

【I-5. 1】 液状化対策工法の体系的整理

精査中



※JGS関東「造成宅地の耐震対策に関する研究員会」メディア懇談会資料、液状化対策工法設計・施工マニュアル(案)、TF4メンバーからの意見に基づき再構成

【I-5. 2】 液状化対策工法

【液状化対策工法の体系的整理例】(サンドコンパクションパイル工法) 動的締固め

1

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類	密度の増大	改良工法:	サンドコンパクションパイル工法
既設・新設:	新設地盤のみ	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

1. 工法概要

コンポーザーは、振動する中空管を用い、貫入、引抜き、打戻しを繰り返す「打戻し式施工」によって、軟弱地盤中に大径のよく締め固められた砂杭を造成し、地盤を改良する工法であり、振動締固め工法であるサンドコンパクション工法の代表的な工法である。

○特徴

- ・砂地盤、粘性土地盤、有機質土地盤、岩砕地盤、火山灰質地盤、産業廃棄物地盤などさまざまな地盤に適用可能。
- ・液状化対策として確実性・経済性に優れた工法として最も実績が多い。
- ・同一施工機で杭径を変えることができ、コンポーザーとサンドドレーンとの複合砂杭の造成が可能。
- ・良質砂が入手困難あるいは不経済なときや改良杭自体に大きな強度を期待したいときには、砂の代わりに砂利や礫を使うことで、更にスラグ、コンクリート廃材、などを有効利用することも可能。

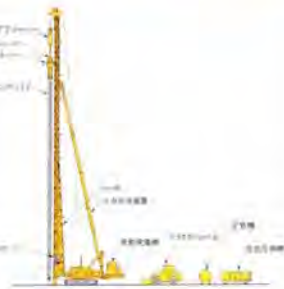
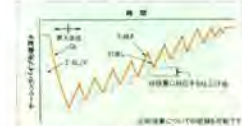
2. 施工法

○施工機械

通常は、低周波バイプロハンマ(V-75、V-120)、クローラクレーン(35~45トン吊り)をベースに施工を行うが、長尺用または岩砕地盤のような貫入抵抗が大きい場合には、大型バイプロハンマ(V-180)、ウォータージェットおよびジェットカッターなどの各種貫入補助装置の搭載も可能である。

○施工フロー

ケーシングの貫入、引き抜き、打ち戻しを繰り返す「打ち戻し施工」が特徴である。



3. 設計/施工上の留意点

陸上コンポーザー工法は貫入時・砂杭造成時にバイプロハンマを用いる工法であることから、施工時の振動・騒音や周辺地盤変位に留意する必要がある。詳細は「§8. 施工時の周辺影響」の項を参照とするが、特に振動の影響が伝わる範囲はかなり広く、市街地などにおける施工では適用性について十分検討し、必要に応じて無振動・低騒音のSAV Eコンポーザー工法などの代替工法を適用する必要がある。

4. 概略コスト

土木工事市場単価

●標準市場単価—軟弱地盤処理工 (2011・秋)

～参考～

規格・仕様	直接工事費	
	単位	千円
◆サンドドレーン工【手間のみ】		
打設長		
10m未満	m	1,240
10m以上 20m未満	〃	1,170
20m以上 35m未満	〃	1,430
◆サンドコンパクションパイル工【手間のみ】		
打設長		
10m未満	m	2,500
10m以上 20m未満	〃	2,360
20m以上 35m未満	〃	3,450

【液状化対策工法の体系的整理例】(サンドコンパクションパイル工法) 静的締固め

2

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類	密度の増大	改良工法	SAVEコンポーザー
既設・新設	新設地盤のみ	主たる対象	一般建築物・土木構造物・戸建住宅

1. 工法概要

超小型施工機あり

SAVE(セーブ)コンポーザーは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、振動エネルギーを用いずに静的な圧入によって締固め砂杭(サンドコンパクションパイル)を造成する工法である。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たものである。本法の名称として用いたSAVEとは"Silent, Advanced Vibration-Erasing"の略である。

○特徴

- ・無振動、低騒音工法であり、周辺環境へ与える影響が少ないため、既設構造物に近接した施工が可能である。
- ・従来のサンドコンパクションパイル工法と同様の改良目的に使用でき、同等の効果が得られる。
- ・砂質土のみならず、粘性土などさまざまな地盤に適用できる。
- ・管理システム"CONOS"を使用することにより、確実な砂杭の造成と信頼性の高い施工管理ができる。
- ・砂の他に碎石、スラグなどの各種材料も使用可能である。また、同一施工機で容易に杭径を変えられるので、サンドドレーンとの複合パイルの造成も行える。
- ・グラベルドレーンや深層混合処理などの環境対応型の地盤改良工法と比べて経済的である。



2. 施工法

○施工フロー(内)はSAVEマリン



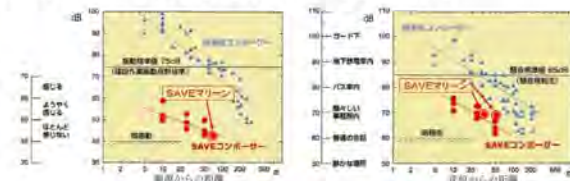
- ①ケーシングパイプを所定位置に据え、一定量の砂を投入する
- ②ケーシングパイプを回転させながら地中に貫入する
- ③所定深さまで貫入する
- ④ケーシングパイプを規定の高さから引き上げながら、ケーシングパイプ内の砂を排出する
- ⑤ケーシングパイプを打戻し、排出した砂と周囲の地盤を締固める
- ⑥④⑤を細かく繰り返して拡張するウェーブ施工により、SAVEコンポーザーを造成する

3. 設計/施工上の留意点

コンポーザーに準じ、砂質土に用いる場合と粘性土に用いる場合で設計の手法が全く異なる。

無振動・低騒音工法であり、周辺環境へ与える影響が少ない。

下図は従来型コンポーザーとの比較をおこなったものである。



液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類	密度の増大	改良工法	SAVEマリン
既設・新設	新設・既設(護岸)	主たる対象	一般建築物・土木構造物・戸建住宅

1. 工法概要

SAVEマリンは強制昇降装置を用いたSAVEコンポーザーの海上施工仕様である。SAVEコンポーザーと同様に海上工事での無振動・低騒音施工が可能となった。また、自然材料である砂を中詰め材として使用するので、海上深層混合処理工法などのセメント系改良に比べ環境の負荷が低減される。



写真-1 SAVEマリン2連装船 (船体寸法60m×26m×喫水2.0m)



写真-2 SAVEマリン甲装船 (船体寸法32m×13m×喫水1.3m)



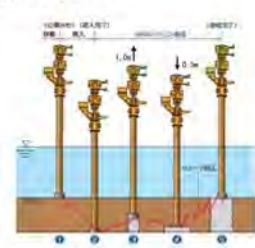
写真-3 民家近接施工状況

○特徴

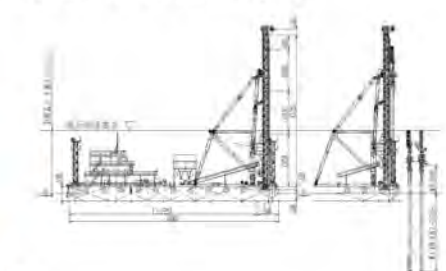
- ・無振動、低騒音工法であり、周辺環境へ与える影響が少ないため、既設構造物に近接した施工が可能である。
- ・従来のサンドコンパクションパイル工法と同様の改良目的に使用でき、同等の効果が得られる。
- ・砂質土のみならず、粘性土などさまざまな地盤に適用できる。ただし、粘性土地盤に適用する場合の改良率に対しては留意が必要である。
- ・管理システム"CONOS"を使用することにより、確実な砂杭の造成と信頼性の高い施工管理ができる。
- ・砂杭打設時に、搭載しているスパッドで船体を固定できるので、航路に近接して施工の場合、一般船舶航行時には一時的にアンカーワイヤーを緩めることで航路の水深を満足することができる。
- ・砂の他に碎石、スラグなどの各種材料も使用可能である。
- ・中詰め材に自然材料(砂)を使用することにより、海上深層混合処理工法などセメント系改良に比べ環境負荷は小さい

2. 施工法

○施工フロー



○施工機械(2連装船)




3. 設計/施工上の留意点

コンポーザーに準じ、砂質土に用いる場合と粘性土に用いる場合で設計の手法が全く異なる。

無振動・低騒音工法であり、周辺環境へ与える影響が少ない。

下図は従来型コンポーザーやSAVEコンポーザー工法との比較をおこなったものである



〈振動レベルの距離減衰〉 〈騒音レベルの距離減衰〉

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	密度増大	改良工法:	SIMAR工法
既設・新設への適用性:	新設のみ適用可	主たる対象:	一般建築物(土木構造物) 戸建住宅

①工法概要

地中に貫入したロッドを振動させ、地盤を締め固める工法

②特徴

- ・従来工法(SCP工法)と比較して、細粒分含有率の30%以下の地盤では、コストダウンと工期短縮が可能(コスト比0.6~0.9)
- ・従来工法(SCP工法)と比較して、周辺への変位が1/2~1/5程度と小さい
- ・充填材として良質な購入砂は不要

③適用にあたっての留意点

- ・振動、騒音が発生するため、市街地適用は対策が必要
- ・機械が大型であるため、既設構造物への地盤改良は不適



④概略工費(直工費)

【液状化対策工法の体系的整理例】（パイプロローテーション工法）

4

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類	密度の増大	改良工法	パイプロッド
既設・新設	新設地盤のみ	主たる対象	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

1. 工法概要

パイプロッド工法は、パイプロハンマーに接続した各種の特殊圧入ロッドを上下に振動させ圧入することによって、ゆるい砂地盤を締め固める工法である。ロッド先端および側面の突起の相違により区分され、鋼管を使用するNFコンパクション工法とH型鋼を使用するKFコンパクション工法の2つのタイプがある。

○特徴

- ・砂質地盤の締め固めに有効な工法で、おもに液状化対策として用いられる工法である。
- ・施工機械が機動性にすぐれているため、施工能率が高く経済的な工法である。
- ・使用材料は、現地土を用いる場合が多いが、その他に碎石・スラグなどの各種材料を用いることができる。

2. 施工法

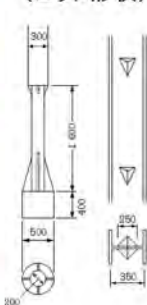
○施工フロー



○施工機械



(ロッド形状)



3. 設計/施工上の留意点

細粒分含有率Fcが15~20%以上になると改良効果が低下する。また、改良対象土層内に粘性土を挟むと補給材の供給を妨げる場合があるので、注意を要する。

【液状化対策工法の体系的整理例】（圧入締め固め工法（コンパクションラウチング工法））

5

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類	密度の増大	改良工法	圧入締め固め工法(コンパクションラウチング工法)
既設・新設への適用性	既設・新設問わず	主たる対象	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

・工法概要

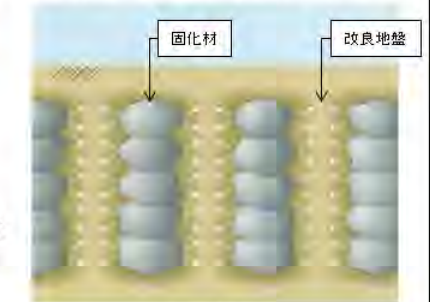
流動性の低いモルタルを、地盤中に圧入する。圧入されたモルタルが所定の位置で固化することにより、固結体の周辺地盤を圧縮し、密度を増大させる。

・特徴

- 無振動・無騒音。新設・既設ともに対応可。
- 小型機械により戸建住宅の施工も可能。
- 傾斜・沈下の修正を行うことができる。

・適用にあたっての留意点

想定外の地盤隆起を防止するための管理が重要。隆起を管理することで住宅の傾斜補正効果が期待できる。



模式図

・概略工費:

- 約1~1.5万円/m³(液状化対策の場合。条件によって変動あり)
- 約500~1000万円/棟(沈下修正の場合。条件によって変動あり)

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類	密度の増大	改良工法	SAVE-SP
既設・新設	新設・既設(斜め打設)	主たる対象	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

1. 工法概要

SAVE-SP工法(砂圧入式静的締め固め工法)とは、圧送可能にした砂を小型施工機のロッドを通じて地盤内に圧入することにより、緩い砂地盤の締め固めをおこなう地盤改良工法である。小型の施工機の使用により狭隘地においても施工が可能であり、斜め施工や硬質障害物層等の貫入にも対応できるため、既設構造物直下の改良にも対応できる。小型施工機の使用、低振動・低騒音、材料には砂を用いるため、周辺環境・自然環境にも優しい画期的な地盤改良工法である。

本工法は、公共工事等における新技術活用システムに登録済み(NETIS登録番号:SKK-090002-V)で、事前審査において本工法の有効性が評価されており、従来のSCP工法において得られる締め固め地盤の特性と同等の効果を発揮できること、また、設計手法も従来の方法が適用できることが確認されている。

○特徴

- (1)小型施工機の使用により狭隘地や棧橋上からの地盤の締め固めを可能とした。
- (2)斜め施工や硬質障害物層等の貫入にも対応できるため、既設構造物直下の施工を可能とした。
- (3)基本的に無振動・低騒音工法である。
- (4)自然材料(砂)を使用することで環境に優しく、原地盤となじみが良い。
- (5)優れた施工性・経済性を発揮できる。

【液状化対策工法の体系的整理例】(群杭工法)

6

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	密度の増大	改良工法:	群杭工法(埋込み節杭打込み: GMTOP工法等)
既設・新設への適用性:	新設地盤のみ	主たる対象:	一般建築物 土木構造物 戸建住宅

・工法概要
アースオーガーで地盤を掘削し、オーガー先端から注入したセメントミルクと掘削土とを混合攪拌したと、オーガーを抜き、節杭を建て込む。節杭の径は440-300(節部径-軸部径)、500-400、600-450、650-500など。

・特徴
杭基礎であり鉛直・水平支持力を確保するために使うのが基本。摩擦杭として使用した場合でも、阪神・淡路大震災、鳥取県西部地震、東日本大震災等においても、液状化地域で建物には被害がみられなかった(浦安市の80軒以上含む)。節杭はもとも周囲に砂利を充填しながら打ち込む工法であり、この場合は地盤が締め固められることや杭周の砂利がドレーン材として作用することなどから、液状化防止効果が注目されていた。しかし、これらの効果があまり期待できない埋込み工法で摩擦杭として用いられても、前述のように液状化地域で無被害であった。この理由として、多数の杭により地盤のせん断変形が抑制されること、構造物の荷重で地盤の上載圧が増えること等があげられる。

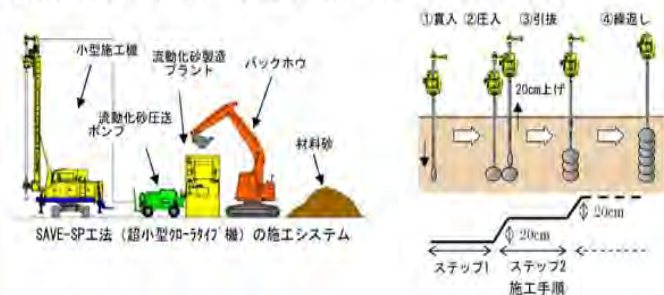
・適用にあたっての留意点
流水の激しい地盤や崩壊しやすい地盤は検討が必要。

・概略工費
杭代+工事費
8,000円/m(φ440-300)

2. 施工法

○施工フロー

施工システムはロッドの貫入・引拔を行う小型施工機、流動化砂を施工機まで圧送する圧送ポンプ、流動化砂を製造する流動化砂製造プラント、材料砂をプラントに投入するバックホウからなる。流動化砂製造プラントは、バッチ毎に流動化砂を製造するもので、搬入した砂への加水、流動化剤および塑性化剤の添加・混練を行う。



施工手順は①ロッドを所定深度まで貫入、②流動化砂を圧入、③所定長引抜き、④②③の繰り返しとなる。②では所定の改良体体積が得られる量の流動化砂を圧入する。

小型の施工機としてボーリングマシンの適用も可能であり、施工機にロータリーパーカッションドリルやパイロドリルを用いることで、斜め施工にも対応可能である。

3. 設計/施工上の留意点
既設構造物近傍における施工に際しては施工時の変位影響について十分注意する必要がある。

【液状化対策工法の体系的整理例】（生石灰杭工法）

7

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	密度の増大	改良工法:	生石灰杭工法
既設・新設への適用性:	新設地盤のみ	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

・工法概要

特殊石灰と水砕スラグまたはセメント、石こうならびに砂の混合材料を地盤中にパイル状に造成し、石灰の膨張圧とケーシングの貫入圧によって、地盤を静的に締め固め、密度の増大や地盤の側方拘束の増加を図り、硬化するパイル体と複合地盤を形成して液状化を防止する工法である。

・特徴

- ・細粒分の多い砂質土地盤にも有効である。
- ・複合地盤として支持力やすべり抵抗も向上し、杭基礎の水平抵抗の向上も図れる。
- ・低振動、低騒音の施工が可能である。
- ・互層地盤の改良も可能である。

・適用にあたっての留意点

- ・施工機械が大きく、施工場所が限られる。
- ・近接構造物への影響は他の工法に比べ少ないが、注意が必要である。

・概略工費

500～1000万程度（障害等がない場合）
（対策面積100m²：必要改良深度15mの場合）



小野田ケミコ株式会社パンフレット 抜粋

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	密度の増大	改良工法:	生石灰杭工法
既設・新設への適用性:	既設・新設地盤	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

・工法概要

特殊石灰と水砕スラグまたはセメント、石こうならびに砂の混合材料を地盤中にパイル状に造成し、石灰の膨張圧とケーシングの貫入圧によって、地盤を静的に締め固め、密度の増大や地盤の側方拘束の増加を図り、硬化するパイル体と複合地盤を形成して液状化を防止する工法である。

・特徴

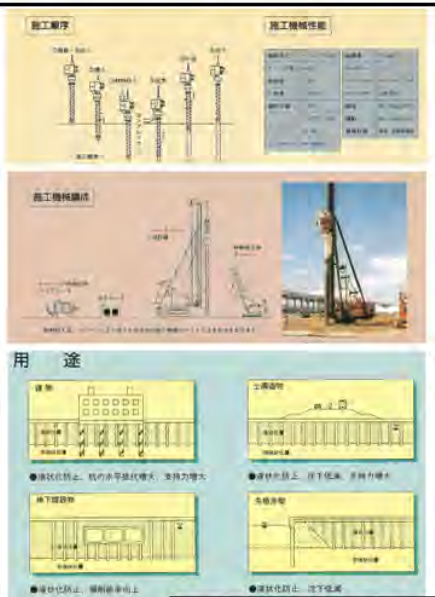
- ・細粒分の多い砂質土地盤にも有効である。
- ・複合地盤として支持力やすべり抵抗も向上し、杭基礎の水平抵抗の向上も図れる。
- ・低振動、低騒音の施工が可能である。
- ・互層地盤の改良も可能である。

・適用にあたっての留意点

- ・施工機械が大きく、施工場所が限られる。
- ・近接構造物への影響は他の工法に比べ少ないが、注意が必要である。

・概略工費

500～1000万程度（障害等がない場合）
（対策面積100m²：必要改良深度15mの場合）



小野田ケミコ株式会社パンフレット 抜粋

【液状化対策工法の体系的整理例】（プレローディング工法）

8

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	密度の増大	改良工法:	プレローディング工法
既設・新設への適用性:	新設地盤のみ	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

・工法概要

プレローディング工法は、一般に粘性土地盤の圧密の促進とせん断強さの増加を図るために荷重(盛土等)を載荷させた後に、荷重を除去して構造物を建設する工法であり、これを砂質土に適用して、過圧密効果を利用して液状化強度を増加させて液状化を抑制する。

・特徴

- ・状況によっては、安価である。
- ・砂層と粘土層の複雑な互層の場合有効である。
- ・地下水を一時的に低下させて荷重を増加させる載荷方法もある。

・適用にあたっての留意点

- ・粘性土の圧密沈下や周辺構造物への影響が考えられ、応力遮断や地下水遮断などの検討が必要である。
- ・過圧密効果は地盤により異なるため、現地調査及び現地試験を行い、その効果を確認する必要がある。
- ・地下水位低下による載荷方法で粘性土が介在する場合には、効率が低下することなどに留意する必要がある。
- ・盛土高は地盤が盛土荷重に耐え得る範囲で計画する必要がある。施工時に地盤の破壊や大きな水平変位が生じないよう計測管理を行う必要がある。

・効果の実証事例

ポードアイランドの一部で10m程度のプレローディングを実施していた箇所があり、1995年兵庫県南部地震において当地区は、他の地区に比べ、液状化の程度が小さかった。

・概略工費

500～1000万程度（障害・影響等がない場合）
（対策面積100m²の場合）

【プレローディング工法概要図】



軟弱地盤対策工法 地盤工学会 抜粋 加筆

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	密度の増大	改良工法:	プレローディング工法
既設・新設への適用性:	新設地盤のみ	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

・工法概要

プレローディング工法は、一般に粘性土地盤の圧密の促進とせん断強さの増加を図るために荷重(盛土等)を載荷させた後に、荷重を除去して構造物を建設する工法であり、これを砂質土に適用して、過圧密効果を利用して液状化強度を増加させて液状化を抑制する。

・特徴

- ・状況によっては、安価である。
- ・砂層と粘土層の複雑な互層の場合有効である。
- ・地下水を一時的に低下させて荷重を増加させる載荷方法もある。

・適用にあたっての留意点

- ・過圧密効果は地盤により異なるため、現地調査及び現地試験を行い、その効果を確認する必要がある。
- ・粘性土の圧密沈下や周辺構造物への影響が考えられ、応力遮断や地下水遮断などの検討が必要である。
- ・地下水位低下による載荷方法で粘性土が介在する場合には、効率が低下することなどに留意する必要がある。
- ・盛土高は地盤が盛土荷重に耐え得る範囲で計画する必要がある。施工時に地盤の破壊や大きな水平変位が生じないよう計測管理を行う必要がある。

・効果の実証事例

ポードアイランドの一部で10m程度のプレローディングを実施していた箇所があり、1995年兵庫県南部地震において当地区は、他の地区に比べ、液状化の程度が小さかった。

・概略工費

400～800万程度（障害・影響等がない場合）
（対策面積100m²の場合）

【プレローディング工法概要図】



軟弱地盤対策工法 地盤工学会 抜粋 加筆

【液状化対策工法の体系的整理例】(深層混合処理工法)

9

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	固結	改良工法:	深層混合処理工法
既設・新設への適用性:	既設・新設地盤	主たる対象:	一般建築物・土木構造物・戸建住宅

・工法概要
 深層混合処理工法はセメント系安定材を用いて地盤を化学的に改良し、砂地盤を全体あるいは部分的に固結することにより砂地盤の液状化を防止する工法である。
 施工方法により、機械で混合する工法と流体切削で混合する工法(高圧噴射攪拌工法)があり、ここでは、機械的混合工法について示す。

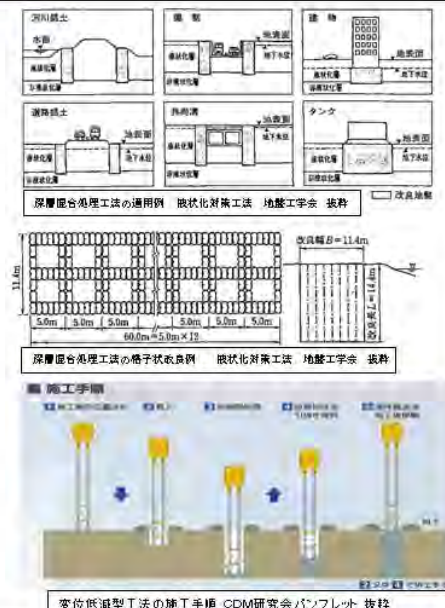
・特徴

- ・細粒分の多い砂質土地盤にも有効である。
- ・支持力やすべり抵抗も向上が図れ、縁切りとしても利用される。
- ・低振動、低騒音の施工が可能である。
- ・互層地盤の改良も可能である。
- ・幅広い強度の改良体が得られる。
- ・格子状の改良形状(50%)で格子内の未改良部の液状化が抑制できる。

・適用にあたっての留意点

- ・施工機械が大きく、施工場所が限られる。
 (近年小規模機械も開発されている。)
- ・一般の施工機では、近接構造物への影響が考えられ、状況により変位低減型の採用を検討する必要がある。
- ・高価となることが多い。

・概略工費
 600~1300万程度 (障害等がない場合)
 (対策面積100m² ; 必要改良深度15m; 格子状改良の場合)



液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	固結	改良工法:	CI-CMC
既設・新設:	新設地盤のみ	主たる対象:	一般建築物・土木構造物・戸建住宅

1. 工法概要

CI-CMC工法は、エアを用いてスラリーを霧状に吐出するエジェクター吐出方式を採用する機械攪拌式深層混合処理工法である。エジェクターによりスラリーの広範囲への均一な散布、攪拌翼の回転負荷の低減を実現し、大径の改良体を確実かつ効率的に造成することを可能としている。

※ Contrivance(工夫) Innovation(革新)

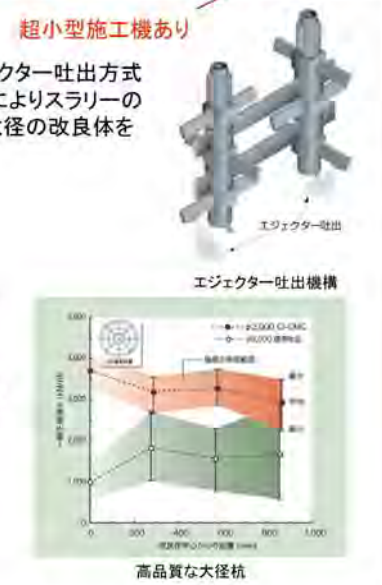
○特徴

(1) 高品質な大径杭
 攪拌効率が向上し、ばらつきの極めて小さい大径の改良体を造成可能。

(2) 優れた貫入能力
 貫入能力が向上し、貫入抵抗の大きい地盤においても攪拌混合が可能。

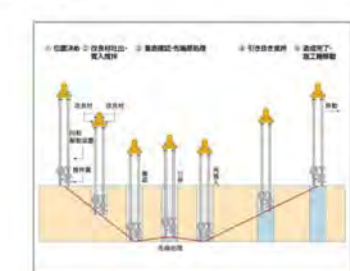
(3) 低変位工法
 エアリフト効果により、周辺の変位を大幅に低減できる。

超小型施工機あり




2. 施工法

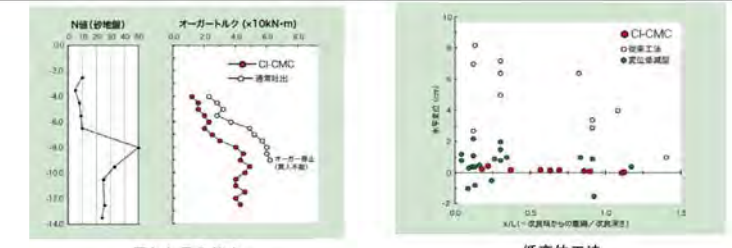
○施工フロー



○施工機械



エジェクター吐出状況



3. 設計/施工上の留意点

○環境適用性
 無振動・低騒音・低変位工法であり、市街地環境対応型の地盤改良工法である。

○改良効果
 従来工法に比べ、強度の大きいバラツキの少ない改良体が造成される。

【液状化対策工法の体系的整理例】（表層安定処理工法）

10

【液状化対策工法の体系的整理例】(薬液注入工法)

11

液状化対策工法の体系的整理

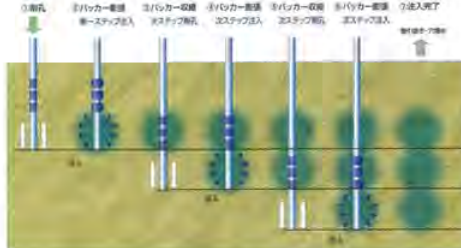
改良原理による分類:	固結	改良工法:	薬液注入工法(ニューマックス工法)
既設・新設への適用性:	既設・新設問わず	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

・工法概要:
地盤内に長期の耐久性を有する薬液を注入し、地盤を固結させる。


・特徴:
小口径のボーリング孔で改良体を造成できる。
パッカーを使用し、薬液の逸散を防止する。
施設を稼働させながらの施工が可能。
低騒音・低振動。

・留意点:
細粒分が多い地盤は施工困難。

・概略工費:
約2~3万円/m³(条件によって変動あり)



施工手順



改良体

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	固結	改良工法:	薬液注入工法(カーベックス工法)
既設・新設への適用性:	既設・新設問わず	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

・工法概要:
地盤内に長期の耐久性を有する薬液を注入し、地盤を固結させる。直線削孔に加え自在ボーリングが可能。

・特徴:
小口径のボーリング孔で改良体を造成できる。
施設を稼働させながらの施工が可能。
高精度の計測・削孔技術を有する。
複数回の曲線削孔が可能。
低騒音・低振動。

・留意点:
細粒分が多い地盤は施工困難。

・概略工費:
約2~4万円/m³(条件によって変動あり)



施工状況
(海底トンネル直下)



施工模式図
(海底トンネル直下)

液状化対策工法の体系的整理


改良原理による分類:	固結	改良工法:	薬液注入工法(バルーングラウト工法)
既設・新設への適用性:	新設・既設	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

・工法概要
薬液注入工法の一つで、長期的に殆ど劣化しない恒久型薬液を低圧で注入して地盤強度を高める工法である。
直線削孔と曲線削孔を組み合わせることで既設構造物直下地盤の改良が可能である(右図)。[採用実績: 26件]

・特徴
1)削孔軌道に沿った薬液逸走防止機能に優れる
2)薬液注入時の注入圧力が低い
3)既存施設を供用しながらの施工および狭隘箇所での施工が可能

・適用にあたっての留意点
1)~3)に示す地盤では改良仕様に関し詳細検討が必要である。
1)細粒分含有率が30%を超える砂地盤, 2)粘性土が互層に存在する地盤, 3)地下水の流れが速い地盤

・概略工費
2万円~3万円/m³
(材工価格、施工規模、施工条件や改良対象地盤の物性に依って変動する)



液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	固結	改良工法:	薬液注入工法(浸透固化処理工法)
既設・新設への適用性:	既設・新設問わず	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

・工法概要:
地盤内に溶液型の恒久薬液を注入し、地盤を固結させる。

・特徴:
浸透距離が大きく削孔本数が減少でき、コストの低減が期待できる。
低圧で浸透注入するため、地盤の隆起が生じない。
長期的に劣化しない。

・留意点:
細粒分含有率Fc>40%の地盤については適応できない可能性がある。



模式図

【液状化対策工法の体系的整理例】（高圧噴射攪拌工法）

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	固結	改良工法:	薬液注入工法(超多点同時注入工法)
既設・新設への適用性:	既設・新設問わず	主たる対象:	一般建築物(土木構造物) 戸建住宅

・工法概要:

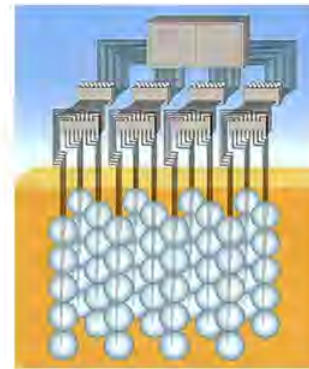
地盤内に長期の耐久性を有する薬液を注入し、地盤を固結させる。大量の注入ノズルを立体的に配し、各ノズルから低吐出・低圧で注入を同時に行う。

・特徴:

- 同時注入するため工期が短縮できる。
- 低流量吐出で加圧し、低騒音である。
- 浸透注入することで注入時の隆起を抑制できる。

・留意点:

細粒分含有率 $F_c > 40\%$ の地盤については適応できない可能性がある。



模式図

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	固結	改良工法:	高圧噴射攪拌工法(クロスジェット工法)
既設・新設への適用性:	既設・新設問わず	主たる対象:	一般建築物(土木構造物) 戸建住宅

・工法概要:

高圧の水で原地盤を切削し、固化材を噴射することで地盤を固結させる。高圧水の交差噴流により改良径を制御する。

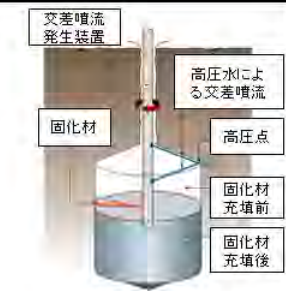
・特徴:

- 小口径のボーリング孔から大口径の改良体を造成できる。
- 砂質土・粘性土どちらにも対応可能。
- 低騒音・低振動。地盤の変状を起こさない。

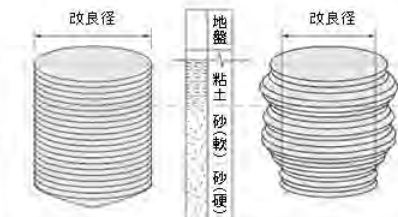
・留意点:

- 施工時に発生する余剰固化材の処理が必要。
- 現場内で再利用できれば、大幅なコスト低減が可能となる。
- 施工機械が大型のため、既設の戸建住宅への適応は不可。

・概略工費: 約5~8万円/m³ (条件によって変動あり)



模式図



イメージ図

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	固結	改良工法:	高圧噴射攪拌工法(スーパージェット工法)
既設・新設への適用性:	既設・新設問わず	主たる対象:	一般建築物(土木構造物) 戸建住宅

・工法概要:

高圧の噴流で固化材と原地盤を攪拌混合し、地盤を固結させる。大口径の改良体が施工可能。

・特徴:

- 小口径のボーリング孔から大口径の改良体を造成できる。
- 砂質土・粘性土どちらにも対応可能。
- 低騒音・低振動。地盤の変状を起こさない。

・留意点:

- 施工時に発生する余剰固化材の処理が必要。
- 現場内で再利用できれば、大幅なコスト低減が可能となる。
- 施工機械が大型のため、既設の戸建住宅への適応は不可。

・概略工費:

約4~6万円/m³ (条件によって変動あり)



施工状況



改良体

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	固結	改良工法:	高圧噴射攪拌工法(ジョバスタ工法)
既設・新設への適用性:	既設・新設問わず	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)・戸建住宅

・工法概要:

高圧の噴流で固化材と原地盤を攪拌混合し、地盤を固結させる。液状化対策を主目的として開発された工法。

・特徴:

- 小口径のボーリング孔から大口径の改良体を造成できる。
- 低騒音・低振動。地盤の変状を起こさない。

・留意点:

- 施工時に発生する余剰固化材の処理が必要。
- 施工機械が大型のため、既設の戸建住宅への適応は不可。
- 液状化対策に特化し開発された技術のため、止水性は有していない。

・概略工費:

約3~4万円/m³ (条件によって変動あり)



施工状況



タイプI (φ2.2~2.5m)

改良体

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	固結	改良工法:	高圧噴射攪拌工法(ジェットカット工法)
既設・新設への適用性:	既設・新設問わず	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)・戸建住宅

・工法概要:

高圧の噴流で固化材と原地盤を攪拌混合し、地盤を固結させる。高性能な設備を開発し、小型化に成功した。

・特徴:

- 小型機械のため人力移動を可能とし、**戸建住宅の施工が可能**。
- 改良直径・強度を任意に設定できる。
- 砂質土・粘性土どちらにも対応可能。
- 低騒音・低振動。地盤の変状を起こさない。

・留意点:

- 施工時に発生する余剰固化材の処理が必要。
- 現場内で再利用できれば、大幅なコスト低減が可能となる。

・概略工費: 約3~4万円/m³(条件によって変動あり)



施工状況



改良体

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	固結	改良工法:	DJM
既設・新設:	新設地盤のみ	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)・戸建住宅

1. 工法概要

DJM(Dry Jet Mixing:粉体噴射攪拌)工法は軟弱地盤中に粉粒体の改良材を供給し、攪拌により原位置土と攪拌混合することで土と改良材を化学的に反応させて、土質性状を安定なものにし強度を高める工法である。近年では、拡大径(EX-DJM)および高強度・低改良率(HL-DJM)による工法も開発・実用化されている。

○特徴

- 土質性状と必要強度に応じて、改良材の種類と投入量を任意に設定可能。また、改良材と土を攪拌混合するので、自然含水比の高い超軟弱土(有機質土)等では強度発現性が良い。
- 改良材を面的に散布し、続いて回転翼により攪拌するため、改良材の分布のばらつきが少なく、広範囲の改良強度を任意に選定することができる。
- 水を使用しないので現場をきれいに保つことができ、改良地盤の盛り上がりほとんどないため、残土処理の必要がない。

2. 施工法

適用地盤および打設深度によって最適機種を選定する。

○施工フロー



○施工機械



3. 設計/施工上の留意点

○環境適用性

改良材の搬入から施工中の噴射にいたるまで、クローズなシステムを採用しているため、粉塵の発生がない。また、騒音、振動の少ない静かで安全な工法である。

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類	固結	改良工法	エフツインジェット工法
既設・新設	新設地盤のみ	主たる対象	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

1. 工法概要

超小型施工機あり

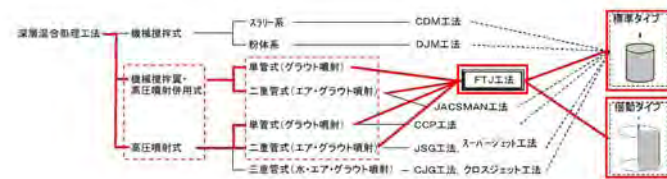
エフツインジェット工法は、地中で回転する機械翼の先端から2流線の超高压セメントスラリーを噴射し、対象地盤を切削しながら攪拌混合を行う高压噴射攪拌工法である。

エフツインジェット工法は、自走式杭打ち機を使用した機械攪拌翼・高压噴射併用式を標準とするが、ボーリングマシンを使った高压噴射式も施工可能である。また、単管式(グラウト噴射)と二重管式(エア・グラウト噴射)を用途と目的に応じて使い分けすることができる。

近年は、揺動ジェット方式の採用により扇形状に改良体を造成することも可能である。



2流線高圧噴射

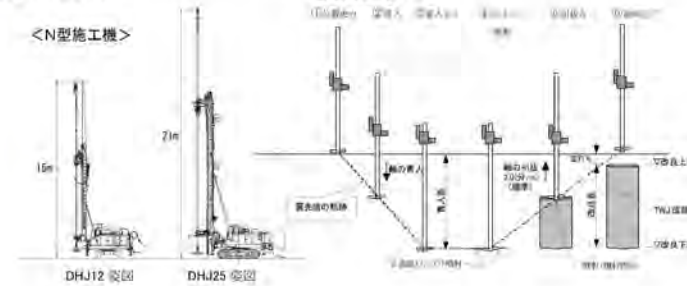


2. 施工法

○施工機械

<N型施工機>

○施工フロー



3. 設計/施工上の留意点

エアを使用しない施工仕様では、施工時の周辺地盤の変形に留意する必要がある。

○特徴

- ・従来のボーリングマシン(S型施工機)に加えて、自走式小型杭打ち機(N型施工機)など、施工条件に対応した施工機を選べる。特に、自走式小型杭打ち機は、機動性に富む。
- ・2流線で高压噴射を行うことで、従来の高压噴射工法より高速化施工が可能で、しかも大口径の改良体が造成できる。
- ・改良体の造成を確実にを行うため、深度と噴射流量をシステム管理装置にて管理できる。
- ・山留め壁などの構造物と地盤改良体の間詰め対応を始めとする幅広い用途や改良目的に適用できる。
- ・地盤改良の対象となる緩い砂地盤、軟弱な粘土地盤に適用可能である。
- ・単管式(グラウト噴射)と二重管式(エア・グラウト噴射)を用途と目的に応じて使い分けすることができる。単管式は、泥土の排出が少なく、水中施工も可能。二重管式では、周辺地盤、構造物への変位影響が小さい。
- ・従来の円形改良体の他に、揺動式の採用により扇形の改良体の施工が可能である。



S型施工機

N型施工機

L型施工機

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類	固結	改良工法	JACSMAN
既設・新設	新設地盤のみ	主たる対象	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

1. 工法概要

機械式攪拌(能率は高いが、密着施工・一体化が難しい)と、噴射式攪拌(高い密着性・一体化可能だが、能率が低くコストが高い)の利点を生かすべく、中央部を機械攪拌、外周部を噴射式攪拌として複合した工法が、JACSMAN(Jet And Churning System MANagement: 交差噴流式複合攪拌工法)である。本工法は後述のJAMPS(部分固化方式複合攪拌)工法に適用することが可能である。

○特徴

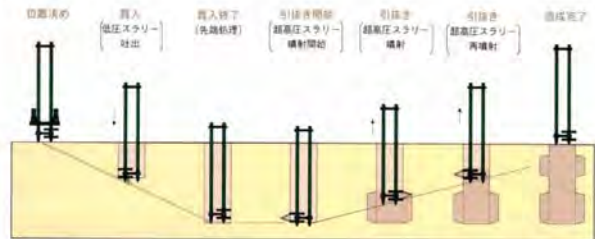
- ・地盤に影響されずに改良体の径を確実に制御できる。
- ・攪拌性能が格段に向上したため、高能率施工が実現し、均一な改良体を造成可能。
- ・既設構造物、あるいは改良体相互の密着施工が確実・容易に実現可能。
- ・大断面(7.2m²)の改良体を造成可能。
- ・交差噴流を噴射、停止することによって、任意の深さで改良体の径を変えることが可能。
- ・必要に応じて改良体の一軸圧縮強さを変更可能。
- ・既設構造物への施工時の影響が軽減。
- ・海上施工が可能(実績多数、エアーを使用しない施工仕様)。

2. 施工法

○施工機械



○施工フロー



※所定の位置に特種攪拌翼下部をセットし、改良材(スラリー)を投入し、密着攪拌と攪拌しながら投入します。

※所定の深さに達したことを確認し、定位置で攪拌を行います。

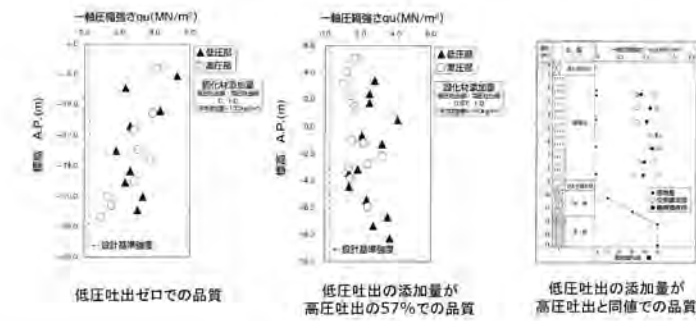
※特種攪拌翼先端からスラリーと改良材の固化材を交差噴射します。

※特種攪拌翼先端を回転させながら引上げます。

※任意の深さで攪拌を完了させ、改良材を移動させます。

3. 設計/施工上の留意点

機械攪拌部と噴射攪拌部の品質は、低圧吐出部の添加量が、高圧吐出部のそれ以下であっても、同等であることが確認されている。そのため、高圧噴射工法であるが、幅広い固化材添加量を選択できる。



液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類	固化	改良工法:	X-jet
既設・新設:	新設・既設地盤	主たる対象:	一般建築物・土木構造物・戸建住宅

1. 工法概要

X-jet(クロスジェット)工法は、交差噴流(上下2段の高精度ノズルから流線が交差するように噴射)により改良径の制御(距離の限定)を行うことで、硬化材、排出物の減量化を図り、均一な材質の改良体の造成を可能とした工法である。交差噴流により切削能力が向上したので、従来の三重管高圧噴射攪拌工法より高速施工、大径化が可能となり、工期短縮・コスト縮減も実現している。

○特徴

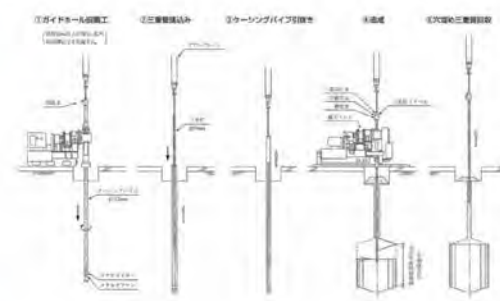
- ・交差噴流方式による一定の改良径(φ2,500mm)
 - ・対象地盤の土質や硬軟等に左右されずに一定の改良径を確保
 - ・無駄な改良を省くことで従来工法より硬化材のロスを低減
- ・高品質な改良体の造成:上下2本の超高压ジェット噴流により細かく地盤を切削
- ・高能率施工による工期の短縮

2. 施工法

○施工機械



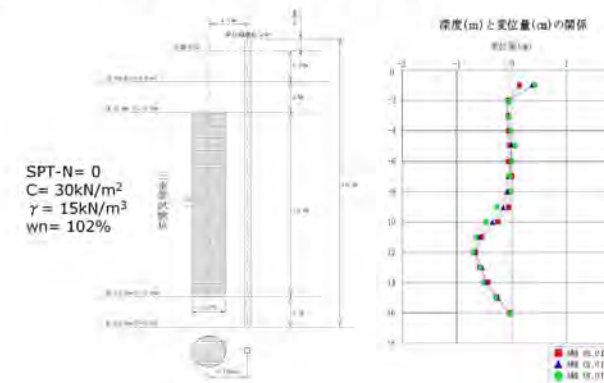
○施工フロー



3. 設計/施工上の留意点

施工時の周辺地盤の変形はほとんど生じない。

以下にX-Jet施工時の周辺地盤変位の測定例を示す。



液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	固結	改良工法:	マルチジェット工法
既設・新設への適用性:	既設・新設適用可	主たる対象:	一般建築物 土木構造物 戸建住宅

①工法概要

自由形状、大口径改良を可能とした高圧噴射攪拌工法の一つ

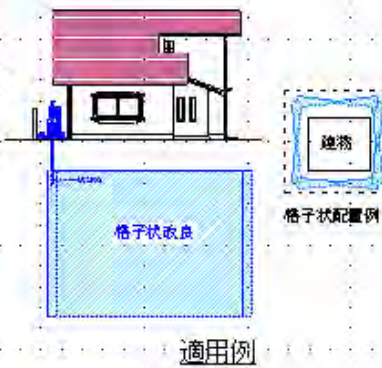
②特徴

- ・自由形状の改良、大口径改良(φ2.0~8.0m)の造成が可能
- ・液状化対策として有効な格子状改良を低コストで行なうことができる
- ・周辺への影響(振動・騒音・変位)が少なく、市街地への適用可能
- ・狭隘部用の小型マシンにより、戸建住宅敷地内での施工も対応可能



③適用にあたっての留意点

- ・造成時にセメント混り排泥が発生するため、別途排泥処分が必要
- ・格子状改良の形状を設定するため、設計地震動・地盤条件をもとに詳細検討が必要
- ・戸建住宅へ適用した場合、塀の一部撤去が必要となる場合がある



④概略工費(直工費)

<格子状改良、排泥処分費別>

改良土量 m³当り: 15,000~25,000円/m³程度

液状化対策工法の体系的整理

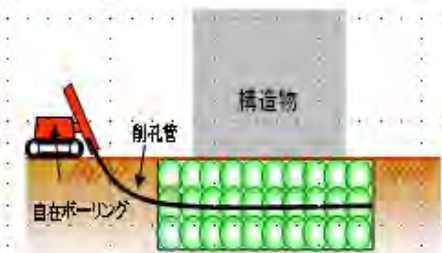
改良原理による分類:	固結	改良工法:	MAGAR工法
既設・新設への適用性:	既設・新設適用可	主たる対象:	一般建築物 土木構造物 戸建住宅

①工法概要

自在ボーリング技術を用いた薬液注入工法

②特徴

- ・既設建物直下の地盤改良が可能
- ・周辺への影響(振動・騒音・変位)が少なく、市街地への適用可能
- ・戸建住宅敷地外から施工を行うため、住民に対して施工時の制限がない



③適用にあたっての留意点

- ・最大削孔延長150mまで(それ以上は、削孔位置の段取り替えが必要)
- ・削孔精度±30cm程度



④概略工費(直工費)

改良土量 m³当り: 40,000~80,000円/m³程度

【液状化対策工法の体系的整理例】(柱状ドレーン工法) グラベルドレーン工法

13

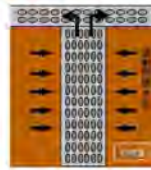
液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類	間隙水圧の消散	改良工法	グラベルドレーン
既設・新設	新設地盤のみ	主たる対象	一般建築物・土木構造物・戸建住宅

1. 工法概要

グラベルドレーン工法は、碎石などの高い透水性を有する材料からなるドレーンを砂質地盤中に打設し、地震時に発生する過剰間隙水圧の上昇を抑制するとともに、消散を高めて地盤の液状化を防止する工法である。

超小型施工機あり

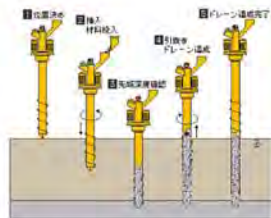


○特徴

- ・施工に伴う地盤変形が極めて小さいので周辺構造物等への影響が非常に少ない。
- ・ドレーンの造成状況を施工管理計で確実に把握しながら施工し、ケーシングパイプ先端に装備した特殊振動体により、連続した密なグラベルドレーンを造成することが可能。
- ・ケーシングパイプを所定深度まで貫入した後、細かくウェーピングすることにより、杭体を拡張し周辺地盤(杭間)のN値を増加させる工法(NUPグラベルドレーン)もある。

2. 施工法

○施工フロー



- ①ケーシングパイプを所定の位置にセットする
- ②ケーシングを回転させ材料を投入しながら所定の深度まで貫入する
- ③所定の深度までケーシングを貫入したことを確認する
- ④ケーシングを回転させて引抜き、ドレーンを造成する
- ⑤完了

○施工機械

