

千葉市液状化対策推進委員会 —第2回— 資料

液状化対策の中間報告等について

地区の地理的状況

造成履歴を見ると、比較的新しい臨海部の埋立地で、昭和34年～50年代初頭に埋め立てられており、その以前までは遠浅の海岸線・海底であったことが推定される。



(磯辺、真砂ほか) (幕張ほか)
図-1 航空写真(2011年3月17日撮影より)



(a) 明治 13 年 (b) 昭和 4 年 (c) 昭和 46 年
図-4 地形変遷図

1

地震波の特徴

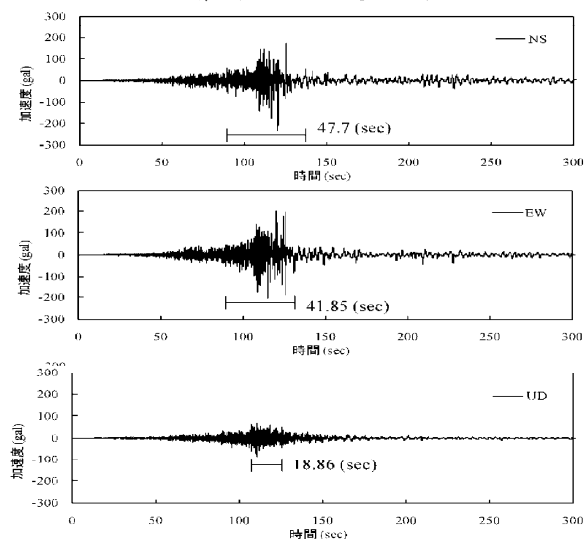


図-3 本震の加速度時刻歴(2011年3月11日14時46分)¹⁾

最大加速度301.1gal(3成分合成)

2

被災状況の整理

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、関東地方の広い範囲にわたり地盤の液状化現象が発生し、住宅、道路、河川堤防、港湾施設、ライフライン等に多大な被害が発生した。国土交通省関東地方整備局と公益社団法人地盤工学会では、既にこれらの地盤液状化現象の実態を把握、解明するために共同で調査を実施し、その成果をとりまとめている(図-4)。

特に宅地の液状化被害では、図-4のように海岸地埋立て地盤の全体に激しい液状化が発生した。写真-1は、北磯辺第三公園、磯辺二小で見られた液状化による噴砂現象である。



図-4 東京湾岸の液状化発生分布
写真-1 公園・小学校の敷地での噴砂現象 (Google Earthより2011/3/31撮影)

3

地盤調査結果の整理と液状化発生原因の推定(美浜区磯辺7・8丁目の例)

美浜区磯辺7・8丁目地区では、震災後のボーリングデータが乏しいため、液状化判定は震災前後を区別せず、一括して扱う。

過去のボーリングデータは千葉県や千葉市及び以下のデータバンクより入手し、資料の収集を図った。

- ①千葉県地質環境インフォメーションバンク
- ②国土地盤情報検索サイトKuniJiban
- ③ジオステーション

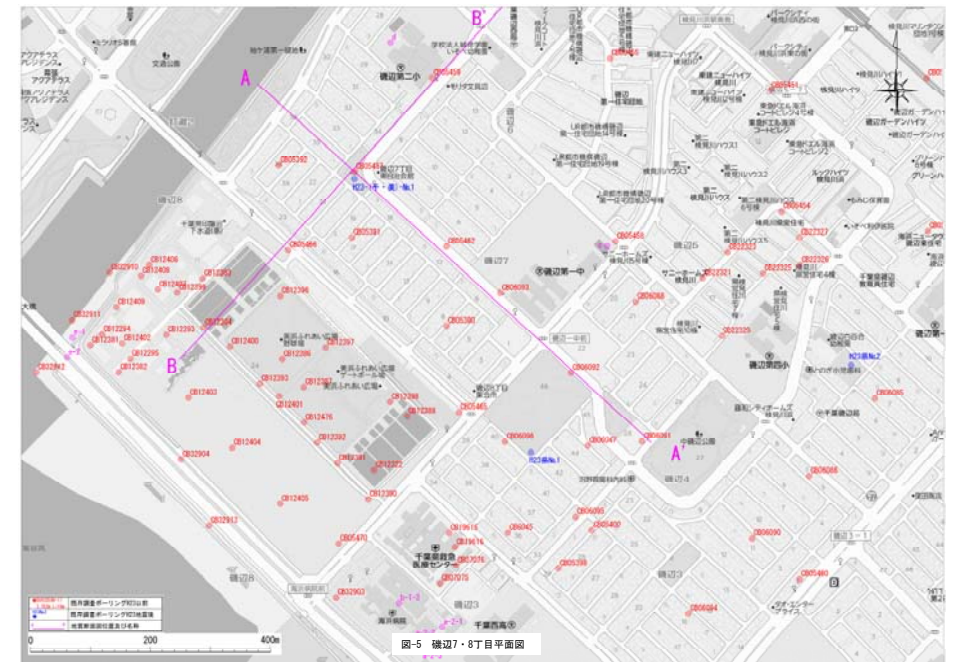


図-5 磯辺7・8丁目平面図

1.地質断面図のモデル作成

ボーリングデータより地質断面図のモデルを作成し液状化判定を行った。地質的特長は、埋立土(Bnc:液状化の可能性無、Bns:液状化の可能性有)が10~15m程の層厚で地区全体に厚く分布しており、直下の沖積砂質土層(As)は沖積粘性土層(Ac)と互層をなしてレンズ状に分布し両者を併せてもその層厚は5m程度である。

特にAs層はA-A'断面の海側で1列認められるのみで、海岸に平行する方向に延びている。なお、As~Ac層の直下はDs1層以下の地層が確認されている。

美浜区磯辺7・8丁目地区の北西~南東方向の断面(A-A')をみると、上部より厚さ10m以上の埋土層(Bn)、沖積砂質土層(As1)~沖積粘性土層(Ac2)、第1洪積砂質土層(Ds1)以下で構成され、ほぼ水平構造をなして分布している。

このうち、最上部は軟らかい粘性土(N値0~1程度)や緩い砂質土(N値1~10程度)が交互に認められ、特に東側で厚い粘性土埋土層が分布している。

直下のAc層は比較的連続性が良い分布をなすが、As層は南西~北東断面(B-B')ではレンズ状分布が1箇所確認されているのみであるが、直行するA-A'断面では比較的連続性の良い分布をなしている。これは海岸線に平行して堆積していることを示すもので、砂州堆積物である可能性を示唆している。

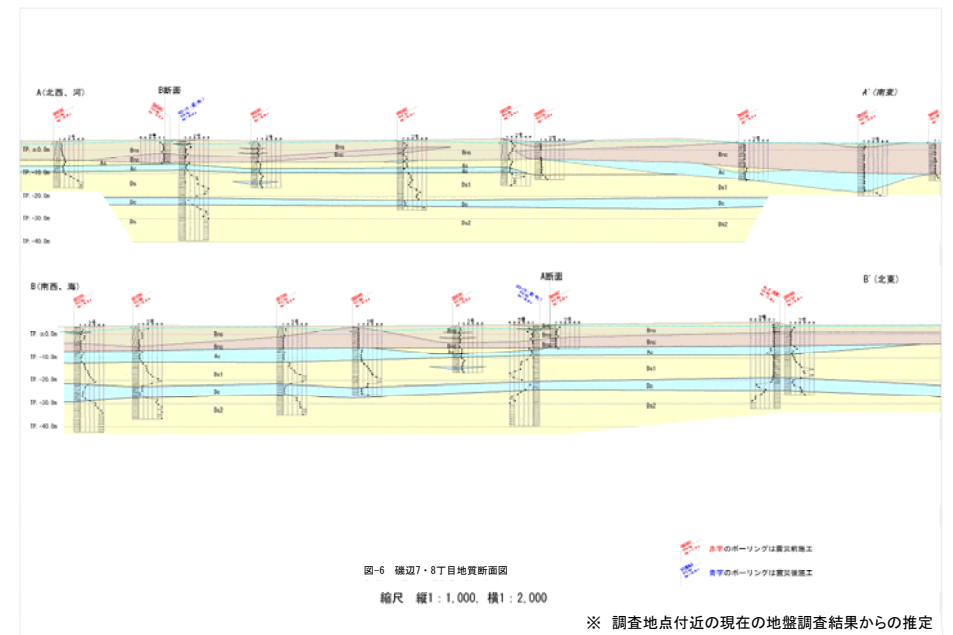


図-6 磯辺7・8丁目地質断面図

縮尺 縦1:1,000、横1:2,000

※ 調査地点付近の現在の地盤調査結果からの推定

液状化の判定

液状化の判定は「建築基礎構造設計指針(日本建築学会)」に準拠して検討を行う(但し、PL値の算定方法は「道路橋示方書(社団法人日本道路協会)」を参照)。

地震前の既存資料のボーリング結果における室内土質試験を用いて、マグニチュードおよび加速度は、①M7.5, 200gal(中地震) ②M7.5, 350gal(直下型大地震動) ③M9.0, 200gal(既往の最大値≡巨大地震による中地震動)の3タイプの液状化の検討を行う。

液状化解析に用いる加速度は、東日本大震災の①地震と下記に示した観測点K-NET稲毛(CHB024)の観測地震加速度(最大加速度が301.1gal)と巨大地震による中地震動が概ね一致する。

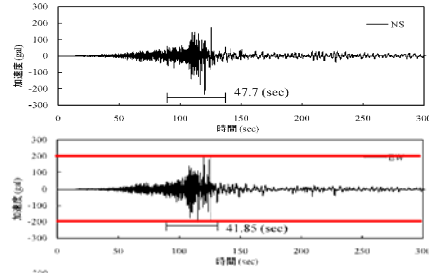


図-7 地震波形

また、液状化判定に伴う判定は、FL値、PL値、Dcy(地盤変位量)によるものとした。なお、一般的にPL値の算出方法は、深度20mが用いられているが、橋梁と違い戸建て住宅は荷重が小さいことから、深度10mにおいても併せて算定を行った。「道路橋示方書(社団法人日本道路協会)」を参照)

◆PL値

| | |
|-------------------|--------------|
| $P_L=0$ | 液状化発生の可能性はない |
| $0 < P_L \leq 5$ | 液状化発生の可能性が低い |
| $5 < P_L \leq 15$ | 液状化発生の可能性がある |
| $15 < P_L$ | 液状化発生の可能性が高い |

◆Dcy

| | |
|-------|----|
| 0 | なし |
| ~5 | 軽微 |
| 5~10 | 小 |
| 10~20 | 中 |
| 20~40 | 大 |
| 40~ | 甚大 |

※PL値の重み係数: $W_z(20m) = 10-0.5 \times Z$
 $W_z(10m) = 20-2.0 \times Z$

図-8 液状化の判定結果の表示

液状化の判定結果

液状化の判定結果によれば、液状化対象層は地下水位以下のBnc層(埋土、液状化の可能性無)、Bns層(埋土、液状化の可能性有)、Bn層及びAs層(沖積砂質土層)と、Ds層(洪積砂質土層)の上部も含まれ、また一部中間土の性状をなすAc層(沖積粘性土)にも認められ、広範囲に及んでいる。

このうち特にBn層は非液状化層となる粘性土部を不規則に挟んでおり、複雑な構造をなしていることが推定される。

既存資料を含めた室内土質試験を用いて液状化の検討を行った結果を表-1に示した。液状化検討で採用したマグニチュード及び加速度を以下に示す。

このうち、巨大地震による中地震動(M9.0, 200gal)について、以下詳細を記載する。

Bn層は非液状化層となる粘性土部を多く挟在しており、このため液状化対象層の形状は複雑となっていることが推定される。Bn層自体が10m以上の厚い土層を構成していることから、推定される地盤変位量に大きな影響を与えている。

Ac層は基本的に非液状化層と判定されるが、特に層厚が3m以下の薄い区域では中間土の性状を呈し、一部で液状化対象層となる区間が認められる。

Ds層の上部ではN値が10~20程度以下となっている区間が数多く認められ、これらの区域が液状化対象層と判定されている。このようなDs層上部層はAs層である可能性を含んでいることが推察される。

表-1 液状化判定における予測沈下量一覧表

| ボーリング番号 | CB05390 | | | | CB05391 | | | | CB05392 | | | | CB05400 | | | | CB05454 | | | |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|--|
| | M7.5 200gal | M7.5 350gal | M7.5 350gal | M7.5 350gal | M7.5 200gal | M7.5 350gal | M7.5 350gal | M7.5 350gal | M7.5 200gal | M7.5 350gal | M7.5 350gal | M7.5 350gal | M7.5 200gal | M7.5 350gal | M7.5 350gal | M7.5 350gal | M7.5 200gal | M7.5 350gal | | |
| PL値 20m | 6.092 | 10.928 | 20.114 | 13.264 | 21.819 | 32.816 | 7.171 | 16.779 | 31.153 | 3.543 | 6.901 | 11.194 | 13.276 | 20.385 | 31.041 | | | | | |
| PL値 10m | 3.617 | 6.162 | 10.670 | 9.847 | 17.993 | 28.455 | 8.310 | 18.541 | 32.703 | 0.104 | 3.358 | 7.517 | 17.803 | 26.537 | 37.801 | | | | | |
| Dcy(m) | 10.3 | 16.9 | 15.7 | 23.5 | 30.2 | 27.6 | 10.2 | 12.0 | 15.1 | 7.4 | 11.1 | 12.9 | 15.5 | 19.6 | 24.4 | | | | | |
| ボーリング番号 | CB05455 | | | | CB05458 | | | | CB05459 | | | | CB05462 | | | | CB05465 | | | |
| PL値 20m | 11.464 | 15.451 | 20.589 | 1.282 | 1.797 | 3.952 | 7.756 | 14.670 | 14.670 | 24.369 | 32.736 | 43.814 | 6.163 | 11.081 | 18.259 | | | | | |
| PL値 10m | 10.607 | 12.862 | 15.772 | 0.000 | 0.000 | 1.497 | 8.355 | 15.225 | 15.225 | 24.951 | 33.441 | 44.313 | 1.534 | 4.216 | 8.872 | | | | | |
| Dcy(m) | 7.7 | 9.1 | 7.7 | 1.5 | 2.5 | 4.7 | 7.5 | 10.1 | 8.0 | 33.8 | 30.6 | 26.4 | 7.5 | 8.0 | 9.2 | | | | | |
| ボーリング番号 | CB05466 | | | | CB05487 | | | | CB06047 | | | | CB06088 | | | | CB06091 | | | |
| PL値 20m | 1.100 | 1.738 | 2.901 | 22.131 | 27.652 | 34.743 | 4.757 | 6.666 | 9.111 | 5.104 | 7.843 | 17.556 | 5.739 | 7.315 | 9.767 | | | | | |
| PL値 10m | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 19.591 | 25.062 | 32.089 | 8.820 | 12.359 | 16.993 | 1.042 | 0.054 | 7.051 | 1.992 | 2.270 | 2.623 | | | | | |
| Dcy(m) | 3.4 | 5.0 | 6.9 | 27.3 | 33.3 | 34.1 | 1.9 | 1.5 | 1.7 | 7.8 | 10.0 | 10.6 | 11.1 | 17.1 | 10.9 | | | | | |
| ボーリング番号 | CB06092 | | | | CB06093 | | | | CB06095 | | | | CB06096 | | | | CB22320 | | | |
| PL値 20m | 4.240 | 5.743 | 7.859 | 22.813 | 27.659 | 34.247 | 2.334 | 4.033 | 6.885 | 25.470 | 30.793 | 36.070 | 1.547 | 3.880 | 7.578 | | | | | |
| PL値 10m | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 18.126 | 17.525 | 19.27 | 4.124 | 5.619 | 9.814 | 41.513 | 45.597 | 47.197 | 0.452 | 1.873 | 3.708 | | | | | |
| Dcy(m) | 8.0 | 11.0 | 12.6 | 36.1 | 36.1 | 33.4 | 6.0 | 4.5 | 7.9 | 20.9 | 26.7 | 23.8 | 3.0 | 4.8 | 7.2 | | | | | |
| ボーリング番号 | CB22327 | | | | CB22328 | | | | CB22325 | | | | CB22326 | | | | CB22321 | | | |
| PL値 20m | 1.515 | 3.134 | 5.671 | 1.331 | 2.861 | 5.601 | 1.377 | 3.242 | 8.000 | 8.454 | 13.427 | 21.838 | 2.958 | 7.101 | 13.853 | | | | | |
| PL値 10m | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.717 | 0.293 | 1.094 | 2.128 | 2.584 | 4.615 | 7.162 | 0.000 | 0.228 | 1.111 | | | | | |
| Dcy(m) | 4.2 | 6.0 | 7.5 | 2.1 | 3.0 | 5.0 | 3.6 | 7.3 | 9.3 | 14.2 | 17.5 | 19.2 | 6.5 | 10.0 | 12.6 | | | | | |
| ボーリング番号 | H2311+集土1 | | | | H2311集土1 | | | | H2311集土2 | | | | H2311集土3 | | | | H2311集土4 | | | |
| PL値 20m | 6.731 | 8.882 | 13.912 | 2.940 | 4.417 | 7.045 | 1.262 | 3.262 | 9.259 | 4.900 | 9.205 | 14.744 | 1.361 | 1.905 | 2.753 | | | | | |
| PL値 10m | 7.012 | 7.238 | 12.631 | 4.370 | 6.010 | 8.825 | 0.000 | 1.458 | 6.210 | 5.001 | 9.259 | 14.892 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | | |
| Dcy(m) | 12.5 | 19.2 | 15.8 | 4.8 | 6.0 | 7.3 | 3.9 | 5.9 | 9.1 | 7.8 | 14.6 | 17.1 | 3.6 | 4.0 | 4.3 | | | | | |

◆PL値
 $P_L=0$ 液状化発生の可能性はない
 $0 < P_L \leq 5$ 液状化発生の可能性が低い
 $5 < P_L \leq 15$ 液状化発生の可能性がある
 $15 < P_L$ 液状化発生の可能性が高い

◆Dcy
 0 なし
 ~5 軽微
 5~10 小
 10~20 中
 20~40 大
 40~ 甚大

※PL値の重み係数: $W_z(20m) = 10-0.5 \times Z$
 $W_z(10m) = 20-2.0 \times Z$

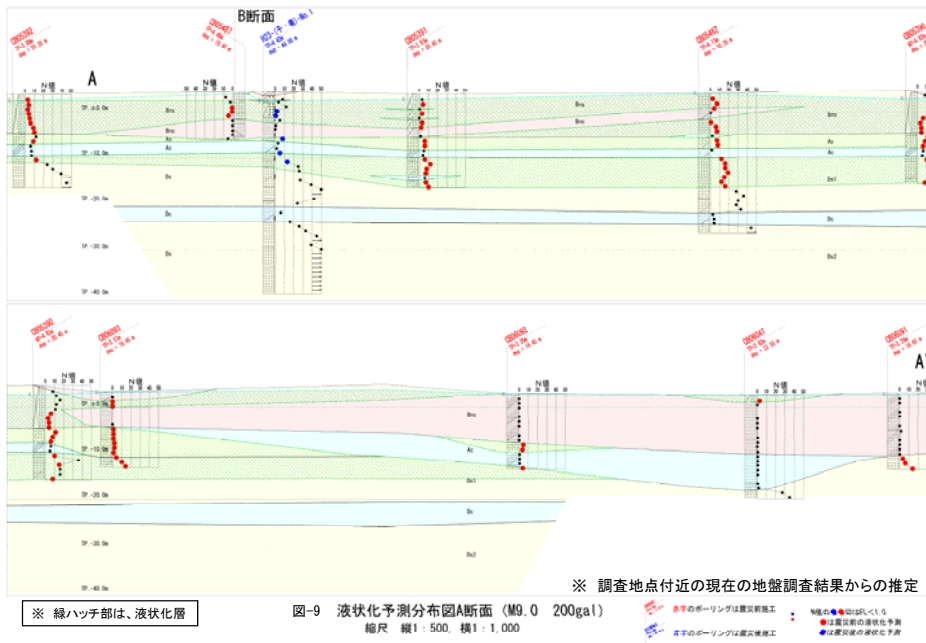


図-9 液状化予測分布図A断面 (M9.0 200gal)

縮尺 縦1 : 500, 横1 : 1,000

※ 調査地点付近の現在の地盤調査結果からの推定

※ 緑ハッチ部は、液状化層

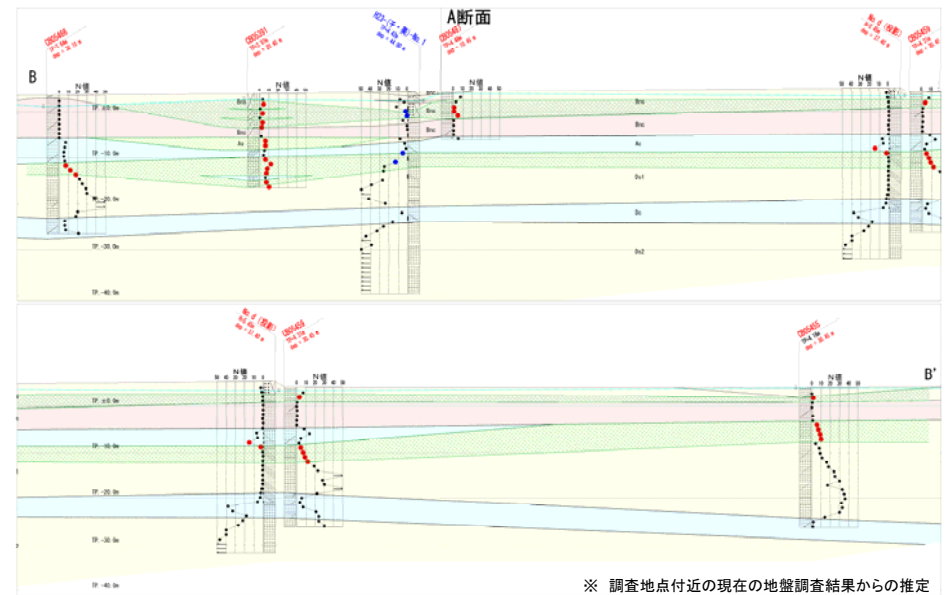


図-10 液状化予測分布図B断面 (M9.0 200gal)

縮尺 縦1 : 500, 横1 : 1,000

※ 調査地点付近の現在の地盤調査結果からの推定

※ 緑ハッチ部は、液状化層

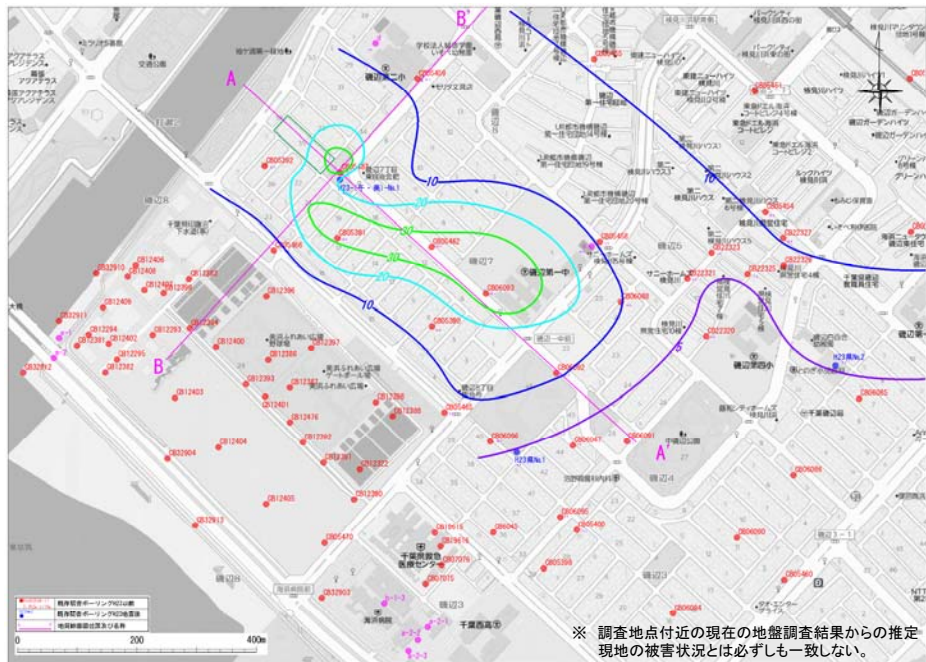


図-11 横切7・8丁目付近の液状化による沈下

液状化対策工法の抽出

1.対策方法の比較検討

(1)対策地域の概要

対策地域は地下水位(GL-2m程度)が高く、埋立による盛土(N値10未満)と沖積砂質土(N値5程度)が分布し約15mの液状化層を形成している。

液状化対策深度は、CB05392の連続した液状化層(Bns層)9mとCB05487の液状化層上部5mの平均値、地表面から7mを液状化対策深度とした。



図-12 平面図

図-13 地層断面図

対策工法の抽出

液状化対策には多種多様な工法があるが、既設住宅の特に戸建住宅の液状化対策工法については、まだ研究段階のものがほとんどである。対策工法の選定に先立ち既存市街地内で建物を存置させた状態での液状化対策工の代表的なものを抽出する。

| 工法 | 概要 |
|-----------------------------------|--|
| 1. 静的圧入締固め工法 (コンパクショングラウチング工法) | 極めて流動性の低いモルタルなどの注入材を地盤に注入し、地盤を押し広げることで締固め、密度を増大させ地震時の液状化を防止する。 |
| 2. 砂圧入式静的締固め工法 (SAVE-SP工法) | 圧送可能にした砂をロッドを通じて地盤内に圧入することにより、緩い砂地盤の締固め、密度を増大させ地震時の液状化を防止する。 |
| 3. 薬液注入工法 (浸透固化処理工法) | 浸透性の良い恒久薬液(超微粒子シリカ)を注入することで、間隙水をゲル状物質で置き換え、粒子間粘着力を与え、せん断強度を増すことで液状化を防止する。 |
| 4. 連壁囲み型 | 液状化対象地盤を格子状に固化改良することにより、砂地盤のせん断変形を抑制し、過剰間隙水圧の発生を防止する。(エコタイト工法は、超小型機械で戸建間における造成を可能とした高圧噴射攪拌工法。) |
| 5. 地下水位低下工法 | 地下水位以下に有孔管を設置し、既設のマンホール等に接続させることで、地区全体の地下水位を低下させ、液状化現象を防止する。 |
| 6. 過剰間隙水圧消散工法 (ドレーンパイプ) | 人工ドレーン材を打設機にて地中に埋設し、地震時に発生する過剰間隙水圧を速やかに消散させ、液状化現象を防止する。 |

対象地域での適用

各種対策工法から対象地域の特性を踏まえ、公共施設と隣接宅地等との一体的な液状化対策に資する工法選定を行う。

(地域特性)

- ・比較的、区画が均一な戸建て地区である。
- ・築20年程度である。
- ・戸建てが密集しているため、周辺変位がないことが望ましい。

| 工法 | 適用性 | | 選定理由 |
|-----------------------------------|----------|----------|---|
| | 道路 下水 | 建物 存置 | |
| 1. 静的圧入締固め工法 (コンパクショングラウチング工法) | △ | △ | △ ・小型機による施工で、一般市道等の狭い箇所での施工も可能であるが、施工中における建物・既設人孔等構造物への変位が懸念される。 |
| 2. 砂圧入式静的締固め工法 (SAVE-SP工法) | △ | △ | △ ・小型機による施工で、一般市道等の狭い箇所での施工も可能であるが、施工中における建物・既設人孔等構造物への変位が懸念される。 |
| 3. 薬液注入工法 (浸透固化処理工法) | ○ | ○ | ○ ・経済性に劣るが、小型機による施工で、狭い箇所での施工も可能であるため選定。 |
| 4. 連壁囲み型 | △ | ○ | ○ ・戸建て間1m以下の施工が可能であるため選定。 |
| 5. 地下水位低下工法 | △ | △ | △ ・当該地域においては、粘性土層が薄く、遮水が困難であるため選定不可。 |
| 6. 過剰間隙水圧消散工法 (ドレーンパイプ) | ○ | ○ | ○ ・経済性に優れ、実績がある工法として選定。 |

(1)薬液注入工法(浸透固化処理工法)

薬液注入工法は、浸透性の良い恒久薬液(超微粒子シリカ)を注入することで、間隙水をゲル状物質で置き換え、粒子間粘着力を与え、せん断強度を増すことで液状化を防止する。

- 1)長所
 - ・小型ボーリングマシンが設置できる程度の作業空間で施工可能で、斜め施工も可能である。
- 2)短所
 - ・建物直下の施工においては、床を撤去する等必要な場合もある。
 - ・経済性に劣る。
 - ・土被りの小さい箇所では、薬剤の逸出に注意が必要である。
- 3)課題
 - ・条件等で液状化に対する効果、概算費用が大きく異なる。

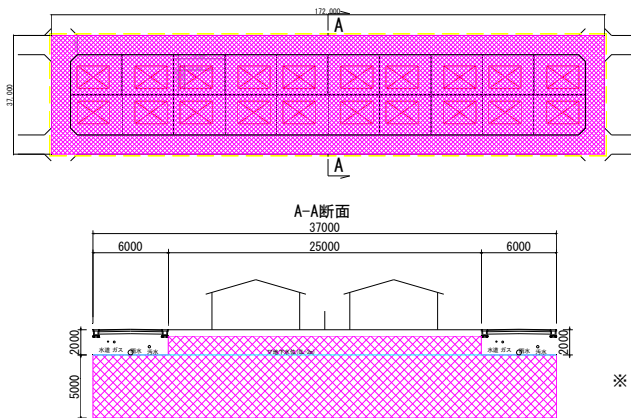


図 薬液注入工法(浸透固化処理工法)

※ 詳細については追加地盤調査結果等を行い検討が必要

(2)連壁囲み型(エコタイト工法)

道路部分の格子型改良は、宅地境界にセメント系固化材を混合させて、格子上の連続壁を造成する。宅地部分は、民境界部を道路部分同様の連続壁を造成する。道路部分と宅地部分の格子改良が一体となって、せん断変形を抑えて液状化被害を軽減する。

- 1)長所
 - ・宅地間1m程度の作業空間で施工可能
 - ・周辺地盤への影響(変位)が小さい
- 2)短所
 - ・宅地の外溝部を撤去する必要がある。
 - ・薬液注入工法に比べ、宅地中心部での填砂等が懸念される。
 - ・経済性に劣る。
- 3)課題
 - ・条件等で液状化に対する効果、概算費用が大きく異なる。
 - ・戸建用格子改良の性能を評価するための解析手法が確立されていない。

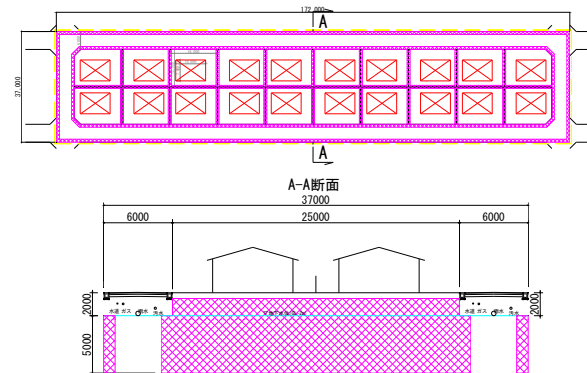


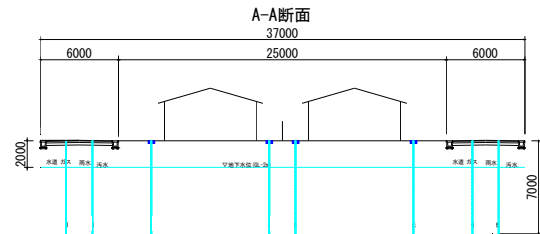
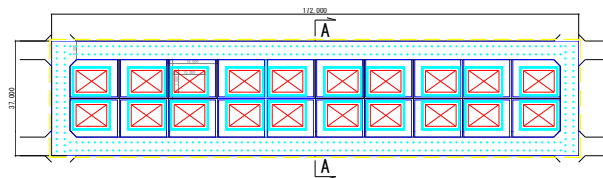
図 連壁囲み型(エコタイト工法)

※ 詳細については追加地盤調査結果等を行い検討が必要

(3)過剰間隙水圧消散工法(ドレーンパイプ)

過剰間隙水圧消散工法は、道路部分と戸建周辺に設置する人工ドレーン材によって、液状化時に発生する過剰間隙水圧を速やかに消散させ、液状化被害を軽減する工法

- 1)長所
 - ・経済性に優れる。
 - ・特殊な技術、機械は必要ない。
- 2)短所
 - ・建物外周部の過剰間隙水圧は抑制できるが、建物直下での効果は少ない。
 - ・他工法に比べ、液状化防止効果は低い
- 3)課題
 - ・条件等で液状化に対する効果、概算費用が大きく異なる。
 - ・住宅の建替えに際しては、再度、検討が必要となる。



※ 詳細については追加地盤調査結果等を行い検討が必要

図 過剰間隙水圧消散工法(ドレーンパイプ)