間隙率一定)		高い	低い	空気注入により変化
粘土鉱物含有量 (導電性鉱物)		多い	少ない	未変化のため 影響小
地下水の比抵抗		低い	高い	短期間のため 影響小
温度(地温)		高い	低い	

●地盤の伝導性(比抵抗)は、土に含まれる**粘土鉱物**や**含有量**、**地下水自体の比抵抗**、**地温**、**間隙率**、**飽和度**により影響を受ける。

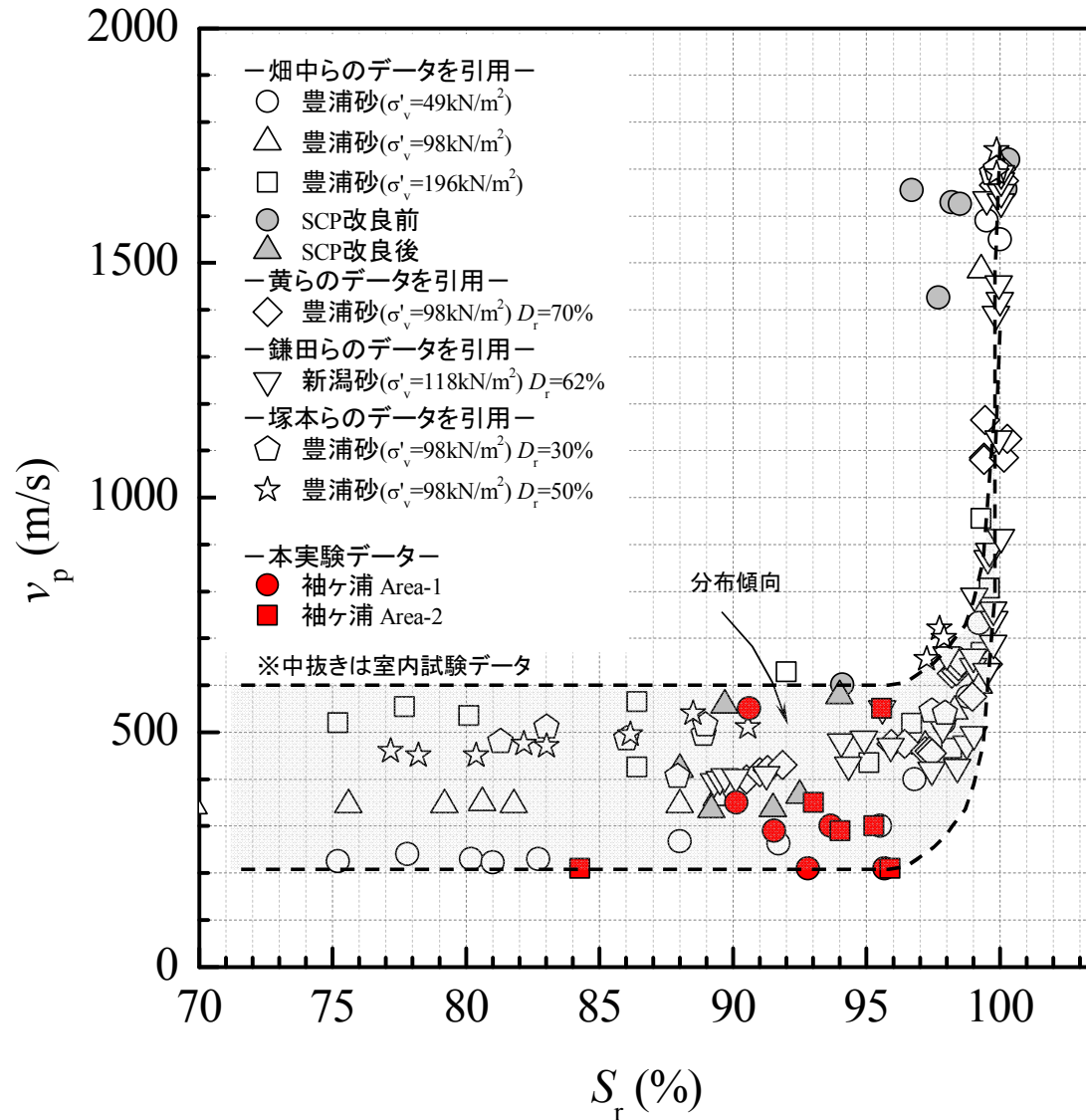
●空気注入の際に地盤を乱さなければ、土の比抵抗を左右する主要因は**飽和度のみ**に限定できる。

施工方法（5）：管理項目2（地盤比抵抗2）

●地盤の比抵抗：注入された空気の拡がりをモニタリング



品質確認（1）：飽和度の確認



飽和度 S_r とP波速度 V_p の 相関性は高い

① S_r が98%程度で V_p が著しく
変化する

②収束する v_p 値は条件により
異なる
(拘束圧 σ'_c , 相対密度 D_r など)

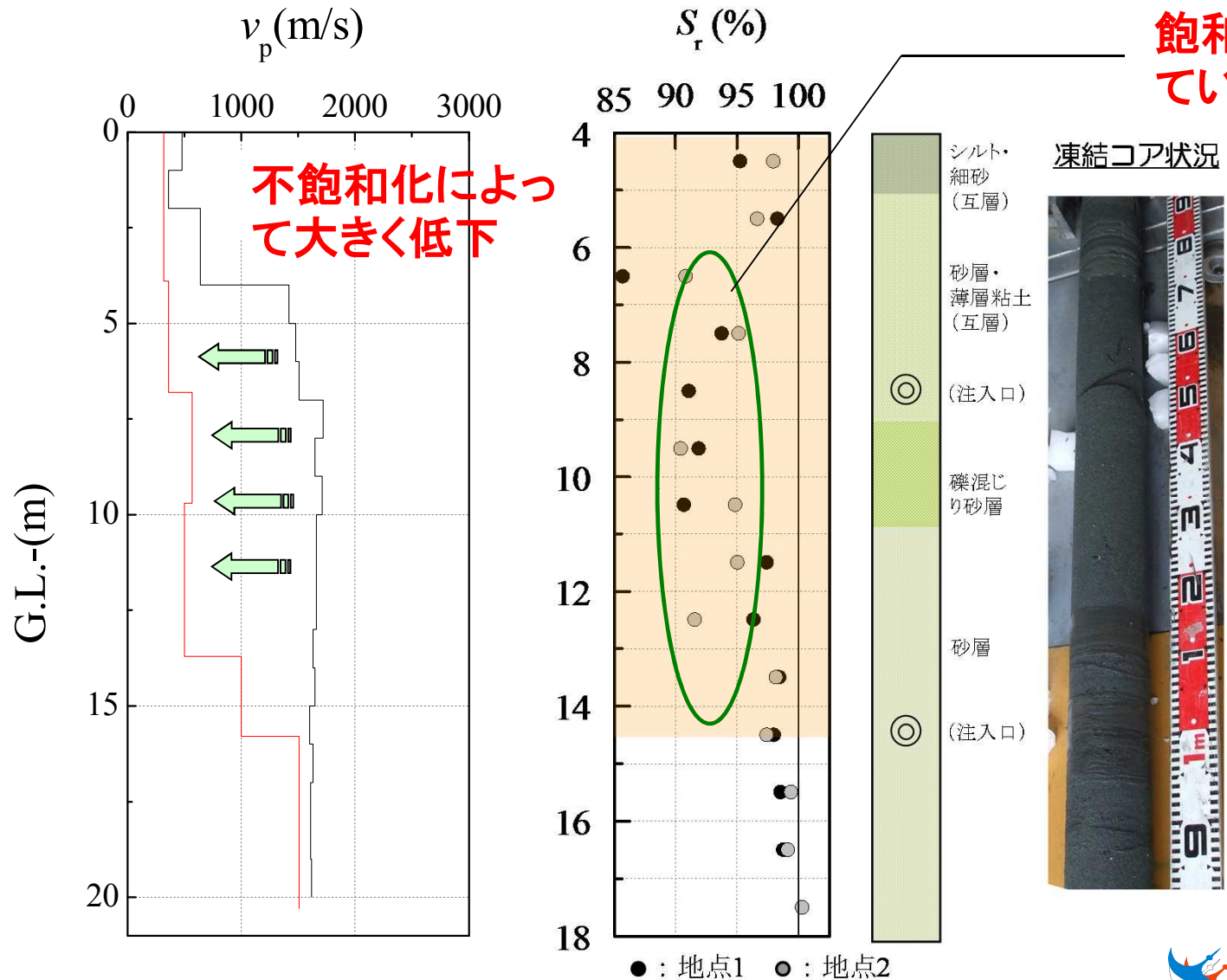


V_p にて S_r の定性的評価
が可能

品質確認（2）：飽和度の確認

● 飽和度確認：速度検層、サンプリング（凍結）

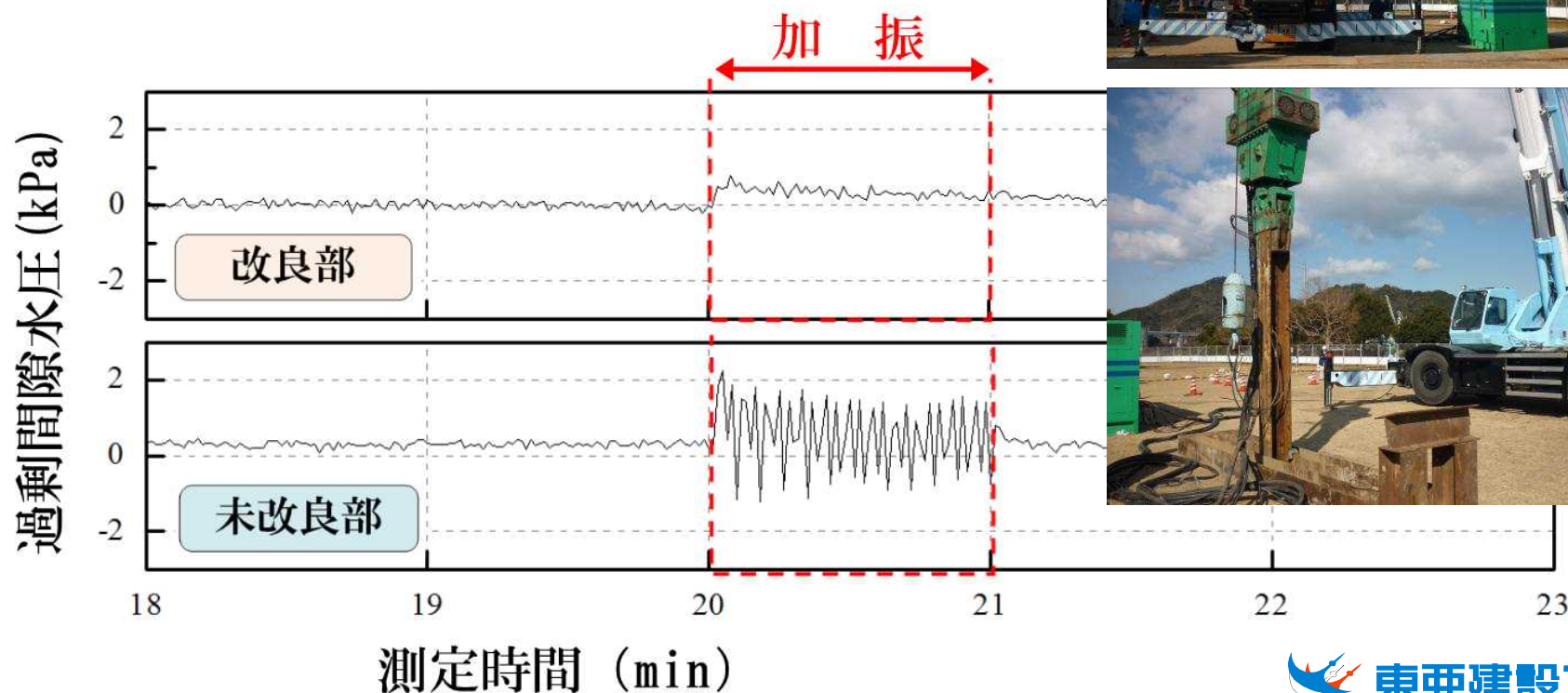
空気が残留して、飽和度が低下している



品質確認（3）：改良効果の検証

●改良効果の検証：バイブロハンマーによる加振実験

- ・バイブロハンマー（振動式杭打機）による加振
- ・100～200Gal程度の加振を約1分間継続
- ・改良部における過剰間隙水圧の抑制を確認



実績 1：開発経緯

●実施工への適用は無いが、数々の現場実証実験を実施

【H18年度】

施工の基本項目確認のための現場実験(千葉県船橋市)

【H19年度】

品質管理手法確立のための現場実験(千葉県袖ヶ浦市・高知県高知市)

【H20年度】

漏気対策技術の確立のための現場実験(千葉県袖ヶ浦市)

【H21年度】

モニタリング技術の確立のための現場実験(千葉県袖ヶ浦市)

【H22年度】

実施工規模での施工性・品質の確認現場実験(徳島県鳴門市)

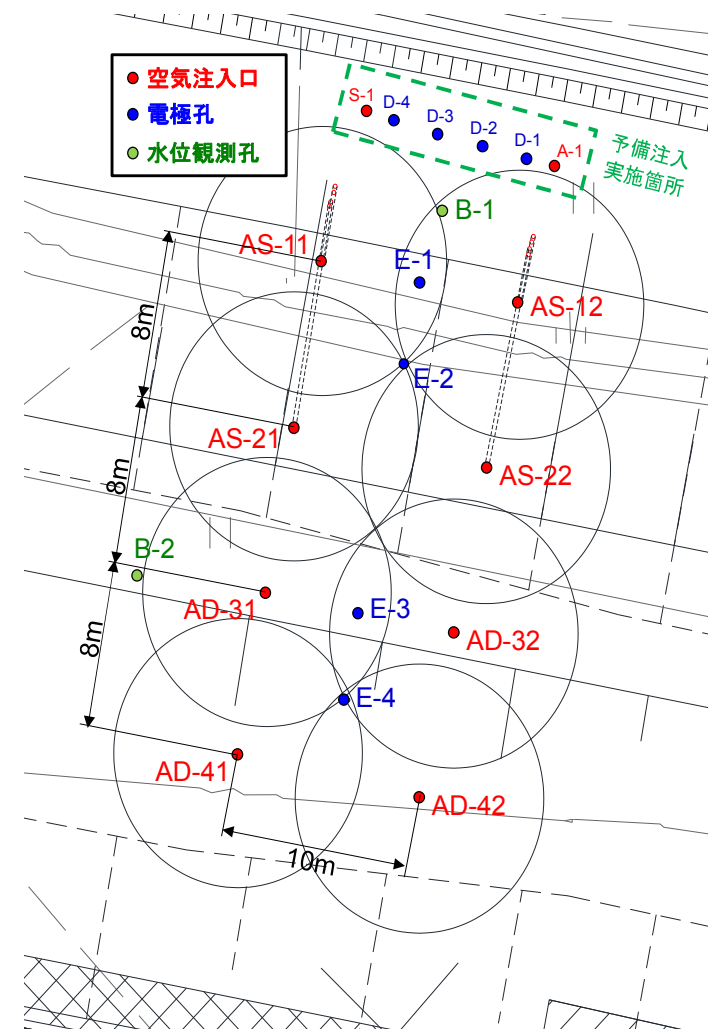
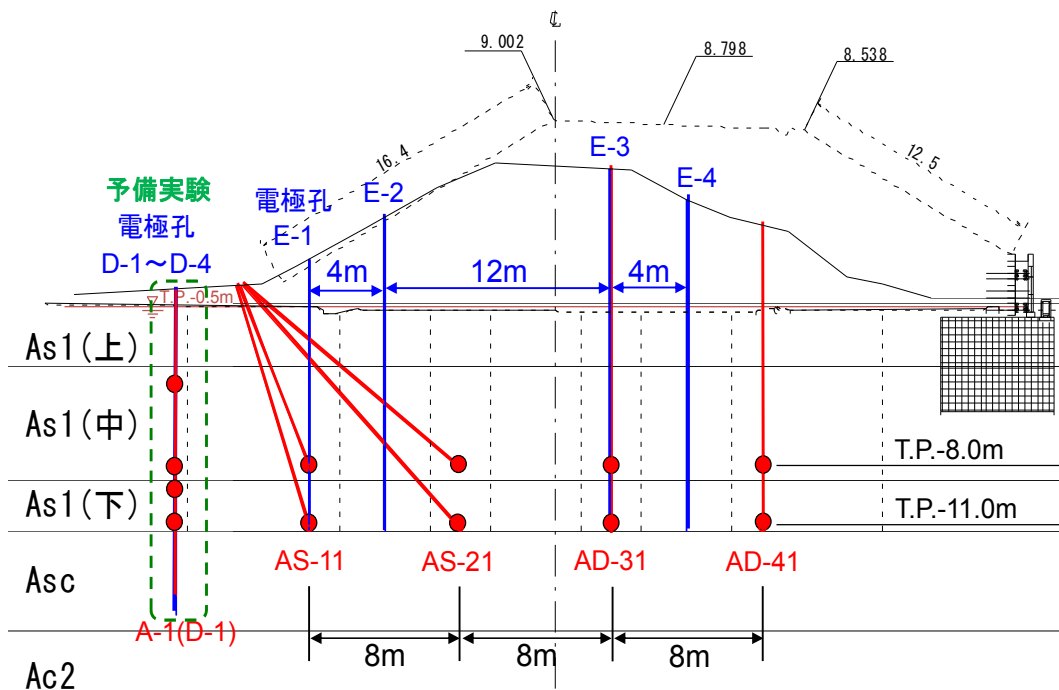
【H25年度】

高速道路盛土基礎地盤への適用性検討現場実験(徳島県徳島市)

※ 愛媛大学とNEXCO西日本四国支社の共同研究という形で実施

実績2：事例紹介（高速道路盛土基礎地盤1）

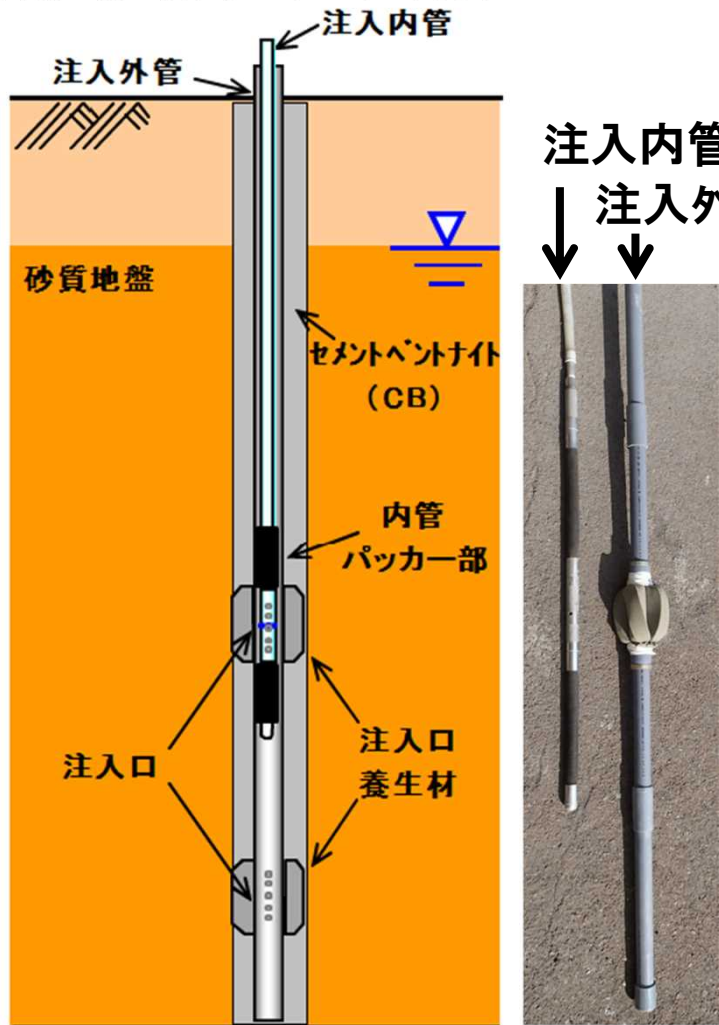
●高速道路盛土基礎地盤への適用性検討現場実験



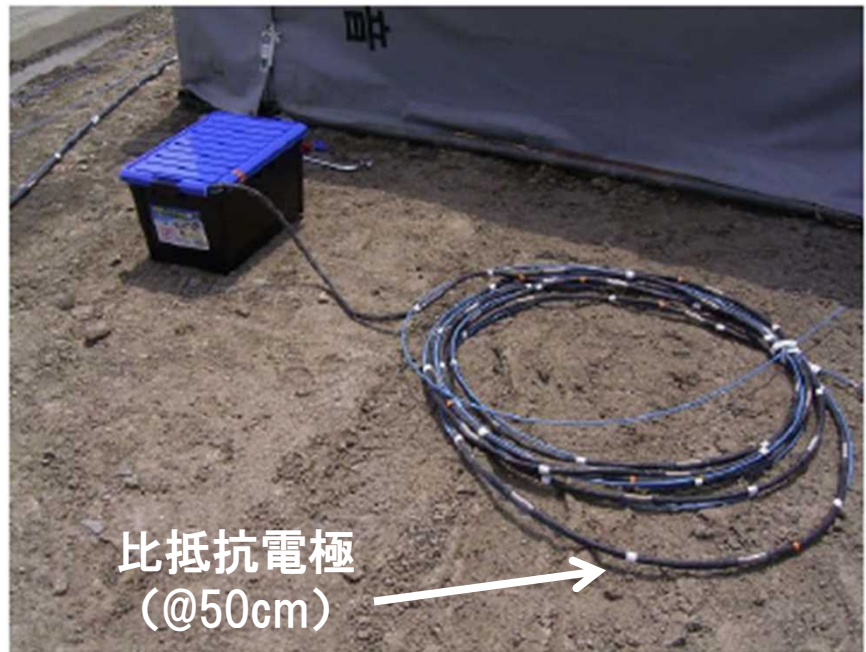
高速道路盛土基礎地盤の液状化対策として、空気注入不飽和化工法の適用性実験を実施

実績 3 : 事例紹介 (高速道路盛土基礎地盤 2)

● 高速道路盛土基礎地盤への適用性検討現場実験



ダブルパッカー式注入管

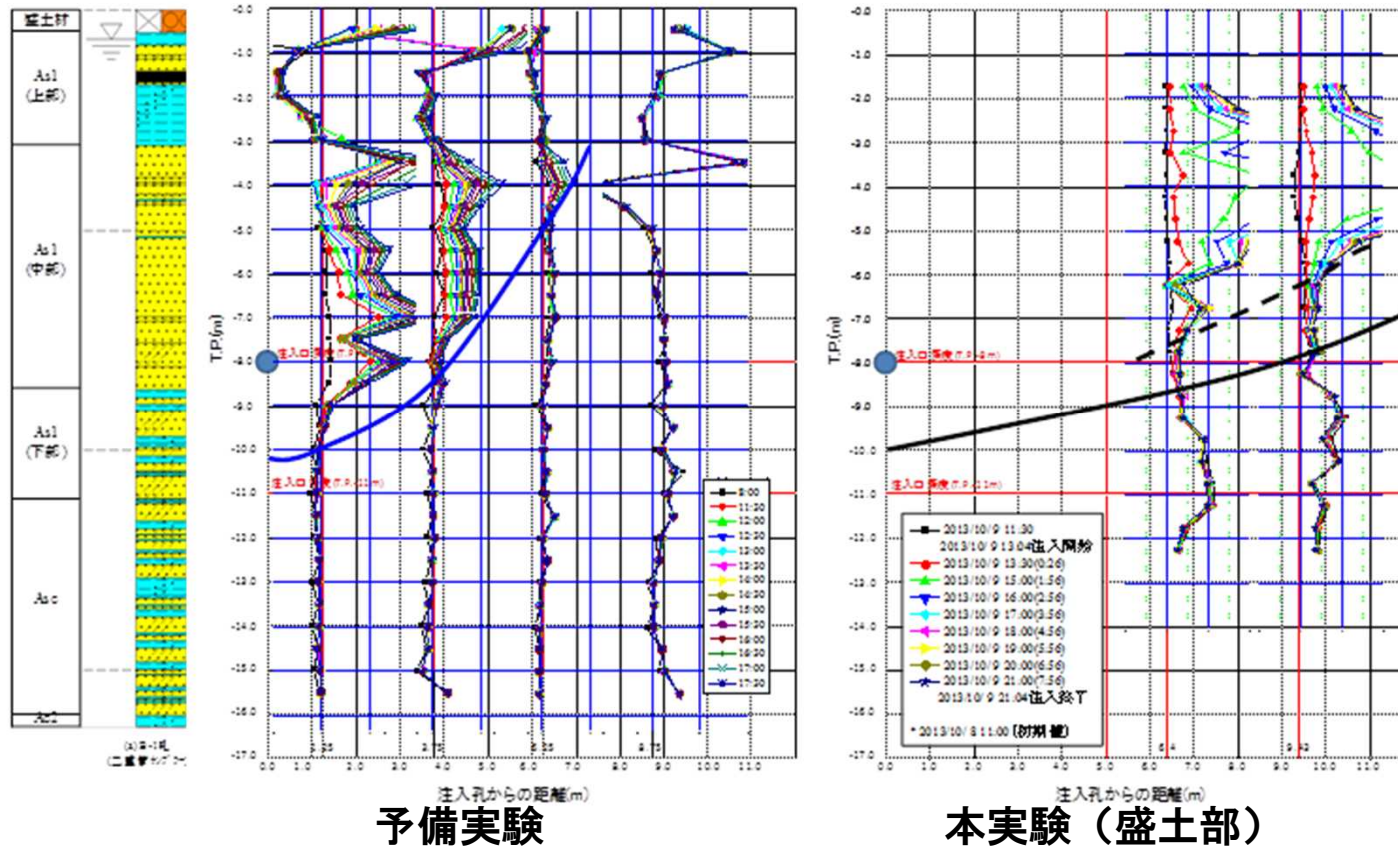


比抵抗電極 (@50cm)

比抵抗電極

実績4：事例紹介（高速道路盛土基礎地盤3）

●高速道路盛土基礎地盤への適用性検討現場実験



- 【予備実験】**
- ・ 侵入範囲は青ラインで示す範囲と想定
 - ・ 注入箇所より水平方向に約4mの範囲
 - ・ 下に凸の半楕円形状

- 【本実験（盛土部）】**
- ・ 侵入範囲は黒ラインで示す範囲と想定
 - ・ 注入箇所より水平方向に約9.3mの範囲
 - ・ 高い注入圧力により侵入範囲が拡大

工法適用における留意点 1

◆セメント固化や薬液注入の工法とは異なり、土によって改良後の強度が決定される

⇒極端に液状化強度が小さい地盤では、本工法によって、十分安全なレベルまで上げることは難しい(対象地盤の液状化強度、対象とする地震動のレベルや種類によっては、本工法による効果に限界がある)。

⇒対象とする構造物の重要度や対策レベルに応じて、本工法単独での対策の他に**他工法との併用**などによる適用が好ましい。

◆圧力を作用させて地盤内に空気を注入するため、有効上載圧の大きい深度では安定的に適用可能

⇒割裂破壊を生じる可能性の小さい(浅い)深度以外では、**安定した注入**が可能。

◆細粒分を含まず、塑性を示さない土に高い適用性

⇒塑性を示さない土($I_p = N.P.$)では、極めて**安定した改良効果**が確認されている。

◆不飽和地盤の持続性の確認

⇒空気を注入した地盤は、数年間という比較的短時間で地盤中の空気が消失して再度飽和化しないことは確認済み(ある程度長期間不飽和状態が持続する)。

⇒今後、飽和度の長期計測データを蓄積するとともに、経時変化の数値シミュレーション手法を策定している。ただし、定期的に不飽和状態の確認や再注入などの維持管理を計画する必要がある。

◆地盤の飽和度の確認方法の確立

⇒本工法では比抵抗計測により注入中の不飽和領域の広がりを確認している。地盤の飽和度の確認は、サンプリングによる飽和度測定や速度検層による不飽和状態の確認を行っているが、原位置における飽和度を変えずにサンプルを取得することは容易ではない。空気注入後の簡易凍結サンプリング手法の検討を視野に入れている。

The End

ご清聴ありがとうございました