

2024年(令和6年)9月27日(金)

静的圧入締固め工法(CPG工法)の 隆起抑制および施工の効率化



技術本部 小堀諒士

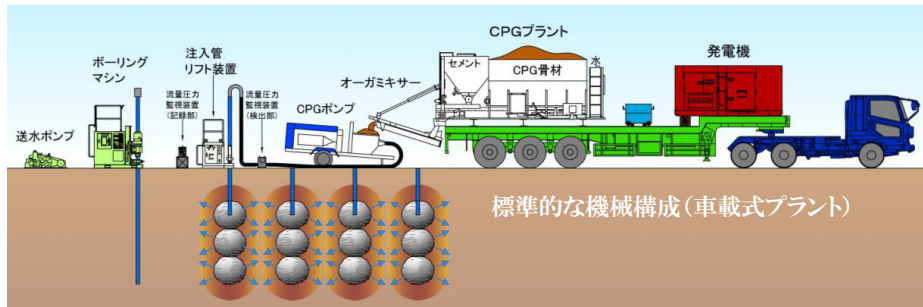
令和6年度 民間技術発表会(PAT)

0

1. 静的圧入締固め工法(CPG工法)について

工法概要

- スランプ5 cm以下の極めて流動性の低いモルタル(標準で高炉セメントB種)を用いる。
- 振動や衝撃などを与えずに液状化層(緩い砂地盤)を締め固める。
- 流動性モルタルは、地盤内で逸走せず所定の位置で固結体を造成する
- 地上からの注入により固結体が地中で膨らむことで、周囲の地盤密度を増大する(セメントで地盤を固化する工法ではなく、あくまで緩い砂層の締固め工法)。



(一社)圧入締固め研究機構パンフレット

令和6年度 民間技術発表会(PAT)

1

1

1. 静的圧入締固め工法 (CPG工法) について

使用材料

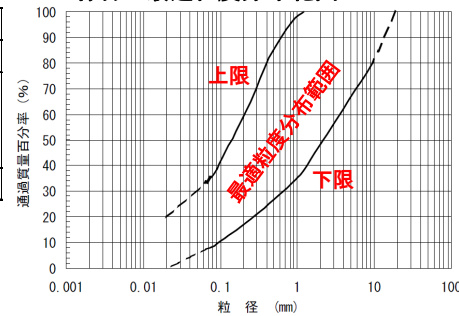
注入材の標準配合 (1mあたり)

材料	配合量	備考
CPG骨材	1,360 kg	絶乾状態
固化材	高炉セメントB種	160 kg
	普通ポルトランドセメント	
	マグネシウム系固化材	
水	426 kg	参考値

CPG骨材



CPG骨材の最適粒度分布範囲



CPG骨材の粒度組成は、上図に示す最適粒度分布範囲とし、かつ、特定の粒径に分布が集中しておらず、上限および下限のラインにおおむね平行であることを基準とする。

沿岸技術ライブラリーNo.41

液状化対策としての静的圧入締固め工法技術マニュアル

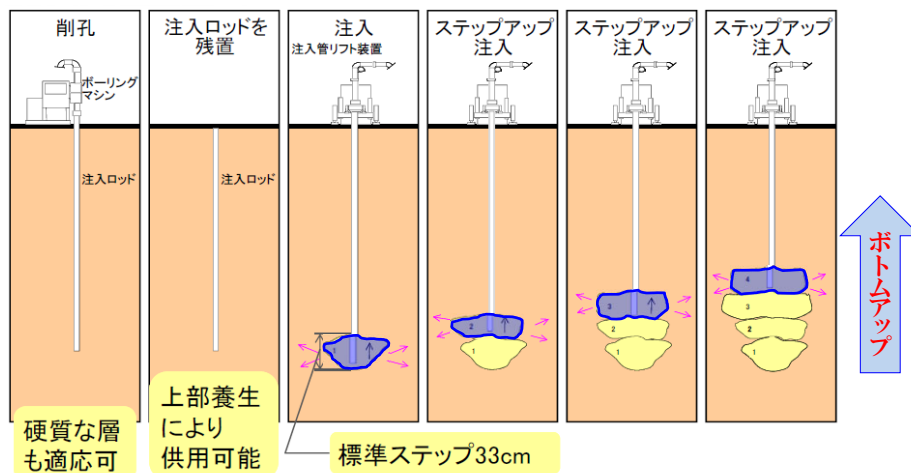
令和6年度 民間技術発表会(PAT)

2

2

1. 静的圧入締固め工法 (CPG工法) について

施工概要 最深部から順次上部へ注入する **ボトムアップ方式 (BU施工)**



令和6年度 民間技術発表会(PAT)

3

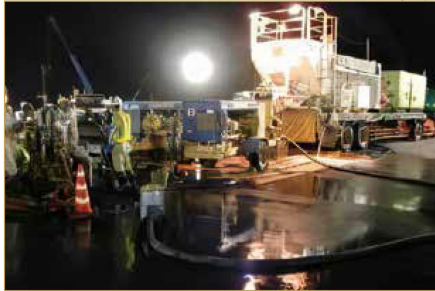
3

1. 静的圧入締固め工法 (CPG工法) について

施工機例



＜車載式プラント＞



＜車載式CPGプラントによる施工状況＞



＜定置式プラント＞

(一社) 圧入締固め研究機構パンフレット

令和16年度 民間技術発表会(PAT)

4

4

1. 静的圧入締固め工法 (CPG工法) について



静的圧入締固め工法

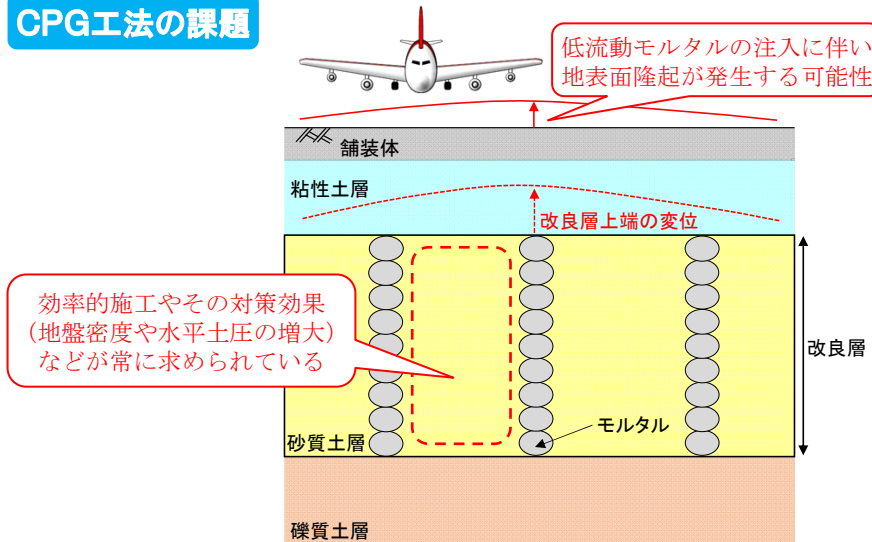
令和16年度 民間技術発表会(PAT)

5

5

1. 静的圧入締固め工法 (CPG工法) について

CPG工法の課題



令和16年度 民間技術発表会(PAT)

6

6

1. 静的圧入締固め工法 (CPG工法) について

解決すべき課題

- 注入量を増やすことなく液状化対策効果（地盤密度や水平土圧）を増大させる。
- 地盤密度の増大や、改良深度が浅かったりすると（低拘束圧）、低流動モルタルの圧入が地盤隆起現象を引き起こす可能性がある。
- 究極的には少ない注入量で高効率な施工を行い、高い液状化対策効果を得る。

解決方法の検討

- 施工方法や施工機械などを大幅に変えることなく施工効率を向上できないか？
- 注入時に一工夫することで、隆起抑制効果、改良効果を向上できないか？
- 比較的簡単な方法で施工効率や注入効果を上げる方法を検討。
(従来と同程度の施工規模で、従来以上の効果を得られないかの検討)



新たな施工方法「アップダウン施工 (U/D)」の考案と検証

Up/Down

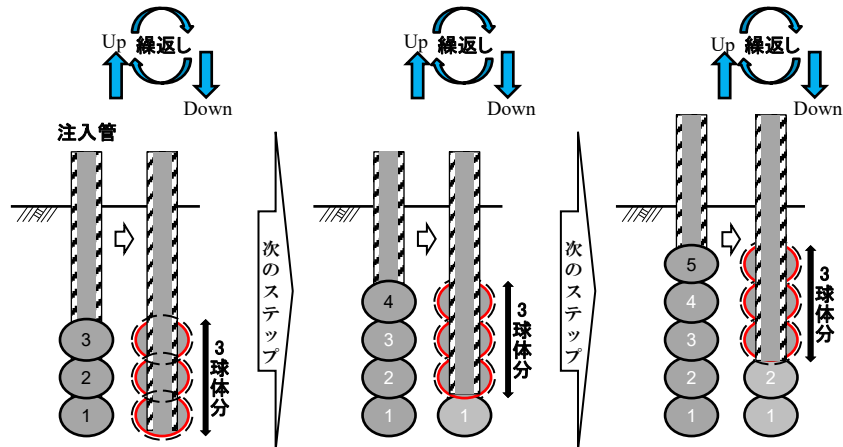
令和16年度 民間技術発表会(PAT)

7

7

2. 新たな施工方法「アップダウン施工(U/D施工)」

U/D施工の概要



注入量は変えず注入管を上下させて複数回地盤を締め固める

令和16年度 民間技術発表会(PAT)

8

8

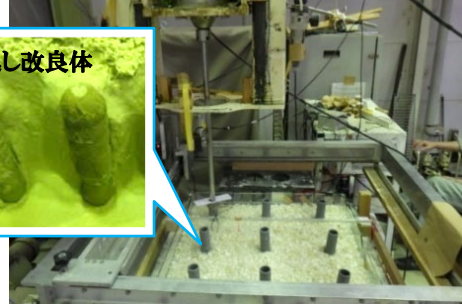
2. 新たな施工方法「アップダウン施工(U/D施工)」

模型実験・実物大実験

- ◆ 従来施工：ボトムアップ施工 (BU)
- ◆ 提案施工：アップダウン施工 (U/D)
 - ・ 注入に伴う隆起量抑制
 - ・ 液状化対策効果の増大

本発表

＜模型実験＞



＜実物大実験＞



令和16年度 民間技術発表会(PAT)

9

9

3. 実験概要(室内模型実験)			スケールアップで効果を検証
実験土層			
	円筒形土槽 (注入実験)	角型剛土槽 (注入実験)	せん断土槽 (加振実験)
打設本数	1本	4本	9本
改良範囲	$\phi 155\text{mm}$	$300\text{mm} \times 300\text{mm}$	$600\text{mm} \times 600\text{mm}$
検証内容	- 隆起量 - 地盤密度	- 隆起量 - 地盤密度 - コーン貫入抵抗値	- 隆起量 - 地盤密度 - 液状化時の加速度
備考	最も簡単な実験だが複数個所に注入した効果が確認できない	複数個所で注入した効果が確認できるが土量がやや多い	液状化実験も可能だが土量も多くコストがかかる

令和6年度 民間技術発表会(PAT)

10

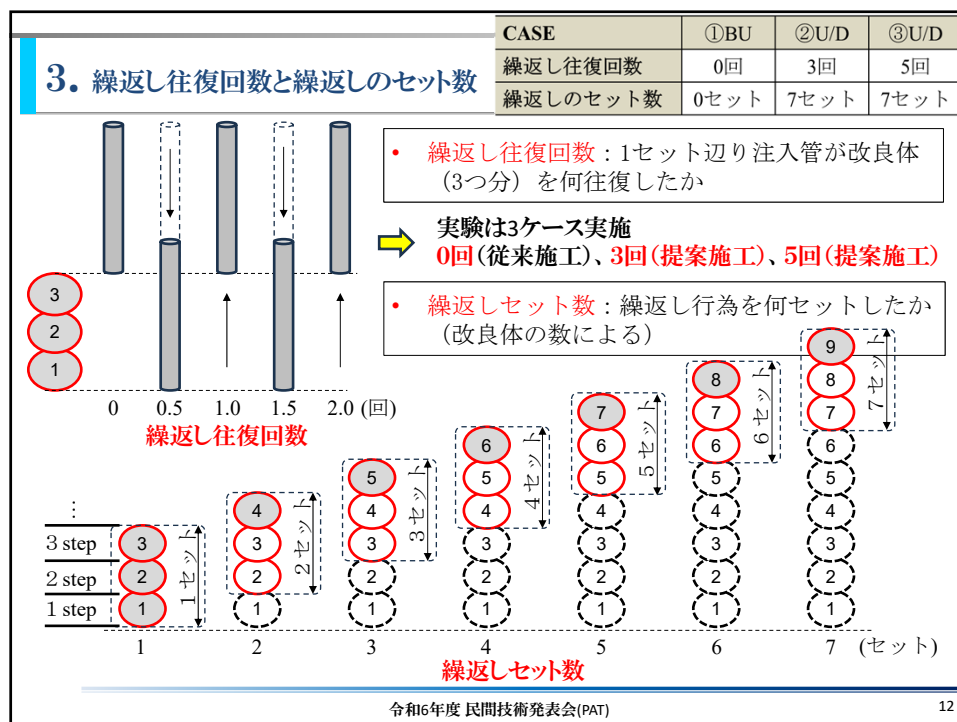
10

3. 実験概要(円筒形土槽)		
1st当たりの注入量	68 cm ³	
注入量 (9 step)	612 cm ³	
注入本数	1本	
改良率	12.1%	
初期相対密度 D_{r0}	約40%	
土粒子密度 ρ_s	2.626 g/cm ³	
最大間隙比 $e_{\max}$	1.101	
最小間隙比 $e_{\min}$	0.675	
CASE	①BU	②U/D
繰返し往復回数	0回	3回
繰返しのセット数	0セット	7セット
		③U/D
		5回
		7セット
【計測項目】 - 隆起量 - 地盤密度 ※赤字:他の土槽と異なる点		

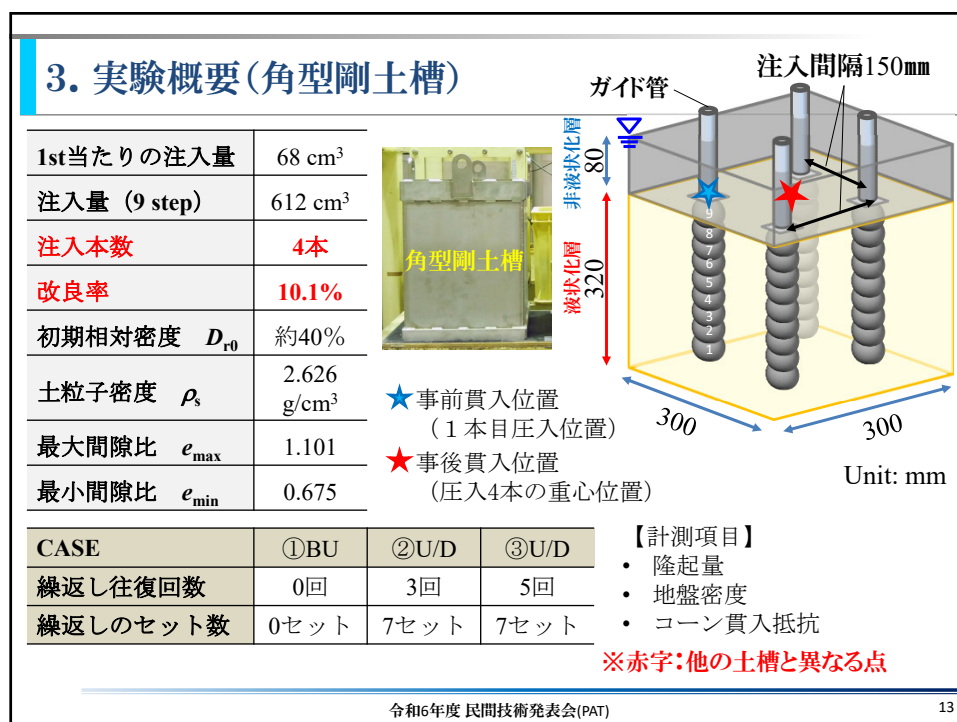
令和6年度 民間技術発表会(PAT)

11

11



12



13

3. 実験概要(せん断土槽)

1st当たりの注入量	68 cm ³
注入量 (9 step)	612 cm ³
注入本数	9本
改良率	5.7%
初期相対密度 D_{r0}	約40%
土粒子密度 ρ_s	2.626 g/cm ³
最大間隙比 e_{max}	1.101
最小間隙比 e_{min}	0.675



CASE	①BU	②U/D	③U/D
繰返し往復回数	0回	3回	5回
繰返しのセット数	0セット	7セット	7セット

【計測項目】

- ・ 隆起量
- ・ 地盤密度
- ・ 液状化抵抗性

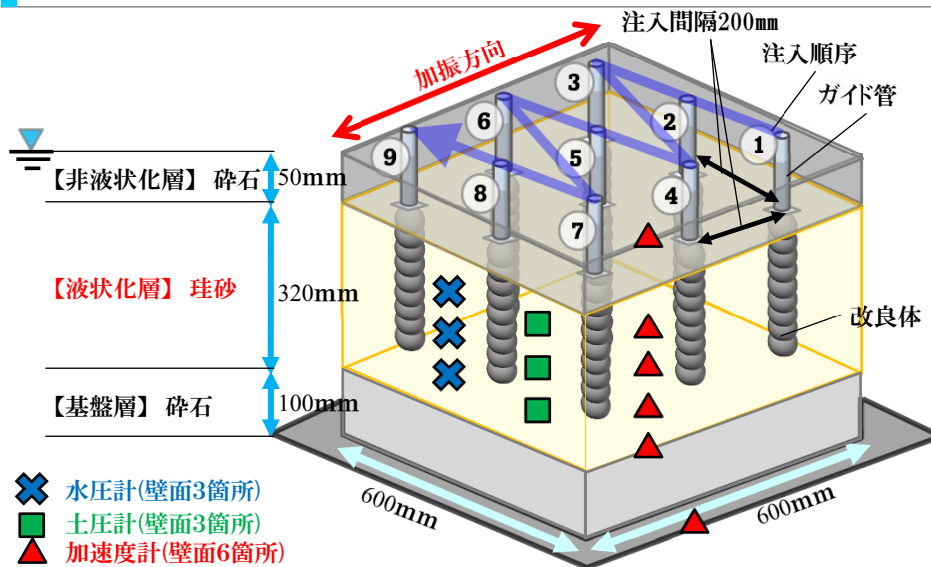
※赤字:他の土槽と異なる点

令和6年度 民間技術発表会(PAT)

14

14

3. 実験概要(せん断土槽)



令和6年度 民間技術発表会(PAT)

15

15

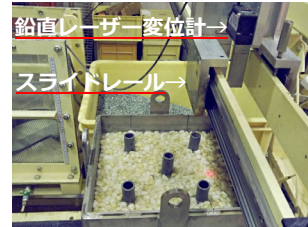
3. 実験概要(計測項目)

地点隆起量



- レーザー変位計を注入管付近に固定して設置
- 施工開始から施工完了まで連続的に計測

平均地盤高



- 改良体の杭頭及び杭間を通る測線上においてレーザー変位計で連続的に計測
- 施工前後に計測

令和6年度 民間技術発表会(PAT)

16

16

3. 実験概要(計測項目)

コーン貫入抵抗値



- $\phi 10\text{mm}$ の小口径コーンを使用
- 事前→1本目の改良体の打設位置
- 事後→4本の改良体の重心位置

液状化発生時の換算加速度



- 施工後に加振・計測
- 入力加速度は50Galずつステップ加振
- 過剰間隙水圧比 ≥ 1.0 で『液状化発生』と判定

令和6年度 民間技術発表会(PAT)

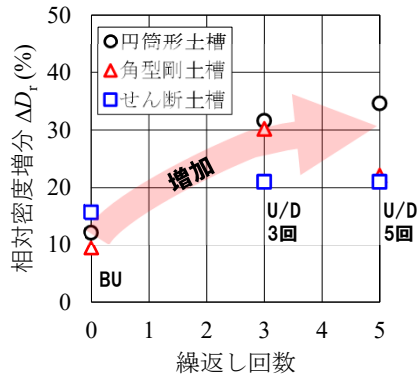
17

17

4. 実験結果(地盤密度と地点隆起量)

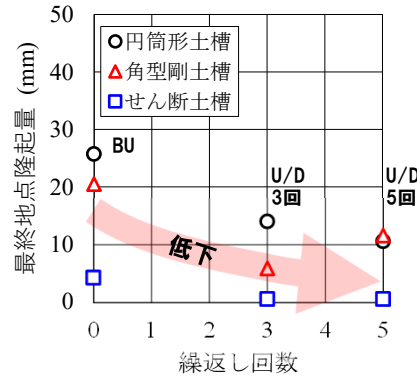
地盤相対密度の増加量

- 繰返し回数に伴い**相対密度が上昇**している ($U/D > BU$)。



注入後の最終地点隆起量

- 繰返し回数に伴い**最終地点隆起量が低下**している ($U/D < BU$)。



令和6年度 民間技術発表会(PAT)

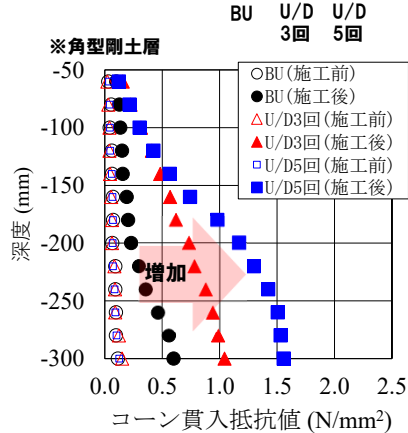
18

18

4. 実験結果(コーン貫入抵抗値と液状化抵抗性)

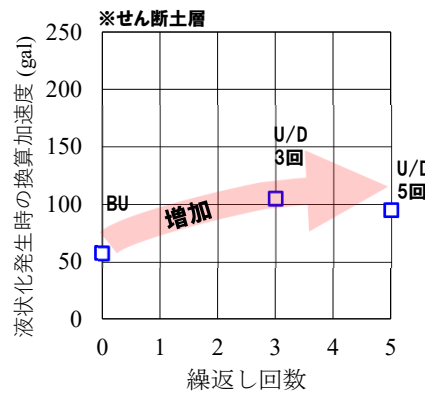
コーン貫入抵抗値(地盤強度)

- 繰返し回数が多いほど**コーン貫入抵抗値**が高い (● < ▲ < ■)。



液状化発生時の換算加速度

- 繰返し回数に伴い**液状化発生時の換算加速度が増加** (液状化するのに大きな加速度が必要)。



令和6年度 民間技術発表会(PAT)

19

19

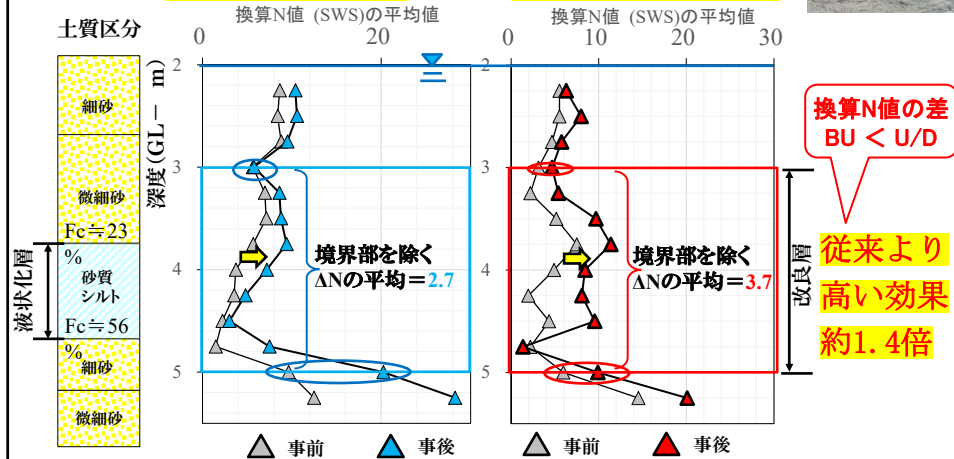
4. 実験結果(実物大実験の結果)

スクリューウェイト貫入

SWS試験 換算N値の増分(ΔN)比較

従来施工(BU施工)

提案施工(U/D施工)



令和16年度 民間技術発表会(PAT)

20

20

5. まとめ及び今後の展望

まとめ

- アップダウン施工は従来施工と比べて、**隆起抑制効果**、**密度増大効果**及び**液状化抵抗性**が大きくなった。
- ➡ **施工法・機械の大幅変更なしで改良効率が向上。**
- U/D施工は**少ない繰返し回数でも速やかに効果が発現。**

今後の展望

- 土層に応じた**繰返し回数の最適化**、液状化対策効果向上による**注入量の低減化**、固結体配置間隔の拡幅による**施工本数の低減化**などによって**施工過程の全体最適化。**
- 新規材料(低炭素型材料)の活用による**CO₂排出量の削減。**

令和16年度 民間技術発表会(PAT)

21

21

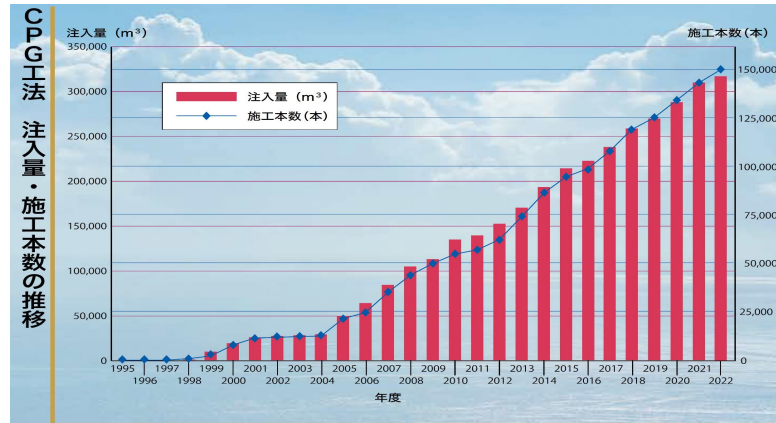
6. 施工実績(参考)

施工実績

【1995年～2022年の累計実績】

注入量：約335,000m³ 施工本数：約157,000本

【1年当たり施工量】注入量：約5,600m³ 施工本数：約12,000本



(一社)圧入締固研究機構パンフレット

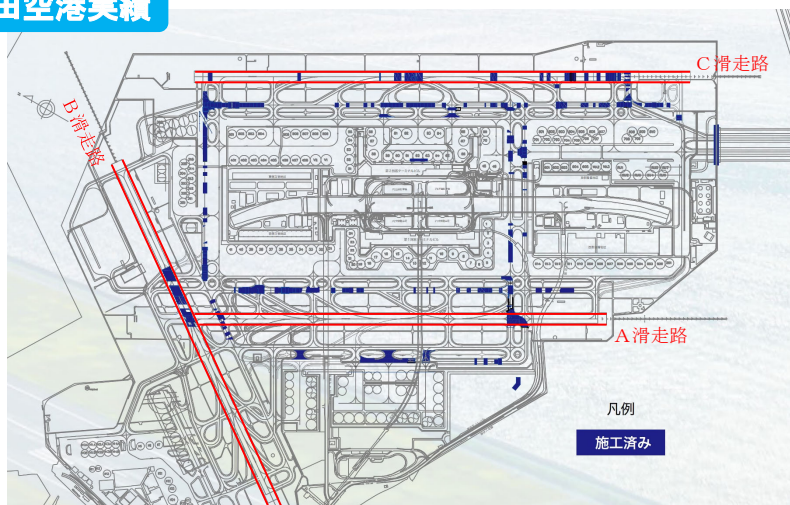
令和6年度 民間技術発表会(PAT)

22

22

6. 施工実績(参考)

羽田空港実績



(一社)圧入締固研究機構パンフレットに加筆

令和6年度 民間技術発表会(PAT)

23

23