

液状化ハザードマップ

解説版



くさかべ先生、
液状化について
教えてください。



みなとちゃん



このマップを使って
液状化の知識を
広げましょう。

くさかべ先生



液状化について学習しよう **1** ページへ

液状化の危険性を知ろう **5** ページへ

液状化被害軽減策について考えよう **11** ページへ

揺れの大きい地震の発生に対して建物を液状化被害から守るためには、住民のみなさんが、液状化のしくみや危険性を正しく理解し、地盤の状況や建物の形状などに応じた対策を行っていくことが重要となります。ひたちなか市では、このような住民のみなさんの取組みを支援するための情報提供として、液状化ハザードマップ解説版を作成しました。

液状化について情報提供します。



市役所職員の
みなと つよし
水土 強さん

1. 液状化について学習しよう

1 液状化ってどういうことですか？



一言でいうと、地震の揺れによって地盤が一時的に液体のようになってしまう現象です。

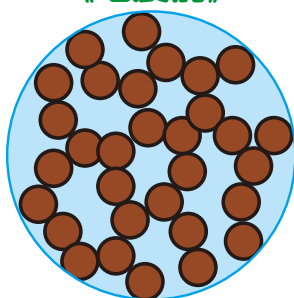


液状化のしくみ

液状化しやすい砂地盤は、砂粒と砂粒の隙間が水で満たされています。

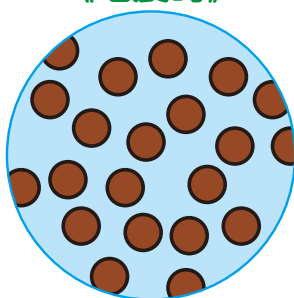
図1-1

《地震前》



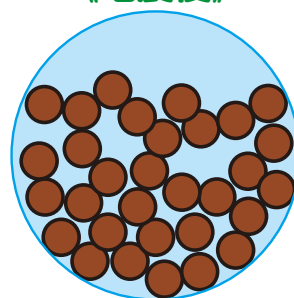
砂粒同士が咬み合い、強さを保っています。

《地震時》



砂粒がバラバラとなり、水中に浮遊した状態となります（液状化）。

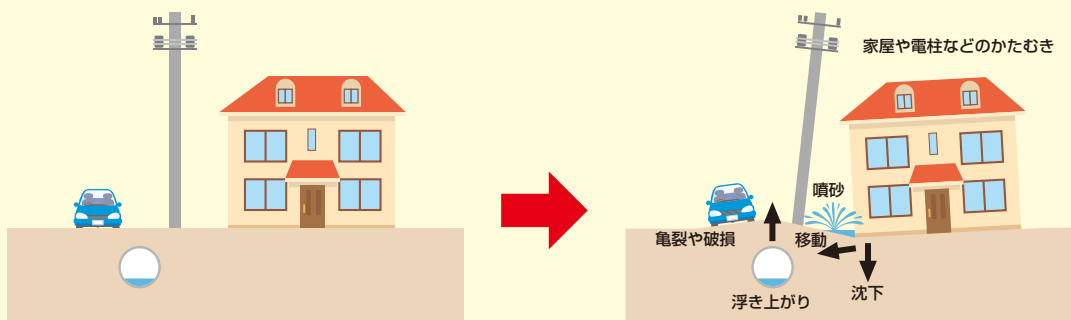
《地震後》



砂粒は沈降して新たに結びつきます。

液状化による被災事例

液状化した砂地盤は流動化、若しくは地下水とともに地表面に噴き出したり（噴砂）します。そして、砂地盤が支えていた建物などがその重さによって沈下したり、マンホールのようないものが浮き上がるなどの被害を発生させます。



マンホール浮き上がり (田中後)



噴砂後 (海門町)

2 液状化はどのようにおきるんですか？防ぐことはできないのですか？



以下の3つの要因がそろったときに、液状化が起こる可能性が高くなります。



※1 N値とは地盤の硬さを表す指標で、N値が大きいほど硬く締まった地盤であることを示します。「標準貫入試験」という基準化された試験から得られます。

① 緩い砂地盤

海岸や河口付近（人工的な）埋立地などの堆積した時期が比較的新しい地盤で多くみられます。
地盤の硬さを示すN値※1が小さく、土の粒子の大きさが砂に分類される地盤です。

② 地下水位の位置

地盤が水で満たされている状態、つまり地下水位が高ければ高いほど、液状化は起きやすくなります。ただし、地下水位が高くて砂地盤でなければ、液状化は発生しません。

③ 大きな地震の揺れ

揺れの大きさ（震度）が大きく、揺れている時間が長いほど（揺れる時間の長さはマグニチュードの大きさに比例します）、液状化が起きやすくなります。

※揺れが大きく、揺れている時間が長いと、粒子の大きさが砂より小さい地盤（シルト質）でも液状化が発生する場合があります。



液状化の発生する可能性を下げるためには、3つの要因のいずれかを排除する液状化対策を行うことです。

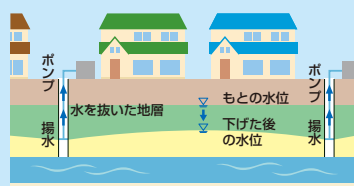
① 締め固め・固化・置換えなど

地盤を締め固めて硬くする方法や、地盤改良により固化する方法、砂地盤を砂以外の地盤に置き換える方法などが考えられます。



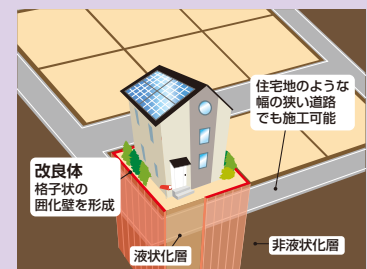
② 地下水位の低下など

地下水位を下げ、液状化しない地盤をつくる方法などがあります。



③ 囲い込みなど

壁で囲い込みすることで揺れても液状化しにくい地盤とする方法など、液状化しても建物に被害が生じにくくする方法などがあります。



3 一度液状化したところはもう液状化しないのですか？



一度液状化したところでも、再液状化の可能性があるといわれています。



過去に液状化した地盤が別の地震で再度液状化する現象を再液状化といいます。一般的には、液状化が発生すると地盤の中の隙間が密になり液状化しにくくなると考えられますが、ニュージーランドでは1年余りの間に4度も液状化が発生するなど、国内外で再液状化の発生が報告されています。

液状化について学習しよう(2)

4 わたしのお家の地盤は液状化しやすいですか？



ボーリング調査などの地盤調査の結果から、地盤の特徴が似ている地区を大きく8つに区分しました。

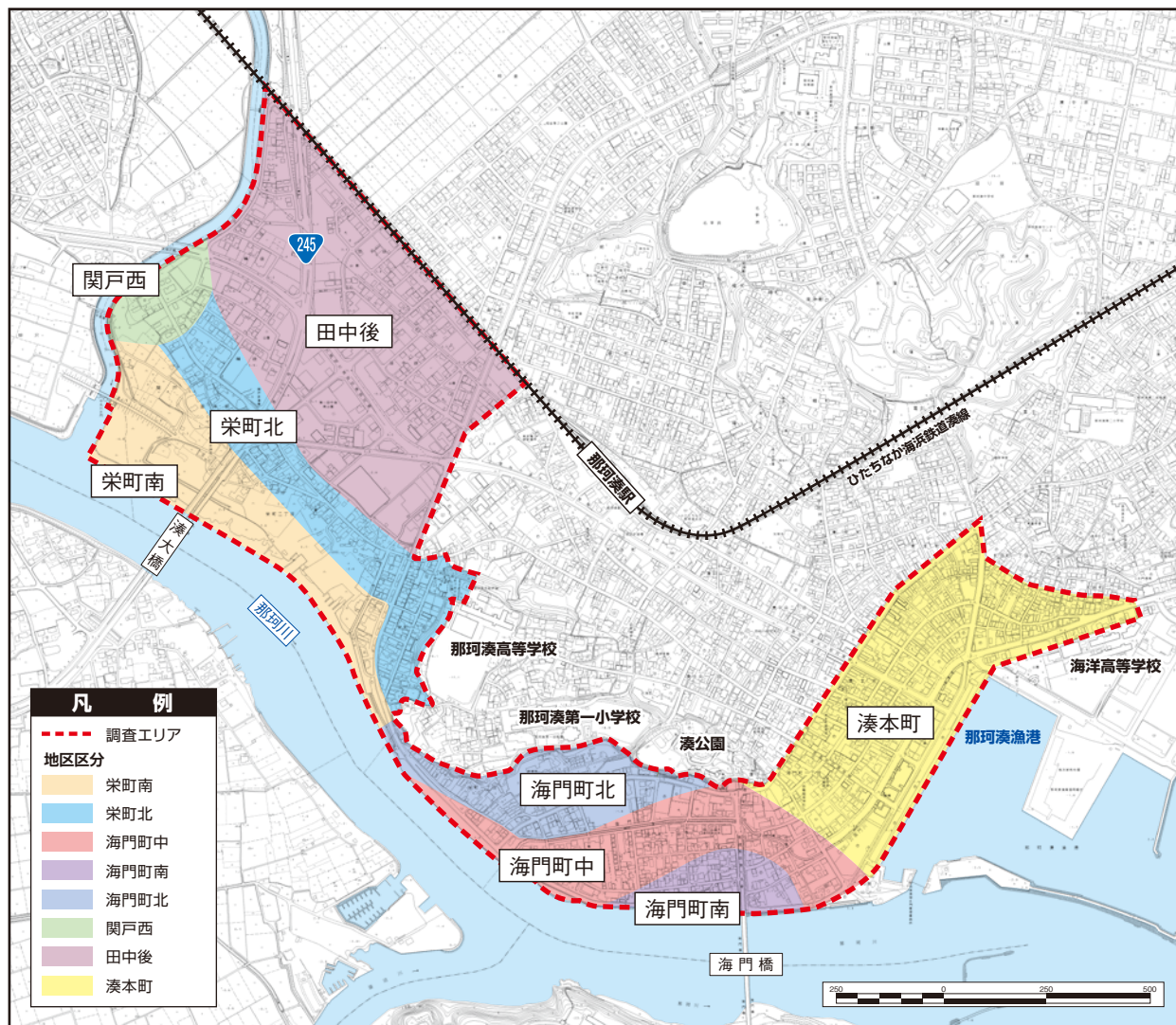


図1-2 地盤の特徴による地区区分



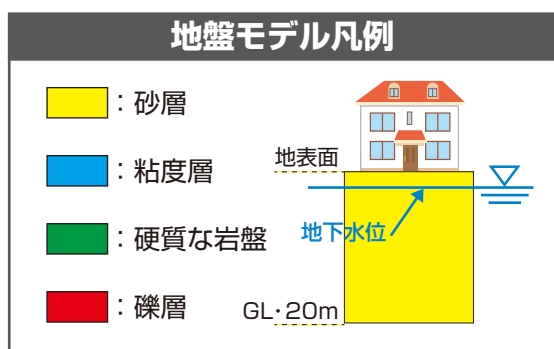
それぞれの地区の地盤の特徴を見てみましょう。

ボーリング調査の結果や地盤情報(地形図、地質図等)などから、地盤の特徴が似ている地区を大きく8つに区分し(図1-2)、各地区の概ねの地盤の特徴を示しています(表1-1)。ただし、お住まいの地盤の状況と必ず一致するとは限りませんのでご注意ください。

また、この地区名は区分した地区を分かり易くするため代表的な名称で区分しています。

表 1-1 各地区の地盤の特徴

地区名	地盤モデル	地下水位	地下水位以下の砂層 (液状化の可能性が ある層) の厚さ	地盤の特徴など
関戸西		約1m	非常に厚い	<ul style="list-style-type: none"> ●中丸川沿いの旧河道で、砂層が厚く分布 ●地下15m付近に硬い岩盤
田中後		0.5~1m	厚い	<ul style="list-style-type: none"> ●旧耕作地を盛土造成 ●砂層の下は軟弱な粘土層 ●今回の震災では、地下水位が高く、人工的な盛土層が厚い箇所では液状化が発生
栄町北		約1m	比較的薄い	<ul style="list-style-type: none"> ●硬い岩盤が地下5~15m付近に分布する地区 ●砂層が薄いため、液状化危険度は比較的低い
栄町南		1~2m	厚い	<ul style="list-style-type: none"> ●「田中後」と地盤分布が似ているが地下水位が比較的低いため、今回の震災で液状化被害はほとんどみられなかった
海門町北		0.5~1m	薄い	<ul style="list-style-type: none"> ●砂層が薄いため、液状化危険度は比較的低い ●軟弱な粘土層が厚く分布
海門町中		1~2m	非常に厚い	<ul style="list-style-type: none"> ●万衛門川沿いの旧河道で、砂層が厚く分布 ●地下水位は比較的低く、今回の震災では地中で液状化が発生→地上で噴水、噴砂
海門町南		1~2m	厚い	<ul style="list-style-type: none"> ●那珂川と万衛門川の間で、地下10mまでは砂層が厚く分布 ●地下10m以深は軟弱な粘土層が分布
湊本町		1~2m	厚い	<ul style="list-style-type: none"> ●地下10mまでは砂層が厚く分布 ●砂層の間に礫層が分布



地盤は、長期間かけて自然堆積した地層の積み重なりです。大昔に川の通り道だったと思われる海門町などはかなり複雑な地層ですね。また、地下水位は季節（雨季・乾季）や、海や川の近くでは潮位などによって変動することも念頭におきましょう。



2. 液状化しやすさマップで液状化の危険

1 どうして液状化しやすさマップをつくるのですか？



地震の大きさや地盤の状態によって、被害の大きさや範囲が違うからです。



2 液状化しやすさマップの範囲について教えてください？



先の震災で液状化があった住宅地を中心に範囲をくくりました。

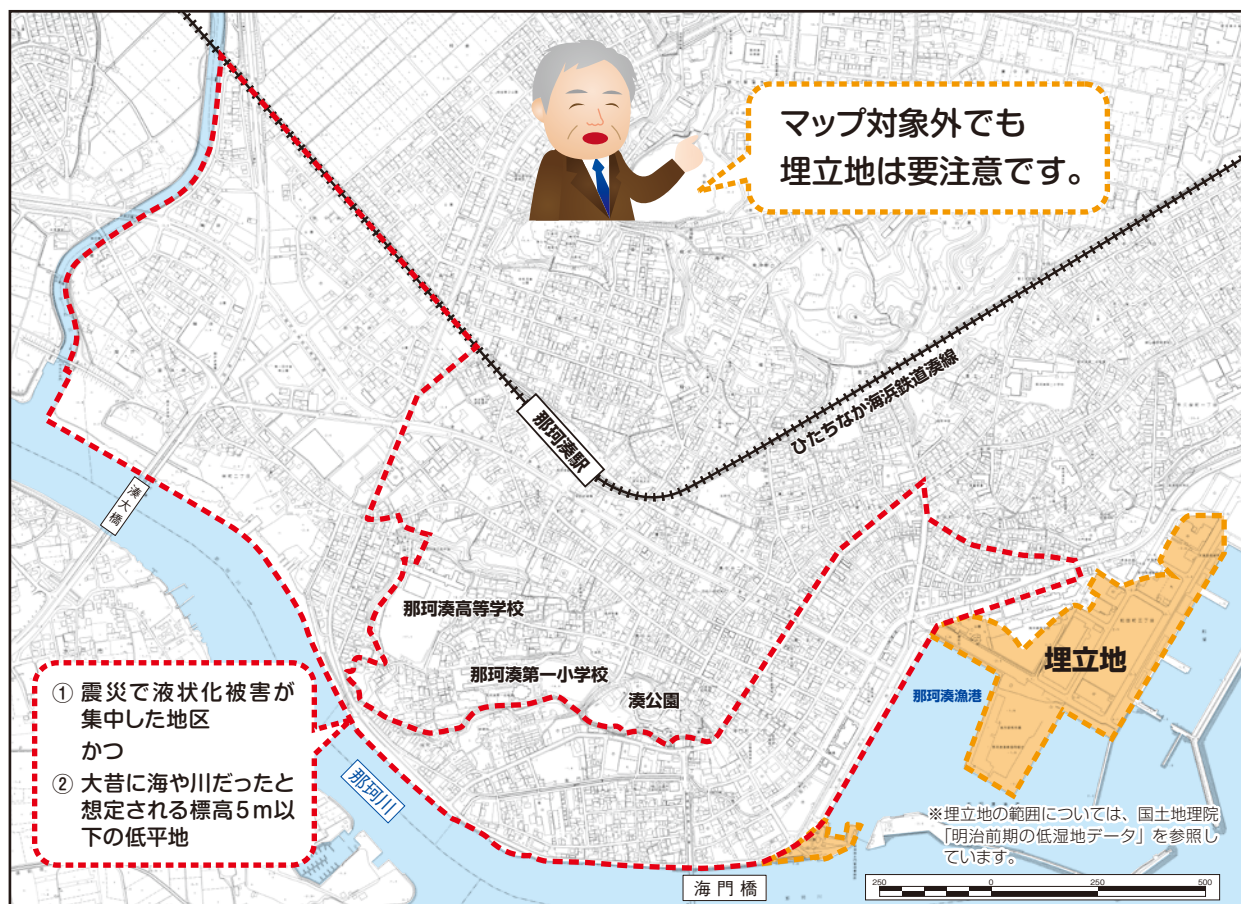


図2-1 液状化しやすさマップ対象範囲

対象範囲は「①東日本大震災で液状化被害が集中した地区とその周辺地区」かつ「約7000年前（縄文海進）まで海域で緩い砂地盤が厚く堆積していると想定される標高5m以下の地区」を前提とし、科学的な根拠を得るため地盤調査の結果などを総合的に判断して範囲を決めました（図2-1）。また、この区域外においては液状化による住宅被害の報告がほとんどみられなかったことも範囲を特定する判断の一つとなりました。しかし、対象範囲外の地区においても、液状化の危険が全くない訳ではありませんのでご注意ください。

3 具体的にどこがどの位液状化しやすいのか教えてください？



その前に次の2点を理解してください。

①液状化のしやすさの指標として「PL値」を用いています。
このPL値に応じて、液状化のしやすさをランク付けしました。



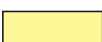



対象区域においてボーリング調査等を実施し、調査した地層ごとに液状化判定を行いました。判定方法は、「建築基礎構造設計指針（日本建築会）」に従い、液状化の危険度を示す「PL値※2」により評価しました。

PL値が同程度となる地層を区域化して、それぞれに液状化のしやすさをわかりやすく色分けで表示し、それをマップ化しました。また、液状化しやすさマップの色分けは、今回の東日本大震災の液状化発生状況を考慮して、表2-1に示す4段階評価としました。

表2-1 液状化のしやすさ評価凡例

液状化のしやすさ (PL値:危険度指数)

	きわめてしにくい	($0 < PL \leq 5$)
	しにくい	($5 < PL \leq 15$)
	ややしやすい	($15 < PL \leq 35$)
	しやすい	($35 < PL$)

※2 PL値とは
ある地点(地盤調査地点)において、想定した地震によって液状化が発生する可能性を総合的に判断しようとする値で、深度ごとの液状化強度(液状化に対する抵抗の大きさ)を深さ方向に重みづけするなどして算出した値です。



②東日本大震災と同規模の地震を想定して8つの液状化しやすさマップとしています。

表2-2 想定する地震動

想定する地震	規模	震度5弱 (170gal)	震度5強 (300gal)	震度6弱 (530gal)	震度6強 (960gal)
東日本大震災の余震(茨城県沖)と同規模	M 7.5	①	②	③	④
東日本大震災の本震(宮城県沖)と同規模	M 9.0	⑤	⑥	⑦	⑧

「地震の規模」は東日本大震災の本震(M9.0:揺れの時間が2~3分程度の巨大地震)と東日本大震災の30分後に茨城県沖で発生した余震(M7.5:揺れの時間が1分程度の大地震)の2種類を、それぞれに震度5弱から6強の「揺れの大きさ」を考慮し、計8ケースの地震を想定した液状化しやすさマップを作成しました。

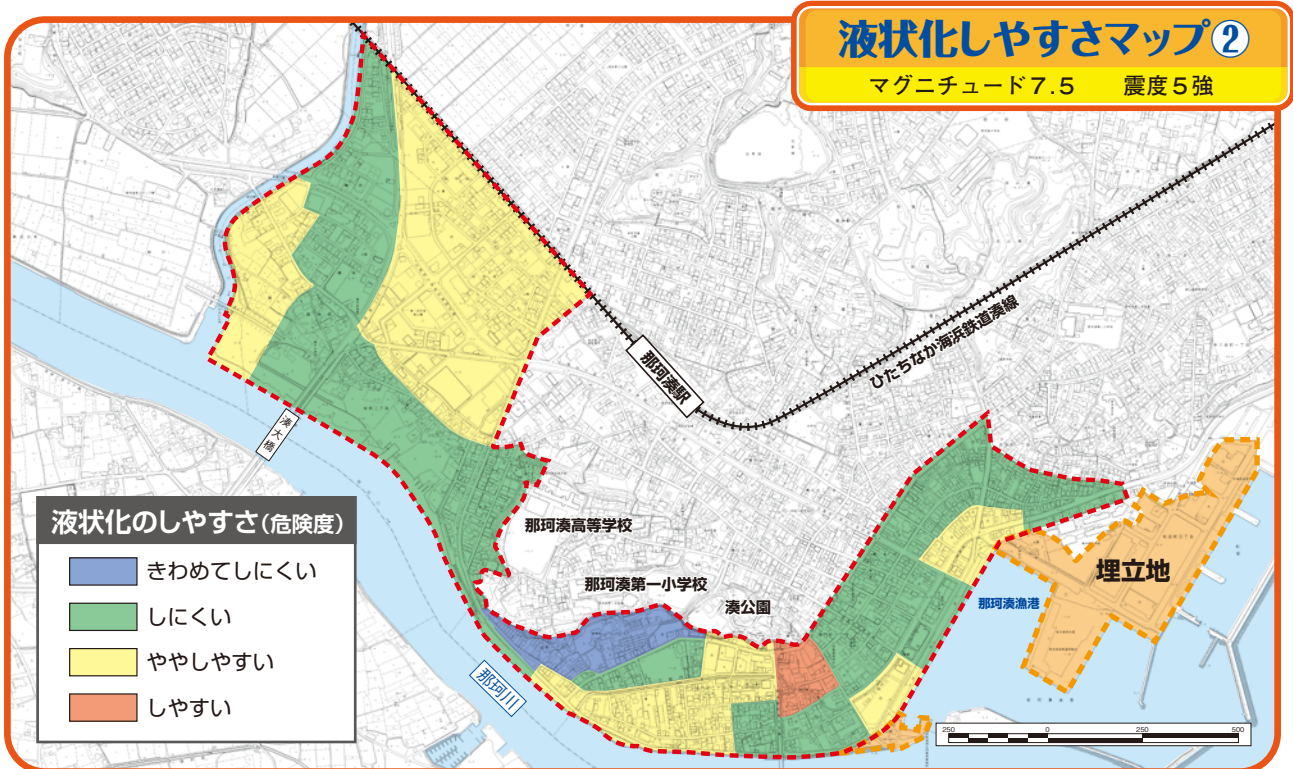
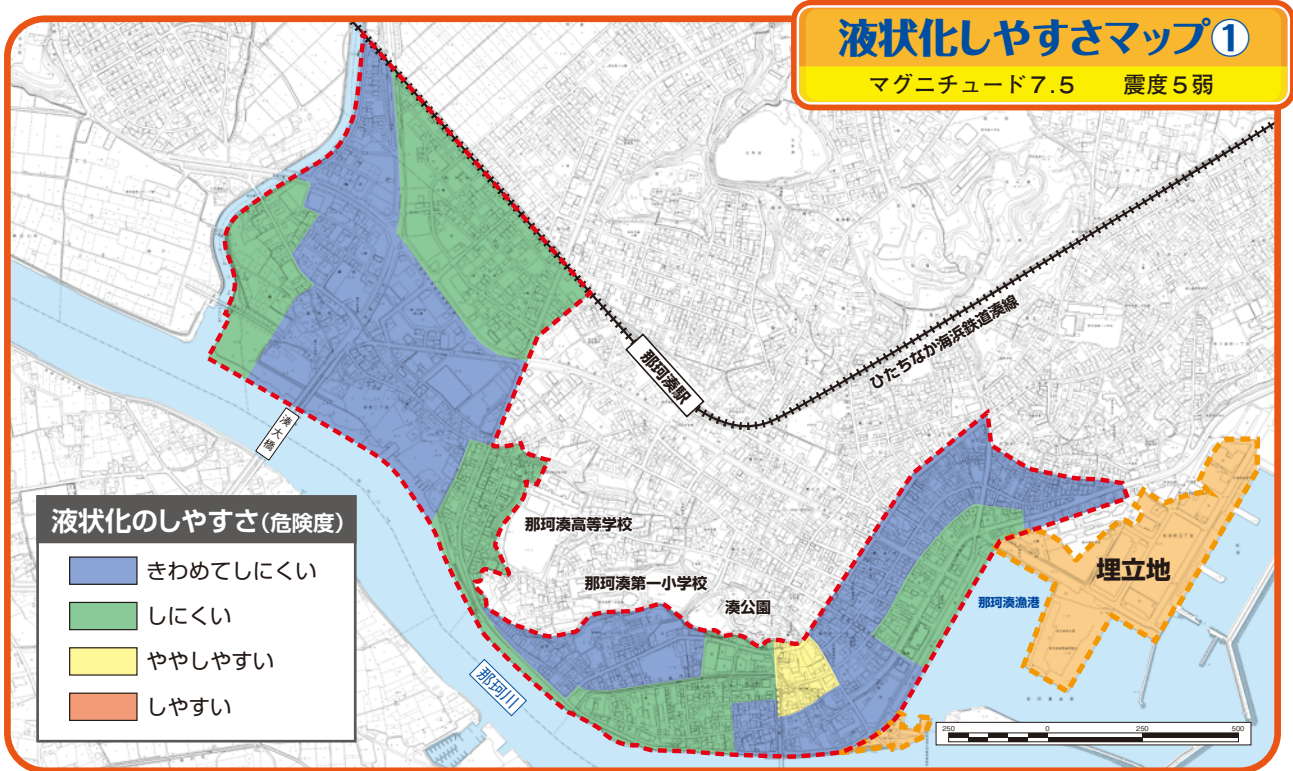


それでは、次のページをひらいて地震の大きさごとに液状化のしやすさをみてみましょう。

液状化しやすさマップ (マグニチュード7.5)



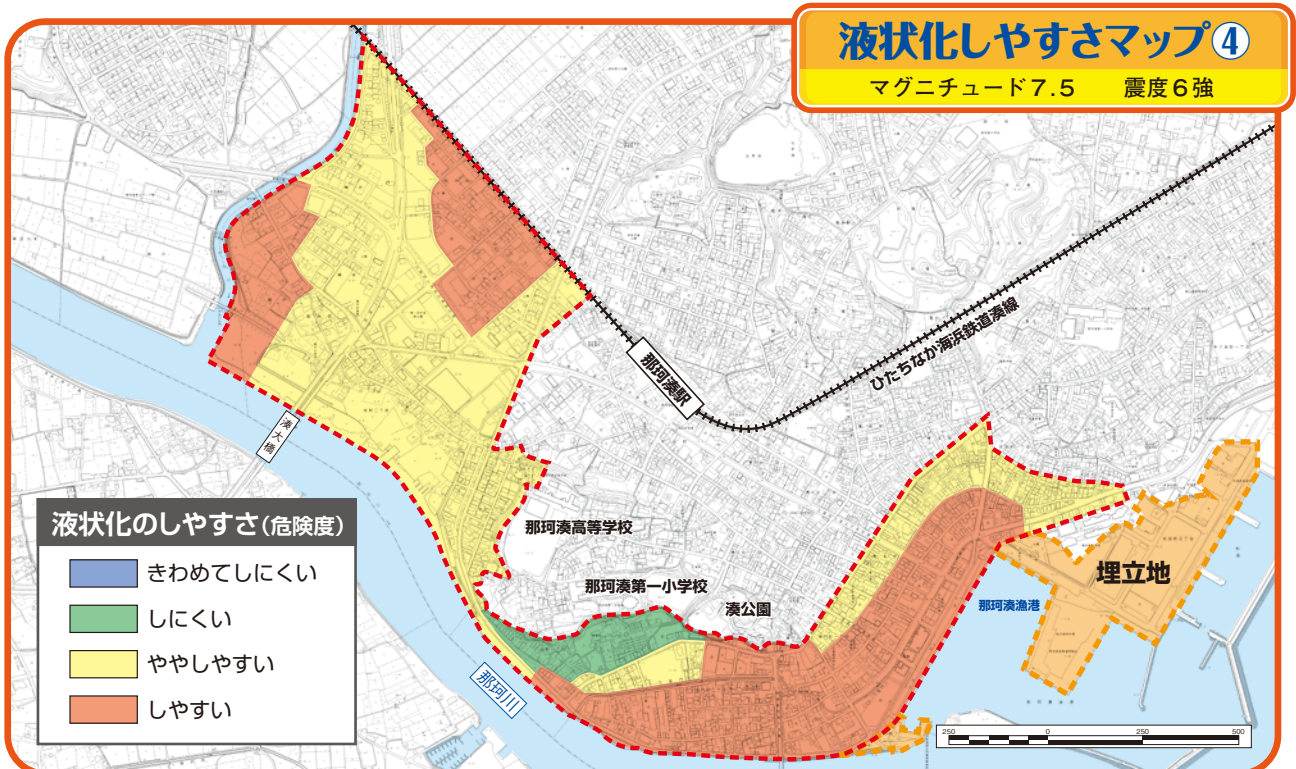
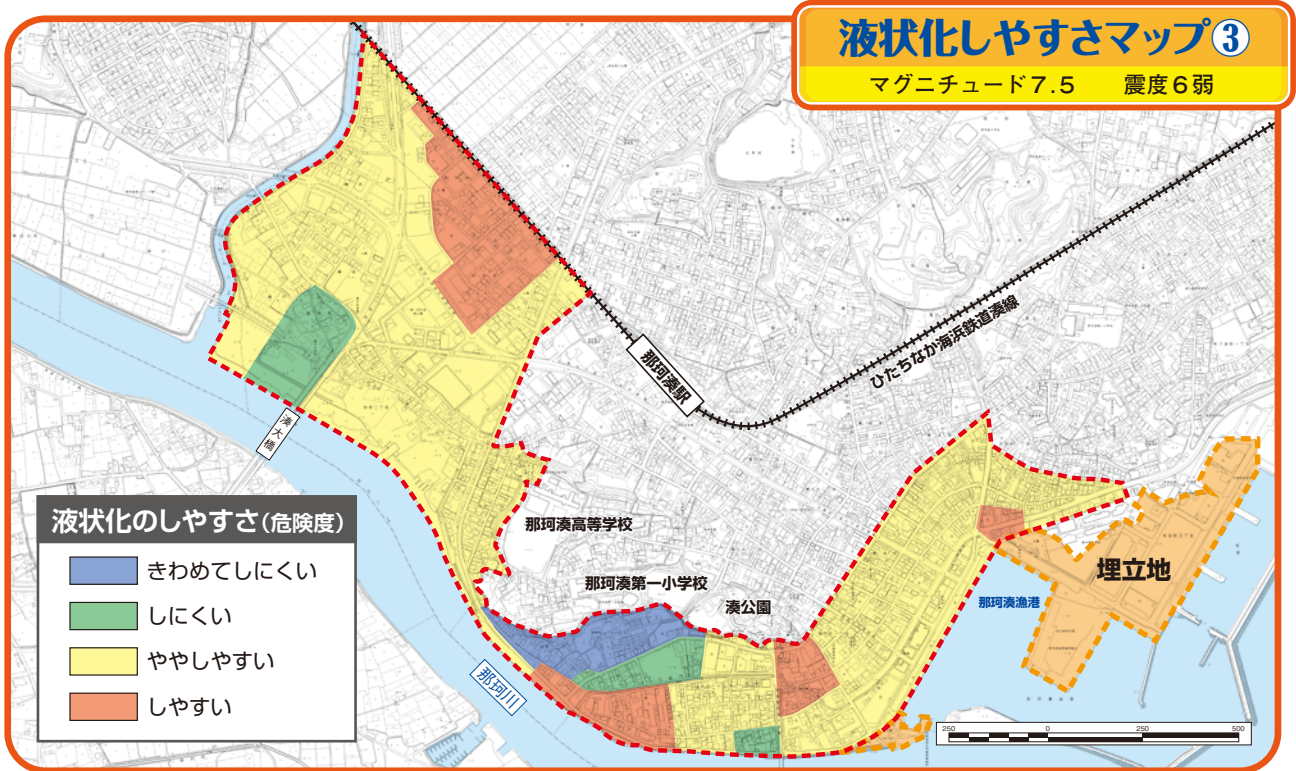
震度（揺れの大きさ）が大きくなれば大きくなるほど、液状化危険度の高い範囲が広がっているのが分かりますね。



※このマップは、200mメッシュで実施したボーリング調査地点の計算値(PL値)と、想定した地層断面から「液状化のしやすさ」を示したものです。そのため、実際に液状化が起こるかは、個々のお住まいの地盤特性や地下水の状況などによって異なることがあります。



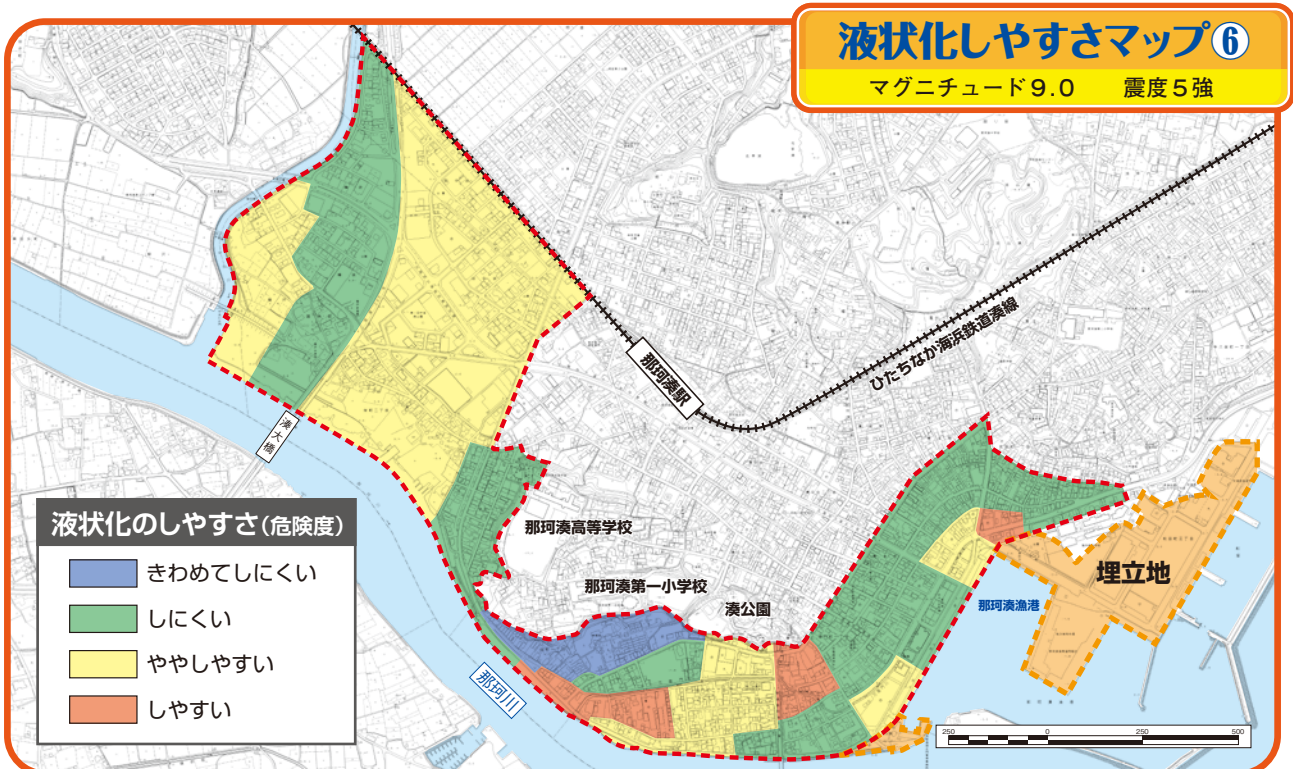
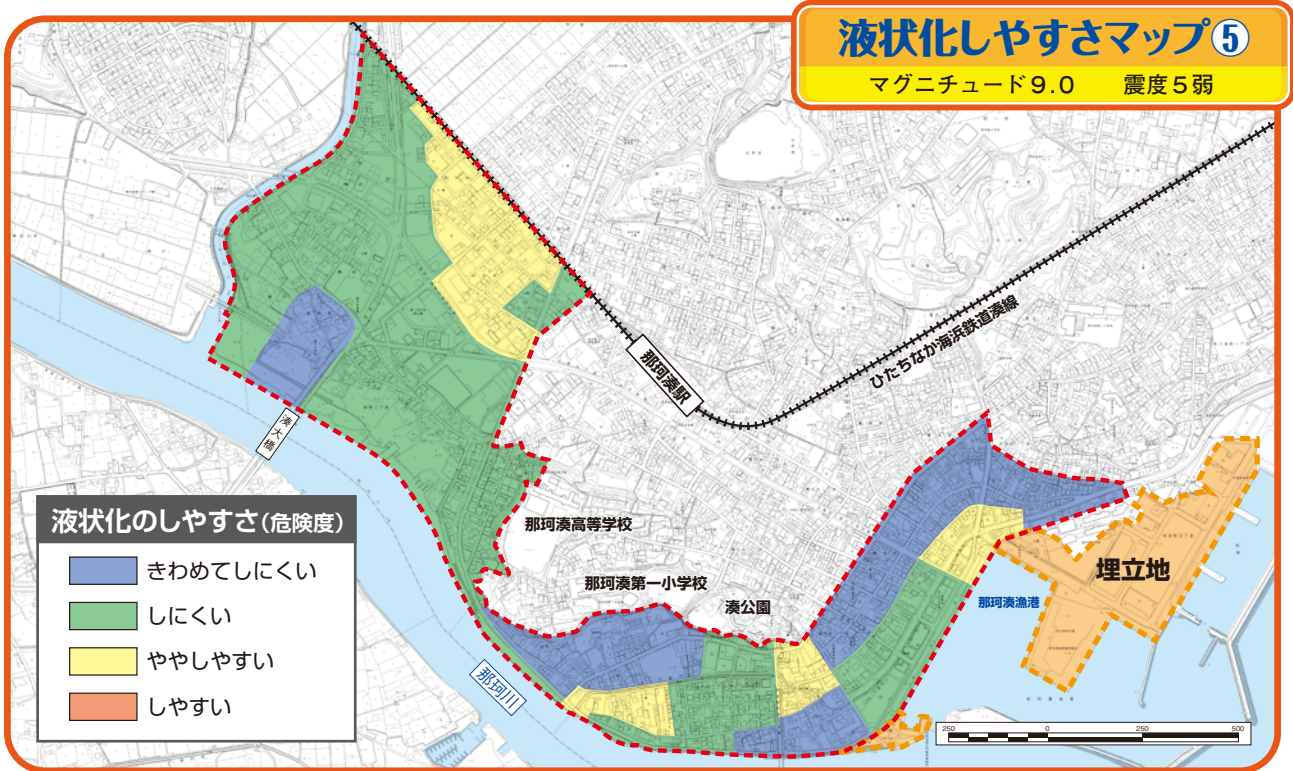
このマップを使って自宅周辺の「液状化しやすさ」を調べましょう。



液状化しやすさマップ (マグニチュード9.0)



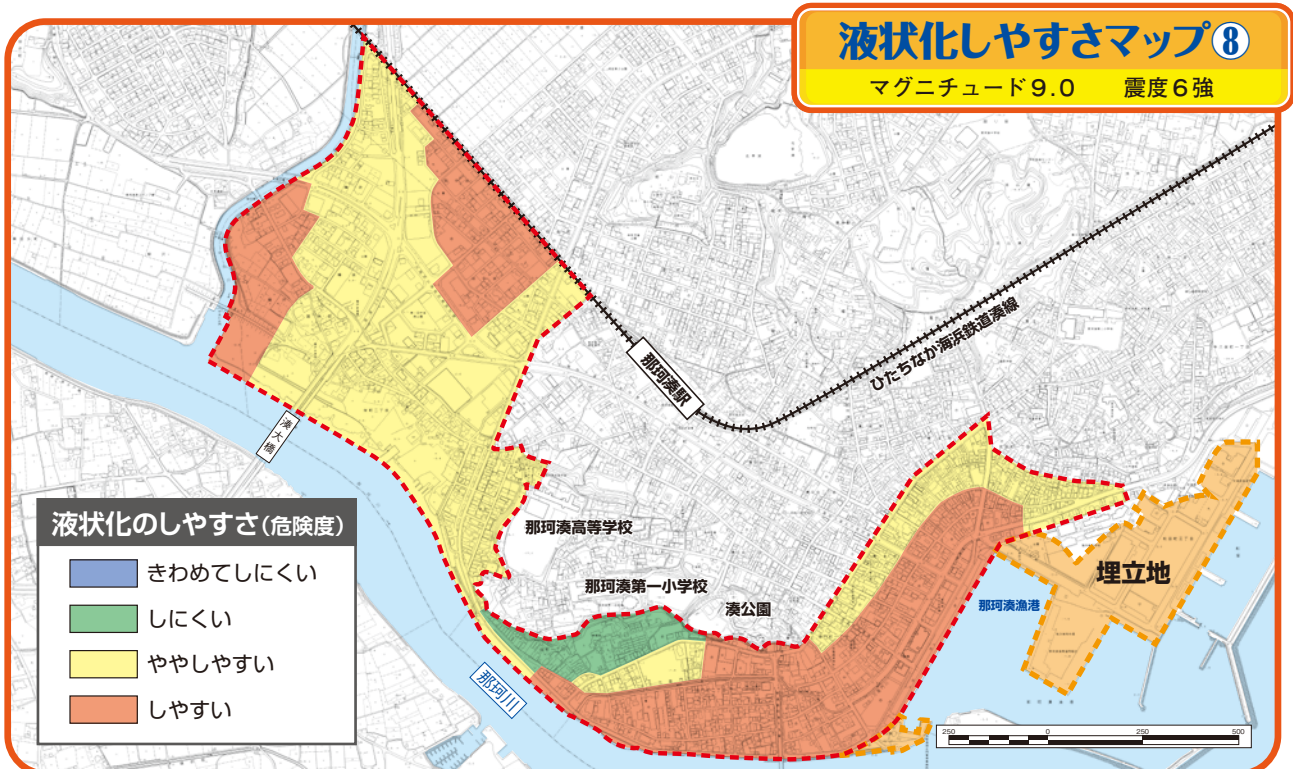
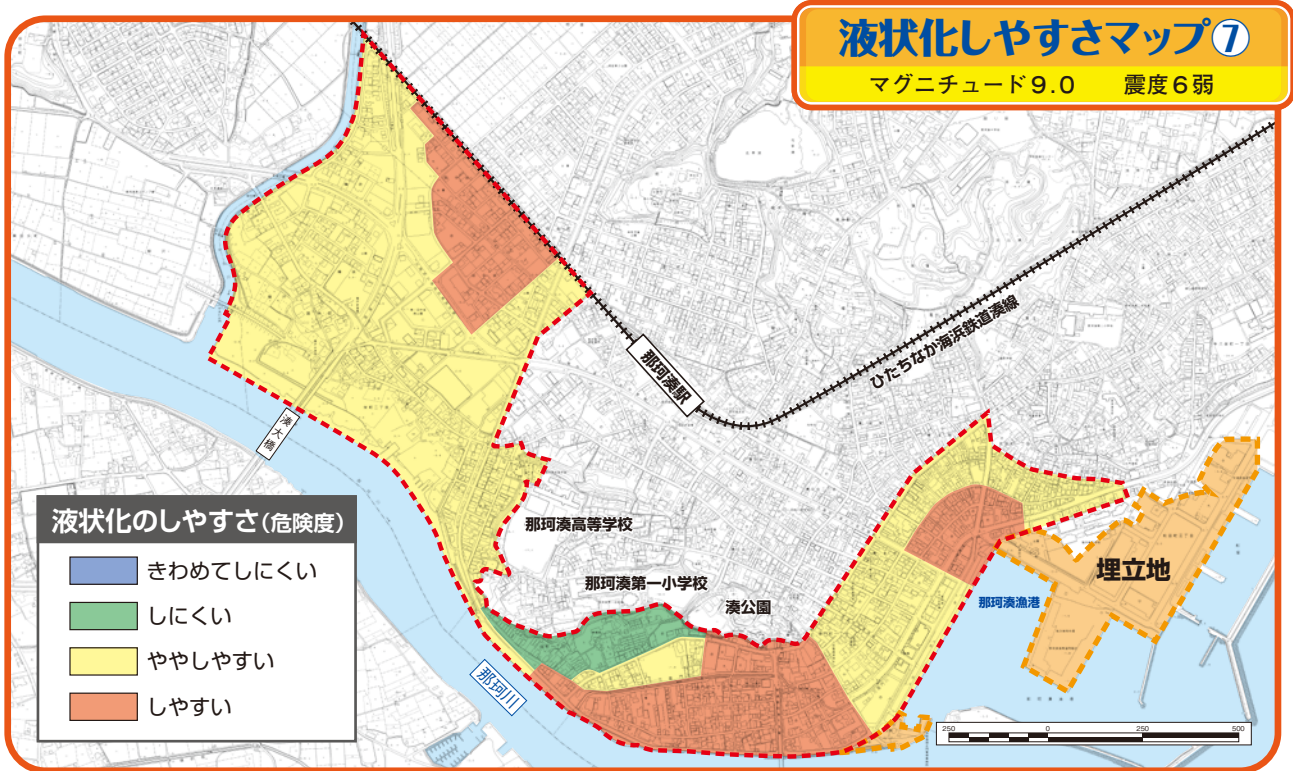
前のページと見比べてください。
地震の規模が大きくなれば、それだけ揺れている時間が長くなるため、同じ震度でも液状化の危険度は増大します。



※このマップは、200mメッシュで実施したボーリング調査地点の計算値(PL値)と、想定した地層断面から「液状化のしやすさ」を示したものです。そのため、実際に液状化が起こるかは、個々のお住まいの地盤特性や地下水の状況などによって異なることがあります。



地震の規模や震度に応じた危険度の違いを理解できたでしょうか。



3. 液状化による建物被害軽減策について

液状化が集中して発生した田中後地区において建物被害がほとんどなかった基礎形式に着目し、茨城大学戦略的地域連携プロジェクトチームの産官学の連携により、建物基礎の「杭」による支持の効果について検証を進めてきましたので紹介します。

茨城大学戦略的地域連携
プロジェクトチーム



1 田中後地区で液状化から建物が守られたって聞いたけど？



調査の結果、田中後地区で「杭」による支持を施した建物はほとんど液状化による被害が無いことが分かりました。



ひたちなか市では液状化が多発した地区において、建物被害の実態調査を実施しました。その結果、田中後地区では柱状改良又は小口径杭 (P13 表3-3参照) を施した建物にほとんど建物被害が無いことが分かりました。



実際に田中後地区で施された「杭」の事例を紹介します。

表3-1 田中後地区の事例紹介

田中後地区の柱状改良 (東日本大震災の実績)		
家屋の基礎に「杭」を採用することにより、建物の沈下が軽減できました		
家屋情報	躯体：木造、軽量鉄骨 階数：2階 建築面積：60～100㎡	事 例 ● 東日本大震災の液状化では、ほとんど家屋被害が生じませんでした。 ● 杭(改良体、小口径杭)は液状化しにくい層(非液状化層*3)まで到達していました。 ● 家屋の沈下は軽減されたが周辺地盤(庭等)の沈下は抑えられないため、段差やライフラインに支障が出ました。
基礎形式	工法：柱状改良 杭等長：3～5m 杭等径：φ500～600mm 本数：20～30本	

*3 非液状化層とは 液状化層は、地下水で満たされているゆるい砂地盤で液状化がおきやすい地盤の層をいいますが、それ以外の液状化のおきにくい地盤層を非液状化層といいます。

2 どうして「杭」を施した建物に液状化被害がなかったのですか？



今回の震災では液状化しなかった地層まで「杭」が到達していたため、建物が守られたと考えられます。



液状化が発生した場合、地盤(液状化層)が一時的に液体のようになってしまうため、地盤の支持力が低下し、沈下や傾斜のような建物被害が現れます。しかし、田中後で「杭」を施した建物では、杭の先端付近が液状化しなかったため、液状化時においても建物の総荷重を支えるだけの支持力を有していたと考えられます。

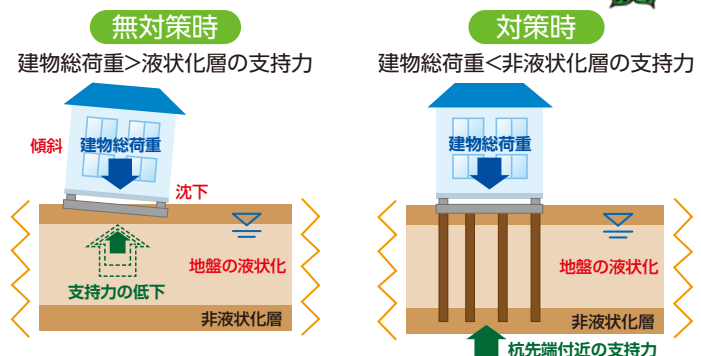


図3-1 建物総荷重と支持力のイメージ図

*この見開きの頁で記載のある「杭」は「柱状改良又は小口径杭」を示しています。

3 「杭」が有効だったんですね？



そうなんです。その有効性を確認するため、茨城大学の協力で田中後地区の地盤をモデルにした模型杭の実験をしました。



杭の支持性能を確認するため、田中後地区をモデルとした地盤模型をつくり、液状化発生時の杭による支持効果について確認する実験をおこないました。模型実験の概要及び実験結果を表 3-2 に示します。実験では、無対策時に比べ杭を設置した模型建物の沈下量は大幅に軽減されることが分かります。さらに、杭を設置しても非液状化層に到達させるか否かで沈下量が大きく変わることも確認されました。

表3-2 茨城大学の模型実験概要
(茨城大学戦略的地域連携プロジェクトによる研究成果)

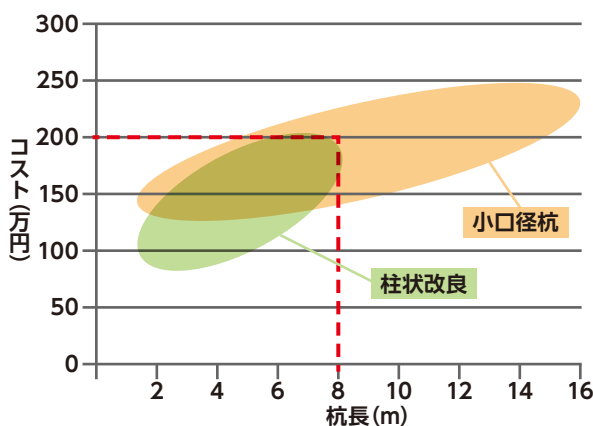
田中後地区の地盤をモデルにした杭長の変化による建物沈下量の比較			
実験条件	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; width: 30%;"> <p>地盤条件 (田中後を想定) 地盤厚： 液状化層90mm【5m相当】 非液状化層300mm【15m相当】 その他： 地盤密度(締め固め度)の違いにより液状化層と非液状化層を作成</p> </div> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: 30%;"> <p>模型建物条件 面積：323cm²(190mm×170mm) 【84m²相当】 重さ：0.7kg【93t相当】 模型杭条件 杭長：3ケース比較 杭径：φ9.8mm【φ500mm相当】 本数：25本(5×5)</p> </div> </div> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; width: 30%; margin-top: 10px;"> <p>加振条件 加速度：200ガル【震度5相当】 加振時間：6秒</p> </div>		
模型杭の設定条件	ケース1	ケース2	ケース3
	杭長	無し	78mm【4m相当】
模式図	 無対策	 非液状化層まで未到達	 田中後の杭基礎を再現
実験結果	<ul style="list-style-type: none"> ● 液状化層が液状化した後の模型建物の沈下量を測定しました。 ● ケース1の沈下量を1とした場合の、ケース2, 3の沈下量の比を示します。 <div style="text-align: center;"> <p>沈下量を大幅(1/50)に抑制</p> <p>非液状化層に到達しているか否かが重要</p> <p>模型建物沈下比</p> </div>		
茨城大学のコメント	<ul style="list-style-type: none"> ● 実験では杭を非液状化層に到達していない場合でも、ある程度沈下を抑えることができました。しかし、その効果は非液状化層まで到達させた場合よりも小さいことから、杭を非液状化層まで到達させることをお勧めします。 ● 実験は地面と平行に均一に堆積した地盤を想定して行いました。しかし実際の地盤では、液状化層が傾斜し堆積している場合もあります。その場合は、沈下だけでなく水平移動(側方流動)も生じる恐れがありますので、建物を建てる前には、地盤の層がどうなっているかを地盤調査などにより調べるのが重要です。 		

液状化による建物被害軽減策について

4 どのような地盤でも「杭」は液状化に有効なのですか。



実験でも分かるように「杭」が非液状化層まで届いていると、その効果が発揮されます。つまり、非液状化層が非常に深い場合は「杭」を採用できないことがあります。杭の長さが8m程度であれば、費用を概ね200万円以下に抑えることができるようです。



杭の長さは支持させる非液状化層の深さにより、杭の太さや本数は建物の重さや面積によって決まります。その条件により費用が変動するという事です。



図3-2 新築建替え時における「杭」の長さとの費用の関係

5 田中後地区のような比較的液状化層が浅いところではどのような工法がおすすめですか。



東日本大震災の実績や模型実験の結果などから、液状化による建物被害軽減策として「杭」の有効性が確認できたと思います。柱状改良工法や小口径杭工法を検討してはいかがでしょうか。



表3-3 液状化による建物被害軽減策 (1)

工法名	被害軽減	柱状改良工法	新築建替	被害軽減	小口径杭工法	新築建替	既存住宅
模式図		径が500, 600mm程度の柱状の改良体を基礎直下に杭のように配置する工法			小口径の鋼管杭を基礎直下に配置する工法		
対策のねらい	地表面付近などにおいて液状化が発生しても、改良体の支持力により建物の傾斜などを軽減させます。			建物荷重を杭で受け、液状化による建物の不同沈下を軽減します。杭を堅固な支持層まで到達させた場合、効果はさらに高まります。			
施工費用(目安)	100～200万円程度※4			新築建替時：150～250万円程度※4 既存住宅に施す場合は、基礎下全体の施工となるため、500～800万円程度かかります。			

【建築前には地盤調査と適切な「杭」の設計が必要になります。また、施工費用は地盤の状況により増加する場合があります。】

※この見開きの頁で記載のある「杭」は「柱状改良又は小口径杭」を示しています。

考えよう(2)

6 では、液状化層が深い地盤ではどうしたら良いのですか。



液状化層が深い場合、最近では「杭」以外にも建物被害軽減効果が期待でき、比較的安価な液状化被害軽減が可能な工法の開発が進んでいます。もちろん、液状化層が浅い場合でも採用できます。



表3-4 液状化による建物被害軽減策 (2)

工法名	被害軽減 表層改良工法 新築建替	被害軽減 密度増大工法 【丸太打設液状化対策& カーボンストック工法 (LP-LiC 工法)】 新築建替
模式図	<p>建物の基礎周囲を含めセメント系固化材などで基礎の下を1～2m程度全面的に改良する。</p>	<p>一定の間隔により径150mm程度の丸太を、概ね地表から5mの位置まで圧入する。</p>
対策のねらい	地表面付近の地盤を固めることにより、液状化しにくい地盤を形成し、液状化によるめり込み沈下を軽減します。ただし、改良体で発生する液状化については防ぐことができません。	丸太が液状化層に圧入されることにより地盤の密度増大が図られ、締固めと同じ考え方により、液状化しにくい地盤をつくります。
施工費用(目安)	80～150万円程度※4	150～210万円程度※5
工法名	被害軽減 薄鋼矢板工法 【K-gen 工法】 新築建替 既存住宅	沈下修復 ジャッキアップ工法 【モードセル工法】 新築建替
模式図	<p>鋼鉄製のパネルを2.5～5.0m建物基礎下に囲い込むように打ち込む。</p>	<p>液状化などにより傾いてしまった土台を、ジャッキアップで水平に戻るようにする仕組みで新築時に予め調整器材を組込む。</p>
対策のねらい	パネル内部の土砂の流出抑制や、建物下の地盤の揺れを抑え込むことで、液状化に伴う沈下や建物傾斜の軽減を図ります。	液状化などで建物が傾斜した場合、新築時にアンカーボルトが組み込まれているため、傾斜分をアンカーボルトの長さの範囲内で調整することが可能です。
施工費用(目安)	矢板長2.5m：215万円程度※6 矢板長5.0m：315万円程度※6 既存住宅に施す場合は、費用が増加します。	専用アンカーボルト等設置費用(新築時)： 70～75万円程度※7 修復工事(被災後)：150～200万円程度※7

【建築前には地盤調査と適切な「杭」の設計が必要になります。また、施工費用は地盤の状況により増加する場合があります。】

※4：日本建築学会 住まい・まちづくり支援建築会議 情報事業部会；50～70㎡総2階建てを想定した概算費用(平成23年時点)

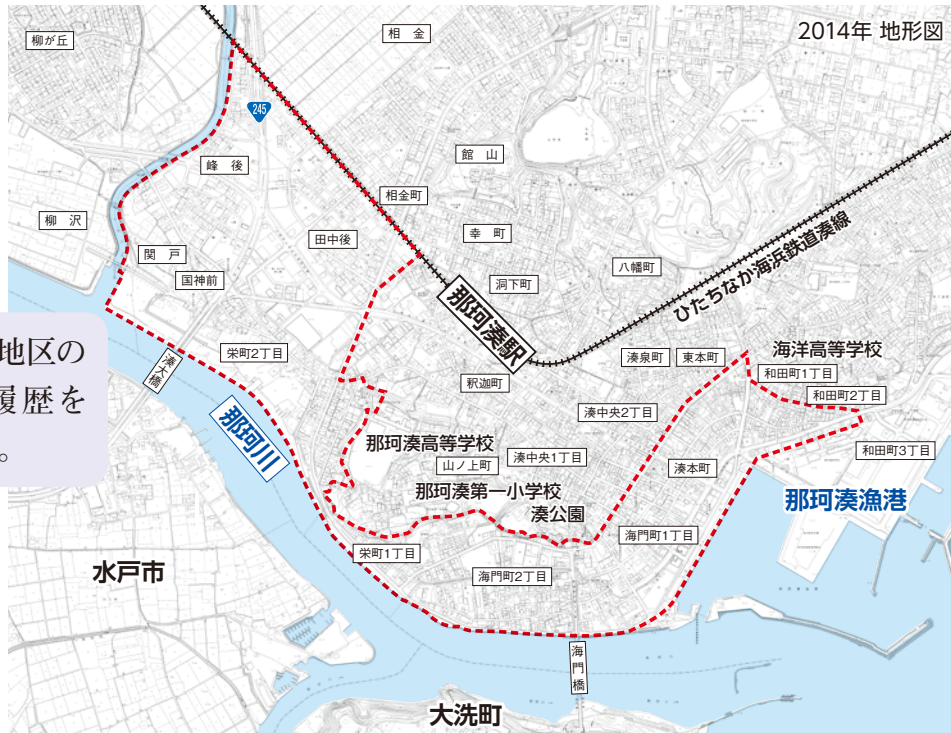
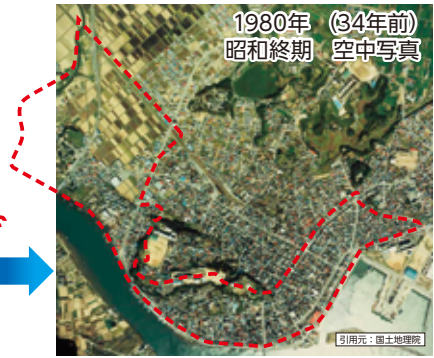
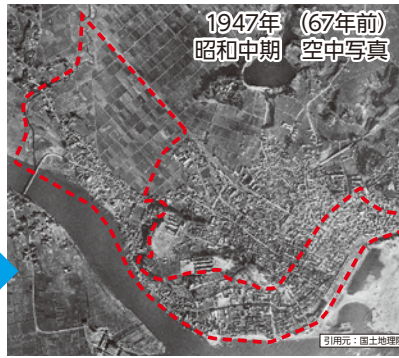
※5：木材活用液状化対策研究会；地下水水位面(G.L-1m)から4mの丸太をG.L-5mまで圧入した場合における、50～70㎡総2階建てを想定した概算費用(平成27年時点)

※6：小規模構造物液状化被害軽減工法研究会；66㎡(20坪)総2階建てを想定した矢板長毎の新築時における概算費用(平成27年時点)

※7：(株)WASC基礎地盤研究所；50～70㎡総2階建てを想定した概算費用(平成27年時点)

土地の造成履歴

空中写真の原因の大きさが決っているため、マップの対象範囲が一部納まらない箇所があります。



最後に那珂湊地区の土地の造成履歴を見てみましょう。



くさかべ先生からのメッセージ

液状化はこれまで自分の生活とは縁遠いものと考えられ、ハザードマップについても液状化に関しては整備されていない自治体が多かったと思われます。今日の被害を教訓に、改めて液状化の危険性を検討すべきであって、最近では、比較的安価な液状化被害軽減策が開発されてきていますし、液状化対策を含めた住宅性能評価と保証制度の導入が検討されています。危険な地盤と分かったら何かしらの対策を検討しましょう。



ひたちなか市液状化ハザードマップ

監 修：東京工業大学名誉教授 日下部治
現茨城工業高等専門学校長，元地盤工学会会長
ひたちなか市液状化対策検討委員会委員長
協 力：茨城大学戦略的地域連携プロジェクトチーム
編集／発行：ひたちなか市 都市整備部 都市計画課
TEL 029-273-0111 内線1363・1364
平成27年12月発行