

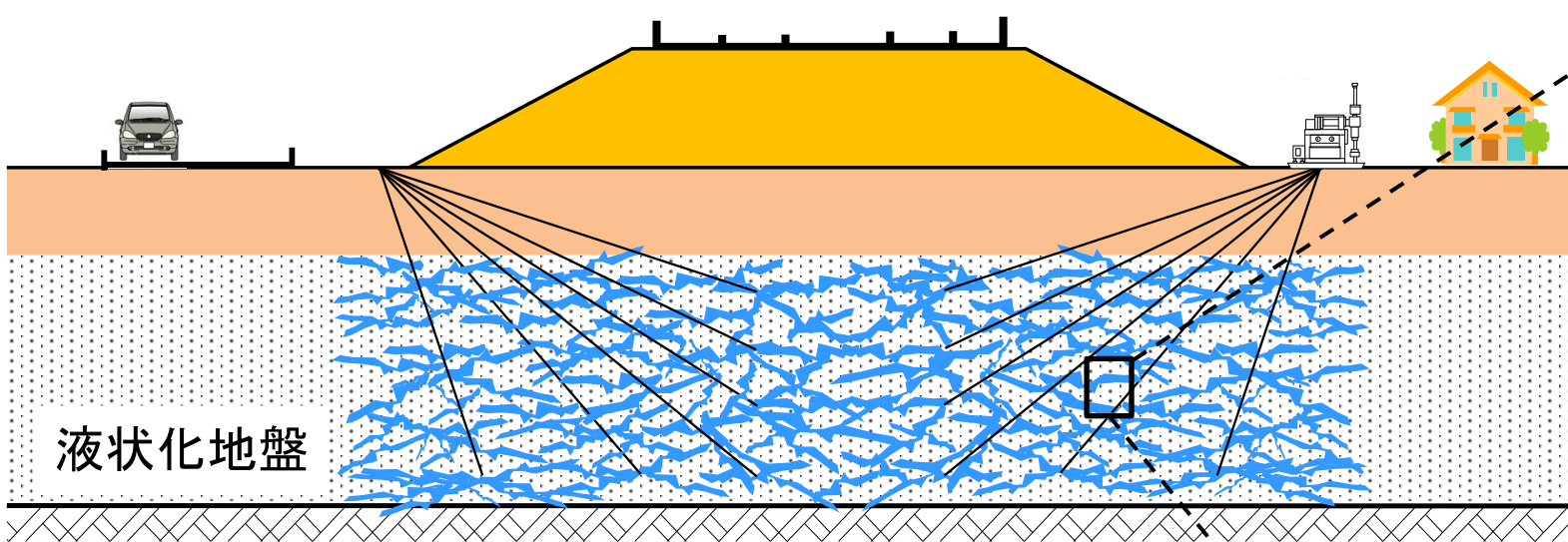
脈状地盤改良工法の 改良効果の経年変化評価

鉄道地震工学研究センター 地震動力学研究室
研究員 小野寺 智哉

1. 脈状地盤改良工法の概要
2. 試験施工・調査概要
3. 経年変化の評価結果
4. まとめと成果の活用

1. 脈状地盤改良工法の概要 ①工法の特徴

Railway Technical Research Institute



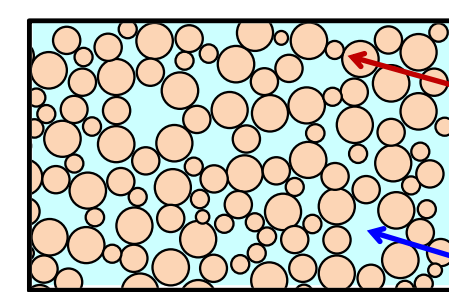
液状化地盤

低注入率 → 低コスト化, 工期短縮, 隆起抑制

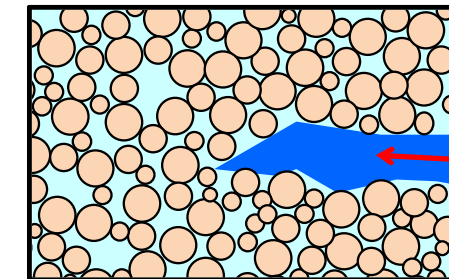
小型機械 → 狭隘箇所へ適用可能

斜め施工 → 既設構造物下へ適用可能

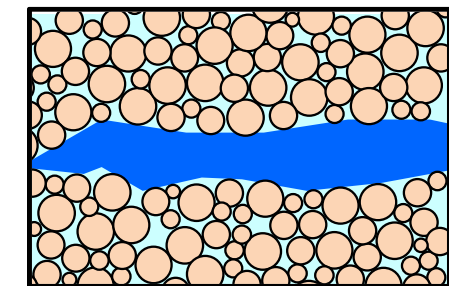
液状化の完全な抑制は期待せず
低注入率(10%程度)で
所定のレベルまで液状化程度を低減



土粒子
水



改良脈を
割裂注入



改良メカニズム

- ① 密実化
- ② 拘束圧増加

液状化強度
増大

1. 脈状地盤改良工法の概要 ②改良体構築原理

Railway Technical Research Institute

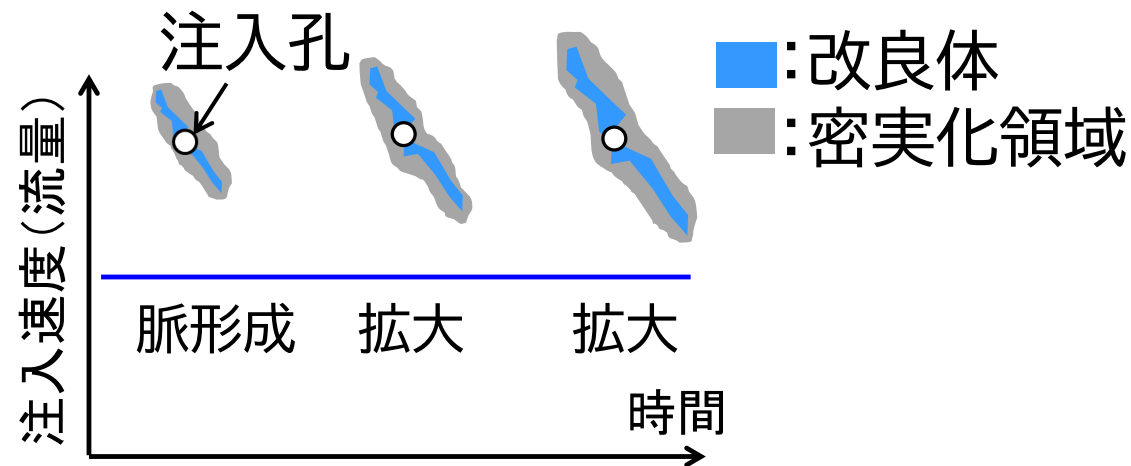
1) 使用薬液 懸濁系非浸透薬液(高炉スラグ+ケイ酸塩系)

低粘性・高粒子濃度 ⇨ 浸透させず, 割裂注入可能

2) 注入方法

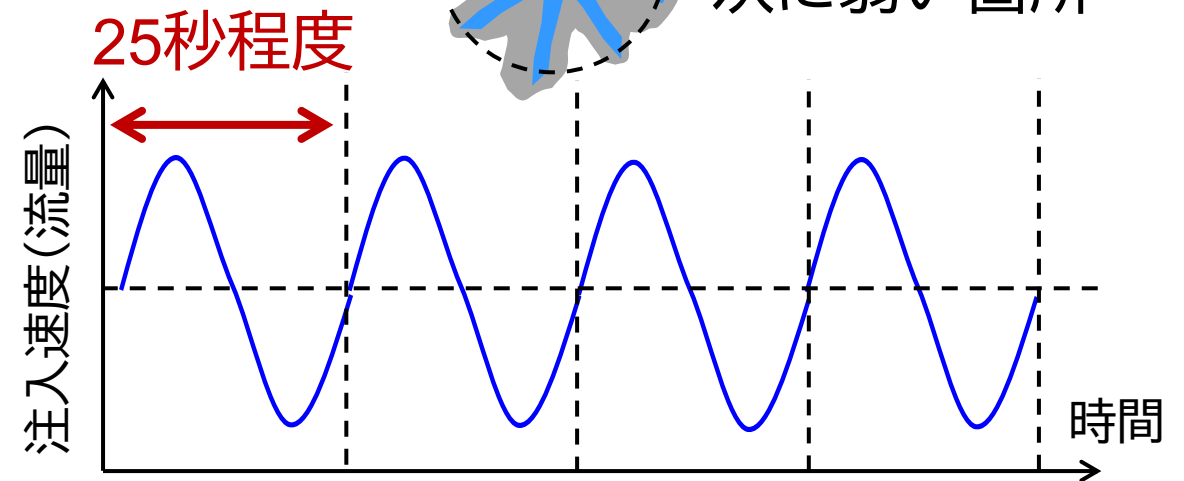
固化時間, 注入速度等を調整した動的注入

【速度一定注入】



- × 1~2方向に脈 ⇒ 効果限定
- × 到達範囲の拡大

【動的注入】

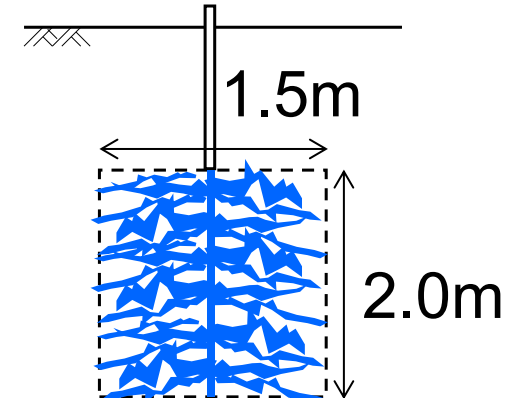
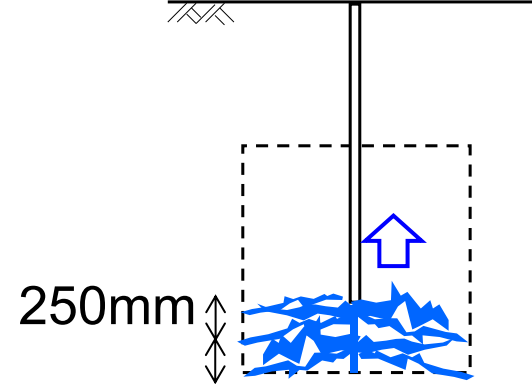
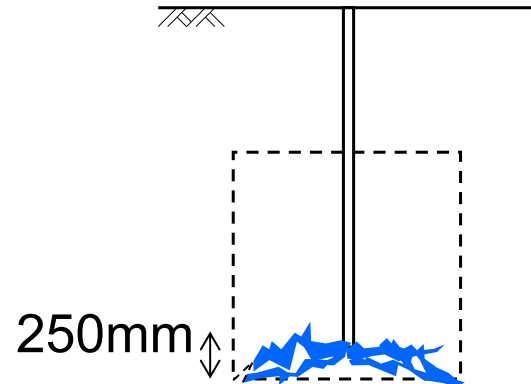
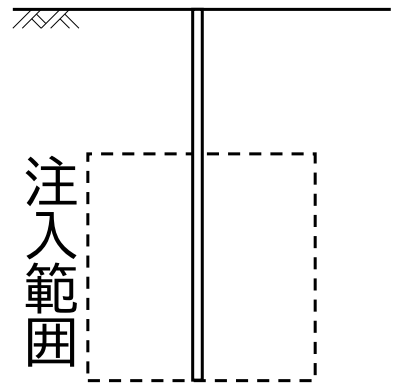


- 弱い箇所から順に脈を多方向に形成
- 到達範囲をある程度抑制可能

1. 脈状地盤改良工法の概要 ③施工手順

Railway Technical Research Institute

- (1) 削孔・2重管の挿入 (2) 割裂脈の形成 (3) ステップアップ (4) 最終ステップ



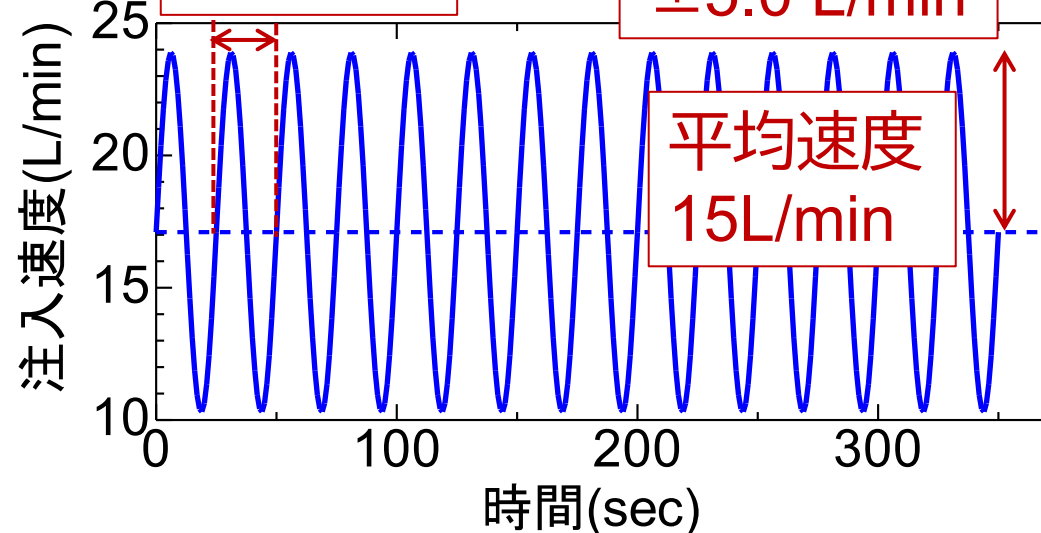
A液: 高炉スラグ
+ 助剤

B液: ケイ酸塩系
(水ガラス)

2重管先端で
混合して注入
5~10秒程度で固化

動的注入の例

周期25秒



1時間程度で施工可能

改良脈

約1.2m

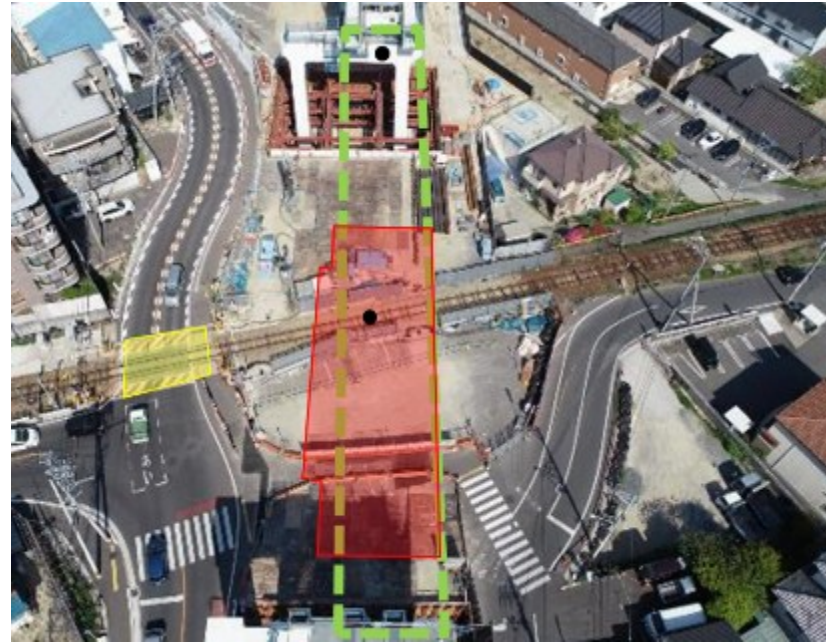
注入孔

1. 脈状地盤改良工法の概要 ④施工実績

Railway Technical Research Institute



東武鉄道 北千住駅付近(2017)
盛土直下地盤の沈下対策



JR西日本 芸備線(2019~21)
ボックスカーの浮き上がり対策



JR四国 予讃線(2021~23)
盛土直下地盤の沈下対策

主なご意見・ご要望

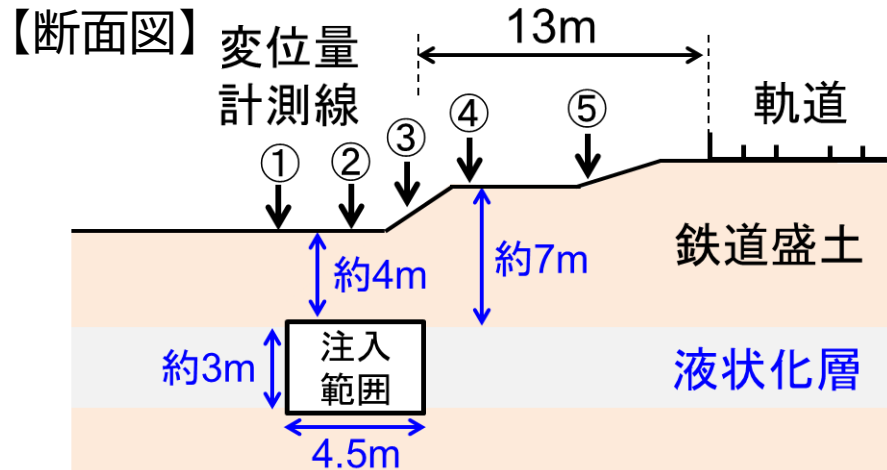
- 改良品質の評価法
- より経済的な改良方法
- 改良品質の経年的な持続性への懸念 など

2. 試験施工・調査概要 ①本研究の目的

Railway Technical Research Institute

本研究の目的: **施工から約10年**が経過した地点での**効果の持続**を確認する

鉄道盛土近傍で2015年に試験施工を実施



地表面変位量20mm以内で施工

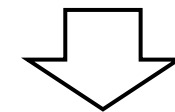


① 密実化

- 主にN値により評価
- 調査法: PDC/ミニラム試験

② 拘束圧増加

- 主に静止土圧係数 K_0 により評価
- 調査法: 孔内水平載荷試験

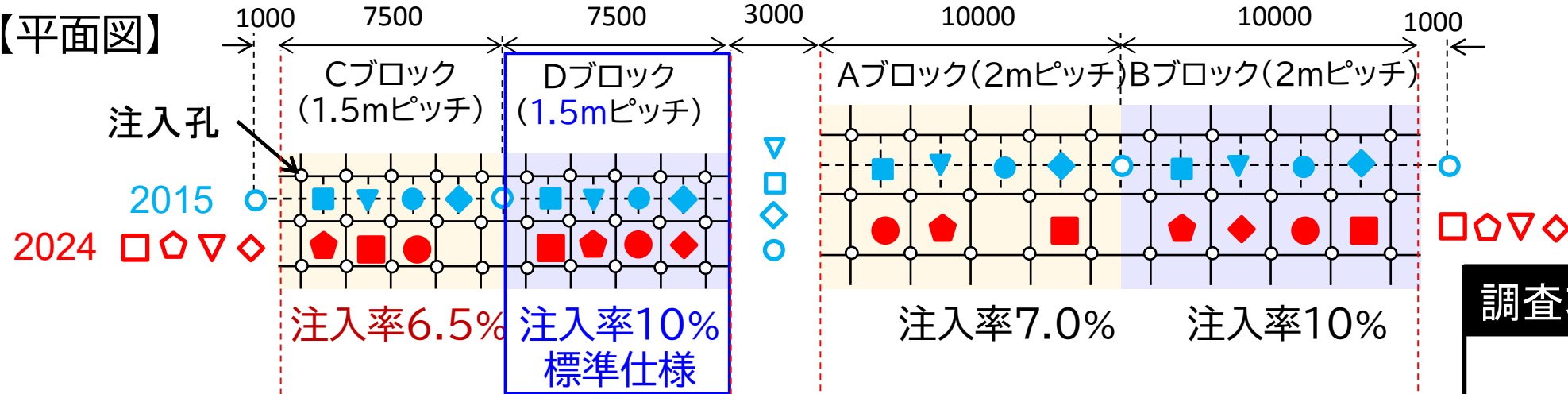


約10年経過後(2024年)に再調査

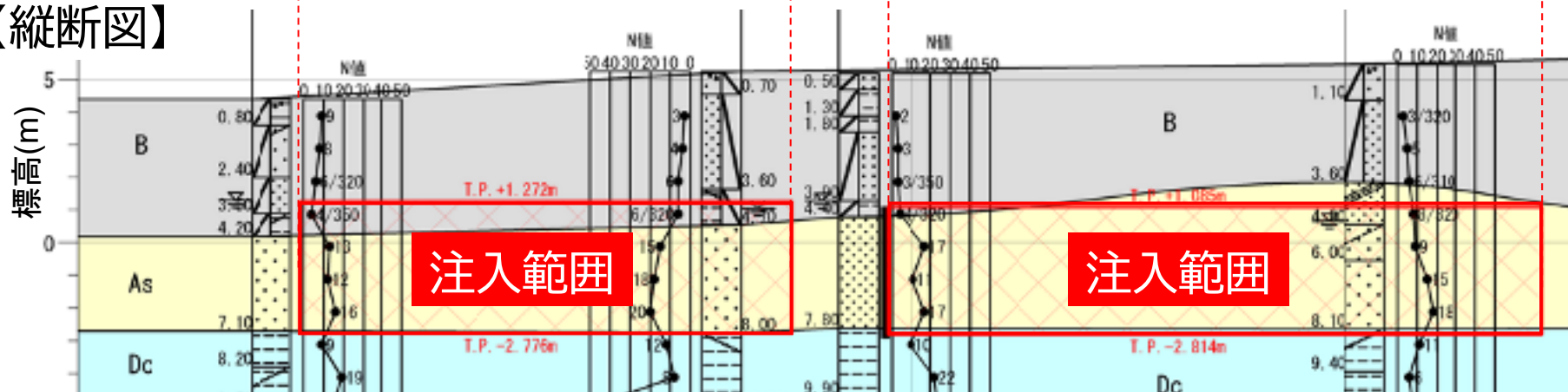
2. 試験施工・調査概要 ②施工から約10年後の地盤調査

Railway Technical Research Institute

【平面図】



【縦断図】



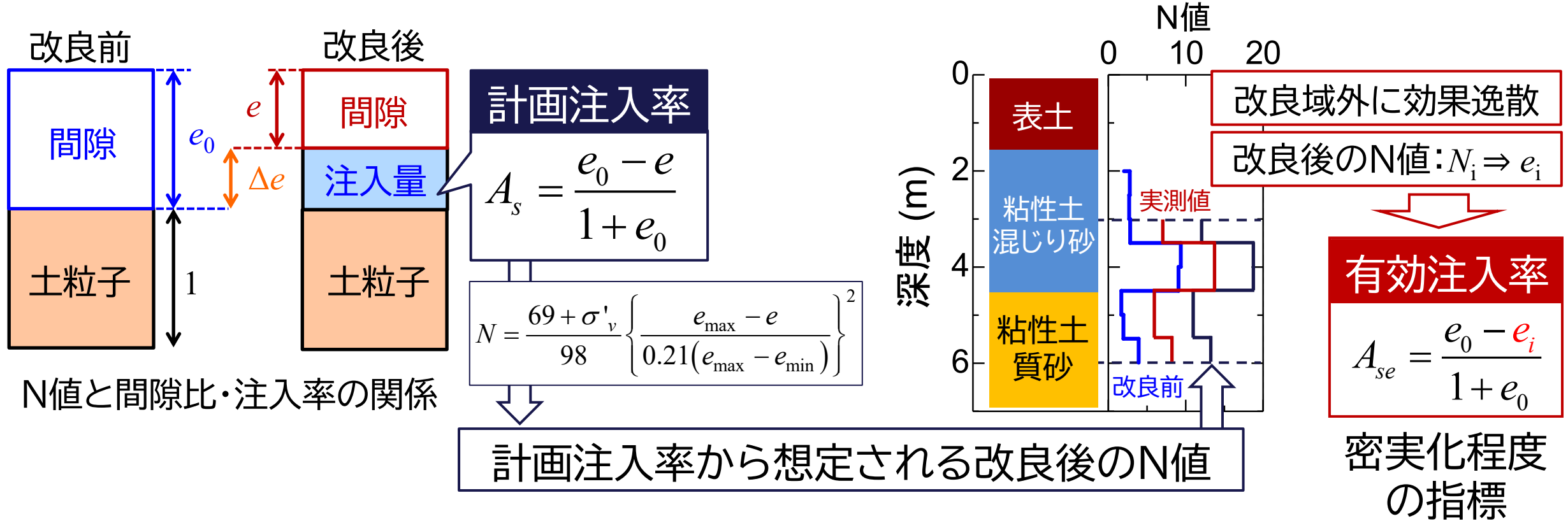
調査項目

	2015	2024
	未改良	未改良
	改良	改良
PDC/ミニラム:	○ ●	○ ●
3成分コーン:	— —	○ ●
標準貫入試験:	△ ▲	○ ●
密度検層:	◇ ◆	○ ●
PS検層:	— —	○ ●
孔内水平載荷試験:	□ ■	○ ●
不攪乱試料採取:	▽ ▼	○ ●

- 約10年前に実施した施工試験箇所での改良効果の持続性を確認
- N値および K_0 を計測し、**密実化状況・拘束圧**の経年的な変化を確認

2. 試験施工・調査概要 ③有効注入率による効果確認法

Railway Technical Research Institute

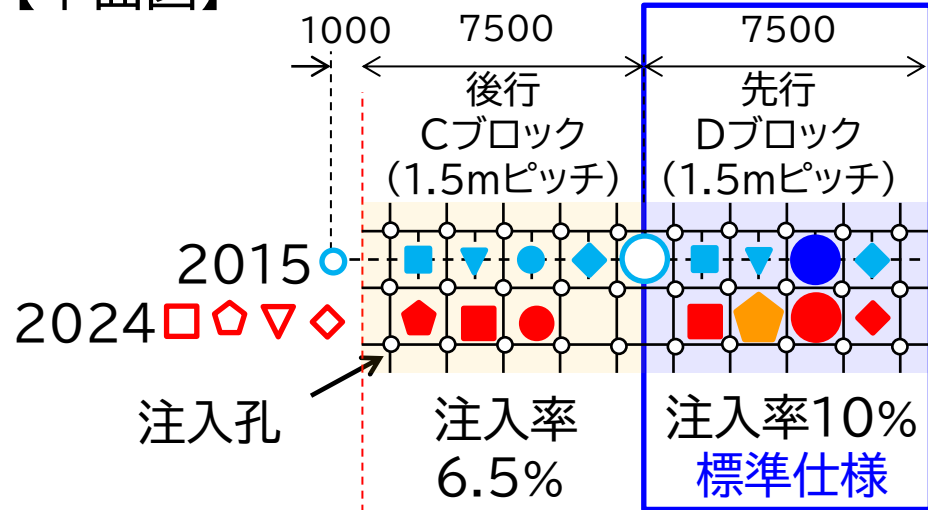


- 施工性・経済性・耐震設計への適用性から, **N値計測**を標準適用
- N値から**有効注入率**を算定し, 密実化の状況を定量的に確認
- これまでの実績: $A_s=10\%$ での施工に対して改良直後の **$A_{se}=3\sim5\%$** 程度

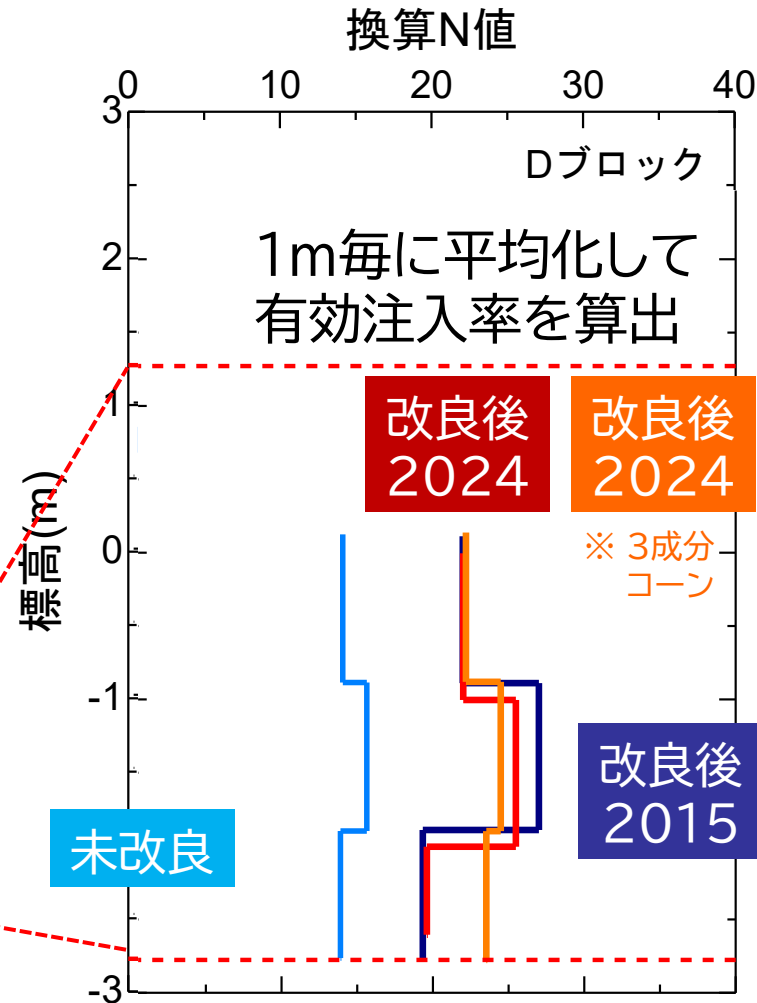
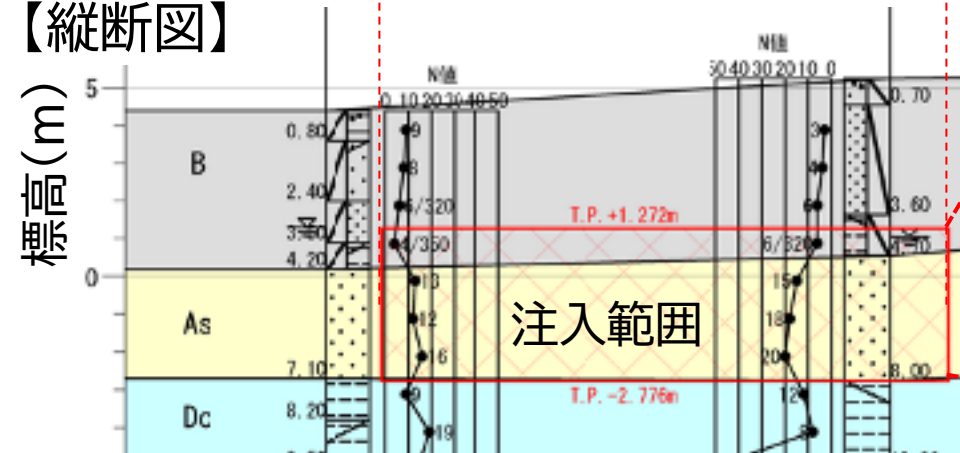
3. 経年変化の評価結果 ①N値・有効注入率の経年変化

Railway Technical Research Institute

【平面図】



【縦断図】



2015年			
N _d 値		有効注入率 (%)	
前	後	各層	平均
14.0	22.0	3.8	3.8
15.6	27.0	4.9	
13.9	19.3	2.6	

2024年			
N _d 値		有効注入率 (%)	
前	後	各層	平均
14.0	22.0	3.8	3.6
15.6	25.5	4.3	
13.9	19.6	2.7	

2024年(3成分コーン)			
N _d 値		有効注入率 (%)	
前	後	各層	平均
14.0	22.2	3.9	4.0
15.6	24.5	3.9	
13.9	23.5	4.3	

□ 改良直後と同等のN値と有効注入率を維持していることを確認

3. 経年変化の評価結果 ①N値・有効注入率の経年変化

標準仕様以外の施工

Cブロック

- 1.5mピッチ
- $A_s=6.5\%$

有効注入率 (%)	
各層	平均
2.9	1.5
3.3	
-1.9	

2015年



有効注入率 (%)	
各層	平均
0.9	1.2
1.6	
0.9	

有効注入率 (%)	
各層	平均
1.4	2.5
1.3	
4.9	

2024年

Aブロック

- 2.0mピッチ
- $A_s=7.0\%$

有効注入率 (%)	
各層	平均
2.0	1.8
-0.8	
3.8	
2.3	

2015年



有効注入率 (%)	
各層	平均
4.2	2.8
1.3	
3.5	
2.3	

有効注入率 (%)	
各層	平均
6.7	5.1
2.4	
6.5	
4.8	

2024年

Bブロック

- 2.0mピッチ
- $A_s=10.0\%$

有効注入率 (%)	
各層	平均
2.4	1.9
-3.4	
5.0	
3.8	

2015年



有効注入率 (%)	
各層	平均
3.6	3.7
-2.5	
8.7	
5.0	

有効注入率 (%)	
各層	平均
5.1	3.9
1.0	
4.8	
4.6	

2024年

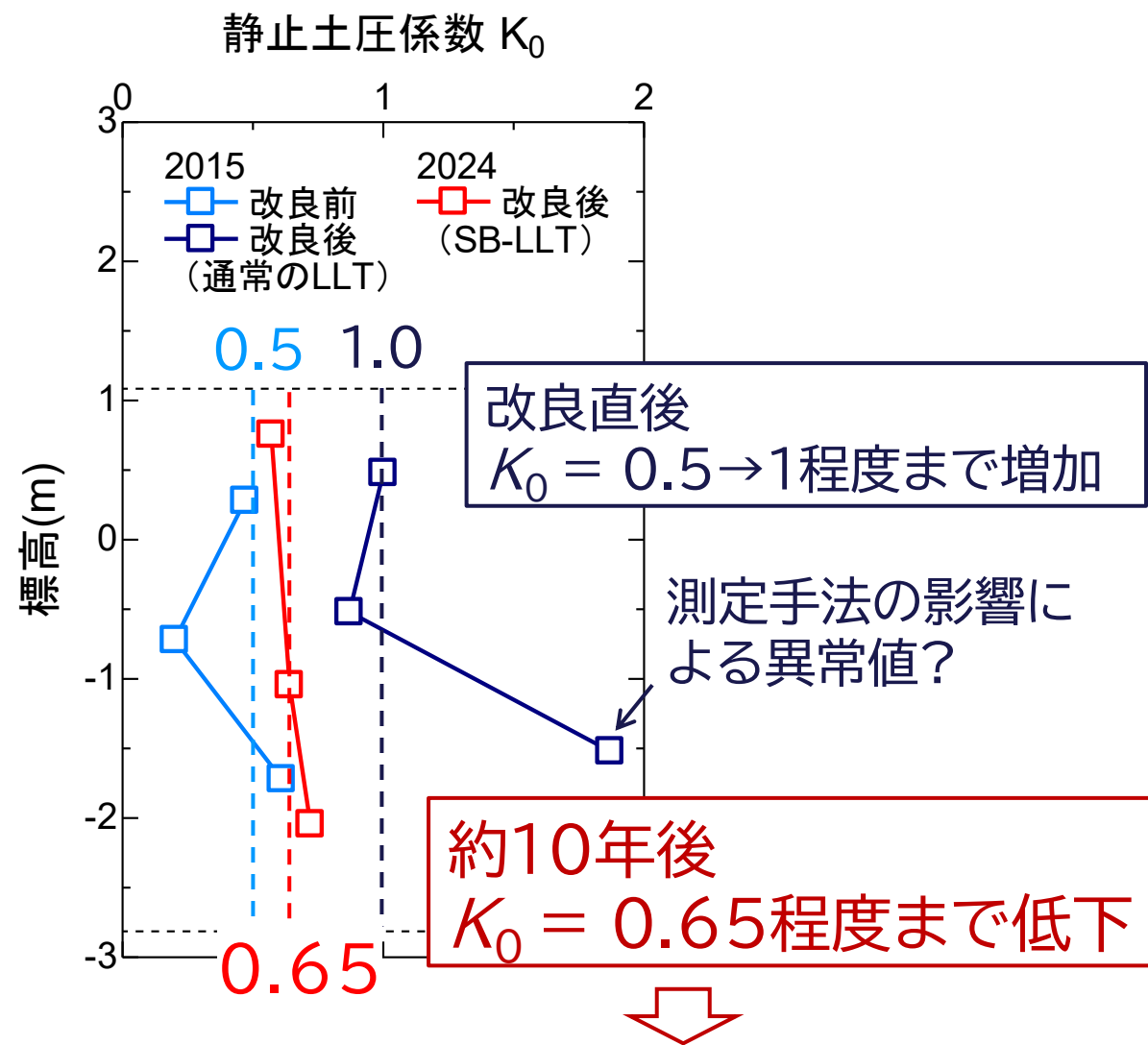
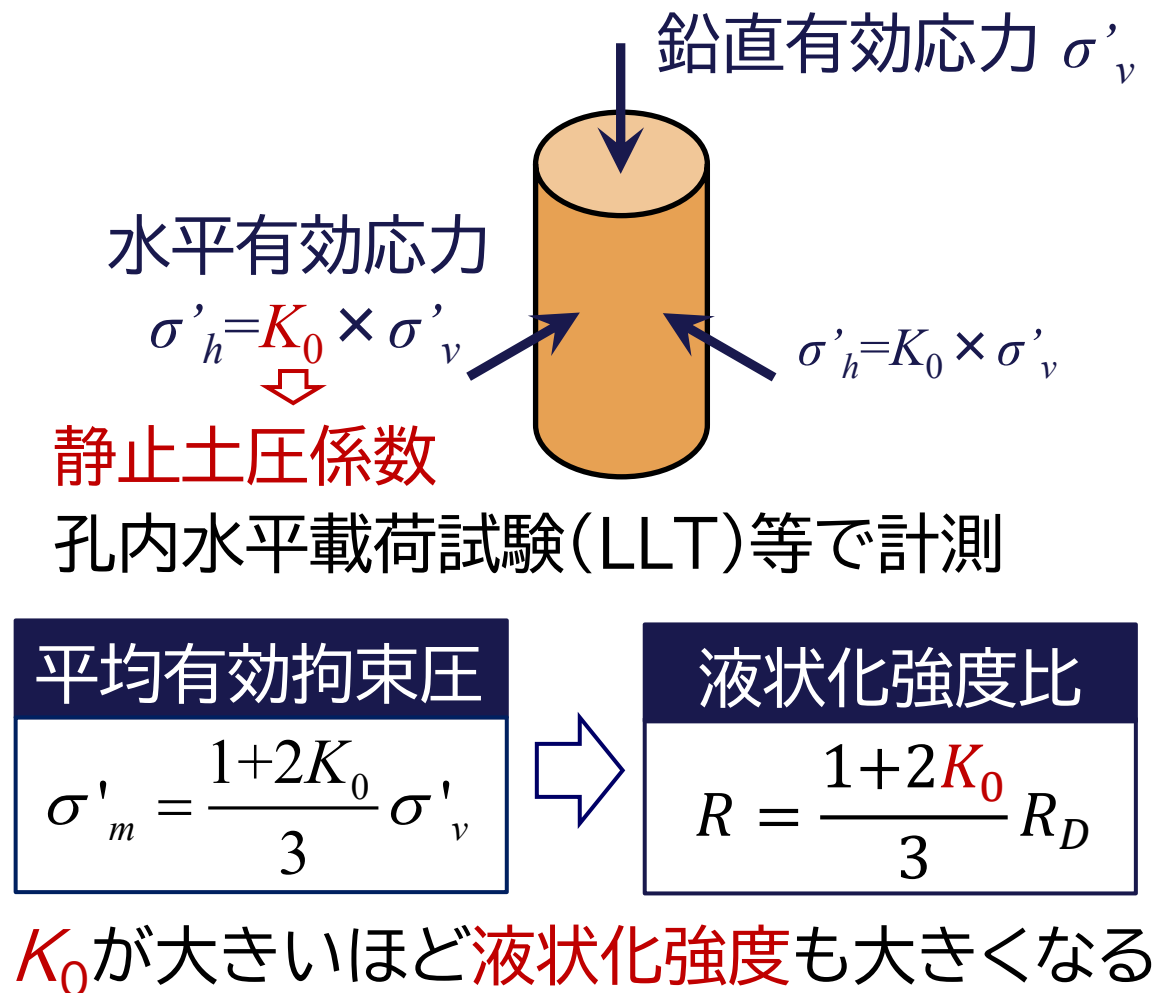
□ 標準仕様よりも改良効果や測定のバラツキが大きい傾向

□ 平均的には改良直後と同等以上の有効注入率が得られた

⇒ 約10年経過後も密実化効果は維持されていると判断できる

3. 経年変化の評価結果 ②拘束圧の経年変化

地盤内の応力状態

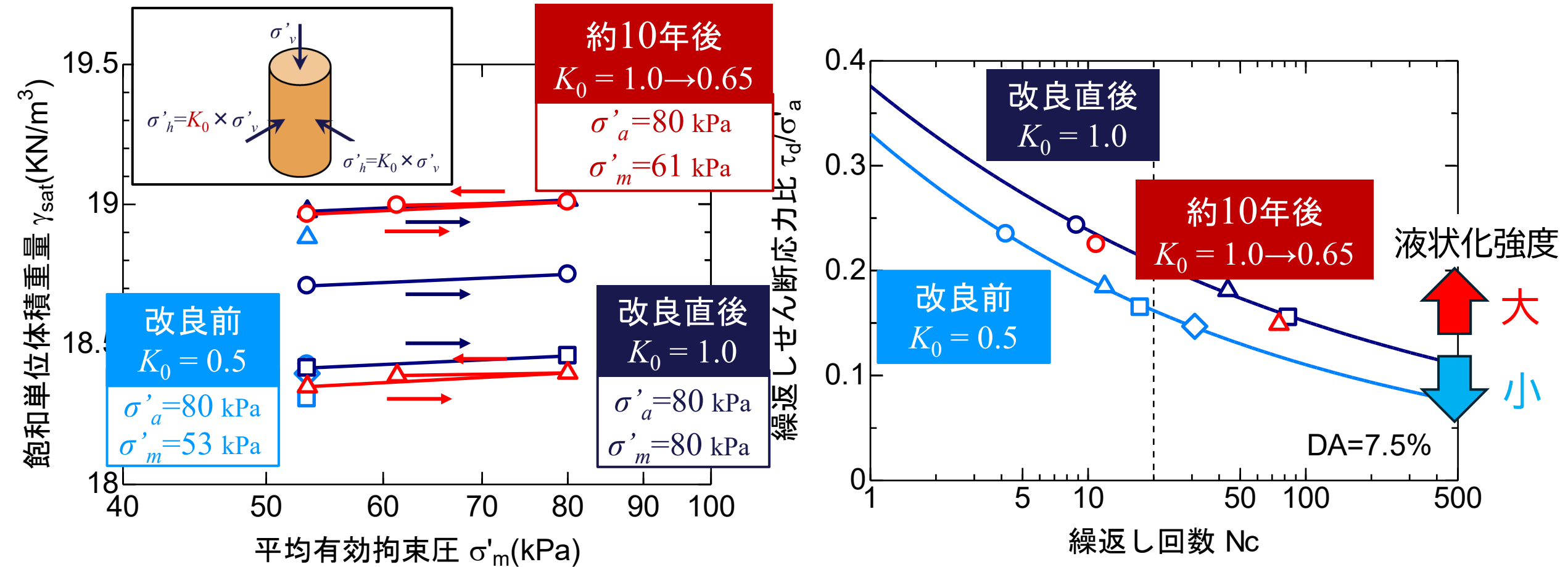


液状化強度に与える影響を室内試験で確認

3. 経年変化の評価結果 ③拘束圧変化を考慮した室内試験

Railway Technical Research Institute

拘束圧低下の影響 ⇒ 試験装置内で、採取した試料に応力履歴を与え液状化強度を確認

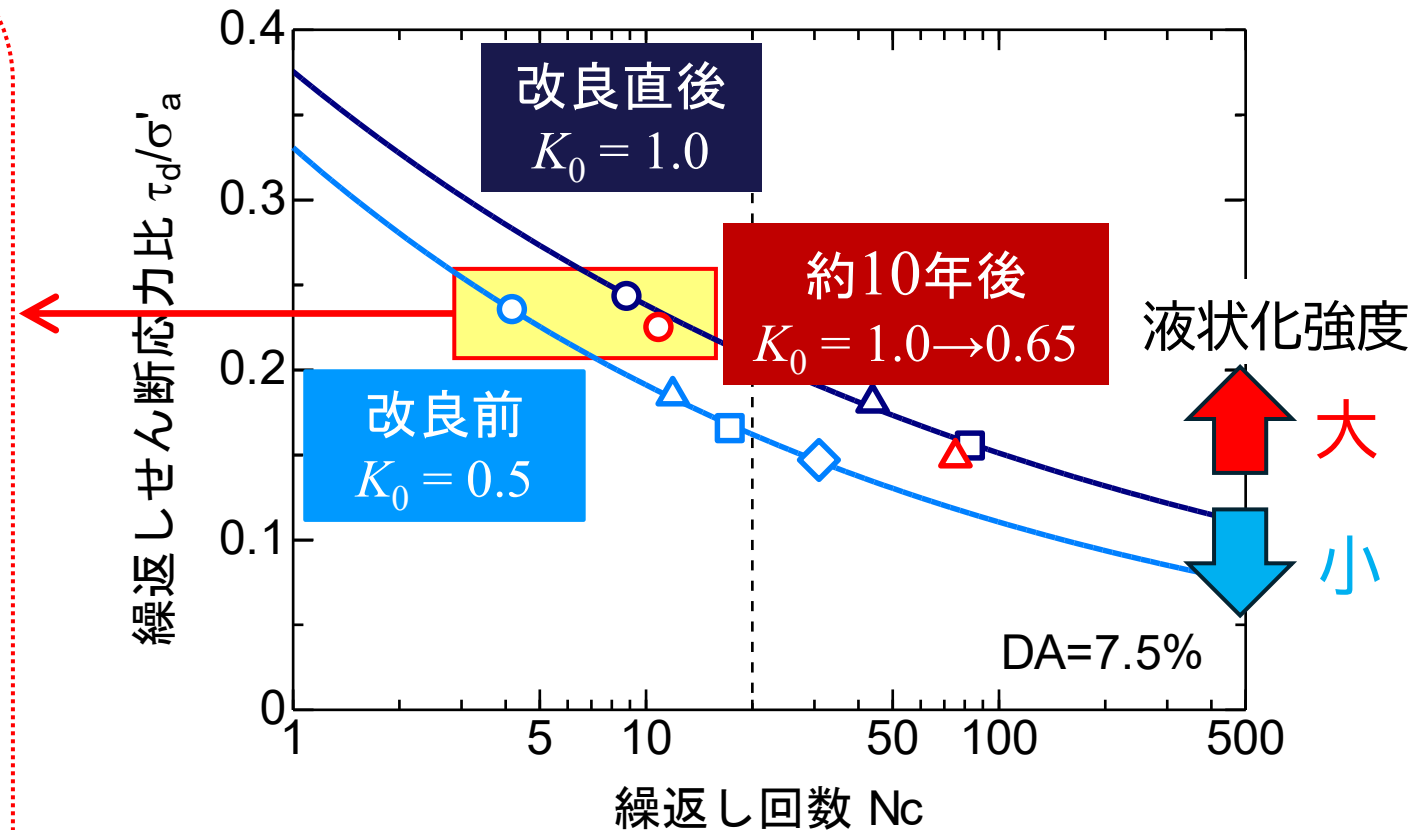
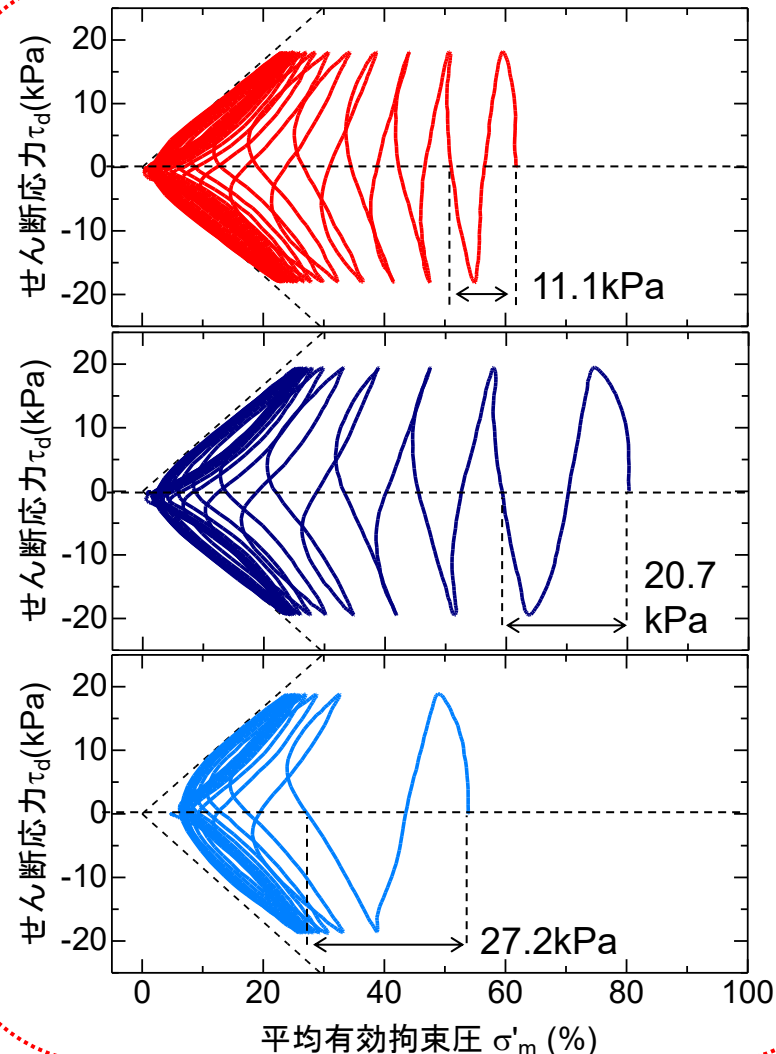


□ 経年により K_0 が低下した場合でも密実化効果は持続し、
液状化強度は概ね維持されていることを室内試験で確認

3. 経年変化の評価結果 ③拘束圧変化を考慮した室内試験

Railway Technical Research Institute

拘束圧低下の影響 ⇒ 試験装置内で、採取した試料に応力履歴を与え液状化強度を確認



□ 過圧密状態の挙動を示し、改良直後と同等の液状化強度比を維持

4. まとめ

1. ミニラムサウンディング試験や三成分コーン貫入試験の結果, 約10年経過した現在においても同等のN値・有効注入率が得られており, 改良効果が概ね維持されていることを確認した。
2. 孔内水平載荷試験から得られる静止土圧係数 K_0 は, 改良直後には1.0程度あったが, 10年後には0.6～0.7程度まで低下している可能性があることが分かった。
3. 試験施工箇所の不攪乱試料を用いて地盤の応力状態を試験装置内で再現し, 液状化強度試験を実施した。静止土圧係数 K_0 が減少し, 拘束圧(K_0)が低下した場合でも過圧密履歴の影響により, 改良直後と大きく変わらない液状化強度が維持されることを確認した。

⇒ 対策効果は経年的に維持されると考えてよい

4. 成果の活用

- 液状化に対する**恒久的な対策工法**として、脈状地盤改良工法を活用可能。
- 脈状地盤改良工法の**設計・施工マニュアル**を作成し、本研究の成果などを盛り込む予定。
- 今後も10年単位で継続的な経年変化の確認を実施予定。

短期間に低コストで液状化対策を実施可能
お困りの箇所がございましたら、ご相談ください

※本工法開発の一部は国土交通省の交通運輸技術開発推進制度
JPJ002223 の助成を受けたものです。

- 1) 小野寺智哉, 井澤淳: 見えない地盤内を改良して鉄道施設を地震から守る, RRR, Vol.82, No.6, pp.46-51, 2025
- 2) 井澤淳, 小野寺智哉, 植村昌一, 島田欽章, 大西高明, 宇梶伸, 井本英一: 施工後約10年を経た密実化工法による液状化対策効果の検証, 土木学会論文集, Vol.81, No.12, 25-00181, 2025
- 3) 井澤淳, 荒木豪, 小島謙一, 舘山勝, 大西高明, 藤原寅士良: 効率的な液状化対策が可能な脈状地盤改良工法の開発, 鉄道総研報告, Vol.30, No.5, pp.23-28, 2016