

## 第2編 液状化被災市街地における調査手順等について（案）

本ガイドス（案）は、液状化被災市街地の速やかな復旧、復興に向けた参考資料として検討をしているものであり、調査の進行中の内容を取り扱っていることから、今後の検討を踏まえ、修正、見直し等が生じることがございます。

# - 目 次 -

Step 1	概況整理	1
(1)	地区の地理的状況および被災状況の概要	1
1)	地区の地理的状況(造成履歴)	1
2)	地震波の特徴	3
3)	道路・下水道等の公共施設の被災状況の調査	7
4)	宅地の被災状況の概況把握	11
5)	宅地地盤の沈下量・建物の傾斜勾配と沈下量のデータ作成	16
Step 2	液状化検証	27
(2)	地盤被害をもたらした液状化地盤の検証	27
1)	被災前の地盤状況の再現	27
2)	被災前における液状化層の特定	29
<参考-1>	地盤の液状化判定	30
<参考-2>	液状化に伴う地盤物性と地盤変形量の予測	32
<参考-3>	液状化に伴う $F_L$ 、 $P_L$ 、 $Dcy$ の計算の考え方	36
<参考-4>	宅地の平均地盤沈下と住宅の傾斜角の関係	38
<参考-5>	建物の傾きによる健康障害	39
<参考-6>	地盤に係る住宅被害認定の運用見直しについて	43
<参考-7>	液状化による構造物や地盤の変形推定方法の分類	43
3)	震災前地盤状況の検証結果	44
Step 3	再液状化診断	52
(3)	再液状化の場合における地盤沈下量等予測	52
1)	新規ボーリング箇所の計画	52
2)	ボーリング深度および試験数量	53
3)	再液状化における地盤沈下量予測	57
4)	再液状化における地盤沈下量等予測	59

本検討ガイドの概況整理および再液状化診断の手順を図-1 に示す。

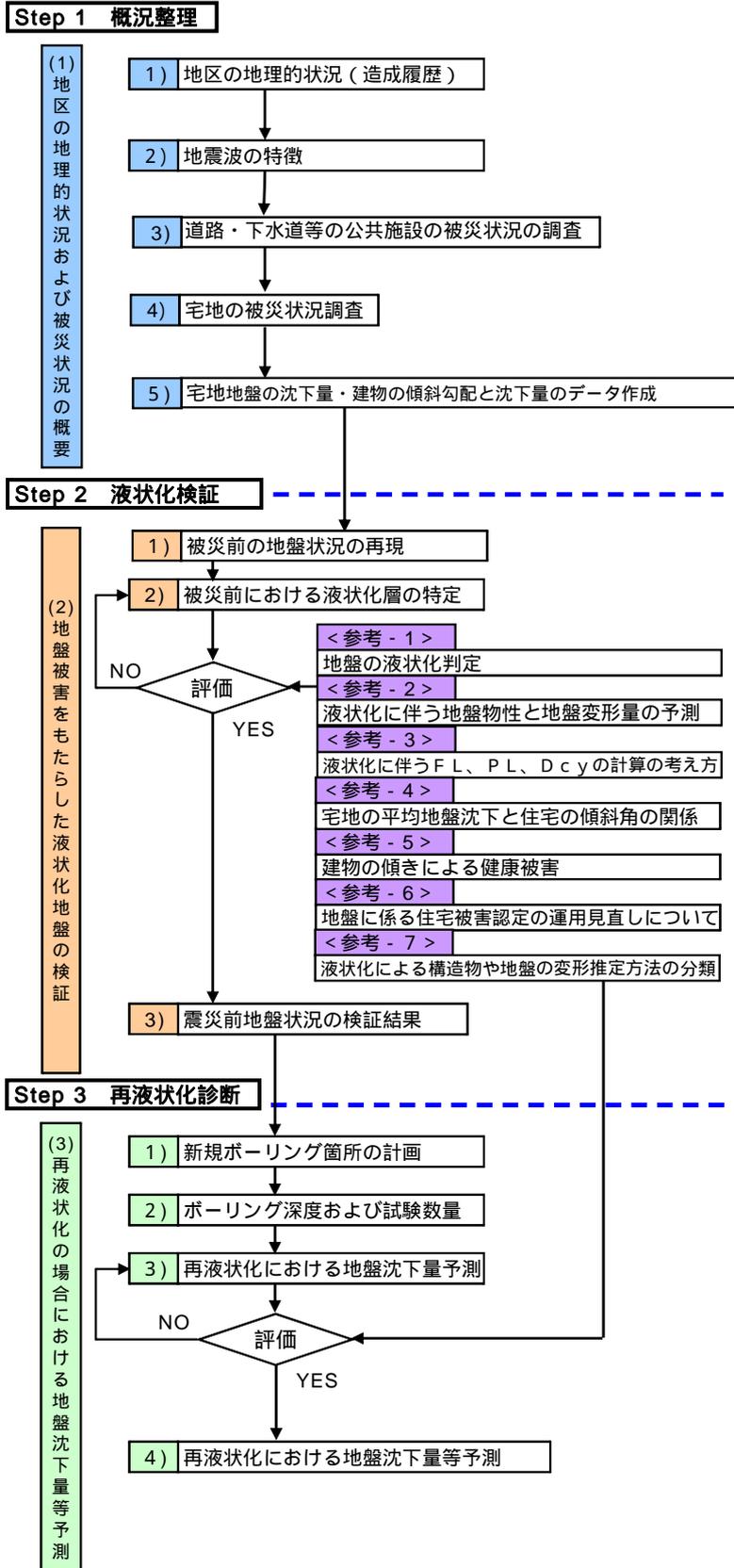


図-1 概況整理および再液状化診断の手順フロー

## Step 1 概況整理

### (1) 地区の地理的状況および被災状況の概要

#### 1) 地区の地理的状況 (造成履歴)

液状化した地区の造成履歴などの地理的状況を旧地形平面図や航空写真等から整理する。この結果から詳細な造成年代、干拓や埋め立てされた経緯がわかり、罹災証明等の被害状況図面と重ね被害原因の分析に役立てる。内陸部では、旧湖・池、採掘跡地、水田部の盛土等の微地形区分を把握し、臨海部では埋立地の浚渫や埋め立ての造成年代や施工方法についても調査を行う。

#### 【解説】

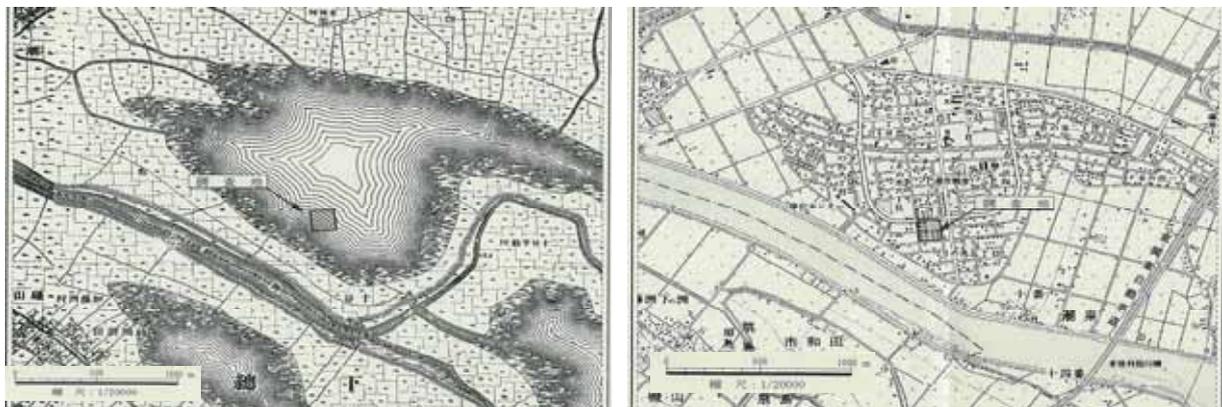
国土交通省関東地方整備局と公益社団法人地盤工学会では、既に東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態を把握，解明するために共同で調査を実施し，その成果を報告書<sup>1)2)</sup>に取りまとめている。また、液状化履歴の地図については若松が「日本の液状化履歴マップ 745 - 2008」<sup>3)</sup>、微地形分類については若松・久保・松岡・長谷川・杉浦らの「日本の地形・地盤デジタルマップ」<sup>4)</sup>等のデジタルマップがあるので参照されたい。

造成履歴は，歴史書から江戸時代の人工改変による埋立地と云われているものもあるが，上記報告書の他、一般的に入手可能な国土地理院の明治後期～昭和初期頃からある古地図や米軍の航空写真から土地の変遷を調査する。このことにより、いつ頃まで水域や湿地であり、その後埋め立て干拓や宅地や耕作地として利用され、現在の地形がいつ頃に形成されたかがわかる。この住宅地化の着工と完了時期等の詳細な造成時期と干拓や宅地の経緯を整理する。

ほぼ全域が水域にあたり明治後期～昭和初期頃に掛けて埋め立て干拓された埋立地では、一般に比較的均質な砂を用いる場合が多く、大型の建設機械も無く、転圧による締め固めもほとんど行われずに緩い砂地盤が形成されたものと考えられる。また、地下水位が高く、堆積時期が自然の堆積環境と比較し非常に新しく時間の経過とともに土の強度が増す年代効果も少ないことから、非常に液状化しやすい地盤である可能性が高い。

例えば、潮来日の出地区（以下、IH地区）の内陸部では図-1および図-2の迅速測図から外浪逆浦の入江である内浪逆浦を干拓した土地で、図-3の土地条件図で干拓地となっており、その後宅地化されたために液状化による被害が発生したのと考えられる。

一方、習志野市香澄地区（以下、NK地区）では、現在において図-4の地形図平面図のように一様な平坦な地形となっているが、図-5土地条件図および図-6明治13年，15年旧地形図（1/20,000迅速図）から臨海部の埋立地であることがわかる。埋立時期の違いが被災程度に影響を与えることも考えられるので十分な調査が必要である。



(a) 明治18年 (1/20,000迅速図)<sup>2)</sup>

(b) 平成14年 (1/25,000数値地図)<sup>3)</sup>

図-1 旧地形と現地形との比較



図-2 迅速測図に基盤地図情報を重ね合わせ  
(歴史的農業環境閲覧システムによる)<sup>4)</sup>



図-3 土地条件図  
(国土地理院「1:25,000土地条件図」より)<sup>1)</sup>



図-4 地形平面図 (1/25,000数値地図より)<sup>1)</sup>



図-5 航空写真 (2011年3月17日撮影より)<sup>1)</sup>



図-6 土地条件図<sup>1)</sup>

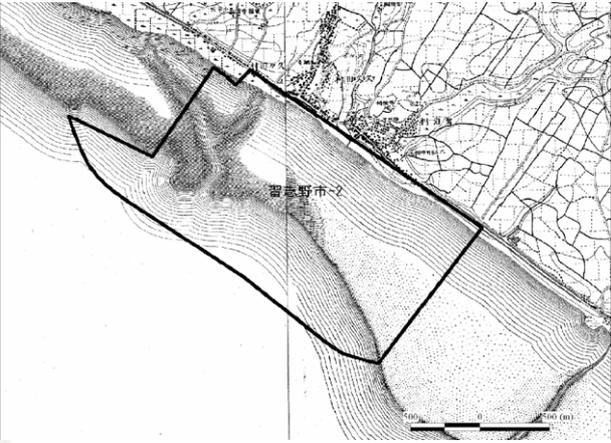


図-7 明治13年、15年旧地形図 (1/20,000迅速図)<sup>1)</sup>

## 2) 地震波の特徴

被災地区の本震の震度および最大加速度 (gal)、最大速度 (kine)、継続時間 (s) の時刻歴のデータを調査する。また、本震後に大きな余震が発生し、その影響も考えられるので、同様に調査する。時刻歴のデータは、この対象地点での入手が望ましいが、無い場合は近傍の観測地点のものを入手する。ただし、観測地点の地形・地盤状況により被災地区と違った波形になることもあるので注意しなければならない。

### 【解説】

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、既に東北地方太平洋沖地震による関東地方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、その成果を報告書<sup>1)2)</sup>に取りまとめている。

本震・余震の震度は、上記報告書その他、地方自治体 (市町村等) に確認するか、または、気象庁のホームページ等から推計震度分布図から調べる。

最大加速度 (gal)、最大速度 (kine)、継続時間 (s) の時刻歴のデータは、同様に上記報告書その他、地方自治体 (市町村等) に確認するか、または、観測点 K-NET や KiK-net のホームページ等から調べる。

例えば、I H 地区の震度は図-8 からの本震の推計震度分布図で震度 6 弱であることがわかる。図-9 は、対象地点と 7.3km 離れた観測点 K-NET 鹿嶋 (IBR018)<sup>5)</sup> での本震の 2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した M9.0 の加速度時刻歴で、最大加速度が 658.4 gal、最大速度が本震で 41.4kine、継続時間 (50gal 以上) が 89.39s を計測した。また、図-10 は同観測地点でその後の 30 分程度の 2011 年 3 月 11 日 15 時 15 分に発生した M7.4 の茨城県沖での余震の加速度時刻歴で、最大加速度が 408.4 gal、最大速度が本震で 46.1 kine、継続時間 (50gal 以上) が 103.99s を計測し、この長時間にわたり液状化した後も大きく揺すぶられ、大きな沈下・傾斜につながった可能性が想定される。

一方、N K 地区の震度は図-11 から本震の推計震度分布図から 5 強であることがわかる。図-12、-13 は、対象地点と 7.3km 離れた観測点 K-NET 稲毛 (ICHBO2411)<sup>8)</sup> での本震の 2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した M9.0 の加速度時刻歴で、最大加速度が 301.1gal、最大速度が本震で 38.9 kine、継続時間 (50gal 以上) が 47.70s を計測した。なお、本震の 30 分程度後に茨城県沖で M7.4 の余震があったが、欠測でデータが得られていない。

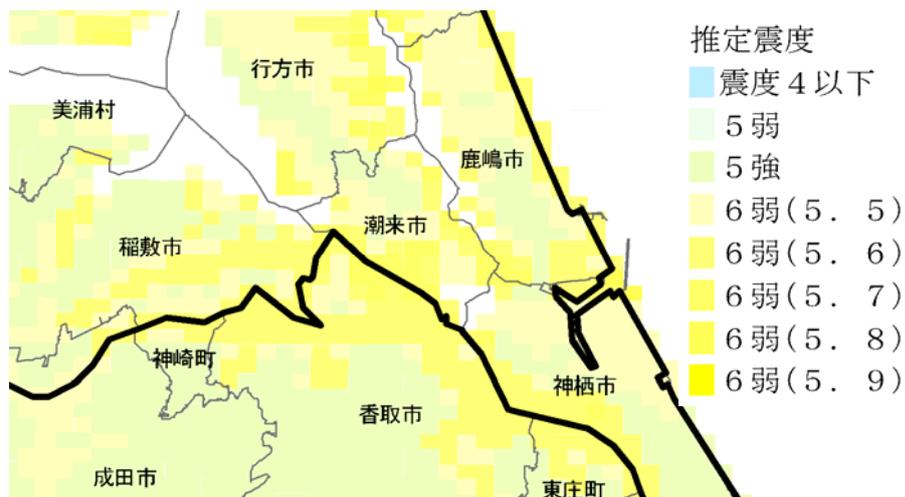


図-8 本震の推計震度分布図<sup>6)</sup>

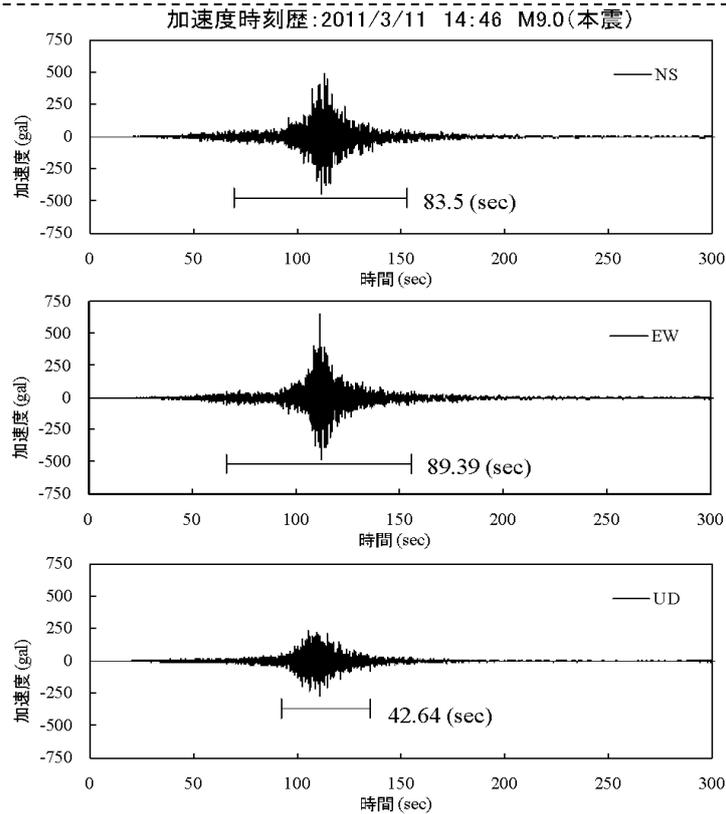


図-9 本震の加速度時刻歴(2011年3月11日14時46分)<sup>5)</sup>  
注) 最大加速度, 最大速度の値は3成分合成

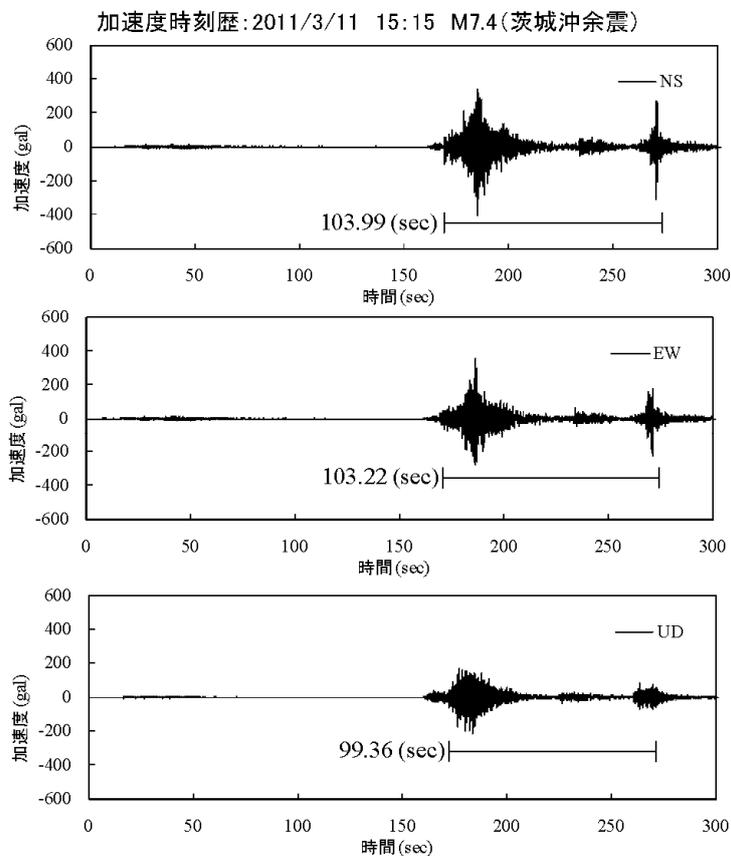


図-10 茨城沖地震の加速度時刻歴(2011年3月11日15時15分)<sup>5)</sup>  
注) 最大加速度, 最大速度の値は3成分合成



図-11 本震の推計震度分布<sup>3)</sup>

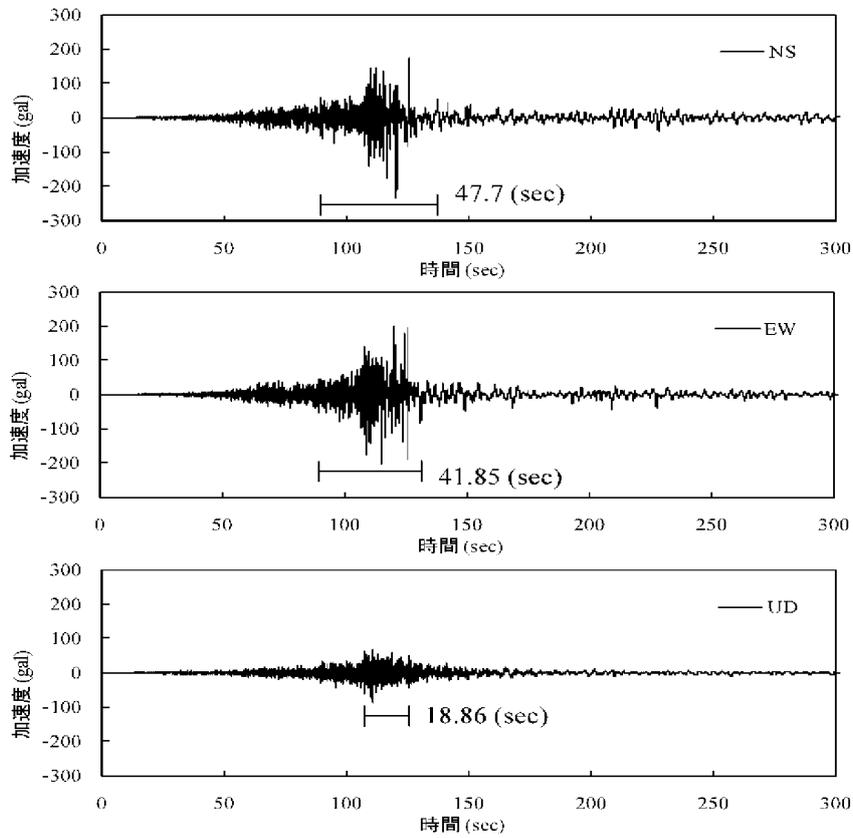


図-12 本震の加速度時刻歴 (2011年3月11日14時46分)<sup>1)</sup>

注) 最大加速度, 最大速度の値は3成分合成

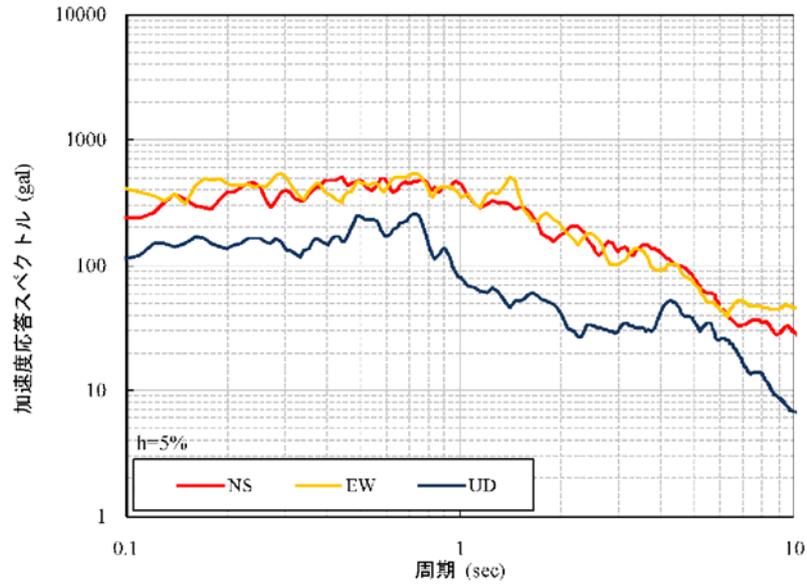


図-13 本震の加速度応答スペクトル(2011年3月11日14時46分)<sup>1)</sup>  
 注) 最大加速度, 最大速度の値は3成分合成

### 3) 道路・下水道等の公共施設の被災状況の調査

公共施設では、道路の沈下や亀裂、下水道管路の破断、マンホールの隆起、河川の河床の隆起および護岸部の側方流動により、住宅地地盤と一体的に地盤沈下や側方変位が発生している。そこで、これら道路・下水道等の公共施設について査定資料等を基に被災状況マップを作成し、建物被災判定マップと重ね合わせて地盤変状総合マップを作成する。

#### 【解説】

東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）では、道路路面のうねりや亀裂、埋設されたマンホールの隆起、河川における河床の隆起による河道閉塞等が生じ、周辺に地盤沈下や側方変位が発生している箇所も多い。また、戸建住宅においても基礎部の沈下・傾斜が多数発生した。ここでは、「道路」「上下水道」「河川」について査定資料等を基に被災状況マップを作成する。

#### (1) 道路被災マップの作成

道路被災は、災害復旧の際に調査している道路舗装面の沈下・隆起、路面の段差や側溝の破損や沈下、破損箇所から噴砂現象等の被災の内容を整理し、図-14に示すように道路被災マップを作成する。一般的に舗装厚が薄いほど噴砂現象を生じることが想定され、車道部に対して歩道部の方が噴砂による地盤沈下が著しい傾向にある。区画道路では局部的な被災が集中している箇所があり、道路端部に設置されていた電柱などの傾斜が大きいところほど地盤沈下が大きい傾向にある。

#### (2) 上下水道被災マップの作成

下水道や上水道は、管路の破断、マンホールの隆起等の被災の内容を整理し、図-15、図-16に示すように上下水道被災マップを作成する。

#### (3) 河川被災マップの作成

住宅の近隣に河川があり、その河床の隆起および護岸部の側方変位が宅地の側方流動に影響している場合がある。このような河道閉塞が生じている箇所では、図-17に示すように河川被災マップを作成する。

#### (4) 地盤変状総合マップの作成

街区点の測量結果から図-18に示すように地盤沈下や側方変位を図化した地盤変位マップを作成する。さらに、上記の構造物被災と建物被災判定マップと重ね合わせた図-19に示すように地盤変状総合マップを作成する。この結果から、地盤変状が大きく、一部での隆起現象や側方流動が生じた可能性を把握することができる。さらに、図-20は、地盤変状と明治39年の古地形の重ね図で、図-21は地盤変状と昭和6年古地形の重ね図で、地盤変状と地形図を重ねると、その変状の原因が明らかとなるケースも想定される。



図-14 道路被災マップの作成例<sup>10)</sup>



凡例

- 被災対象上水道管路
- その他の管路

図-15 上水道被災マップの作成例<sup>10)</sup>



凡例

- 人孔
- 被災の大小-
  - 被災対象人孔
  - その他の人孔
- 下水道管路\_佐原地区
- 被災の大小-
  - 被災対象管路
  - その他の管路

図-16 下水道被災マップの作成例<sup>10)</sup>



- 側方変位10~50cm,沈下20~30cm
- 側方変位5cm未満,沈下20~30cm
- 側方変位5cm未満,沈下20cm
- 側方変位5cm未満
- 河床堆砂

図-17 河川被災マップの作成例<sup>10)</sup>



- 凡例
- 0.25
  - 沈下量
  - 水平変位
- 0.5m
- (水平変位は  
百倍に拡大し表示)

図-18 地盤変位マップの作成例<sup>10)</sup>



- 凡例
- 建物全壊、大規模半壊、半壊
  - 河川護岸・河床変状
  - 側方変位10~50cm、沈下-20~30cm
  - 側方変位5cm未満、沈下-20~30cm
  - 側方変位5cm未満、沈下-20cm
  - 側方変位5cm未満
  - 河床噴砂
  - 道路変状線
  - クラック
  - 側溝沈下
  - 側溝破損沈下
  - 側溝破損
  - 側溝隆起
  - 舗装沈下-隆起
  - 路肩破損
  - 路面段差
  - 道路変状面
  - 舗装沈下
  - 舗装沈下-隆起
  - 舗装隆起
  - 舗装破損
  - その他の管路
  - 水平変位
- 0.25
- 沈下量

図-19 地盤変状総合マップの作成例<sup>10)</sup>



図-20 地盤変状と明治39年の古地形の重ね図<sup>10)</sup>

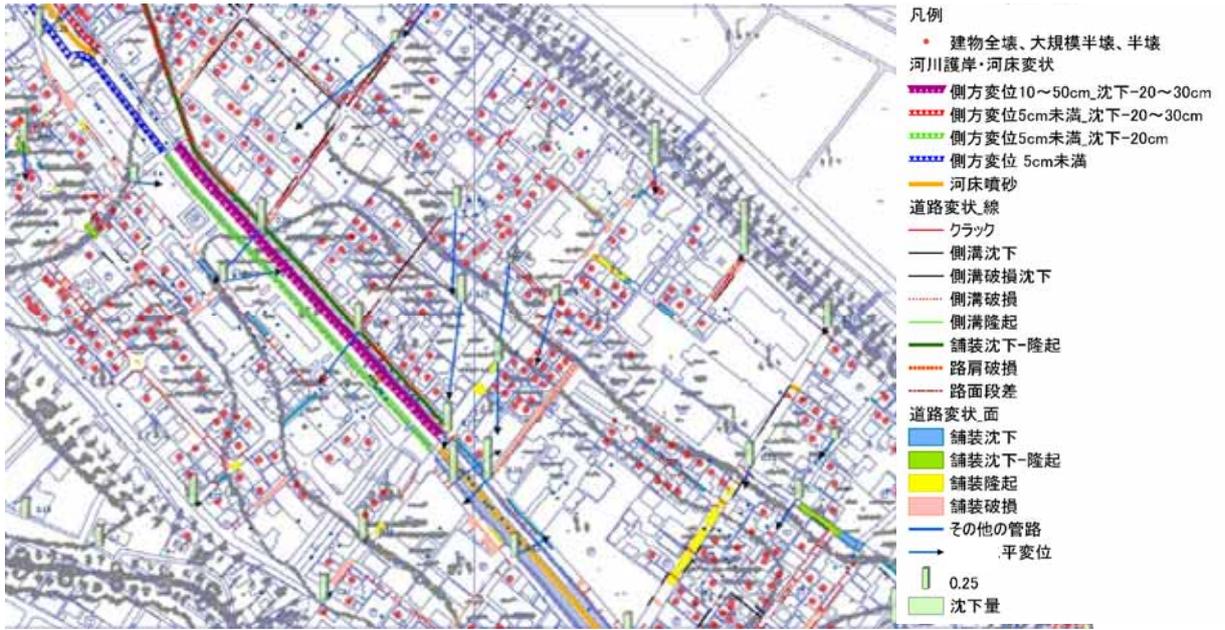


図-21 地盤変状と昭和6年古地形の重ね図<sup>10)</sup>

#### 4) 宅地の被災状況の概況把握

宅地の液状化による各被害状況を調査し、各マップ類を作成する。

液状化被害の全体図（液状化の発生範囲）

宅地の被害状況図（被災当時の写真を収集し、位置図とともに整理する）

噴砂状況図（被災当時の状況をもとに作成する）

道路の地盤沈下コンター図（道路の沈下量をもとにコンター図を作成する）

#### 【解説】

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、図-22、-23に示すように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、その成果を報告書に取りまとめている<sup>1)2)</sup>。各地域の液状化被害については、大学や建築研究所のホームページ（HP）でも現地調査報告がなされている。また、1987年12月17日に発生した千葉県東方沖地震等過去の地震においても液状化の発生が報告されている<sup>7)</sup>等、これまでに再液状化被害が発生しているかについても調査しておくことが望ましい。その際には、今後も液状化被害は発生する可能性が高いため、液状化対策に向けて重点的に検討を行うことが望まれる。

特に図-24のIH地区の宅地液状化被害では、干拓地の部分で埋め立て地盤全体に激しい液状化が発生し、北西側の一部の区画では干拓地であるにもかかわらず液状化していない結果となっている。地震直後の液状化による噴砂の状況は、Google Earthの写真-1から噴砂量が多く地区全域が住宅被害を受けていることがわかる。液状化による住宅地内の噴砂等の変状図は実態調査があればそれを採用する。無い場合は、Google Earthの2011年3月29日撮影の衛星画像を判読推定した図-25の噴砂が生じた液状化地点マップを作成する。ただし、あくまでも画像による判読のために現地の噴砂等の変状と一致しない場合がある。

IH地区では、主な被害状況として写真-2の宅地地盤の液状化に伴う大規模な噴砂、写真-3の道路の側溝の隆起現象、写真-3の建物の基礎部の割れや段差、写真-4の中学校の校舎や体育館での建物基礎地盤の沈下、道路の側溝の隆起現象、写真-5木杭の抜け上がり、写真-6道路の側溝の隆起現象、写真-7のライフラインの浮き上がり現象等が生じている。これら液状化被害状況を整理し、特筆すべき箇所・状況がわかるように、図面上記載し被害概要マップを作成する。

液状化による地域の地盤沈下の状況を把握するため、図-26に示すように道路の沈下量コンターを示す、道路の地盤沈下コンター図を作成する。

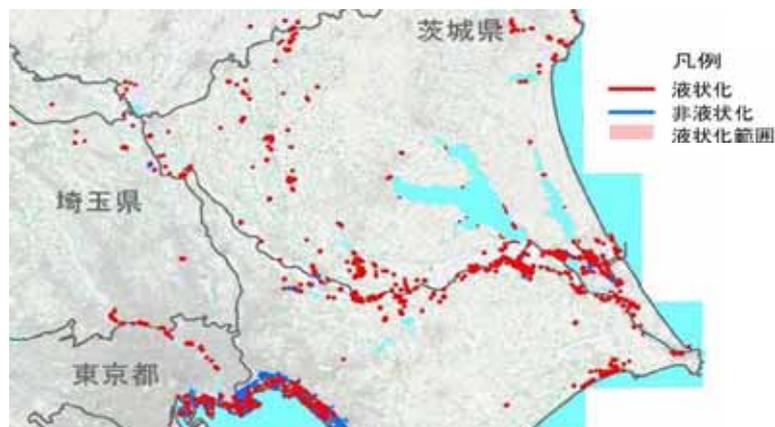


図-22 関東地方の液状化発生分布<sup>7)</sup>

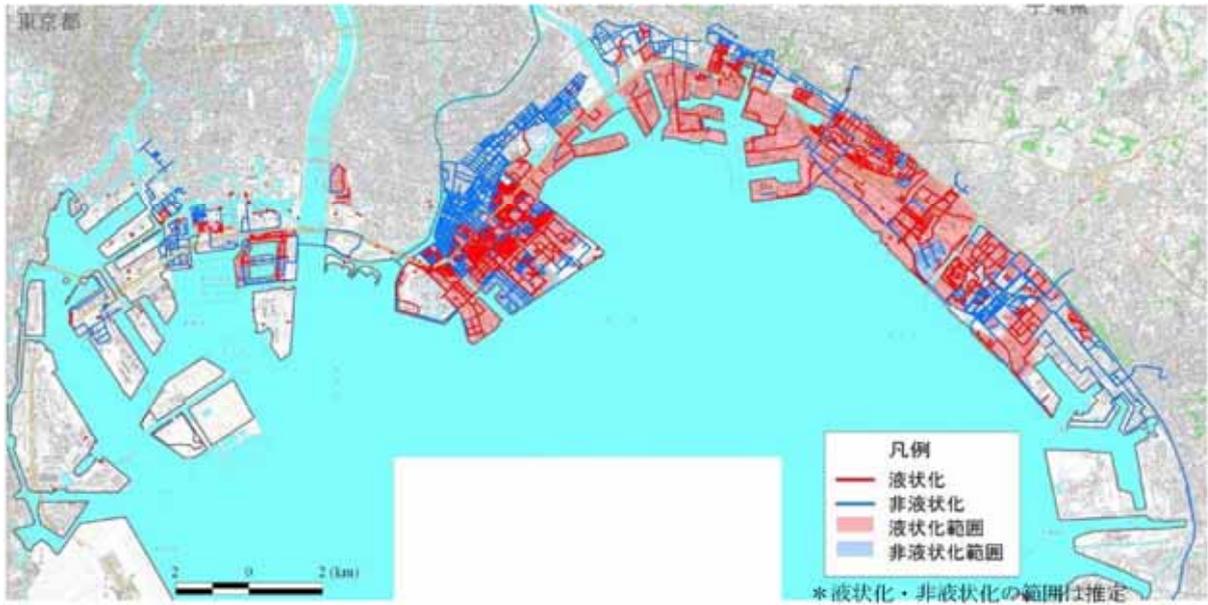


図-23 東京湾岸の液状化発生分布<sup>2)</sup>

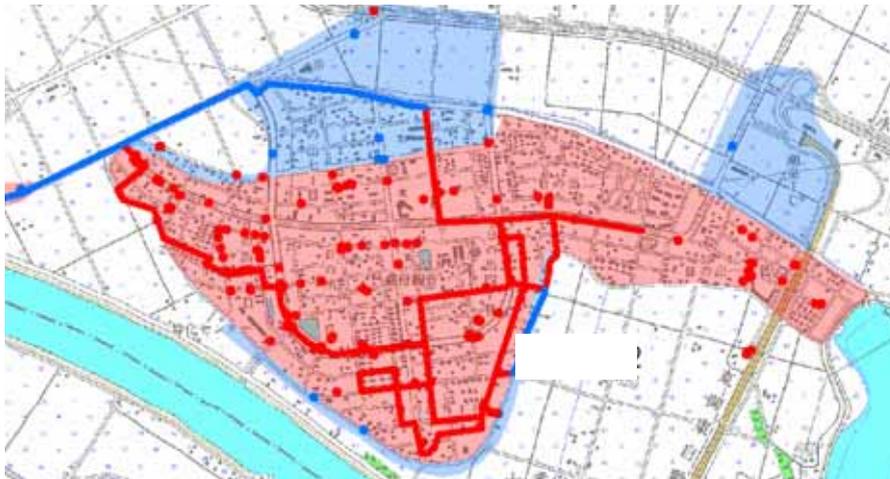


図-24 IH地区における液状化被害の全体図<sup>8)</sup>  
注) 赤色は液状化，青色は非液状化である。



写真-1 敷地での噴砂現象 (Google Earthより)



写真-2 宅地地盤の液状化に伴う大規模な噴砂状況



写真-3 建物の基礎部の割れや段差



写真-4 建物の基礎地盤の沈下



写真-5 木杭の抜け上がり



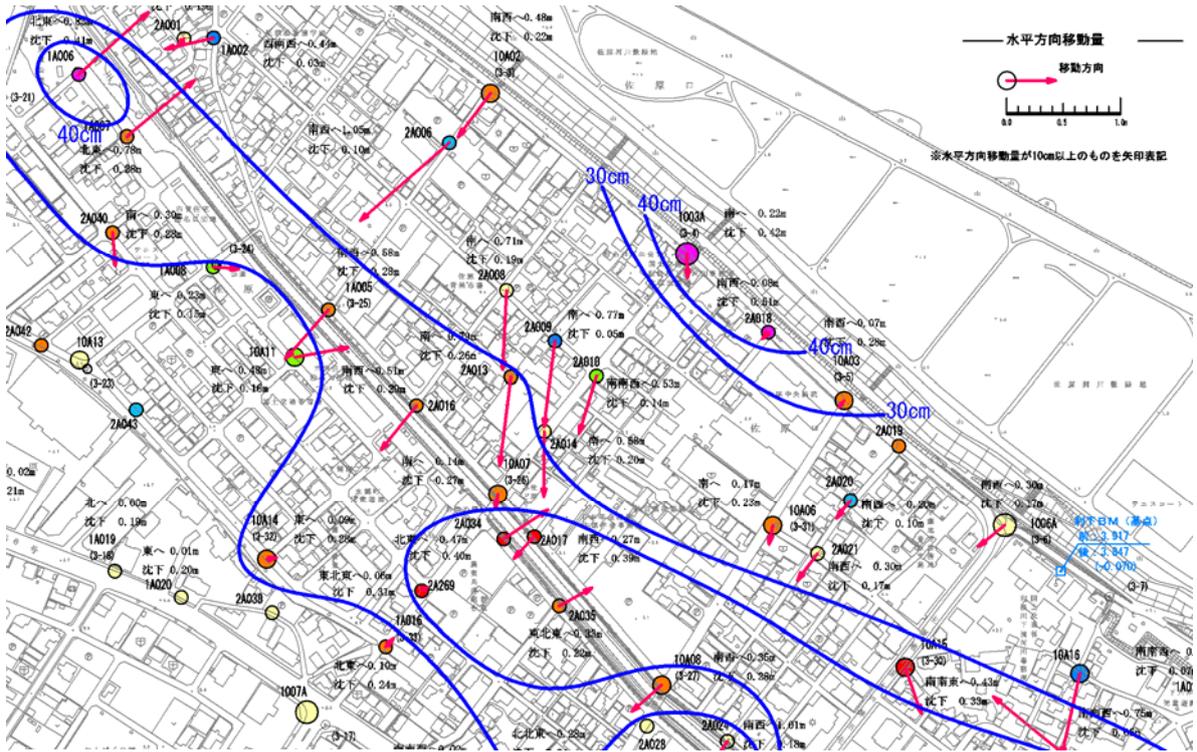
写真-6 道路側溝の隆起現象



写真-7 ライフラインの浮き上がり現象



図-25 噴砂状況図<sup>10)</sup>



上下方向移動量

記号	上・下変動値
● (Blue)	隆起
● (Light Blue)	0~30mm
● (Light Green)	31~60mm
● (Yellow)	61~100mm
● (Orange)	101~200mm
● (Red)	201~300mm
● (Pink)	300mm以上

- 凡例
- 標識の種別
- 街区三角点
  - 街区多角点
  - 節点
  - 座標計算における既知点
  - 水平方向で不動と仮定した測点

—— 沈下量 (cm)

図-26 道路の地盤沈下コンター図<sup>10)</sup>  
 (液状化による道路の沈下をもとにした地盤沈下コンター図)

## 5) 宅地地盤の沈下量・建物の傾斜勾配と沈下量のデータ作成

宅地地盤の沈下量・建物の傾斜勾配と沈下量のデータ作成は、対策検討を行うための基準値を作成するために重要な要素となる。液状化被災市街地で宅地地盤の沈下量・建物の傾斜勾配と沈下量を測量し、各マップ類を作成し整理する必要がある。

宅地地盤・建物の被災状況調査結果一覧表(エクセルシート)

宅地地盤の平均沈下マップ

建物の平均傾斜マップ

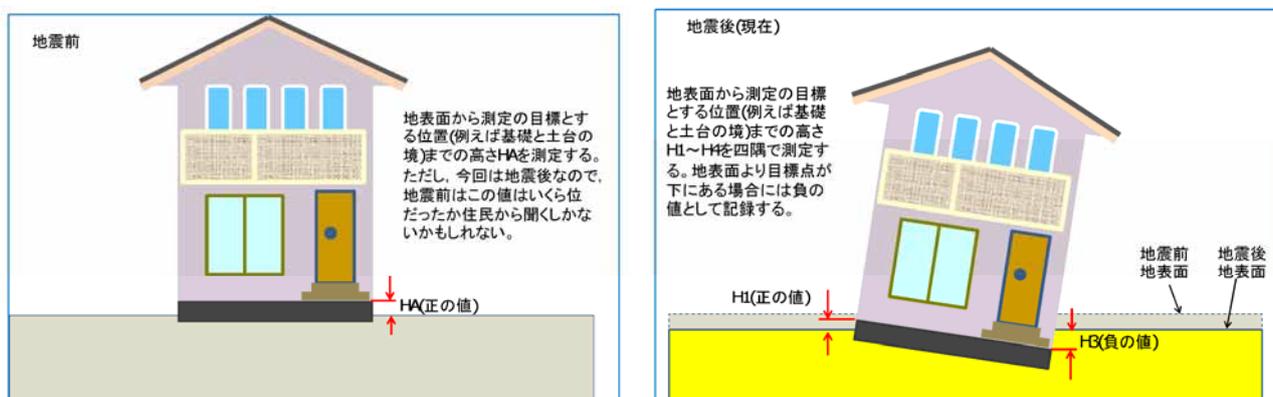
建物の平均沈下マップ

路面より低い宅地マップ

住宅被害認定による建物の被害程度マップ(平均傾斜)

### 【解説】

「用語の定義」



- ・地震前の目標点の高さ： $H_A$
- ・地震後の地表面からの目標点の平均高さ： $H_B$   

$$H_B = (H_1 + H_2 + H_3 + H_4) / 4$$
- ・建物平均めり込み沈下量： $S_P$   

$$S_P = H_A - H_B$$
- ・建物不同沈下量： $S_D$   

$$S_D = H_1 - H_3$$
- ・建物平均絶対沈下量： $S_A$   

$$S_A = S_P + \text{地表面沈下量}$$



図-27 用語の解説図

本調査方法は、震災前の宅地地盤高が不明であることを想定している。震災前の宅地地盤高は、宅地内で数点計測した任意高さの最大値を震災前の宅地地盤高さと仮定し計算するものとした。

震災前の宅地の地盤高が明確な場合は、上記、震災前の宅地地盤高の仮定値に明確な震災前の宅地の地盤高を入力する。定めた宅地毎の仮 BM の高さと宅地内の任意高さの平均から震災後の宅地地盤高さを求める。

## 「調査フロー」

1. 調査範囲の設定

2. 調査地区全体の仮の基準点（BM）の設置

3. 宅地地盤・建物の被災状況の調査、計測

4. 建物毎の仮 BM と地区全体の仮 BM の水準測量

5. エクセルシートに打ち込み

6. 宅地地盤・建物被災状況調査のまとめ

7. 各マップ類の作成

### 1. 調査範囲の設定

本調査は液状化被災地の個人宅地内を調査するため、調査時期、調査範囲、作業内容を明確にし、個人情報等は一切公開しない旨、調査の前に周知しておく必要がある。

### 2. 調査地区全体の仮基準点（BM）の設置

液状化被災地においては地盤全体が沈下し既存の水準点の変動しているが、本調査においては震災前と震災後の高低差の把握が必要なため、測量範囲の近傍で幹線道路の人孔や橋梁等震災前の高さが明らかで、極力震災による変動が少ないと考えられる箇所に調査地区全体の仮基準点を設置する。震災後の水準点の測量成果が公表されている場合は、それをもとに地区全体の仮基準点を測定する。

### 3. 宅地地盤・建物の被災状況の調査、計測

#### (1) 調査項目

調査項目は、以下の内容である。

##### 建物構造

『木造・RC・鉄骨・その他』に分類

##### 基礎構造

『布基礎・ベタ基礎・独立基礎・その他』に分類

##### 建築面積

外周の寸法を見取図に記載し、階数を『1F・2F・3F・4F・5F・その他』に分類

##### 被災原因

『地震による直接損壊・液状化・地すべり等』に分類

##### 被災状況

###### 1) 地盤の変状

クラック・段差について、見取図に記載

###### 2) 沈下量

測量結果の計測値を Excel に入力し、「建物の不同沈下量」、「建物の傾斜」、「建物の総沈下量」、「宅地地盤の沈下量」を算出する。

また、震災後に行われた、罹災証明の判定結果等も併せて記載する。

###### 3) 基礎

クラックについて、見取図に記載した。

また、震災前の基礎高を計測し、記載した（基礎が埋まっている場合は少し掘り、埋没している基礎についている地盤高の跡を探し、計測）。

###### 4) 外壁屋根

外壁屋根の液状化による被害を、住民の方にヒアリング

###### 5) 建具

壁・扉・窓などの建物の外周となる部分の液状化による被害を住民の方にヒアリング

###### 6) 外構

土間コンクリート、擁壁等についてのクラックを見取図に記載。

##### 見取図

建物、建物の外周の寸法、前面道路、方角及び宅地地盤のクラックや噴砂等の幅・段差・深さがわかるよう位置・状況を記載。

##### 測量結果

「建物隅の基礎天端高さ」、「前面道路の地盤高さ」及び「基礎天端高さを取った建物隅付近の敷地内の任意の地盤高さ」を計測。

## (2) 計測方法

計測はオートレベルを用いて行ない、現地にて被災状況調査票に記入する。

基準点(BM)を定める。オートレベルを任意の位置に設置し、基準点の高さを計測する。この高さを『基準高』とする。

オートレベルを動かさず、調査宅地と道路の官民境界の、一番下がっている位置(側溝、境石等)の高さを計測する。これを、『計測の道路高』とする。

オートレベルを動かさず、建物隅の基礎天端の高さを計測する。これを、『計測の建物基礎高』とする。

オートレベルを動かさず、建物基礎高を計測した建物の隅付近の地盤の高さを計測する。これを、『計測の敷地内地盤高』とする。

以上の『基準高』『計測の道路高』『計測の建物基礎高』『計測の敷地内任意点高』の数値を“測定値”とした。『計測の道路高』『計測の建物基礎高』『計測の敷地内任意点高』から、『基準高』を減じることにより、各高さを求めることができる。

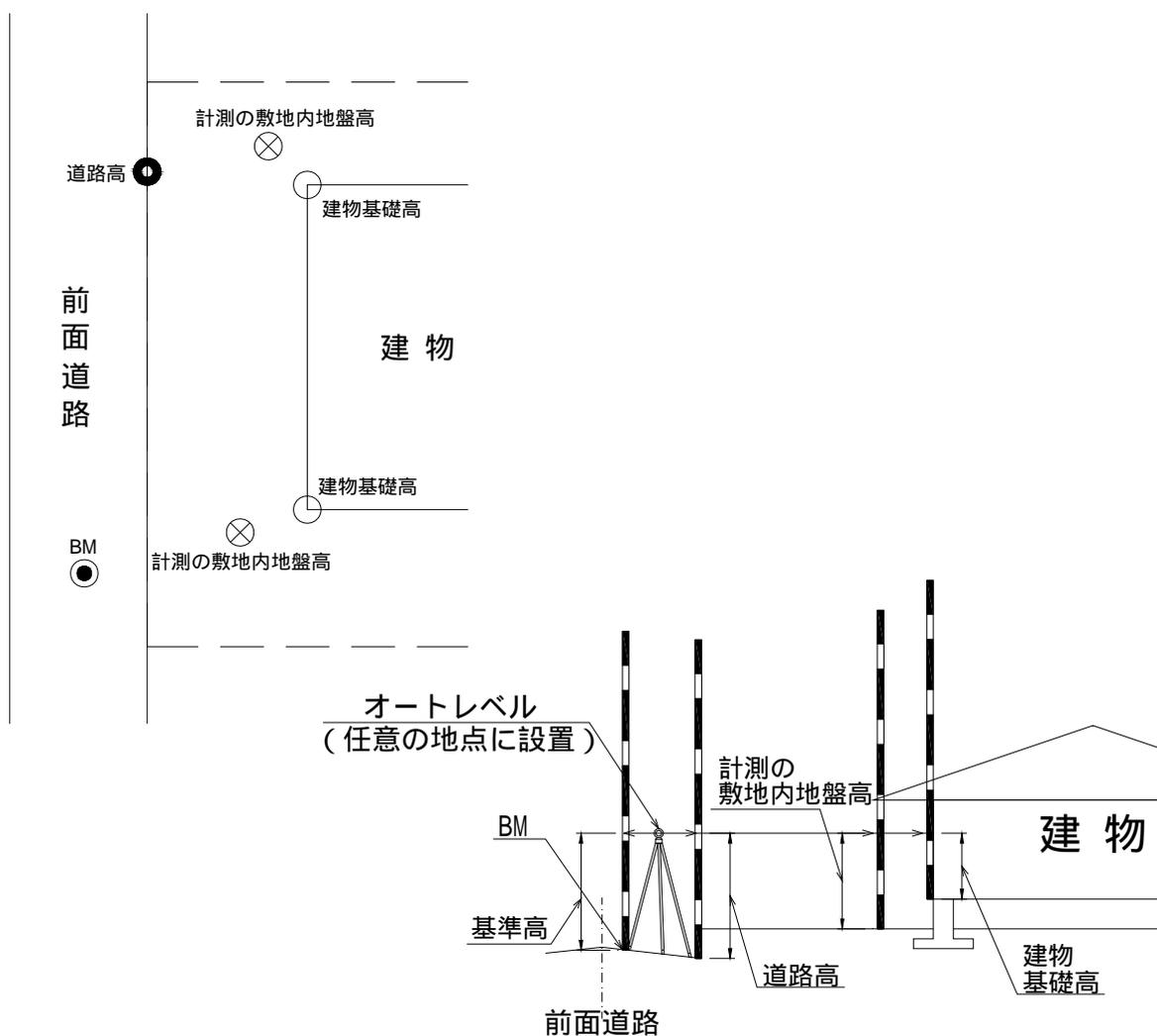


図-28 計測方法

宅地地盤・建物の被災状況調査票（一般住宅）

整理番号		住所、氏名			
調査可否	可、 不可	不可の理由			
沈下修正工法	沈下修正工法確認資料等で居住者にヒアリングする				
建物構造	木造 RC 鉄骨 その他 ( )				
基礎構造	布基礎 ベタ基礎 独立基礎 その他( )				
建築面積	1F 2F 3F 4F 5F その他 ( )				
被災原因	地震による直接損壊、液状化、地すべり等				
被災状況	地盤変状	クラック 段差			
	沈下量	建物の不同沈下量 : 28 mm 建物の傾斜 : 4.6/1000(最大) 2.9/1000(平均)	罹災証明の判定結果 : 半壊 罹災証明の傾斜 : 1.2(cm) : 10 / 1000 調査年月日		
		建物の総沈下量 : 96 mm 宅地地盤の平均沈下量 : 57mm			
	基礎	クラックの有無 mm × ケ所			
	外壁屋根	異常の有無及び状況 :			
	建具	異常の有無及び状況 :			
外構	異常の有無及び状況 :				
見取り図、測量結果 BM は、前面道路 人孔等					
	建物基礎高	1	測定値 689	BM + 742	相対値
		2	711	720	
		3	721	710	
		4	744	687	
			719	712	
	道路高	A	1.511		
		B			
		C			
	地盤高		1.071		
			1.138		
			1.185		
			1.120		
BM		1.431	0.00		
	測定結果をそのまま表記		各々の最高点を0としての表示		
震災前建物基礎高	45 cm				
建物寸法	m x m				
調査年月日					

注) 敷地内地盤はクラックの位置、状況等を記録(幅、段差、深さ等)

図-29 被災状況調査票の記載例

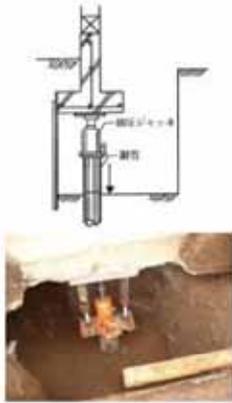
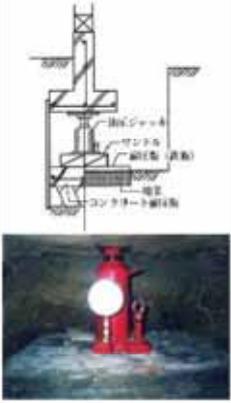
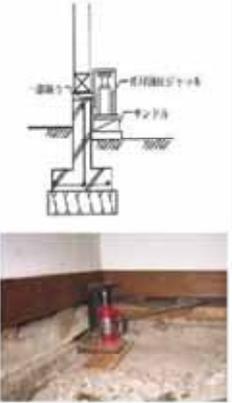
工法名	アンダーピニング工法	耐圧版工法	ポイントジャッキ工法	注入工法
工法の概要	 <p>基礎下を掘削して建物荷重により1m程度の管杭を継ぎ足しながらジャッキで圧入する。支持層まで貫入後、これを反力にジャッキアップする。</p>	 <p>基礎下を順次掘削して仮受けと打設を繰り返して良質な地盤面に一体の耐圧版を構築し、耐圧版を反力にジャッキアップする。</p>	 <p>基礎を一部研り土台下に爪付きジャッキを挿入してジャッキアップする。補強等を行い既存基礎を再使用する場合が多い。</p>	 <p>基礎下へグラウトや薬液等を注入し、注入・膨張圧によりアップする。</p>

図-30 沈下修正工法確認資料<sup>11) 12)</sup>

#### 4. 建物毎の仮BMと地区全体の仮BMの水準測量

建物毎に設置した仮BMと地区全体の仮BMを測定する。

#### 5. エクセルシートに打ち込み

別途提供されるエクセルシートに被災建物の計測結果を入力し、宅地地盤の沈下量・建物の傾斜勾配と沈下量等の値を得る。建物沈下量・建物傾斜量の算出方法とエクセルシートの中で行われる計算過程を以下に示す。

##### (1) 建物沈下量・建物傾斜量算出方法

沈下量および、建物傾斜量は下記の方法で算出する。なお、アルファベットは、帳票の項目のアルファベットを示している。

建物不同沈下量：SD

- 計測値『基準高』(図-31, BM)から各隅の『計測の建物基礎高』(次頁図, 1~4)を減じ、高低差を算出する(図-32, 1~4)。算出した各隅の『建物基礎高』の中から、最高点と最低点が入るようバランスをとり、4点を抽出する(図-32, 1~4)。
- aで計測した最高点を0とし、他の3点との相対値を導く。
- 0とした点から、bで導いた相対値(1~4)の平均を不同沈下量とする(相対値の最大値を1/2)。

建物平均めりこみ沈下量：SP

- 計測値『基準高』(図-31, BM)から各隅の『計測の敷地内任意点高』を減じ、高低差を算出する(図-32, ~)。
- d' dで計測した平均高さ。
- 震災後平均地盤高 d + 震災前の基礎高 - 地震後の地表面からの目標点の平均高さ(HB)を、建物平均めりこみ沈下量：SPとする。  
マイナスの値は、建物の浮き上がりを意味するが、建物沈下量が周辺地盤の沈下より小さい場合にもマイナスの値となり得ることから、マイナスの値となった場合には、等沈下量は0とする。

建物平均絶対沈下量：SA

- 宅地地盤の平均沈下量 e" + 建物平均めりこみ沈下量(SP) f を、建物平均絶対沈下量とした(ただし、f<0の場合、f=0)。

### 建物傾斜

- i. aで抽出した点(図-31, 1 ~ 4)を結ぶ辺の長さを計測する(1-2, 2-3, …, 2-4)。
- j. aで抽出した点の各辺間の相対値を、iで導いた辺の長さで割り、勾配を導く(1-2, 2-3, …, 2-4)。
- k. jで導いた勾配の最大値を、建物傾斜とする。

### 道路

道路より宅地が下がっている箇所を抽出するため、『計測の道路高』(図-31, A)から各・『計測の敷地内任意点高』(図-31, ~)を減じ、負の数値の箇所について“道路より宅地が低い箇所”とする。

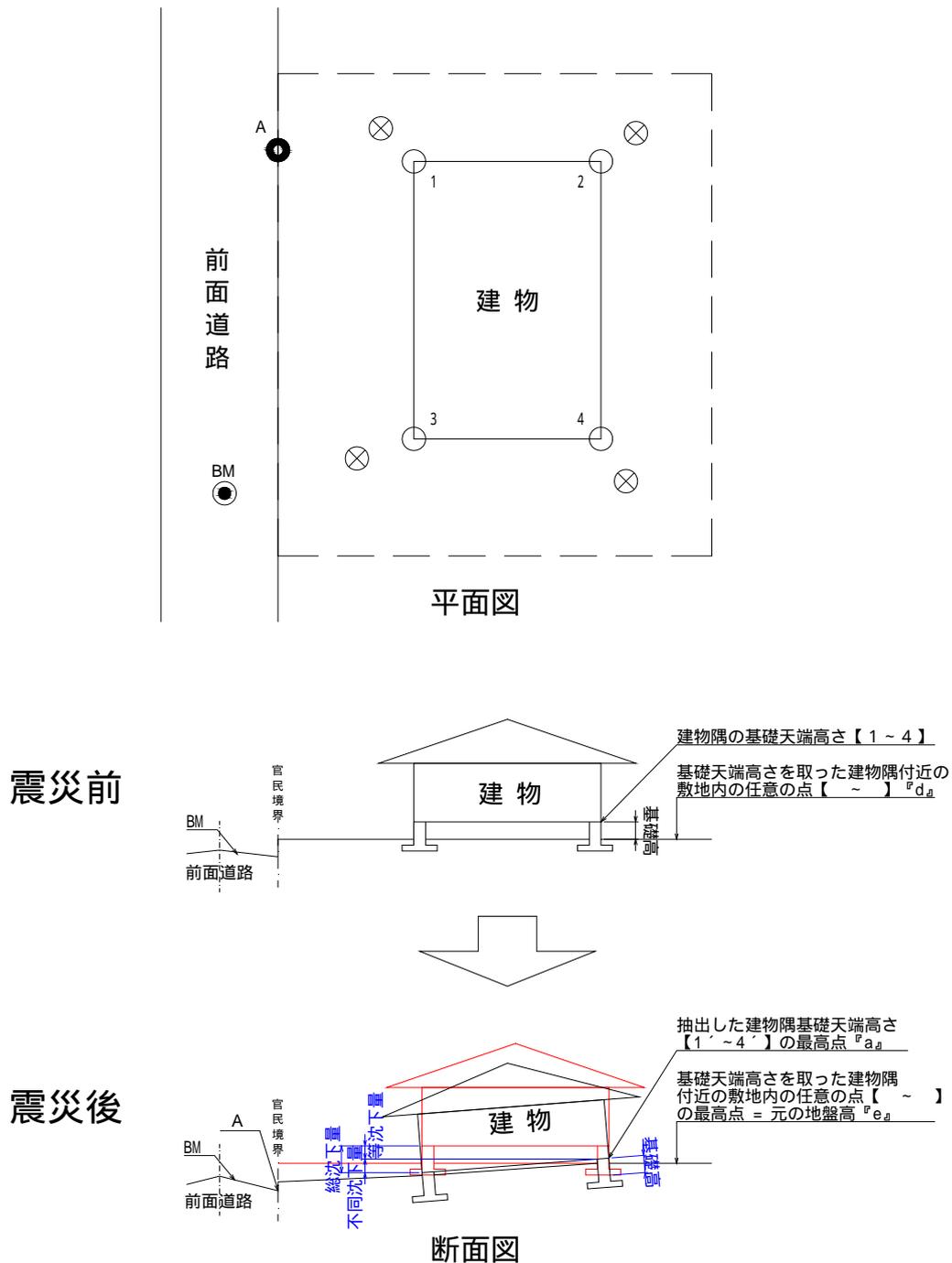


図-31 算出断面図

(2) エクセルシートの計算過程

別途提供されるエクセルシートに、建物調査・計測結果を入力する。計算は以下のように行われる。

建物No.	建物				備考
	基礎				
	構造	階数	構造	震災前基礎高 (cm)	
2	木	2	布	45	

計測値 (mm)	基準高	計測の建物基礎高							計測の敷地内任意点				計測の道路高				
	BM	1	2	3	4	5	6	7					A	B	C		
	1500	100	200	300	500				600	700	800	850			1600		

基準高 - 各敷地内任意点

不同沈下量 (建物基礎高の 違いの平均値)	建物基礎高[基準高 - 計測の建物基礎高]							最高・最低値を含む抽出値 (mm)					最高点との相対値 (mm)					
								a					b					c
	1	2	3	4	5	6	7	1'	2'	3'	4'	最大値(震災後 基礎天端高)	1''	2''	3''	4''	最大値/2(不 同沈下量)	
	1400	1300	1200	1000				1400	1300	1200	1000	1400	100	200	400	200		

最高点・最低値を含む、4点を抽出

最大値

最大値との高低差

最大値/2

建物不同沈下量(SD)

建物No.	建物				備考
	基礎				
	構造	階数	構造	震災前基礎高 (cm)	
2	木	2	布	50	

計測値 (mm)	基準高	計測の建物基礎高							計測の敷地内任意点				計測の道路高				
	BM	1	2	3	4	5	6	7					A	B	C		
	1500	100	200	300	500				600	700	800	850			1600		

基準高 - 各敷地内任意点

不同沈下量 (建物基礎高の 違いの平均値)	建物基礎高[基準高 - 計測の建物基礎高]							最高・最低値を含む抽出値 (mm)					最高点との相対値 (mm)					
								a					b					c
	1	2	3	4	5	6	7	平均	1'	2'	3'	4'	最大値(震災後 基礎天端高)	1''	2''	3''	4''	最大値/2(不 同沈下量)
	1400	1300	1200	1000				1225	1400	1300	1200	1000	1400	100	200	400	200	

地震後の地表面からの目標点の平均高さ(HB)

建物不同沈下量(SD)

等沈下量 (震災前後の基 礎高の絶対差)	敷地高'基準高 - 計測の敷地内任意点							d'	e'	e''	f
								平均値	最大値	最小値	(e'-e'')/2
	1	2	3	4	5	6	7	763	900	650	125
	900	800	700	650							38

震災後平均地盤高+震災前基礎高-震災後平均基礎天端高

建物平均あり込み沈下量(SP)

総沈下量	0<f	e'+f	f<0	e''	a
		163			

建物平均絶対沈下量(SA)

建物No.	建物				備考
	基礎				
	構造	階数	構造	震災前基礎高 (cm)	
2	木	2	布	45	

計測値 (mm)	基準高	計測の建物基礎高							計測の敷地内任意点				計測の道路高				
	BM	1	2	3	4	5	6	7					A	B	C		
	1500	100	200	300	500				600	700	800	850			1600		

不同沈下量 (建物基礎高の 違いの平均値)	建物基礎高[基準高 - 計測の建物基礎高]							最高・最低値を含む抽出値 (mm)					最高点との相対値 (mm)					
								a					b					c
	1	2	3	4	5	6	7	1'	2'	3'	4'	最大値(震災後 基礎天端高)	1''	2''	3''	4''	最大値/2(不 同沈下量)	
	1400	1300	1200	1000				1400	1300	1200	1000	1400	100	200	400	200		

等沈下量 (震災前後の基 礎高の絶対差)	敷地高'基準高 - 計測の敷地内任意点							e'	e''	f
								最大値	最小値	(e'-e'')/2
	1	2	3	4	5	6	7	900	650	125
	900	800	700	650						38

総沈下量	0<f	e'+f	f<0	e''	a
		163			

傾斜	距離 (m)											勾配 (X/1000)		
	1'-2'	2'-3'	3'-4'	4'-1'	1'-3'	2'-4'	1''-2''	2''-3''	3''-4''	4''-1''	1''-3''	2''-4''	k	k
	10.00	10.00	10.00	10.00	14.14	14.14	10.0	10.0	20.0	40.0	14.1	21.2	最大値	平均値
													40.0	19.2

計測値

計算

最大値

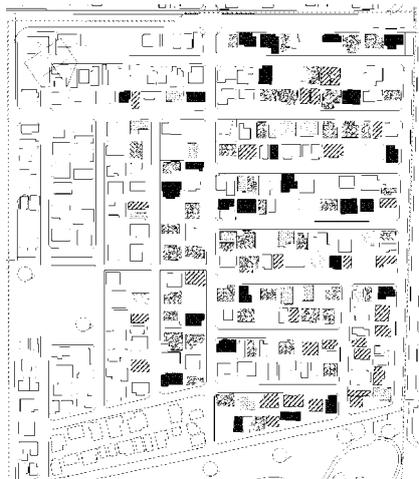
各点の高さの差の絶対値 / 距離

道路	計測の道路高 <sub>2</sub> - 計測の敷地内任意点			
	A	B	C	
		1000	900	800

各道路高 - 各敷地内任意点(マイナスが、道路より完盤が下がっている箇所)

図-32 エクセルシートの計算過程

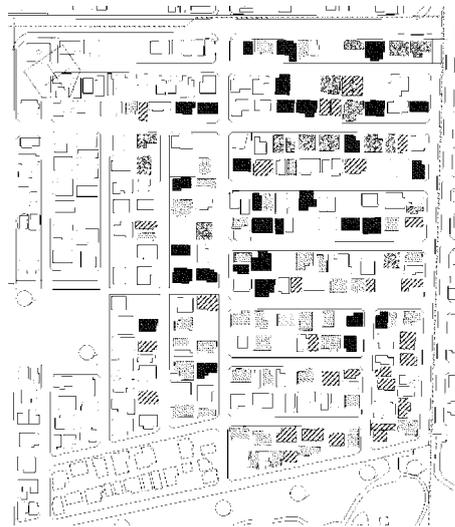




凡 例

記 号	名 称
—	地 区 界
<傾斜>	
■	～ 6/1000
■	6/1000～10/1000
■	10/1000～20/1000
■	20/1000～40/1000
■	40/1000～60/1000
■	60/1000～
■	修復済み

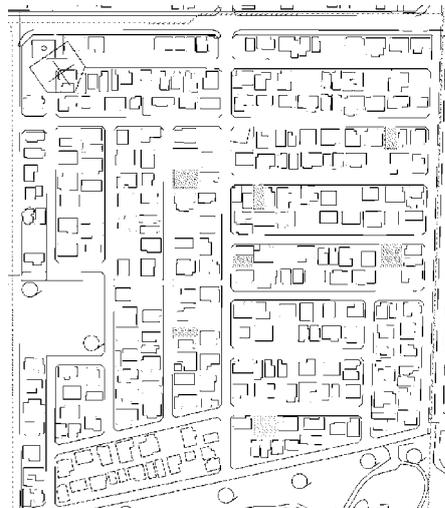
図-35 建物の平均傾斜マップ



凡 例

記 号	名 称
—	地 区 界
<沈下>	
■	0cm～10cm
■	10cm～20cm
■	20cm～30cm
■	30cm～40cm
■	40cm～50cm
■	50cm～60cm
■	60cm～
■	修復済み

図-36 建物の平均沈下マップ



凡 例

記 号	名 称
—	地 区 界
<宅地沈下箇所> (最大値)	
■	10cm未満
■	30cm未満
■	50cm未満
■	50cm以上

図-37 路面より低い宅地マップ



## Step 2 液状化検証

### (2) 被害をもたらした液状化地盤の検証

#### 1) 被災前の地盤状況の再現

まず、過去のボーリングデータと、液状化被害発生状況のマップ類を用いて、被災前の地盤状況を再現する。過去のボーリングデータは各市町村および ジオステーション、 県地質環境インフォメーションバンク等より入手し、資料の収集を図り、液状化発生範囲の平面図および被災前の地盤断面図を作成する。また、この段階でボーリングデータが少なければ、適宜追加ボーリング調査の検討を行う。

#### 【解説】

この地盤の状況を把握するために、過去のボーリングデータは各市町村および以下より入手し、資料の収集を図る。

ジオステーション等

千葉県地質環境インフォメーションバンク<sup>1)</sup>

関東の地盤 地盤情報データベース付(2010年度版) (公益社団法人 地盤工学会関東支部)

この段階でボーリングデータが少なければ、適宜追加ボーリング調査の検討も行う。



図-1 既存調査位置図

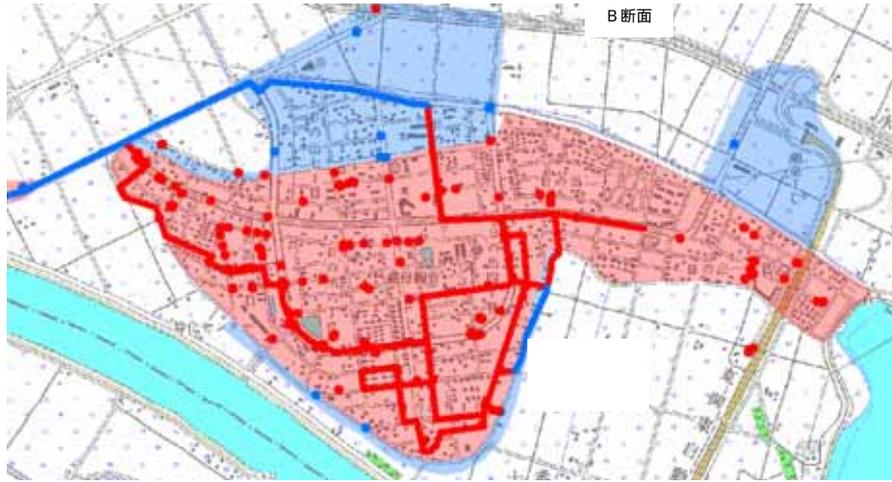


図-2 液状化発生範囲の平面図<sup>6)</sup>

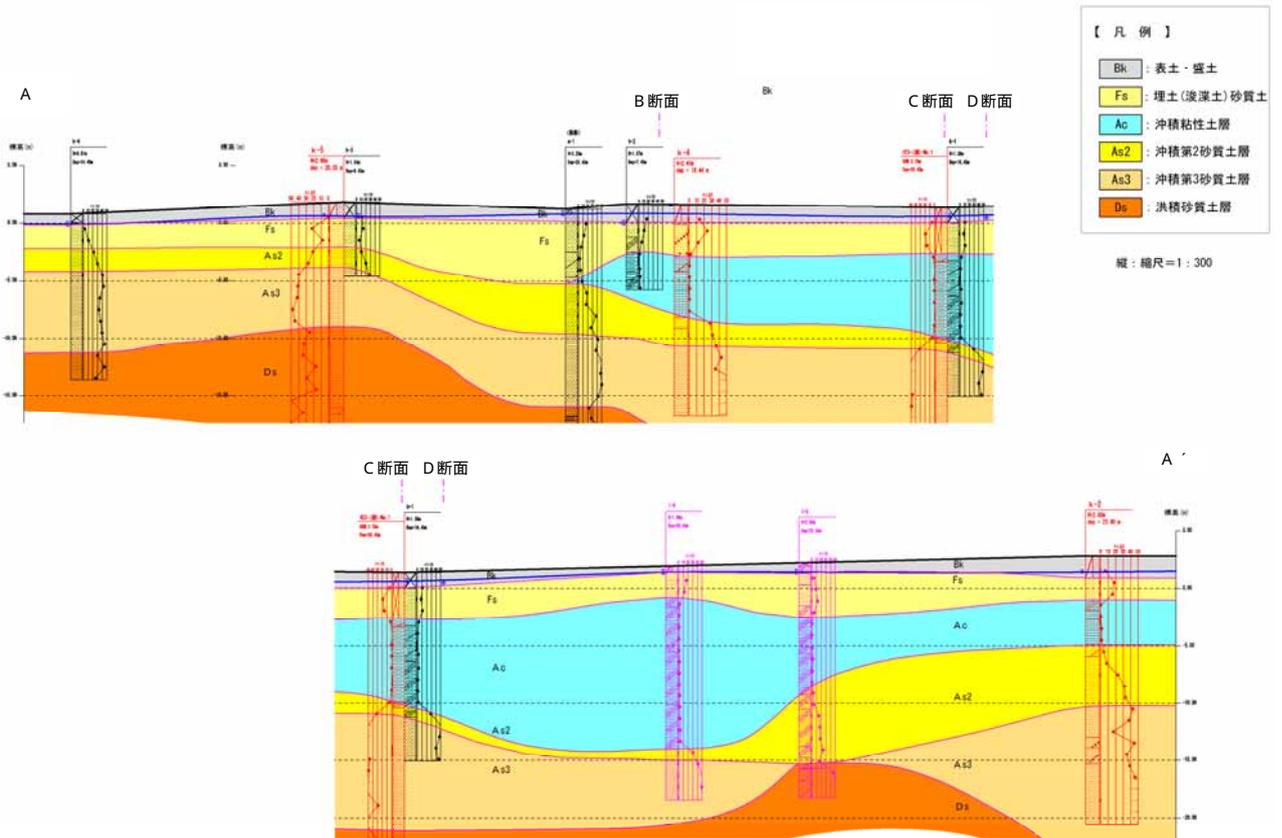


図-3 被災前の地盤想定断面図

## 2) 被災前における液状化層の特定

被災前における液状化地盤の検証は、地震前の既存資料のボーリング結果および室内土質試験を用いて、東日本大震災（既往最大値）で実際に発生した地震動の波形をもとに「建築構造設計指針（日本建築学会）」に準拠して以下のように算定することが考えられる。

地盤の液状化発生の可能性は、 $N$ 値等の地盤調査結果を用いた簡易法（ $F_L$ 法）から  $P_L$ により危険度を判定する

液状化による地盤の沈下量の検証は、 $D_{cy}$ で行う

なお、細粒分含有率が多い場合等にあつては、当該地盤特性に適した液状化判定方法を用いることが望ましい。

また、一般的に  $D_{cy}$  が大きい場合は建物のめりこみ沈下量も大きくなる傾向にあるが＜参考 - 4＞、家屋のめり込み沈下量は、例えば、当該家屋の基礎の形式や平面形状、荷重条件といった、地盤以外の要素からも大きな影響を受けるものと考えられる。その評価に向けた検討の方向性について＜参考 - 7＞に示す。

### 【解説】

被災前における液状化地盤の検証は、地震前の既存資料のボーリング結果および室内土質試験を用いて、東日本大震災（既往最大値）で実際に発生したマグニチュードおよび加速度の地震動波形を用いる。東日本大震災の実際の地震動（既往の最大値）の液状化解析に用いる加速度は、被災した各市町村においてその波の成分が異なるため、観測点K-NETやKiK-netのホームページから図-4のように液状化現象に対する影響の比較的小さいひげの部分（観測上の特異点）を取り除いた最大加速度の0.65相当の等価加速度を用いる。

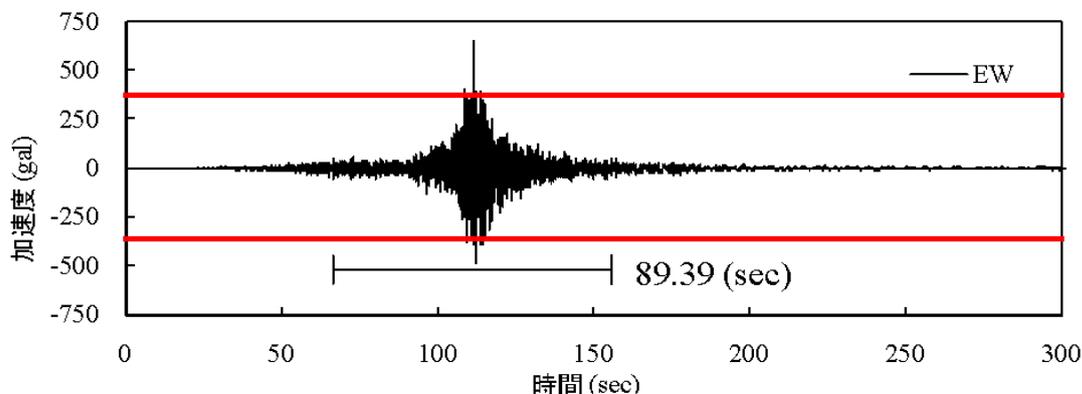


図-4 等価加速度のイメージ<sup>7)</sup>

液状化地盤の検証方法は、「建築構造設計指針（日本建築学会）」の＜参考 - 1＞地盤の液状化判定や＜参考 - 2＞液状化に伴う地盤物性と地盤変形量の予測に準拠して、以下のように算定する。

地盤の液状化発生の可能性は、 $N$ 値等の地盤調査結果を用いた簡易法（ $F_L$ 法）から  $P_L$ により危険度を判定する

液状化による地盤の沈下量の検証は、 $D_{cy}$ で行う

液状化判定は「建築構造設計指針（日本建築学会）」に準拠し、以下の算定式に基づき検討を行う。液状化に伴う  $F_L$ 、 $P_L$ 、 $D_{cy}$  の計算の考え方は、＜参考 - 3＞に示してあるので参照されたい。液状化の検討において地震時応答解析等を行う場合は、被災地の近傍の観測点 K-NET や KiK-net 等で観測された強震記録を用いる。ただし、この地震動は耐震設計上の工学的基盤面は、せん断波速度  $V_s$  300m/s となる層の上面とすることが望ましいが、便宜的に砂質土で  $N$  値 50、粘性土で  $N$  値 25 となる層の上面とすることも想定される。地盤のせん断波速度は、弾性波速度換層により

測定して求めることが望ましいが、次式に示すようにN値から簡易に推定する方法<sup>2)</sup>もある。

$$\text{粘性土の場合： } V_s = 100 \cdot N^{1/3} \quad (1 \leq N \leq 25)$$

$$\text{砂質土の場合： } V_s = 80 \cdot N^{1/3} \quad (1 \leq N \leq 50)$$

なお、<参考 - 4> 宅地の平均地盤沈下と住宅の傾斜角の関係、<参考 - 5> 建物の傾きによる健康障害について、<参考 - 6> 地盤に係る住宅被害認定の運用見直しについて掲載したので参照されたい。

### <参考 - 1> 地盤の液状化判定

(出典：日本建築学会，建築構造設計指針，pp.62～64，2000.10)

#### (1) 対象とすべき土層

液状化の判定を行う必要がある飽和土層は、一般に地表面から 20m 程度以浅の沖積層で、考慮すべき土の種類は、細粒分含有率が 35%以下の土とする。ただし、埋立地盤など人工造成地盤では、細粒分含有率が 35%以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例も報告されているので、粘土分(0.005mm以下の粒径を持つ土粒子)含有率が 10%以下、または塑性指数が 15%以下の埋立あるいは盛土地盤については液状化の検討を行う。細粒土を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫は液状化の可能性が否定できないので、そのような場合にも液状化の検討を行う。

#### (2) 液状化危険度予測

液状化判定は図 4.5.1～4.5.4 を用い、以下の手順により行ってよい。

(a) 検討地点の地盤内の各深さに発生する等価な繰返しせん断応力比を次式から求める。

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = \gamma_n \frac{\alpha_{\max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \gamma_d \quad (4.5.1)$$

ここに、 $\gamma_d$ は水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅(kN/m<sup>2</sup>)、 $\sigma'_z$ は検討深さにおける有効土被り圧(鉛直有効応力)(kN/m<sup>2</sup>)、 $\gamma_n$ は等価の繰返し回数に関する補正係数で 0.1(M-1)、Mはマグニチュード、 $\alpha_{\max}$ は地表面における設計用水平加速度(cm/s<sup>2</sup>)、gは重力加速度(980 cm/s<sup>2</sup>)、 $\sigma_z$ は検討深さにおける全土被り圧(鉛直全応力)(kN/m<sup>2</sup>)、 $\gamma_d$ は地盤が剛体でないことによる低減係数で次式で与えられる。

$$\gamma_d = 1 - 0.015z \quad (4.5.2)$$

ここに、zはメートル単位で表した地表面からの検討深さである、

(b) 対応する深度の補正 N 値( $N_a$ )を、次式から求める。

$$N_1 = C_N \cdot N \quad (4.5.3)$$

$$C_N = \sqrt{98 / \sigma'_z} \quad (4.5.4)$$

$$N_a = N_1 + N_f \quad (4.5.5)$$

ここに、 $N_1$ は換算 N 値  $C_N$ は拘束圧に関する換算係数、 $N_f$ は細粒分含有率  $F_c$ に応じた補正 N 値増分で、図 4.5.2 による。Nはトンビ法または自動落下法による実測 N 値とする。

(c) 図 4.5.1 中の限界せん断ひずみ曲線 5 %を用いて、補正 N 値( $N_a$ )に対応する飽和土層の液状化抵抗比  $R = \tau_l / \sigma'_z$  を求める。ここに、 $\tau_l$ は、水平面における液状化抵抗である。

(d) 各深さにおける液状化発生に対する安全率  $F_l$  を次式により計算する。

$$F_l = \frac{\tau_l / \sigma'_z}{\tau_d / \sigma'_z} \quad (4.5.6)$$

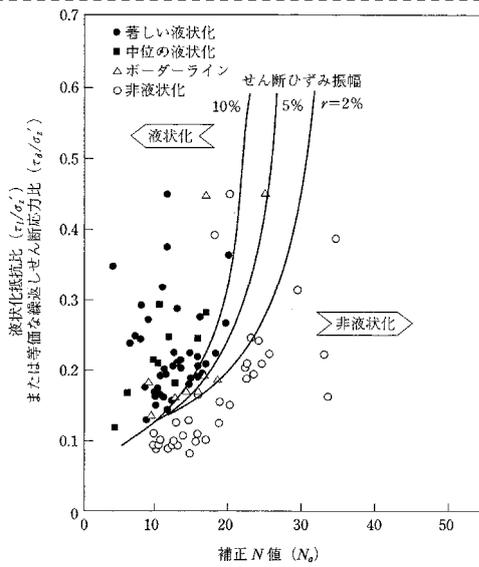


図 4.5.1 補正  $N$  値と液状化抵抗, 動的せん断ひずみの関係 (4.5.3)  
等価繰返し回数  $N$

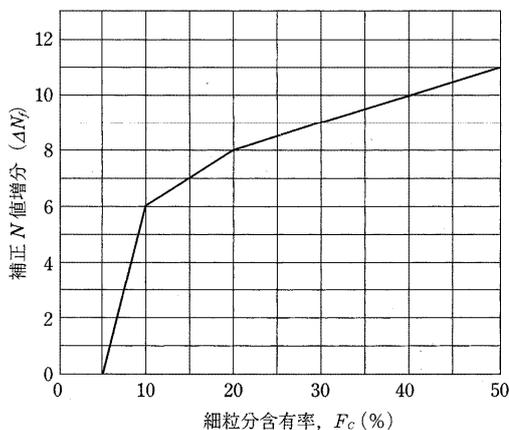


図 4.5.2 細粒分含有率と  $N$  値の補正係数 (4.5.3)

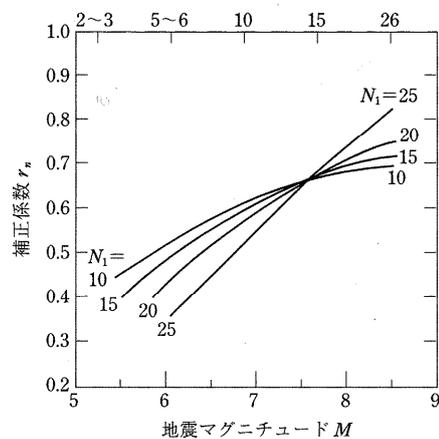


図 4.5.3 補正  $N$  値, マグニチュード, 繰返し回数と補正係数の関係 (4.5.3)

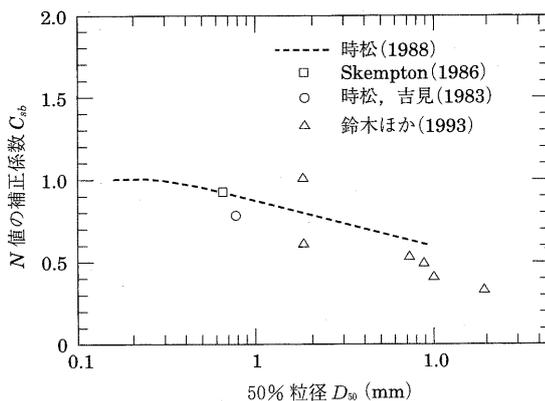


図 4.5.4 砂礫地盤の  $N$  値補正係数 (4.5.3)

<参考 - 2> 液状化に伴う地盤物性と地盤変形量の予測

(出典：日本建築学会，建築構造設計指針，pp.66，pp.445～448，2000.10)

液状化発生の可能性が高いと判断された地盤においては，対象とする建物の基礎設計に必要な情報を，下記の方法により評価するものとする。

(1) 液状化の程度と液状化・側方流動に伴う地盤変位の予測

(a) 水平地盤での動的水平変位，残留水平変位，沈下量，液状化の程度と動的水平変位の予測は，適当な応答解析によるほか，液状化判定の後，以下の手順によることができる。

- 1) 図4.5.7から  $N_a$ ， $d/z'$  に対応する各層の繰返しせん断ひずみ  $\gamma_{cy}$  を推定する。
- 2) 各層のせん断ひずみ  $\gamma_{cy}$  が同一方向に発生すると仮定して，これを鉛直方向に積分して，振動中の最大水平変位分布とする。

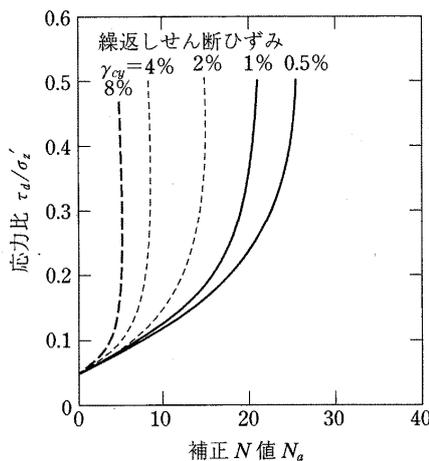


図 4.5.7 補正  $N$  値と繰返しせん断ひずみの関係 (4.5.2)

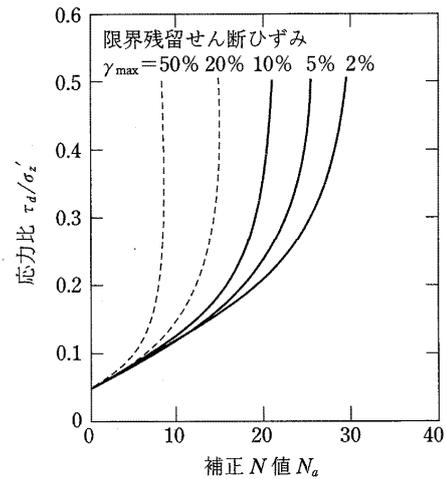


図 4.5.8 補正  $N$  値と限界残留せん断ひずみの関係 (4.5.2)

3) 地表変位を  $D_{cy}$  とし液状化程度の指標とする。液状化の程度は， $D_{cy}$  の値により表 4.5.1 のように評価する。

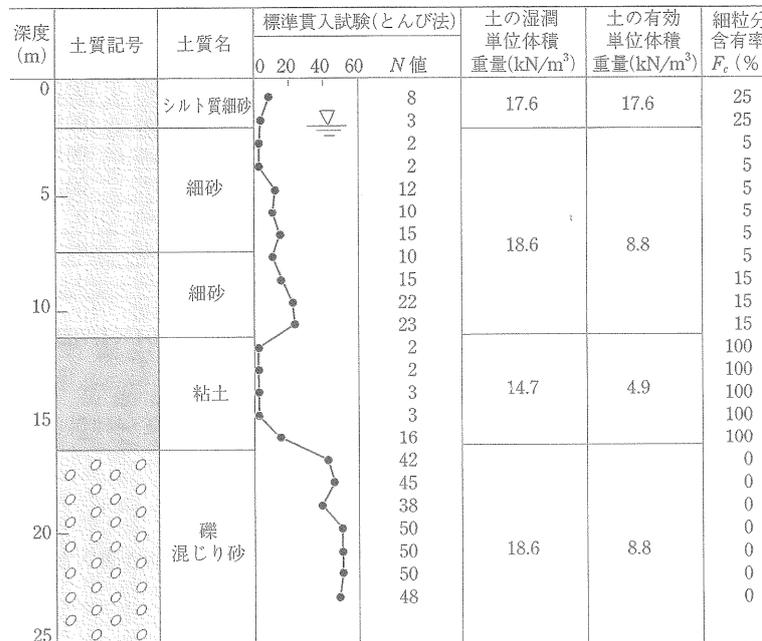
表 4.5.1  $D_{cy}$  と液状化の程度の関係

$D_{cy}$ (cm)	液状化の程度
0	なし
- 05	軽微
05 - 10	小
10 - 20	中
20 - 40	大
40 -	甚大

同様に，地盤沈下量  $S$  を求めたい場合，図 4.5.7 をそのまま使い， $\gamma_{cy}$  を体積ひずみ  $\nu$  と読み換えればよい (4.5.4)。

[計算例 1] 4.5 節 液状化判定と動的水平変位および残留沈下量

例図 1.1 に示す沖積地盤について，液状化に対する安全率と液状化時の地表最大地盤変位，液状化後の地盤沈下量を求める．地下水位は深度 2m である．なお，地表面加速度  $200(\text{cm}/\text{s}^2)$ ，地震マグニチュード  $M=7.5$  とする．



例図 1.1 地盤条件

[解] (1) 深度 4m の深さにおける検討

(4.5.1)式において，

$$M = 7.5$$

$$n = 0.65$$

$$a_{\max} = 200 (\text{cm}/\text{s}^2)$$

$$g = 980 (\text{cm}/\text{s}^2)$$

$$z = 17.6 \times 2.0 + 18.6 \times (4.0 - 2.0) = 72.4 (\text{kN}/\text{m}^2)$$

$$z' = 17.6 \times 2.0 + 8.8 \times (4.0 - 2.0) = 52.8 (\text{kN}/\text{m}^2)$$

これらを代入すると、

$$d / z' = 0.65 \times (200/980) \times (72.4/52.8) \times (1 - 0.015 \times 4) = 0.65 \times 0.204 \times 1.371 \times 0.94 = 0.17$$

(4.5.3)式～(4.5.5)式より

$$z' = 52.8 (\text{kN}/\text{m}^2)$$

$$N = 2$$

$$N_f = 0 (\text{図 4.5.3 より})$$

これらを代入すると、

$$N_a = \sqrt{\frac{98}{52.8}} \times 2 + 0 = 2.7$$

液状化抵抗比  $d / z'$  は(図 4.5.1 より)

$$d / z' = 0.07$$

よって，液状化発生に対する安全率  $F_l$  は(4.5.6)式より

$$F_l = 0.07/0.17 = 0.41 < 1$$

したがって、液状化発生の危険度は高い。

(2) 深度 9m の深さにおける検討

$$z = 17.6 \times 2.0 + 18.6 \times (9.0 - 2.0) = 165.4 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$z' = 17.6 \times 2.0 + 8.8 \times (9.0 - 2.0) = 96.8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(4.5.1)式より

$$d/z' = 0.65 \times 0.204 \times (165.4/96.8) \times (1 - 0.015 \times 9.0) = 0.65 \times 0.204 \times 1.709 \times 0.865 = 0.20$$

$$N = 15$$

$$N_f = 7 \text{ (図 4.5.2 より)}$$

(4.5.3)式 ~ (4.5.5)式より

$$N_a = \sqrt{\frac{98}{96.8}} \times 15 + 7 = 15.1 + 7 = 22.1$$

図 4.5.1 より

$$i/z' = 0.28$$

(4.5.6)式より

$$F_l = 0.28/0.20 = 1.40 > 1$$

したがって、液状化発生の危険度は低い。

(3) 液状化の程度と水平地盤での動的水平変位，残留沈下量の検討

(1) および(2)で述べた手順に従って，対象地盤の地下水位以深から深度 20mまでの液状化発生の危険度を検討した結果を例表 1.1 に示す。この表により，深度 3~8mの層で液状化の危険性があると判断される。そこで，これらの層の動的水平変位および残留沈下量を求め，液状化の程度を予測する。深度 3~8mの層における動的水平変位を求めるにあたり，深度 4mでの計算手順を示す。

例表 1.1 液状化判定結果

深度 (m)	N値	細粒分 $F_c$ (%)	全応力 $z$ (kN/m <sup>2</sup> )	有効応力 $z'$ (kN/m <sup>2</sup> )	低減係数 $d$	換算 N値 $N_1$	N値増分 $N_f$	補正 N値 $N_a$	液状化抵抗比 $i/z'$	繰返しせん断応力比 $d/z'$	安全率 $F_l$
1	8	25	17.6	17.6	0.985						
2	3	25	35.2	35.2	0.970						
3	2	5	53.8	44.0	0.955	3.0	0.0	3.0	0.07	0.15	0.47
4	2	5	72.4	52.8	0.940	2.7	0.0	2.7	0.07	0.17	0.41
5	12	5	91.0	61.6	0.925	15.1	0.0	15.1	0.17	0.18	0.94
6	10	5	109.6	70.4	0.910	11.8	0.0	11.8	0.14	0.19	0.74
7	15	5	128.2	79.2	0.895	16.7	0.0	16.7	0.18	0.19	0.95
8	10	5	146.8	88.0	0.880	10.5	0.0	10.5	0.13	0.19	0.68
9	15	15	165.4	96.8	0.865	15.1	7.0	22.1	0.28	0.20	1.40
10	22	15	184.0	105.6	0.850	21.2	7.0	28.2	0.60	0.20	3.00
11	23	15	202.6	114.4	0.835	21.3	7.0	28.3	0.60	0.20	3.00
12	2	100	217.3	119.3	0.820						
13	2	100	232.0	124.2	0.805						
14	3	100	246.7	129.1	0.790						
15	3	100	261.4	134.0	0.775						
16	16	100	276.1	138.9	0.760						
17	42	0	294.7	147.7	0.745	34.2	0.0	34.2	0.60	0.20	3.00
18	45	0	313.3	156.5	0.730	35.6	0.0	35.6	0.60	0.19	3.16
19	38	0	331.9	165.3	0.715	29.2	0.0	29.2	0.60	0.19	3.16
20	50	0	350.5	174.1	0.700	37.5	0.0	37.5	0.60	0.19	3.16

\* $N_a > 26$  の場合は液状化抵抗比を 0.60 とした。

例表 1.2

深度(m)	$c_y(\%)$ , $v_v(\%)$
3	8.0
4	8.0
5	1.0
6	2.0
7	1.0
8	3.0

(1) より深度 4m において

$$N_s = 2.7$$

$$\sigma / \sigma' = 0.17$$

よって、繰返しせん断ひずみ  $c_y$  は、図 4.5.7 より

$$c_y = 8.0 (\%)$$

同様に体積ひずみ  $v_v$  は図 4.5.7 において  $c_y$  を  $v_v$  と読み換えればよいので、

$$v_v = 8.0 (\%)$$

となる。

深度 3~8m の層における繰返しせん断ひずみ  $c_y$  と体積ひずみ  $v_v$  は例表 1.2 のようになる。

この結果から、振動中の最大水平変位  $D_{cy}$  は、

$$\begin{aligned} D_{cy} &= c_y \times H (H: \text{層厚}) \\ &= 0.08 \times 1.0 + 0.08 \times 1.0 + 0.01 \times 1.0 + 0.02 \times 1.0 + 0.01 \times 1.0 + 0.03 \times 1.0 \\ &= 0.23 (\text{m}) \\ &= 23 (\text{cm}) \end{aligned}$$

同様に、残留沈下量  $S$  は

$$S = v_v \times H = 23 (\text{cm})$$

地下水位以浅は検討を行わないので、上記の  $D_{cy}$  および  $S$  が、それぞれ地表水平変位、地表沈下量となる。

したがって、液状化の程度は表 4.5.1 より、「大」となる。

<参考 - 3 > 液状化に伴う  $F_L$ 、 $P_L$ 、 $D_{cy}$  の計算の考え方

(1)  $F_L$  法

液状化抵抗率  $F_L$  は式-1 により算定するものとする。また、一般的に  $F_L$  が 1.0 以下となる土層は液状化するものと考えられている<sup>1)</sup>。

$$F_L = \frac{R}{L} \quad \dots \text{式-1}$$

ここに、 $F_L$ ：液状化抵抗率

$R$ ：液状化抵抗比

$L$ ：繰返しせん断応力比

(2) 液状化指数  $P_L$

一般的に  $P_L$  値の算出方法については、式-2 に基づき図-1 のように深度 20m が用いられている。

$$P_L = \sum_0^{20} F \cdot W(z) dz \quad \dots \text{式-2}$$

ここに、 $P_L$ ：液状化指数

$F=0.0$  ( $F_L > 1.0$  の場合)

$F=1-F_L$  ( $F_L \leq 1.0$  の場合)

$W(z)=10-0.5z$

$Z$ ：深度 (m)

なお、橋梁等の大規模土木工作物等と比較して、戸建て住宅の荷重は小さいことから、即地的には深度 20m とした場合に、被害実態と必ずしも整合が図れない場合が生じる。この場合は例えば、式-3 に基づき深度 10m を用いる等の現地の実態に即した検討を行うことも想定される。

$$P_L = \sum_0^{10} F \cdot W(z) dz \quad \dots \text{式-3}$$

ここに、 $P_L$ ：液状化指数

$F=0.0$  ( $F_L > 1.0$  の場合)

$F=1-F_L$  ( $F_L \leq 1.0$  の場合)

$W(z)=20-2z$

$Z$ ：深度 (m)

$P_L$  による液状化判定区分については、表-1 のような目安が考えられる。

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot w(z) dz$$

ただし,  $w(z)$ : 深さ  $z$  に対する重み関数

$F$ :  $F_L < 1.0$  の時  $1 - F_L$   
 $F_L \geq 1.0$  の時  $0$

### $P_L$ 値の求め方

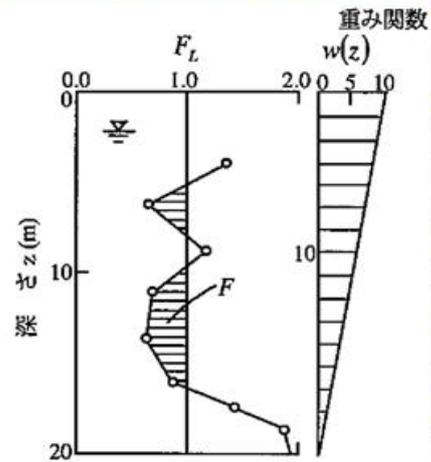


図-1  $P_L$  値の算出方法について

表-1  $P_L$  値と液状化による影響の関係

### $P_L$ 値と液状化による影響の関係

$P_L = 0$	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

※ 中央防災会議による直近の大規模地震の被害想定手法  
 (中央防災会議事務局「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定手法について～基本被害～」平成19年11月)より

### (3) 地表変位 $D_{cy}$

応答解析に用いる地表変位を  $D_{cy}$  とし表-2のような目安が考えられる。

表-2  $D_{cy}$  と液状化程度の関係<sup>4)</sup>

$D_{cy}$ (cm)	液状化の程度
0	なし
—05	軽微
05—10	小
10—20	中
20—40	大
40—	甚大

< 参考 - 4 > 宅地の平均地盤沈下と住宅の傾斜角の関係

( 出典 : Kohji TOKIMATSU, Kota KATSUMATA:LIQUEFACTION-INDUCED DAMAGE TO BUILDINGS IN URAYASU CITY DURING THE 2011 TOHOKU PACIFIC EATHQUAKE , Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, March 1-4, 2012, Tokyo, Japan )

時松の浦安市の液状化被害を分析した論文<sup>5)</sup>によると、図12は、宅地の平均地盤沈下を基準とした住宅の傾斜角の分布を示しており、宅地の平均地盤沈下の増加とともに、住宅の傾斜角が大きくなる傾向がある。

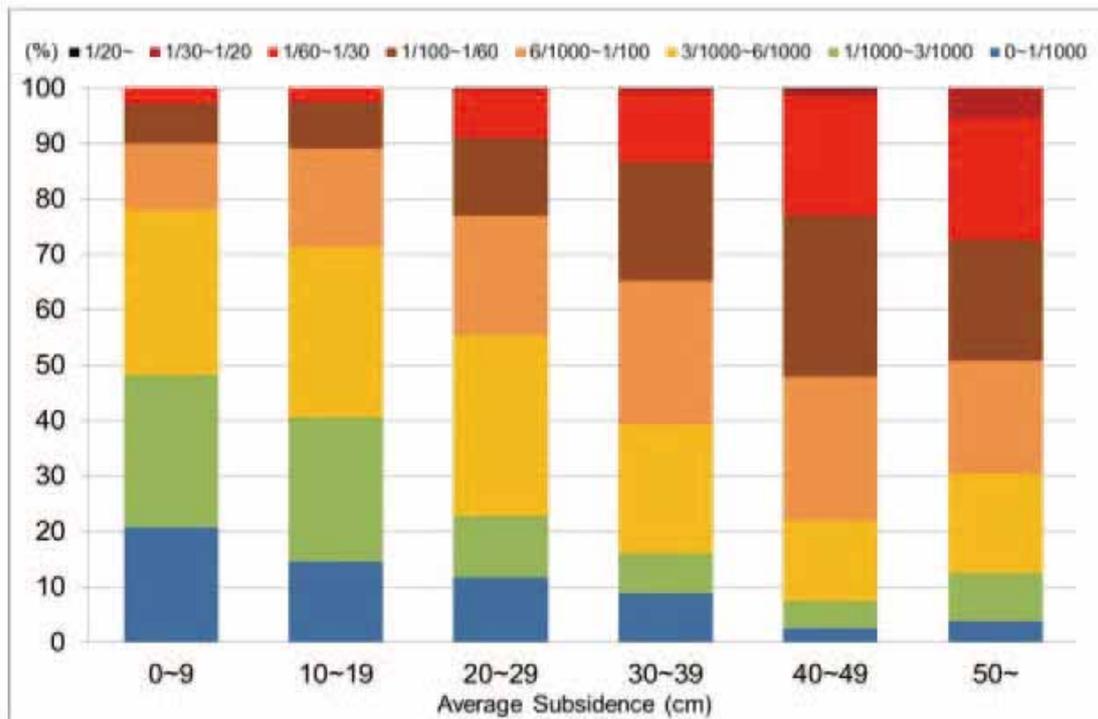


図-1 宅地の平均地盤沈下と住宅の傾斜角の関係

< 参考 - 5 > 建物の傾きによる健康障害

( 出典：復旧・復興支援 WG「液状化被害の基礎知識」

<http://news-sv.aij.or.jp/shien/s2/ekijouka/health/index.html>

液状化による地盤沈下などで住宅が傾くと、戸の開け閉めの不具合、隙間風の発生、傾斜によるものの転がりといった障害だけでなく、めまいや吐き気などの健康障害が生じることがあります。建物の傾きと健康障害について、これまでに報告された学術研究をいくつか紹介します。ここで、健康障害には個人差があることに注意してください。

なお、床の傾きだけでなく、柱や壁の傾き、窓や窓の外に見える景色の傾きなどの視覚的刺激からも生理的・精神的影響があります。また、長期間居住することで感覚の麻痺が生じ、自覚症状が消えることがあります。

以下に紹介する文献について、床の傾斜角と健康障害の対応をまとめると、次の表のようになります。

表1 床の傾斜角と健康障害

傾斜角		健康障害	文献
度	分数(ラジアン)		
0.29°	5/1000 (=1/200)	傾斜を感じる。	藤井ほか(1998)
0.34°	6/1000 (=1/167)	不同沈下を意識する。	藤井ほか(1998)
0.46°	8/1000(=1/125)	傾斜に対して強い意識, 苦情の多発。	藤井ほか(1998)
0.6° 程度	1/100 程度	めまいや頭痛が生じて水平復元工事を行わざるを得ない。	安田・橋本(2002) 安田(2004)
~1°	~1/60	頭重感, 浮動感を訴える人がある。	北原・宇野(1965)
1.3°	1/44	牽引感, ふらふら感, 浮動感などの自覚症状が見られる。	宇野・遠藤(1996)
1.7°	1/34	半数の人に牽引感。	宇野・遠藤(1996)
2°~3°	1/30~1/20	めまい, 頭痛, はきけ, 食欲不振などの比較的重い症状。	北原・宇野(1965)
4°~6°	1/15~1/10	強い牽引感, 疲労感, 睡眠障害が現れ, 正常な環境でもものが傾いて見えることがある。	北原・宇野(1965)
7°~9°	1/8~1/6	牽引感, めまい, 吐き気, 頭痛, 疲労感が強くなり, 半数以上で睡眠障害。	北原・宇野(1965)



5/1000 (0.29°)  
窓にすきま



6/1000 (0.34°)  
ものが転がる



10/1000程度 (0.6° 程度)  
めまい

日本建築学会：建築士のためのテキスト 小規模建築物を対象とした地盤・基礎，p. 31，2003 より引用・修正

#### 床の傾斜角と健康障害に関する文献

以下，床の傾斜角と健康障害に関する文献を紹介します。

北原正章・宇野良二：傾斜室における眩暈と平衡 - 新潟地震による傾斜ビルの調査研究 -，耳鼻咽喉科臨床，耳鼻咽喉科臨床学会，Vol. 58, No. 3, pp. 145-151, 1965.3

1964年6月16日に発生した新潟地震で傾斜した建物に居住や勤務する人を対象に，同年11月に面接調査を行った結果を報告しています。

床の傾斜が1°以下では，1日中傾斜室内に生活しているもの6名中2名が頭重感，浮動感を訴えています。2°～3°では，めまい，頭痛，はきけ，食欲不振などの比較的重い症状が現れます。4°～6°では，一方へ強く引かれる感じ（牽引感）が主体的となり，疲労感，睡眠障害が現れ，正常な環境でもものが傾いて見えることがあります。7°～9°では牽引感，めまい，吐き気，頭痛，疲労感が強くなり，半数以上で睡眠障害があります。

居住者の経験から出た対策として，時々外出，床の水平化工事が挙げられています。ベッドだけでも水平にすると寝つきがよく体が疲れないと回答した人があったことが報告されています。

また，めまいが発生する原因を以下のように考察しています。人間には頭を鉛直に保とうとする反射（立ち直り反射）があります。建物が傾いていると，まず重力による感覚から頭を鉛直に保とうとします。しかし，同時に視覚からの情報で床に垂直な方向に頭部を保とうとします。この筋肉の緊張に現れる2つの反射の葛藤がめまいや牽引感の原因として考えられると指摘しています。

宇野英隆・遠藤佳宏：人の平衡感覚に関する研究：傾いた床での生活の限界，日本建築学会計画系論文集，No. 490, pp. 119-125, 1996.12

ジャッキで床を傾けることができる装置を使った被験者実験と，1964年新潟地震で傾いたある会社の子寮に入居する女性42名に対し1981年10月に面接調査を行った結果について報告しています。面接調査の結果，床の傾斜角度と自覚症状について，以下の表・図のような関係が見られました。1.3°で牽引感，ふらふら感，浮動感などの自覚症状が見られ，1.7°で半数の人に牽引感が現れます。

表2 床の傾斜角度と自覚症状

斜角度 (度)	牽引 感	ふら ふら 感	浮動 感	不眠	疲労 感	回転 感	頭 痛	めまい	腰痛	計	実対象者 数計(人)
1.3	6	5	2	0	1	1	0	0	0	15	8
1.4	8	4	1	2	0	0	0	0	0	15	9
1.6	4	3	1	1	0	0	1	0	0	10	4
2	9	2	2	3	1	0	0	0	2	19	9
2.2	5	2	1	1	1	2	2	1	0	15	5
2.3	6	5	4	2	0	0	0	2	0	19	7
計(人)	38	21	11	9	3	3	3	3	2	93	42

注：複数回答である

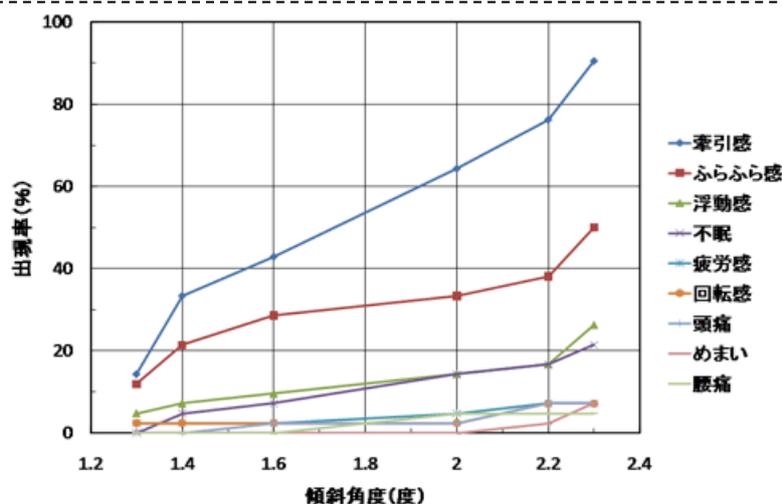


図1 床の傾斜角度と自覚症状

実験結果については、長時間の滞在時の測定結果ではなかったため、ここでは割愛いたします。  
 藤井衛・伊集院博・田村昌仁・伊奈潔：兵庫県南部地震の液状化地帯における戸建住宅の基礎の被害と修復 - 戸建住宅の基礎の修復に対する考え方 - ，土と基礎，地盤工学会，Vol. 46，No. 7，pp. 9-12，1998.7

阪神・淡路大震災で液状化被害が発生した芦屋市の住宅約 100 棟を調査した結果を報告しています。この調査結果に加え、これまでの文献や、下水道の掘削工事によって被害を受けた住宅に対し著者らがアンケート調査した結果も踏まえ、傾斜角と機能上の障害について以下の表のようにまとめています。

表3 床の傾斜角と機能上の障害

傾斜角 (rad)	傾斜角 (度) に換算)	居住者の感覚
5/1000	0.29	傾斜を感じる。
6/1000	0.34	不同沈下を意識する。
8/1000	0.46	傾斜に対して強い意識，苦情の多発。

安田進・橋本隆雄：鳥取県西部地震における住宅の液状化による沈下について，土木学会第 57 回年次学術講演会，pp. 1029-1030，2002.9

安田進：鳥取県西部地震による団地の被害，総合論文誌，日本建築学会，No. 2，pp. 45-46，2004.2

2000年鳥取県西部地震で液状化被害が発生した米子市安倍彦名団地の調査結果を報告しています。安倍彦名団地では、169棟の戸建て建物の傾きは以下ようになっていました。

- 傾き 5/1000 以下 (0.29° 以下) または未測定：53 棟
- 傾き 5/1000 ~ 10/1000 (0.29° ~ 0.57°)：39 棟
- 傾き 10/1000 ~ 15/1000 (0.57° ~ 0.86°)：30 棟
- 傾き 15/1000 以上 (0.86° 以上)：47 棟

合計すると、116棟が5/1000以上(0.29°以上)傾斜しました。

水平化工事を行ったか否かの境は、傾斜角が 5/1000 ~ 15/1000 (0.29° ~ 0.86°) の範囲でした。床が 10/1000 程度以上 (0.6° 程度以上) 傾斜するとめまいや頭痛が生じて水平復元工事を行わざるを得なかったと推定しています。

建物の傾斜は、地盤の液状化だけでなく、軟弱地盤にみられる圧密沈下(ゆっくりと時間をかけて沈下する現象)、近隣の掘削工事や重量物の設置でも生じます。頭痛などの自覚症状があり、

調べてみると建物が傾斜していたといった事例もありますので、ご注意ください。

東日本大震災の液状化被害等の実態を踏まえ、災害による住家被害認定が一部見直しされました。基礎と柱が一体的に傾いたときの判定は以下のように追加されています。

表4 基礎と柱が一体的に傾く不同沈下の場合の判定

四隅の柱の傾斜の平均	判定	運用	備考
1/100 以上， 1/60 未満	半壊	新規	1/100：医療関係者等にヒアリングを行い設定した居住者が苦痛を感じるとされている値
1/60 以上， 1/20 未満	大規模 半壊	新規	1/60：従来から基準値として使われている構造上の支障が生じる値
1/20 以上	全壊	従来 通り	

参考文献 [内閣府：防災情報のページ](#) 災害に係る住家の被害認定（2011年6月17日閲覧）

< 参考 - 6 > 地盤に係る住宅被害認定の運用見直しについて  
 (出典：内閣府 [http://www.bousai.go.jp/hou/pdf/jiban\\_unyou.pdf](http://www.bousai.go.jp/hou/pdf/jiban_unyou.pdf))

【見直しの主なポイント】

1. 傾斜による判定の追加(基礎と柱が一体的に傾く(不同沈下)の場合)

基礎・床も含めた傾斜の場合は以下により判定

- 1/20 四隅の傾斜の平均 全壊(従来通り)
- 1/60 四隅の傾斜の平均 < 1/20 大規模半壊(新規)
- 1/100 四隅の傾斜の平均 < 1/60 半壊(新規)



1/20の傾きとは:20cmの垂直高さに対して1cmの水平方向のずれ。(分母が大きいほど傾きは小さい)

1/60:従来から基準値として使われている構造上の支障が生じる値

1/100:医療関係者等にヒアリングを行い設定した居住者が苦痛を感じるとされている値

2. 住家の基礎等の潜り込みによる判定の追加

住家の基礎等の地盤面下への潜り込み状況により判定

潜り込み量	被害の程度
床上1mまで	全壊
床まで	大規模半壊
基礎の天端下25cmまで	半壊



床上1mまで:雨が降ると恒常的に床上1mまで浸水することから設定

床まで:雨が降ると恒常的に床上浸水することから設定

基礎の天端下25cmまで:雨が降ると恒常的に床下浸水することから設定

< 参考 - 7 > 液状化による構造物や地盤の変形推定方法の分類

東日本大震災における建物のめり込み沈下量の推定にあたっては、既往研究等を踏まえつつ、以下のような方向性が考えられる。

手法の分類		手法の概要	手法の特徴
即地的な被害データ等から推定する方法		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	簡易ではあるが、精度は低く、また、適用できる範囲、構造物が限定される
解析により推定する方法	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	比較的簡易であり、一定の精度を有している
	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	精度は高いが、方法は複雑で、また、詳細な地盤データが必要である。

### 3) 震災前地盤状況の検証結果

液状化による震災前の地盤沈下量は現地で沈下量の測量を行い、その結果を用いて以下のようなコンター図を作成する。

液状化予測断面図の作成

液状化被害（沈下）のコンター図の作成

液状化解析による地盤沈下量（ $D_{cy}$ ）コンター図の作成

液状化被害（沈下）と液状化解析による地盤沈下量（ $D_{cy}$ ）の比較検討

#### 【解説】

液状化による震災前の沈下量は現地で沈下量の測量を行い、その結果を用いて以下のようなコンター図を作成する。ただし、罹災証明で沈下量を測定していればその値を用いる。液状化の判定結果の  $P_L$  値および  $D_{cy}$  は、表を図-5のように着色し、見やすくすることが望ましい。なお、特異値がでた場合には、その理由が想定されればコメントを付すことが望ましい。

液状化予測断面図の作成

液状化被害（沈下）のコンター図の作成

液状化解析による地盤沈下量（ $D_{cy}$ ）コンター図の作成

液状化被害（沈下）と液状化解析による地盤沈下量（ $D_{cy}$ ）の比較検討

$P_L$ 値		$D_{cy}$	
$P_L = 0$	液状化発生の可能性はない	0	なし
$0 < P_L \leq 5$	液状化発生の可能性が低い	~ 5	軽微
$5 < P_L \leq 15$	液状化発生の可能性がある	5 ~ 10	小
$15 < P_L$	液状化発生の可能性が高い	10 ~ 20	中
		20 ~ 40	大
		40 ~	甚大

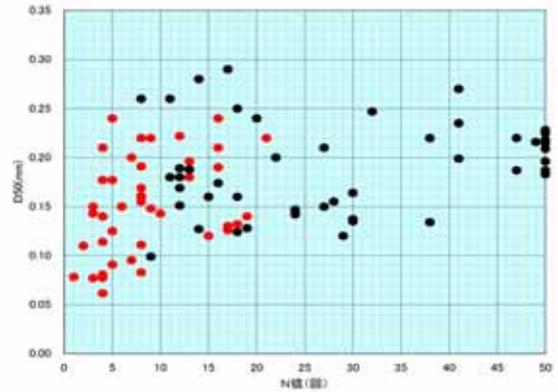
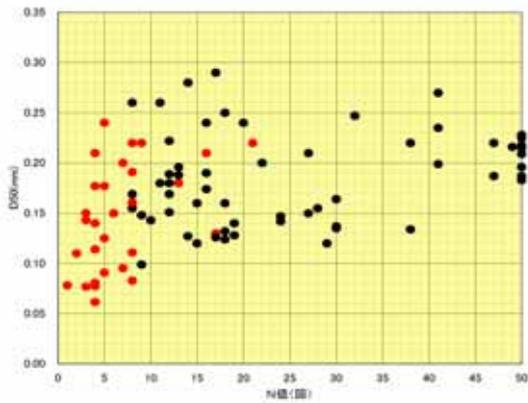
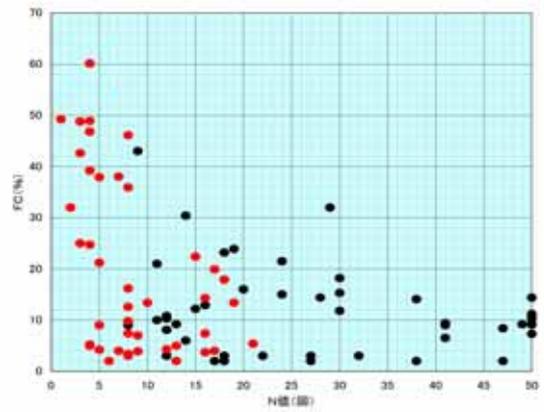
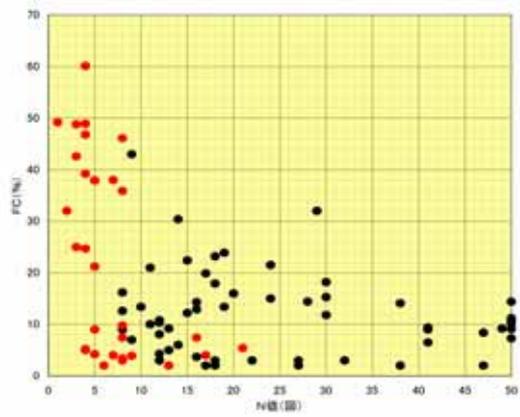
$$P_L \text{ 値の重み係数: } W_z(20\text{m}) = 10 - 0.5 \times Z$$

$$W_z(10\text{m}) = 20 - 2.0 \times Z$$

図-5 液状化の判定結果の表示例

表-1 震災前地盤状況検証結果一覧表

孔番	試験中心深度 (GL-m)	地層名	N値	Fc (%)	D <sub>50</sub> (%)	液化係数及び判定				沈下予測 種別	沈下量予測									
						M7.5 200gal	判定	M7.5 350gal	判定		M9.0 200gal	判定	M7.5 200gal	M7.5 350gal	M9.0 200gal					
a-1	1.30	Fs	17.0	2	0.290	2.933	×	1.676	×	1.589	×	PL値	20m	13.184	25.503	26.510				
	2.30		12.0	3	0.180	1.976	×	1.129	×	1.070	×		10m	17.910	30.920	32.060				
	3.30		6.0	2	0.150	0.560	○	0.320	○	0.303	○	Dcy (cm)	12.0	15.0	14.0					
	4.30		2.8	25	0.150	0.613	○	0.350	○	0.332	○									
	5.30	4.7	9	0.240	0.572	○	0.327	○	0.310	○										
	6.30	7.7	3	0.220	0.538	○	0.307	○	0.291	○	As2	18.0	3	0.160	1.286	×	0.735	○	0.696	○
	7.30	18.0	3	0.160	1.286	×	0.735	○	0.696	○										
8.30	17.0	4	0.130	0.973	○	0.556	○	0.527	○											
a-2	1.30	Fs	16.0	2	0.250	4.214	×	2.408	×	2.283	×	PL値	20m	9.439	18.704	19.663				
	2.30		7.0	4	0.200	0.827	○	0.472	○	0.448	○		10m	11.940	17.710	25.670				
	3.30		2.0	32	0.110	0.729	○	0.416	○	0.395	○	Dcy (cm)	14.0	17.5	16.5					
	6.30	4.0	5	0.210	0.412	○	0.235	○	0.223	○										
	7.30	13.0	2	0.180	0.759	○	0.434	○	0.411	○										
	8.30	27.0	2	0.150	2.636	×	1.506	×	1.428	×	As2	22.0	3	0.200	1.708	×	0.976	○	0.925	○
9.30	22.0	3	0.200	1.708	×	0.976	○	0.925	○											
b-1	1.30	Fs	11.0	8.8	0.261	3.773	×	2.156	×	2.044	×	PL値	20m	2.822	9.070	10.028				
	2.30		8.0	8.8	0.261	1.198	×	0.684	○	0.649	○		10m	5.640	16.020	16.020				
	3.30		11.0	8.8	0.261	1.600	×	0.914	○	0.867	○	Dcy (cm)	3.0	5.5	5.5					
	4.30		2.8	8.8	0.261	0.551	○	0.315	○	0.298	○									
b-2	1.30	Fs	17.0	9.6	0.259						PL値	20m	0.715	5.239	5.554					
	2.30		11.0	9.6	0.259	2.613	×	1.493	×	1.415		×	10m	1.140	8.410	8.920				
	3.30		6.0	9.6	0.259	0.937	○	0.535	○	0.507	○	Dcy (cm)	0.5	2.0	2.0					
b-3	1.35	Fs	12.0	6.4	0.278	4.346	×	2.484	×	2.354	×	PL値	20m	0.391	5.963	6.590				
	2.30		14.0	6.4	0.278	3.507	×	2.004	×	1.900	×		10m	0.630	8.440	9.290				
	3.30		6.0	15.6	0.238	0.953	○	0.545	○	0.516	○	Dcy (cm)	0.5	1.5	1.5					
	4.30	10.0	15.6	0.238	1.392	×	0.795	○	0.754	○										
	5.30	20.0	15.6	0.238	2.846	×	1.627	×	1.542	×										
b-4	1.30	Fs	3.0	21.1	0.180	1.051	×	0.601	○	0.569	○	PL値	20m	0.000	3.948	4.277				
	2.30		11.0	21	0.180	3.083	×	1.762	×	1.670	×		10m	0.000	6.240	6.750				
	3.30	As2	33.0	8.5	0.266	2.817	×	1.610	×	1.526	×	Dcy (cm)	0.0	2.1	2.1					
	4.30		30.0	8.5	0.266	2.698	×	1.542	×	1.461	×									
e-1	1.30	Fs	20.0	2	0.250	4.613	×	2.636	×	2.499	×	PL値	20m	4.657	14.259	15.389				
	2.30		8.0	9	0.240	1.281	×	0.732	○	0.694	○		10m	4.540	17.810	19.160				
	3.30		5.0	25	0.150	0.942	○	0.539	○	0.510	○	Dcy (cm)	5.0	7.0	7.0					
	6.30	7.0	5	0.210	0.559	○	0.319	○	0.303	○										
	7.30	15.0	2	0.180	0.899	○	0.513	○	0.487	○										
	8.30	21.0	2	0.150	1.714	×	0.979	○	0.928	○										
	9.30	33.0	3	0.200	2.699	×	1.542	×	1.462	×										
	10.30	42.0	2	0.220	2.719	×	1.554	×	1.473	×										
	11.30	40.0	3	0.200	2.760	×	1.577	×	1.495	×										
f-1	1.30	Fs	11.0	3.9	0.220	3.317	×	1.896	×	1.797	×	PL値	20m	2.804	9.620	10.095				
	2.30		16.0	3.9	0.220	2.797	×	1.598	×	1.515	×		10m	3.340	7.650	7.950				
	3.30		9.0	3.9	0.220	0.751	○	0.429	○	0.407	○	Dcy (cm)	2.5	5.0	5.0					
	11.30		25.0	7.4	0.210	2.450	×	1.400	×	1.327	×									
	12.30	25.0	7.4	0.210	2.494	×	1.425	×	1.351	×										
	13.30	16.0	7.4	0.210	0.877	○	0.501	○	0.475	○										
	14.30	17.0	7.4	0.210	0.920	○	0.526	○	0.498	○										
	15.30	18.0	7.4	0.210	0.966	○	0.552	○	0.523	○										
16.30	19.0	7.4	0.210	1.017	×	0.581	○	0.551	○											
f-2	1.30	Fs	15.0	3.4	0.160	4.015	×	2.294	×	2.175	×	PL値	20m	3.961	15.862	17.031				
	2.30		9.0	3.4	0.160	0.984	○	0.563	○	0.533	○		10m	5.430	20.540	20.840				
	3.30		10.0	3.4	0.160	0.875	○	0.500	○	0.474	○	Dcy (cm)	4.5	11.0	10.5					
	4.30		8.0	3.4	0.160	0.659	○	0.376	○	0.357	○									
	11.30	22.0	5.4	0.220	1.502	×	0.858	○	0.814	○										
	12.30	23.0	5.4	0.220	1.534	×	0.876	○	0.831	○										
	13.30	34.0	5.4	0.220	2.639	×	1.508	×	1.429	×										
	14.30	28.0	5.4	0.220	2.543	×	1.453	×	1.378	×										
	15.30	21.0	5.4	0.220	0.996	○	0.569	○	0.540	○										
	16.30	25.0	5.4	0.220	1.377	×	0.787	○	0.746	○										
	17.30	17.0	5.4	0.220	0.770	○	0.440	○	0.417	○										
	18.30	42.0	5.4	0.220	2.877	×	1.644	×	1.559	×										
19.30	19.0	5.4	0.220	0.835	○	0.477	○	0.452	○											
20.00	29.0	5.4	0.220	1.693	×	0.967	○	0.917	○											

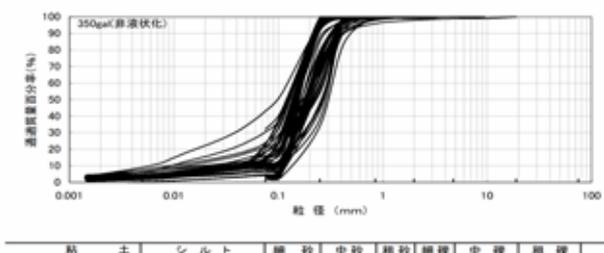
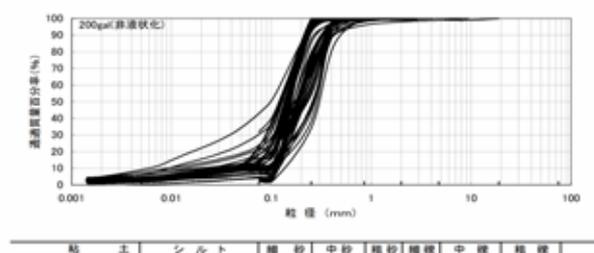
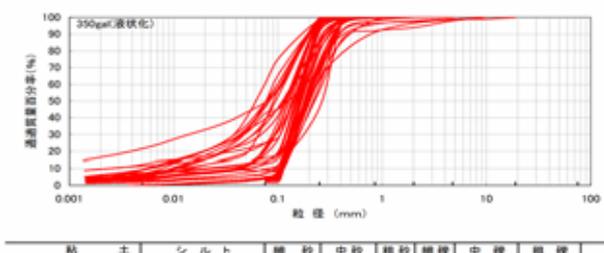
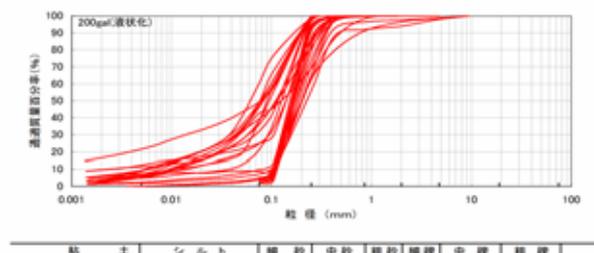
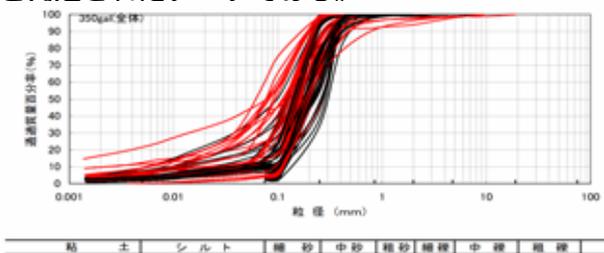
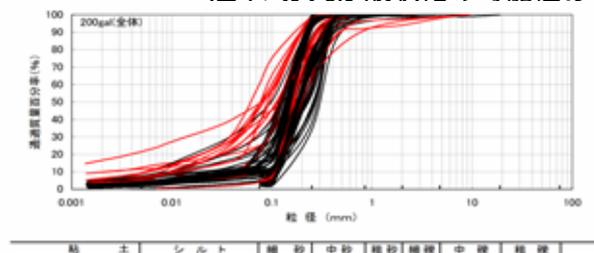


(a) 200gal の場合

(b) 350gal の場合

図-6 200gal と 350gal の場合の N 値と Fc および D50 の関係

注) : 赤丸が液状化の可能性ありと判定されたデータである。



(a) 200gal の場合

(b) 350gal の場合

図-7 200gal と 350gal の場合の粒径加積曲線

表-2 震災前判定結果

地点名	瀬来地区：既存a-1		P L値	26.51	(注) 判定外
基準名	建築基礎構造設計指針		水の単位体積重量	9.8 (kN/m <sup>3</sup> )	**1 地下水位より上(液状化の可能性は低い)
判定方法	地表面設計用水平加速度と、実測N値		上載荷重	0.0 (kN/m <sup>2</sup> )	**2 τ d / σ' vが0.0以下である(液状化の可能性は低い)
Pc>50%の取扱い	液状化の判定外とする		使用曲線	γ = 5 (%)	**3 Fc ~ ΔNfグラフ範囲外(液状化の可能性は低い)
			設計加速度	300.00 (gal)	**4 全上載圧または有効上載圧が0.0以下となる層である
			マグニチュード	9.0	

標高	深さ	層厚	土質種類	N値	判定深さ	実測重量	飽和重量	存在上載圧	全上載圧	せん断応力	平均粒径	一様性係数	液状化係数	応力比	液状化判定	液状化の判定					
																せん断係数	せん断力	補正N値	せん断力比	せん断力比	判定
0	0.0		砂質土	17.0	1.30			14.7	23.1	2.0	0.290	0.00	0.00	0.00	0.00	0.989	5.6	43.88	0.600	0.378	1.589
			砂質土	12.0	2.30			22.7	40.9	3.0	0.180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.985	9.7	24.93	0.456	0.426	1.070
			砂質土	6.0	3.30			30.7	58.7	2.0	0.150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.961	13.7	10.72	0.135	0.448	0.303
			砂質土	2.8	4.30			38.7	76.5	25.0	0.150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.938	17.5	12.96	0.150	0.453	0.332
			砂質土	4.7	5.30			46.7	94.3	9.0	0.240	0.00	0.00	0.00	0.00	0.929	21.3	11.61	0.141	0.455	0.319
	5.90	5.90	砂質土	7.7	6.30	17.8	17.8	54.9	112.3	3.0	0.220	0.00	0.00	0.00	0.00	0.906	24.9	10.29	0.132	0.454	0.291
			砂質土	18.0	7.30			63.3	139.5	3.0	0.160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.891	28.5	22.40	0.313	0.450	0.696
			砂質土	17.0	8.30			71.7	148.7	4.0	0.130	0.00	0.00	0.00	0.00	0.870	31.9	19.88	0.233	0.446	0.927
			砂質土	36.0	9.30			80.1	166.9	2.0	0.220	0.00	0.00	0.00	0.00	0.900	0.0	39.83	0.600	0.000	
			砂質土	27.0	10.30			88.5	185.1	3.0	0.210	0.00	0.00	0.00	0.00	0.900	0.0	28.42	0.600	0.000	
			砂質土	42.0	11.30			96.9	203.3	3.0	0.200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.900	0.0	42.24	0.600	0.000	
			砂質土	38.0	12.30			105.3	221.5	3.0	0.200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.900	0.0	36.66	0.600	0.000	
	13.00	7.10	砂質土	50.0	13.30	18.2	18.2	114.1	240.2	3.0	0.200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.900	0.0	46.33	0.600	0.000	
			砂質土	48.0	14.30			124.0	259.9	3.0	0.200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.900	0.0	42.67	0.600	0.000	
			砂質土	50.0	15.30			133.9	279.5	3.0	0.200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.900	0.0	42.77	0.600	0.000	
			砂質土	43.0	16.30			143.8	299.3	3.0	0.200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.900	0.0	38.50	0.600	0.000	
			砂質土	33.0	17.30			153.7	318.9	3.0	0.200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.741	57.8	18.36	0.205	0.376	0.546
			砂質土	28.0	18.30			163.6	338.6	3.0	0.200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.726	60.2	21.67	0.285	0.388	0.776
	20.00	7.00	砂質土	60.0	19.30	19.7	19.7	173.5	358.4	3.0	0.200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.900	0.0	37.58	0.600	0.000	

表-3 震災前液状化における地盤変位量 (Dcy) 算定結果

既存 a-1地点 液状化による地盤変位量(Dcy)算定結果 地下水位=GL- 0.45 m

液状化解析結果				M=7.5 加速度=200gal				M=7.5 加速度=350gal				M=9.0 加速度=200gal				M=9.0 加速度=300gal						
深度	N値	補正N値 Na	液状化係数	せん断応力比	安全率 FL	γcy	地盤変位量 Dcy(m)	せん断応力比	安全率 FL	γcy	地盤変位量 Dcy(m)	せん断応力比	安全率 FL	γcy	地盤変位量 Dcy(m)	せん断応力比	安全率 FL	γcy	地盤変位量 Dcy(m)			
0.45																						
1.30	17.0	43.9	0.600	0.205	2.927			0.358	1.676			0.252	2.381							0.378	1.587	
2.30	12.0	24.9	0.456	0.231	1.974			0.404	1.129			0.284	1.606							0.426	1.070	
3.30	6.0	10.7	0.135	0.241	0.560	0.03	0.030	0.422	0.320	0.03	0.030	0.297	0.455	0.03	0.030	0.445	0.303	0.03	0.030	0.445	0.303	
4.30	2.8	13.0	0.150	0.245	0.612	0.03	0.030	0.429	0.350	0.03	0.030	0.302	0.497	0.03	0.030	0.453	0.331	0.02	0.020	0.453	0.331	
5.30	4.7	11.6	0.141	0.247	0.571	0.02	0.020	0.432	0.326	0.03	0.030	0.304	0.464	0.02	0.020	0.455	0.310	0.03	0.030	0.455	0.310	
6.30	7.7	10.3	0.132	0.246	0.537	0.03	0.030	0.430	0.307	0.03	0.030	0.303	0.436	0.03	0.030	0.454	0.291	0.03	0.030	0.454	0.291	
7.30	18.0	22.4	0.313	0.244	1.283	0.01	0.005	0.426	0.735	0.01	0.005	0.300	1.043			0.450	0.696	0.005	0.005	0.450	0.696	
8.30	17.0	19.9	0.235	0.241	0.975	0.01	0.005	0.422	0.557	0.01	0.010	0.297	0.791	0.01	0.005	0.445	0.528	0.01	0.010	0.445	0.528	
9.30	36.0	39.8	0.600	0.238	2.521			0.416	1.442			0.293	2.048									
10.30	27.0	28.4	0.600	0.235	2.553			0.411	1.460			0.289	2.076									
11.30	42.0	42.2	0.600	0.231	2.597			0.405	1.481			0.285	2.105									
12.30	38.0	36.7	0.600	0.228	2.632			0.398	1.508			0.280	2.143									
13.30	50.0	46.3	0.600	0.223	2.691			0.391	1.535			0.275	2.182									
14.30	48.0	42.7	0.600	0.218	2.752			0.382	1.671			0.269	2.230									
15.30	50.0	42.8	0.600	0.213	2.817			0.373	1.609			0.263	2.281									
16.30	43.0	35.5	0.600	0.209	2.871			0.365	1.644			0.257	2.335									
17.30	23.0	18.4	0.205	0.204	1.005			0.357	0.574	0.01	0.010	0.251	0.817	0.01	0.010	0.376	0.545	0.01	0.010	0.376	0.545	
18.30	28.0	21.7	0.285	0.199	1.432			0.349	0.817	0.005	0.005	0.245	1.163			0.368	0.774	0.005	0.005	0.368	0.774	
19.30	50.0	37.6	0.600	0.195	3.077			0.341	1.760			0.240	2.500									
20.00																						
地盤変位量(Dcy)総計(cm)							12	15.0							12.5							14.0

表 4.5.1 Dcy と液状化の程度の関係

Dcy (cm)	液状化の程度
0	なし
0-5	軽微
05-10	小
10-20	中
20-40	大
40-	甚大

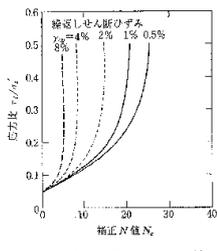


図 4.5.7 補正 N 値と繰返しせん断係数の関係(注)

液状化の程度:中

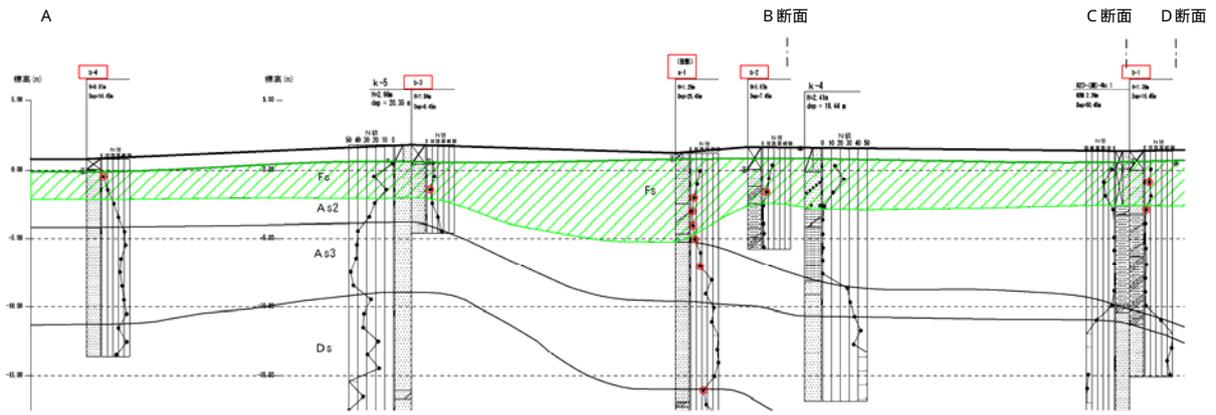


図-8 震災前における液状化予測断面図 1

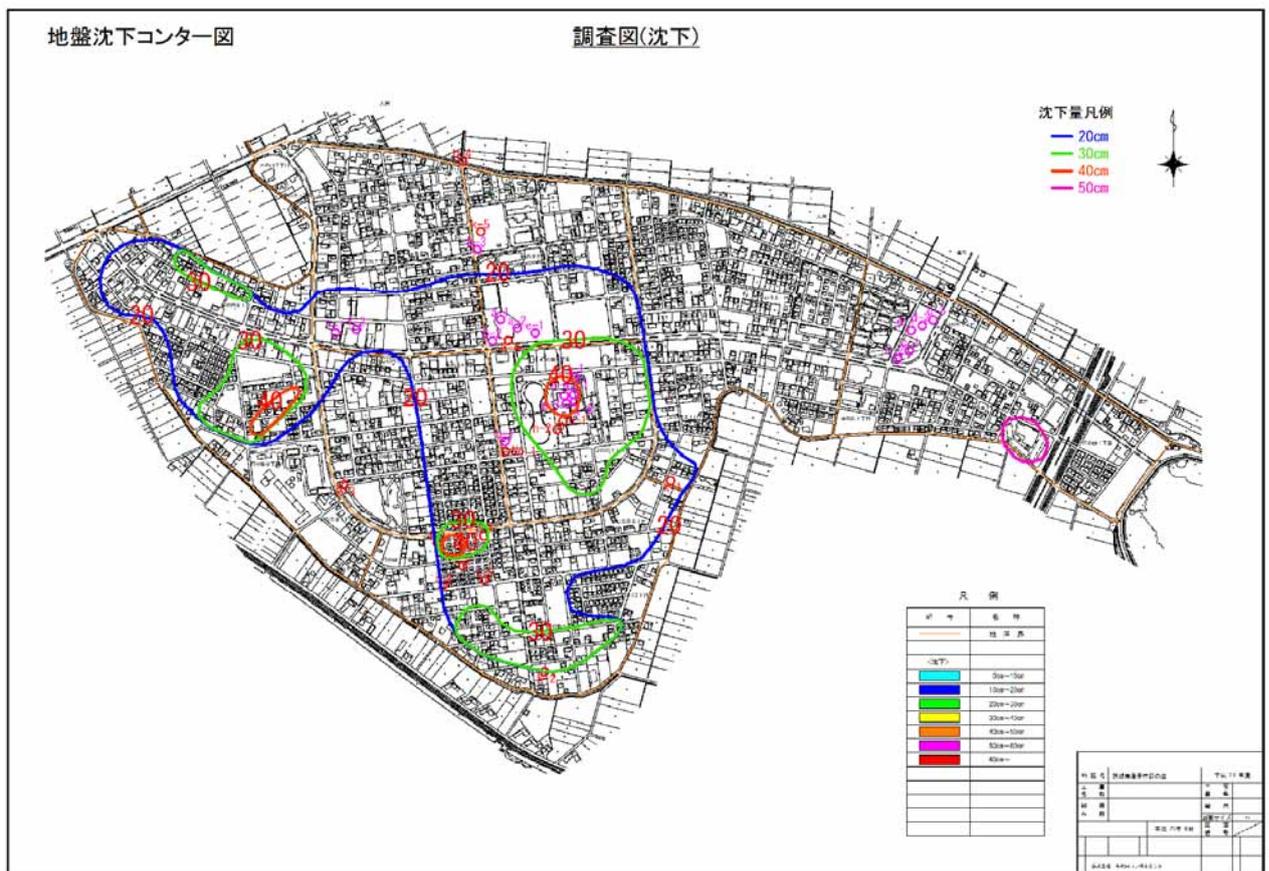


図-9 液状化被害（地盤沈下）コンター図 1

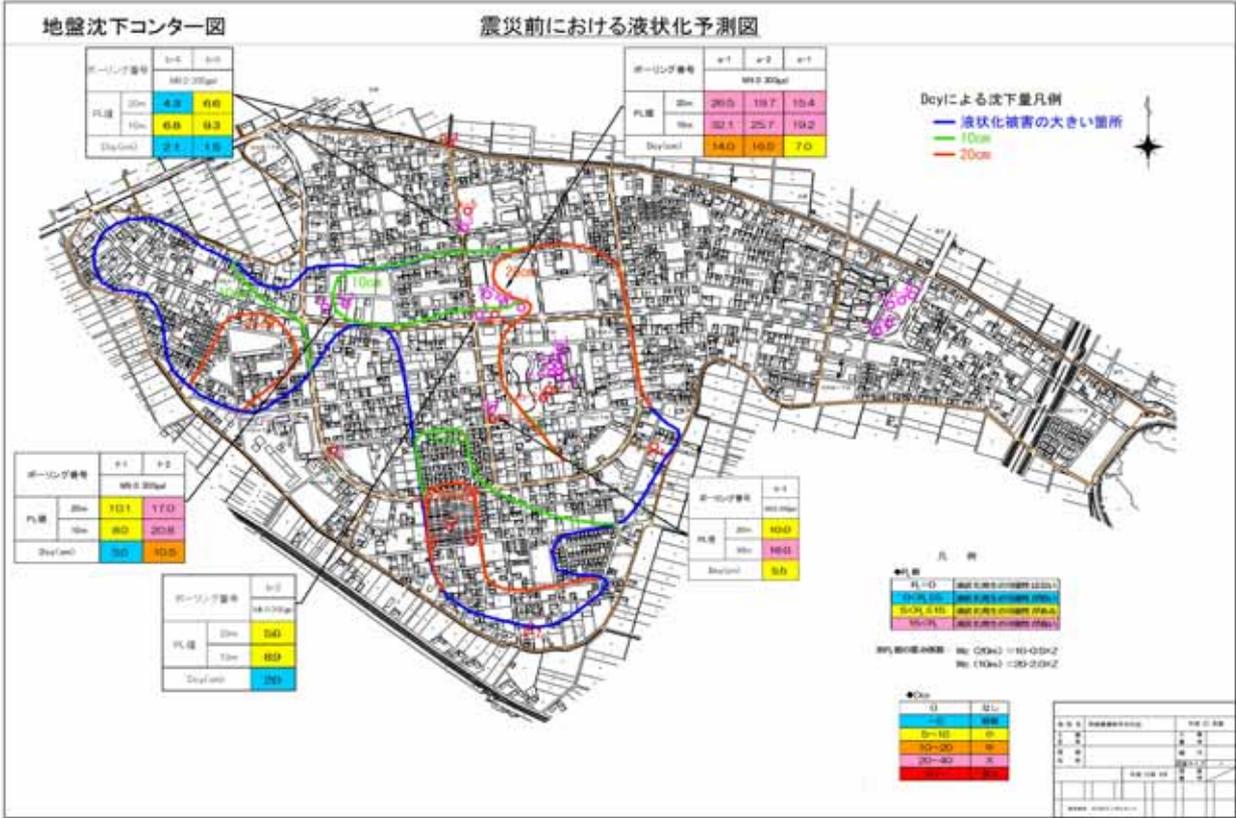
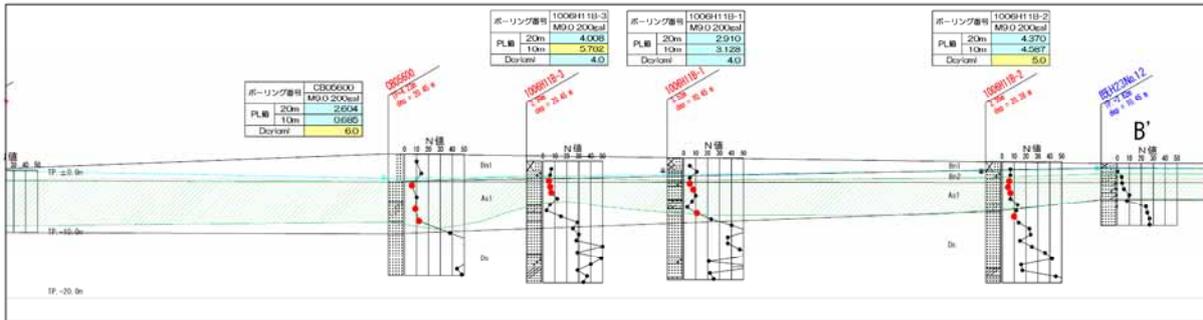


図-10 震災前における液状化解析による地盤沈下量 (Dcy) コンター図 1



●PL値

PL=0	液状化発生の可能性は低い
0<PL≤5	液状化発生の可能性が低い
5<PL≤15	液状化発生の可能性がある
15<PL	液状化発生の可能性が高い

●Dcr

0	なし
~5	軽微
5~10	小
10~20	中
20~40	大
40~	特大

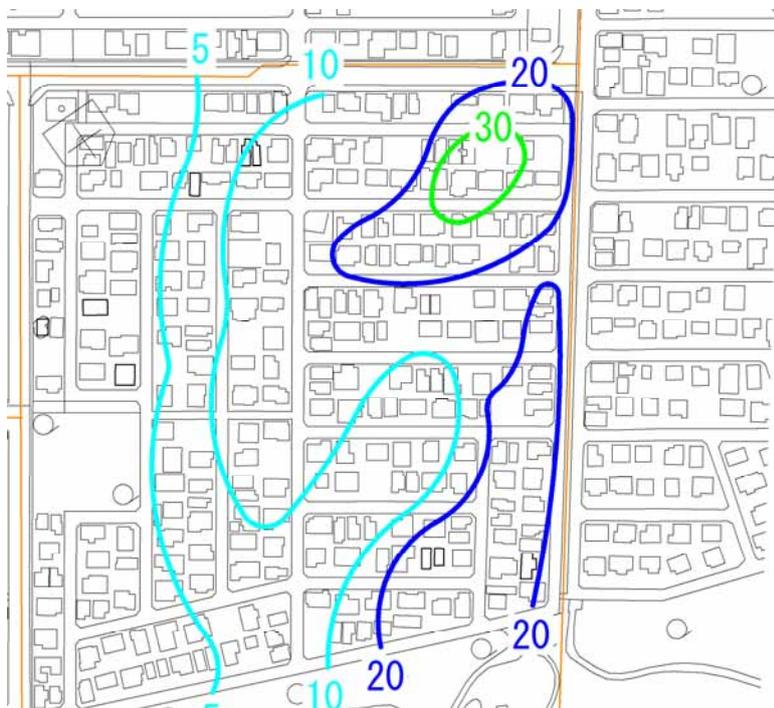
※PL値の読み取り： Wz (20m) =10・0×Z  
Wz (10m) =20・20×Z

図-22 震災前における液状化予測分布図 B断面 (M9.0 200gal)

縮尺 縦1:500, 横1:1,000

赤字のボーリングは震災前施工  
青字のボーリングは震災後施工  
N値の●印はFL<1.0

図-11 震災前における液状化予測断面図 2



凡例

記号	名称
—	地区界
＜沈下等高線＞	
—	10cm
—	20cm
—	30cm
—	40cm
—	50cm
—	60cm

H24.2 国交省調査

図-12 液状化被害（地盤沈下）コンター図 2

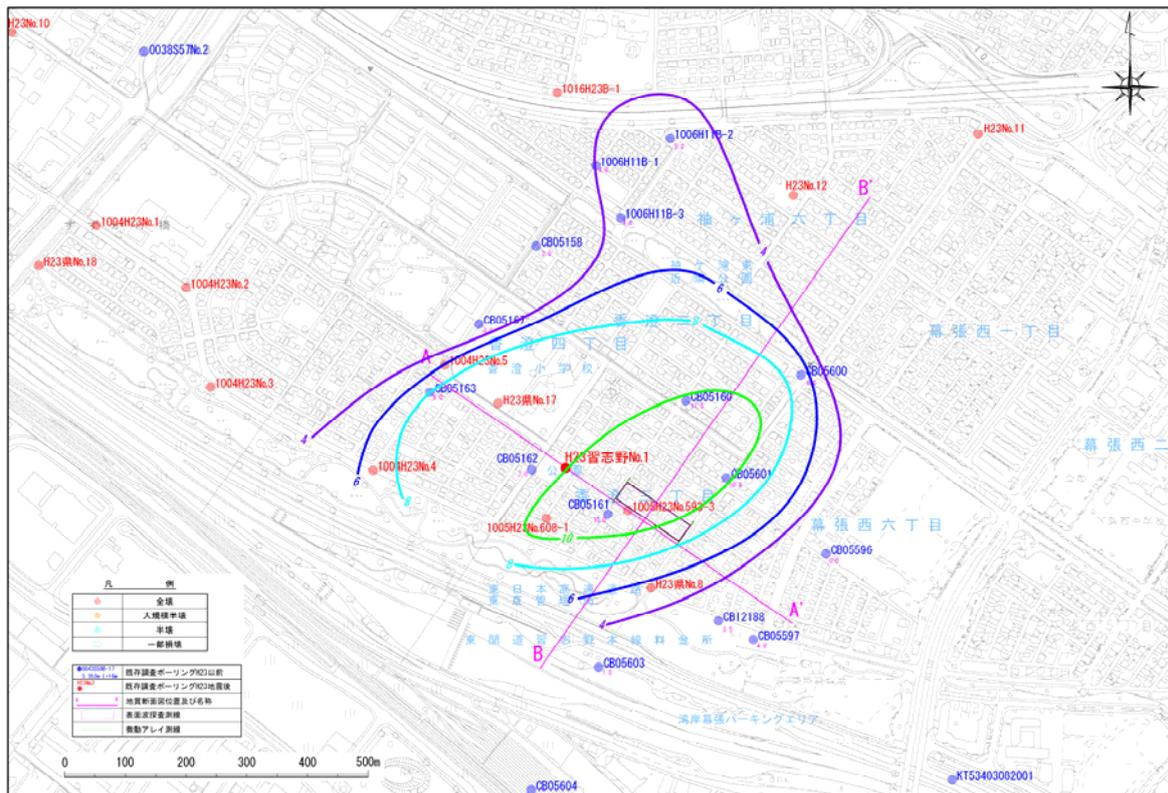


図-13 震災前における液状化解析による地盤沈下量 (Dcy) コンター図2

## 参考文献

- 1) 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>
- 2) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 耐震設計編, pp.26, 2002.3
- 3) 国土庁防災局震災対策課: 液状化地域ゾーニングマニュアル(平成10年度版), pp.41, 1999.1
- 4) 日本建築学会: 建築構造設計指針, pp.66, 2000.10
- 5) Kohji TOKIMATSU, Kota KATSUMATA: LIQUEFACTION-INDUCED DAMAGE TO BUILDINGS IN URAYASU CITY DURING THE 2011 TOHOKU PACIFIC EARTHQUAKE, Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, March 1-4, 2012, Tokyo, Japan
- 6) 国土交通省関東地方整備局, 公益社団法人 地盤工学会: 東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書 別冊資料(調査票No.118) pp.1, 2011.8, [http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000043554.pdf](http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000043554.pdf)
- 7) 国土交通省関東地方整備局, 公益社団法人 地盤工学会: 東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書 別冊資料(調査票No.118) pp.5, 2011.8 [http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000043554.pdf](http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000043554.pdf)

### Step 3 再液状化診断

#### (3) 再液状化の場合における地盤沈下量等予測

##### 1) 新規ボーリング箇所計画

再液状化の場合における地盤沈下量予測や液状化対策範囲選定の目安とするため、調査対象地区を200～500m程度のメッシュ状に分割し、必要に応じてボーリング調査を追加する。地震前後の地盤の状況を把握するために既存のボーリングと重複させることが考えられる。

#### 【解説】

再液状化の場合における地盤沈下量予測や液状化対策範囲選定の目安とするため、必要に応じて新規のボーリング箇所を計画する。液状化被害箇所を対象に、図-1に示すようなメッシュ状に分割し、200m～500m程度の割合で、ボーリング調査の追加を検討する。500m間隔で概況を把握した後に、その間を追加調査することも考えられる。

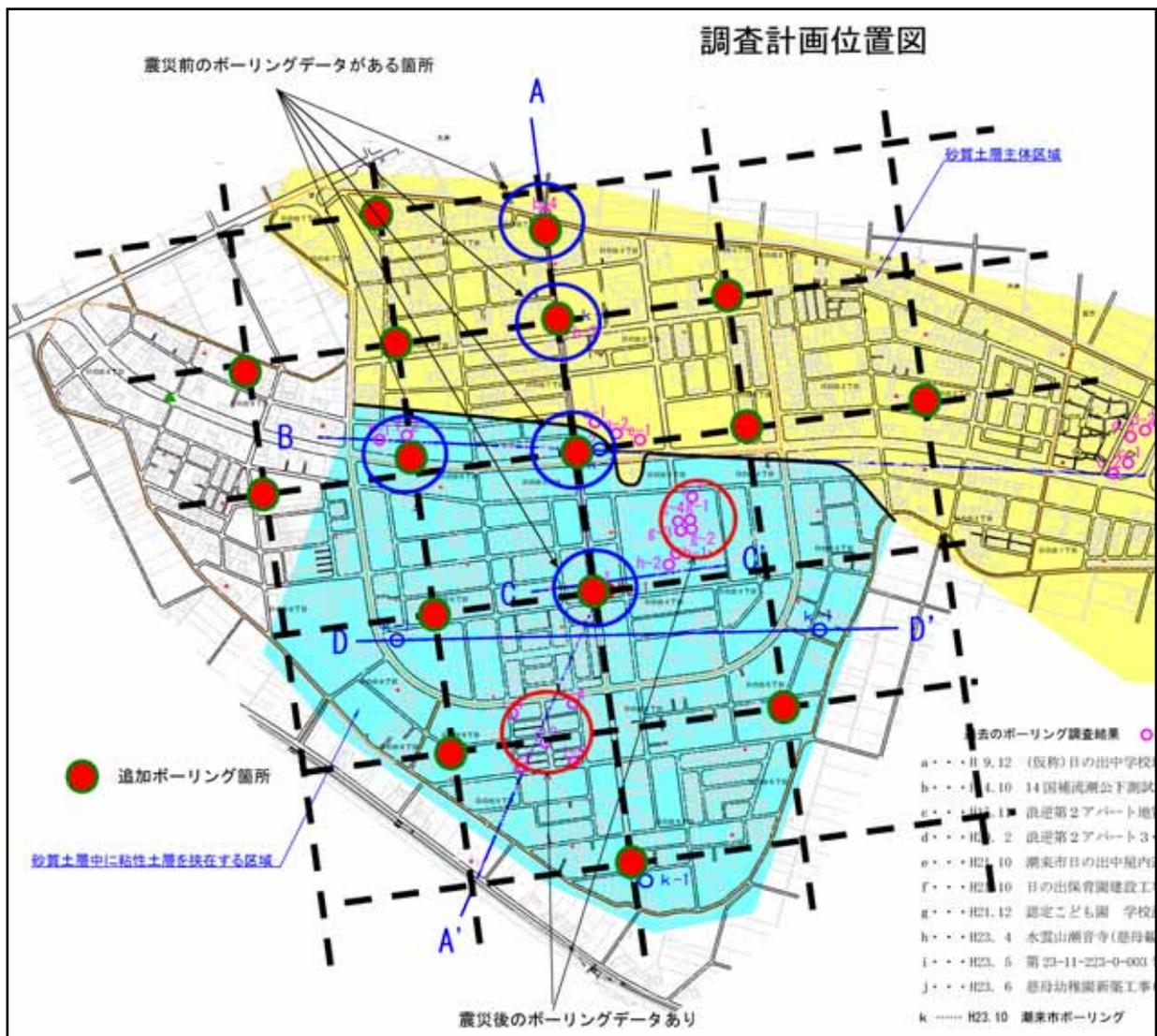


図-1 新規ボーリング箇所位置図

## 2) ボーリング深度および試験数量

ボーリング調査深度は、 $P_L$  値や  $D_{cy}$  値(地盤変位量)を算出するため深度 20m を基本とし、各深度ごとに物理試験を実施する。液状化対策案として地下水位低下工法の選択が想定される場合には、液状化層を対象に現場透水試験を行っておくことが考えられる。また、液状化地盤層の下部に粘性土の沖積層の地盤がある場合は、軟弱層(シルト)の圧密沈下量推定のために圧密試験の実施が想定される。

### 【解説】

ボーリング深度および試験数量は、以下の手順で行うことが想定される。

ボーリング調査深度： $P_L$  値や  $D_{cy}$  値(地盤変位量)を算出するため深度 20m を基本とする。ただし、既往のボーリング調査結果等により液状化層の深度分布がある程度予測されている場合には、調査の費用対効果を考えて一部の調査箇所を砂層の予測深度までとすることも考えられ、必ずしも全箇所を 20m まで行う必要はない。

試験数量：深度ごとに物理試験を実施し液状化判定の資料とする。

現場透水試験：液状化対策案として、地下水位低下工法が挙げられるため、液状化層を対象に現場透水試験を実施する。

圧密試験：液状化層以深に軟弱層(シルト)が分布した場合、地下水低下工法や盛土を行う場合における圧密沈下量推定のために圧密試験を実施する。

地盤状況のタイプとしては、単純に分類すると図-2、図-3に示すような以下の2タイプがある。

タイプ1：液状化層以深に軟弱層が分布する場合

タイプ2：砂質土層単一層となる場合

さらに詳細な数値解析(動的FEM解析等)を行う場合は、表-1に示すような以下の調査が必要となる。

高密度地表面探査

微動アレー探査

P S 検層・密度検層

室内力学試験

- ・地層ごとの動的変形特性試験(粘性土・砂質土)
- ・液状化対象層の液状化強度試験
- ・液状化対象層の三軸圧縮試験(CD)

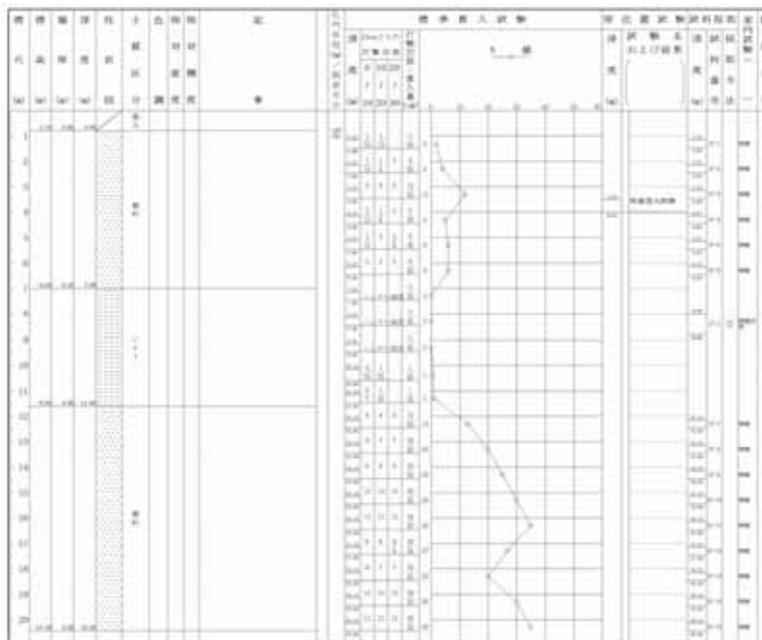


図-2 タイプ1：液状化層以深に軟弱層が分布する場合の柱状図例

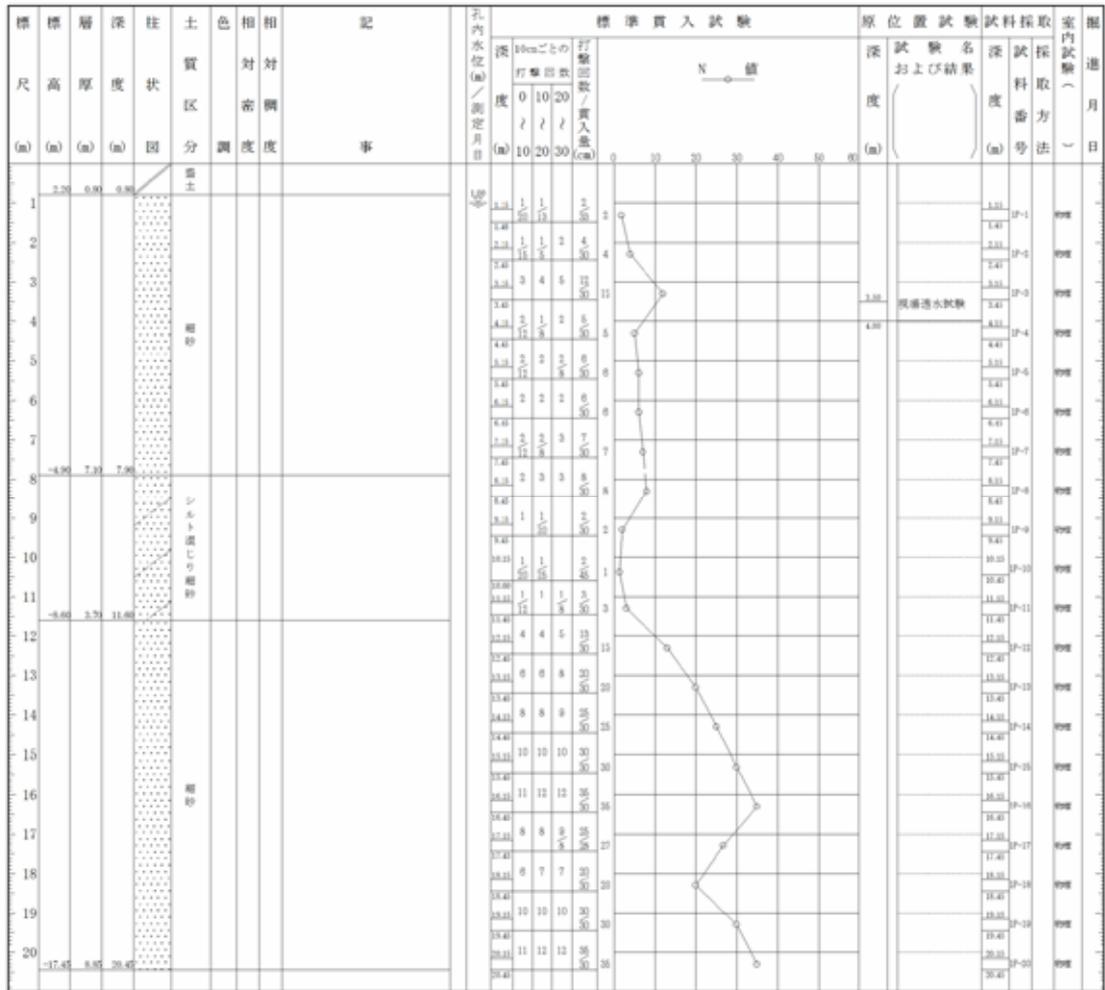


図-3 タイプ2：砂質土層単一層となる場合の柱状図例





図-5 表面波探査及び微動アレイ測線位置図

高精度表面波探査  
解析断面図

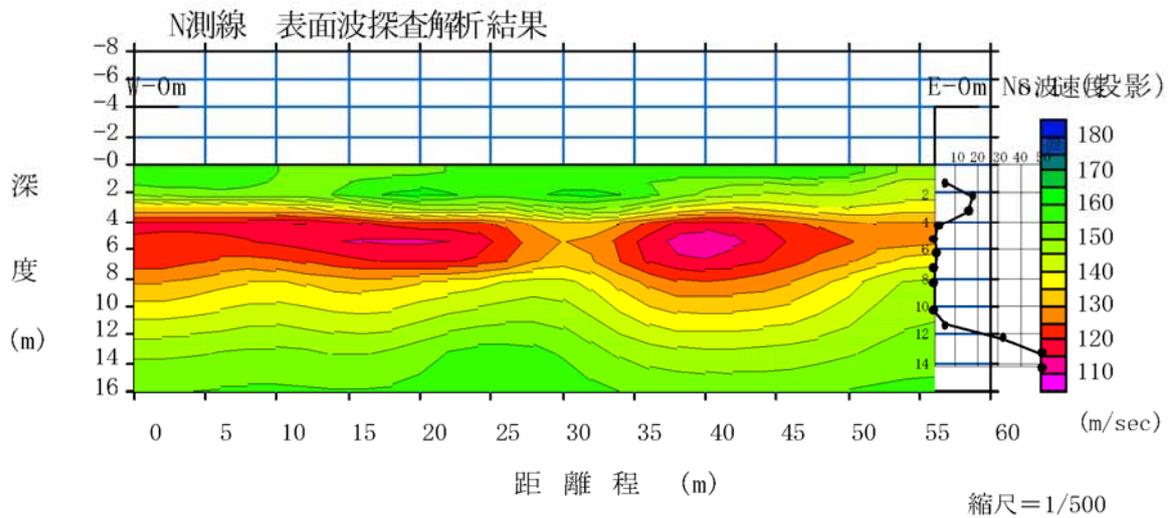


図-6 表面波探査図

3) 再液状化における地盤沈下量予測

再液状化における地盤沈下量予測は、各地方自治体（市町村等）において地域の社会的、経済的状況を踏まえた検討に資するため、基本的に以下の3タイプの検討が必要になることが想定される。

タイプ1：200gal、M7.5（中地震による中程度の揺れ）

タイプ2：200gal、M9.0（巨大地震による中程度の揺れ）

タイプ3：350gal、M7.5（直下型地震による大きな揺れ）

ただし、即地的な状況を踏まえながら、既往最大の地震（巨大地震による大きな揺れ）における地盤状況等について考慮することも考えられる。

【解説】

再液状化における地盤沈下量予測は、以下の手順が想定される。

震災前と同様に液状化判定を行い、再液状化範囲を明確にする。

$P_L$  値および  $D_{cy}$  値（地盤変位量）を算出し、地盤沈下量予測を行う。

$D_{cy}$  算出は、「建築基礎構造設計指針（日本建築学会）」の＜参考-2＞液状化に伴う地盤物性と地盤変形量の予測に準拠して行う。

地震タイプ別の液状化指標の目安としては、＜参考-4＞液状化に伴う  $F_L$ 、 $P_L$ 、 $D_{cy}$  の計算の考え方を参照されたい。

表-2 液状化係数  $F_L$  を用いた各層の液状化可能性の予測

孔番	試験中心深度 (GL-m)	地層名	N値	Fc (%)	D <sub>50</sub> (%)	液状化係数及び判定				沈下予測		沈下量予測							
						M7.5 200gal	判定	M7.5 350gal	判定	M9.0 200gal	判定	沈下予測 種別	M7.5 200gal	M7.5 350gal	M9.0 200gal				
No. 1	1.30	Fs	5.0	6.0	0.170	0.868	○	0.496	○	0.470	○	PL値 20m	1.5	4.0	4.2				
	2.30		19.0	7.0	0.250	2.890	×	1.652	×	1.566	×		10m	1.3	4.8	5.1			
	3.30		16.0	7.0	0.250	2.694	×	1.540	×	1.459	×		Dcy (cm)	3.3	4.6	4.6			
k-1	1.30	Fs	10.0	13.6	0.235	3.417	×	1.953	×	1.851	×	PL値 20m	0.5	1.8	1.9				
	2.30		14.0	10.0	0.239	2.854	×	1.631	×	1.546	×		10m	0.0	0.0	0.0			
	3.30		30.0	10.2	0.176	2.652	×	1.516	×	1.437	×		Dcy (cm)	1.0	1.0	1.0			
k-2	1.30	Bk	6.0	10.9	0.192							PL値 20m	3.4	7.4	7.7				
	2.30		Fs	18.0	10.1	0.174	3.655	×	2.088	×	1.980		×	10m	1.6	3.1	3.2		
	3.30			16.0	10.1	0.174	3.219	×	1.840	×	1.744	×	Dcy (cm)	3.0	4.5	4.5			
	8.30	As2	4.0	17.4	0.147	0.645	○	0.368	○	0.349	○								
	9.30		8.0	17.4	0.147	0.795	○	0.454	○	0.431	○								
	10.30		23.0	17.4	0.147	2.702	×	1.544	×	1.464	×								
11.30	32.0		17.4	0.147	2.722	×	1.556	×	1.474	×									
12.30	33.0	17.4	0.147	2.748	×	1.570	×	1.488	×										
k-3	1.30	Fs	6.0	9.1	0.172	1.320	×	0.750	○	0.715	○	PL値 20m	0.8	3.3	3.7				
	2.30		17.0	15.5	0.148	3.083	×	1.762	×	1.670	×		10m	0.0	3.8	4.5			
	3.30		9.0	34.3	0.125	2.012	×	1.150	×	1.090	×		Dcy (cm)	2.0	4.1	4.1			
k-4	1.30	Fs	14.0	11.9	0.264	3.832	×	2.189	×	2.075	×	PL値 20m	0.0	0.0	0.0				
	2.30		24.0	24.5	0.137	3.115	×	1.780	×	1.687	×		10m	0.0	0.0	0.0			
	3.30		12.0	30.4	0.117	2.853	×	1.630	×	1.546	×		Dcy (cm)	0.0	0.0	0.0			
	4.30		2.0	82.8	0.007														
k-5	1.35	Fs	1.0	17.0	0.218	0.915	○	0.523	○	0.496	○	PL値 20m	0.5	6.6	7.2				
	2.30		22.0	13.2	0.151	3.451	×	1.972	×	1.869	×		10m	0.9	9.6	10.3			
	3.30		8.0	13.9	0.152	1.177	×	0.672	○	0.637	○								
	4.30	As2	21.0	15.1	0.153	2.916	×	1.666	×	1.579	×	Dcy (cm)	1.6	4.9	4.4				
	5.30		27.0	15.1	0.153	2.821	×	1.612	×	1.528	×								
i-1	1.30	Fs	4.0	24.7	0.140	1.017	×	0.581	○	0.551	○	PL値 20m	5.7	22.8	24.1				
	2.30		9.0	33.0	0.100	2.511	×	1.435	×	1.360	×								
	3.30		8.0	16.2	0.128	1.159	×	0.662	○	0.628	○					10m	1.7	20.1	21.6
	4.30		8.0	9.8	0.138	0.833	○	0.476	○	0.451	○								
	10.30	As2	7.0	38.0	0.095	0.768	○	0.439	○	0.416	○	Dcy (cm)	4.0	9.1	9.1				
	11.30		8.0	46.1	0.083	0.890	○	0.503	○	0.477	○								
	12.30		4.0	48.9	0.077	0.681	○	0.389	○	0.369	○								
	13.30		4.0	46.8	0.081	0.681	○	0.389	○	0.369	○								
	14.30		4.0	52.1	0.062														
	15.30		8.0	35.9	0.111	0.803	○	0.459	○	0.435	○								
i-2	1.30	Fs	13.0	9.2	0.188	3.218	×	1.839	×	1.743	×	PL値 20m	1.7	6.0	6.7				
	2.30		8.0	12.6	0.169	1.490	×	0.851	○	0.807	○								
	3.30		8.0	7.4	0.191	0.796	○	0.455	○	0.431	○					10m	2.7	9.6	10.6
	4.30		15.0	12.2	0.160	2.498	×	1.427	×	1.353	×								
	9.30	As2	14.0	30.4	0.127	1.919	×	1.097	×	1.040	×	Dcy (cm)	1.0	2.0	1.5				
	10.30		19.0	23.9	0.128	2.442	×	1.395	×	1.323	×								
	11.30		24.0	21.5	0.147	2.482	×	1.418	×	1.344	×								
	12.30		30.0	18.2	0.135	2.523	×	1.442	×	1.367	×								
	13.30		38.0	14.1	0.134	2.567	×	1.467	×	1.391	×								
	14.30		30.0	15.2	0.137	2.614	×	1.494	×	1.416	×								
15.30	19.0	13.4	0.140	1.672	×	0.956	○	0.906	○										

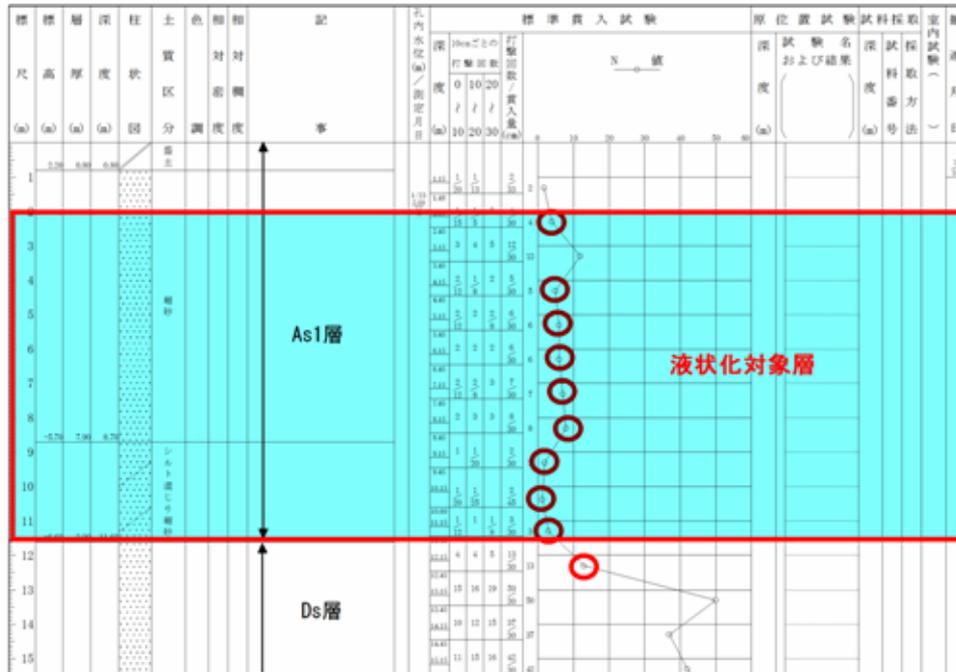


図-7 液状化対象層の特定



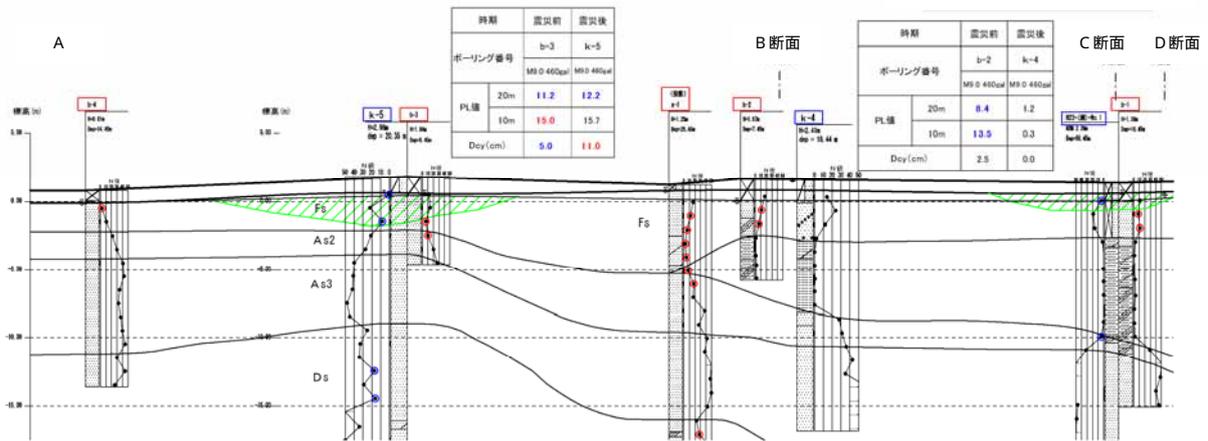


図-8 震災後における液状化予測断面図 1

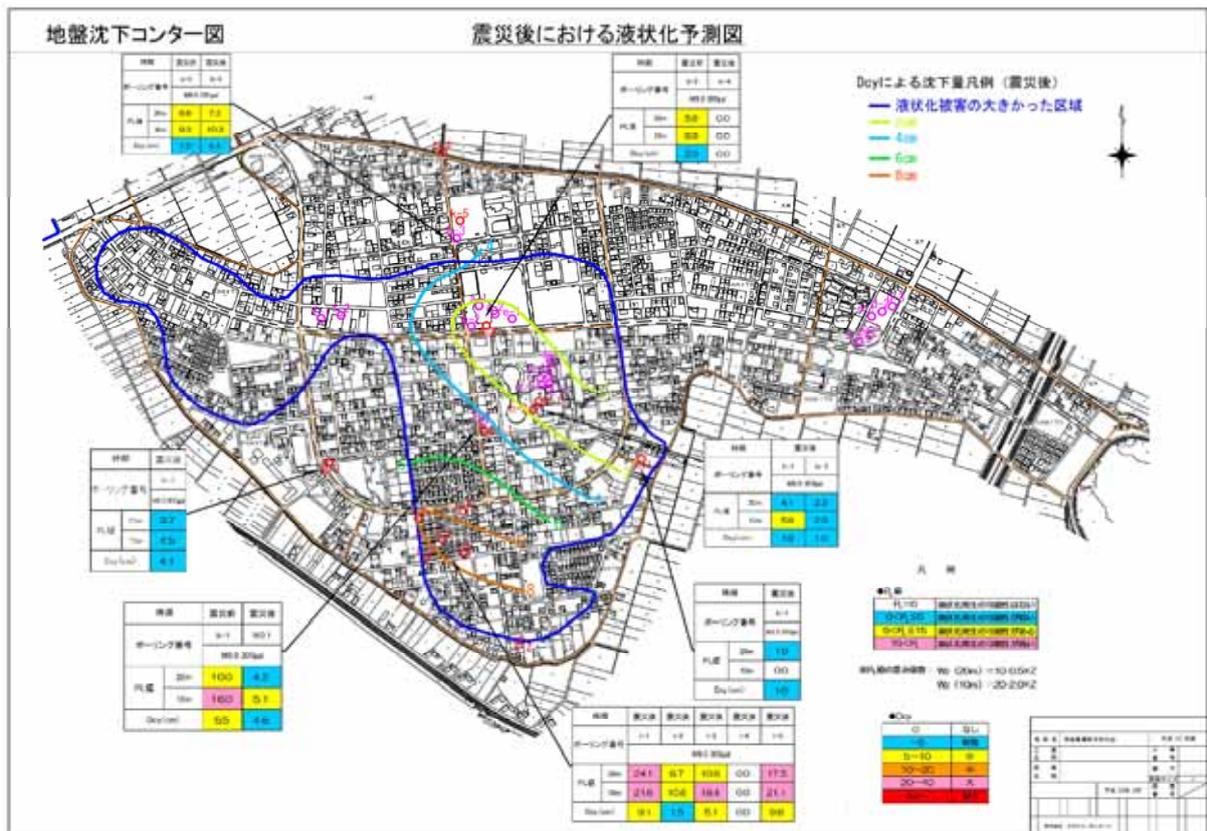
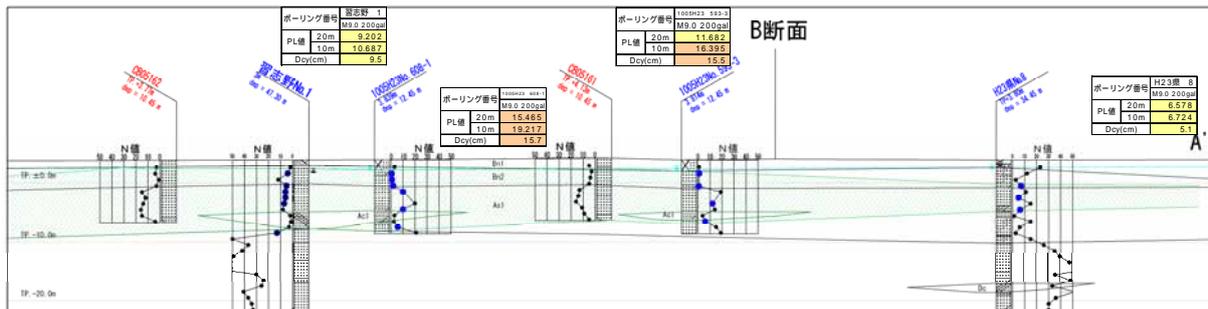


図-9 震災後における液状化解析による地盤沈下量 (Dcy) コンター図 1



P <sub>L</sub> 値	
P <sub>L</sub> = 0	液状化発生の可能性はない
0 < P <sub>L</sub> ≤ 5	液状化発生の可能性が低い
5 < P <sub>L</sub> ≤ 15	液状化発生の可能性がある
15 < P <sub>L</sub>	液状化発生の可能性が高い

Dcy	
0	なし
-5	微量
5-10	小
10-20	中
20-40	大
40-	特大

P<sub>L</sub>値の算出係数: Wz (20m) = 10-0.5 × Z  
Wz (10m) = 20-2.0 × Z

震災後における液状化予測分布図 A断面  
(M9.0 200gal)  
縮尺 縦1:500, 横1:1,000

赤字のボーリングは震災前施工  
青字のボーリングは震災後施工  
N値の●印はFL < 1.0  
●は震災前の液状化予測  
●は震災後の液状化予測

図-10 震災後における液状化予測断面図 2

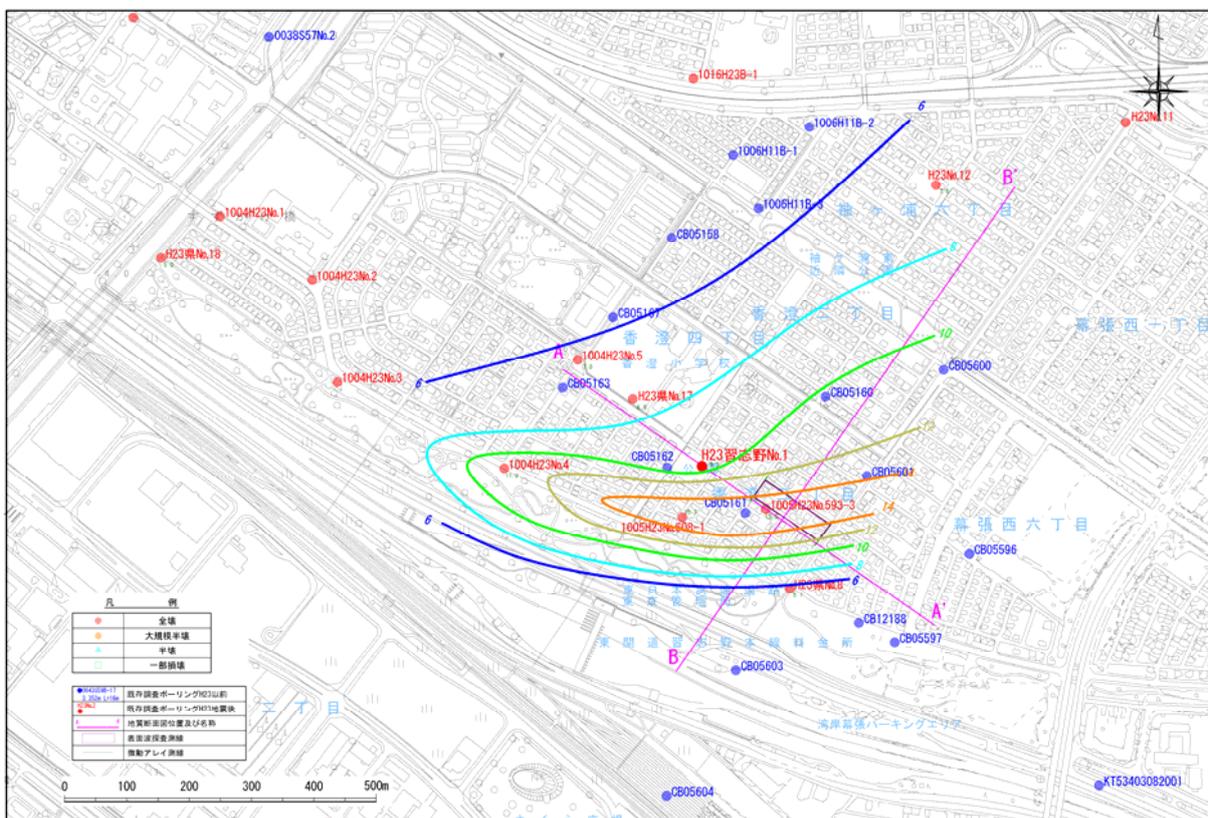


図-11 震災後における液状化解析による地盤沈下量 (Dcy) コンター図 2