2023年2月22日 第13回横浜技調技術交流会

# 締固めによる液状化対策

株式会社不動テトラ 出野 智之



### Contents

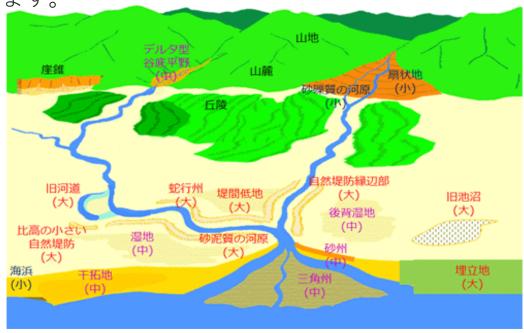
- 1. 締固め改良の原理について
- 2. 締固め地盤改良工法の変遷
- 4. SAVE-SP工法
- 5. 施工事例
- 6. 中詰め材料に関する近年の取り組み



# 1. 締固め改良の原理について

## 液状化の発生しやすい場所

過去の液状化事例では、<mark>埋立地、旧河道や大河川の沿岸(特に氾濫常襲地)</mark>で液状化が多く発生しています。また、一度液状化した地盤は、同程度以上の地震が再び発生した場合に再液状化しやすい傾向にあります。



微地形からみた液状化の可能性(大/中/小)

出典:日本建築学会:住まいづくり支援建築会議 復旧・復興支援WG;液状化被害の基礎知識(ホームページ)http://newssv.aij.or.jp/shien/s2/ekijouka/index.html

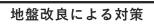


# 1. 締固め改良の原理について

### 液状化が発生する条件は?

以下に示す5つの「液状化が発生しやすい条件」を満たす場合に液状化の発生が懸念されます。

- ① 地下水で満たされている (飽和)
  - → 水がなければ液状化しない
  - → 不飽和状態であれば液状化しない
- ②主に砂(粒状体の材料)
  - ➡ 粗い礫、粘土は液状化しない
- ③すぐに水が抜けない(非排水状態)
  - → すぐに水が抜ければ液状化しない
- ④緩く堆積
  - ➡ 密な状態は液状化しない、又は被害少
- ⑤繰返し荷重(地震)によりせん断変形が生じる
  - ➡ せん断変形しなければ液状化しない







- ⇒ 3 排 水
  - 4 締 固 め
    - 5 固 結



## 1. 締固め改良の原理について

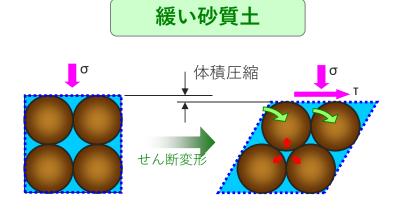
### 締固めによる液状化防止のメカニズム

緩い砂地盤がせん断変形を受けると体積が減少します(負のダイレタンシー)。

しかし、地震時のように短時間(数十秒から数分程度)の間にせん断力が作用する場合、間隙水の排出が間に合いません(実質的に**非排水状態**)。

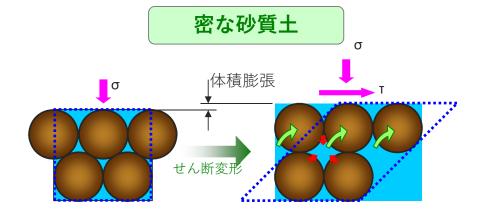
間隙水の排出されないため体積は変化しません(できません)。

間隙水が圧縮応力を受けるような状態となり、水圧が上昇します。



負のダイレイタンシー

- ・間隙水は非圧縮のため体積減少を妨げようとする
- ・間隙水が圧縮応力を受け水圧上昇



正のダイレイタンシー

・体積膨張のため間隙水圧が減少



# 締固め地盤改良工法の変遷



1960年~ サンドコンパクションパイル工法

1994年~ SAVEコンポーザー

2008年~ SAVE-SP工法



# 2. 締固め地盤改良工法の変遷

サンドコンパクションパイル工法(SCP工法)

## 1960年~

### 【改良原理】

締固めた砂杭を地盤中に造成し、地盤全体を締固め、密度を増大

(N値増大) することで液状化を防止

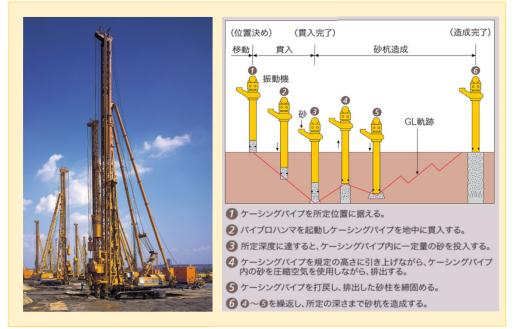
#### ■長所

- ・自然材料(砂、砕石など)の使用
- ・地盤の透水性を改変しない

#### ■短所

- ・バイブロハンマを使用するため振動、騒音が大きい(市街地利用困難)
- ・施工機が大型(狭隘地施工困難)

市街地利用のニーズ(兵庫県南部地震)





# 締固め地盤改良工法の変遷

静的締固め砂杭工法(SAVEコンポーザー)

## 1994年~

### 【改良原理】

ケーシングの貫入に油圧式の強制昇降装置を用いることにより

無振動、低騒音によるSCPを実現

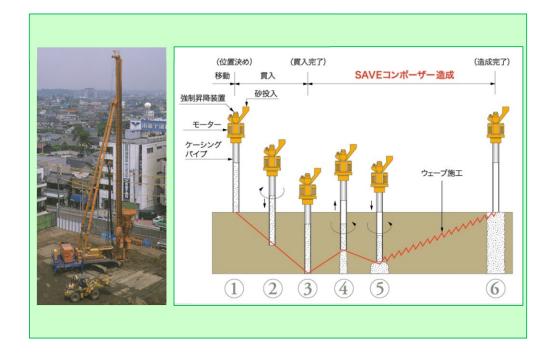
### ■長所

- ・無振動,低騒音(市街地での適用)
- ・自然材料(砂、砕石など)の使用
- ・地盤の透水性を改変しない

#### ■短所

・施工機が大型(狭隘地施工困難)

狭隘地利用のニーズ (既設構造物等の更新期)





# 2. 締固め地盤改良工法の変遷

砂圧入式静的締固め工法(SAVE-SP工法)

## 2008年~

### 【改良原理】

流動性を付与した砂(流動化砂)を小型施工機の小径ロッドを通じて地盤内に圧入することにより、施工機の小型化を実現

#### ■長所

- ・無振動,低騒音(市街地での適用)
- ・自然材料(砂)の使用
- ・地盤の透水性を改変しない
- ・施工機械が小型(狭隘地での適用)

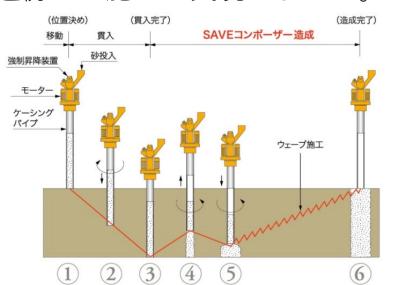




# 

SAVEコンポーザー (Silent Advanced Vibration-Erasing Composer)

強制昇降装置を用いた回転圧入施工(ウェーブ施工)の採用で施工機械の重量を反力に用いて静的な圧入によって締固め砂杭を造成する工法です。このため、周辺への振動・騒音の影響を大幅に低減することを可能とし、従来の振動機を用いたSCP工法では施工不可能な市街地や既設構造物の近傍での施工を実現しました。





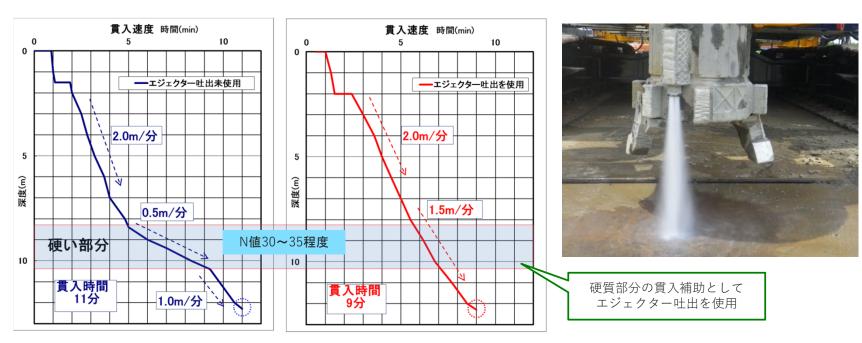




# 3. $SAVE = 2x^2 + y^2 +$

SAVEコンポーザーHA (**SAVE Composer H**ard ground **A**cceptable )

SAVEコンポーザーHAは、エアと水の両方を混合して噴射する装置(エジェクター)を使用することで従来はアースオーガ等による先行削孔を必要とした軟弱地盤の中に含まれるN値35程度の砂層までの貫入を実現しました。



<通常施工の貫入速度>

<エジェクター使用時の貫入速度>



# 3. $SAVE = 2x^2 - y^2 -$

## 施工方法

施工サイクル









材料砂の流れ









地中の状況











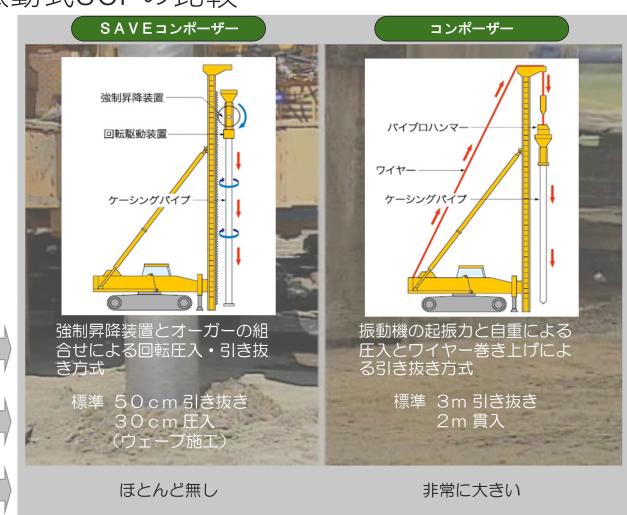






## 

SAVEコンポーザーと振動式SCPの比較



ケーシングパイプの 貫入・引き抜き方法

施工サイクル

振動 • 騒音影響



## SAVE-SP工法(SAVE - Sand Press)

圧送可能にした砂(流動化砂)を小型施工機の小径ロッド( $\phi$ 100mm程度)を通じて地盤内に圧入することにより、緩い砂地盤の締固めを行う工法です。

ポンプ、プラントを施工域と分離することが可能であり、狭隘地や空頭制限下での施工が可能です。

自然材料の砂を使用するため、地盤になじみやすく、流動化砂の製造に要する添加剤 も全て無害であり環境に優しい工法です。



小型機による施工

流動化砂のポンプ圧送













### 流動化砂とは

「砂、水、流動化剤、塑性化剤」 を混練して製造した 流動性をもつポンプ圧送可能な砂

### ◆流動化剤は…

間隙水の粘性を高め、 砂と水の分離を抑制することで 流動性を高める

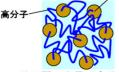
#### ◆塑性化剤は…

電気的に流動化剤を中和させ、 水と分離(不溶化)させて 元の砂に戻す

#### 流動化砂作成~復元までのデモンストレーション







- ・流動化剤は網状で残る
- (摩擦は完全回復しない)
- 流動化剤の網状構造消失 · 摩擦完全回復
- 粒子配置は変化せず

圧入前

圧入中

塑性化終了



# 施工方法





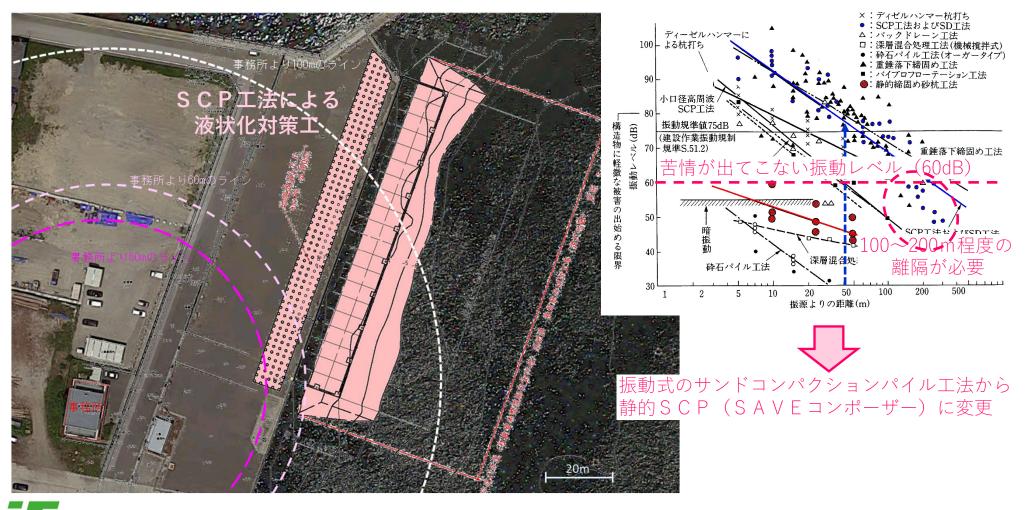
# 締固め工法の比較

工法	振動式SCP工法	SAVEコンポーザー	SAVE-SP工法
	(位置決め) (質入完了) (造成完了) 移動 関入 砂坑造成 (造成完了) 接動機	(位置決め) (現入来了) (組成束了) 日本	(東京東京) (東京東京) (東京東京) (東京東京) (東京東京) (東京東京) (東京東京) (東京東京東京東京東京東京東京東京東京東京東京東京東京東京東京東京東京東京東京
施工サイクル	1m造成/1サイクル 3m引抜き、2m打戻し	20cm造成/1サイクル 50cm引抜き、30cm打戻し	20cm/ステップ造成 100.2 ℓ /minの圧入
振動・騒音	大きい	小さい	小さい
地盤変位	大きい	大きい	大きい
狭隘地	×	×	0
空頭制限	×	×	$\bigcirc$
斜め施工	×	×	0
地中障害物	×(別途補助工法)	×(別途補助工法)	○(RPDタイプ機)
工程	1.0	1.2~1.5	2.0~3.0
経済性	1.0	1.5~2.0	6.0~8.0



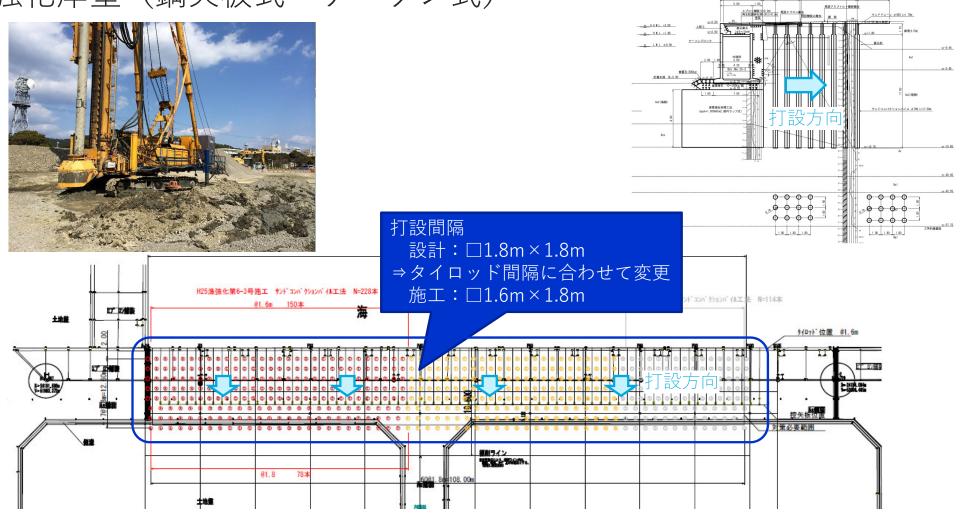
# 5. 施工事例(SAVEコンポーザー)

# SCP工法の振動影響



# 施工事例(SAVEコンポーザー)

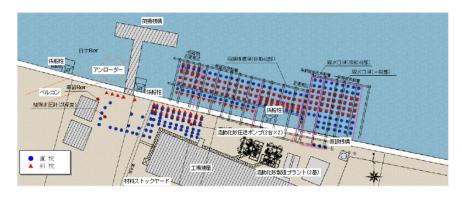
耐震強化岸壁 (鋼矢板式→ケーソン式)

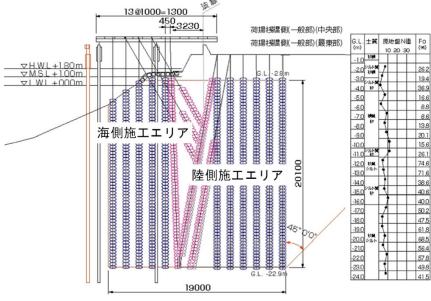




# 5. 施工事例(SAVE-SP)

# 海岸堤防の液状化対策





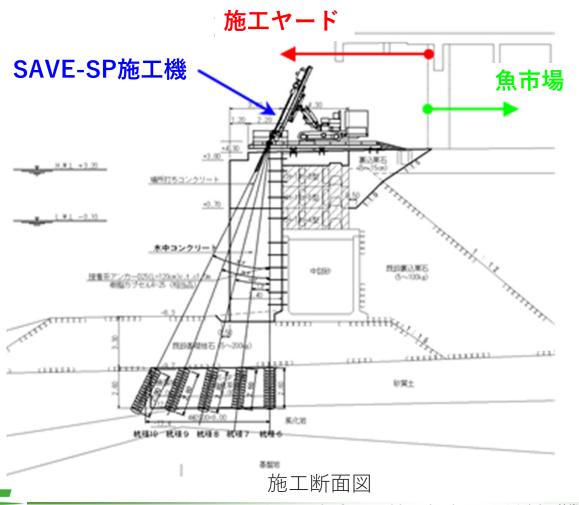






# 5. 施工事例(SAVE-SP)

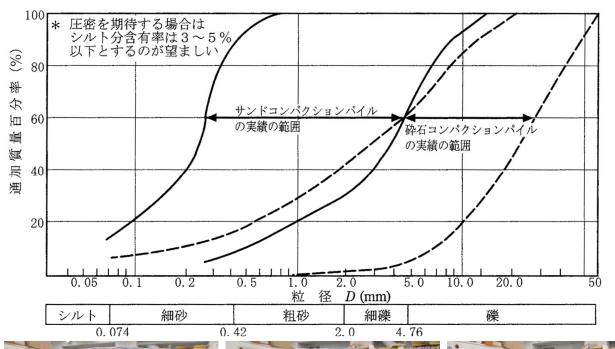
# 護岸からの張り出し施工







## SAVEコンポーザーの中詰め材料の規定



従来は砂や砕石を使用 (良質材)



### 良質な材料の確保が困難



代替としてリサイクル材 (再生砕石やスラグ)の 適用機会の増加



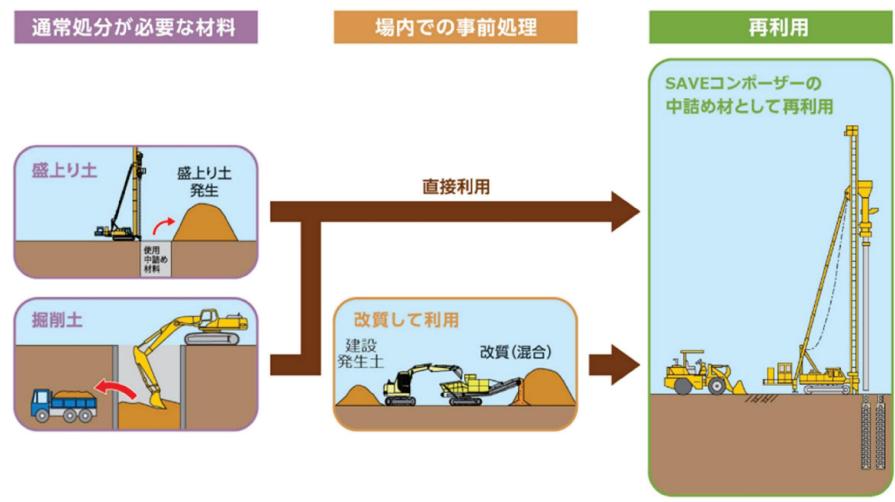






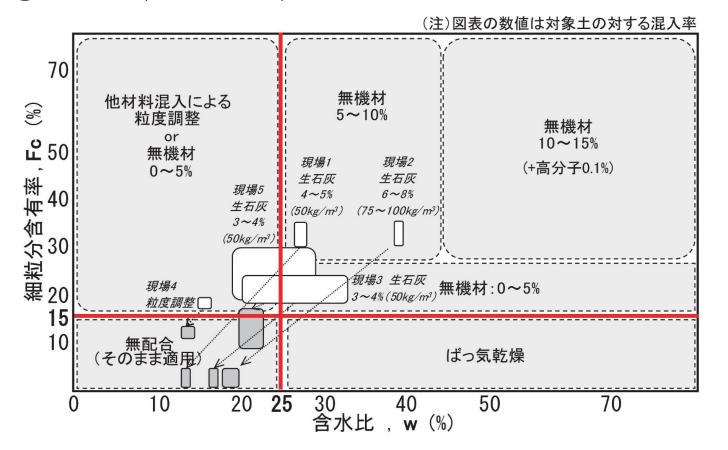
Support the future with technology.ここにしかない技術力で未来を支える。

① 現地(現場での)発生土を中詰め材として再利用





① 現地 (現場での) 発生土を中詰め材として再利用





土質改質機による改質状況



改質前後の材料

#### SAVEコンポーザーは建設発生土(改質土)を利用できる工法として技術審査証明を取得

出典:建設技術審査証明事業(一般土木工法)報告書SAVEコンポーザー(低振動・低騒音の静的締固め工法),令和4年6月国土技術研究センター



# ②地盤改良と同時に地中にCo₂を貯留する技術

地球温暖化の抑制を目指す脱炭素社会に向けて、バイオマス混合材料をSCP工法の中 詰め材として地盤中に打ち込み、液状化対策を行うと同時に炭素を地盤中に貯留する 技術に着手しました。

地盤改良の施工に伴って重機から排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)よりも、地中に炭素 を貯留する量の方が圧倒的に多いので、トータルでCO₂を削減します。この新技術は、 使えば使うほどCO₂を削減する=正味としてマイナスのCO₂排出量を達成した「ネガ ティブエミッション技術」となります。



バイオマス材料(竹チップ)



バイオマス混合材料(竹チップ+RC-40)製造状況



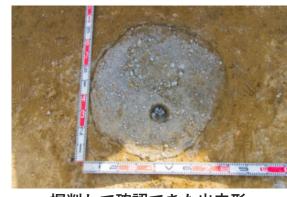
# ②地盤改良と同時に地中にCoっを貯留する技術

### 実証実験による成果

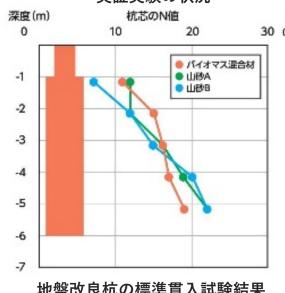
- ・ バイオマス混合材料でSAVEコ ンポーザーの施工が可能
- ・バイオマス地盤改良杭と砂杭と が同等の締まり具合(N値)で あること
- ・施工2か月後でも地中(地下水 位下)のバイオマス混合材は、 腐朽などの変状がなく安定した 状態であり、炭素を貯留してい
- ・ バイオマス地盤改良杭の杭底部 まで、全ての深度で設定通りの 直径 $\phi$ 0.7m程度の出来形であること(掘り起こしにより確認)



実証実験の状況



掘削して確認できた出来形



地盤改良杭の標準貫入試験結果



CO。排出量の試算例



# 御清聴ありがとうございました



