

3-3 広域液状化被害を防ぐ

保全・耐震・防災事業部
東京支社 保全・耐震・防災部
佐伯 宗大

1. はじめに

今回の地震での被害の特徴として、広域にわたり発生した液状化による被害があげられる。これにより、埋設管、一般家屋等に大きな被害が生じ、改めて、液状化に対する“備え”の重要性を十産させられた。

本稿では、液状化による特徴的な被害を整理するとともに、その被害事例から得られた知見・教訓を示すとともに、液状化被害を防ぐために必要な対策等についても取りまとめた。

2. 今回の地震での特徴的な液状化被害

2.1 “噴砂”による特徴的な被害

今回の震災において、液状化に伴い噴砂が噴き出す映像が、報道等で流され、広く知られることとなった。

この噴砂により、車が埋もれ、身動きが取れなくなるなど、その量は、日本で過去に発生した地震の中でも最大級であった（写真1(a)参照）。しかし、同様の被災は、同年2月に発生したニュージーランド・クライストチャーチ地震でも発生しており、やはり、車が埋もれ身動きが取れないところが見られた（写真1(b)参照）。

また、遡ってみると、同様の被害は、1964年の新潟地震でも発生しており、激しい液状化が発生すると、車が埋もれる程度の被害が生じる可能性があることが分かる（写真1(c)参照）。



(a) 今回の地震



(b) クライストチャーチ地震



(c) 新潟地震¹⁾

写真1 液状化に伴う浮上り被害

2.2 激しい“液状化”が発生した地域①

次に、非常に激しい“液状化”が発生した地域の特徴的な被害と特徴について示す。

(1) 茨城県稲敷市六角地区

茨城県稲敷市六角地区では、写真2に示すように、非常に激しい“液状化”が発生し、家屋が大きく沈み込み、傾いてしまったり、電柱が倒れてしまうなどの被害が生じていた。

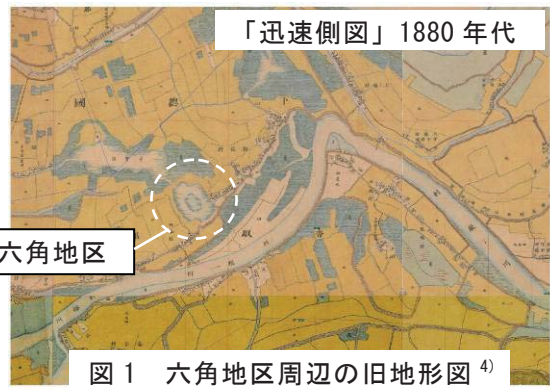
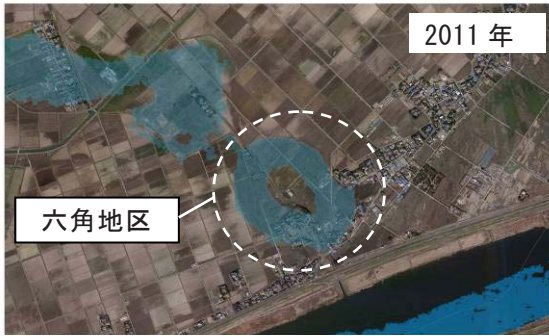
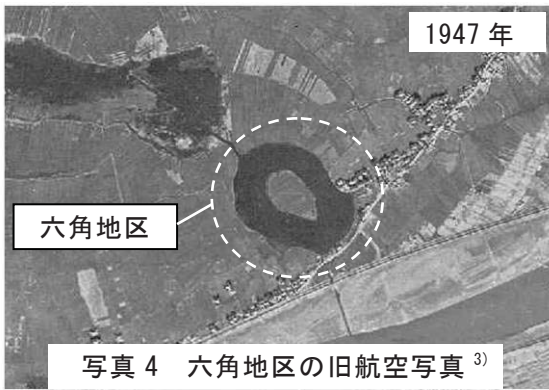


写真2 六角地区の液状化による特徴的な被害
震災後に Google が公開している航空写真を見ると、この六角地区付近は、噴砂のひどい範囲が円く浮き出る様な形になっていることが分かる（写真3参照）。



写真3 六角地区の噴砂発生状況²⁾

この地区について、古い航空写真³⁾及び旧地形⁴⁾を調べてみると、「落掘」と言われる地形（過去の洪水の際に流水によって浸食されてできた凹地で、池状に残っている地形）で水が溜まっていた箇所を、人工的に埋め立て作られた地区であることが判明した（写真4～6、図1参照）。



(2) 茨城県潮来市、鹿嶋市周辺地区

六角地区と同様の、潮来市、鹿嶋市周辺でも見られた。

図2には、この地区周辺の旧地形図と現在の地形の重ね合わせ図および、被災状況写真を示すが、少なくとも100年ほど前までは、海、湖、川であ

ったような地区において、“激しい”液状化が発生していた。

特に、日の出地区は、特徴的な地区であり、霞ケ浦から繋がっていた「内浪逆浦」と呼ばれていた地区を埋め立てて出来たのが同地区であり、非常に“激しい”液状化が発生していた。

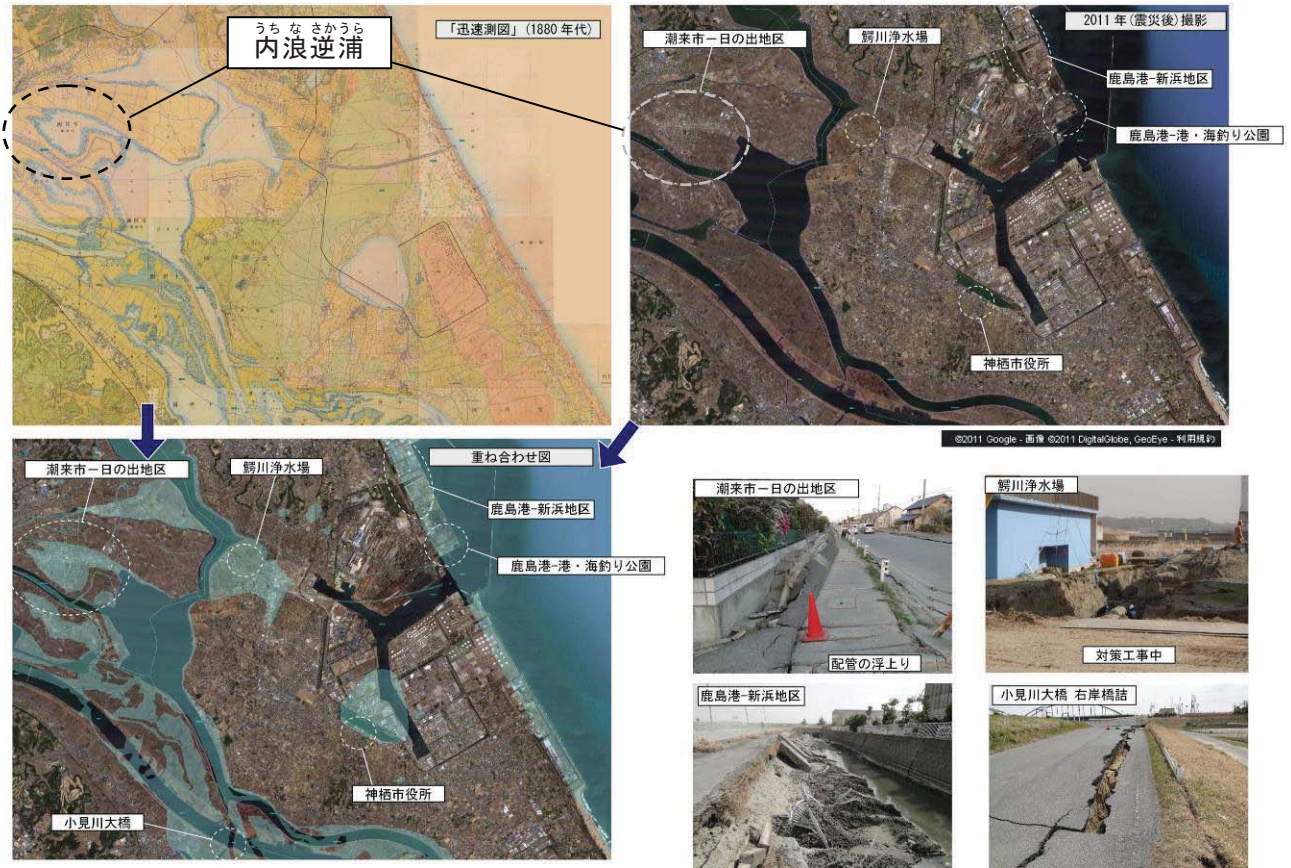


図2 潮来市、鹿嶋市周辺の旧地形図と航空写真の重ね合わせ 及び 被災状況写真⁴⁾

2.3 激しい“液状化”が発生した地域②

(1) 千葉県浦安市での液状化被害

千葉県浦安市では、同地区にあるディズニーランドの駐車場などでも大量の噴砂が見られ、液状化被害を受けたことで非常に有名になった。写真7、8には、浦安市でみられた大量の噴砂の写真を示す。

図3に、安田ら⁵⁾の調査した、液状化の発生している地区を示す平面図を示す。同図中にあるように、新浦安の駅周辺の地区で激しい液状化の発生がみられるが、これに比べ、それより海側の地区では、新浦安駅周辺ほど激しく液状化している状況ではない。(現地を確認すると、全く液状化していないわけではなく、液状化の発生は見られる)



写真7 浦安市での噴砂の発生状況 (片付作業中)

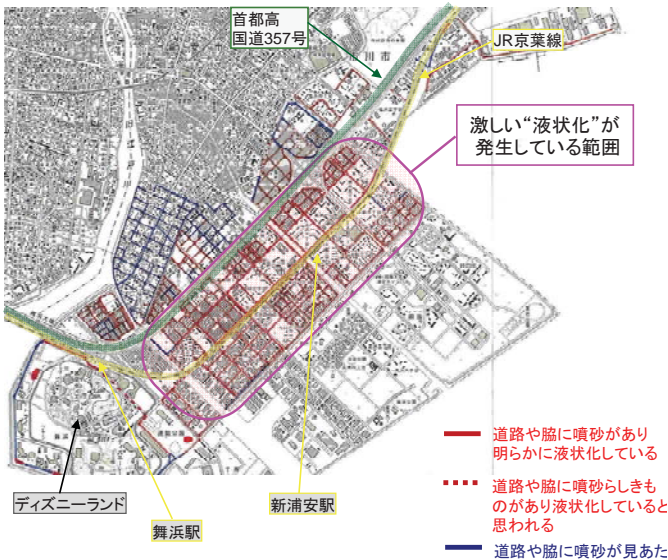


図3 浦安市の液状化発生範囲⁵⁾



写真8 ディズニーランド駐車場での噴砂の発生状況 (片付作業中)

(2) 浦安市の地盤状況

浦安市の新安駅周辺地区は“埋立て地”であることは有名である。その埋め立て年代により、埋め立てられた土の性情等に違いがあり、海側の地区では激しい液状化が発生していなかった可能性を考え、同地区の地盤調査資料を確認した。

図4に代表的な柱状図を並べて示すが、激しい液状化が発生している地区と、海側の地区とでは、

特に大きな違い(たとえば、粘性土が主体となっているなど)が見られはしなかった。

位置図

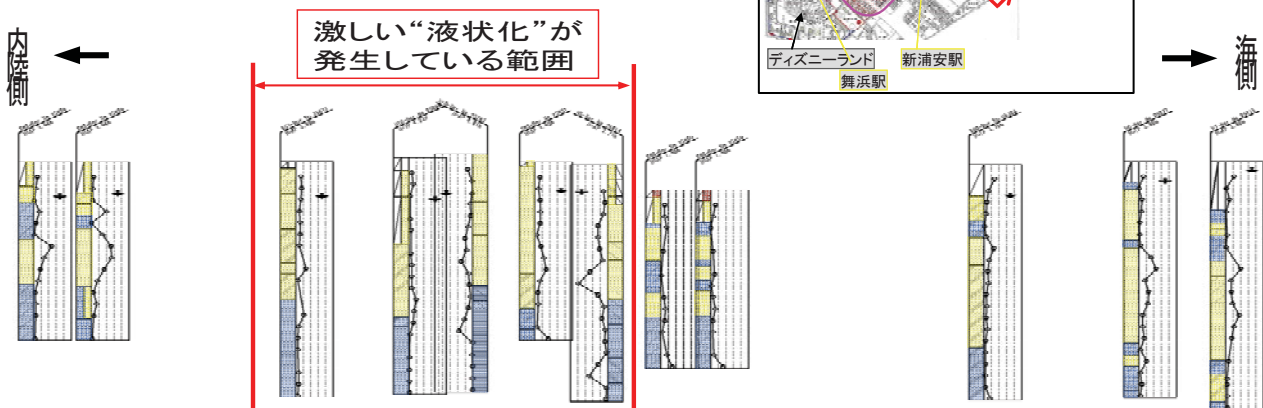
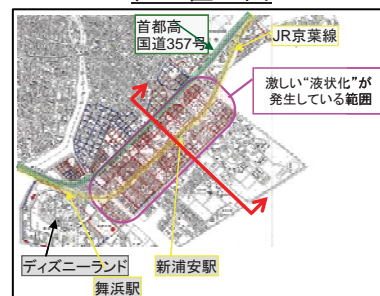


図4 浦安市の代表的なボーリング柱状図⁶⁾

(3) 浦安市の埋立て履歴

次に、旧航空写真をもとに、浦安市の埋め立て履歴を整理した。図5に、埋め立て履歴図を示す

が、激しい液状化が発生した範囲は、1960～1970年頃に埋立てられた地区であることが分かる。

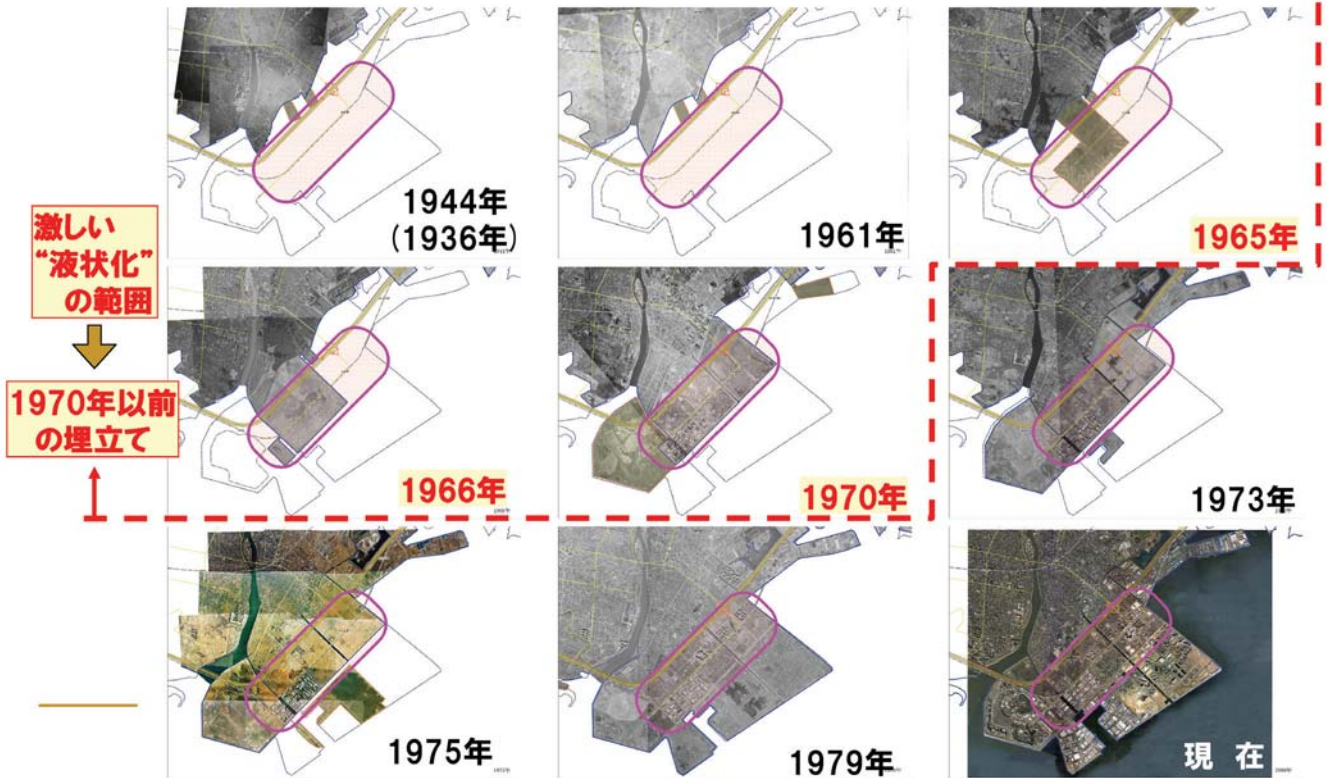


図5 浦安市の埋め立て履歴 3)の画像から作成

(4) 1960～70年代に何が起きたか

1960～70年代に、何が起きていたのか？を振り返ってみた。

ちょうどこの年代の真中である、1964年には、“新潟地震”が発生し、広範囲にわたる液状化により、橋梁が落橋したり、マンションが傾くなど、後まで語り継がれる、有名な被害が発生した（表1参照）。

この地震の発生により、“液状化”というものが、世に広く知れ渡るようになり、これを契機として、1971年には、道路橋耐震設計指針に液状化判定方法が初めて導入された。

また、1968年に発生した十勝沖地震においては、“埋戻し砂”の液状化、“埋立て砂”の液状化が確認、報告された。また、1973年根室半島沖地震でも“埋立て地盤”が液状化している（表1参照）。

上記の状況から推察するに、1970年代以降の埋立て地においては、液状化の発生に対する対策を考えている可能性がある。つまり、激しい液状化が発生していなかった、海側の地区は、何らか、液状化に対する対策が取られていた箇所が多かった可能性が考えられる。

表1 1960～70年頃の液状化が発生した地震⁷⁾

地震名	年月日 (現地時間)	マグニチュード M	震央位置	震源深さ (km)	代表的な液状化の 形態または被害
アラスカ	1964. 3.27	8.4	61.1°N 147.6°W	20	沿岸地盤の前壊（バルテーズ市、アンカレッジ市）
新潟	1964. 6.16	7.5	38.4°N 139.2°E	40	広範囲にわたる水平砂地盤の液状化（新潟市）
十勝沖	1968. 5.16	7.9	40.7°N 143.6°E	0	埋戻し砂の液状化（八戸市） 埋立て砂の液状化（七重浜）
サンフェルナンド	1971. 2. 9	6.6	34.4°N 118.4°E	13	アースダムの崩壊
根室半島沖	1973. 6.17	7.4	42.9°N 146.0°E	40	埋立て地盤の液状化

実際に、液状化対策等の地盤改良の専門業者へヒアリングした結果、同地区では、サンドコンパクションパイル等の液状化対策が実施されていた箇所が多く確認された（図6参照）

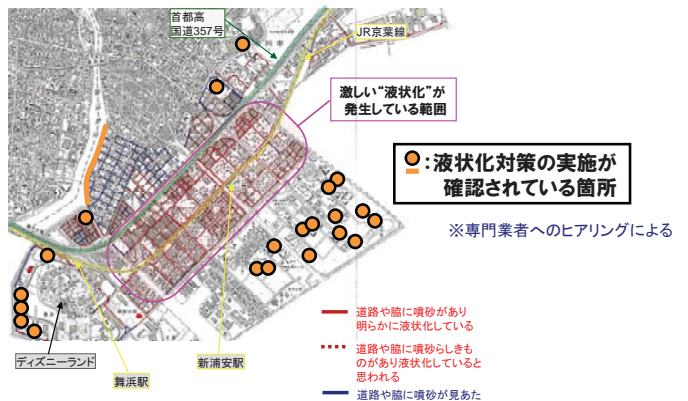


図6 液状化対策の実施が確認された箇所

3. 本震災で得られた液状化に関する教訓等

以上示してきた、今回の被災状況及びその被災地区の特徴等から、得られた液状化に関する教訓等をいかに示す。

(1) “噴砂” 自体が被害になる

これまで噴砂は、その発生により液状化発生の確認がされる程度の認識がなされているに過ぎず、それ自体が被害になることは、あまり認知されていなかった。しかしながら、今回の震災においては、その大量の噴砂が街を埋め尽くし、復旧の妨げになるだけでなく、側溝等を埋めてしまい、その機能を失わせるなど、非常に深刻な影響を与え、“噴砂” 自体が被害になることを認識させられた。

(2) 一般家屋の液状化に対する備えが不十分

今回の液状化被害の特徴として、多くの一般家屋に沈下・傾斜等の被害が生じたことが挙げられる。一般家屋のような小規模構造物に対しては、これまで液状化に対する対策など考えられておらず、今回の被災状況を踏まえると、備えとして不十分であったことは否めない。

(3) 人工的に作られた低地の地盤は要注意

先に示した通り、“激しい”液状化が発生した地区は、埋立て地等人工的に作られた低地の地盤であることが判明した。これについては、過去の震災経験からも指摘されてきたことではあるが、今回改めてこれが確認され、特に宅地等の建設に際しては、注意する必要があると言える。

(4) 液状化対策実施箇所は液状化しづらい

浦安市の事例を整理すると、何らかの液状化対策が実施されている範囲では、“激しい”液状化の発生は確認されず、ある程度以上の対策効果があったものと考えられる状況であった。

4. 液状化被害を防ぐために

以上示した内容を踏まえ、液状化被害を防ぐためにできる備え、今後検討が必要な項目等について以下に示す。

4.1 液状化に対する備え

(1) 旧河川、湖沼部等を埋立てた箇所の抽出

今回の液状化被害の特徴である、“人工的に作られた低地”の地盤で発生しやすい“激しい”液状化を避けるため、同箇所（旧河川、湖沼部等を埋立てた箇所）を抽出し、基本的には、宅地等への利用を避けることが必要であると考えられる。

(2) 液状化対策の実施

一般家屋のレベルでは、液状化対策として確実である液状化層全体の地盤改良の実施は、コスト面から見て非現実的である。このため、ある程度の沈下は致し方ない（許容する）が、傾斜（不同沈下）を防止するような対策を施すことが重要であると考えられる。

この観点から見たときに想定される液状化対策の分類を、図7に示す。

新設対策（建設前対策）としては、“①杭基礎（短杭）”（短い杭を打設して不同沈下を防ぐ方法）

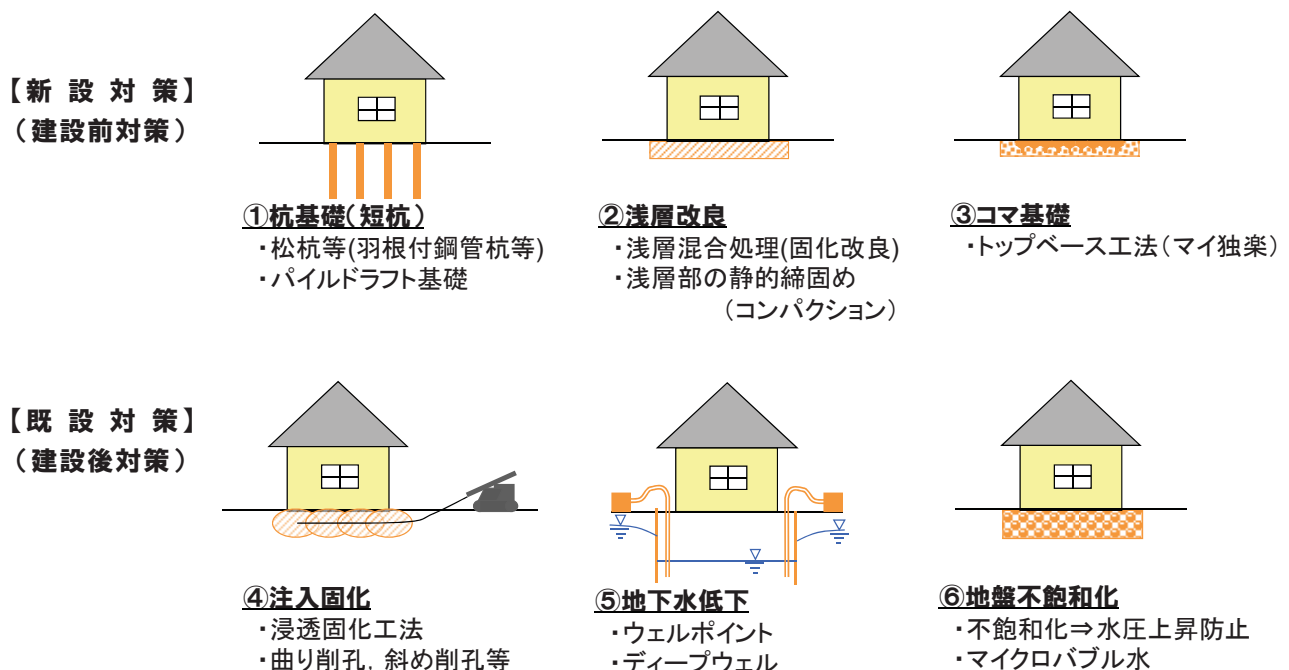


図7 一般家屋を対象にした液状化対策（案）

／“②浅層改良”（固化改良）により防ぐ方法／“③コマ基礎”により防ぐ方法などが考えられる。これらは、それぞれの家屋の規模等各種条件に応じて使い分ければ、比較的安価に対策できるものと考えられる。

一方、既設対策（建設後対策）については、“④注入固化”と呼ばれる工法が、最も確実性の高い工法と考えられる。この工法は、家屋の脇から削孔し、固化剤を注入する工法であるが、非常に公費が高いため、実際には、一般家屋のレベルでの適用は困難と言わざるを得ない。

“⑤地下水位低下”については、効果は期待できるが、水を抜き続けなければならず、ランニングコストがかかってしまうこと、常時沈下が問題になる可能性があることなどから、必ずしも適した工法とは言い難い。

コスト面、効果面のバランスがとれている可能性があるものとしては、“⑥地盤不飽和化”が考えられる。この工法は、空気を地中に送り込み、これにより地盤を“不飽和”状態にし、液状化しづらくするものである。これについては、まだ研究段階であり、効果、適用性ともに明確になっていないことが多いが、その他の対策に比べ、格段にコストが安い対策になる可能性がある。

4.2 現実的な液状化対策を実現するために

一般家屋を対象とした液状化対策としては、先の図7に示したような対策が考えられるが、いずれも、液状化層全体を対象するわけではなく、その一部の表層付近に対する対策にとどめるものである。一般家屋を対象にした場合、コストの面から見て、この程度の対策に留めざるを得ない。

しかし、その効果の確実性を明確にするためには、地表面付近に設ける“非液状化層”の厚さにより、地表面に現れる液状化の影響の違いを明確にしておく必要がある。

図8には、石原⁸⁾の表層の非液状化層厚及び深部の液状化層厚と地表での液状化発生との関係図を示す。このチャートにあるように、“日液状化層厚”と“地表での液状化の発生”との関係が示されたものは、これ以外にはあまり存在しない。

今後、このように、“非液状化層厚”に着眼し、液状化の影響を評価するような研究が進めば、先に示した液状化対策の効果が、明確になり、より効率的な対策が施せるようになっていくことにつながると思われる。

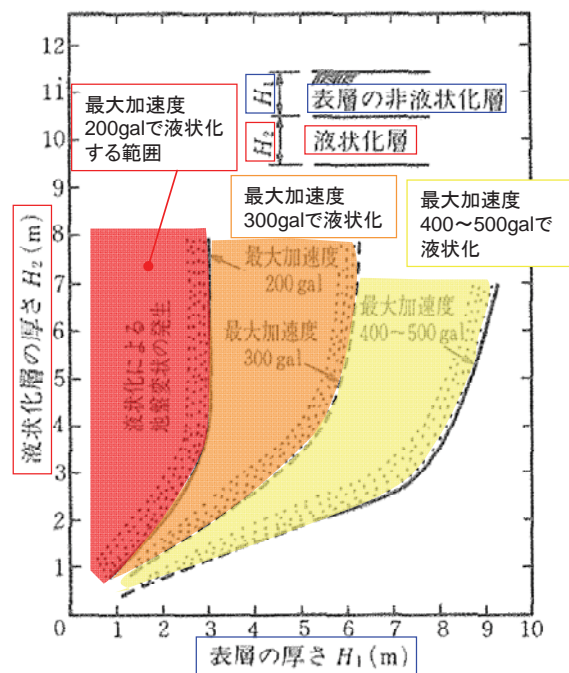


図8 表層の非液状化層厚及び深部の液状化層厚と地表での液状化発生との関係⁸⁾

5. まとめ

液状化は直接的に人命を奪う被害につながることは少ないが、社会に対してボディブローのような被害を与える。今回の液状化被害からの教訓を踏まえ、より効果的な液状化に対する“備え”を施し、少しでも、同被害による社会への影響が軽減されていくことを願うとともに、我々も、できる限りの協力・貢献をしていきたいと考える。

以上

参考文献

- 1)長岡技術科学大学 大塚悟:「北陸における地震・地盤災害の教訓～地盤情報の利活用の展望」,ほくりく地盤情報システム講演会,
<http://www.jiban.usr.wakwak.ne.jp/event/file/kouenkai.pdf>
- 2)Google マップ, <http://maps.google.co.jp/maps>
- 3)国土地理院ホームページ:国土変遷アーカイブ,
<http://archive.gsi.go.jp/airphoto/search.html>
- 4)農業環境技術研究所ホームページ:歴史的農業環境閲覧システム, <http://habs.dc.affrc.go.jp/>
- 5)東京電機大学地盤工学研究室ホームページ,東京湾岸の液状化地区, <http://yasuda.g.dendai.ac.jp/kantoeq.html>
- 6)千葉県地質環境インフォメーションバンク:
<http://www.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index>
- 7)土質工学会:液状化対策の調査・設計から施工まで,平成5年3月
- 8):石原研而,Stability of Natural Deposits during Earthquakes,11thInt.Conf. on S.M.F.E.,Vol.1,pp321~376,1985