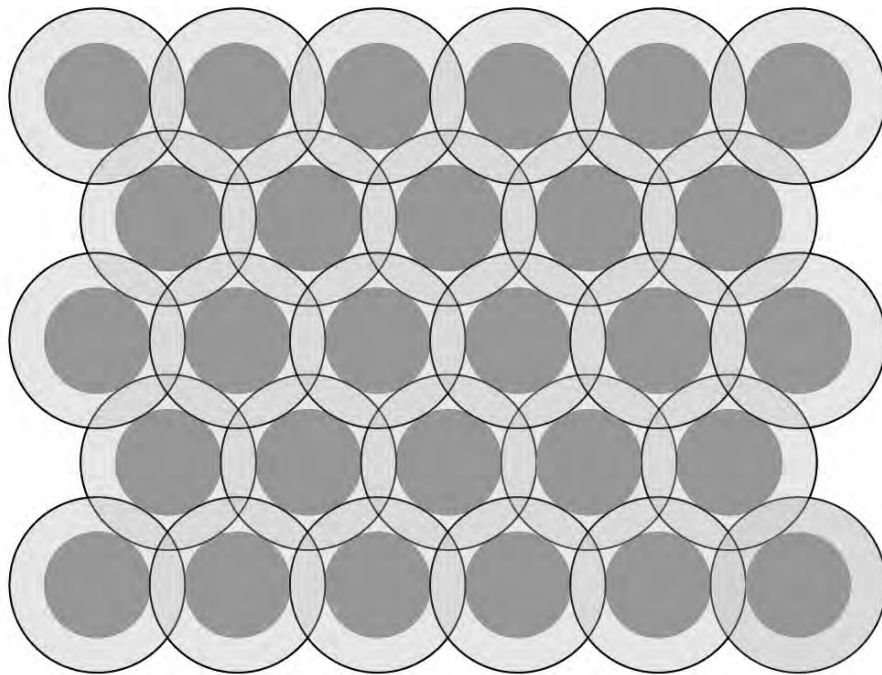


# S S T工法による液状化対策



株式会社 SST 協会

はじめに

液状化に関する研究と対策技術の歴史も浅く、1964年(昭和39年)の新潟沖地震(M7.5)で発生した『液状化による建築物の転倒』から国家レベルの研究が始まり、1995年(平成7年)に発生した兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)でも液状化による建築構造物の被害が数多く確認されていたが、液状化の被害は地震による建築構造物の直接被害および二次的被害の甚大さの陰に隠れ大きく伝えられることはなかった。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では液状化の被害が関東地方にも及び、首都圏でも大きな被害が発生した。以来、液状化対策の必要性が大きくクローズアップされ、対策技術が求められている。

液状化のメカニズムと液状化の要因等は解明されており、液状化対策工事そのものはそれほど難しくはないが、問題はコストである。コスト問題を判定する基準として『投資対比効果』を用いることは簡単だが、土地には歴史的な付加価値をはじめ様々な付加価値があり、これらのことを考慮しながら液状化対策工事を進めるとなると、液状化対策も簡単ではないと思われる。

現在、液状化の最大被害地のひとつである新浦安駅近郊での復旧はかなり進んでいるが、その殆どが仮復旧工事であり、液状化対策工事または液状化防止工事を併用しているところは官民合わせて極めて少ない。

液状化の被害と言うと『建築構造物の被害』と、思いがちであるが、一番の問題はインフラの被害である。新浦安駅近郊には木造住宅をはじめ近代的な高層マンションが立ち並ぶが、全ての建築が液状化の被害に見舞われたのではない。被害を免れた建物も数多い。しかし、液状化の被害から建築物が免れてもインフラが崩壊すれば、建物の使用目的は失われ、極めて困難な生活環境を強いられることとなる。

これ等のことを考慮すると『液状化対策は官民合わせて取り組む必要がある』と言えるが、果たしてこれが可能だろうかと考えれば、行き着くところはコストと施工性であろう。

現在、浦安市は液状化対策工事の有効手段として『地下水位を下げる』と『コラムを格子状(連壁状)に配置する』の2案について実験(予算約3億)を行なうと発表した。弊社もこの実験結果に注目しているところであるが、重要なことは、被災地の復旧工事としてこの2つの案が現実的な対処法として選ばれたことである。

ここで

SST工法では災害復旧工事に携わった経験と上記記事を参照とし、より経済的な対処方法を提案する。

### 1.液状化現象とは

地下水位が高い砂質土で構成されている地盤が液体状になる現象をいう。

### 2.液状化の起因は

地震等による振動により砂地盤の体積が減少して間隙水圧が増大し、その結果、有効応力が減少することが原因である。

### 3.液状化による問題点

液状化による大きな問題点を以下に示す。

- 1)水と砂の流出による地盤沈下が起因する建築構造物の損害
- 2)杭、改良体等の先端支持力と周面摩擦力の喪失による沈下と引き抜けが起因する建築構造物の損害
- 3)液状化泥土圧と土砂の流出による構造物の変動

### 4.液状化の恐れがある土層とは

(社)日本建築学会

- (1)GL より 20m以浅
- (2)細粒分含有率 35%以下
- (3)粘土分【0.005mm 以下】 10%以下 人工造成地
- (4)塑性指数 15%以下 埋立地
- (5)透水性の低い土層に囲まれた細粒土を含む礫

(社)日本道路協会

- (1)地下水位が現地盤から 10m以内でなお且つ 20m以内の飽和土層
- (2)細粒分含有率 FC が 35%以下の土層
- (3)塑性指数  $I_p$  が 15%以下の土層
- (4)平均粒径  $D_{50}$  が 10mm 以下でなお且つ 10%粒径  $D_{10}$  が 1mm 以下の土層

### 5.液状化対策の考え方

液状化対策には、以下の2通りの考え方に大別できる。また、これらの効果を兼ね備えているものもある。

- (1)液状化が発生しないようにする。
- (2)液状化の発生は許すが建築構造物の被害を軽減する。

これらの対策の原理と方法を次頁図 1 及び図 2 に示す。

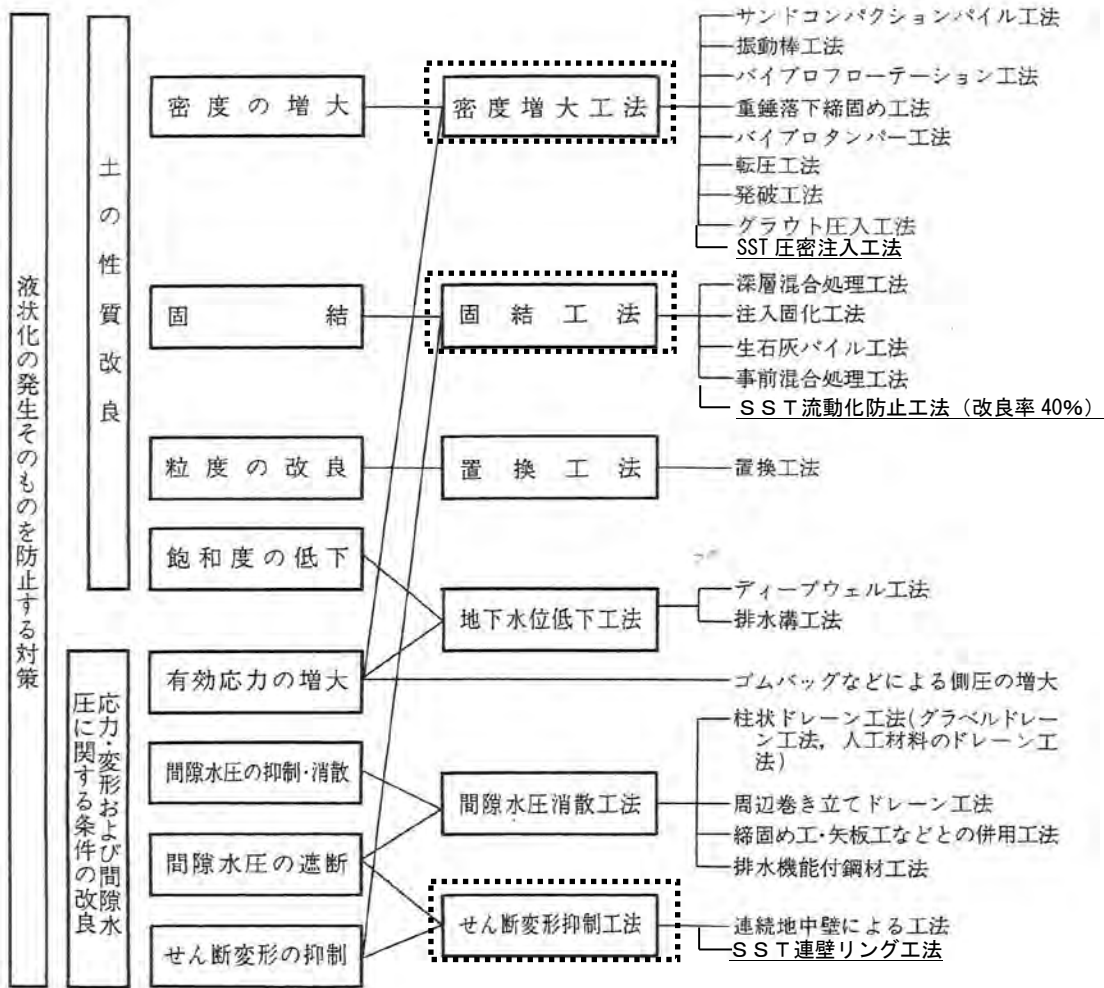


図 1. 液状化の発生を防止する対策の原理と方法 (出典：液状化対策工法 地盤工学会)

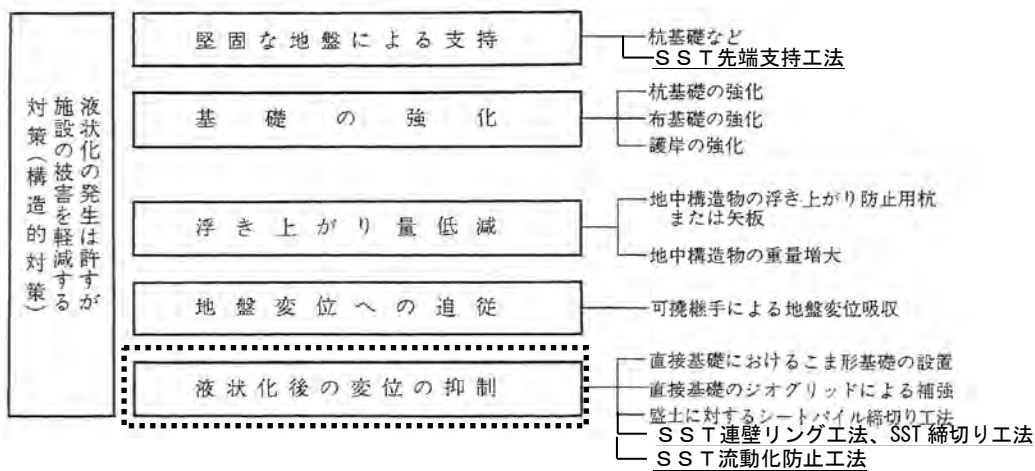


図 2. 構造物の被害を軽減する対策の原理と方法 (出典：液状化対策工法 地盤工学会)

\* 下線、点線枠は SST 工法における液状化対策工法を示す。

## 6.調査レポート

### 6.1 調査レポート1

本調査レポート 1 は弊社が携わった災害復旧工事と弊社が行なった液状化被害調査および専門家チームがまとめた調査資料を参照にしたものであり、3.11 地震に伴う液状化被害および起因等のすべてを示すものではないことを、はじめに申し述べておく。

#### 調査地域

弊社が調査した地域を以下に示す。

千葉県：浦安地区・市川地区・船橋地区・市原地区・旭地区

茨城県：神栖地区・鹿島地区

#### 復旧工事

弊社が携わった代表的な建築構造物の復旧工事を下表に示す。

地区	官・民	構造物	被害	主なる原因
浦安地区	民	ホームセンター	不同沈下	土砂の流出
市川地区	官	教育施設	建物断裂	地盤の変位
船橋地区	民	倉庫	不同沈下	地盤の変位
市原地区	民	造船研究施設	半倒壊	土砂の流出
旭地区	官	保育施設	地盤沈下	土砂の流出
神栖地区	民	工場	不同沈下	土砂の流出
鹿島地区	民	居住施設	不同沈下	土砂の流出

#### 被害の原因

建築構造物の被害原因の殆どが土砂の流出による地盤の変位であった。

確認した建築物の最大沈下量は浦安地区で約 800mm(S 造 4F・直接基礎)、地盤構成としては N 値 6・8・12・14(近隣データ)の砂質土であるところから、これほどの沈下量は考えづらいが、近隣(数十m)には N 値 0~4 の連続層地域もあるところから、液状化の側方流動による基礎下地盤の流出と建物荷重による押し出し現象との複合的原因によるものと推定するが定かではない。いずれにしても、基礎下地盤の流失であることは明らかである。



## 6.2 調査レポート 2

3.11 地震の液状化による浦安地域の被害調査を行なった多くの専門家の意見から、興味深い意見を 3 点ほど抜粋する。

- ①浦安地区：液状化の流動化被害でもっとも深刻なライフライン・パイプラインの損傷と緊急車両の通行の確保対策として、周囲の地質環境を考慮するとドレーン工法が適している(県環境研究センター)
- ②浦安地区：公開されている地盤情報を基に東京湾東部沿岸と利根川沿岸における 3 地点で液状化判定を行なった結果、液状化被害状況と判定結果が異なった。この一因として地震動の継続時間が長かったと考えられるので今後、地震動時間も考慮する必要がある。  
参考：PL 値による液状化判定  
浦安市今川 2.3 香取郡神崎町 32.3 香取市佐原 27.1 (山田雅一)
- ③浦安地区：入船 4 丁目地区の数百棟の戸建てのうち、約 80%の家が南北方向に傾斜し、建替え不可避の状態(芝浦工業大学 中野恒明)

### 考察

- ①は、インフラ・ライフライン等の保護対策として、地下水位の調整をあげている。ただ、ドレーン工法が適していると結論付けているところが興味深い。
- ②は、液状化判定の精度と判定方法のことだが、地震動の活動時間が長かったことが大きな影響を及ぼしたことは間違いないだろう。ただ、現場を担当する我々が注目するのは、液状化マップに示されている地域と液状化発生地が必ずしもイコールではなかったことにある。また、粘性質土層・有機質土層でも泥水の噴出しによる不同沈下被害がおきていることにある。  
液状化マップとイコールではなかった点については、造成後の経年々数に関係すると言う見解が専門家から出されており、我々もこの見解を支持している。但し、神崎地区は経年々数から液状化は考えづらい地域であるが、同地域は砂利の採掘場所であり、砂利の採掘後に山砂で埋土したことが、主たる原因であると推定できる。
- ③は、浦安市入船地域の戸建て地区の建物が同じ方向に傾いたことだが、入船地区は最大被害地のひとつで、我々が地盤改良を行なった建築構造物のなかで唯一 1/100 の傾斜角を発生させてしまった地域でもある。従って念入りに調査した地域であるが、戸建て地域を見落とした可能性がある。いずれにしても、どの建物もバラバラの方向に傾斜しているのに戸建て地区の建物が同じ方向に傾斜したということは興味深いものがある。  
この問題の鍵は、戸建て地区が河口に近い川沿いにあるということかもしれない。

大阪市立大の大島教授によれば、

- ・地下水位を 5mまで下げれば液状化の可能性は大きく下がる
- ・液状化の被害は、地盤面より 6m以浅の液状化現象によるものと推定している
- ・10m以深で液状化が確認されてはいるようだが建築物等に影響はなかったと思われる
- ・N 値 10 以下の砂質土層では液状化の発生する可能性が高い
- ・遮水壁工法は対策として期待できる
- ・官民で対策を行なわなければ、被害は防げない
- ・地震動の振動数は今まで 15 回程度と推定されていたが、3.11 地震の場合は、揺れが約 2 分 40 秒間も続いたことを考えると振動数は 150 回以上に及んだと思われる。

#### レポートのまとめ

##### 液状化の再発について

液状化の再発についての質問を受けるときがあるが、液状化の再発は液状化前と液状化後の地盤調査資料である程度は推定できる。しかし、それほど多くないデータではあるが、同じ地区でも液状化前よりさらに液状化の可能性が高くなっている所もあれば、低くなっている所もあり、専門家のなかには「振動と沈下により粒径の均一化現象が発生しているので、再発の可能性が高くなった」と言う意見もある。ここで注目しなければならないのは潮の満ち引きである。河川や海岸沿いにある地域で地盤改良工事を行なうとき、明らかに潮の満ち引きと地下水位が相関関係にあると思われる現場があり、このような現場では「潮の満潮時は避けて施工を行う」ようにしている。と言うことである。例として、地域の四方を海水で囲まれている月島(江東区)でこの現象が発生したが、地下水位にある水を味覚で調べても塩分は感じられなかった。おそらく何らかの理由による地下水位への加圧が働くものと思われるが、仮に、地下水位と月の引力に関係があるとすれば、液状化の要因の一つとして挙げられるのではないだろうか。因みに 3.11 地震時の潮廻りは小潮の干潮時で、この要因を否定している。

##### 液状化の責任について

3.11 地震の液状化による建築物等の損害について集団訴訟が浦安地区住民から出されたが、今回の液状化による被害に対し災害救助法が適用になったことから、天災であると判断できることと、4号案件の特例処置を受けていること等を考えると、行政機関、確認機関、設計機関等に責任があるとは考えづらい。法的責任となれば宅建業法による告知義務違反が争点となると思われるが、振動波の振動数、最大加速度、一般的な概念等を考えると、司法判断は難しい。おそらく和解勧告が出されと思われるが、業者が納得するとは考えづらい。司法は難しい判断を迫られることになりそうだ。ただ、民間の損害保険会社等の対応は早く、PL 法の免責事項に液状化を追記していた。尽きるところ、「自分の身は自分で守れ」「備えあれば憂い無し」と言うところかもしれない。

## 液状化と埋立地の経過年数について

一般的に埋立地では経過年数の少ない新しい地盤、いわゆる若齢人工地盤ほど液状化しやすく、逆に、経過年数の多い人工地盤は液状化しにくくなると言われている。人工地盤は時間の経過とともに安定するからというのがその理由であるが、安定化の過程について、一説には、埋立地は地震を受けるたびに安定化に向かうとの考え方もあり、地下水が長い時間をかけて細粒分を運び込み、粒度分布の良い地盤構造になるとも言われている。長期にわたる常時微振動の影響ということもあるかもしれない。いずれにせよ、安定化のメカニズムやその程度についてはまだ不明瞭な部分が多いのが実態であろう。では、どのくらい経過すれば液状化しにくい地盤になると言えるのであろうか。

既往の研究（液状化発生事例を収集分析）によれば、液状化発生地点の過半数が埋立て後 20 年未満の埋立地であり、85%が 40 年未満の埋立地で占められているという。ただし、地表面最大加速度が大きくなるにつれて、当然古い埋立地でも液状化が発生する可能性が高くなり、地震動の強さにかかわらず液状化が起こりにくくなるのは 100 年以上の埋立地であるという分析結果がある。液状化に対する埋立地の脆弱性が完全に改善されるのは 100 年の年月が必要ということであろう。ちなみに、3.11 地震で液状化被害の大きかった浦安は埋め立て後 30～40 年経過した比較的新しい埋立地である。

もっとも、経過年数のほかに「埋め立てに用いられた材料」も重要なファクターであり、3.11 地震で、東京湾の埋立地では葛西など新しい埋め立てエリアであっても液状化の被害がなかったのは、埋め立て材料に粘性土が多かったためだと言われている。



## 7.対策手法の選択

液状化の対策の考え方を大別すると以下の2通りに分かれる。

- ・液状が発生しない地盤にする
- ・液状化は許すが建築工作物の被害を防止または軽減する

### (1)液状が発生しない地盤にする手法

#### 1)地下水位を下げる

地下水位を下げる手法は地区全体で行なわなければ効果が期待できないことと、法的な制限などから民間レベルで出来る話ではないので、ここでの説明は省略する。

#### 2)液状化が発生しない土層にする。

(社)日本建築学会・日本道路協会・日本地盤学会によれば、『細粒分含有率が35%以上地盤』および『粘土分が10%以上の地盤』であれば液状化の恐れは無いとしている。

弊社ではこの理論に基づき原地盤の土質に細粒分および粘土分と同じ微細粒分を配合する技術を所有しているが、別途、地盤改良等が必要となりコスト的な問題があり一般的な工法とは言えなかった。そこで、液状化防止工事と、地盤を締固める工法を同時に行なえる柱状工法、SST圧密注入工法の開発に着手した。

SST圧密注入工法の特徴と目標値等を以下に示す。

- ・特徴は  
地盤内に強固な工作物を作らない・セメント系材料を使用しない・環境に優しい他
- ・コスト的には  
㎡あたり5～8万円程度前後
- ・実施時期は  
平成25年4月頃
- ・目標性能は  
圧縮強度1500kN/㎡・最大長期支持力100kN/本

#### 3)7m以浅の地盤を全面改良する

柱状改良による地盤改良の場合は、改良率40%前後を目安とする

以上であるが、投資対効果の観点からすると、効率の良い工法ではない。よほどの希少価値等の高い土地か、特別な意味を持つ土地向けと言うところかもしれない。

また、固化材を用いた地盤改良による場合、液状化防止と液状化対策との境目は、極めて曖昧であることも事実である。

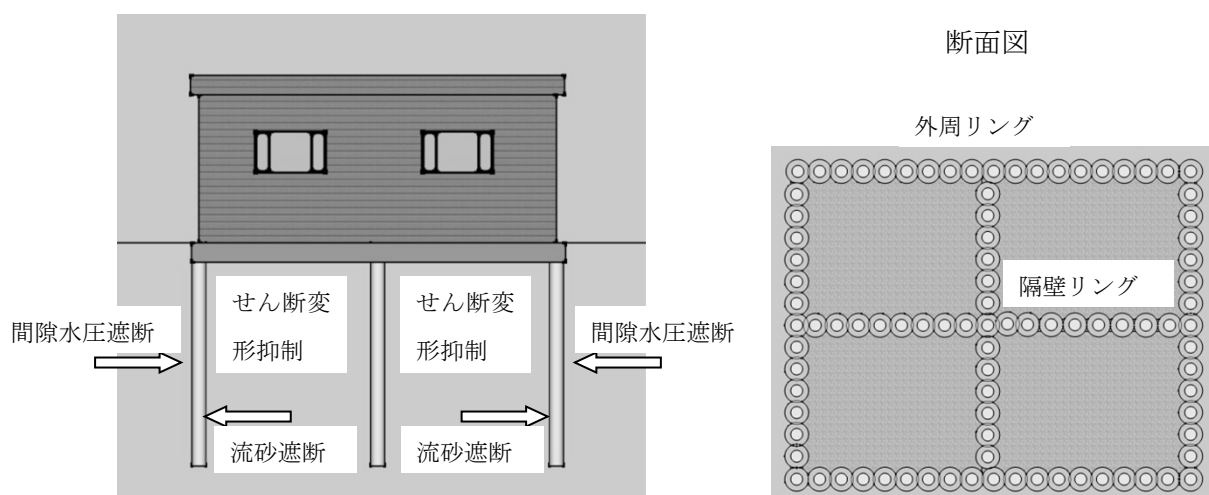
## (2)液状化は許すが建築物の被害を防止または軽減する手法

投資対比効果、および実績データから考えると、この考え方が最も現実的な手法であると言える。また液状化の最大被害地である浦安市が、液状化対策の有効な手段として実験に入った工法は『地下水位を下げる』と『コラムを格子状に配列する』であるが、後者の格子状改良工法は液状化後の地盤の変位抑制を主眼としている。また、SST工法でも液状化対策として、連壁リング工法(格子状配置)が最も有効と判断しているところから、連壁リング工法を基準に説明を行う。

### 1)連壁リング工法

連壁リング工法とは、建築構造物の基礎下外周部および内部を格子状にコラムをならべ遮水壁を造成する。【コラムは構造物の支持も兼ねる】

物理的原理地震動によって生じるせん断変形を小さく抑えるとともに、周辺からの間隙水圧の伝播を遮断することと、基礎下地盤の間隙水と砂の流出を防止する。



なお、外周リングは通常1重リングで十分であるが、重要建築構造物等においてリングの遮水性と剛性を高め、より液状化防止効果を確実にしたい場合は2重リングとする。また、隔壁リングにより区画面積を小さくすることも有効である。

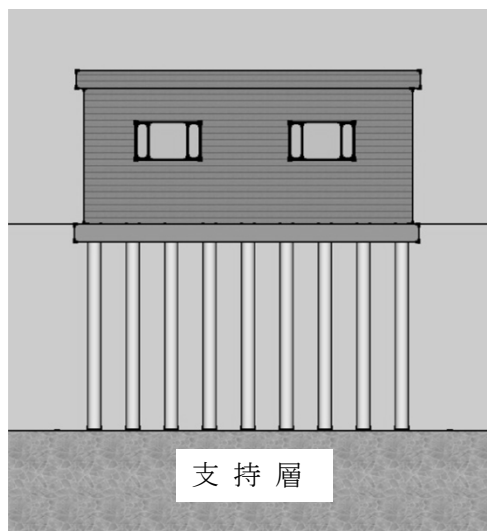
### 評価

3.11地震での実績評価では0/15であり信頼度は高いが、土間コンクリートまたはスラブコンクリート等に亀裂がある場合は水や砂の流出が発生する可能性は否定できないので、上部遮水には注意する必要がある。コスト的には通常の柱状改良工法の2倍前後と思われる。

## 2)先端支持工法

SST コラムを液状化が発生しない堅固な地盤まで打設する。

物理的原理：先端支持力のみで荷重を支持する。



### 評価

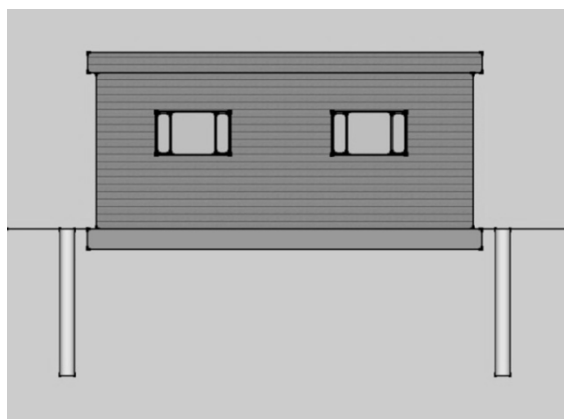
安価であるが強固な支持層が必要であることと、基礎地盤下の土の流出は防げないところから、別途遮水壁を設ける必要があると思われる。

## 3)締切り工法

隣接地または建築構造物の周囲に連壁リング工法で遮水壁を構築し、建築物と共に上下水設備や庭の施設植栽等を守ろうとする工法で、構造物を支持させない工法である。

物理的原理

液状化発生後に基礎下地盤が側方に移動することを拘束し、地盤沈下を軽減する。



### 評価

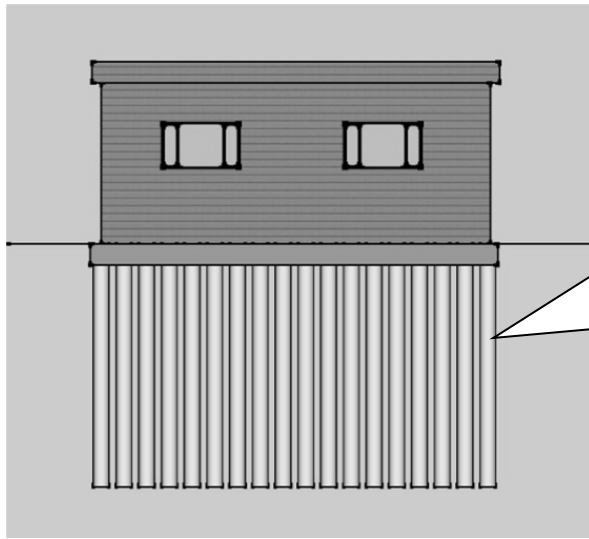
地震の継続時間が短く側動流圧が限定的または小さい時には効果が期待できる。

#### 4)流動化防止工法

通常の SST コラムより配置を密に打設する。改良率 15%以上が目安である。

##### 物理的原理

液体状になった砂質土の流動作用を複雑にし、水や砂の流出を防止し、杭やコラムの先端支持力および周面摩擦力の喪失を防止する。



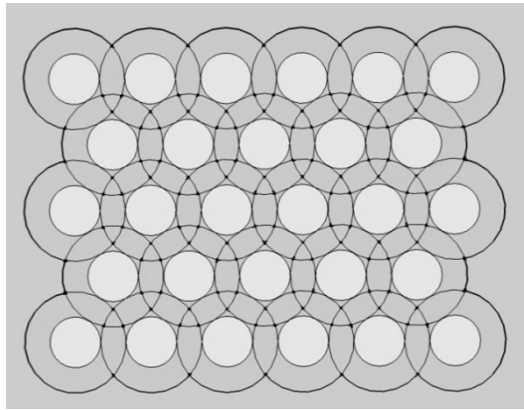
##### 標準 SST コラム

追加砂と固化材を配合した通常の高強度 SST コラムを打設する。

<基本配合>

掘削土：追加砂＝ 3：1

固化材量 200kg/m<sup>3</sup>



##### 高密度配置例

75cm ピッチの正三角形配置

改良率 40%

##### 評価

3.11 地震での実績評価では 0/20 であり、信頼度はかなり高く、コスト的には通常の柱状改良工事の約 2.5 倍前後と思われる。

## 雑論

液状化に関する様々な情報と課題を考えると、液状化判定の手法と精度、液状化対策工法の選択と効果、液状化の被害とその責任、等々、迷路に嵌っているように思える。

専門家は 3.11 地震よりさらに強大な地震を予測したり警告を発したりしているが、果たしてそれに対応する技術、資力、知力を有するののかと言えば、国であろうと個人であろうと、甚だ疑問が残る。さらに巨大地震に対応することが得策かと言えば、さらに疑問が生じる。となると、津波の場合は「津波がこないところに住む」液状化の場合は「液状化が発生しないところに住む」または「津波のときは一目散に逃げる」液状化が発生するところには「高価な建築構造物を立てない」という考えがあっても良いのではなかろうか。なかには「天災だから諦める」と言う人もいるだろう。人様々である。

仮に、今回の液状化現象が首都圏近郊でなければ、どのように報じられ、どのような復興予算が組まれたのだろうか、また豪雨による和歌山県の被害は、九州地方の被害は、東北地方の地震による被害は、等々と考えれば日本国中天災被害だらけのようだが、それらの復興も儘ならないのに、更なる巨大地震の襲来を警告されても、現在の日本で対処できるはずが無い。となると、お釈迦様の言葉ではないが「ほどほどに」と言うことであろう。もし専門家のこの警告に従い、確認事項や許可事項の基準や規制および負担を行政が民間に求めれば、更なる混迷が増すだけだと思われる。尽きるところは官民一体の協力体制と、天災自然災害は自己責任ではなかろうかと、私は考えている。諸氏には色々な意見があると思うが、責任のなすり合いだけは避けたいものである。

2012 年 9 月 27 日

株式会社 SST 協会 会長 飯田哲夫

株式会社エスエスティー協会 <http://www.sstkyokai.co.jp/index.htm>

本社

〒290-0021 千葉県市原市山田橋 8 6 2 - 1

TEL : 0436-43-3331

FAX : 0436-43-3335

[info@sstkyokai.co.jp](mailto:info@sstkyokai.co.jp)

技術センター

〒290-0056 千葉県市原市五井 2792-1-106

TEL : 0436-23-7771

FAX : 0436-23-7772

[engi@sstkyokai.co.jp](mailto:engi@sstkyokai.co.jp)

大阪支店

〒532-0011 大阪市淀川区西中島 7-12-5-306

TEL : 06-6306-5555

FAX : 06-6306-5556

[osaka@sstkyokai.co.jp](mailto:osaka@sstkyokai.co.jp)