

道路等の公共施設と既存建築物（民間宅地）の一体的な液状化防止・軽減対策

（１）検討の対象とする工法

浦安における液状化対策を効率的に推進していくためには、行政・市民の相互連携のもとで一体的な液状化防止・軽減対策を実施することが重要である。新聞報道によれば、国土交通省においても、平成 23 年度第 3 次補正予算において、災害に強い街づくりの観点から、道路・下水道等の公共施設と隣接する宅地を対象に一体的に液状化対策を推進する「液状化対策推進事業」制度を新たに創設し、液状化対策に取り組む自治体を支援する方針が示されている。

戸建住宅など小規模建築物で構成される既存街区において、道路等の公共施設と既存建築物の一体的な液状化防止・軽減対策を推進するためには、浦安の特性を踏まえた実施可能な工法とその効果、行政・住民の費用分担と負担能力、地域の合意形成の難易度など、様々な課題を総合的に検討した上で、実現可能な対策を選定する必要がある。

具体的な対策案として、現在確立されている工法のなかから、以下の杭状改良工法、静的圧入締固め工法、格子状改良工法（深層混合処理工法および高圧噴射攪拌工法）、地下水位低下工法の 5 つの案と、住宅の建替時に個別に液状化対策を実施する案を検討する。

- A 案： 杭状改良工法
- B 案： 静的圧入締固め工法
- C 案： 格子状改良工法（深層混合処理工法）
- D 案： 格子状改良工法（高圧噴射攪拌工法）
- E 案： 地下水位低下工法
- その他： 住宅の建替時に個別に対策を実施

これらの工法の概要と特徴、課題、液状化防止・軽減効果、コスト評価等については、表－(1)～(6)に示す通りである。

（２）各工法の相互比較

上記の 5 案およびその他について、課題や液状化防止・軽減効果、コスト評価などを比較して取りまとめると、表－(7)の通りとなる。

表一(7) 道路など公共施設と既存戸建住宅との
一体的な液状化防止・軽減工法の比較表

案	評価取りまとめ
A 案 杭状改良工法	<ul style="list-style-type: none"> ・技術的には確立された工法であるが、建物直下の施工にあたり床の開口、補修工事が必要となる。 ・一戸当たりの費用負担額もかなり高額（20～30 百万円程度）である。
B 案 静的圧入締固め工法	<ul style="list-style-type: none"> ・技術的には確立された工法であるが、細粒分の多い地盤の締固め効果について検討が必要である。A案と同様、建物直下の施工にあたり床の開口、補修工事が必要となる。 ・一戸当たりの費用負担額も高額（15～20 百万円程度）となる。
C 案 格子状改良工法 (深層混合 処理工法)	<ul style="list-style-type: none"> ・戸建住宅の液状化防止・軽減対策への適用にあたって、格子間隔の検討が必要であるほか、宅地内での施工可能な小型機械の開発が不可欠である。 ・一戸当たりの費用負担額は、A・B案よりも安価になると見込まれるが、高額（7～10 百万円程度）となる。
D 案 格子状改良工法 (高圧噴射 攪拌工法)	<ul style="list-style-type: none"> ・戸建て住宅の液状化防止・軽減工法としては技術開発の途中段階にあり、格子状改良工法として実用化を図るためには、さらに検討が必要である。 ・一戸当たりの費用負担額は、上記の3つの案よりも安価になると見込まれるが、やや高額（4～8 百万円程度）となる。
E 案 地下水位低下 工法	<ul style="list-style-type: none"> ・液状化防止対策として実施された事例があるが、浦安の地盤特性を踏まえた地下水位低下による液状化防止効果や地盤沈下等への影響、ポンプ・止水壁の設置等について、より詳細に検討する必要があるほか、恒久的対策としての可否についての検討が必要である。 ・一戸当たりの費用負担額については、上記の4つの案よりも初期費用は安価になると見込まれるが、維持管理費用を含め、より詳細な検討が必要である。
その他 住宅建替時に 対応	<ul style="list-style-type: none"> ・住宅建替時に、価格、効果を勘案した上で所有者の事情に応じた対策を選択することが可能。また、傾斜復旧工事にあたり再液状化に備えた工夫を行うことも重要となる。 ・対策工法によってコストに幅があるが、一戸当たりの費用負担額は3～5 百万円程度と見込まれる。

平成 23 年度第 3 次補正予算で国土交通省が検討中の「液状化対策推進事業」は、道路・下水道等の公共施設と隣接宅地を対象に一体的な液状化対策を推進する制度であるが、宅地部分の対策に必要な経費は、それぞれの所有者が負担する必要がある。

検討を行った A～E の 5 つの案は、公共施設と隣接宅地の一体的な液状化対策を行うもので、対策効果が発揮されるためには対象区域内で一斉に対策を講じる必要がある。このため、それぞれの所有者の費用負担を含めた合意形成が不可欠であり、その際、費用負担額が高額であれば合意を得ることが極めて困難となる。また、C、D 案のように技術開発の途中段階にある工法については、実用化を図るためには少なくとも数年程度の期間を要するものと見込まれる。

このようなことから、合意形成が可能となる各所有者の費用負担上限額を 100～200 万円程度と想定すると、実現可能性のある工法としては、「E 案の地下水位低下工法」が挙げられる。しかしながら、同工法も、浦安における地盤特性を踏まえた地下水位低下量と液状化防止・軽減効果に関する定量的な評価、地下水位低下に伴う地盤の圧密沈下による様々な影響、地下水位の継続的な観測やポンプ・止水壁設置の要否を含む維持管理や施設更新コストの検討など、技術的課題に関する詳細な検討が必要であるほか、官民の費用負担や土地区画整理事業などの事業手法の検討、恒久的な対策としての可否について検討が必要である。

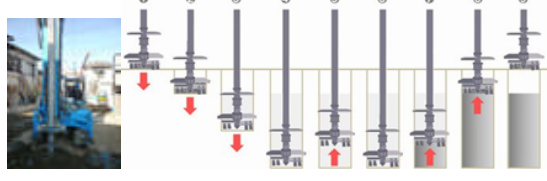
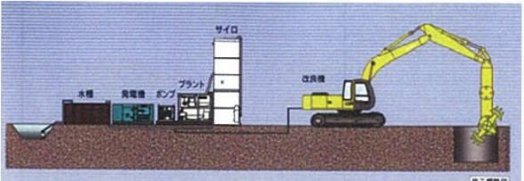
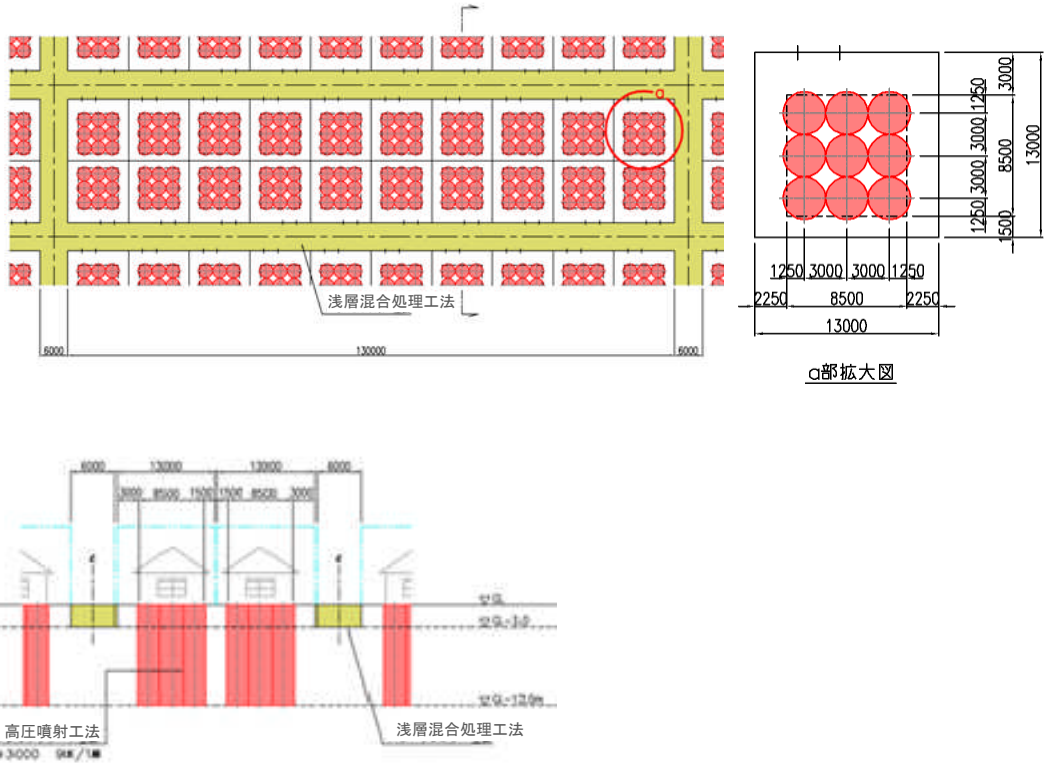
このため、今後、地盤調査や地下水位低下試験を含む実現可能性調査を実施し、その結果を踏まえ、事業に伴うリスクや費用負担について地域住民と意見交換を行いながら事業の実施について慎重に判断する必要がある。

また、実現可能性調査の結果によっては、地下水位低下工法の実施は困難になることも考えられるため、A～D 案に示した工法の中には今後の技術開発や施工機械が開発されることによって、地下水位低下工法よりも合理的に実現可能となる工法もあることから、今後の技術開発の動向に注視する必要がある。なお、「その他」として対応を整理した、住宅建替時にそれぞれの所有者の事情に応じて液状化対策工法を選択、実施することも現実的な対策として考えておく必要がある。

なお、個別に液状化防止対策を講じようとする場合、浦安のように液状化層が地表面から深さ 10～15m まで存在する地域では、地盤特性を十分把握した上で柱状改良工法など液状化防止・軽減効果が発揮される適切な工法を選択する必要がある。また、このような深度まで効率的に施工することが可能な施工機械の開発も望まれる。

さらに、中町・新町地域の河川護岸の大地震に対する耐震性能を検証し、液状化現象による道路・宅地等の地盤の安定性への影響については、別途検討を行うことが望ましい。

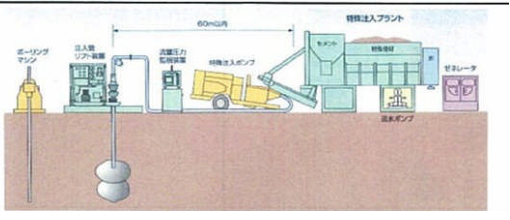
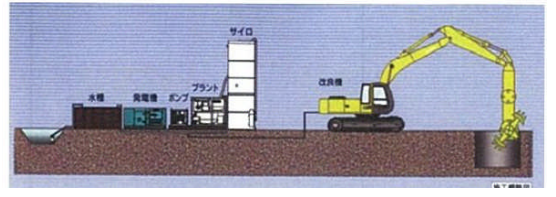
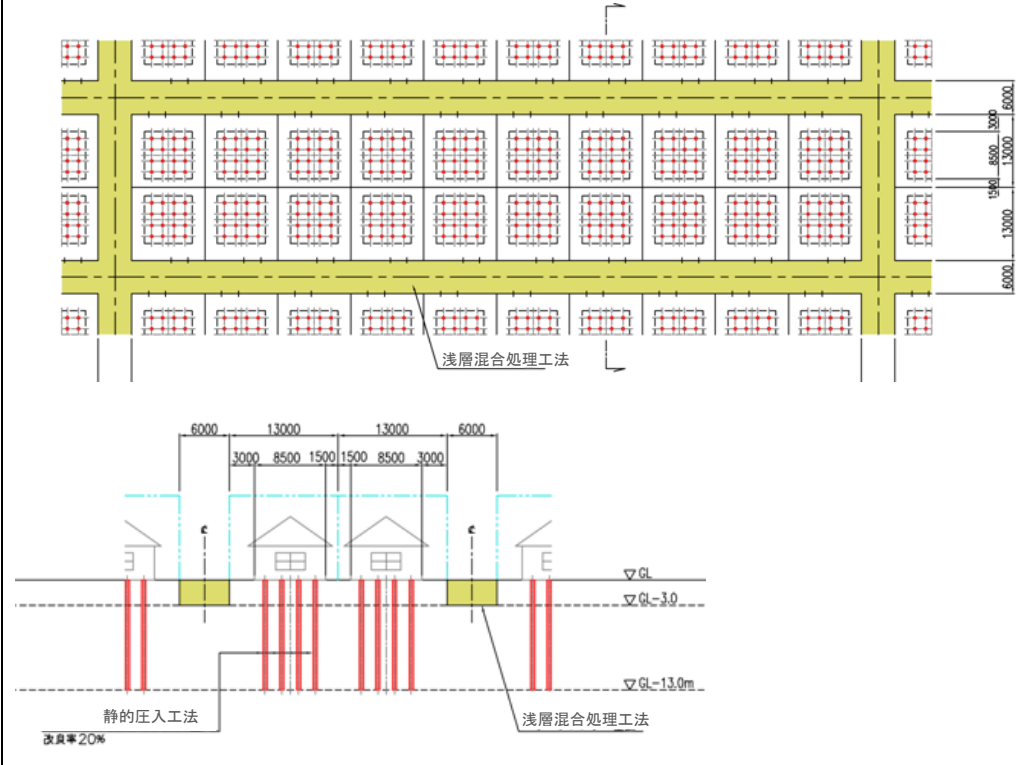
表一(1) 道路など公共施設と既存戸建住宅との一体的な液状化防止・軽減工法の比較

		【A案】 杭状改良工法					
工法の概要		<ul style="list-style-type: none"> セメント系固化材を用いて建築物直下の地盤を杭状に改良することにより、液状化の発生時に建築物を直接支えて、沈下を防止する。 道路部については、セメント系の固化材を道路直下の表層地盤を盤状に固化することにより液状化防止・軽減を図る。 					
具体的な工法例	概要	<p>(宅地部) 【高圧噴射工法】 小型機械を用いて、地中に挿入したパイプからセメント系固化材を高圧で噴射し、液状化地盤と混合攪拌することにより、高強度の円柱状の杭を造成する工法</p>	<p>(道路部) 【浅層混合処理工法】 セメント系固化材などの改良材をスラリー状に混練後、地中に噴射して表層土と改良材を攪拌混合し、固化する工法</p>	特徴・課題	<ul style="list-style-type: none"> 液状化による宅地の被害を防止するためには、非液状化層まで地盤改良を行う必要があり、コストが割高となるが、大規模地震にもかなりの被害軽減効果が期待できる。 既存建築物直下の地盤を改良するためには、屋内での施工が必要となるため、複数個所で床の開口と補修工事が必要。 		
	工法概念図					液状化防止・軽減効果	<ul style="list-style-type: none"> 道路部は表層部分の改良で一定の液状化軽減効果を期待。なお、舗装、地下埋設管の撤去・再整備が必要。
	特徴	<ul style="list-style-type: none"> 小型機械を用いることにより、狭いスペースで施工できるため、戸建住宅の屋内での施工も可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的、簡単な施工機械を用いるため、低コストで対策が可能。 			<ul style="list-style-type: none"> 宅地部分はそれぞれの既存建築物を個別に対策することが可能であるが、道路の液状化対策を実施するため、宅地の対策を講じない場合には液状化被害が増大する可能性がある。 	
対策工事のイメージ図		<ul style="list-style-type: none"> 建築物の基礎直下の地盤全面を非液状化層まで杭式に改良。道路部は、表層のみ固化する。 		コスト評価	<ul style="list-style-type: none"> 宅地内の対策費用は、各所有者が負担する必要がある。 非液状化層まで宅地の地盤を改良する場合、一戸当たりの負担は高額（約20～30百万円程度）となる見込み。 		
				備考	<ul style="list-style-type: none"> 既存建築物直下の地盤を改良するため、更地で地盤改良する場合に一般的に用いられている工法と比べ、費用が高額となる。 		

(注) 一戸当たりの負担額は概算金額である。地盤特性や施工方法、官民の負担区分を検討する必要あり、その結果によっては大きく異なる場合がある。

※一部の図、写真は、民間企業のパンフレット・ホームページより転載させて頂きました。

表一(2) 道路など公共施設と既存戸建住宅との一体的な液状化防止・軽減工法の比較

		【B 案】 静的圧入締固め工法			
工法の概要		<ul style="list-style-type: none"> 建築物直下の地盤にモルタルを注入して地盤を締固め、液状化を防止・軽減する。 道路部については、セメント系の固化材を道路直下の表層地盤を盤状に固化することにより液状化防止・軽減を図る（A案と同じ）。 			
具体的な工法例	概要	<p>(宅地部) 【静的圧入工法】</p> <p>小型機械を用いて、極めて流動性の低いモルタルなど注入材を地盤に注入し、地盤を押し広げることで締固め、密度を増大する工法</p>	<p>(道路部) 【浅層混合処理工法】</p> <p>セメント系固化材などの改良材をスラリー状に混練後、地中に噴射して表層土と改良材を攪拌混合し、固化する工法</p>	特徴・課題	
	工法概念図			液状化防止・軽減効果	
	特徴	<ul style="list-style-type: none"> 小型機械を用いることにより、狭いスペースで施工できるため、戸建住宅の屋内での施工も可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的、簡単な施工機械を用いるため、低コストで対策が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化防止・軽減効果を発揮するためには、地盤強度に応じた注入材の挿入位置や注入量の検討が必要。細粒分の多い浦安の地盤へ締固め効果について検討が必要。液状化層を効率的に締固めることができれば、コストの低減が可能。 既存建築物直下の地盤を改良するためには、屋内での施工が必要となるため、複数個所で床の開口と補修工事が必要。 モルタル注入により地盤が盛り上がり家屋が傾斜しないよう留意する必要がある。 道路部は表層部分の改良で一定の液状化軽減効果を期待。なお、舗装、地下埋設管の撤去・再整備が必要。 宅地部分はそれぞれの既存建築物を個別に対策することが可能であるが、道路の液状化対策を実施するため、宅地の対策を講じない場合には液状化被害が増大する可能性がある。 	
対策工事のイメージ図		<ul style="list-style-type: none"> 建築物の基礎直下の地盤全面を締固め。道路部は、表層のみ固化する。 		コスト評価	
				備考	
				<ul style="list-style-type: none"> 宅地内の対策費用は、各所有者が負担する必要がある。 非液状化層まで宅地の地盤を改良する場合、一戸当たりの負担は高額（約15～20百万円程度）となる見込み。 既存建築物直下の地盤を改良するため、更地で地盤改良の場合に一般的に用いられている工法と比べ、費用が高額となる。 	

(注) 一戸当たりの負担額は概算金額である。地盤特性や施工方法、官民の負担区分を検討する必要あり、その結果によっては大きく異なる場合がある。

※一部の図、写真は、民間企業のパンフレット・ホームページより転載させて頂きました。

表一(3) 道路など公共施設と既存戸建住宅との一体的な液状化防止・軽減工法の比較

		【C 案】 格子状改良工法 (深層混合処理工法)	
工法の概要		<ul style="list-style-type: none"> 地盤にセメント系固化材を混合させて、道路と宅地の境界および宅地相互の境界の地中に、格子状に強固な連続壁を造成することにより、地盤のせん断変形を抑えて液状化の防止・軽減を図る工法。 	
具体的な工法例	概要	<ul style="list-style-type: none"> 円柱状の改良地盤を直線状に連続して造成して一枚の壁を地盤内に設け、これを上から見て、縦と横十字形に組み合わせて格子状（碁盤目状）に強固な壁を造成する。 	
	工法概念図		
	特徴	<ul style="list-style-type: none"> 大型の攪拌機を用いて地中壁を造成し、支持杭と併用することにより、マンション、立体駐車場など大型建築物の液状化防止・軽減策を目的とした建物の基礎に用いられている。 	
対策工事のイメージ図			
		特徴・課題	<ul style="list-style-type: none"> 戸建住宅の液状化防止工法として適用例がない。 液状化防止・軽減効果を発揮するためには、格子間隔の精査が必要である。格子間隔は、改良地盤厚さの0.8程度とする必要があると言われてきたが、地盤条件と想定地震動から数値計算により格子間隔を決定する手法が用いられている。 宅地相互の境界での施工スペースが狭いため大型の機械では施工することが困難。また、既存建築物直下に地中壁を設ける場合には、コスト増となるほか建物直下での施工が困難である。
		液状化防止・軽減効果	<ul style="list-style-type: none"> 建物外部からの施工が可能であるが、土地境界線上や道路部での施工が必要なため、塀・生垣などの外構、ライフラインなどの地下埋設物の撤去、再配置が必要である。 格子状改良工法によって液状化防止・軽減効果を発揮させるためには、道路・宅地の一体的、連続的な施工が不可欠である。
		コスト評価	<ul style="list-style-type: none"> 宅地内の地中壁の造成費用、外壁の撤去・再整備費用は、各所有者が負担する必要がある。 液状化防止効果について、詳細な検討が必要であるが、本案による一戸当たりの負担額は7～10百万円程度と想定される。
		備考	<ul style="list-style-type: none"> 宅地境界で施工可能な小型機械の開発が必要である。

(注) 一戸当たりの負担額は概算金額である。地盤特性や施工方法、官民の負担区分を検討する必要あり、その結果によっては大きく異なる場合がある。

※一部の図、写真は、民間企業のパンフレット・ホームページより転載させて頂きました。

表- (4) 道路など公共施設と既存戸建住宅との一体的な液状化防止・軽減工法の比較

		【D 案】 格子状改良工法 (高圧噴射攪拌工法)	
工法の概要		<ul style="list-style-type: none"> ・小型機械を用いて、地中に挿入した特殊なパイプからセメント系固化材を場所を限定して高圧で噴射して液状化地盤と混合攪拌することで高強度の扇状の壁を造成し、これらの地中壁を格子状に構築することによって液状化防止・軽減を図る工法。 	
具体的な工法例	概要	<ul style="list-style-type: none"> ・土地境界線上にパイプを地盤に挿入して、扇状の壁を直線あるいは十字に造成し、これらを組み合わせることによって、格子状(碁盤目状)に強固な壁を造成する。また、格子状の地中壁に加えて、建物を直接支えるバトレスを設けることが可能。 	
	工法概念図		
	特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・特殊なパイプで大口径、任意形状の改良体を造成することが可能であるほか、小型の機械を用いるため、宅地相互の境界でも一定のスペースがあれば施工することが可能。 	
対策工事のイメージ図			特徴・課題
			液状化防止・軽減効果
			コスト評価
		備考	<ul style="list-style-type: none"> ・壁を格子状に組み合わせた施工事例はない。また、格子内地盤の液状化を抑制するために必要な格子状改良体としての強度評価や壁厚の検討が必要など、技術開発の途中段階。 ・液状化防止・軽減効果を発揮するためには、格子間隔の精査が必要である。また、数値計算など格子間隔の設計手法の検討が必要である。 ・宅地相互の境界での施工スペースが狭いため機械では施工することが困難な場合がある。また、既存建築物直下に地中壁を設ける場合には、コスト増となるほか建物直下での施工が困難である。 ・建物外部からの施工、地下埋設物に近接した施工が可能であるが、土地境界線上や道路部での施工が必要のため、塀・生垣などの外構の撤去・再配置やライフラインなどの地下埋設物を避ける必要がある。また、宅地相互の境界での施工スペースが狭い場合は、機械の設置が困難となり施工できない。 ・格子状改良工法によって液状化防止・軽減効果を発揮させるためには、道路・宅地の一体的、連続的な施工が不可欠である。
		コスト評価	<ul style="list-style-type: none"> ・宅地内の地中壁の造成費用、塀等の撤去・再整備費用は、各所有者が負担する必要がある。 ・液状化防止効果について、さらに十分な検討が必要であるが、本案での一戸当たりの負担額は4~8百万円程度と想定される。
		備考	<ul style="list-style-type: none"> ・戸建住宅の液状化防止・軽減対策として実用化に至るには、実証実験などによる検証が必要。

(注) 一戸当たりの負担額は概算金額である。地盤特性や施工方法、官民の負担区分を検討する必要あり、その結果によっては大きく異なる場合がある。

※一部の図、写真は、民間企業のパンフレット・ホームページより転載させて頂きました。

表一(5) 道路など公共施設と既存戸建住宅との一体的な液状化防止・軽減工法の比較

		【E 案】 地下水位低下工法		
工法の概要		<ul style="list-style-type: none"> 地下水位の低下によって地盤の有効応力を増加させて地盤の液状化安全率の改善を図るとともに、地下水位を低下させた部分の不飽和化（水の一部または全部を空気と置き換えること）により、液状化の発生を抑え、建物被害を軽減するもの。 		
具体的な工法例	概要	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位の低下方法としては、道路直下および宅地地盤内に排水溝を設置して自然流下と集水桝でのポンプアップなどが考えられる。 		
	工法概念図			
	特徴	<ul style="list-style-type: none"> 過去、液状化被害が発生した尼崎市、柏崎市の住宅地の液状化対策として実施された事例あり。 		
対策工事のイメージ図	特徴			
		特徴・課題	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位を地表面から 3m～5m 程度低下させる必要があるものと考えられる。 地下水位低下量と液状化軽減効果（液状化安全率の改善、液状化沈下量）の定量的な評価が必要（※1）である。また、地下水位の低下によって地盤沈下が発生する可能性が高いため、建築物の不同沈下、杭基礎構造物への影響や区域外の地盤との段差の発生、ライフラインの切断対策等について検討が必要である（※2）。 	
		液状化防止・軽減効果	<ul style="list-style-type: none"> 浦安の地盤標高が低いため、地下水位低下量によってはポンプ施設が不可欠となり、維持管理経費が必要。また、海水の浸透対策ために止水壁の設置が必要となるケースがある。 細粒分を多く含む地盤であるため、排水溝の目詰まり対策が必要。また、水平ドレーンの配置間隔の検討が必要。 初期投資額は安価となるが、維持管理費用や更新費用の負担が不可欠であることから、恒久的な液状化対策とすることは難しい。 	
コスト評価	特徴	<ul style="list-style-type: none"> 初期コストは安価であり、一戸当たりの負担額は、A案～D案に比べ安価になると想定されるが、地盤沈下対策によるコスト増や維持管理経費など、より詳細な検討が必要。 官民の負担区分によっては、宅地部分の初期負担額は、わずかになることも考えられる。 		
		備考	<ul style="list-style-type: none"> 技術的な課題の検討、コストの算定に当たっては、現地調査・実験を含む詳細な調査・検討が必要。 ※1 地下水位の低下量と大地震時の液状化防止・軽減効果について、さらに詳細な検討が必要である。 ※2 浦安の場合、1mの地下水位低下で地盤の沈下量は概略 10～15cm 程度と想定。 	

(注) 一戸当たりの負担額は概算金額である。地盤特性や施工方法、官民の負担区分を検討する必要あり、その結果によっては大きく異なる場合がある。

※一部の図、写真は、民間企業のパンフレット・ホームページより転載させて頂きました。

表－(6) 道路など公共施設と既存戸建住宅との一体的な液状化防止・軽減工法の比較

		【その他】 住宅の建替時に液状化対策を実施 (柱状改良工法)		
工法の概要		<ul style="list-style-type: none"> ・ A～C案は、個人負担、地盤沈下などの大きな課題があるため、効率的に液状化防止・軽減対策を行うことが可能な住宅の建て替える際に実施。 ・ 住宅の立替時に建物所有者の事情に応じた液状化対策を推奨し、長期的に液状化に強い街づくりを行う。 		
具体的な工法例	概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ アースオーガーにより支持層まで地盤を掘削、掘り出した土砂にセメント系固化材を混合して埋め戻して、オーガーの正転逆転を繰り返して攪拌混合、締固めを行って、柱状改良体を作り、建物を直接支持して沈下を防止する。 		
	工法概念図			
	特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 標高の低い元町地域は浸水対策と兼ね合わせた地盤のかさ上げ、中町・新町地域は柱状改良工法や地盤締固め工法など、それぞれの地域と所有者の事情に応じた対応が可能 		
対策工事のイメージ図	<p>柱状改良工事</p>		特徴・課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 液状化対策として、地震時に必要となる柱状改良体として必要となる強度について検討が必要。 ・ 建物所有者の費用負担が生じるとともにそれぞれの建築物の建替時に対策を実施することから、スケールメリットが発揮されず、地域全体として一体的に液状化対策を推進することが困難。 ・ 一方、A～E案に示した液状化対策に比べると、住宅建替時にあわせて対策を実施するため、それぞれの事情に応じて、より安価で効果の高い対策を講じることが可能。 ・ 各家屋で対策を行うまでの間、再液状化に備えて、傾斜復旧工事に当たって工夫（再度の傾斜復旧が簡易に行えるようにしておく等）をしておくことも重要。
	コスト評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対策工法によってコストに幅があるが、一戸あたり3～5百万円程度（詳細検討が必要）。 		
	備考	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地表面から深い位置にある非液状化層まで低コストで柱状改良を行う施工機械の開発が求められる。 		

注) 一戸当たりの負担額は概算金額である。地盤特性や施工方法、官民の負担区分を検討する必要あり、その結果によっては大きく異なる場合がある。

※一部の図、写真は、民間企業のパンフレット・ホームページより転載させて頂きました。

