

個別の液状化対策工法について

ここでは、個人住宅が個別に液状化対策工を実施する場合を想定して、対策工を検討した。

(1) 個別液状化対策工法の検討

これまでの検討結果より、旭市内の液状化被害の特徴は以下のとおりである。

- ・砂鉄鉱区での採掘埋戻し跡の緩い砂質地盤が液状化した。
- ・被害をもたらした液状化は地表から深さ 10m まで。

また、地質的、地域的な特徴から検討の結果、対策工について以下の結果を得た。

- ・止水層となる粘性土層が深いため、地下水位低下工法は実施困難。
- ・対策箇所の規模（対策範囲の戸数、範囲、形状等）が小さく、格子状地中壁改良では 1 戸あたりの負担が大きすぎる。

そこで、個別住宅が個別に液状化対策を実施する場合について検討を行った。

(2) 液状化対策工法の選定

1) 液状化の発生抑制の原理と対策方法および対策工法

液状化の発生を抑制するには、

- ① 地盤の液状化強度を増大させる
- ② 地盤内の応力・変形に関する条件や間隙水圧に関する境界条件を液状化し難いものにさせる。

ことが考えられ、その原理は以下に示すものが挙げられる。

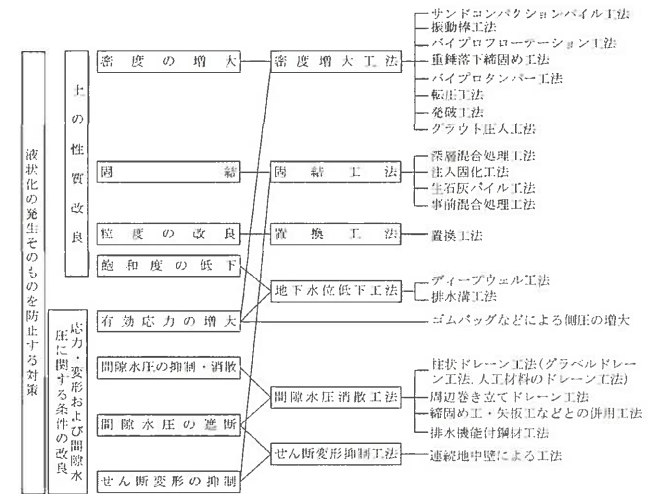
【液状化強度の増大】

- ① 密度の増大
- ② 液状化しにくい粒度分布
- ③ 土粒子骨格の安定化
- ④ 飽和度の低下

【応力・変形および間隙水圧に関する条件の改良】

- ⑤ 過剰間隙水圧を速やかに消散
- ⑥ 液状化した周辺からの過剰間隙水圧の遮断
- ⑦ 初期有効応力を増大させることにより、せん断応力の初期有効応力に対する比を低下
- ⑧ 地震時に生じるせん断変形の抑制

液状化の発生を抑制する原理と工法を図-9.1 に示す。

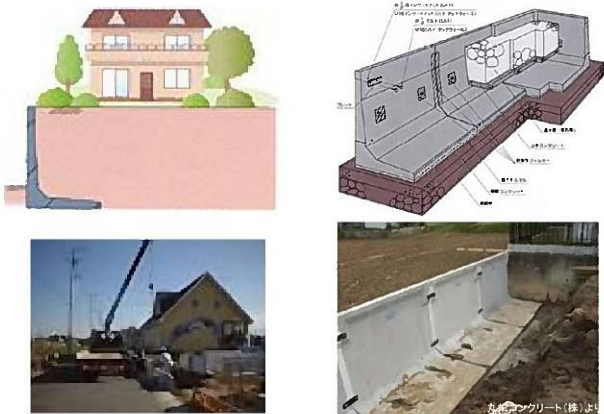


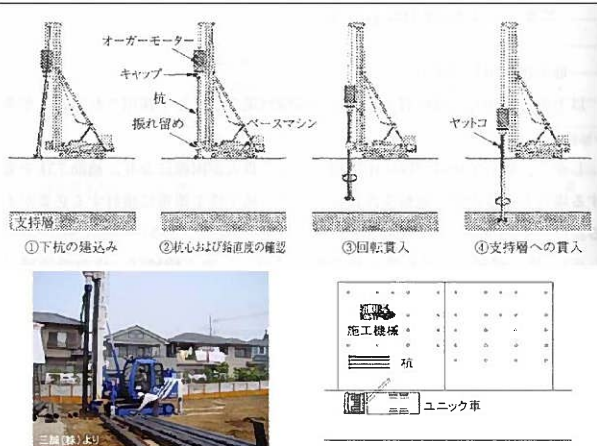
分類	密度増大工法(砂杭、ドライモルタル杭、丸太杭)	
概略図 写真	①位置決め ②投入 ③掘削 ④材料投入 ⑤完成 砂杭施工状況(例) ドライモルタル杭施工状況 丸太杭施工状況(例)	
特徴	・対象地盤への砂、モルタル、丸太等を圧入・打設・注入による地盤を締め固め、地盤の密度を増加させることによって液状化の発生を抑制することを期待する工法。 ・砂杭は、ケーシングを地中に貫入、打戻しながら、地上から供給した砂をエアードで強制排出する工程を繰り返すことで、地盤中に締まった砂杭(φ700mm)を造成する。 ・ドライモルタルは、スパイラルロッドを用いて所定の深度まで地盤を押し広げて穴を開け、ロッドを引き抜く際に逆回転させて地中にドライモルタルを連続して充填し、原地盤と混合攪拌することなく直径100mm程度のモルタル柱状体を作成する。 ・丸太杭は、中・小型の施工機械を用いて、砂地盤に直径20cm程度の丸太を一定の間隔で打ち込む。丸太の打設方法には、圧入式と振動式の2種類がある。	
施工・現場条件	・砂杭、ドライモルタル、丸太ともに新築時における建物下部地盤を中心に必要な範囲で対策施工が行われることが基本である。既存建物を対象に建物周辺のみを施工する場合は、対策効果を発揮するためには、詳細な検討が必要である。 ・シルト分を多く含む地盤も可能である。 ・砂杭の場合、一般的に、広い更地の液状化対策を行う工法として多く用いられている。対策深度は15～20mまで可能。 ・ドライモルタルの場合、N値が10を超えるやや固い地盤では適用ができない。また、施工機械の大きさから、現在はモルタル柱状体を造成することが可能な深度は3mまでである。 ・丸太杭の場合、技術開発及び施工実績を積み重ねることが必要だが、更地の状態で、一戸単位での対策に適用することが可能。また、現在、建築基準法において、地下水位より深い位置で基礎として丸太を使用することは禁じられていることから、打設する丸太に腐朽対策等を講じる必要がある。	
施工費	■1戸50坪の建物用地に改良深さ8m程度施工すると想定した場合、 ・砂杭を更地に20戸以上一括施工で2.5百万円以上、1戸施工で12百万程度。 ・既設建物がある場合、20戸以上一括施工で9百万円以上、1戸施工で13百万程度。 ・ドライモルタルを更地に20戸以上一括施工で6百万円以上、1戸施工で7百万程度。既設建物がある場合は施工不可。 ・丸太杭を更地に20戸以上一括施工で5.5百万円以上、1戸施工で6百万程度。既設建物がある場合は施工不可。	
総合評価	利点	・砂杭の場合、使用材料が砂であるため、将来、地中を掘削する場合でも支障になりにくい。施工単位が1(街区20戸)以上となれば、大型機による施工が可能となるため、1戸当たりの施工コストを抑制することができる。また、液状化が発生した場合でも、建物際などの工事区域の境界において、地盤の変形がなだらかなため、建物やライフライン等に機能障害が生じにくい。 ・ドライモルタルの場合、静的締め固め工法と同様の手法で液状化対策のための設計を行うことができる。小型機を用いるため、狭狭地での施工が可能であり、1戸から対応することができる。モルタル柱状体の腐蝕防止作用により建物の支持力が担保できるため、軟弱地盤の基礎補強用としての採用実績が多数ある。残土が発生しない。 ・丸太杭の場合、狭い箇所での施工が可能であり、低振動・低騒音で丸太を打設することが可能である。比較的早く工事に着手でき、施工が早い。丸太自体は液状化しないため、補助的に支持力を期待できる。
	欠点	・砂杭の場合、スペースが狭い箇所では施工中に工事プラント等が道路を完全に占有してしまうため、周辺住民の生活の妨げとなる場合がある。 ・砂杭の打ち込みによる地盤の変位対策ができない場合には、既設建物、隣接家屋、道路、配管等に変位や支障が生じることがある。 ・ドライモルタルの場合、1戸相当地震動を対象とした施工実績のみである。施工機械の性能上、やや固い地盤(N値10以上)や液状化地盤が深い地盤(深度8m以上)の対策は困難。小型機による施工のため地中障害に弱い。 ・丸太杭の場合、地下水位が深い位置では丸太に腐朽対策が必要となる。打設した丸太が、埋設物敷設工事等の支障となる場合がある。

分類	密度増大工法(静的圧入締め固め工法)	
概略図 写真	①掘削 ②注入 ③静的圧入締め固め ④静的圧入締め固め ⑤静的圧入締め固め 砂杭施工状況(例) ドライモルタル杭施工状況 丸太杭施工状況(例)	
特徴	・元来、家屋やビルの沈下、傾斜対策として開発された工法である。 ・地盤に低流動性のモルタルを圧入することにより、地盤の密度を増大させる工法。砂地盤に対しては締め固め効果により、液状化防止効果がある。 ・家屋の沈下、傾斜修復と液状化対策が同時施工することが可能である。 ・改良効果は現況地盤に対して標準貫入試験N=5～15程度増加させることができる。 ・液状化対策として、羽田空港・仙台東港等滑走路・誘導路下、既設護岸下、大～小規模の既設構造物下等、多数の実績がある。細粒含有率が50%以上の粘性土の場合は、締め固め効果が少なくなるため、基本改良対象外である。	
施工・現場条件	・施工機械が小型で、ボーリング機械での施工が可能である。戸建住宅ではさらに小型の削孔機による屋内での施工が可能である。 ・家屋の沈下、傾斜修復は、精緻な圧入調整作業と、家屋への影響・修復後の再沈下防止のため、原則屋内施工となる。このため、床材の一部撤去、基礎部の削孔が必要で、別途修復が必要となる。ただし、居住しながらの施工が可能。 ・小型機械による特殊削孔として2.0m程度の上空制限で施工可能。掘削長は15m程度まで可能。 ・屋内施工のため、隣地との離隔制限はない。屋外施工を実施する場合は、施工幅1m程度は必要。 ・最大30°までの斜め施工が可能であるため、屋外から家屋直下の施工は困難であるが、家屋下部の改良も可能である。 ・振動、騒音も小さく(家屋への影響は少ない)。 ・地盤中にモルタルを圧入することから、隣地への地盤隆起や側方変形が生じる可能性がある。 ・戸建用に4tトラックで搬入でき、狭路道路でも搬入可能である。プラントの設置範囲は最小で40m2程度、車載施工もできる。プラントから施工場所までの離隔は40mまで可能である。常設で配管が可能な場合は、離隔100m程度の実績もある。 ・施工工期は、沈下・傾斜修復と液状化対策同時施工で深度5m程度改良する場合、2週間程度。	
施工費	■50坪の建物用地の戸建家屋に対して(過去の実績として、沈下・傾斜・液状化対策の程度により増減) ・家屋の沈下・傾斜修復費として 5～7百万円程度。 ・家屋下深度 5m程度の液状化対策と家屋の沈下・傾斜修復を同時施工した場合、6～8百万円程度。 ・家屋下深度 15m程度の液状化対策と家屋の沈下・傾斜修復を同時施工した場合、15～18百万円程度。 ・更地へ深度 5m程度の液状化対策を施工した場合、4～5百万円程度。 ・更地へ深度 15m程度の液状化対策を施工した場合、12～15百万円程度。 上記は施工費込の金額	
総合評価	利点	・液状化対策としての設計方法が確立されている。 ・家屋の沈下、傾斜修復での施工実績が豊富で平成5年の北海道南西沖地震、平成7年の阪神淡路大震災、平成17年の福岡県西方沖地震、東日本大震災での浦安市でも現在施工箇所多数あり。県庁・市役所や工場、歴史的建物など大～小規模建物下の液状化対策としての実績はあるが、戸建住宅における液状化対策のみの実績はない。 ・家屋の沈下、傾斜修復と液状化対策との同時施工が可能であり、現時点で家屋修復と液状化対策が同時施工できる唯一の工法である。 ・家屋の沈下、傾斜修復の場合は、原則屋内施工である。2階に限定されるが、居住したままの施工が可能である(1階部も夜間開放は可能)。
	欠点	・べた基礎建物を対象とし、布基礎建物における沈下、傾斜修復は施工不可である。杭基礎の場合は杭形状・深度によって対応可能な場合がある。液状化対策のみの場合は、布基礎でも対応可能な場合がある。 ・地盤にモルタルを圧入することから、特に、沈下、傾斜修復の場合は隣地への地盤隆起や側方変形が生じる可能性がある。隣接状況、沈下修正量によって、影響度合が異なるため事前調査が必要である。

分類	地盤の不飽和化工法
概略図写真	
特徴	・地下水で飽和した砂地盤にマイクロバブル水(小さな空気を含んだ水)を注入して、地盤を不飽和化させる工法。、地震時には、そのマイクロバブル水に含まれる空気が圧縮されて、過剰間隙水圧の上昇を抑制することによって、液状化の発生を抑制する効果が期待できる工法である。 ・使用材料が水と空気であるため環境負荷が小さい。 ・施工機材がコンパクトであり、既存建物の有無にほぼ無関係に施工可能である。 ・既存の埋設物への影響や施工後の埋設工事等に影響がない。
施工・現場条件	・新築、既存建物の双方の液状化対策に適用可能であるが、宅地への施工実績が乏しい新規開発の工法である。対象とする改良範囲に計画通りの施工がなされ、必要な品質が確保されれば、計算などによる評価上の効果は期待出来るものと考えられる。 ・研究通り、実証実験中の工法である。 ・改良する地盤に細粒分が多く含まれる場合には、適用できない場合がある。 ・地下水の流れが速い地盤には留意する。 ・マイクロバブル水の注入孔、飽和度測定用の計測孔を削孔し、注入管・計測管を設置する。設置した注入管より、マイクロバブル水を注入する。マイクロバブル水注入後の地盤の飽和度を計測し、所定の飽和度となっていることを確認する。
施工費	■1戸50坪の建物用地に改良深さ9m程度施工すると想定した場合(飽和度90%、不飽和層厚7mとして) ・更地に施工する場合、20戸以上一括施工で4.5百万以上、1戸施工で5百万程度。 ・既設建物がある場合、20戸以上一括施工で6百万以上、1戸施工で6.5百万程度。
利点	・材料が水と空気なので環境に優しく、地盤内に改良体等を残さない。 ・再改良(再注入)が可能であり、他工法との併用が比較的容易である。
総合評価	欠点 ・施工された改良範囲と品質の確認方法を確立する必要がある。 ・液状化強度の評価方法の確立が必要である。 ・地盤の深い層での改良効果は期待できない。 ・施工品質の確認が難しく、施工品質確保のための施工管理手法が確立されていない。 ・地下水の流れが速い場合には、改良効果が減少する恐れがある。 ・大地震時には液状化を完全に防止することは難しい。 ・地震により、改良効果が減少(空気が喪失する)する可能性があり、複数回の地震を想定する場合には、空気の再注入が必要となる可能性がある。 ・液状化強度の検証のために対象地盤を用いた室内試験が必要となる。

分類	間隙水圧消散工法（砕石ドレーン工法）	
概略図写真	液状化に強い工法です HySPEED工法の特長 - 工期が短く、施工が容易である。 - 既存家屋の周辺に施工する場合は、居住しながらの施工が可能。 - 既設家屋の周辺に施工する場合は、施工時2m程度は必要。 - 振動、騒音が発生するが隣家への影響は少ない。 - 地盤中に砕石を圧入することから、隣地へ近接した場合は、地盤隆起や側方変形が生じる可能性がある。 - 戸建用に2〜4tトラックで搬入でき、換路道路でも搬入可能である。 - 標準費用1試験N=10以上では施工困難。地下水位が高く、緩い地盤で掘削機が自立しない場合困難。 - 施工工期は、深度5m程度改良する場合で、1戸建に対しては砕石杭打設に3日程度。	
特徴	- 家屋の支持力増大、不同沈下防止、液状化防止効果を狙って開発された工法である。 - 地盤に砕石を打設することにより、地盤の密度を増大させる工法。砂地盤に対しては排水効果により、液状化防止が可能である。 - 改良直径φ400mm、最大改良深度6.5m、打設間隔0.75〜2.3m(支持力用)、1000mm以下の建築物、ベタ基礎、帯基礎可能。 - 家屋の沈下、傾斜修正には利用できない。 - 新築家屋が対象の工法である。既存家屋に対しては、家屋周辺に打設するため、液状化防止にはならないものの、被害低減効果は得られる。 - 国土交通省新技術情報提供システム(New Technology Information System; NETIS)に2007年9月に登録済み。(財)日本建築総合試験所(GBCO)において2009年11月10日建築技術性能証明を受ける。 - 施工実績多数あり(2007〜2011年 累計7000件以上)。ただし、液状化対策としての実績はほとんどない。	
施工・現場条件	- 施工機械が0.1m3程度の小型のバックホウベースでの施工により狭小な場所での施工も可能である。 - 既設家屋の周辺に施工する場合は、居住しながらの施工が可能。 - 既設家屋の周辺に施工する場合は、施工時2m程度は必要。 - 振動、騒音が発生するが隣家への影響は少ない。 - 地盤中に砕石を圧入することから、隣地へ近接した場合は、地盤隆起や側方変形が生じる可能性がある。 - 戸建用に2〜4tトラックで搬入でき、換路道路でも搬入可能である。 - 標準費用1試験N=10以上では施工困難。地下水位が高く、緩い地盤で掘削機が自立しない場合困難。 - 施工工期は、深度5m程度改良する場合で、1戸建に対しては砕石杭打設に3日程度。	
施工費	■50坪の建物用地の戸建家屋に対して(過去の実績として、沈下・傾斜・液状化対策の程度により増減) - 更地へ深度 5m程度の液状化対策として、3〜5百万円程度。 - 既存戸建家屋の周囲を深度 5m程度の液状化対策として、1〜2百万円程度。	
総合評価	利点	- 液状化対策としての設計方法が確立されている。 - 既存家屋周辺に打設する場合は、既存家屋周辺に打設する場合は、居住したままの施工が可能である。 - 施工工期が数日で短い。
	欠点	新築家屋が対象の工法である。家屋の支持力増大、不同沈下防止を目的とした施工実績が豊富であるが、ニーズが少なかったことから、液状化対策としての実績はほとんどない。ただし、建築知識6月号で紹介されているように、支持力増強で設計された改良地盤において、液状化被害が低減された実績がある。 - 既存家屋周辺に打設する場合は、家屋直下に打設できないことから、液状化被害の低減効果に止まる(設計により要確認)可能性が高い。 - 小型のバックホウが搬入出・移動できる空間が必要(隣地との空間は最低2m以上)。 - 通割間隙水圧消散後の残留沈下の発生の有無未確定。 - 対象地盤の規模によってはレーンビッチが狭く高価、あるいは適応不可となる可能性がある。 - 掘削機は掘削が保持できることが施工条件となる。

分 類		造成盛土による有効上載圧の増加
概略図 写 真		
		特 徴 ・造成盛土により宅盛高を高くすることで、液状化地盤の有効上載圧を増加させ、液状化が発生しにくくする対策。 ・宅盛高を上げるため、プレキャスト擁壁などを用いて造成盛土を行う。 ・小型機械により、省スペース、低振動・低騒音で施工が可能。 ・既存建物がある場合には施工ができない。
		施工・現場条件 ・一般的に建物建てる地盤の地耐力(長期許容応力度)が確保されている場合に用いられる工法で、建築の基礎形式としては、べた基礎、布基礎を採用する。 ・造成盛土により宅盛高を原地盛高より高くするため、プレキャスト擁壁などの構造物により、用地境界での造成盛土を押さえる必要がある。 ・施工機械は造成盛土に必要なバックホウなど、プレキャスト擁壁を用いる場合は設置用のクレーンが必要となるが、大掛かりな重機を用いなくても施工可能。 ・一般的には新築、建替時に実施する。既存建物がある場合には、更地にするなどの対応が必要である。
		施工費 ■1戸50坪の建物用地を10m宅地造成により宅盛高を嵩上げすると想定した場合 ・既設建物がある場合は、施工できない。(既設建物を撤去して更地にする場合、別途、撤去費用が必要) ・既設建物がない場合は、プレキャスト擁壁設置、造成盛土で7.5百万円程度必要。
総合評価	利点	・宅地造成については施工実績が豊富である。 ・小型施工機械を用いるため、狭小地での施工も可能である。 ・1戸単位での施工が可能である。 ・既存の設計方法で対策の実施が可能である。
	欠点	・建物がある場合には撤去する以外適用できない。更地のみ適用可能。 ・造成盛土により宅盛高を上げる必要があるため、段差が生じ、周囲との連続性を保つことができない。 ・液状化の程度により、造成盛土量、宅盛の嵩上げ高をかなり大きくする必要がある可能性がある。 ・擁壁等の土留め構造物が必要となるため、これらについても液状化時の健全性の確保が必要となる。

分 類		杭基礎工法
概略図 写 真		
		特 徴 ・小型機械により、建物荷重を支持する複数本の鋼管杭などを安定した地盤(支持層)まで施工することで、地盤液状化時にも建物を支持することにより、沈下や傾斜の発生を抑制する工法。 ・小型の貫入機械で鋼管杭を回転させながら、所定の深度(安定した地盤)まで埋設した後、家屋を建設する。 ・省スペース、低空頭に対応が可能で、低振動・低騒音、排出残土が発生しない。 ・既存建物がある場合には施工ができない。
		施工・現場条件 ・一般的に建物建てる地盤の地耐力(長期許容応力度)が20kN/m²未満の場合に用いられる工法で、建築の基礎形式として、べた基礎、布基礎と並んで一般的に採用される工法である。 ・地盤が液状化した場合にも、杭の先端が支持層(支持層以深に液状化層がない場合)まで埋設してある場合には、建物に生じる有害な沈下や傾斜を抑制するように水平抵抗についても設計することができる。 ・一般的には新築、建替時に実施する。既存建物がある場合には、曳家や更地にするなどの対応が必要である。 ・支持層が深い位置にある場合には、杭長が長くなるため対策費用が高額となる可能性がある。
		施工費 ■1戸50坪の建物用地に鋼管回転圧入杭φ190mmを施工すると想定した場合 ・既設建物がある場合は、施工できない。(曳家を行った場合でも、基礎部分は撤去、杭基礎施工、基礎部塗り直しが必要。) ・既設建物がない場合は、8百万円程度必要。
総合評価	利点	・施工実績が豊富である。 ・小型施工機械を用いるため、狭小地での施工が可能である。 ・1戸単位での施工が可能である。 ・既存の設計方法で対策の実施が可能である。
	欠点	・液状化により地盤が沈下した場合、杭が抜けあがる可能性がある。 ・液状化の発生を抑制する工法でないため、液状化により、地盤が沈下した場合に埋設管等に損傷が生じるおそれがある。また、建物下に間隙が生じ、別途補修費用が必要となる。