

東北地方太平洋沖地震による浦安地区液状化被害について

2011年4月5日

1. 今回の地震の特徴

- ・地震規模（マグニチュード 9.0）はわが国の観測史上最大。震源域の大きさは500km×200kmと推定されており、想定をはるかに上回る規模・震源域の大きさであった。
- ・それに伴い広域で予想以上の高さの津波が来襲し、多くの人的被害や物的被害などの甚大な被害をもたらした。加えて、大津波により福島第一原子力発電所の非常用電源が喪失したために、その後の重大なトラブルにつながっている。
- ・広い範囲で強い揺れが生じた。加えて、揺れの継続時間が長く、低い耐震性の建物、付帯設備、土構造物、液状化には非常に厳しい揺れであったと推定されている。なお、気象庁によれば、千葉では震度4以上の揺れが約130秒続いたと報告されている。この時間は最近の主な被害地震と比べてもきわめて長い。
- ・今回の地震では震源域が非常に大きいため、広い範囲で数多くの余震が発生している。とりわけ、地震の約30分後には茨城県沖でマグニチュード7.7の余震が発生し、関東地方では被害の拡大につながった可能性が指摘されている。

- ・防災科学技術研究所・岡田義光理事長による地震の解説：
今回の地震、津波、余震などが丁寧に解説されている。

http://www.bosai.go.jp/news/oshirase/20110323_01.pdf

- ・防災科学技術研究所による地震動の波形の特徴の解説：
下記ホームページの「概要」に複雑な地震波の伝播の様子が解説されている。

<http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/off-tohoku110311/>

- ・気象庁による揺れの長さの分析レポート：
千葉市中央区中央港で震度4以上の揺れが130秒続いたことが示されている。

<http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/25a/kaisetsu201103251030.pdf>

2. 液状化とは？ （岐阜大・八嶋厚教授のホームページより）

- ・液状化とは、地震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。埋立地や河口など砂質の地盤で起こり、地盤の上の建物を傾かせたり沈ませたりします。
- ・液状化は、水分をたくさん含んだ砂質の地盤で発生する現象です。地震が発生する前、このような地盤はすき間に水をたくさん含みながらも砂粒同士が接触していることによって上に建っている建築物を支えています。

- ・しかし、地震が発生して地盤が強い振動を受けると、今まで互いに接して支え合っていた砂粒は崩れ、固まりになろうとします。すると、固まろうとする砂粒の間に含まれている水には、周りの砂から力が加えられ、水圧が上昇します。
- ・そして、この水圧（間隙水圧）が、上に乗っている土（たくさんの砂粒や水）の圧力と等しくなると、間にある砂粒にかかる力が釣り合い、力が加えられていないのと同じような状態になります。すると、砂粒は浮き上がり、液体と同じように自由に動くのです。
- ・このようになると、その地盤には建築物を支えることなどできなくなってしまい、建築物は土の中に沈み込んだり倒壊したりしてしまいます。

- ・岐阜大学・八嶋厚教授のホームページ：液状化の解説

<http://www.cive.gifu-u.ac.jp/lab/ed2/kensaku/liquid.html>

- ・液状化の権威である吉見吉昭先生のホームページには地盤基礎関係のいろいろな情報がでています。

<http://homepage2.nifty.com/yoshimi-y/>

3. 浦安の地盤と液状化被害

- ・浦安市のホームページによれば、昭和 39 年から始まった公有海面埋め立てにより、市域の面積は 4 倍に広がった。しかしながら、今回の地震では埋立地の広い範囲で液状化が生じ、種々の被害が発生した。
- ・埋め立て工法の違いあるいは地盤改良の有無によって液状化の程度は区域によって異なっている。大量の噴砂を生じた区域では数十センチの地盤沈下が生じており、建物のアプローチ等での段差や道路の亀裂などが発生している。場所によっては住宅を含む建築物が傾斜（不同沈下）するなどの被害も生じている。
- ・また、地中埋設管の継手の抜け出しやマンホールの浮上などにより、上水道、下水道、ガスが供給停止に追い込まれ、市民生活に多大な支障をもたらしている。

- ・浦安市のホームページ：浦安市の海面埋め立ての変遷

<http://www.city.urayasu.chiba.jp/menu2863.html>

- ・3/16 時点での浦安市の被害状況と対応

<http://www.city.urayasu.chiba.jp/secure/24580/h230316presen.pdf>

- ・東京大学・東畑郁生研究室による地震被害調査レポート
4-14 ページに浦安地区の詳細な報告あり

<http://www.jiban.or.jp/file/towhata.pdf>

- ・浦安地区における液状化の動画

下記youtubeにリアルな動画がアップされています。

http://www.youtube.com/watch?v=9x_kS3Bm6fA

<http://www.youtube.com/embed/Cy-MOZwr5G0>

<http://www.youtube.com/watch?v=bvqWrZ3LXaI&feature=related>

4. 液状化による一般的な被害（現象）と応急復旧策

(1) 建物

- ・建物全体の沈下・傾斜
 - 均等な沈下（不同沈下無し）ならそのまま使用
 - 傾斜している場合、1/300 程度以下なら基礎は無被害あるいは軽微な被害と考えられるので、そのまま使用
 - それ以上の傾斜なら、事務所等なら基礎のジャッキアップにて修復
 - 工場や倉庫はクレーン基礎のみ杭基礎、一般部は土間のことが多い
 - クレーンは相対沈下量が 2~3cm で自走することがあるので、柱のジャッキアップにて修復、土間コンクリートはレベルを保つよう打ち直し
- ・建物の筋交いなどの損傷・座屈
 - 補修または取替
- ・土間の亀裂（噴砂）
 - 噴砂を清掃後、土間コンの打ち直し（水平を保つ）
- ・構造躯体（柱、梁、壁）の損壊
 - 液状化ではこの被害は少ないと思われるが、本格的な復旧工事が必要
- ・基礎杭の損壊
 - まずは調査だが、建物が大きく傾斜している場合には要注意

(2) クレーン、機械、装置

- ・建物の歪み等によるクレーンの不作動
 - 修復・復旧、動作確認
- ・機械・装置の傾斜や砂の混入
 - 清掃後、元通りに据え付け、動作確認

(3) 外構

- ・建物のアプローチの段差
 - 車輛等が通行できるように修復（傾斜が残るのはやむを得ない）
- ・舗装の亀裂（道路も含めて）
 - 車輛等が通行できるように修復（空洞は埋める）
- ・電柱、擁壁等の沈下・傾斜
 - 安全性に問題なければ急を要しないが、修復が望ましい
- ・マンホール、浄化槽、タンク等の浮上
 - 掘り返して元通りに修復、附属配管などが損壊している可能性があるので注意
- ・護岸のはらみだし（側方流動）
 - 安全性に問題なければ急を要しないが、修復が望ましい
 - 所有者が別の場合には修復を申し入れる
- ・構内・外周道路の埋設管の折損・継手の抜け出し
 - 構内については掘り返して修復
 - 外周道路については事業者へ修復を申し入れる

(4) インフラ

- ・電力と通信は復旧済み？
- ・ガス、上水道、下水道 → 各事業者による修復を待つ

5. その他：恒久対策について

- ・液状化は同じ場所で繰り返すので、再び強い揺れを受けると液状化する可能性が高い。したがって、理想的には地盤が液状化しないような対策を施すのがよいが、稼働中の施設で液状化を防止する対策（地盤改良など）は一般的には大きな費用がかかる。
- ・恒久対策をどのように考えるかは、許容される被害と許容される投資額のバランス次第でありケースバイケース。
- ・少なくともインフラの恒久対策は各事業者に申し入れるべき。

浦安鉄鋼団地協同組合
復興支援チーム

浦安地区液状化被害に対するQ&A

2011年4月5日

Q1) 液状化した地盤が再び液状化するか？

- ・地震により今回と同程度以上の強い揺れを受ければ、再び液状化する可能性は高いと思われます。
- ・液状化には揺れの瞬間的な強さに加えて、揺れの継続時間も影響します。今回の地震で浦安市は震度5強でしたが、揺れの継続時間が非常に長かったことと、30分後の余震で震度5弱の揺れを再度受けたことが液状化被害を拡大させたと考えられます。
- ・規模の小さな地震（＝揺れの継続時間が短い）での震度5強／5弱程度の揺れであれば、今回のような大規模な液状化には至らないのではないかと思います。

Q2) 液状化による沈下がいつまで継続するか？

復旧工事をいつからはじめればよいか？

- ・砂地盤の沈下はすでに治まっていると思われますが、粘性土地盤の圧密沈下は長期間継続する可能性があります。ただし、後者の沈下量や期間は詳細な調査をしないと具体的な数字を出すことは難しいです。
- ・長期間操業を休止することは企業の経営上許されないと考えられますので、すみやかに復旧に着手せざるを得ないのではないのでしょうか。
- ・また、復旧工事には行政からの融資や税の減免制度から期限が決められることもあるでしょうから、それを逸さないように始められるのがよいと思います。
- ・復旧は基本的に個々の企業ごとだと思います。
(組合として何かまとめられるかどうかは？)

Q3) 液状化の深さ

- ・地盤条件に依存しますが、一般的には10m以浅の地盤が液状化したのではないかと推察されます。マンホールの浮上などは、工事の後に埋め戻した砂が液状化したと思われます。

Q4) 建物の下に空洞があるか？ その対策は？

傾いた住宅をジャッキアップで直せるか？

- ・一般論として、建物周囲が大きく沈下している場合には、建物の下にも空洞がある可能性があると思います。
- ・調査方法や復旧方法は個々の状況しだいですので、何とも言えませんが、例えば土間コンクリートの打ち替えを行う場合には、その際に空洞の調査や埋め戻しができる可能性があります。
- ・傾いた住宅のジャッキアップも構造や基礎の状況に依存すると思われます。修復費用もケースバイケースです。施工された住宅メーカーに相談されるのがよいと思います。

Q5) 液状化の対策工法

・敷地条件や許容される費用などケースバイケースですが、下記の論文の最後のページに既設構造物の液状化対策工法の例が紹介されています。

http://www.kenkocho.co.jp/pdf/140_09ys.pdf

Q6) 液状化の設計基準

・液状化が広く認知されたのは 1964 年新潟地震ですので、設計に取り入れられるようになったのは 1970 年代以降です。

・構造物ごとに液状化に対する設計基準が異なりますが、詳細は専門図書をひも解く必要があります。

・対液状化設計の基本思想は、地盤を液状化させないか、液状化しても構造的にもたせるということとなります。

液状化対策工法の展望

東京電機大学理工学部建設環境工学科教授 安田 進

1. はじめに

液状化被害が広く認識されその対策工の開発が始まってから45年になる。この間、近接施工の問題やレベル2対策など、問題がいくつか発生し、そのつど新しい考えの対策方法が開発されてきた。現在は性能設計をどのように取り入れて合理的に対策工の設計をするかとか、既設構造物をどのように対策するかといったことが重要な課題となっている。このような液状化対策工法開発の歴史を振り返り、今後の展望に関して述べてみる。

2. 液状化対策工法開発の経緯

地震時の液状化が着目され研究が始められる契機になったのは1948年福井地震であるが、広く認識されるようになったのは1964年新潟地震である。この地震では液状化による被害が多く発生したが、同時に、地盤を締め固めてあったタンクが被害を受けなかったため、地盤を締め固めると液状化対策になることも明らかになった。この経験は早速生かされ、八戸の製紙工場で重要な施設の基礎地盤を締め固めて建設されたところ、1968年十勝沖地震の際に液状化による被害を免れた。

これらが液状化対策工法開発の黎明期の話であるが、その後、設計基準類への液状化の導入や改訂、地震による新たな問題点の提起などに応じて、多くの対策工法が開発されてきた。まず、締め固めが有効であることが分かった後、砂杭などで締め固める工法がいくつか開発されてきた。ところが、既設構造物の近くでは振動や土圧による悪影響があるため、グラベルドレーン工法などの近接施工が可能な地盤改良工法が次に開発された。設計基準類への液状化の導入にともなって、新設構造物は勿論のこと、既設構造物の補強をするケースもいくつか出てきた。

表-1 液状化を防止する対策工法の種類

改良原理	工法
密度の増大	サンドコンパクションパイル工法（動的締め固め、静的締め固め）、振動棒工法（通常型、吸水型）、重錘落下方法、パイプロローテーション工法、コンパクショングラウチング工法、パイプロタンパー工法、転圧工法、発破工法、群杭工法、生石灰工法、プレローディング工法
固結	深層混合処理工法、注入固化工法、事前混合処理工法
粒度の改良	置換工法
飽和度低下（地下水位低下）	ディープウェル工法、排水溝工法
間隙水圧抑制・消散	グラベルドレーン工法、人工材料系ドレーン工法、周辺巻立てドレーン、排水機能付き鋼材
せん断変形抑制	地中連続壁

東海道新幹線の盛土では鋼矢板で、道路橋は増し杭で、また、東京都の護岸は鋼矢板でと、液状化しても被害を受け難くする方法でも対策がとられるようになってきた。

1995年兵庫県南部地震では強い地震動を受けたため、以降、レベル2地震動を耐震設計で考慮することになった。液状化も同様で、設計用の地震動レベルが2～3倍に引き上げられた。これに伴って、それまで開発されてきた液状化対策工法では不十分なものが出てきた。そこで、対策効果の余裕分の見直しが行われている。例えば、サンドコンパクションパイル工法では、砂杭の打設による水平土圧の増加による液状化強度の増加の効果を考慮しようとの試みが行われている。また、液状化しても構造物の機能が損なわなければならないとの考えが広まり、液状化対策にも性能設計の考えを導入する動きが活発になってきている。

3. 液状化対策工法の種類

これまでに開発されてきている液状化対策工法は、①液状化を防止する工法と、②構造的な対策工法（液状化が発生しても被害を受けないようにする工法）に大別される。前者に関してこれまで開発されてきた工法を挙げると表-1となる。

液状化を防止する工法で最も古い歴史

を持つのは密度増大工法である。新潟地震や十勝沖地震の際に締め固めていて成功した工法はパイプロローテーション工法である。その後、より確実に締め固める工法としてサンドコンパクションパイル工法が開発され、広く適用されるようになった。当初はケーシングの貫入や打戻しに振動を用いる動的締め固め方法が用いられていたが、近接施工の際に問題になるため、その後、回転で行う静的締め固め方法が開発された。最近でも我が国ではサンドコンパクション工法が最も多く用いられている。密度増大工法には表に示すように他に数種類あるが、そのうち最近良く用いられるようになってきた工法としてコンパクショングラウチング工法がある。これは、既設構造物の床からも施工できるといった利点がある。

固結工法では攪拌翼を用いてセメントを地盤の深くまで混合させる深層混合処理工法が近年開発され、対策効果が確実に出ることもあり、良く用いられるようになってきている。さらに、構造物に近接して施工できる工法として注入固化工法の利用も広がっている。

地下水位の低下工法はある広さを有した敷地全体で地下水位を下げると有効であり、川崎のコンビナートで適用されたことに始まるが、井戸から常時地下水を汲み上げる必要があるため、なかなか一

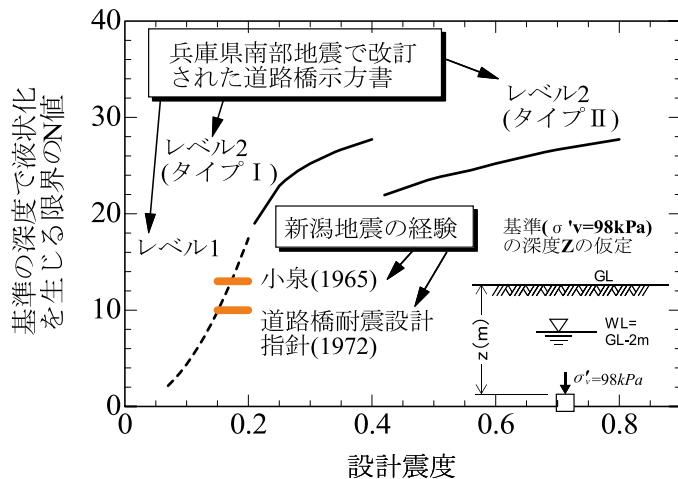


図-1 液状化が発生する限界のN値と地震動の関係の試算例

般に行われていない。ただし、傾斜地盤では排水管を埋設して自然流下によって地下水位を下げるができる。現在、新潟県中越沖地震で被災した傾斜地盤の復旧にあたってこの方法が適用されつつある。

間隙水圧の消散工法は上述した柱状のグラベルドレーンの開発に始まり、その後、共同溝などで、施工時に周囲にグラベルを巻き立てる工法が多く適用されるようになってきている。

4. 性能設計に向けた取組みと対策工の合理的な設計

液状化の発生の予測方法は1995年頃にはかなり確立されてきていた。その当時までの液状化に対する設計震度（地表最大加速度を重力加速度で除した値と同じ意味を持つ）は0.2前後（現在で言うレベル1地震動）に設定される構造物が多く、図-1に示すように液状化が発生するか否かの限界N値は10前後であった。

ところが、1995年に発生した兵庫県南部地震で大きな震動を受けたため、耐震設計にレベル2地震動を考慮する必要があるが出てきた。このレベル2地震動のもとで道路橋示方書・同解説¹⁾で用いられている判定手法で、きれいな砂地盤において液状化が生じる限界のN値を試算すると、図-1に示すように20～25程度となってしまう。したがって、例えば地盤を締め固めてN値が10以上になるように対策をとっていても液状化の発生を防止出来ないことも起きてくる。ただし、N値が10～25の地盤が液状化するとしても、地盤はある程度密なため、そこにある構造物が大きく沈下したり浮き上がるこ

とはないと考えられる。このような事により、レベル2地震動を考慮する場合は、液状化の発生の有無だけでなく、構造物の変形、変位量で安定性を評価することが必要となってきた。

また、兵庫県南部地震頃から多くの構造物の耐震設計に性能設計の考えを導入しようとの機運が高まってきた。構造物によって性能設計の考え方も少し違っているが、液状化に関しては、過去の被災事例を見ても構造物の構造的被害は少なく構造物全体が沈下や浮上、移動することが問題なため、性能を構造物の変形量で評価することが妥当と考えられた。

以上のように、液状化に関する研究・技術開発の歴史の過程からみて、兵庫県南部地震頃から液状化による構造物・地盤の変形・変位量をもとにした性能設計を導入する必要性が出てきて、それに向かって現在研究や技術開発が盛んに行われている段階である。性能設計方法を採用し入れる場合、性能目標値の設定と性能評価方法の確立が必要となる。液状化に関しては、これらは①変形量の許容値の設定、②液状化した地盤および構造物の変形量の推定方法の確立、と言い換えることが出来る。

液状化に対する構造物の許容変形量に関してはいくつか研究が行われ、一部は設計基準類にとり入れられるようになってきた。ただし、設定にあたっては下記のような種々の事項を考慮する必要があるが、これらを考慮するのがなかなか難しいこともあり、許容値の設定が少ししか進んできていない。

- a) 構造物の構造安定上からみた許容変形量
- b) 構造物の重要度や復旧のし易さから

みた許容変形量

- c) 構造物を利用する機能上からみた許容変形量
- d) 対象構造物が近接構造物や社会生活に与える影響からみた許容変形量
- e) 地震後の緊急対応やその後の本復旧からみた許容変形量

一方、液状化した地盤および構造物の変形量の推定方法は従来至難の業とされてきたが、最近、いくつかの手法が開発されてきている。これらを大別すると表-1の3種類となる。

これらのうち、動的解析方法は、通常の時刻歴地震応答解析に特に液状化による変形を考慮に入れた方法である。時刻歴地震応答解析で液状化の発生を解析することに関しては既に多くの技術開発が行われているが、液状化後の大きな変形まではなかなか解析できるまでは至っていなかった。ところが最近、変形の解析の必要性が出てくるとともに、大変形まで解析できるように改善されるものが出てきている。これに対し、静的解析方法は大変形を考慮できる物性を用いて解析するように開発されており、液状化後の変形量を求め易いようになってきている。ただし、動的解析に比べて精度は良くないし、また、変形の時間変化を解析できない。

現在用いられている6つの解析手法によって液状化によるタンクの沈下量を比較検討した例²⁾を図-2と図-3に示す。これは、有効応力解析による地震応答解析コード“FLIP”、“STADAS”、“LIQCA”、“DIANA”、“NUW2”、“STADAS2”によって、同じ地盤条件とタンク荷重で解析を行ったものである。さらに、より簡易な解析手法として、静的解析手法“ALID”によっても解析を行っている。これらの手法でゆるい砂地盤に加え、締固めによる地盤改良を行ったいくつかのケースで解析が行われた。図-2と図-3は、非改良地盤および基礎地盤を全面改良した場合に対して、上記の7つのプログラムで解析したタンクの沈下量と入力地震動の関係を示している。非改良地盤に比べて改良地盤では、どの解析手法でも半分から1/4程度に沈下量が減少している。ただし、各解析コードによる沈下量自体はまだ2～4倍も違っている。

このような変形量をもとにすると対策範囲の設計を合理的に行うことができる。図-4は兵庫県南部地震の際に液状化に

表-2 液状化による構造物や地盤の変形推定手法の種類

手法の分類	手法の概要	手法の特徴
経験にもとづいて推定する方法	過去の地震時における被災事例や模型実験などから経験式を導き出す方法	簡易であるが、精度は良くなく、また、適用できる構造物が限定される。
解析を行って推定する方法	静的解析方法	静的FEMなどを利用し、最終変形量だけを推定する方法
	動的解析方法	時刻歴地震応答解析を利用し、変形量の時刻歴を詳細に解析する方法

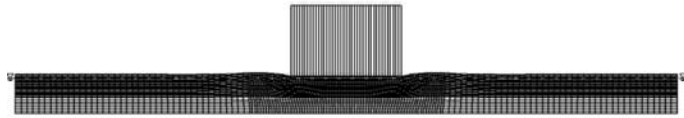


図-4 LPガスタンクの液状化による変形推定結果³⁾

起因して沈下したLPガスタンを対象に必要な対策範囲の検討を行った例³⁾である。このタンクの基礎地盤は締固めで地盤改良を行ってあったが、その改良の程度(範囲や密度)が不十分で平均的に60cm沈下したと見られている。そこで、地盤改良範囲や密度をいくつか変えて、沈下量を推定し、改良の程度と沈下量の関係を検討してみた結果が図-5である。ここでは表-2のうち静的解析に分類されるALIDで解析してみた。また、改良の程度を表す指標として下式に示す締固め領域比を考案してみた。

$$Ar = \frac{B \times D_{r2} + (A - B) \times D_{r1}}{A \times D_{r1}}$$

ただし、Aは構造物の沈下に影響を与えらると思われる地盤の範囲(体積)であり、Bは改良を施した範囲(体積)である。また、 D_{r1} はAの範囲の相対密度で、 D_{r2} はBの範囲の相対密度である。

図-5に示されるように締固め領域比が大きくなると沈下量が少なくなる結果となった。このような結果を利用すると許容沈下量から必要な地盤改良の範囲と締固め度の設計ができるようになって考えられる。

5. 既設構造物に対する対策工法の開発

新設構造物に比べて既設構造物の液状化対策には以下のような制約がある。

- ① 構造物直下の地盤を液状化しないように地盤改良することが出来にくい。
- ② 構造物を使用しながら対策工を施さねばならず、施工機械などの制約を受ける。

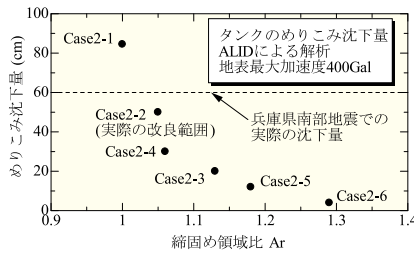


図-5 締固めの程度とめりこみ沈下量の解析結果³⁾

- ③ タンクヤードや住宅地など、対象とする構造物の近傍に構造物があることが多く、近傍の構造物へ影響を与えない施工方法を選定する必要がある。
- ④ 既設直下の地盤調査を行えないので液状化の判定を行い難い。

このような制約により、既設構造物の液状化対策の場合は、構造物や敷地ごとに適切な工法が異なる。設計にあたっては、単に液状化の発生を抑制する工法だけでなく、液状化を許容する工法もいくつか考案し、適切な工法を選定していく必要がある。液状化を許容する対策工法を検討する場合、構造物の機能を考えた上述したような性能設計を導入して、沈下量や浮上り量などで対策効果を評価する必要がある。

実際に施工された事例を集めて模式的に表すと図-6となる⁴⁾。紙面の都合上、簡単に紹介してみる。

直接基礎の構造物に対しては、上述したようにタンクヤード全体の地下水を下げるのが約20年前に行われた。個々の構造物ではその下の地盤を液状化させないことが最も効果あるので、床に孔をあけそこから地盤を固化することが行われるようになってきた。一方、構造物内からの地盤改良が困難な場合には、周囲から斜めに孔をあけ注入固化することも

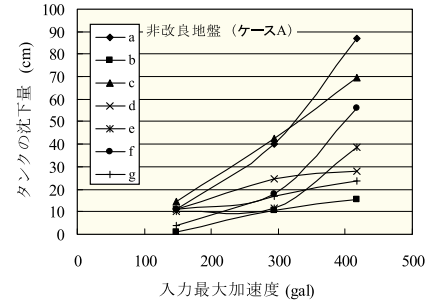


図-2 非改良地盤における7種の解析コードによる沈下量の推定結果²⁾

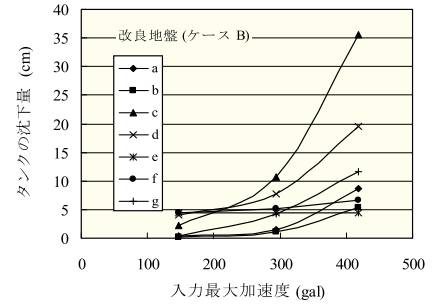


図-3 改良地盤における7種の解析コードによる沈下量の推定結果²⁾

行われている。また、構造物周囲を鋼矢板などで囲むことも行われている。こうすると、液状化の発生をさせ難くすると同時に、構造物下の地盤が液状化しても側方に押し出されないため、構造物の沈下量が少なくなる。木造家屋のように重くないものでは、周囲に杭を打ちそれで支えることも行われている。

杭基礎ではフーチングを拡げて増し杭をして補強することがよく行われる。高張力マイクロパイルを周囲に打設して補強することもある。兵庫県南部地震で被災した高架橋基礎に対して周囲の地盤を改良して補強することも行われている。

土構造物では、東海道新幹線の盛土ののり尻にシートパイルを打ちタイロッドで結んだのが、対策を施した最初であろう。直接基礎の沈下と同様に、土構造物下の地盤が液状化したとしても、側方へ押し出されるのを防ぐと沈下量も減少できる。最近では河川堤防でもシートパイルを打設して側方への変形を抑えることが行われ、また、のり尻部の地盤を締め固めたり、固化することも行われている。

岸壁・護岸では背後地盤の改良や、地震の復旧時に事前混合処理工法等で裏込めすることが行われてきている。控え工

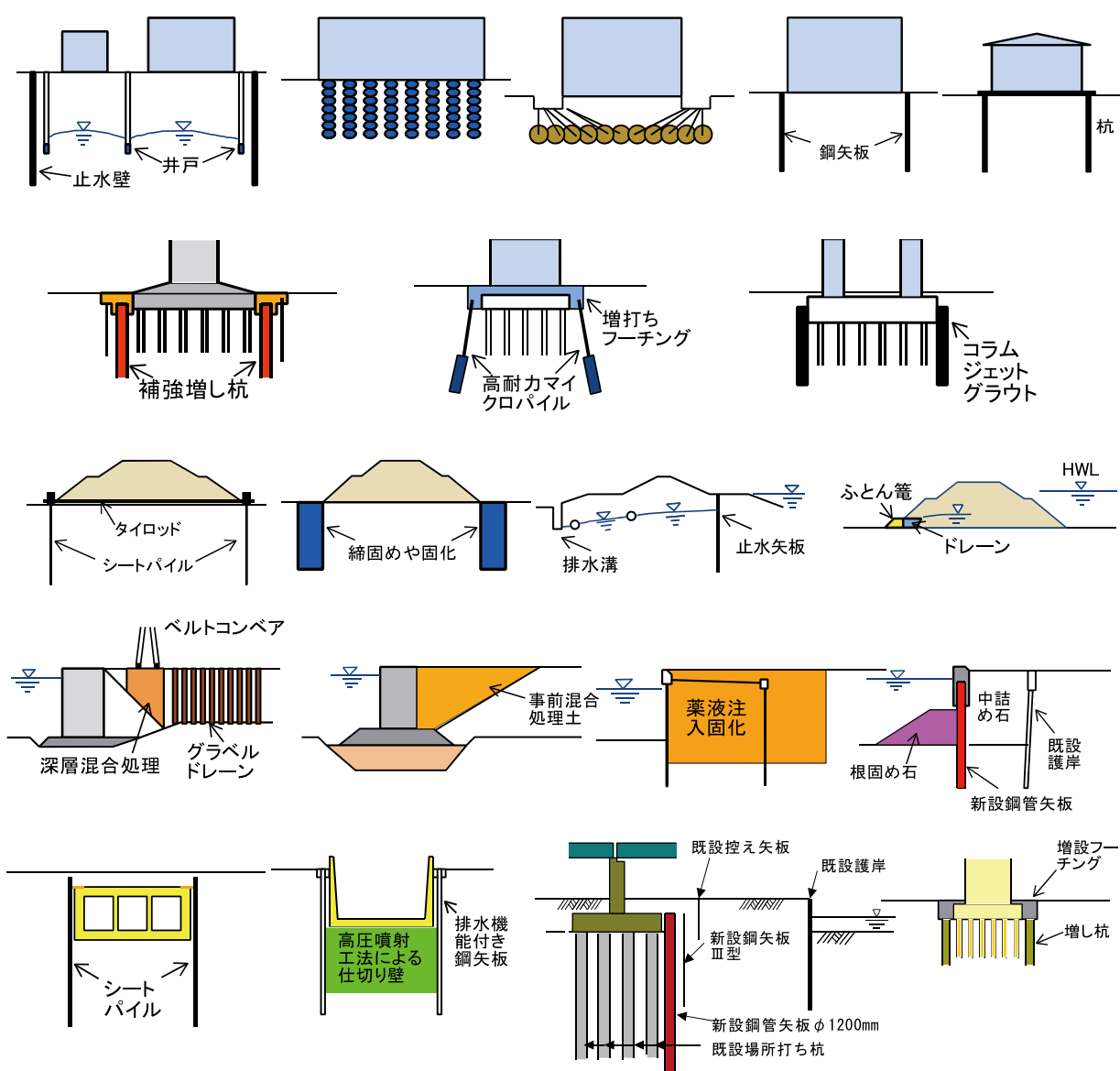


図-6 既設構造物の液状化対策事例の模式図⁴⁾

などが複雑に配置されている場合には薬液注入固化が有効とされている。一方、東京の内部護岸ではゼロメートル地帯の地震水害を防ぐために、前面に鋼管矢板を新設し、根固めも施して補強する対策が実施されつつある。

地中構造物が液状化によって被災するパターンはいくつかあって複雑であるが、そのうちの浮上りはメカニズムが明らかなので対策がとられるようになってきている。共同溝では両側にシートパイルを打設することが行われている。このようにすると、直接基礎の沈下と同様のメカニズムで、液状化した土が構造物下に回り込むことができなくなり、その結果として浮上り量を小さく抑えることができる。また、地下鉄の底部から孔を明け、下部の地盤を改良することも行われている。

液状化に伴う地盤流動に対しては、

1995年兵庫県南部地震で高速道路の橋脚が甚大な被害を受けたため、首都圏と阪神の高速道路などでその後対策がとられている。首都圏では、護岸と橋脚の間に鋼管矢板が打設され、阪神では増し杭が打設された。前者では液状化が発生しても橋脚位置における流動変位量を小さく抑えて杭基礎を守るとの考えであり、後者は液状化しさらに流動が発生しても杭に被害が生じないように強くする考えである。

6. おわりに

以上みてきたように、これまで種々の構造物の液状化対策工法が開発され、実際に適用されてきた。ただし、性能設計を考慮した合理的な対策工法の設計方法の確立や、埋設管や戸建て住宅などの未検討の既設構造物に対する対策方法の開発など、まだまだ技術開発が行われるこ

とが望まれる。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説、2002。
- 2) Sento, N., Yasuda, S., Yoshida, N. and Harada, K.: Case studies for oil tank on liquefiable sandy ground subjected to extremely large earthquakes and countermeasure effects by compaction, 13th WCEE, Paper No. 1259, 2004.
- 3) 安田進・原田健二・新川直利・有山裕亮・他：性能設計に向けた合理的な締固め改良範囲に関する研究—その2：タンク基礎を対象とした場合—、第43回地盤工学研究発表会、No. 886、2008。
- 4) 安田進：既設構造物のための液状化対策の考え方、基礎工、Vol. 34, No. 4, pp. 5-7, 2006。

安田 進
(やすだ すずむ)

1948年広島県生まれ。
1975年東京大学大学院工学系研究科博士課程土木工学専攻課程修了。1986年九州工業大学工学部助教授、1994年より東京電機大学理工学部教授。地盤工学会副会長（2006年度～2007年度）等を歴任。褒賞等：土木学会論文賞、地盤工学会功労章等。主な著書に「性能規定型耐震設計（分担執筆）」（日本地震工学会2006年）ほか。

〈連絡先：049-296-5599〉

湾岸マンション地帯で被害続出 首都圏・液状化現象の爪痕

首都圏の一部の地域の住民は「揺れ」よりも厄介なものに悩まされている。「液状化」現象である。

埋め立て地などの人工地盤は、地震で一定期間揺れると液体状に変質し、その一部が、舗装の継ぎ目などから路上に噴出する。これが液状化の正体だ。この現象が起きると、中に埋設されていた上下水道などのパイプが断絶したり、基礎が緩い建物が損傷したりする。

今回液状化で被害が確認されたのは、千葉県千葉市、浦安市、江東区新木場、豊洲の一部など、いわゆる湾岸エリア。

特に浦安市や新木場では被害が大きく、道路に亀裂が入り、段差1段を超える巨大な断裂も発生した。断裂から噴出した泥水は乾いて砂になり、今も大量の砂塵が舞う状態だ。

浦安市の一部ではライフラインが断たれた。水道は「当初102カ所確認されていた水道管の破裂の修復中に、新たに200カ所の断裂が発見された（浦安市）ため、18日現在復旧の見通しは立っていない。

下水道は噴出した砂が詰まり、マンション上層階から流された下水が

下層階で噴き出す被害が確認され、利用できない状態である。

3万7000世帯がこのような状況で暮らしており、市内14カ所に配備された給水車にはいまだ行列ができるといふ。

湾岸の洗練されたイメージで住宅を販売してきたマンション事業者が打撃を受けることは免れない。各社とも「現状を調査中で、影響は不明」（野村不動産）と口を閉ざすが、



ディズニーランドで有名なJR舞浜駅前。舗装が割れ、噴出した泥水が乾いて、車道には大きな砂山ができた（3月13日撮影）

Column

なかには契約をキャンセルする人も出た模様だ。

「これまで物件のセールスポイントは、駅や商業施設からの距離だったが、今後は地盤も含めたエリアの安全性への関心が高くなる」（大手マンション会社社員）のは間違いない。湾岸エリアの住宅の人気や売れ行きも、大きく変わることは否めないだろう。

新たに関心が高まる 地盤含むエリアの安全性

意外なことだが「地面の上に立つ建物が受ける地震の衝撃波は、液状化した地盤のほうが通常の地盤より

も小さくなる」と、「液状化現象」などの著書がある中央大学理工学部都市環境学科の國生剛治教授は言う。過去に液状化が起こった土地で、建物にまったく損傷がなかったため、歪みを矯正して問題なく住めている例も多い。

「杭を打って支えるマンションや、戸建てでもベタ基礎（コンクリートの板状の基礎）であれば、建物が損壊する恐れは少ない」（國生教授）という。

とはいえ、「液状化しない土地を選びたい」と考えるのは自然なことである。埋め立て地に住む際には、どんな点に注意すべきなのだろうか。

じつは、同じ埋め立て地でも地盤改良などが行われていれば、液状化の影響を食い止めることもできる。また、今回液状化が起こったエリアは「埋め立てて40年未満の比較的新しいものが多い」（國生教授）。埋め立て部材に海底の砂を使っているところが多く、江戸時代にゴミで埋め立てられたエリアより液状化しやすい傾向があるという。

液状化のリスクを知る方法もある。各自治体は、液状化予測マップを公開し、住民に示す義務がある。東京都ではホームページでも情報を公開している。不安な方は確認してみるといだろう。