

第5章 液状化対策工法の体系的整理

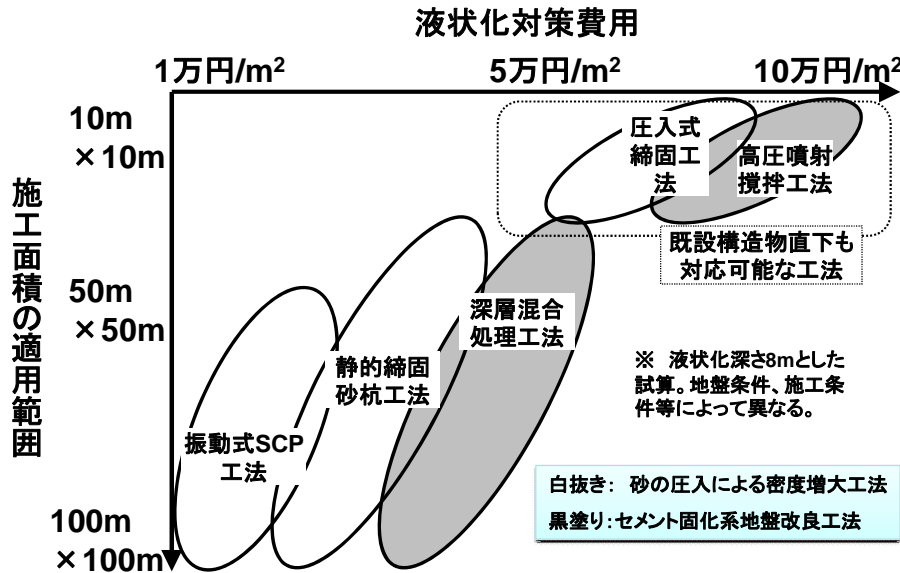
5.1 液状化対策工法の体系的整理

液状化対策工法については、対策費用が施工面積によって変わってくることから、ここではまず、代表的な工法に対して、液状化対策費用と施工面積の適用範囲を整理して図-5.1.1に示した。

同図に示したとおり、各工法ともに施工面積が広くなるに従い対策費用が安価になることが分かる。なお、図-5.1.1に液状化対策工法の体系的整理結果を、またそれ以降には各工法を個票に整理して示した。なお、以下に示したとおり、個票に示した単価比較だけでは対策工は決まらないことに留意する必要がある。

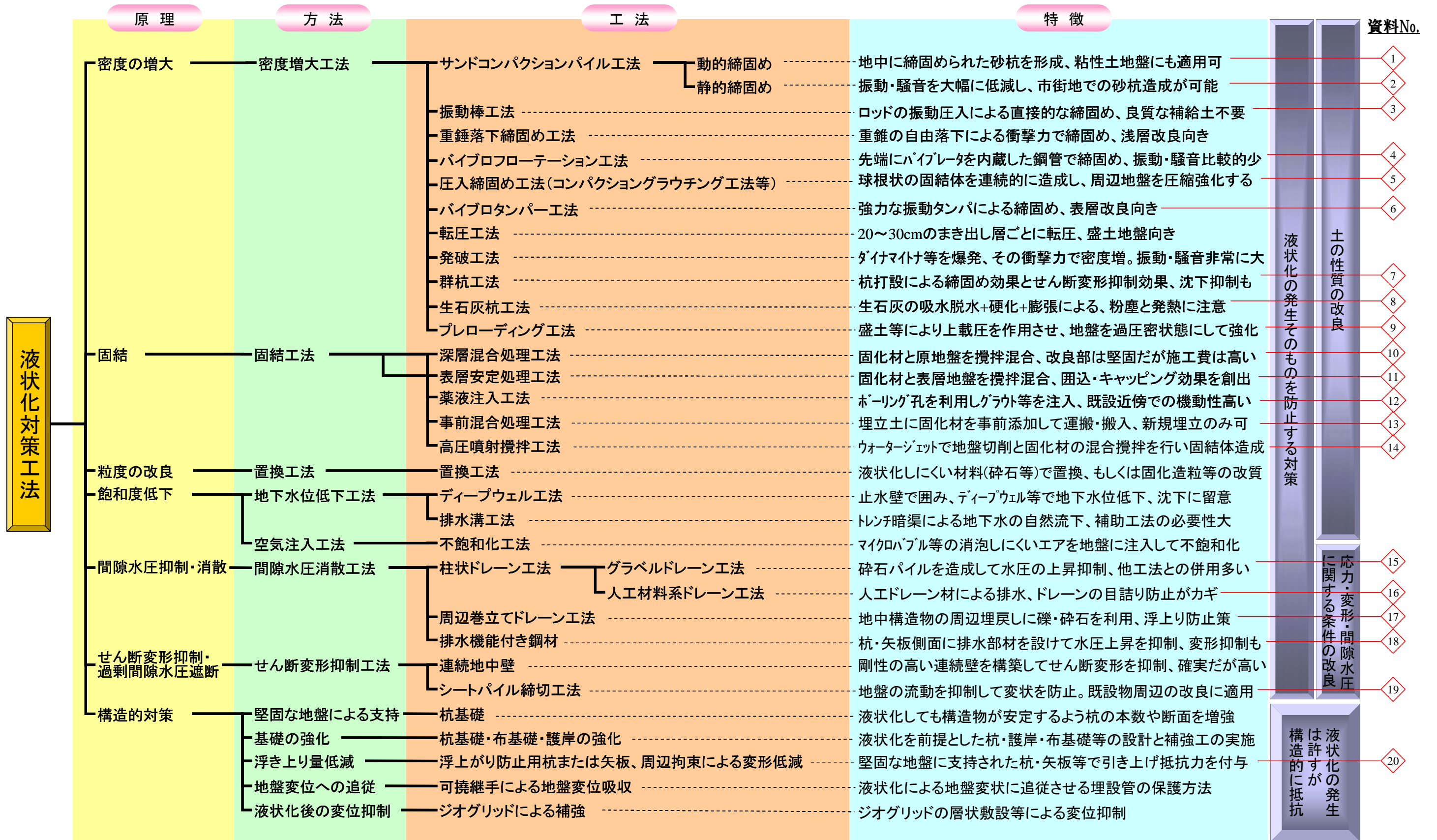
- ①改良率によって対策効果が変わる。
- ②最適な改良率(杭式のものについては打設間隔や本数)は、各工法によって異なる(特に杭式ものは施工本数)。
- ③いずれの工法も限られた条件下でしか施工できないわけではない。
- ④施工機械等の改良によって、適用範囲には幅を持たせることはできるがその工法の標準的な施工範囲を超えると割高となる。
- ⑤固化系と杭改良率を定めて、面的に改良する工法と杭のように改良長によって改良効果を期待する工法がある。

また、個票に整理した工法を、「新設地盤に適用可能な工法」「既設地盤に適用可能な工法」「適用可能な工法」に分類して表-5.1.1～表-5.1.3に示した。



出典: JGS関東支部・「造成宅地の耐震対策検討委員会資料」を加筆・修正

図-5.1.1 液状化対策費用と施工面積の適用範囲



※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

図- 5.1.1 液状化対策工法の体系的整理結果

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ができ、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

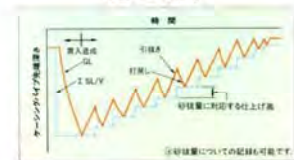
通常は、低周波バイブロハンマ(V-75、V-120)、クローラクレーン(35~45トン吊り)をベースに施工を行うが、長尺用または岩砕地盤のような貫入抵抗が大きい場合には、大型バイブロハンマ(V-180)、ウォータージェットおよびジェットカッターなどの各種貫入補助装置の搭載も可能である。

○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。

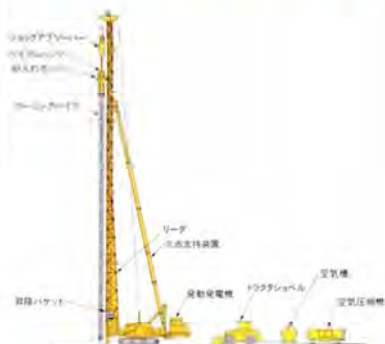


施工順序



施工記録例

- ①ケーシングを所定の位置に据える
- ②バイブロハンマを起動しケーシングパイプを地中に貫入する
- ③所定深度に達すると、ケーシングパイプ内に一定量の砂を投入する
- ④ケーシングパイプを規定の高さに引き上げながら、ケーシングパイプ内の砂を圧縮空気を使用しながら、排出する
- ⑤ケーシングパイプを打戻し、排出した砂柱を締固める
- ⑥④~⑤を繰り返し、所定の深さまで砂杭を造成する



3. 設計/施工上の留意点

陸上コンポーザー工法は貫入時・砂杭造成時にバイブ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SAVE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

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。本工法の名称として用いたSAVEとは「Silent, Advanced Vibration-Erasing」の略である。

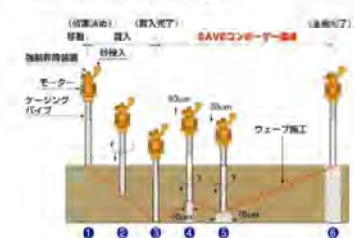
○特徴

- ・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ることができるので、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他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



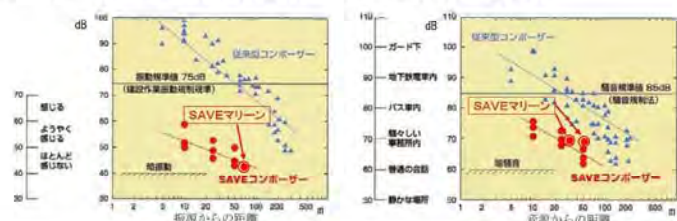
- ①ケーシングパイプを所定位置に据え、一定量の砂を投入する
- ②ケーシングパイプを回転させながら地中に貫入する
- ③所定深度まで貫入する
- ④ケーシングパイプを規定の高さから引き上げながら、ケーシングパイプ内の砂を排出する
- ⑤ケーシングパイプを打戻し、排出した砂と周囲の地盤を締固める
- ⑥④⑤を細かく繰り返して拡径するウェーブ施工により、SAVEコンポーザーを造成する

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。



SAVEコンポーザー

4. 概略工費

- ・標準施工能力115~145m/日
- ・概算標準工事費7,000~8,000円/m

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マリン単装船 (船体寸法32m×13m×喫水1.3m)



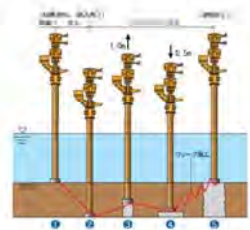
写真-3 民家近接施工状況

○特徴

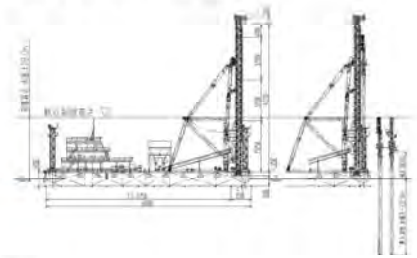
- ・無振動、低騒音工法であり、周辺環境へ与える影響が少ないため、既設構造物に近接した施工が可能である。
- ・従来のサンドコンパクションパイル工法と同様の改良目的に使用でき、同等の効果が得られる。
- ・砂質土のみならず、粘性土などさまざまな地盤に適用できる。ただし、粘性土地盤に適用する場合の改良率に対しては留意が必要である。
- ・管理システム「CONOS」を使用することにより、確実な砂杭の造成と信頼性の高い施工管理ができる。
- ・砂杭打設時に、搭載しているスパッドで船体を固定できるので、航路に近接して施工の場合、一般船舶航行時には一時的にアンカーワイヤーを緩めることで航路の水深を満足することができる。
- ・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:	密度の増大	改良工法:	SDP-N工法(静的締固め工法)
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

サンドコンパクションパイル工法(SCP工法)と同様に地盤を締固めることによって地盤を改良する工法ですが、SCP工法がケーシングの貫入や砂杭造成に動的なバイロハンマーの振動エネルギーを使用するのに対して、SDP-N工法は静的エネルギーを使用するため、低振動・低騒音で施工することができます。

②特徴

1. 周辺環境への配慮

バイロハンマーを使用せず低振動・低騒音で施工できるため、市街地での施工や既設構造物に対する振動・騒音の影響が振動式SCP工法に比べて格段に小さい工法です。

2. 高品質な改良効果

ケーシングパイプの先端周辺に取り付けてある特殊機能を備えた地盤掘削翼等により、ケーシングパイプ直下の土砂を崩壊させながら、崩壊した土砂を下方に押し込むことなく、強制的に削孔壁に押し付けることができるため、杭間地盤の締固め効果の向上が期待できます。

3. 資源の有効利用

再生砕石等のリサイクル材を改良材として有効利用できます。



SDP-N工法(静的締固め工法)

③適用にあたっての留意点

- ・打設深度30mまで
- ・造成杭径φ700mm
- ・現地盤N値20まで
- ・転石、コンクリートガラ、その他地中障害物が存在する場合には障害物撤去。
- ・既設構造物近傍での施工は、施工中の動態観測を十分に行う必要がある。
- ・改良対象地盤の中間にN値20を超える層が厚い場合には、先行削孔または貫入補助装置が必要。
- ・打設長25mを超える場合は、現地盤土性とオーガモータの能力の検討が必要。

④概略工費

標準施工能力: 8.5本/日(φ700mm, 造杭長L=15m)
概算標準工事費: 72,200円/本(材料費を含まない施工費のみ)



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(吸水型振動締固め工法)
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

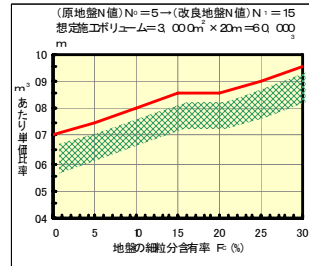
液状化対策工法として従来から行われている振動棒締固め工法(ロッドコンパクション)に吸水機構を付加した工法。吸水することでロッド加振時に発生する過剰間隙水圧の消散が図れ、ロッドの振動エネルギーを確実に地盤に伝達させることが可能となり、締固め改良効果が飛躍的に向上します。本工法の採用により施工ピッチが拡大できるので、工期短縮とコストダウンが実現されます。



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、周辺への押し出し水平変位が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(現地土の転用が可能)

参考資料【既存工法に対するコスト比率の試算例】



③ 適用にあたっての留意点

- ・振動、騒音が発生するため、市街地での適用には20m以上の離隔と対策が必要
- ・大型汎用機による施工のため、既存の戸建住宅地への適用には不適

④ 概略工費(直工費)

- ・地盤の細粒分含有率や改良仕様(N値増分量)によって変動する。従来工法に対する改良1m³あたりの概略施工単価の低減率は右図を参照

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

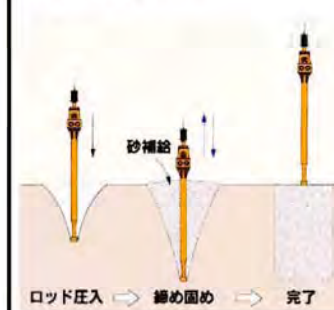
パイプロロッド工法は、パイプロハンマーに接続した各種の特殊圧入ロッドを上下に振動させ圧入することによって、ゆるい砂地盤を締め固める工法である。ロッド先端および側面の突起の相違により区分され、鋼管を使用するNFコンパクション工法とH型钢を使用するKFコンパクション工法の2つのタイプがある。

○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、その他に砕石・スラグなどの各種材料を用いることができる。

2. 施工法

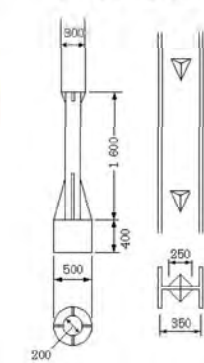
○施工フロー



○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。

パイプロロッド

4. 概略工費

- ・標準施工能力200~280m/日
- ・概算標準工事費1,500~2,200円/m

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:	バイプロフローテーション工法
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: 水平振動と水締め効果とを利用して地盤強化を図る地盤改良工法。海外では一般的にストーンコラム工法とも呼ばれる。

・特徴: 装置が簡単で工費も比較的安い。

・適用にあたっての留意点: 振動が伝わるので、場所によっては振動低減対策が必要。大量の水を使い現場が水浸しになるので、その対策も必要。また、液状化対策としての実績(実際の地震を受けてその効果を実証した事例)がほとんどなく、効果は未知数。材料を先端から入れるタイプもあるが、碎石のみ使用可能で、砂は使えない。



・概略工費:

標準施工能力: 140m/日

2,510円/m(材料費除く直工費)

※参考文献: 地盤工学会: 地盤工学・

実務シリーズ18, 液状化対策工法, 2004

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:	圧入締固め工法(コンパクショングラウチング工法)
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

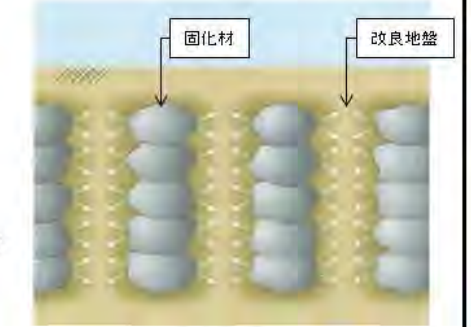
無振動・無騒音。新設・既設ともに対応可。

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。

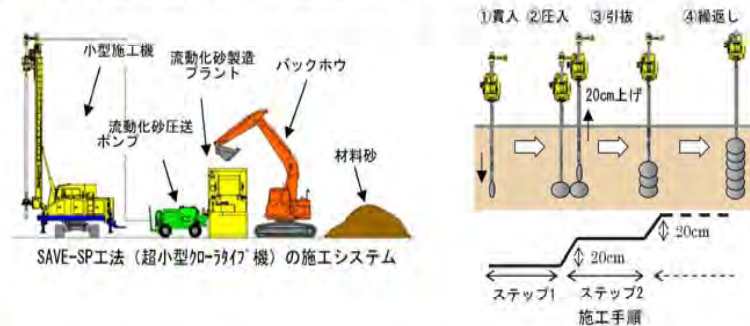
○特徴

- (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。

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プロドリルを用いることで、斜め施工にも対応可能である。



施工システム全景



圧送される材料砂の状態

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

改良原理による分類:	密度の増大	改良工法:	パイプロタンパー工法
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: 強力な起振機とタンパー(4~9m²の鋼製板)を組み合わせ、表層より3~5mの地盤を締め固める工法である。
- ・特徴: クローラークレーンがあればタンパー装置を吊り下げるだけで施工可能であり、一般的に安価で工期も短い。
- ・適用にあたっての留意点: 振動が伝わるので、場所によっては振動低減対策が必要。また、事前に試験施工を行い、施工方法(振動時間、ラップ幅など)を決定する方がよい。

・概略工費:

標準施工能力: 400~1,000m²/日

概算標準工事費:

※参考文献: 地盤工学会: 地盤工学・実務シリーズ18, 液状化対策工法, 2004



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。

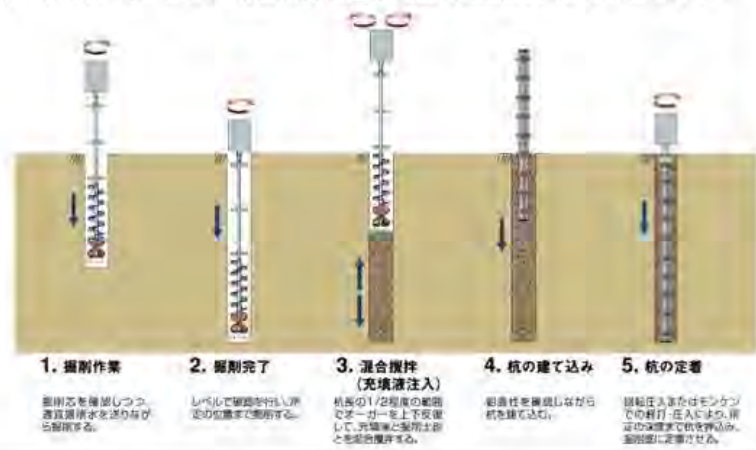
節杭はもともと周囲に砂利を充填しながら打ち込む工法であり、この場合は地盤が締め固められることや杭周の砂利がドレーン材として作用することなどから、液状化防止効果が注目されていた。しかし、これらの効果があまり期待できない埋込み工法で摩擦杭として用いられても、前述のように液状化地域で無被害であった。この理由として、多数の杭により地盤のせん断変形が抑制されること、構造物の荷重で地盤の上載圧が増えること等があげられる。

・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)



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壌にも有効である。
- ・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）

施工順序

施工機特性

施工機構造

用途

●液状化防止、杭の水平抵抗増大、支持力増大

●液状化防止、上下液状、支持力増大

●液状化防止、掘削土向上

●液状化防止、上下液状

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:	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存在する場合には、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り、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。

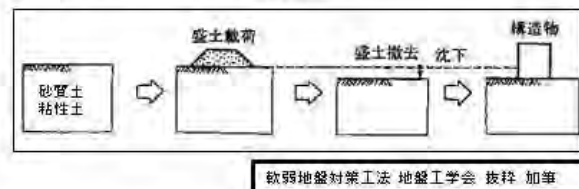
・効果の実証事例

ポート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】



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

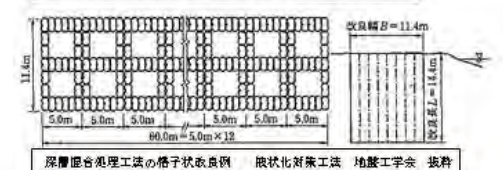
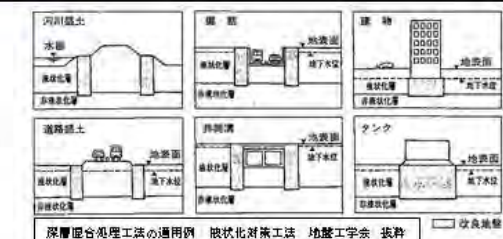
- ・細粒分の多い砂質土地盤にも有効である。
- ・支持力やすべり抵抗も向上が図れ、縁切工としても利用される。
- ・低振動、低騒音の施工が可能である。
- ・互層地盤の改良も可能である。
- ・幅広い強度の改良体が得られる。
- ・格子状の改良形状(50%)で格子内の未改良部の液状化が抑制できる。

・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:	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。

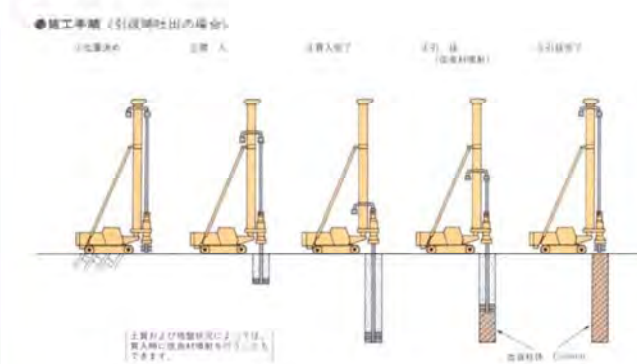
○特徴

- ・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。

DJM工法

4. 概略工費

標準施工能力20~30本/日

概算標準工事費6,800円~11,800円/m³

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

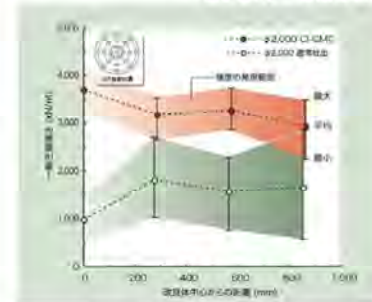
エアリフト効果により、周辺の変位を大幅に低減できる。

超小型施工機あり

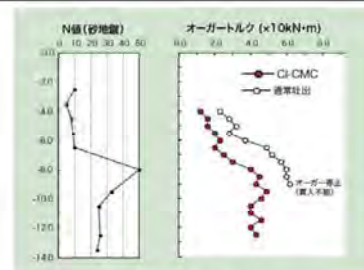


エジェクター吐出

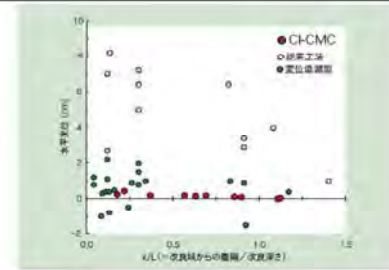
エジェクター吐出機構



高品質な大径杭



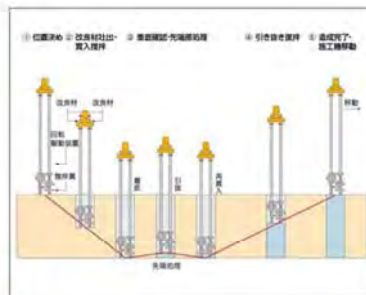
優れた貫入能力



低変位工法

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。

CI-CMC工法

4. 概略工費

・標準施工能力330m³/日

・概算標準工事費5,000~8,000円/m³

液状化対策工法の体系的整理

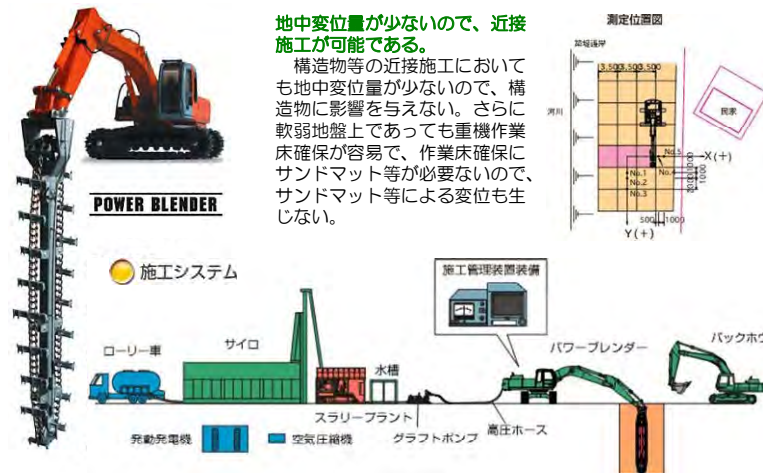
改良原理による分類:	固結	改良工法:	パワーブレンダー工法(表層安定処理)
既設・新設への適用性:	既設地盤も適用可	主たる対象:	一般建築物(土木構造物)戸建住宅

①工法概要

パワーブレンダー工法とは、セメント・セメント系固化材などの改良材をスラリー状に混練後、地中に噴射し原位置土と改良材を強制的に攪拌混合し、固化することを目的とした浅層・中層地盤改良工法です。パワーブレンダーは、ベースマシンにトレンチャー型攪拌混合機を装備した地盤改良専用機で、トレンチャーに装着された攪拌翼で、原位置土をきめ細かに切削し改良材と攪拌混合し均一な改良地盤の造成が可能です。

②特徴

- 1 改良深さは、13mまで対応可能である。
- 2 攪拌効率が高く、改良強度のバラツキが少ない。
- 3 機動性に優れている。
- 4 改良強度の設定が広範囲で、多くの土質に適用可能である。
- 5 信頼度の高い施工管理が可能である。
- 6 構造物等に対する近接施工が可能である。
- 7 施工中の騒音・振動が低い。

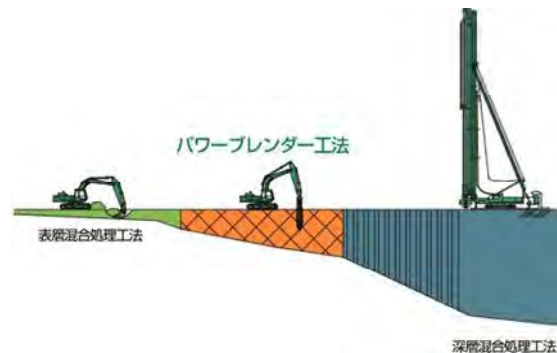


地中変位量が少ないので、近接施工が可能である。
 構造物等の近接施工においても地中変位量が少ないので、構造物に影響を与えない。さらに軟弱地盤上であっても重機作業床確保が容易で、作業床確保にサンドマット等が必要ないので、サンドマット等による変位も生じない。

③適用にあたっての留意点

1~13mの浅層・中層の地盤改良に最適であり、改良深度に応じて他の機械攪拌工法との比較・選定が必要となる。

改良深度	1m	3m	13m
機械攪拌工法			
表層混合処理工法		(スタビライザ・バックホウ攪拌など)	
パワーブレンダー工法			
深層混合処理工法			



④概略工費

《スラリー噴射方式》

- ・標準施工能力40m³/hr
- ・概算標準工事費2,900円/m³(材料・仮設除く)

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:

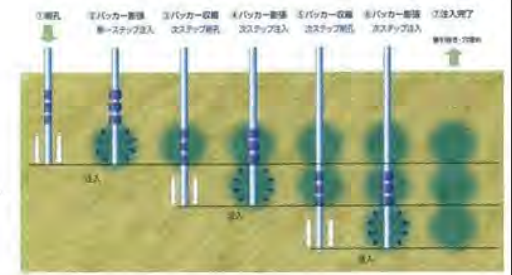
- 小口径のボーリング孔で改良体を造成できる。
- パッカーを使用し、薬液の逸散を防止する。
- 施設を稼働させながらの施工が可能。
- 低騒音・低振動。

・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)



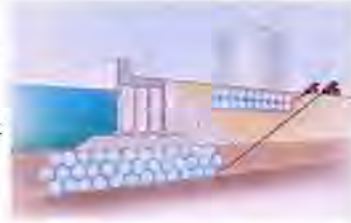
施工模式図
(海底トンネル直下)

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(リレーングラウト工法)
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) 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(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:

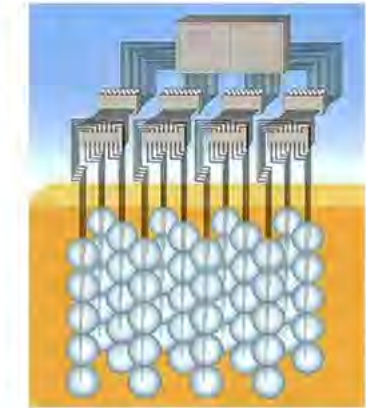
地盤内に長期の耐久性を有する薬液を注入し、地盤を固結させる。大量の注入ノズルを立体的に配し、各ノズルから低吐出・低圧で注入を同時に行う。

・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

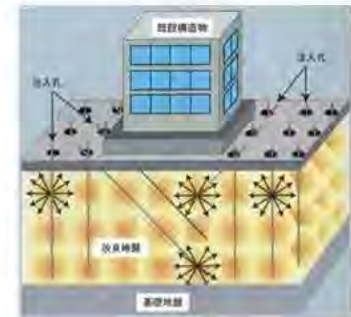
改良原理による分類:	固結	改良工法:	薬液注入工法(浸透固化処理工法)
既設・新設への適用性:	既設・新設問わず	主たる対象:	一般建築物・土木構造物・戸建住宅

・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。



模式図

・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。

・概略工費

標準施工能力4.8m³/日
概算標準工事費15,000~20,000円/m³(直工費)

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:	事前混合処理工法
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

土砂にセメント等の安定材と分離防止剤を事前に添加・混合し、新材料に処理した後、所定の場所に運搬・投入してそのまま安定した地盤を造成する工法。

・特徴

- 1) 裏埋土、浚渫土砂のリサイクル・再利用が図れる
- 2) 振動・締め固め工法と比較して騒音・振動が小さい
- 3) 処理地盤の強度をある範囲内で任意に設定できる

・適用にあたっての留意点

- 1) 水質への影響など環境問題に配慮する必要がある
- 2) 新規の埋立地盤や掘削・置換え地盤に適用が限定される
- 3) 使用する土砂の種類による改良効果の差と強度発現にばらつきがある

・概略工費(直接工事費)

2,500円/m³

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。

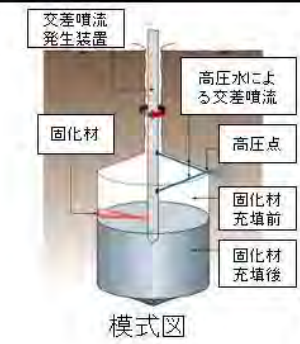
・特徴:

- 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。

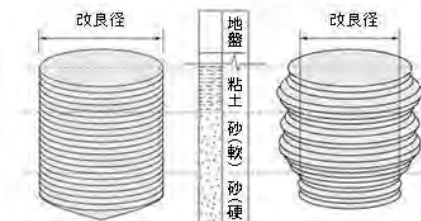
・留意点:

- 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(ジオバスタ工法)
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(ジェットクリート工法)
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:	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:	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

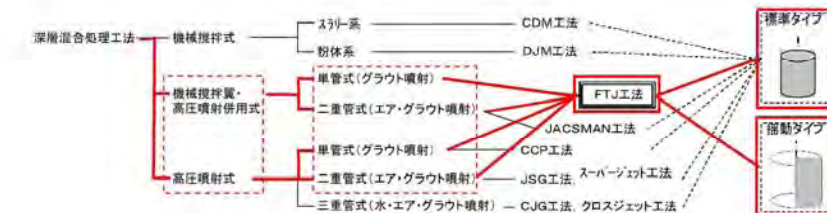
エフツインジェット工法は、地中で回転する機械翼の先端から2流線の超高圧セメントスラリーを噴射し、対象地盤を切削しながら攪拌混合を行う高圧噴射攪拌工法である。

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・高圧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圧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



○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流線で高圧噴射を行うことで、従来の高圧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



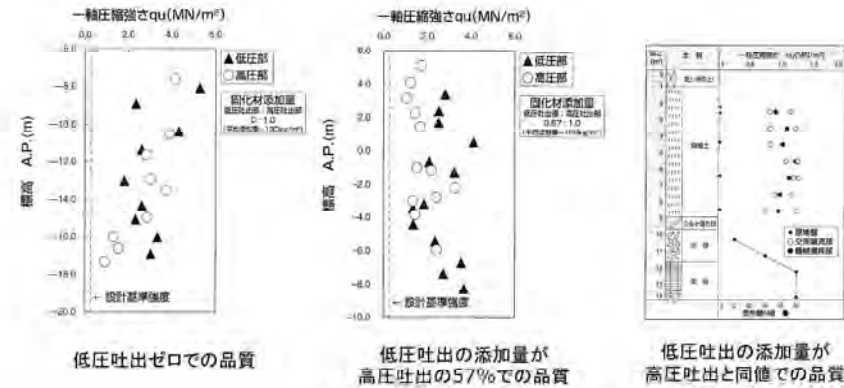
N型施工機



L型施工機

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。



JACSMAN工法

4. 概略工費

標準施工能力200~400m³/日

概算標準工事費10,000円~40,000円/m³

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

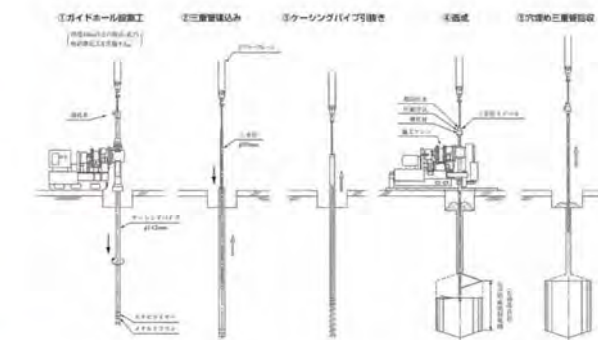
- ・交差噴流方式による一定の改良径(φ2,500mm)
 - ・対象地盤の土質や硬軟等に左右されずに一定の改良径を確保
 - ・無駄な改良を省くことで従来工法より硬化材のロスを低減
- ・高品質な改良体の造成: 上下2本の超高圧ジェット噴流により細かく地盤を切削
- ・高能率施工による工期の短縮

2. 施工法

○施工機械

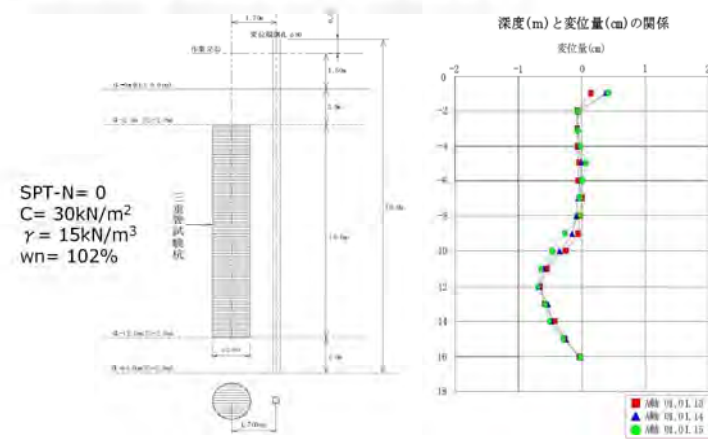


○施工フロー



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。



X-Jet工法

4. 概略工費

標準施工能力60m³/日・台
概算標準工事費70,000円/m³

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

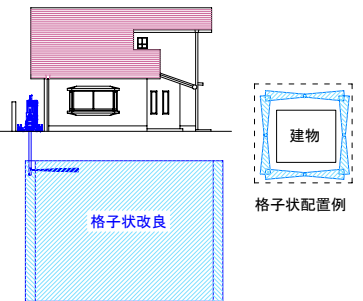
② 特徴

- ・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



適用例

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

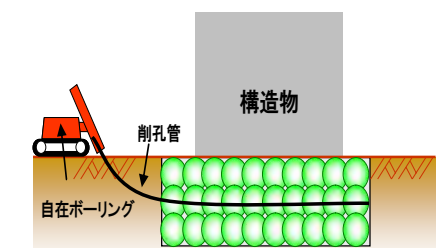
改良原理による分類:	固結	改良工法:	MAGAR工法
既設・新設への適用性:	既設・新設適用可	主たる対象:	一般建築物 土木構造物 戸建住宅

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

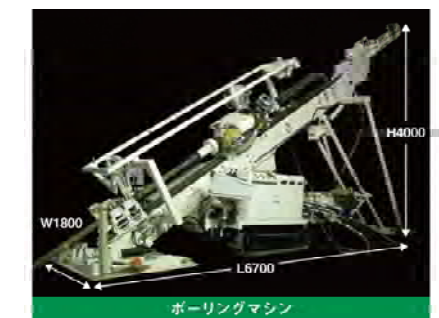


③ 適用にあたっての留意点

- ・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



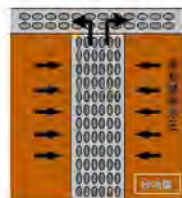
液状化対策工法の体系的整理

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

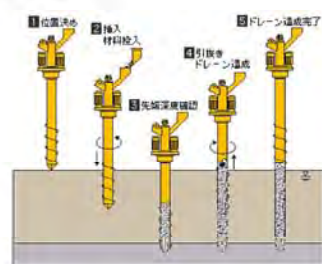


○特徴

- ・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



グラベルドレーン工法

4. 概略工費

標準施工能力133m/日

概算標準工事費5,600円/m

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	間隙水圧消散・締固	改良工法:	締固め砕石ドレーン工法
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

砂質地盤中に高い透水性を有する砕石柱(ドレーン)を低騒音・低振動で打設し、その過剰間隙水圧消散効果と、ドレーン周辺地盤の締固め効果の複合効果によって液状化防止を図る工法。



施工写真

・特徴

- 1)低騒音・低振動工法であるため、施工時に周辺へ与える影響は比較的少ない
- 2)周辺地盤からの間隙水圧の伝播を遮断する効果がある
- 3)締固め効果により周辺地盤のN値が増加する

・適用にあたっての留意点

- 1)改良深度は25m程度
- 2)N値25程度以上の砂質土層(層厚2m程度以上)が存在する場合、別途、先行削孔等の補助工法が必要である

・概略工費(直接工事費)

ドレーン長1mあたり、5,400円 (ドレーン間隔:1.2m 別途グラベルマット敷設他の費が必要)

液状化対策工法の体系的整理

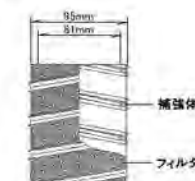
改良原理による分類:	間隙水圧消散	改良工法:	DEPP工法 [スパイラルドレーン工法・グリッドドレーン工法]
既設・新設への適用性:	主に新設地盤	主たる対象:	一般建築物 土木構造物 戸建住宅

・工法概要

砂地盤中に、合成樹脂製のドレーンを所定の間隔で鉛直に設置することによって、地震時に発生する過剰間隙水をドレーン内に早期に流入させ、過剰間隙水圧の上昇を抑制する液状化防止工法。
ドレーン材として、円形断面のドレーン材および矩形断面のドレーン材の2種類がある。

・特徴

- 1)圧入方式でドレーン材を打設するために低振動・低騒音の施工が可能
- 2)ドレーン材が軽量なために小型の機械で施工が可能、斜め削孔が可能
- 3)ドレーン材の打設時に掘削残土が発生しない



円形断面ドレーン

・適用にあたっての留意点

- 1)N値 ≥ 15 の硬質な層がある場合、水ジェット装置の併用が必要がある
- 2)排水マットから水、空気をスムーズに排出するために空気抜き穴を設置する必要がある
- 3)打設間隔は、グラベルドレーン工法と比較して狭くなる



矩形断面ドレーン

・概略工費(直接工事費)

ドレーン長1mあたり 2,000円 (ドレーン間隔:0.5m 別途グラベルマット敷設他の費が必要)

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	間隙水圧消散	改良工法:	ドレーンパイプ工法
既設・新設への適用性:	主に新設地盤	主たる対象:	一般建築物 土木構造物 戸建住宅

・工法概要

砂地盤中に直径10cmほどのポリエチレン製穴あき耐圧パイプ(ドレーンパイプ)を設置し、地震時に発生した間隙水圧をドレーン内に流入させ、間隙水圧の上昇を抑制する液状化防止工法。

・特徴

- 1)低振動・低騒音工法であり、周辺環境への影響が少ない
- 2)ドレーン材が軽量なために小型の機械で施工が可能、斜め削孔が可能
- 3)ドレーン材の打設時に掘削残土が発生しない



ドレーンパイプ

・適用にあたっての留意点

- 1)改良深度はGL-20m程度
- 2)打設間隔は、グラベルドレーン工法と比較して狭くなる

・概略工費(直接工事費)

ドレーン長1mあたり 2,400円 (ドレーン間隔:0.6m 別途グラベルマット敷設他の費が必要)

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	間隙水圧消散	改良工法:	アースドレーン工法
既設・新設への適用性:	新設地盤・既設地盤	主たる対象:	一般建築物 土木構造物 戸建住宅

・工法概要

人工ドレーン材(ポリプロピレン樹脂製)をマンホール等の地下構造物周辺に設置し、地震時に発生する過剰間隙水圧を消散させ、液状化を抑制する工法。主にマンホール等の地震時の浮上り対策として利用されている。

・特徴

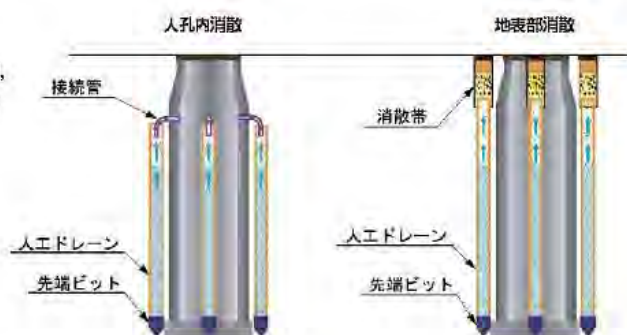
- 1) 施工機械がコンパクトで扱いが容易であり、作業範囲(2.5m×2.5m)が制約された場所での施工が可能
- 2) 施工時の騒音・振動が少ない

・適用にあたっての留意点

- 1) 施工に際し、地下埋設物の確認が必要
- 2) 適用深度は、GL-10mまで

・概略工費(直接工事費)

ドレーン長1m当たり 8,000~15,000円 (別途、頭部処理、仮設、付帯工他の費用が必要)



液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	間隙水圧抑制・消散	改良工法:	排水機能付き鋼材
既設・新設:	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

対象とする構造物や建築物を排水機能付き鋼矢板で締切ることにより液状化を抑制する。

・特徴

- ・排水部材内が中空であるため、過剰間隙水圧逸散性に優れる。
- ・地震時、強度・剛性をもつ鋼材が地盤の液状化を防止し、拘束するので地盤の変状防止に有効。

・留意点 など

排水機能付き鋼矢板と通常の鋼矢板の使い分けを考慮する必要がある。

・概略工費

戸建住宅の建坪を30坪と仮定し特別な障害や条件がなければ 1500~2000万円/軒 程度

液状化対策用鋼材HDP (SMハイドレールパイル)

鋼矢板・鋼管杭に排水部材を一体化した鋼材で通常の機材で施工可能です。



ハイドレールパイル (HDP) の施工状況



住友金属工業株式会社 パンフレット より

液状化対策工法の体系的整理

改良原理による分類:	せん断変形抑制・過剰間隙水圧遮断	改良工法:	シートパイル締切工法
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
対象とする構造物や建築物を鋼矢板で締切ることにより液状化を抑制する。

・特徴
右図参照

・留意点 など
非液状化層まで鋼矢板を打ち込む設計法しか存在しないが、「短尺の鋼矢板であっても効果があり」との報告もある。

・概略工費
戸建住宅の建坪を30坪と仮定し特別な障害や条件がなければ 1000万円/軒 程度

新日本製鐵株式会社 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:	構造的対策	改良工法:	浮き上り防止用鋼矢板
既設・新設:	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
対象とする構造物や建築物を鋼矢板で締切ることにより液状化による浮き上りを抑制する。

・特徴
右図参照

・留意点 など
シートパイル締切り工法と同一の設計手法で用いられる。

・概略工費
戸建住宅の建坪を30坪と仮定し特別な障害や条件がなければ 1000万円/軒 程度

鋼管杭・鋼矢板技術協会パンフレット 抜粋

表- 5.1.1 新設地盤に適用可能な工法(1)

新設地盤に適用可能な工法

- 1 サンドコンパクションパイル工法
- 2 SAVEコンポーザー工法
- 2 SAVEマリン ※土木構造物・護岸を対象
- 2 SDP-N工法
- 3 SIMAR(吸水型振動締固め工法)
- 4 バイブロロッド
- 4 バイブロフローテーション
- 5 圧入締固め工法(コンパクショングラウチング工法)
- 5 SAVE-SP
- 6 バイブロタンパー工法
- 7 群杭工法 ※一般建築物を対象
- 8 生石灰杭工法
- 9 プレローディング工法
- 10 深層混合処理工法
- 10 DJM

表- 5.1.1 新設地盤に適用可能な工法(2)

- 10 CI-CMC
- 11 パワーブレンダー工法
- 12 ニューマックス工法
- 12 カーベックス工法
- 12 バルーングラウト工法
- 12 浸透固化処理工法
- 12 超多点同時注入工法
- 13 事前混合処理工法 ※土木構造物対象
- 14 クロスジェット工法
- 14 ジオパスタ工法
- 14 ジェットクリート工法
- 14 スーパージェット工法
- 14 エフツインジェット工法
- 14 JACSMAN
- 14 X-jet
- 14 マルチジェット工法

表- 5.1.1 新設地盤に適用可能な工法(3)

- 14 MAGAR工法
- 15 グラベルドレーン
- 16 締固め砕石ドレーン工法
- 16 DEPP工法(スパイラルドレーン工法・グリッドドレーン工法)
- 16 ドレーンパイプ工法
- 17 アースドレーン工法(周辺巻立ドレーン工法)
- 18 排水機能付鋼材
- 19 シートパイル締切工法
- 20 浮き上り防止用鋼矢板

表- 5.1.2 既設地盤に適用可能な工法(1)

既設地盤に適用可能な工法

- 2 SAVEマリン ※既設護岸が対象
- 5 圧入締固め工法(コンパクショングラウチング工法)
- 5 SAVE-SP ※斜め打設
- 11 パワーブレンダー工法
- 12 ニューマックス工法
- 12 カーベックス工法
- 12 バルーングラウト工法
- 12 浸透固化処理工法
- 12 超多点同時注入工法
- 14 クロスジェット工法
- 14 ジオパスタ工法
- 14 ジェットクリート工法
- 14 スーパージェット工法
- 14 X-jet
- 14 マルチジェット工法

表- 5.1.2 既設地盤に適用可能な工法(2)

- 14 MAGAR工法
- 17 アースドレーン工法(周辺巻立ドレーン工法)
- 18 排水機能付鋼材
- 19 シートパイル締切工法
- 20 浮き上り防止用鋼矢板

表- 5.1.3 宅地に適用可能な工法

宅地に適用可能な工法

- 2 SAVEコンポーザー工法 ※超小型施工機を使用
- 5 圧入締固め工法(コンパクショングラウチング工法)
- 5 SAVE-SP ※超小型施工機を使用
- 9 プレローディング工法
- 10 CI-CMC ※超小型施工機を使用
- 11 パワーブレンダー工法
- 12 カーベックス工法
- 12 バルーングラウト工法
- 14 ジェットクリート工法
- 14 エフツインジェット工法 ※超小型施工機を使用
- 14 X-jet
- 14 マルチジェット工法
- 14 MAGAR工法
- 15 グラベルドレーン工法 ※超小型施工機を使用
- 18 排水機能付鋼材

- 19 シートパイル締切工法
- 20 浮き上り防止用鋼矢板

巻末資料-1 一次元地震応答解析の検討結果

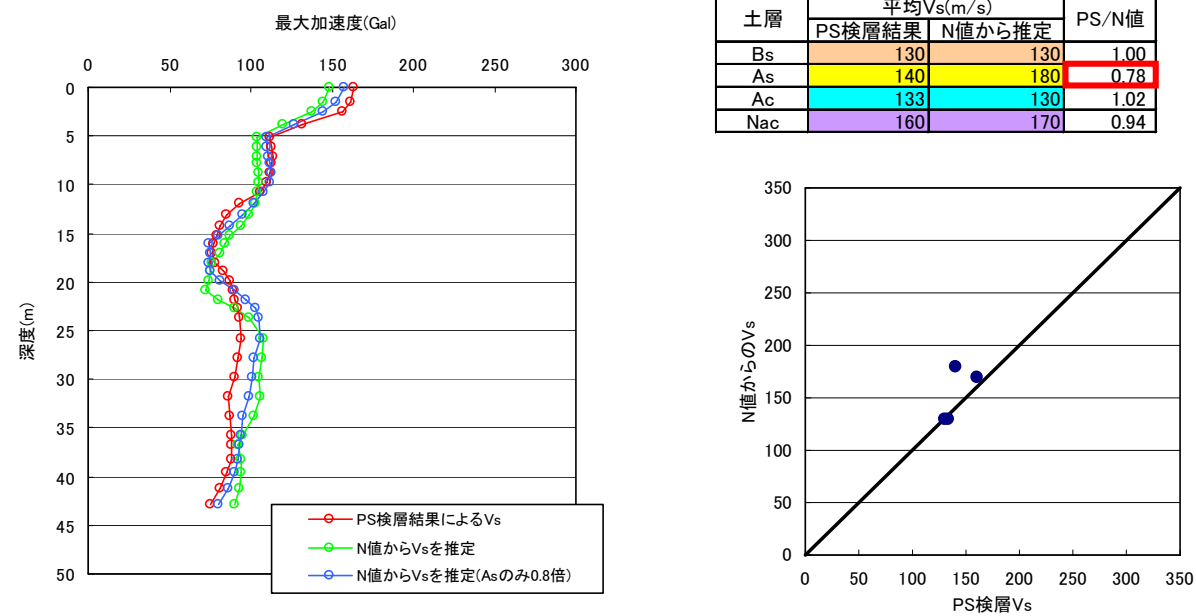
311 地震の地震波形データが近傍で記録されており、PS 検層結果がある浦安市役所(元町)及び高洲小学校(新町)において、 N 値から推定した V_s の妥当性について検討を行った。具体的には、観測波形記録を概ね再現できた PS 検層結果の V_s を採用したモデル(以下、PS モデル)による一次元地震応答解析結果と、 N 値から推定した V_s を用いたモデル(以下、 N 値モデル)による一次元地震応答解析を比較検討した。

その結果、浦安市役所、高洲小学校ともに PS モデルと比較して N 値モデルにおける地表最大加速度のほうが小さくなる傾向を示した。

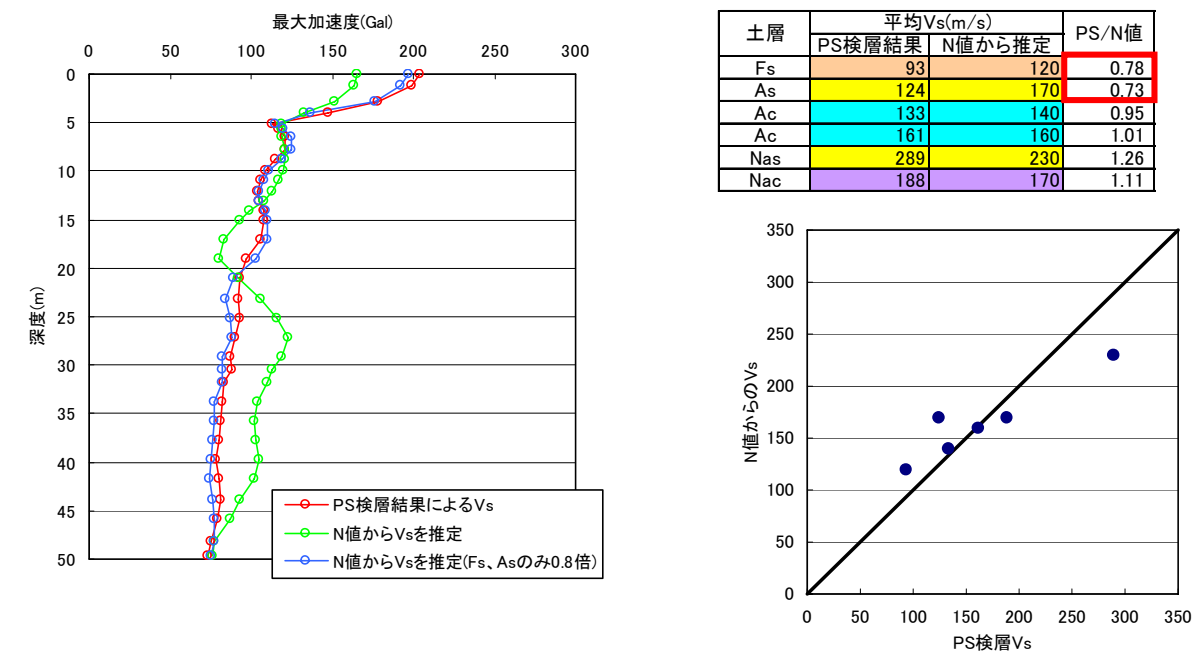
このため、浦安小学校における $As1$ 層、高洲小学校における Fs 層及び $As1$ 層の PS モデルの V_s が N 値モデルの V_s の約 0.8 倍であることに着目し、両層に対して N 値モデルの V_s を 0.8 倍とした場合の検討を行った。その結果、両地点ともに PS モデルの結果と同程度の地表最大加速度が得られた。なお、京葉ガスのガバナー地点においても、 N 値モデルの V_s を 0.8 倍とすることで、地表最大加速度が観測記録に近づく傾向を示した。

以上より、本検討では Fs 層及び $As1$ 層については N 値から推定された V_s を 0.8 倍した値を採用した。

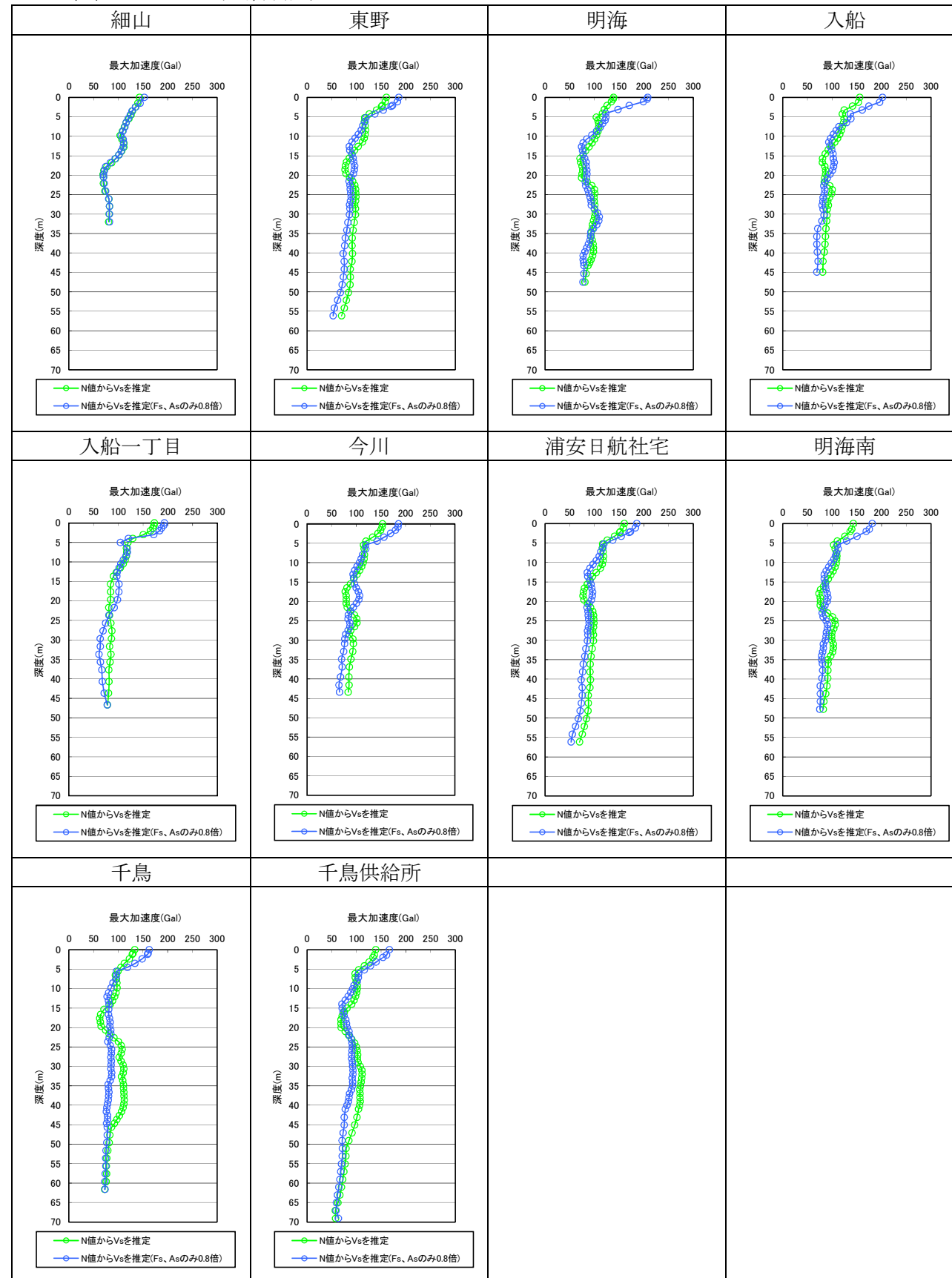
○浦安市役所における一次元地震応答解析の感度分析解析結果(EW 成分)



○高洲小学校における一次元地震応答解析の感度分析解析結果(EW 成分)

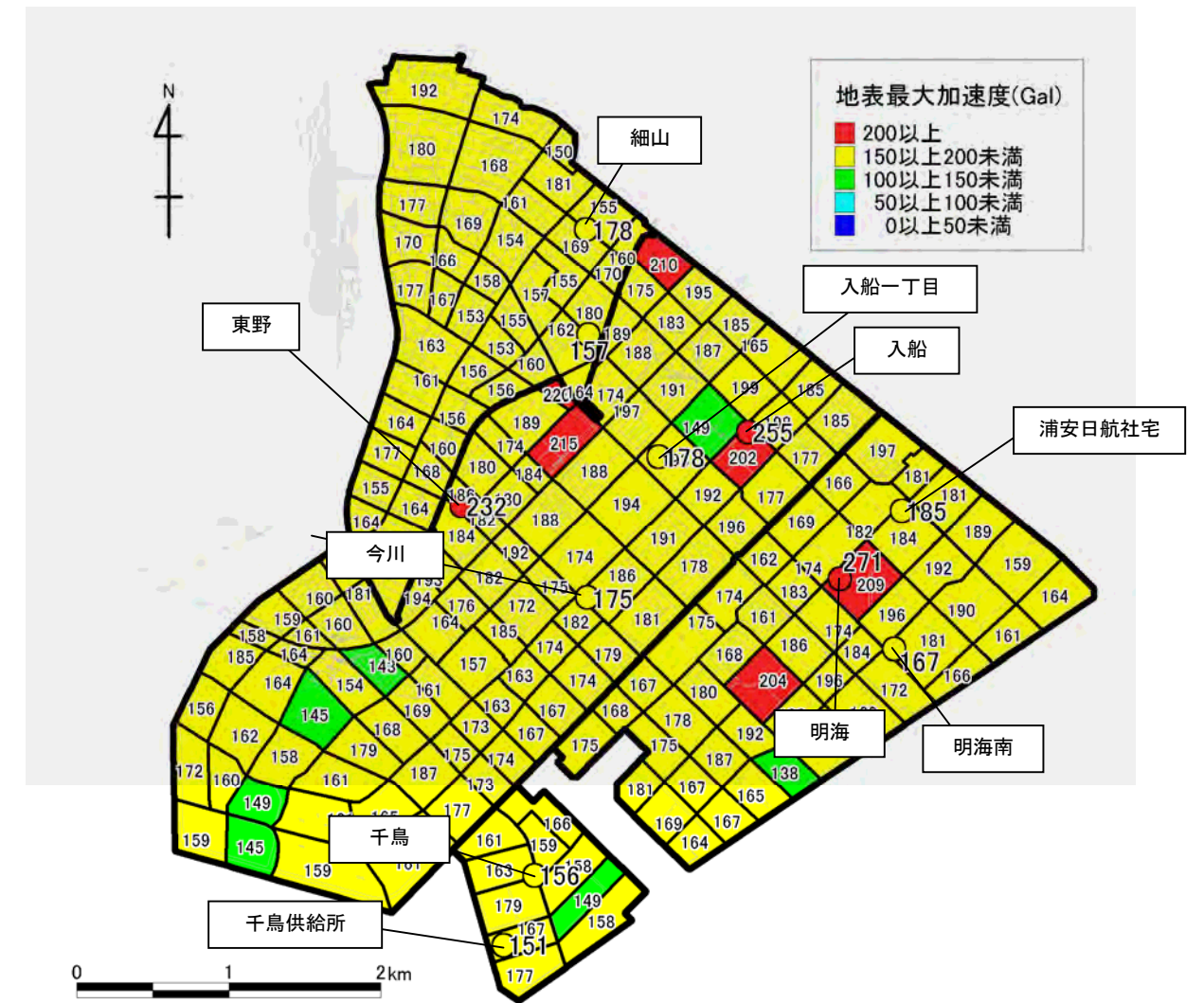


○ガバナー位置における応答解析結果



○311 地震加速度分布図

※図中のプロットは、K-NET008 及び京葉ガス ガバナー地点における観測記録データ)

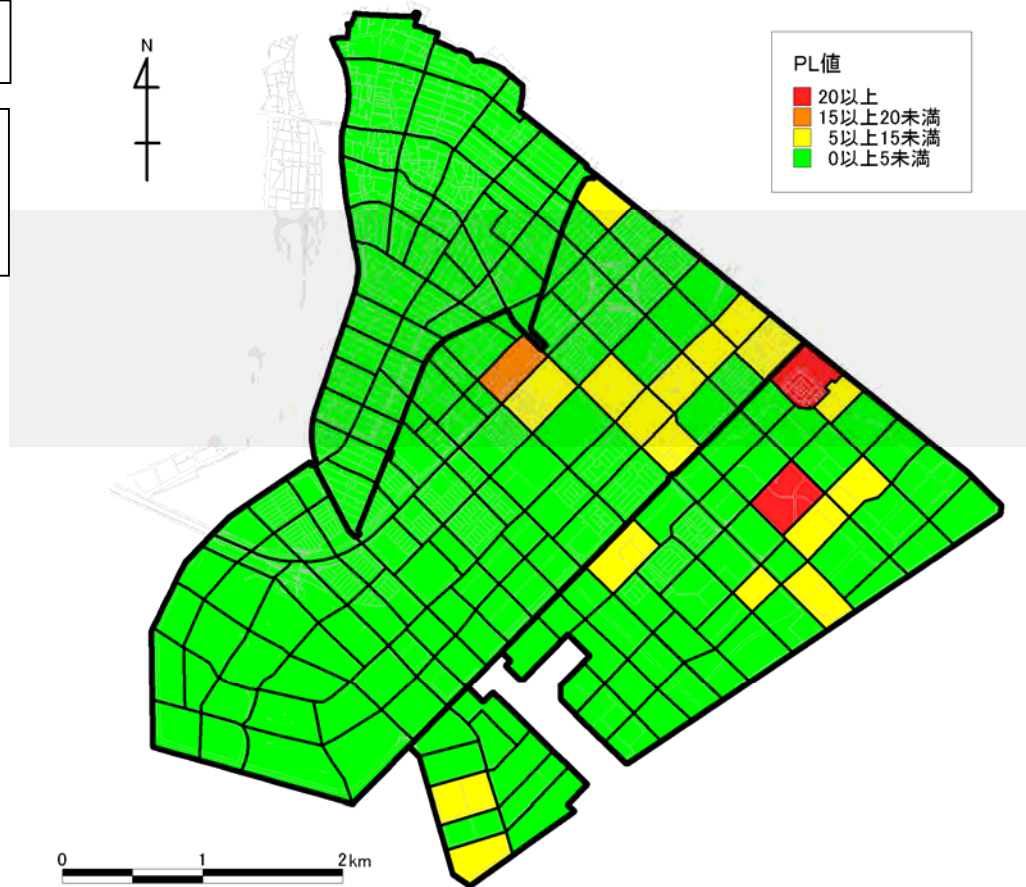


これらの図は、地盤調査結果を基に浦安地域の地盤をモデル化した上で想定地震による「液状化の影響の程度」を計算で求めたものです。このため、想定した地震が発生した場合でも各エリア内の全てが必ずここに示すとおりになるとは限りません。また、地盤改良等の効果については反映していません。

巻末資料-2 311地震の液状化危険度評価(検討ケース別 PL 値)

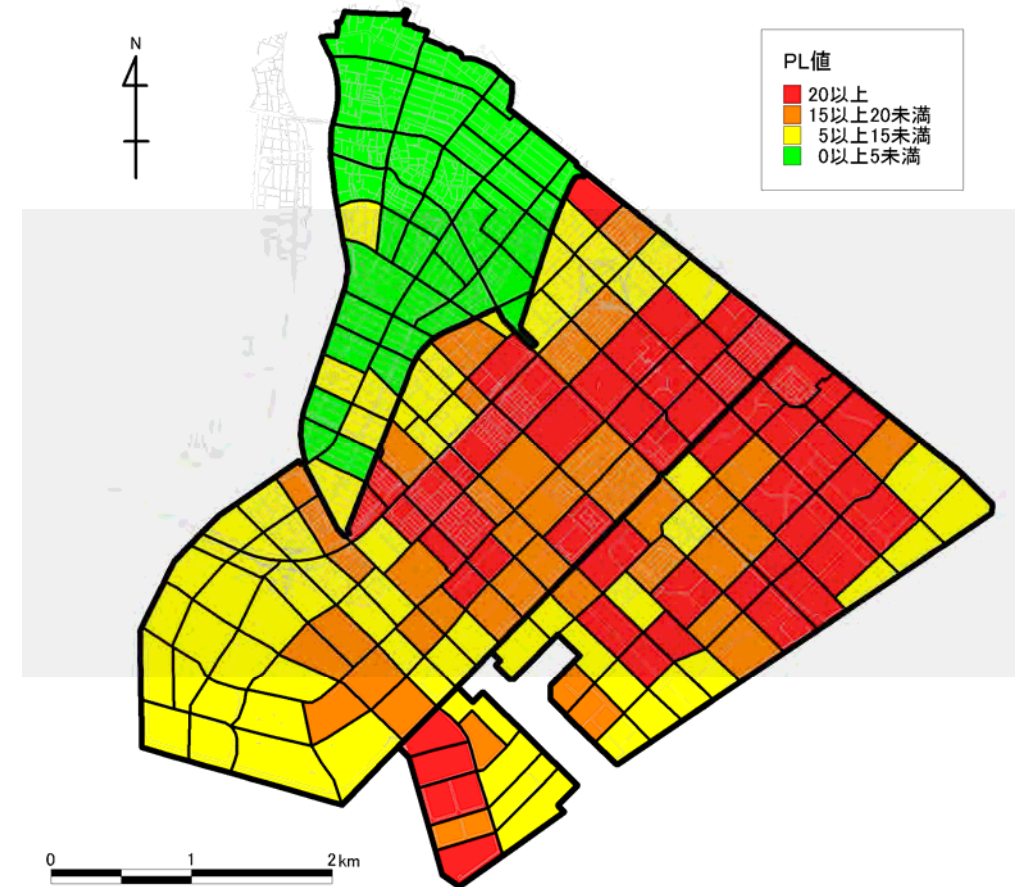
311地震

- 311地震以降に実施した室内試験で得られた液状化強度(R_{L20})を考慮



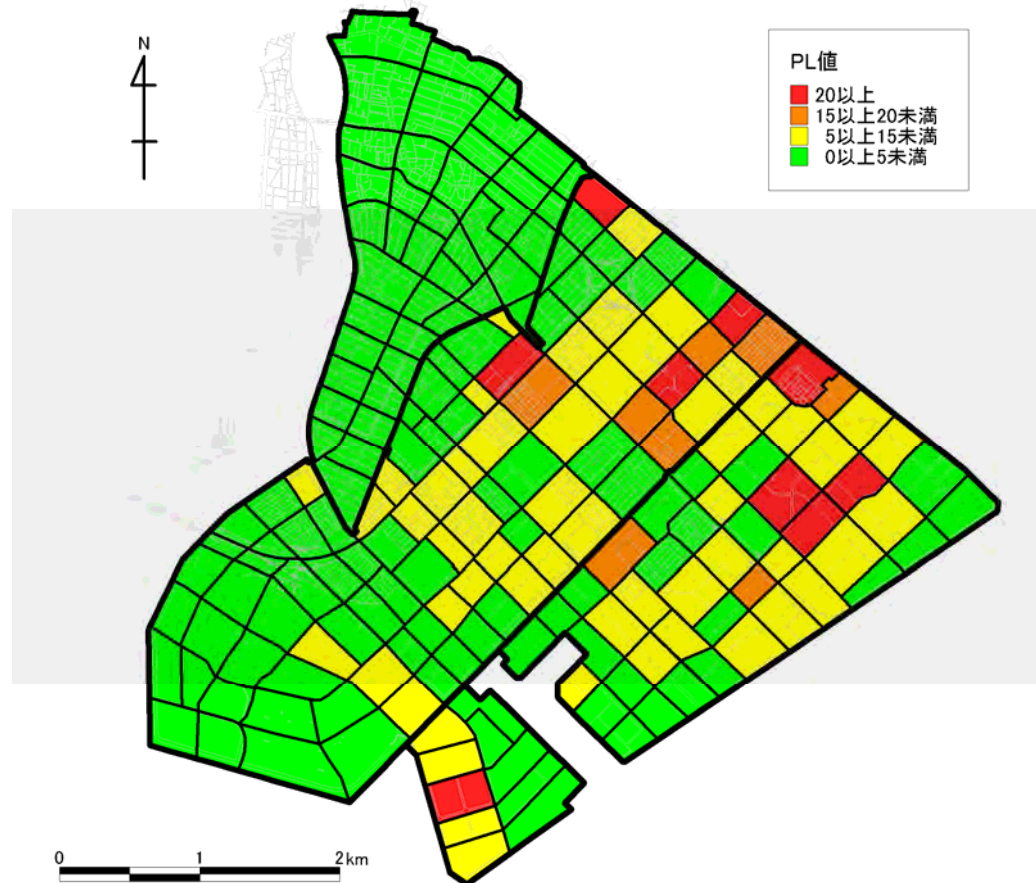
311地震

- 311地震以降に実施した室内試験で得られた液状化強度(R_{L20})を考慮
- 311地震の特徴を考慮 R_{L100} を考慮
 →Fs層： $R_{L20} \times 0.819$
 As層： $R_{L20} \times 0.781$
 その他の影響(スロッシング現象、余震等)を考慮
 →新たな定数 $c(=0.8)$ を設定



311地震

- 311地震以降に実施した室内試験で得られた液状化強度(R_{L20})を考慮
- 311地震の特徴を考慮 R_{L100} を考慮
 →Fs層： $R_{L20} \times 0.819$
 As層： $R_{L20} \times 0.781$



これらの図は、地盤調査結果を基に浦安地域の地盤をモデル化した上で想定地震による「液状化の影響の程度」を計算で求めたものです。このため、想定した地震が発生した場合でも各エリア内の全てが必ずここに示すとおりになるとは限りません。また、地盤改良等の効果については反映していません。

巻末資料-3 H₁-H₂ の関係を用いた検討

地表面付近には、地下水以浅の不飽和土層や粘性土層など、液状化の恐れのない土層が存在する。このため、地震時にその下の飽和砂質土が液状化を生じた場合においても、表層の液状化しない土層（以下、非液状化層と称す）の存在により、その影響が地表面に及ばないこともある。

既往の研究成果を基にした、液状化の影響が地表面に及ぶか否かを定める関係として、**図-1** に示す「非液状化層厚 H_1 と液状化層厚 H_2 の関係」がある（「UR 都市機構：宅地耐震設計マニュアル(案),平成 20 年 4 月」）。その概要を以下に抜粋して示す。なお、 H_1 と H_2 の設定方法は**図-2** に示すとおりである。

（注）上記文献の内容は、平成 15 年版の同マニュアルに掲載されたものと同じである。

通常、宅地地盤の地表面付近には、地下水以浅の不飽和土層や粘性土層等、液状化の恐れのない土層が存在する。このため、地震時にその下の飽和砂質土が液状化を生じた場合においても、表層の非液状化層の存在によりその影響が地表面に及ばないこともある。図解IV.1-12 (**図-1**) に示す曲線関係は、中地震および大地震において、地表面付近に噴砂や噴水、クラック、不同沈下等の変状が生じるか否かの境界を示すものである。すなわち、それぞれの想定地震に対して、液状化層厚と非液状化層厚の関係が曲線の右側に位置する場合、地表面における地盤の変状は生じず、左側に位置する場合は何らかの変状が生じることを示す。
 (出典)「UR 都市機構：宅地耐震設計マニュアル (案), 平成 20 年, p36」より抜粋 (一部加筆)

なお、図中にある「大地震」、「中地震」については、同マニュアルにて以下のように定義されている。

- 1) 中地震：宅地又は当該宅地を敷地とする建築物等の供用期間中に 1～2 度程度発生する確率を持つ一般的な地震動
- 2) 大地震：発生確率は低い直下型又は海溝型巨大地震に起因するさらに高いレベルの地震動

(出典)「UR 都市機構：宅地耐震設計マニュアル (案), 平成 20 年, p9」より抜粋

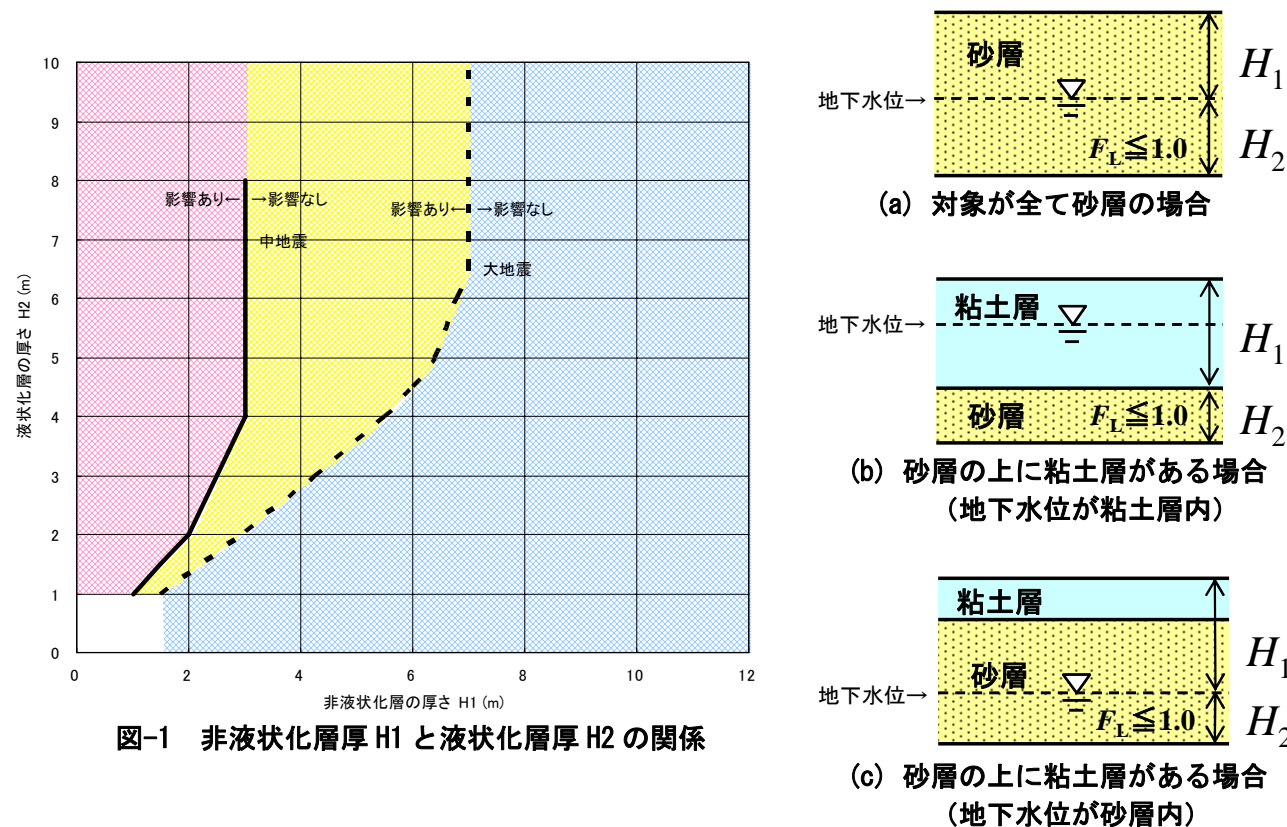


図-1 非液状化層厚 H_1 と液状化層厚 H_2 の関係

図-2 非液状化層厚 H_1 および液状化層厚 H_2 の設定方法

(出典)「UR 都市機構：宅地耐震設計マニュアル (案),平成 20 年 4 月」に加筆

(1) 311 地震に対する H_1 - H_2 の関係

液状化層厚 H_2 は、液状化判定結果から $FL < 1.0$ の層厚を把握して設定した。なお、液状化判定は、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編,平成 14 年 3 月」に対して、以下の点を変更して実施した。

① 水平震度

地震応答解析で得られた地表最大加速度を基に設定した。

② 液状化強度(繰返し三軸強度比 R_L)

311 地震後に実施した室内試験で得られた液状化強度(R_{L20})を考慮できるよう、1.5.3 に示した関係を用いて設定した。また、311 地震の特徴である継続時間が長かったことを考慮して、液状化強度(繰返し三軸強度比 R_L)として R_{L100} を採用した($R_{L20} \times 0.8$)。

$$F_L = \frac{R}{L} = \frac{c_w R_L}{L}$$

ここで、 F_L ：液状化に対する抵抗率

R ：動的せん断強度比

L ：地震時せん断応力比

c_w ：地震動特性による補正係数

R_L ：繰返し三軸強度比($R_{L100} (=0.8 R_{L20})$)を採用

上記で得られた F_L 値をもとに作成した H_1 - H_2 の関係を図-4(a)に示したが、311 地震での液状化による被害が大きいと判断したエリアに該当する評価ポリゴンのうち、中地震に対して「影響なし」と判定される地点が存在した。311 地震では、本震時に長時間の繰返し荷重を受けたことで地盤内の過剰間隙水圧が上昇し、その状態が維持されたまま余震の影響を受け、過剰間隙水圧が伝播することで本震では液状化しなかった上部の層も液状化したものと推察される。このため、過剰間隙水圧の伝播による液状化層 H_2 の増加を考慮して H_1 - H_2 の関係を整理したのが図-4(b)及び(c)である。

図-4(b)は、311 地震を中地震と位置付けて上記のメカニズムを踏襲した結果であり、液状化判定から把握した H_2 を図-3a)の要領で増加させ、 H_1 をその分減少させた。この結果より、いずれの地点も中地震に対して「影響あり」と判定される結果となった。なお、参考までに 311 地震を大地震と位置付けて上記のメカニズムを踏襲した結果が図-4c)あり、液状化判定から把握した H_2 を図-3b)の要領で増加させ、 H_1 をその分減少させた。

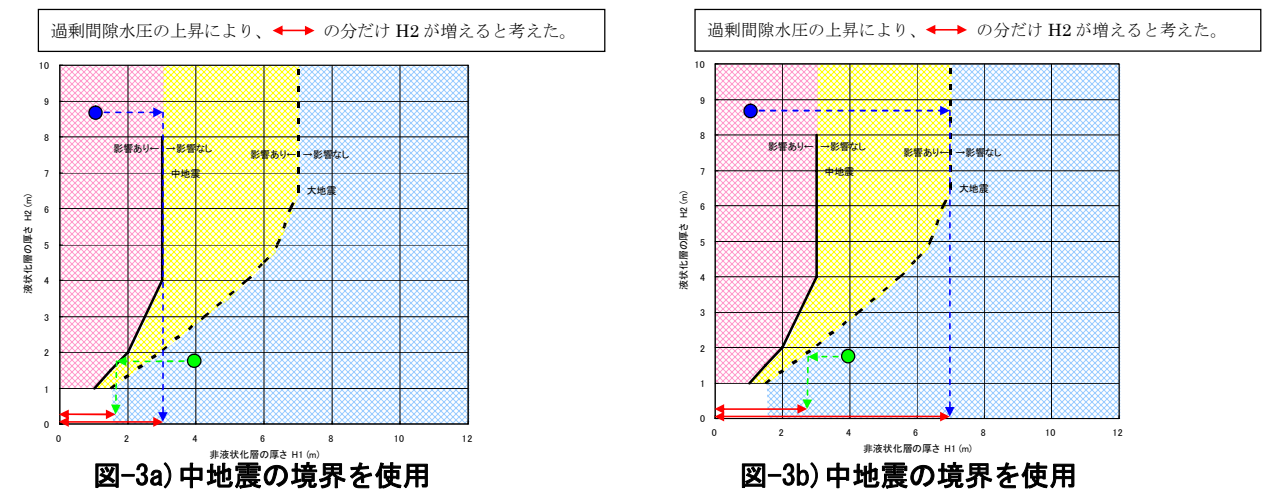


図-3a) 中地震の境界を使用

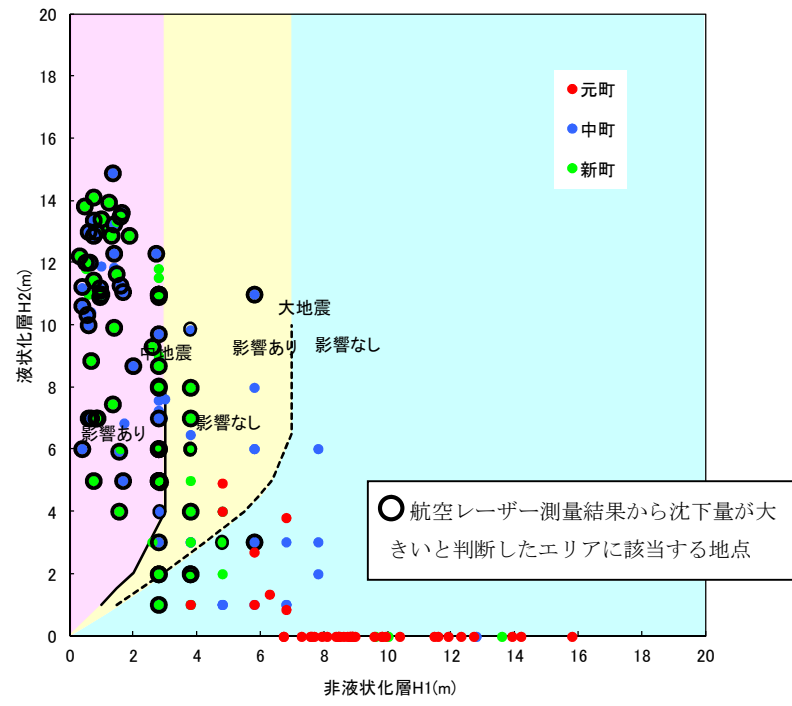
図-3b) 中地震の境界を使用

(2) 想定地震に対する H_1 - H_2 の関係

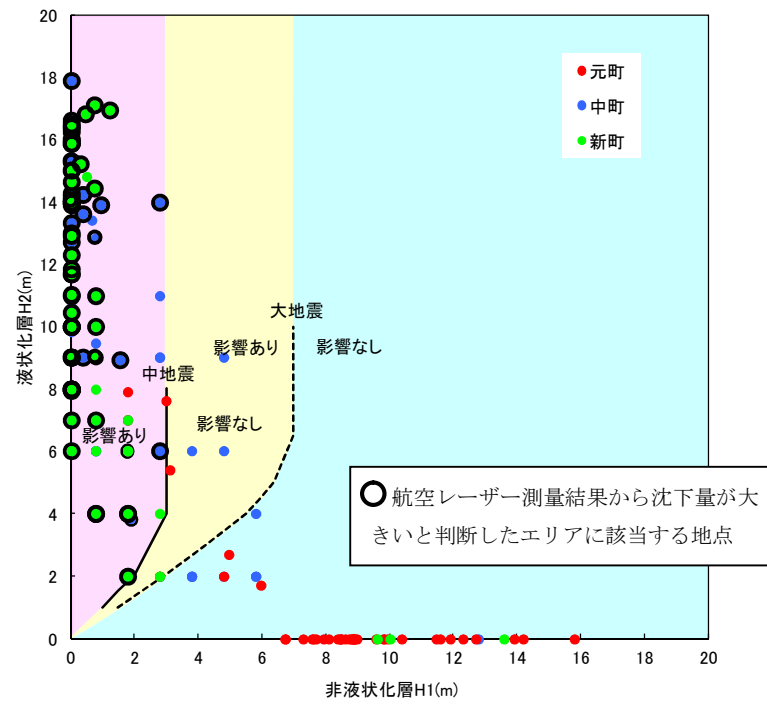
図-5 には、想定地震(レベル 2 地震動内陸直下型地震 東京湾北部地震、レベル 2 地震動プレート境界型地震 相模トラフ沿いの地震、レベル 1 地震動 千葉県東方沖地震)に対する H_1 - H_2 の関係を示すとともに、「影響なし」となるためにはどれだけ非液状化層 H_1 を増加させればよいかの頻度分布図を併せて示した。

これらの結果から、レベル 2 地震動に対して地表に影響が及ばないような非液状化層 H_1 とするためには、現状よりも 4～6m 程度の非液状化層の増加が必要となる事が分かる。

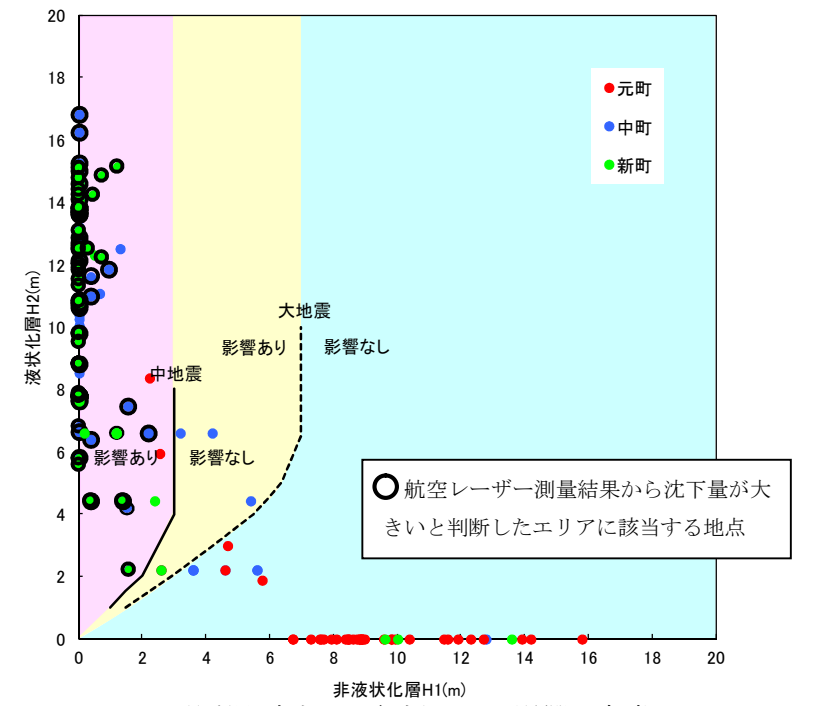
311 地震



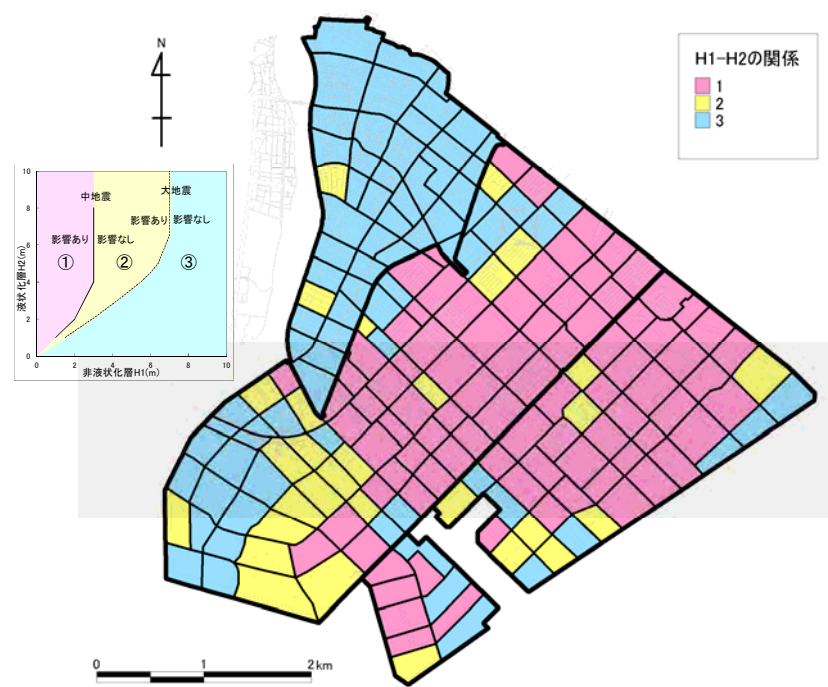
a)本震直後



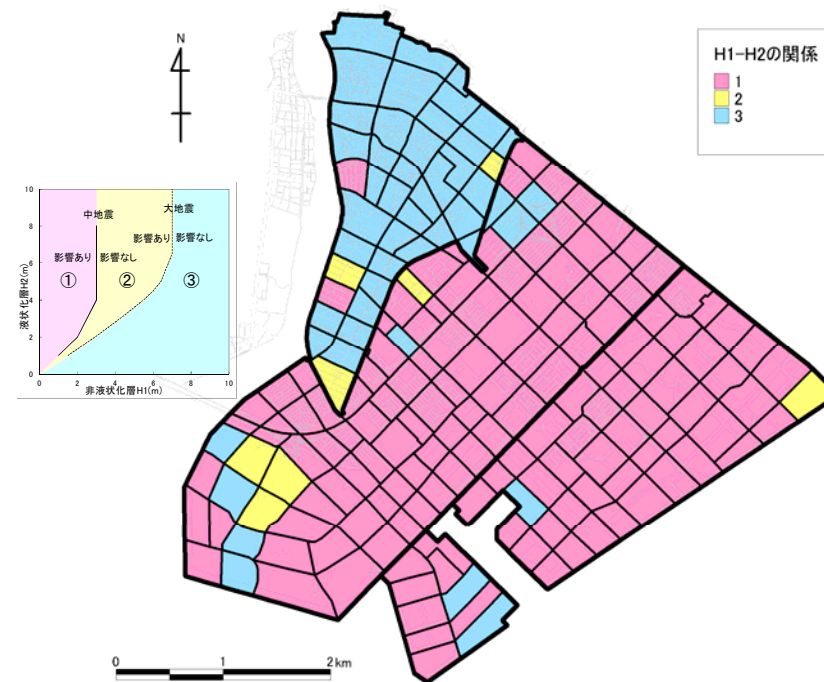
b)過剰間隙水圧の伝播による影響を考慮
(中地震の境界を使用)



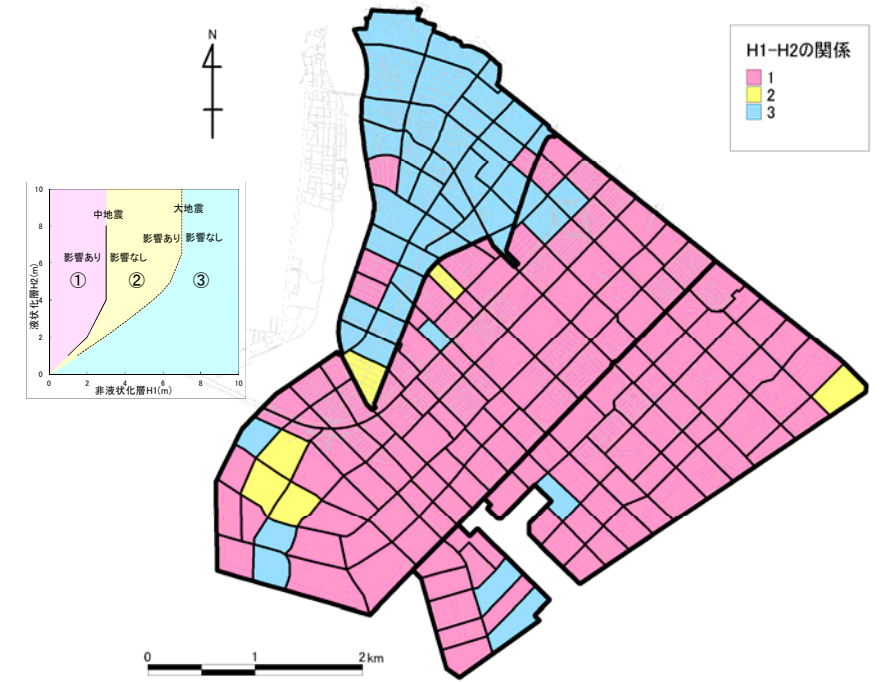
c)過剰間隙水圧の伝播による影響を考慮
(大地震の境界を使用)



a)本震直後



b)過剰間隙水圧の伝播による影響を考慮
(中地震の境界を使用)

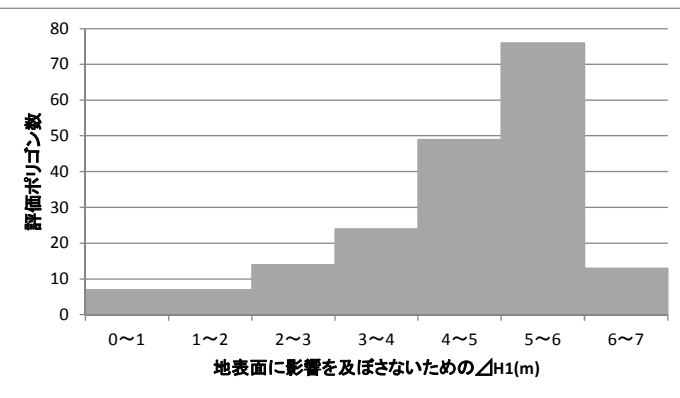
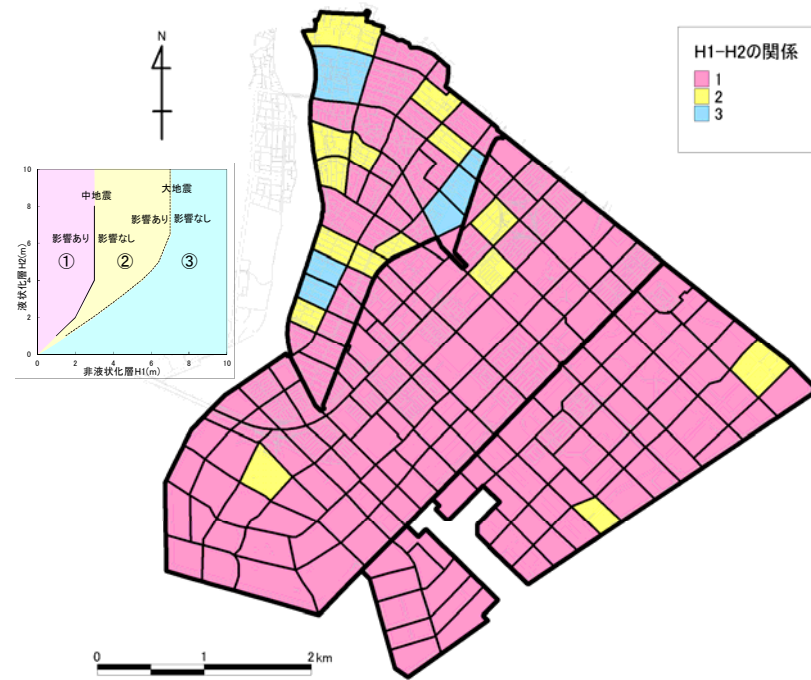
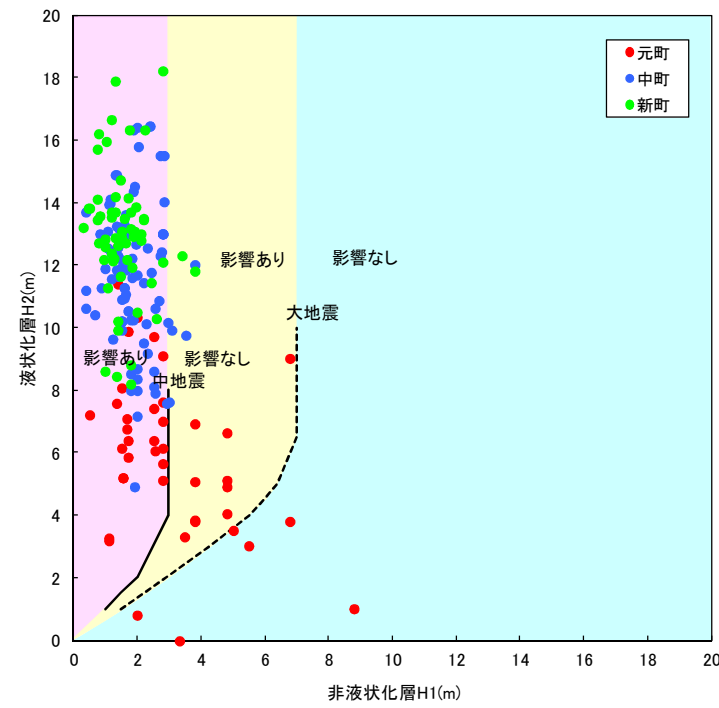


c)過剰間隙水圧の伝播による影響を考慮
(大地震の境界を使用)

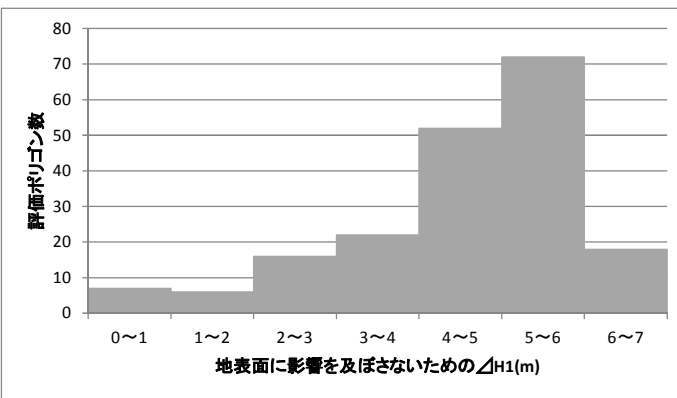
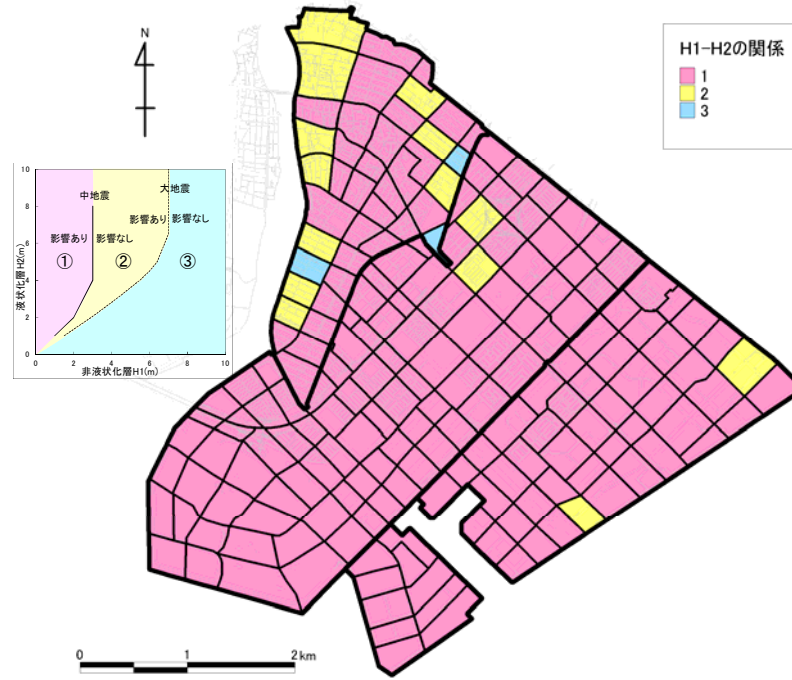
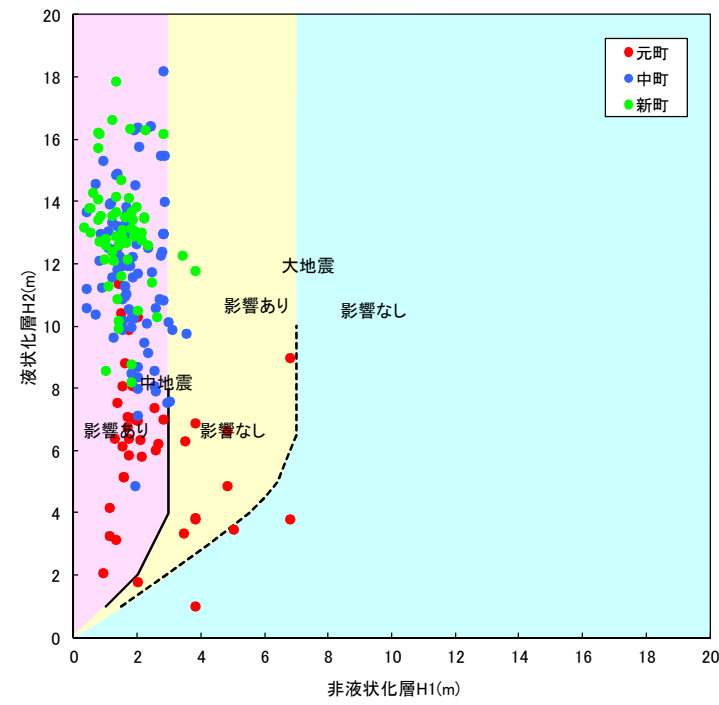
これらの図は、地盤調査結果を基に浦安地域の地盤をモデル化した上で想定地震による「液状化の影響の程度」を計算で求めたものです。このため、想定した地震が発生した場合でも各エリア内の全てが必ずここに示すとおりになるとは限りません。また、地盤改良等の効果については反映していません。

図-4 H₁-H₂の関係(311地震)

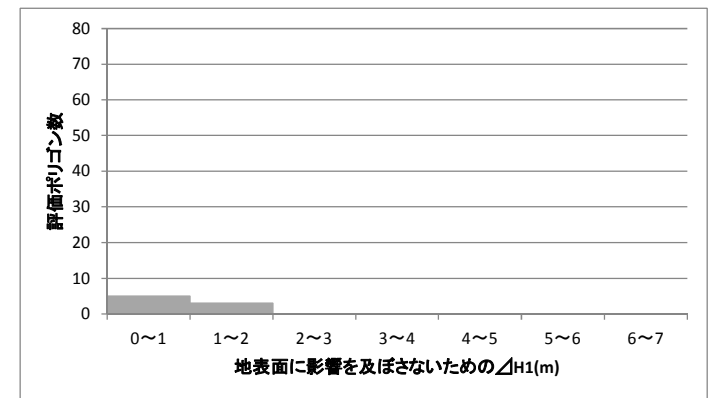
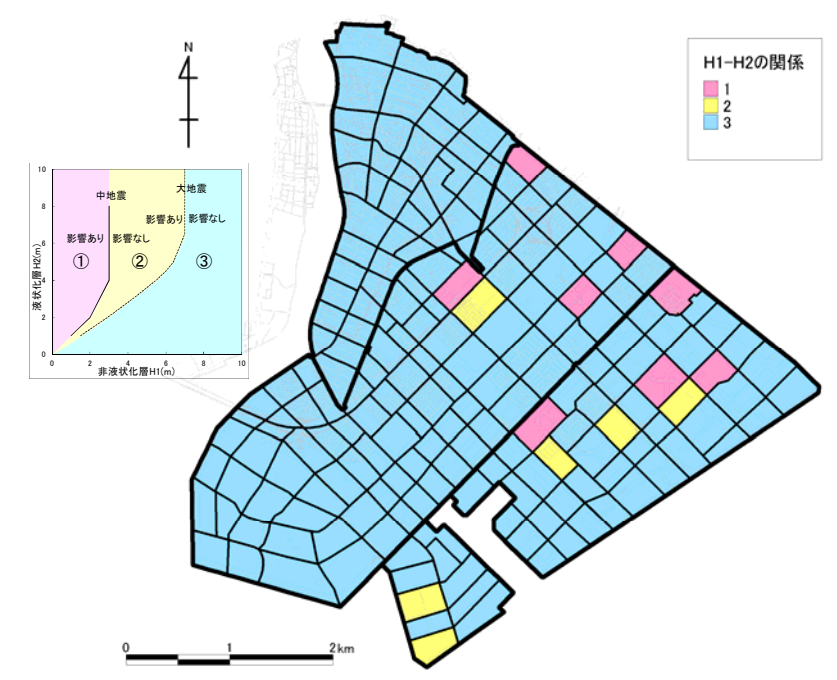
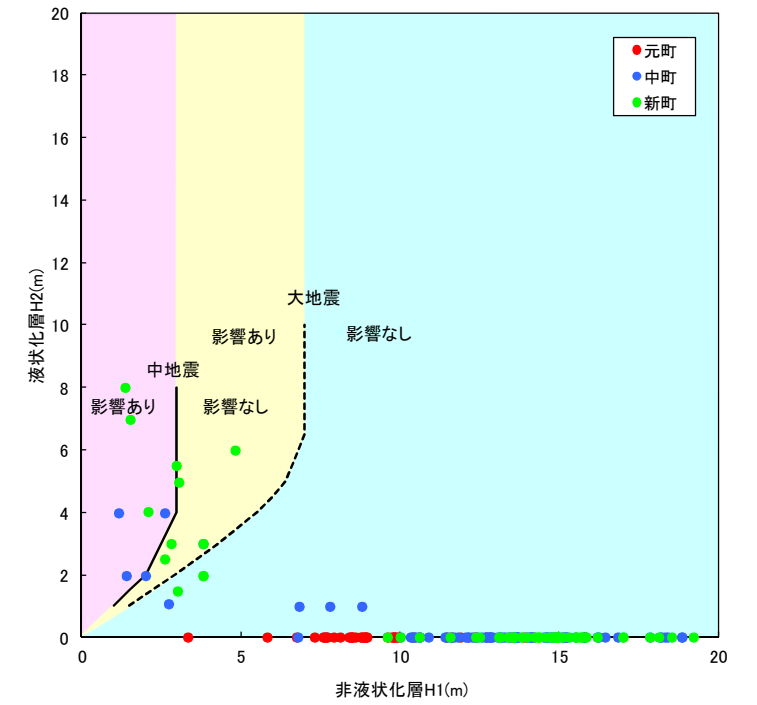
**レベル2地震動
内陸直下型地震 東京湾北部地震**



**レベル2地震動
プレート境界型地震 相模トラフ沿いの地震**



**レベル1地震動
千葉県東方沖地震**



これらの図は、地盤調査結果を基に浦安地域の地盤をモデル化した上で想定地震による「液状化の影響の程度」を計算で求めたものです。このため、想定した地震が発生した場合でも各エリア内の全てが必ずここに示すとおりになるとは限りません。また、地盤改良等の効果については反映していません。

図-5 H₁-H₂の関係(レベル2地震動、レベル1地震動)