

戸建住宅向けの液状化対策工法について

戸建住宅向けの液状化対策工法に関しましては、東日本大震災の液状化被害を踏まえ、被災された自治体や、建築学会、地盤工学会といった関連学会の委員会、国交省等から多くの工法の提案がなされています。

しかし、これらの対策工法については、

- ・何処でも使用できる汎用工法は存在しない
 - ・圧密沈下対策と同様の仕様では必ずしも液状化対策にはならない
- ことに注意が必要です。

上記を踏まえ、ここに掲載する対策工法につきましては、被災自治体毎の対策方法や、国交省、関連学会からの情報等をそのまま掲載するものとし、対象宅地の対策工法を立案する上での参考としてもらうこととしました。

今回のこの掲載の取り纏めの最終段階で、地盤工学会誌（Vol.62 No.6 Ser.No.677）が発刊され、特集「住宅地の液状化対策技術の現状」の中で、東京電機大学の安田教授が、総説「東日本大震災における住宅地の液状化対策工法の開発」を執筆されております。一部転載しましたが最新の情報やより具体的な内容を説明しているところもありますので、ご参照下さい。

なお、対策工法の内容等についてお分りにくい点等があれば、遠慮なく当社宛てにご相談いただきますようお願い致します。

1. 復興交付金を活用した道路と宅地の一体的な液状化対策

東日本大震災の復興交付金を活用した道路と既設宅地の一体的な液状化対策工法については、「地下水位低下工法」と「格子状地中壁工法」の2工法が現在、実施あるいは実施を検討されています。これらの対策の考え方に関しては、今後の一体的な対策を取り纏めた、国土交通省「市街地液状化対策推進ガイドンス」（平成26年3月；下記HP）に詳しく示されています。

http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_fr_000005.html

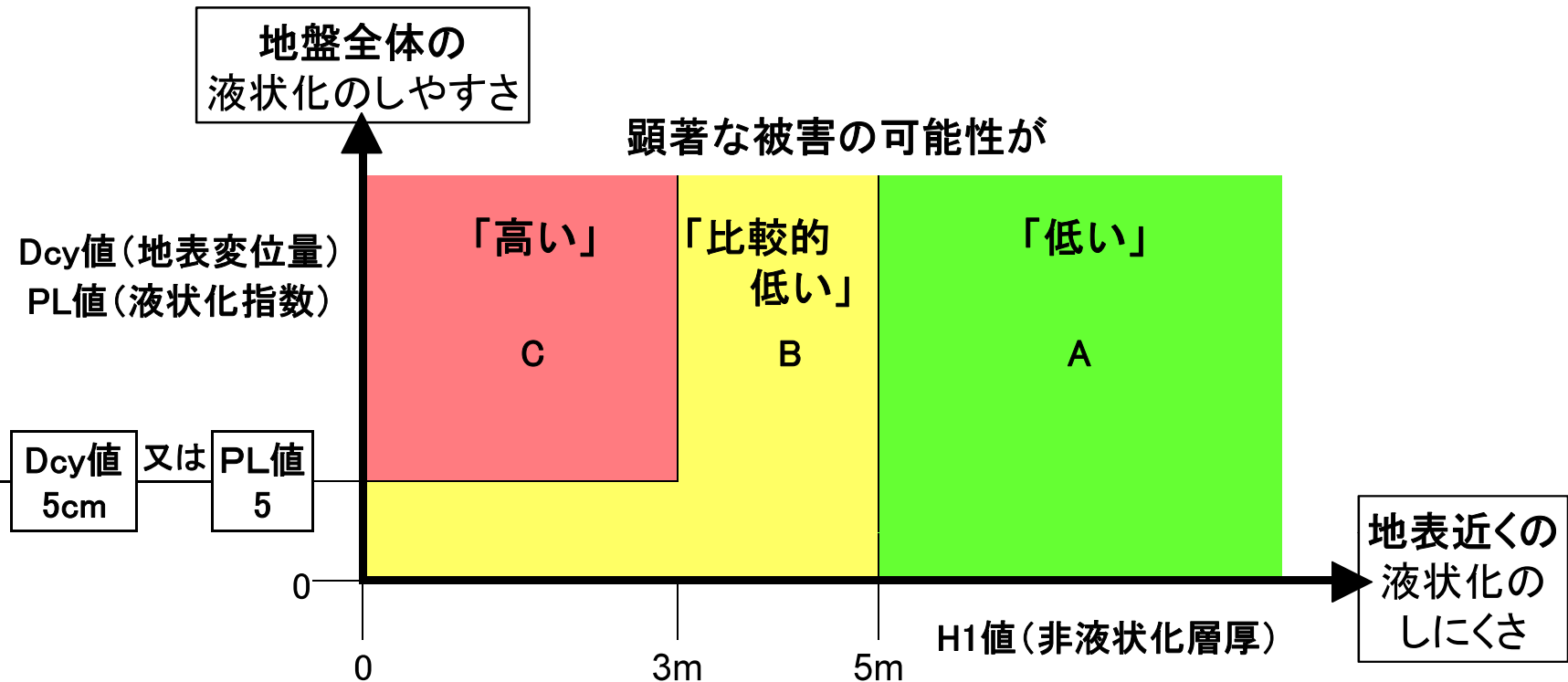
なお、この液状化被害判定にあたっては、平成25年4月1日付けで国土交通省の都市局長から都道府県知事等に対し、技術的助言として発出した「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」により検討することにしていきます。この技術指針の判定概要図を次頁に示しますが、想定している地震動に関しては、震度5程度の中地震（マグニチュード7.5、最大加速度200gal）を設定していることに留意が必要です。

一方、新たに開発される道路と新設宅地の一体的な液状化対策については、大規模更地（宅地）で従来から実施されているサンドコンパクションパイル工法やグラベルドレーン工法が現状においても経済的かつ効果的と言えます。

以下に、現在、各被災自治体の実施あるいは実施を検討している道路と宅地の一体的な液状化対策を示しますので、ご確認下さい。

宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針の概要

ボーリングデータを基に、「建築基礎構造設計指針(日本建築学会)」等により、各種数値を算定し、下図により3段階で評価。(算出手法の一部を微修正。)



※ 中地震動(震度5程度)に対する宅地の液状化被害の可能性の程度の目安を示すもので、個別には建物特性等によって被害発生状況は異なり、被害の有無等を保証するものではない。

(1) 市街地液状化対策事業の検討委員会毎の液状化対策工法検討状況

液状化対策検討委員会を設置している 11 自治体についての液状化対策工法の検討状況を、香取市検討委員会がまとめていますが、この抜粋を次頁に示す。

この表から分かるとおり、対策工法を絞り込んで検討を進めている自治体を対策工法別に示すと次のようになります。

地下水位低下工法を検討している自治体：潮来市、神栖市、久喜市

格子状地中壁工法を検討している自治体：浦安市

その他（締固め工法）を検討している自治体：我孫子市

(3) 市街地液状化対策事業の検討委員会毎の液状化対策工法検討状況

検討委員会を設置している11自治体について、液状化対策工法の検討状況を下記にまとめた。


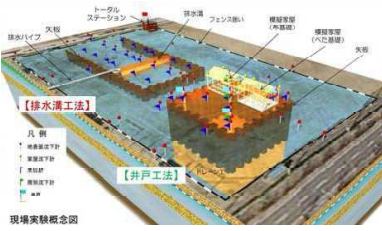
主に地下水水位低下工法について検討しているのは、潮来市、神栖市、久喜市であり、いずれも実証実験等を行っている。また、格子状地中壁工法を検討しているのは、浦安市のみである。その他の工法として、我孫子市では、締め固め工法を検討している。

表10-2 (a) 検討委員会毎の液状化対策工法検討状況 (その1)

自治体名	委員会開催情報	液状化対策工法の検討	金額
ひたちなか市	ひたちなか市液状化対策検討委員会	HP掲載情報なし	
鹿嶋市	鹿嶋市液状化対策検討委員会	HP掲載情報なし	
潮来市	潮来市液状化対策検討委員会	日の出地区を対象に地下水低下工法を選定 (実証実験を実施し、その結果をうけ、地下水水位低下工法を採用した。) 	
稲敷市	稲敷市市街地液状化対策事業計画策定検討委員会	液状化対策工法検討中	
神栖市	神栖市液状化対策検討委員会	鱒川、堀割1・2丁目地区：地下水低下工法を選定(合意形成中) 堀割3丁目地区：地下水低下工法を選定(合意形成中) 豊田・昭田地区：液状化対策について検討中 深芝・平泉地区：液状化対策について検討中 深芝南・平泉東地区：平泉東地内において、不飽和化工法の実証実験中 その他地区：地盤調査中 ※詳細な検討結果については、公開されていない。	
旭市	旭市液状化対策検討委員会	液状化対策工法検討中	
浦安市	浦安市液状化対策実現可能性技術検討委員会	格子状地中壁工法で確定(合意形成中) 液状化対策の有効性については、FL値を用いて評価している。  	概算工事費：約7億円～9億円/地区(1街区=20戸とし5街区で100戸) そのうち、個人負担は100万円～200万円 ● 道路部分 3億円(国が負担) ● 宅地部分 4～6億円 国 1/2 民 1/2 民 1/2 市 国と所有者で折半 民負担分を100万円を限度に1/2を市が補助

香取市液状化対策委員会の作成資料より転載

表10-2 (b) 検討委員会毎の液状化対策工法検討状況 (その2)

自治体名	委員会開催情報	液状化対策工法の検討	金額
我孫子市	我孫子市液状化対策検討委員会	<p>地下水低下水工法(自然流下)は、地下水低下に伴う宅地地盤の影響が懸念され、また暗渠配水管の施工が困難であることから、採用できないこととなった。格子状地中壁工法については、多大な住民負担が生じるため採用できないこととなった。</p> <p>調査地区においては全壊家屋の撤去が始まり、空地が多数点在している状況であるため、宅地と公共施設の一体的な液状化対策として、更地に対して特に有効な締固め工法の採用を検討中。</p> <p>(道路部直下および建物直下では、静的圧入締固め工法を採用し、更地部では静的締固め砂杭工法を採用する)。</p>  <p>補足：地下水低下の影響について検討した結果、Dcy=10cm未満、PL=5cm程度未満、地下水低下に伴う沈下量=30cm程度、沈下時間は、残留沈下量3cmまで約1100日必要、という検証結果となった。</p>	<p>締固め工法 (1宅地、200㎡当)</p> <p>概算工事費：2億円/ha程度</p> <p>維持管理費：不要</p> <p>住民負担：◎300万円程度(建物有)</p> <p>※建物1F床面積100㎡当</p> <p>※3万円/㎡(1F床面積)</p> <p>◎150万円程度(更地)</p> <p>※7.5万円/㎡</p>
千葉市	千葉市液状化対策推進委員会	地下水低下水工法(自然流下)と深層混合処理工法(格子改良)について検討中	
習志野市	習志野市液状化対策検討委員会	格子状地中壁工法を主体に検討中。 地震応答解析により対策効果を検討する予定。	
久喜市	久喜市液状化対策検討委員会	地下水低下水工法について実証実験中	

香取市液状化対策委員会の作成資料より転載

(2) 浦安市の液状化対策工法

浦安市では、浦安市液状化対策実現可能性技術検討委員会の検討結果を踏まえ、「格子状地中壁工法」による対策を提案しています。検討結果の抜粋は次のとおりですが、この詳細は、下記掲載の浦安市住民説明会資料の「宅地の液状化対策の考え方と今後の取り組み」を参照して下さい。

なお、この検討結果は、「浦安市で観測された東日本大震災と同程度の地震」に対して液状化させないことを前提として纏めたものです。ここで言う、同程度の地震とは、マグニチュード9.0、地表面加速度160gal程度の規模の地震で、巨大地震による中程度の揺れに相当します。

www.city.urayasu.chiba.jp/secure/33824/purezenshiryo.pdf

A. 道路と宅地の一体的な液状化対策 (市街地液状化対策事業)

- 復興交付金を活用した事業(平成27年度末までに事業着手が必要)
- 一定の区域において道路と宅地の一体的な液状化の発生を抑制する対策を実施
- 公共用地と民間宅地を一体的に対策することで、面的に噴砂や沈下等の軽減が可能
- 事業区域内の住民全員(土地権利者)の同意と費用負担が必要

● 検討結果を踏まえた市の評価

A 道路と宅地の一体的な液状化対策(市街地液状化対策事業)

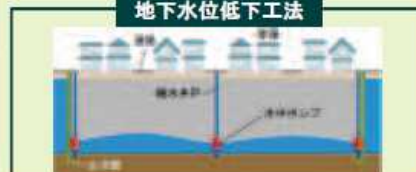
- 格子状地中壁工法
コスト面などで課題はあるものの、一定の仕様で対策をすれば、液状化被害を軽減する効果がある。
- 地下水位低下工法
本市の地盤条件では、沈下リスクがあるため市として推奨しない。

A. 道路と宅地の一体的な液状化対策

格子状地中壁工法



地下水位低下工法



浦安市住民説明会資料「宅地の液状化対策の考え方と今後の取り組み」(平成24年4月)より抜粋転載

2. 個別宅地の液状化対策

個別宅地の液状化対策工法については、被災自治体である東京都、浦安市および地盤工学会がそれぞれ対策検討委員会を設けて検討を行ってきましたが、検討結果を踏まえ各種の対策工法を提案しています。以下、この内容について、簡単にご紹介します。

(1) 東京都の液状化対策

東京都建築物液状化対策検討委員会の検討結果を踏まえ、東京都都市整備局が作成した「液状化による建物被害に備えるための手引」（平成 25 年 3 月 28 日）の中に液状化対策が詳しく纏められています。

www.metro.tokyo.jp/INET/OSHIRASE/2013/03/DATA/20n3si00.pdf

この手引の中から、対策工法の考え方（種類）と対策工法名とを対比した表、具体的な対策工法を取り纏めた一覧表を、それぞれ抜粋して、以下に示しますので、ご覧下さい。

これらの表を見て分かるとおり、東京都の対策工法の設置深さについての考え方は、次のとおりです。

【建築物の基礎で対応する工法】

ベタ基礎：液状化しない深さまで基礎を下げる（液状化層が薄い場合）

小口径杭工法：液状化しない支持層に支持させ建物被害を抑制する。

【地盤を改良して対抗する工法】

深層混合処理工法：N 値 10 以上の非液状化層に支持させ建物被害を抑制する。

浅層混合処理工法：液状化層全体を改良する（液状化層 2m 以下の場合）

注入工法：液状化層の下端まで到達させる。

また、想定する地震動について、次のようにコメントしています。

「F L 値の算定に当たっては、通常、震度 5 強程度の地震動を想定する。なお、より大きな震度 6 強以上の地震動を想定して検討することもあり、この場合の F L 値は震度 5 強程度の地震動の場合と比べ 1.0 を下回り液状化の可能性有りと判断されることが多くなる。」としています。

表 7-1 主な液状化対策工法

分類	対策の考え方	工法
建築物の基礎で対応する工法	液状化が発生しても建築物への被害を受けにくくする。	・ 直接基礎（べた基礎） ・ 小口径杭工法
地盤を改良して対応する工法	液状化の発生を抑えて建築物の被害を防止する。	・ 深層混合処理工法 ・ 浅層混合処理工法 ・ 注入工法

個別宅地の液状化対策工法

工 法 名	建築物の基礎で対応する工法		地盤を改良して対応する工法		
	直接基礎（べた基礎）	小口径杭工法	深層混合処理工法	浅層混合処理工法	注入工法
工法のイメージ図と概要					
対策のねらい	べた基礎は、建物の荷重を底板全体で受け止め、分散して地盤などに伝えることができ、不同沈下や耐震性を増やすことが可能になります。基礎底面以下に液状化の発生の可能性のある地層がある場合は、その層を掘削し、砕石などの材料で置き換えを行うことで、液状化による建物の被害を防ぐことができます。	建物荷重を支える力を基礎の底面で確保した上で、沈下量を低減することを目的として、鋼管などの杭を回転貫入又は圧入によって設置する工法です。	土と固化材を混ぜた円柱状断面の改良体を、基礎スラブ(地中のはり)又は基礎フーチング逆T型をした基礎底面の部材直下に杭のような形で配置して地盤を改良する工法です。	建物の周囲を含め、基礎スラブ又は基礎フーチングの直下を全面的にセメント系固化材と原状の土をかくはん混合して薄い層状・板状に改良する工法です。	セメントスラリー（水とセメントの混合液）や薬液（水ガラス系など）を地盤に注入する工法です。
対策のねらい	支持力（建物の荷重などを支える地盤の力）を増し、不同沈下を防止します。	沈下を軽減します。	地盤の変形の抑え、建物荷重を支える力を増し、沈下量を軽減します。	地盤が支える力を増加させ、建物荷重による沈下量を軽減します。	地盤の強度を増大させ、沈下変形を軽減します。
メリット	液状化層が僅かに残っている状態で、部分的に液状化が発生しても、基礎全体がたわみにくいため、沈下の軽減につながります。	液状化の発生の有無にかかわらず、建物の安定性はある程度確保されます。	液状化の発生の有無にかかわらず構造物の安定を確保できます。	液状化層を置き換えた場合には、液状化による被害が軽減されます。	狭小地でも施工が可能です。
デメリット	液状化発生のおそれのある地層が厚く、深い位置まで連続するような場合には、液状化層の置き換えが難しくなります。	液状化の発生を許すため、建物と周辺地盤との間に段差が生じる場合があります。	液状化の発生により、建物と周辺地盤との間に段差が生じる場合があります。	液状化層が厚い場合、効果は半減します。	他の工法と比較すると材料費が高くなります。
騒音振動	地盤を掘削する際に、少し振動騒音が発生します。	静的圧入又は回転圧入する場合、騒音振動が小さいものにとどまります。	騒音振動は、比較的小さくなります。	重機による土のかくはん混合の際に振動騒音が発生します。	騒音振動は、小さくなります。
対策深度の考え方	地盤の置き換えは、液状化の可能性のある地層の下まで行うことが望ましいといえます。	N値で10～20程度の値が出現する深さまで（深さ20m程度以内）施工が可能です。	N値10以上の値となる深さまで施工が可能です。	液状化層の下端付近までが対象になります。	液状化層の下端付近まで施工が可能です。
新築住宅	施工性	施工するのに特に支障はありません。	小型の機械で対応可能です。	機械かくはん方式は大型の機械が必要となり、敷地に余裕がないと施工できません。	小型の機械で施工可能です。
	工期	1か月程度	2～3日程度	2～3日程度	1～2週間程度
既存住宅	施工性	基礎形式の変更は困難です。	建物の脇での工事となるため隣地の建物との間が狭い場合は施工が難しくなります。	施工条件等から既存住宅への適用は困難です。	既存住宅直下の地盤には適用はできません。
	工期		1～3週間程度		1～2週間程度
工事費 ^{注)}	100～300万円程度	新築時 150～250万円程度、既存 500～800万円程度	新築 100～200万円程度	新築 80～150万円程度	新築・既存 500～800万円程度
備 考	基礎が強たくたわみにくいため、仮に液状化被害を受けた場合でも、家屋の沈下を修復する際には、ジャッキアップなどによる沈下修正工法が採用できる可能性があります。	既存住宅では、液状化被害を受けた時の沈下の修正にアンダーピニング工法を採用する場合に支持杭として利用することが多くあります。	土と固化材のかくはん混合方式には、スラリー状（セメントを含む混濁液）の固化材を機械的にかくはんする方式や噴射ジェットを用いてかくはんする方式があります。	液状化層が残る場合には、液状化による沈下量の程度に関する検討が必要になります。	

注) 工事費は日本建築学会住まいづくり支援建築会議情報事業部会復旧・復興支援WG「液状化被害の基礎知識」資料を参考に示しています。

東京都都市整備局「液状化による建物被害に備えるための手引」（平成 25 年 3 月 28 日）より抜粋転載

(2) 浦安市の液状化対策

建て替え時（個別宅地）の液状化対策工法について、浦安市が被災自治会説明会資料として作成した「宅地の液状化対策の考え方と今後の取り組み」の中に詳しく纏められています。この資料から抜粋した対策工法を以下に示しますが、対策工法の考え方（種類）と具体的な工法名は次のとおりです。

【家屋の沈下を抑制する工法】

柱状改良工法（支持層支持）

鋼管杭基礎回転埋設工法（支持層支持）

【液状化の発生を抑制する工法】

間隙水圧消散 グラベルドレーン工法（大規模な更地での施工が必要）

密度増大工法 サンドコンパクション工法（大規模な更地での施工が必要）

ドライモルタル締固め工法（実用化検討段階）

丸太打設締固め工法（実用化検討段階）

不飽和化工法（実証実験段階）

B. 建て替え時の個別対策

家屋の沈下を抑制する工法

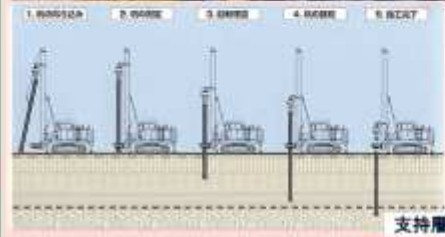
柱状地盤改良工法	工法概要
	<p>工法概要 軟弱層の範囲をセメント系固化材を用い柱状に地盤改良し建物の沈下を防ぐ工法</p> <p>特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ①多数の施工実績があり、沈下対策として効果が実証済 ②建て替え時に地盤調査を行い、支持層を確認した上で実施 ③下水管など地下埋設管対策、液状化による噴出土砂の抑制は、別途対策が必要 <p>概算費用</p> <ul style="list-style-type: none"> ①約250～300万円/戸 ②地盤調査・埋設管対策で約100～200万円/戸
<p><small>注：概算費用は、「浦安市で観測された東日本大震災の本震(M=9.0、浦安市の地表面加速度160gal)」に対して液状化しても家屋の沈下が抑制されること前提に、中町地域の標準的な宅地において実施した場合を想定したものの。</small></p>	

浦安市住民説明会資料「宅地の液状化対策の考え方と今後の取り組み」（平成24年4月）の抜粋転載

B. 建て替え時の個別対策

家屋の沈下を抑制する工法

鋼管杭基礎回転埋設工法



工法概要

地中に鋼管杭を貫入し、建物の沈下を抑制する工法

特徴(柱状地盤改良工法と同様)

- ①多数の施工実績があり、沈下対策として効果が実証済
- ②建て替え時に地盤調査を行い、支持層を確認した上で実施
- ③下水管など地下埋設管対策、液状化による噴出土砂の抑制は、別途対策が必要

概算費用

- ①約300～800万円/戸
- ②地盤調査・埋設管対策で約100～200万円/戸

注:概算費用は、「浦安市で観測された東日本大震災の本震(M=9.0、浦安市の地表面加速度160gal)」に対して液状化しても家屋の沈下が抑制されること前提に、中町地域の標準的な宅地において実施した場合を想定したもの。

B. 建て替え時の個別対策

液状化の発生を抑制する工法(開発途上)

各工法の名称と概要

施工イメージ

グラベルドレーン工法

砂地盤中に碎石で杭を設け、地震時に排水を促して水圧の上昇を抑えることで、液状化しにくくする工法。(大規模な更地に適用)



密度増大工法

地盤の強度を増加することで、地盤全体を液状化しにくくする工法。素材により、以下の特徴がある。

- ①地盤に砂杭を造成する砂杭工法(大規模な更地に適用)
- ②セメントと砂、砂利を混合したドライモルタルを柱状に充填するドライモルタル締固め工法(実用化検討段階)
- ③直径20cm程度の丸太を一定の間隔で打ち込む丸太打設締固め工法(実用化検討段階)



不飽和化工法

地盤にマイクロバブル水(小さな空気の泡を含んだ水)を注入して、含んだ空気のおかげで水圧の上昇を抑えることで液状化しにくくする工法。(実証実験段階)



<検討結果の評価のまとめ>

家屋の沈下を抑制する工法

支持層まで対策を行った場合に、液状化による沈下、傾斜を抑制する効果が実証されている。住宅の沈下抑制工法として一般的に普及しているが、噴砂等の抑制にはならない。

浦安市住民説明会資料「宅地の液状化対策の考え方と今後の取り組み」（平成 24 年 4 月）の抜粋転載

「浦安市で観測された東日本大震災と同程度の地震」に対して、液状化しても家屋の沈下が抑制されることを前提として纏めたものです。ここで言う、同程度の地震とは、マグニチュード 9.0、地表面加速度 160gal 程度の規模の地震で、巨大地震による中程度の揺れに相当します。

液状化の発生を抑制する工法

現在の技術レベルでは、広大な更地での施工が必要であったり、開発途上であることなど、制約条件が多いため、専門家と相談しながら慎重に選択することが望ましい。

浦安市住民説明会資料「宅地の液状化対策の考え方と今後の取り組み」（平成 24 年 4 月）の抜粋転載

(3) 地盤工学会関東支部発行「液状化から戸建て住宅を守るための手引き」

地盤工学会関東支部の「造成宅地の耐震対策に関する研究委員会」が平成25年5月に纏めた当手引きの中において、新設と既設の個々の戸建て住宅に適用できそうな対策工法として次の表に示す工法を挙げ、これらの特徴と留意点を示しています。詳しくは、当手引きをご参照下さい。ただし、この対策工法の中には、アイデア段階のものや対策効果の確認が十分になされていないものも含まれていることに注意が必要です。

表一 個々の戸建て住宅に適用できる可能性がありそうな液状化対策工法²⁾

工法	新設家屋	既設家屋
地盤の層状締固め	○	○
地盤の層状固化	○	○(浸透固化)
格子状・セル状改良	○	○
小口径杭支持	○	○
柱状改良	○	○
水圧消散	○	
壁状締切	○	○
こま型基礎	○	
かさ上げ盛土	○	
地下水位低下, 不飽和化, 過圧察		○

注: アイデアだけのものも含んでおり対策効果の確認が今後必要

「液状化から戸建て住宅を守るための手引き」209p., 2013より転載

また、この手引きには、今後の液状化対策工法の新たな方向性を示す考え方が示されています。めり込み沈下量や傾斜角を目標値として設定し被害を許容値以内にとどめる、所謂、性能設計の考え方を導入しているところです。

この内容の要約が日経BP社のケンプラッツ建築・住宅(2013年7月1日)に掲載されていますので、以下にご紹介します。

「戸建て住宅の液状化対策を安価に」――。東日本大震災後、こうした問題意識が高まったのを受け、地盤の専門家からの回答ともいえる報告書がまとまった。地盤工学会関東支部が発行した「液状化から戸建て住宅を守るための手引き」だ。専門家が示した“新常識”となり得る報告書のうち、住宅実務者が知っておきたい3つのポイントを解説する。

地盤工学会の関東支部は5月27日、「液状化から戸建て住宅を守るための手引き」を発行した。東日本大震災によって約2万7000棟もの戸建て住宅が液状化によって甚大な被害を受けたことを重大な問題と捉え、震災の被害分析や最新の技術開発の情報を収集した成果だ。

報告書をまとめた「造成宅地の耐震対策に関する研究委員会」の委員長を務めた東京電機大学教授の安田進さんは、「一般の顧客と地盤改良の工事会社の仲介役を工務店に担ってほしい。工務店は、一般の顧客とのコミュニケーションに慣れている。そして、顧客に説明する情報を得る際にこの報告書を参考にしてほしい」と語る。

報告書の特徴は、戸建て住宅を想定して調査や対策方法の費用を抑える工夫を盛り込んだ点だ。知っておきたい3つのポイントをまとめた。

① 建物の沈下や傾斜の原因を「地盤の圧縮沈下」と「めり込み沈下」に分類



② 表層付近に液状化対策する層を設けることで対策コストを抑える



③ 被害を許容値以内にとどめる「性能設計」の考え方を導入する

地震の規模	許容する被害のイメージ
中規模地震型 (レベル1)	「全層にわたって液状化させない」、もしくは一部の深さが液状化しても有害な沈下や傾斜(例えば半壊程度に至らない10/1000以下)を生じないようにする
大規模地震型 (レベル2)	液状化が発生してもある程度の損傷は許容し、大規模半壊程度に至らない(傾斜角では16.7/1000(1/60)程度以下)ようにする

日経 BP 社のケンプラッツ建築・住宅（2013年7月1日）より抜粋転載