

講演③

## 液状化による宅地の被害 -モデルの現状確認と課題-



安田 進（やすだ すすむ）  
東京電機大学 教授

只今ご紹介いただきました安田でございます。今ご紹介いただきましたように、液状化に関する話をさせて頂きたいと思います。今までのお2人の先生方と迫力が全然違いますが、この液状化の被害も住民の方にとっては非常に大切ですので、その問題点、課題等をお話させて頂ければと思っています。

2011年災害研究フォーラム

## 液状化による宅地の被害 —モデルの現状確認と課題—

1. 今回の地震における液状化被害の特徴
2. 液状化発生予測モデルの検証と課題
3. 液状化による戸建て住宅の被害予測モデルと課題

東京電機大学理工学部 安田進

図 1

お話しする順番は、今回の地震における液状化被害の特徴を少し話した後に、液状化の発生そのもののモデル、それが今回の特徴と比較してどんな課題があるか。それから液状化が家屋に被害を与えるということ、そして、その予測の問題についてです。今回の地震で、分かってきたこと、浮き彫りとなった課題などの話をさせて頂こうと思っております。

### 用語の説明

- ▶ **N値**
  - 地盤の固さを表す指標で、一般的にこの値が大きいほど固くて良い地盤と言える。
- ▶ **F<sub>L</sub>値**
  - 地中のある深さにおける、液状化を起こそうとする地震の力に対する地盤の液状化への抵抗力の比
  - この値が1より小さくなると、地中のその深さの層で液状化が発生する可能性がある。
- ▶ **P<sub>L</sub>値**
  - 液状化の強度を表す指標で、地表からある深さまでのF<sub>L</sub>値を考慮して計算する。この値が大きいほど激しい液状化であることを示す。

図 2

まず、このような用語が今から出てきます。「N 値」はあちこち出てきます。これは地盤の固さを表すものです。特に液状化の判定ではこの N 値というものを使います。それから「F<sub>L</sub> 値」は、ある場所のある深さにおける液状化しやすさ、あるいはしたかどうかを表します。ある深さだけが液状化しても被害には至りませんので、それを深さ方向に積分した値を「P<sub>L</sub> 値」と言います。特に浅い所が液状化すると被害が大きいということで、浅い所に重みを付けた積分の仕方です。こういった用語が出てきますので、参考にして頂ければと思います。

最初に、液状化がどこで発生したか。当然、東北地方で液状化しているわけですが、海岸付近では津波で流されていますのでなかなか分からない。色々の映像を見ておきますと、例えば関東地区で皆さんが避難する前に液状化している写真もあるわけですが、とりあえず東北大の風間先生などに色々聞いてプロットしたのが図 3 の左側の図です。これはまだ内陸のほうだけしかプロットしていませんので、本当はまだまだ広い範囲であろうかと思えます。

# 1. 今回の地震における液状化被害の特徴

## 東北地方の液状化地点



## 関東地方の液状化地点



図 3

それに対しまして関東は、国土交通省の関東地方整備局から地盤工学会に委託して頂きまして、どこが液状化しているか調べました。その結果が図 3 の右側です。これはホームページに全部載せてありますので、関東地方整備局あるいは地盤工学会から辿って頂ければと思います。

## 東京湾岸の液状化



- 注:
1. この範囲内にも地盤改良を施したりしていて、液状化していない区域も含まれる。
  2. 震央から最も遠い液状化地点: 南房総市池之内,  $\Delta = 440\text{km}$  (距離は若松による)

図 4

図 3 を見て頂きますと、今からメインでお話しします東京湾岸にずらっと赤いところがありますが、それ以外に利根川沿い、鬼怒川、荒川、古利根川、それから海岸線ですね。この辺りにあちこち液状化した場所があります。今日は時間がないので東京湾岸に絞らせて頂きます。東京湾岸でも、実はまだ横浜の方や房総の南の方にもあるのですが、激しく液状化したのが図 4 のような範囲で、新木場、浦安、市川、船橋、習志野、千葉、この辺りの埋立地が液状化したと思って頂ければよいかと思います。

地震があった時、私は代々木上原の駅にいました。プラットホームでもの凄く揺れ始めて、すぐ納まるだろうと思っていたら1分過ぎてさらに大きく揺れてきて。これはまずい、すぐに浦安に行かなければとそのとき頭に思い浮かびました。と言いますのは、1987 年の千葉県東方沖地震で浦安が液状化しておりまして、たぶん今回も、と脳裏によぎったわけです。



図 5

それで翌日行ったときの写真が図 5 です。上の左がディズニーランドの駐車場へ最初に行ったときです。ここで液状化しているなと思って隣の運動公園へ行ったら凄く噴砂ふんきが多くて、さらに街の中に入って行くと道路がガタガタで町中水浸しみずびたになっていると、こういった状況だったわけです。

翌日は液状化だけではなくて河川堤防なども心配でそちらに行っていましたら、千葉市に住んでいる方から「自分の所も、先生が液状化すると言ったから本当にしっちゃった。何とか面倒を見ろ」と連絡を受けて、すぐ駆けつけたわけです。すると千葉市も確かに液状化しておりまして、そこで凄く範囲で液状化しているということが分かったわけです。その日は木更津の方も気になって行って見たのですが、そちらはそれほどでもない。



図 6

そういうことで結局、浦安辺りから千葉市ぐらいだと思ひ、調査を開始しました。ただ、35キロくらいの長さに渡っている非常に広い範囲です。そこで学生を総動員して液状化の調査をしていきました。

図 6 に示した青い色と赤い色がありますが、道路を歩いて、噴砂があった所は赤に、無かった所は青にすると、取り決めをしまして、学生にあちこち歩かせました。ということで地図が出来上がってきたわけです。そのあとで国交省の委員会のほうで少し調整して頂きました。

順番に、被害の様子を見て頂きます。テレビなどでも映されていますから皆さんもご存知かもしれませんが、写真を見て頂いて、それから特徴をお話ししたいと思います。お台場のほうは少し噴砂があった程度です。辰巳、東雲あたりになると少しずつ液状化の程度が激しくなるものの戸建て住宅がないので被害は目立っていません。それに対して新木場に行きますと途端に液状化の程度が激しくなっていて、噴き上がって来た砂の量も多い。交番も傾いているという状況でした。



图 7



图 8

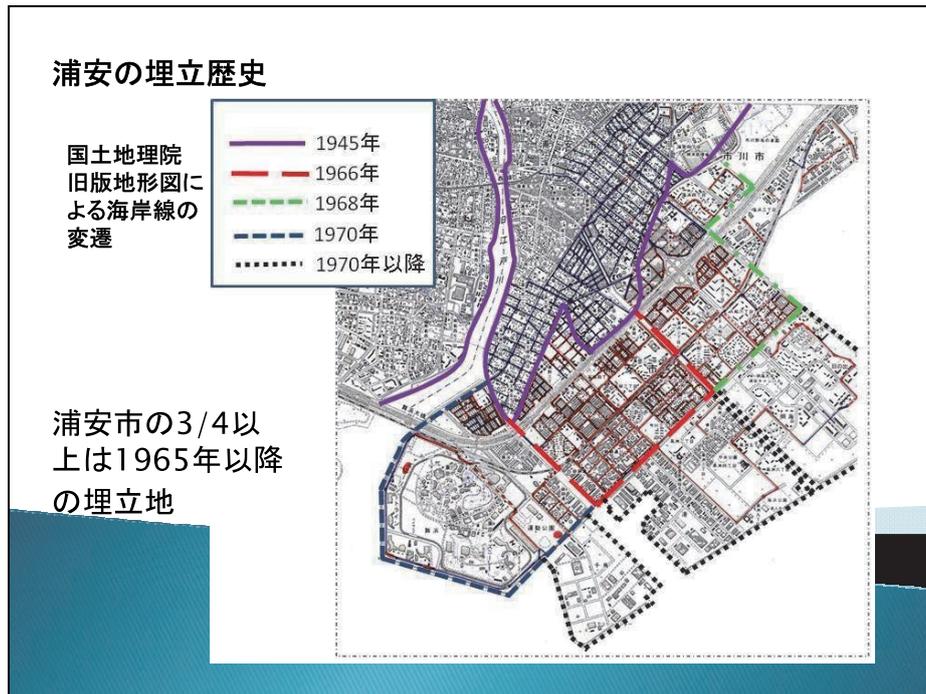


図 9

浦安はもうご存知のように市内の4分の3以上が液状化したわけですが、図9の青と赤が区切られている所、これは最初気づかなかったのですが、あとで調べてみるとやはり埋め立てした所だけが液状化しているということになります。国土地理院の旧版地形図から海岸線を示したところですが、紫色のところは45年、戦前の海岸線です。それから1960年代に入って沖合のほうを順番に埋めて行った所です。この辺りが液状化していました。

やはり浦安での被害が非常に大きくて、その中でも、今川、入船、舞浜、弁天といった所が液状化の被害が激しかった所です。図10の左の写真は地震の翌日です。まだ砂を片付けているという状況しか分かりませんが、本当は背後の家は沈下して傾いています。右の上と下は同じところです。入船の4軒固まっているところです。周りは駐車場です。あとでお話しますが、家が固まって建っているとその真ん中のほうに向かって傾く性質がありまして、この黒いお宅の中に入れて頂きますと、1000分の40、非常に傾いた状況でした。中に入っているとだんだん慣れてきて、外に出ると今度は外がおかしく感じられます。

マンホールも浮き上がっていますが、実は今回はそれほど割合としては浮き上がっていません。違う被害が起きています。これもあとでお話します。



図 10



図 11

それから市川、船橋、習志野ですが、この海岸線の埋立地、赤い線がまばらになっています(図11)。ここは倉庫とか工場とかいった用途として使っている地域で、中に入れないのでよく分からないということです。機械学会等の先生方にも中の様子が分かったら教えてくださいとお願いしているのですが、機械学会の方々もなかなか入れないということで、この広い倉庫群、工場地帯、この辺りがどうなっているか未だに分かりません。永久に分からない可能性もあります。



図 12

それに対して一部、船橋辺りでも住宅地があります。図 12 の右上は船橋の日の出ですが、電柱の住居表示を見ると凄く沈下しているのがわかります。その下は空の重油タンクが浮き上がっています。

それから左、今回、護岸はそれほど壊れていないのですが、2箇所ほど壊れて、地盤全体が流動して家を引きずっている状況もありました。

最後、千葉に行きますと青い地域も出てきます(図 13)。場所によって液状化している所としていない地区が出てきています。少しまばらという感じです。その中でも液状化がひどかったのが、図 14 の右上の美浜区の磯辺8丁目や左下の稲毛海岸辺りが非常にひどい所でした。

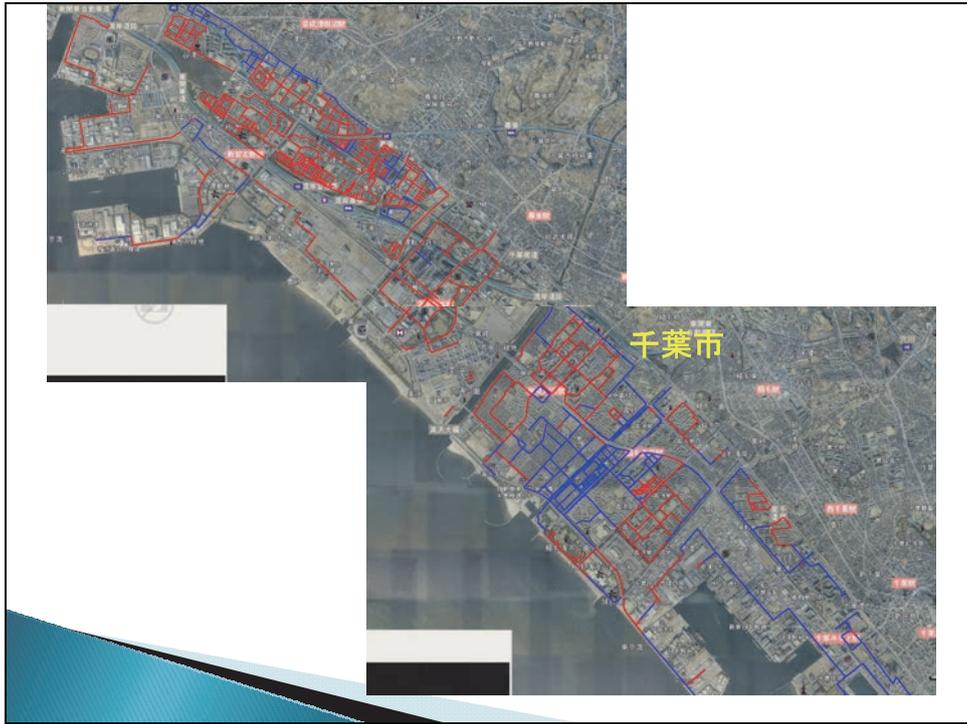


图 13



图 14

## 液状化の発生および構造物の被害の特徴

### (1)地盤の変状の特徴

- ① 噴水・噴砂は、所々で発生したのではなく一面に発生し、広い範囲で激しい液状化が生じた。揺れの振幅はあまり大きな値ではなかったが、継続時間は長く、また、29分後に大きな余震が襲ったことが、このような激しい液状化を生じさせたものと考えられる。
- ② 噴水がひいた後に残った噴砂の量は非常に厚く、筆者達が見た最大のもの30cmほどの厚さもあった。
- ③ 広域にわたって地盤が沈下し、支持層まで打設してある杭の抜け上がりが多く発生した
- ④ 幹線道路の歩道や生活道路などでは盛り上がりや迫上がりが各地で発生した。ただし幹線道路自体はほとんど無被害であった。
- ⑤ 護岸はあまり孕み出さなかった。
- ⑥ 液状化したのは埋立地ばかりで自然堆積地盤の古隅田川沿いなどでは液状化しなかった。

図 15

さて、今回の液状化とその被害の特徴ですが、まず「液状化の発生及び構造物の被害の特徴」の内の「地盤の変状の特徴」ということを挙げさせていただきますと(図 15)、一面に液状化して、しかも激しい液状化が発生しているといった状況が言えると思います。この原因に関しては、振動の継続時間が長いとか、29 分後に大きな余震がやってきたとか、こういった影響が効いていると思っています。

それから2番、これは今回詳しくお話しませんが、噴砂の量が非常に多かったことです。今浦安の方で砂の山が出来ていますが、かき集めた砂がもの凄くたくさんあります。それと同時に、3番、地盤が沈下したこと。圧縮沈下に加えて噴砂が多く、それによる沈下も加わっています。

4番が、実は私自身が一番興味を持って調べているところですが、今日はあまり関係ないのでお話しません。幹線道路の歩道や町の中の生活道路が突き上げるような格好、盛り上がりとか迫り上がりと言うのですが、このような現象があちこちで起きています。これは今まで液状化の被害で見たことがなかったのですが、おそらく液状化したあとで長く揺れ、さらに余震が来たことで、それによってスロッシング的な揺れにより、境界の弱い部分が盛り上がり、そしてそれがそのまま残ってしまったということかと思っています。マンホールの躯体自身はずれているのですね。マンホールは、リング状に積み上げて作りますが、あれがガタガタにずれているとか。それから下水管自身が、浮き上がるというよりは水平方向に蛇行している。それでジョイントが外れて砂が入ったりしています。そういった現象が今言ったスロッシング的な揺動によって起きたのではないかと思っています。

あと今回関係あるのがこの6番でして、液状化が起こったのは埋立地がほとんどで、自然堆積地盤ではなかったということもあります。

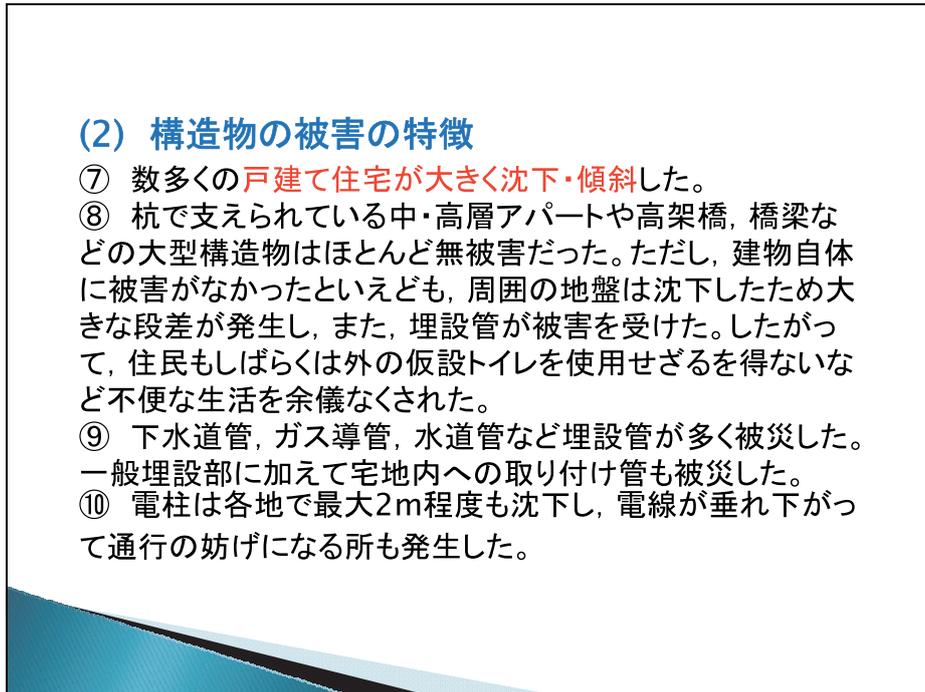


図 16

それから住宅は、戸建て住宅が非常にたくさん液状化によって被害を受けた(図 16)。それに対して杭で支えたもの、アパートとか高架橋等はほとんど被害がありませんでした。先ほどお話した下水やガスも被害がひどくて、まだ原因を色々検討しています。

2番目の話ですが、「液状化発生予測モデルの検証と課題」ということで、今回の地震でこれまでの液状化の発生モデルのどこに問題があったかとか、あるいは良かったかという話をみてみたいと思います。

液状化の発生予測方法を、グレードの低い順番から言いますと、図 17 のような地形・地質だとか、液状化履歴から判断しようという方法があります。それからその次が地盤の N 値を使った方法。その次が実際に調査や試験を行うという方法です。

まず地形や地質、液状化履歴というものからいきますと、いろいろな方法がありますが、図 17 の左側にした方法が一番簡単な方法です。埋立地、旧河道、過去に液状化した所。こういった所が液状化しやすいと判断している方法です。今回はどうだったかと右側に表を挙げましたが、特に関東平野だけで液状化した所の地形を挙げてみますと、海岸の埋立地、平野の川・池などの埋立地、利根川沿いはだいたいそういう川沿いの埋立地です。それから河川堤防。河川堤防自体も液状化で凄くたくさんやられています。旭市では砂鉄を取るために掘削して埋め戻した所が液状化しています。それから佐倉では水田を埋めた、盛り土した所が液状化しています。

## 2. 液状化発生予測モデルの検証と課題

(1) 地形・地質や液状化履歴をもとにした概略の予測方法に関して

### 予測方法例

液状化の可能性	地形からみた判定	液状化履歴からみた判定
液状化発生の可能性が高い	旧河道、水面上の盛土地、埋立地、砂丘と低地の境、砂丘間低地、自然堤防の際	液状化履歴のある地点
液状化発生の可能性あり	上記以外の低地	液状化履歴のない地点
液状化発生の可能性が低い	台地、丘陵地	

### 今回の地震で液状化した地形

分類	主な地区
海岸の埋立地	浦安市～千葉市
平野の川、池などの埋立地	香取市、我孫子市
河川堤防の基礎地盤や堤体	利根川の堤防
砂鉄を採取するために掘削し埋め戻した土	旭市
水田などの盛土地	佐倉市

図 17

課題1: 関東地震で液状化した自然堆積地盤の沖積低地では液状化しなかった理由は？

### 考えられる原因

- ・地震動が関東地震に比べて小さかった。
- ・Aging効果により関東地震時に比べて液状化し難くなった。

#### 凡例

- ◆ 3 関東南部(1257.10.9)
- 8 相模・駿河・伊豆(1633.3.1)
- ▼ 15 元禄地震(1703.12.31)
- ▲ 28 相模・武蔵・甲斐(1782.8.23)
- ▲ 46,47 安政東海・南海地震(1854.12.23,24)
- 50 江戸地震(1855.11.11)
- 58 濃尾地震(1891.10.26)
- 63 東京湾北部(1894.6.20)
- ▼ 65 震ヶ浦付近(1895.1.18)
- ▲ 61 関東大地震(1923.9.1)
- 89 西埼玉地震(1931.9.21)
- ▲ 123 千葉県東方沖(1897.12.17)



図 18

図 18 は関東学院大学の若松先生が作成された地図ですが、緑の三角形は関東大震災で液状化したところです。例えば常磐線沿いの古利根、古隅田川ですね、この辺が今回も液状化したのではないかと調査に行ったのですが、全然していませんでした。なぜ液状化しなかったかということですが、関東大震災から 90 年経っていますので、年月とともにだんだん液状化しにくくなるエージング効果で強くなったか、あるいは直下地震が来ると液状化するのかという、その辺りを、もう少し検討していかなければいけないと思っています。

(2) 一般の地盤調査、試験結果をもとにした簡易な予測方法

a) N値を用いる理由

液状化しやすい土の条件

- ・砂質土：標準貫入試験用サンプラーで採取した土の粒度試験より
- ・緩く堆積：N値より
- ・地下水位が浅い：ボーリングより



図 19

その次のグレードとして、一般の地盤調査の試験結果をもとにした簡易な予測方法があります。これが通常的设计基準類やハザードマップに使っている方法です。図 19 がその地盤調査を行っている風景です。穴を掘った所に、こういったサンプラーを入れて上から叩く。一定の叩き方や重さがあるわけですが、それでサンプラーが地中に 30cm 入るために何回叩いたかというのが N 値です。それと、このサンプラーの中に入ってくる土で行う粒度試験、そして地下水の調査などから液状化の判定をする方法です。先ほど話しましたように、 $F_L$  値が地中の深さ方向に計算されます。この  $F_L$  値が液状化に対する安全値で、計算した  $F_L$  値が 1 より小さい所が液状化するとして判定する方法です。

この  $F_L$  値というのは、 $R/L$  で表されます。L は地震がきたときのある深さで発生する「繰返しせん断力」、R がそこでの液状化の強度で、 $([強度] / [外力])$  という式です。こういった R とか L の簡易式を作るときに、通常 R は、試料を現地から採って来て繰返し三軸圧縮試験という試験を行って調べます。その試験を行うときに正弦波の荷重をかけて実験するのですが、地震波の荷重とは異なりますから、それを補正係数が必要になってきます。補正係数には幾つかあるのですが、「地震波荷

重のランダム性に関する補正」といったものを問題にしないといけないということになっています。ランダム波の実験をして正弦波と比較すると、波形の補正係数が分かります。要するに実効値です。ここでは 40 年位前の実験データが今でも使われています。

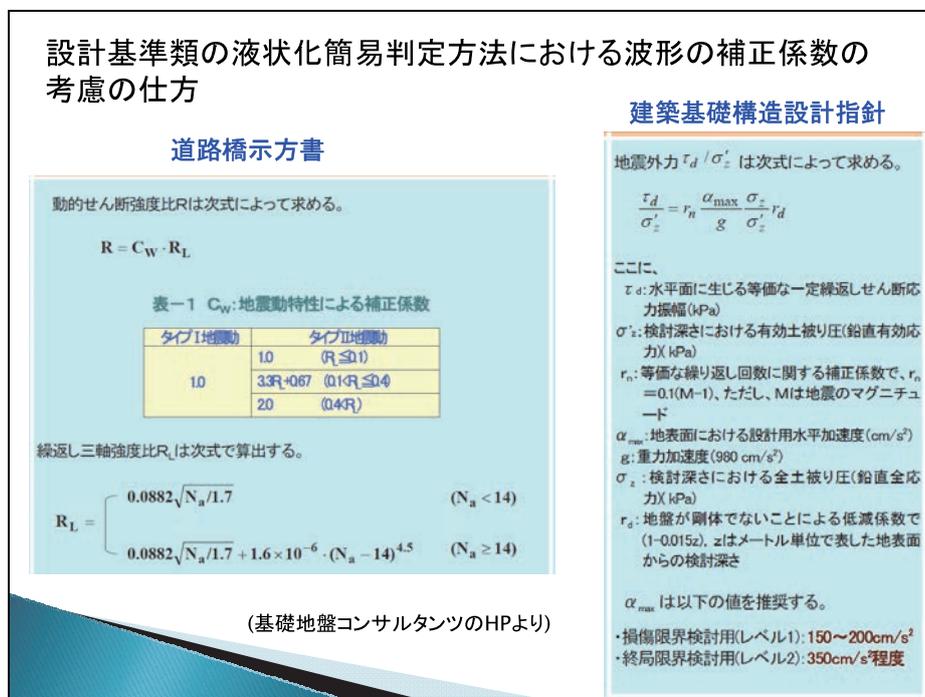


図 20

そこが、例えば道路橋示方書という判定方法(図 20)で行きますと、C<sub>w</sub> という項に掛かってきます。波形の補正係数ともう 1 つ補正係数が掛かって両方で 1 という値になるのですが、通常、遠距離型の地震ですと、図 21 の(a)と(b)の比較で 1 という値で補正をすることになります。それに対して東海・東南海・南海地震では(c)のような波形が来ますので、非常に継続時間が長い。そうすると今の補正係数よりもっと小さい値を使わなければいけないのではないかということ、ちょうど去年(2010年)の11月に地盤工学会誌に書きました。まさに今回の地震では、このような継続時間が長い波が来ました。この補正係数を幾らにすると、今回の地震が説明できるのかということ、今議論しております。

下のほうは液状化していない浦安で採れたK-NETの波、上の波は実際に観測小屋の傍で噴砂があつて液状化しているK-NET稲毛で観測された波です。だいたい120秒くらいのところから非常に長周期になってきますので、この時間帯で液状化したのだらうと思っています。ということは、振幅自体はあまり大きくはなかったものの、液状化というのは地盤の疲労破壊と一緒にですから、やはり継続時間が長く、何回も繰り返して揺れている間に液状化してしまったということが考えられるわけです。

地震動の継続時間が長いと液状化簡易判定において波形の補正係数を変える必要あり。

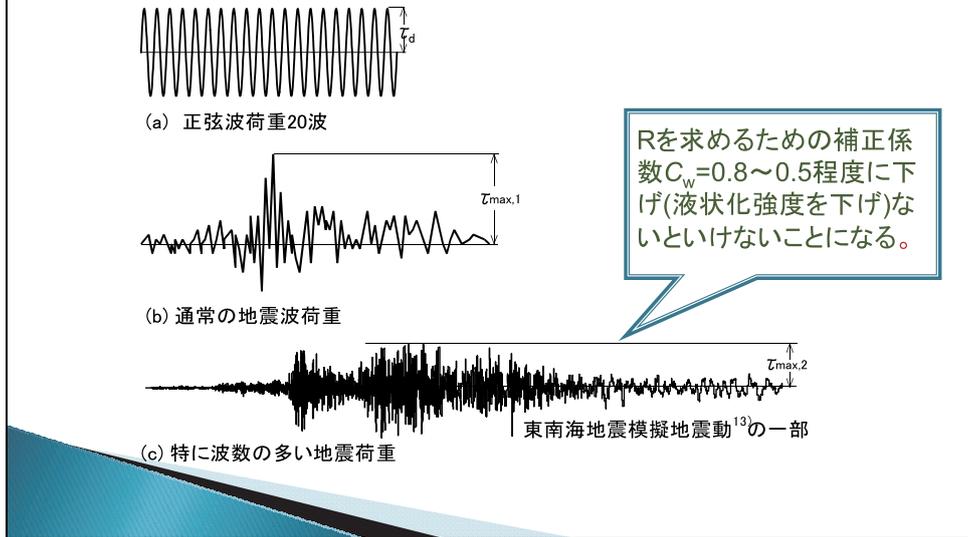
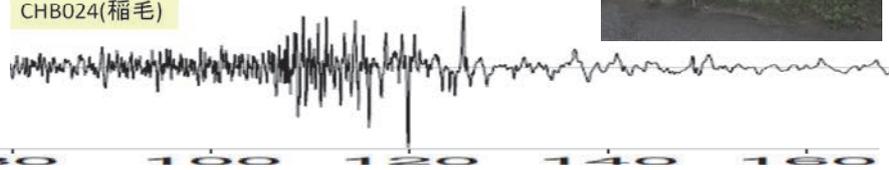


図 21

K-NETによる本震の記録

液状化が発生した稲毛の波形

CHB024(稲毛)



液状化が発生しなかった浦安の波形

浦安 最大加速度 157.300279(gal)

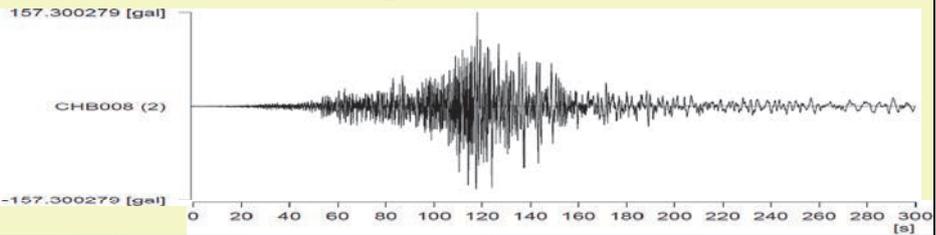


図 22

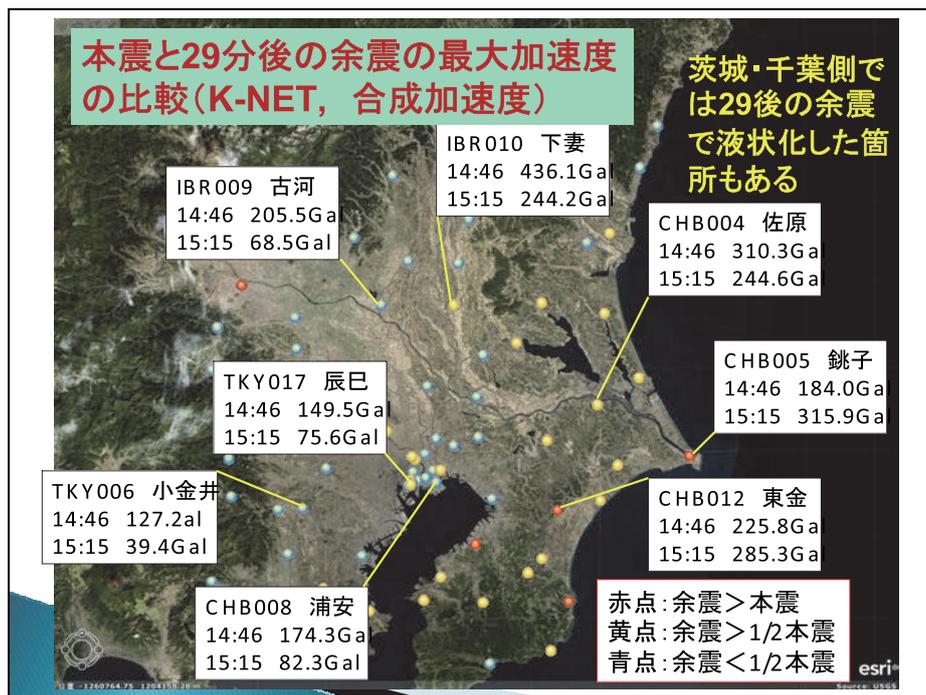


図 23

さらに図 23 は本震と 29 分後の余震の地震の揺れの大きさを比較したもので、各マスの上の段(14:46)が本震のときの地表最大加速度、下の段(15:15)が 29 分後の地表最大加速度です。例えば銚子などでは余震の時のほうが振幅が大きい。いろいろヒアリングしていると、香取市や旭市においては本震では液状化せず余震で液状化した。千葉市では、先ほど見て頂いた磯辺あたりも地区によっては本震で液状化した所と、本震では液状化せず余震で液状化した所があります。そのように本震の継続時間が長かったことに加えて余震の影響が大きいということが考えられます。

そこで今回の液状化の被害をどう解釈するかというのが大きな課題です。図 24 は浦安を通る断面を取っていますが、埋め立て層が B です。厚さは最大 8m くらい。その層が今回液状化したと思われるわけですが、先ほどの補正係数を 1 のままで  $F_L$  値を計算すると、ギリギリ液状化するかしないかという判定になります。次に補正係数として、0.75 とか 0.8 という、継続時間が長い場合の数値を入れますと、途端に  $F_L$  値が下がってきて、液状化をするという判定結果になります。何に効いてくるかと言いますと、先ほど言いました被害の程度を表わす液状化指数  $P_L$  値です。

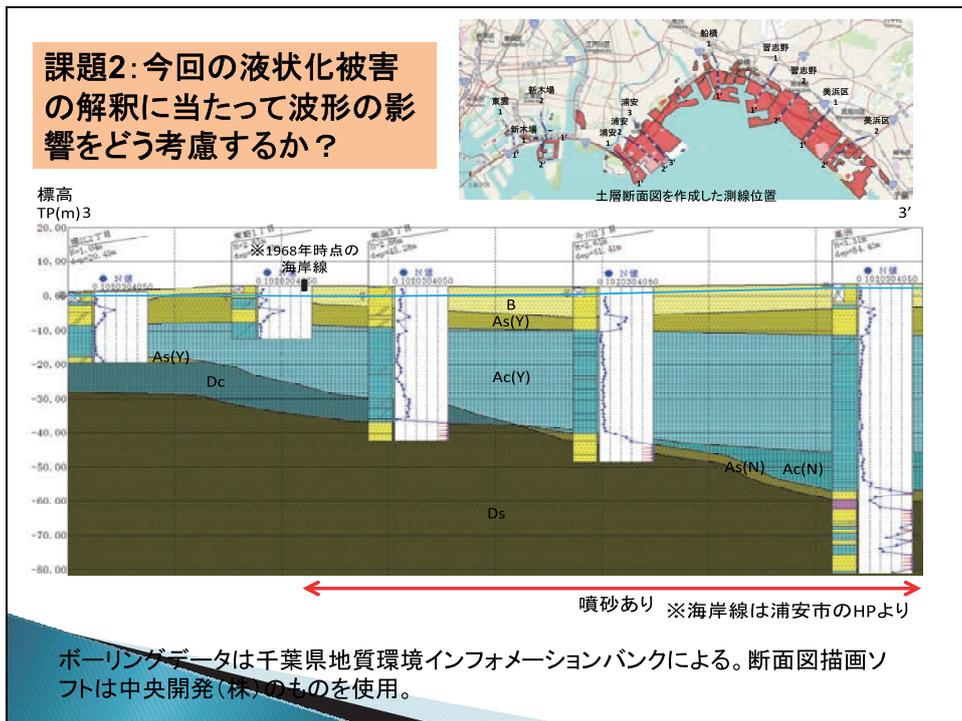


図 24

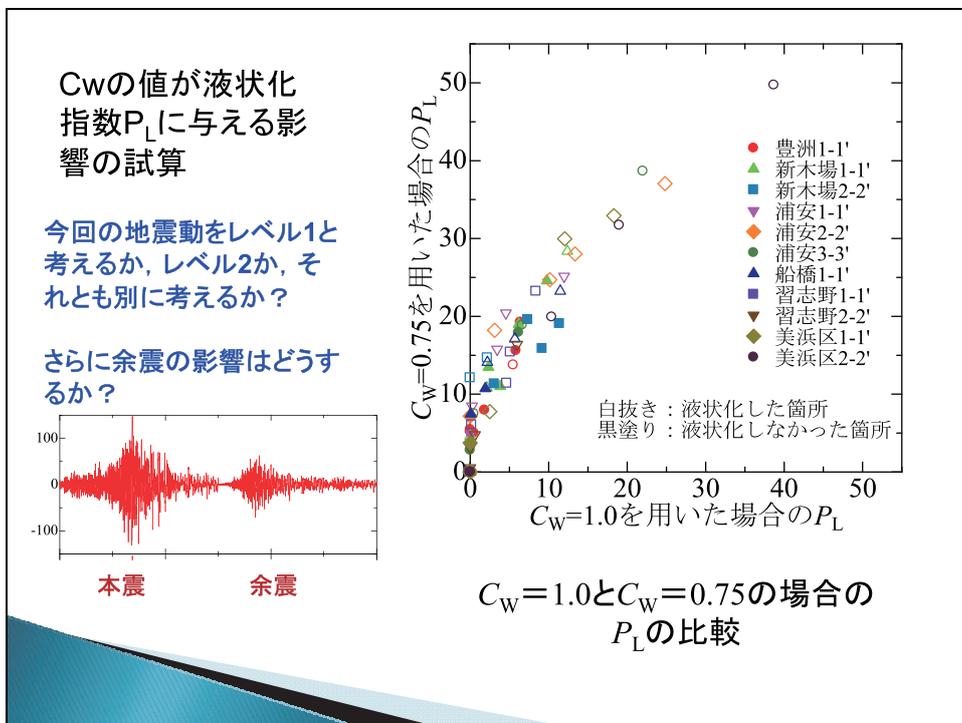


図 25

課題3: 細粒分が多い場合の判定はどうするか?

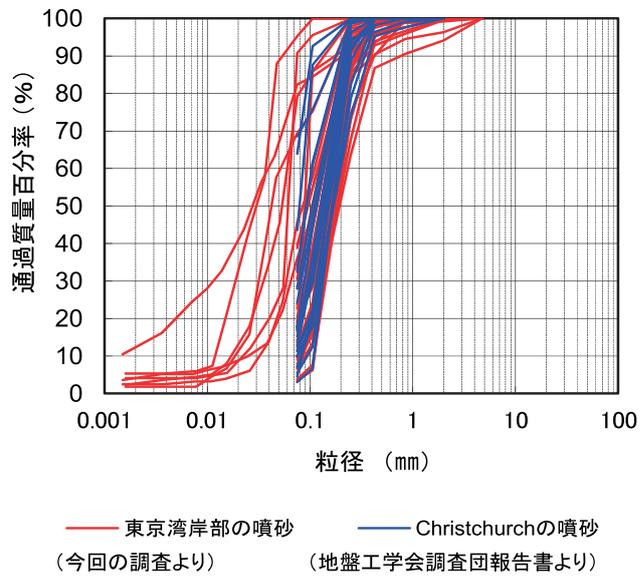


図 26

(3) 室内液状化試験と地震応答解析を行う詳細な予測方法

安田(1988)



この場合も継続時間、余震に留意が必要

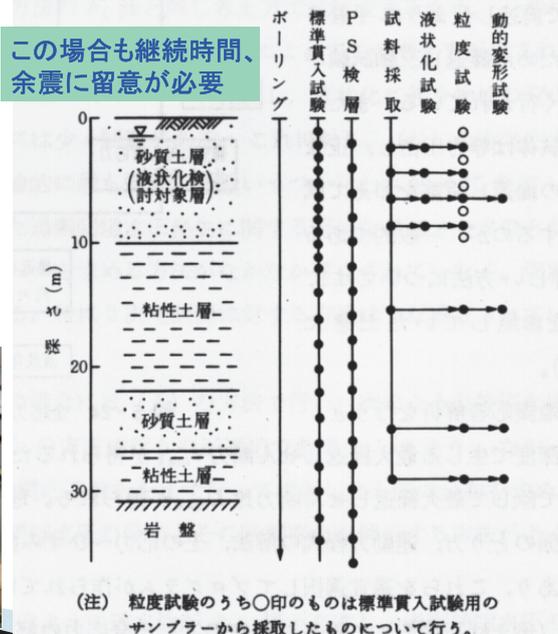


図 27

例えば、いくつかの断面で試算した例が図 25 です。P<sub>L</sub> 値というのは通常ハザードマップで 5 以下だと液状化は関係なく、15 以上だと相当液状化被害が大きいという判定になります。補正係数として 1 を用いた場合、今回液状化した所で計算するとだいたい 10 以下になるのですが、長い継続時間を考慮して、0.75 という値を用いた場合、途端に倍の値になります。つまり、どこもひどく激しく液状化するということになるので、これをちゃんと考慮して今回の地震を解釈しないといけません。つまり振幅からいくとレベル1の地震動ですが、継続時間を考慮すると本当はレベル2に近かったということです。この点はまだ議論しております。

また、普通の判定法では液状化しないような、非常に細かい砂が液状化したということも問題になっており、サンプリング試験を行う場合にも、継続時間を考慮しなければいけないということで、実際の地震波を加えて試験も行っております。

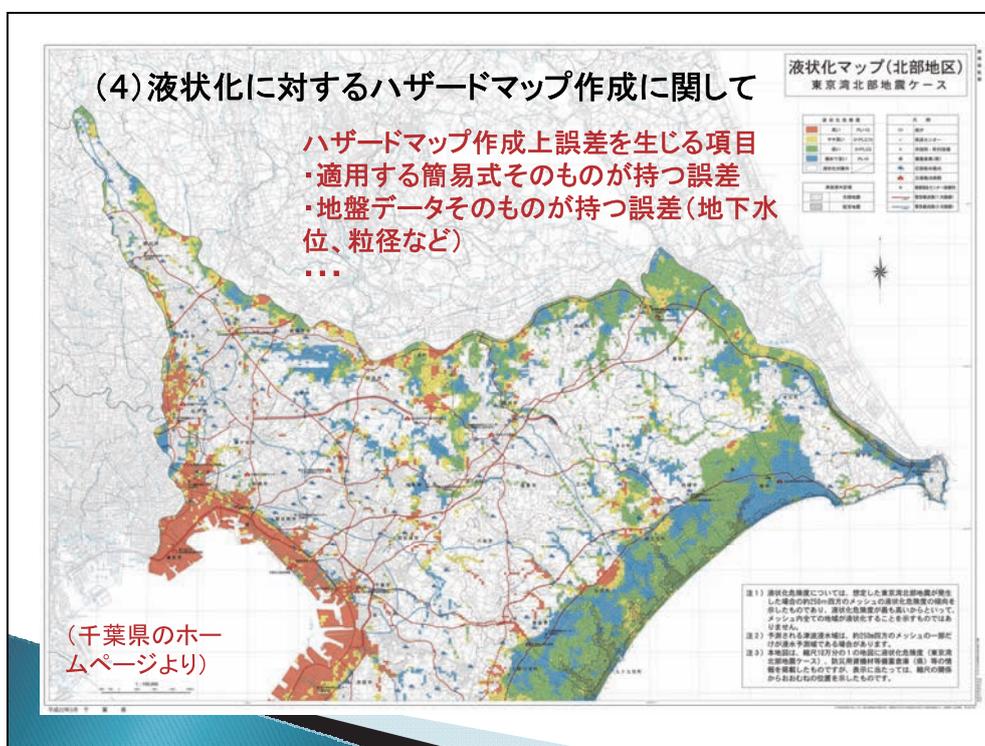


図 28



図 29

予測手法の最後の話になります。今回ハザードマップが合っていたかいなかったか、あちこちで議論されていますが、結構合っているところもありますし、合っていないところもあるということで、ハザードマップ自体が非常に誤差を持っていますから、そこを考慮しながらまた改善していかないとはいけません。ひとつだけ問題だった点ですが、我孫子の布佐で、非常に狭い範囲が液状化していた(図 29)。ここはかつて利根川が氾濫して沼になった所を埋めた場所です。これはもうメッシュ表示のハザードマップでは表しきれないといった問題も出てきております。

それから戸建て住宅の宅地を、スウェーデン式サウンディングという方法で地盤調査をやるのですが、これだと実際はなかなか液状化の判定は出来ないという問題もありますので、これも今指摘しているところです(図 30)。

3番目の話をさせて頂きたいと思います。「液状化による戸建て住宅の被害予測モデルと課題」という話でございます。図 31 は東京都の被害想定の手法ですが、通常よく行われているのは、先ほどの  $P_L$  値というのをざっとあちこちのボーリングデータから計算して液状化のハザードマップを作る方法です。そのあとに  $P_L$  値からどれだけ液状化するのか、被害がどれだけ起きるかということ計算します。これに対して、もう少しグレード設定を色々できるのではないかと話をさせて頂きます。

### (5)スウェーデン式サウンディングに関するコメント

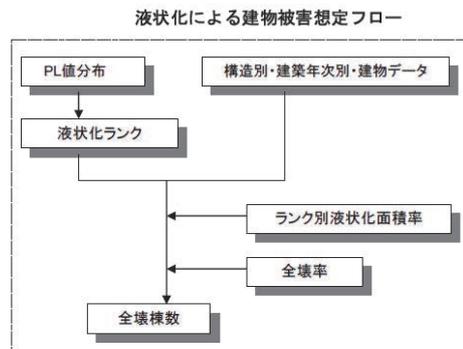
戸建て住宅の宅地の地盤調査にあたってはスウェーデン式サウンディング試験が良く用いられている。宅地が液状化しない場合には地耐力をチェックするという意味で有効かと思われる。ただし、液状化する場合にはスウェーデン式サウンディング試験で液状化の判定を行うには、無理があるので、スウェーデン式サウンディング試験に加えてボーリング・標準貫入試験・粒度試験を行うことが望まれる。その理由は以下の通りである。

①液状化の簡易判定は上記のようにM値と粒径、地下水位をもとに計算されるようになっている。ところがスウェーデン式サウンディング試験だと、まず粒径が分からない。地下水位も測定し難い。さらに試験結果をM値に換算する過程で誤差も生じる。

②スウェーデン式サウンディング試験だと深くまで調査することが困難である。さらに、地盤内に礫が含まれている場合にはその深さで貫入不能になり、液状化層下端までの調査が出来ないことがある。

図 30

### 3. 液状化による戸建て住宅の被害予測モデルと課題



イ 液状化面積率

・液状化のランクに対応した液状化面積率は以下のように設定する。

ランク	PL 値	面積率
A	PL > 15.0	18%
B	15.0 ≥ PL > 5.0	5%
C	5.0 ≥ PL > 0	2%

出所：静岡県第3次被害想定調査（平成13年）

※ PL 値とは、その地点での液状化の危険度を表す値である。地下20mの地層1mごとの液状化に対する抵抗値に基づいて算出する。

東京都の被害  
想定手法(東京  
都のHPより)

図 31

## 2000年鳥取県西部地震による木造家屋の不同沈下と復旧

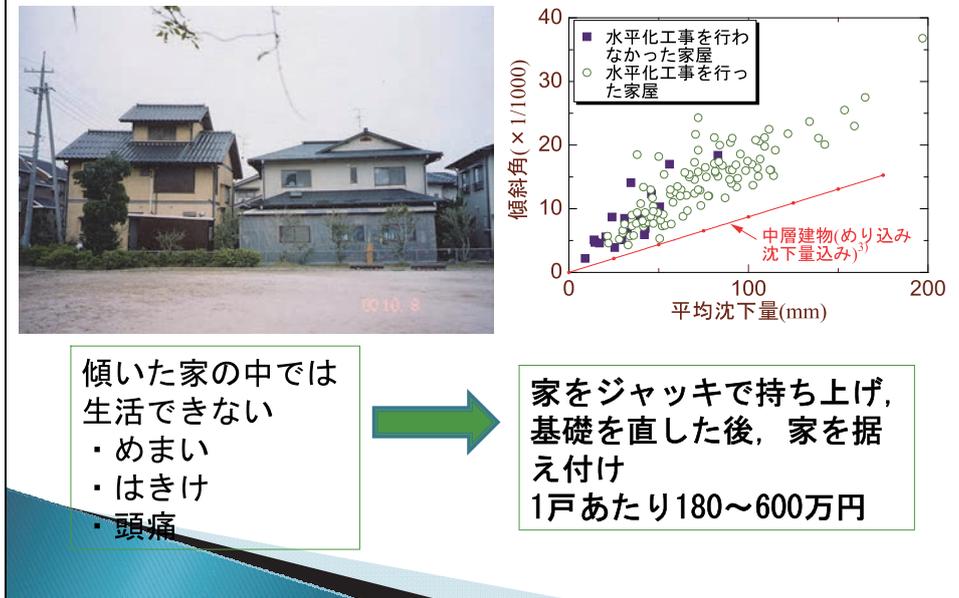


図 32

## 沈下に関する被害認定の新判断基準と補助金額 (内閣府, 5月2日)

分類	判定基準 <sup>1)</sup>	災害救助法の住宅の応急修理制度	被災者生活再建支援法の基礎支援金 + 加算支援金
全壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が20分の1以上	52万円 <sup>2)</sup>	200万円 <sup>3)</sup>
	床上1mまで沈下(雨天時に床上1m浸水)		
大規模半壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が60分の1以上で20分の1未満	52万円 <sup>2)</sup>	150万円 <sup>3)</sup>
	床まで沈下(雨天時に床上浸水)		
半壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が100分の1以上で60分の1未満	52万円 <sup>2)</sup>	なし <sup>3)</sup>
	基礎の天端25cmまで沈下(雨天時に床下浸水)		

1)傾斜と沈下のどちらかの基準を満たせば支給される。

2)大規模災害の際に加算される場合がある。新たに住宅を建設・購入される場合には支給されない。

3)表の中の金額は補修する場合。新たに住宅を建設・購入する場合は300万円

図 33

液状化で受ける家屋の被害について、過去の事例が上手くまとまっているものはありませんでしたが、2000年鳥取県西部地震の際、液状化被害が発生した安倍彦名団地というところで、家が沈下するというよりも傾くということが問題だということを住民の方からお聞きしました。傾きが、100分の1程度になるとめまいとか吐き気がしてもう家の中に住めないとのことです(図32)。今回の地震でも、そのことが問題になり、2011年5月2日に内閣府から図33のような新しい被害の認定基準が出ました。全壊に加えて、沈下量と傾きを加味して大規模半壊と半壊を区別しようということになりました。

**vii 従来基準による建物被害認定結果と新基準適用後の結果**

	建物被害認定調査	
	従来の基準による 建物被害認定結果	新基準適用後の 建物被害認定結果
全壊	8	18
大規模半壊	0	1,541
半壊	33	2,121
一部損壊	7,930	5,096
被害なし	1,028	1,105
合計	8,999	9,881

新基準欄については  
 ■平成23年7月15日現在の調査物件数  
 ■5月2日付け被害判定の緩和後の新基準による  
 ■傾斜の再調査(第1次再調査)や2次調査により、今後、総数および内訳が変更になる可能性がある

16  
(浦安市のホームページによる)

図 34

浦安市では、この基準が出る前の従来の基準による建物被害認定結果と新しい基準による結果を比較した表が公表されています(図34)。この表によると、新しい基準では、大規模半壊や半壊が増えていることが分かります。

ちなみにどれくらいの傾きかということですが、図35の左側が安倍彦名団地のとときの傾きです。縦軸が1000分の幾らという値で、安倍彦名団地のとときはだいたい1000分の20~25ぐらいが最大値だったのですが、今回の地震(図35右)では1000分の60と、2~3倍の傾きになっている家が非常に多いということで、鳥取県西部地震に比べて被害の激しさが分かって頂けるかと思います。

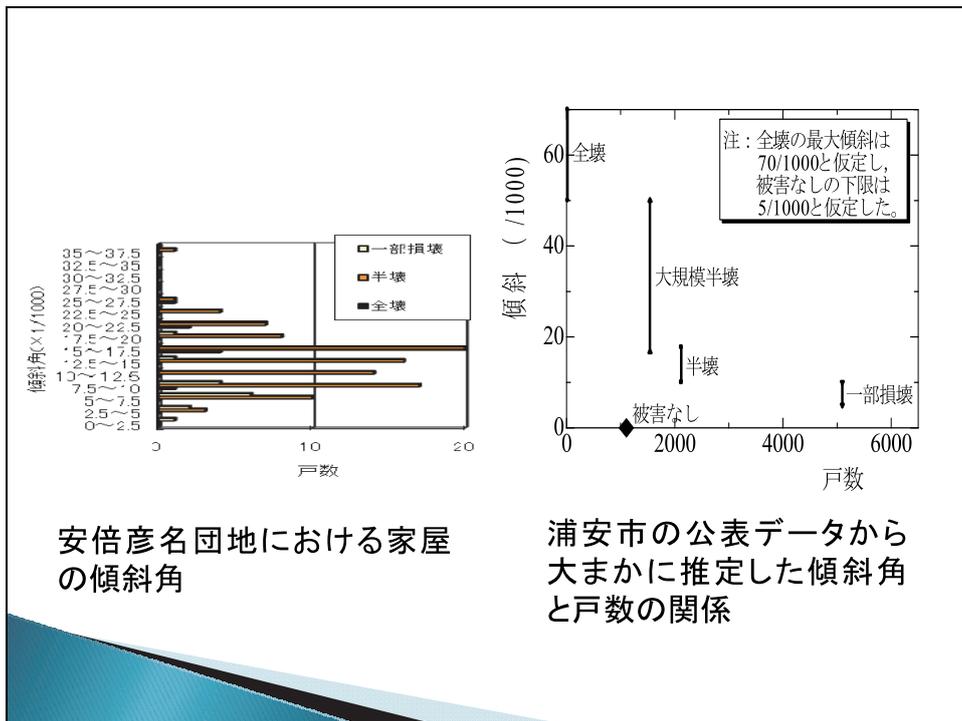


図 35

区分	支払い額	従来	今回の緩和策	
			傾斜角	沈下量
全損	保険金が全額支払われる	3度を超える傾き	1度を超える場合	30cmを超える場合
半損	保険金が50%支払われる		0,5度を超え1度以下	15cmを超え30cm以下

日本損害保険協会6月24日発表。3月11日に遡って適用  
(読売新聞にしたがって表を作成)

**課題1:  $R_L$ などの指標から傾斜角, 沈下量を推定する方法を開発しなければならない**

図 36

保険についても、図 36 のように傾きで基準を決めるような改善がなされましたので、住民の方にとっては非常によかったと思っています。

結論ですが、このように傾きが問題だと分かってきたわけですから、これからは液状化の強度を表す  $P_L$  値だけでは足りず、 $P_L$  値から傾斜角や沈下量を推定する方法を開発しないとイケない。これが課題の一つです。それを開発すれば、ハザードマップももう少し使って頂けるようになるのではないかと思います。

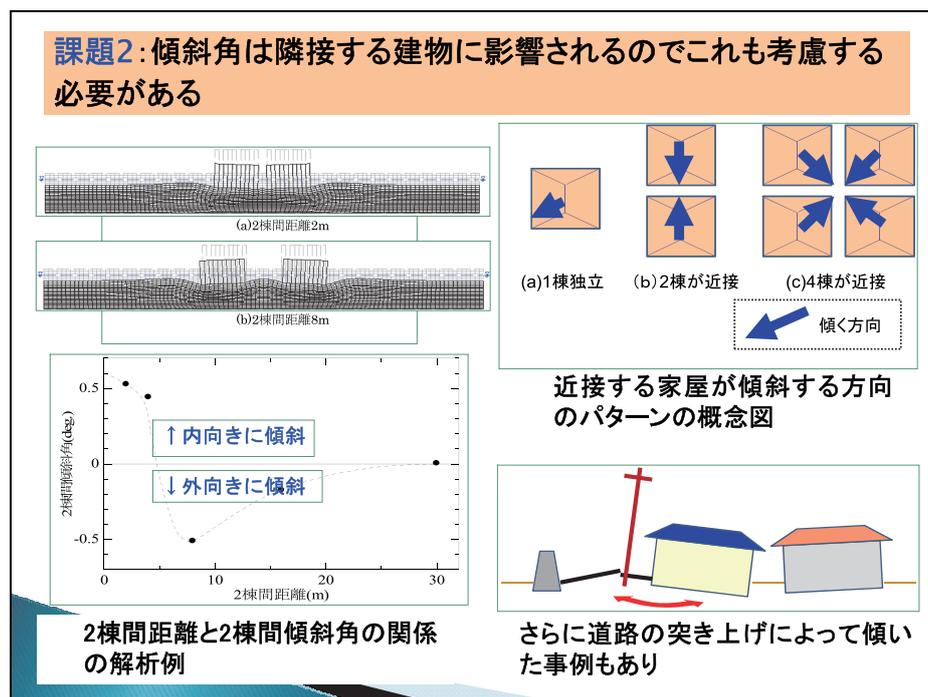


図 37

次の課題です(図 37)。家が傾く場合、1棟だけだと勝手な方向に傾くのですが、2棟あるいは4棟が近接しているとその真ん中に向かって傾きます。ただ単に沈下量の話でなく、傾くという話になると隣接する家の影響が非常に大きい。図の左は簡単な解析を試みた例ですが、この例ですと隣接する距離が狭いと内側に傾いてちょっと離れると外側に傾く。こういったことも起きてきます。このような影響をどう考慮するか。それから境界にある歩道が迫り上げて、その影響で家が 50cm ぐらい動いた例もあります。

それから、余震の影響がある可能性もあります(図 38)。今回の地震の本震で液状化し(図 38 左)、この状態で 29 分後の余震を迎えると(図 38 中)、余震のほうで沈下を起こす要因になってきます。

課題3:時間をかけて余震が発生する場合の沈下・傾斜量も場合によっては考慮しないといけない

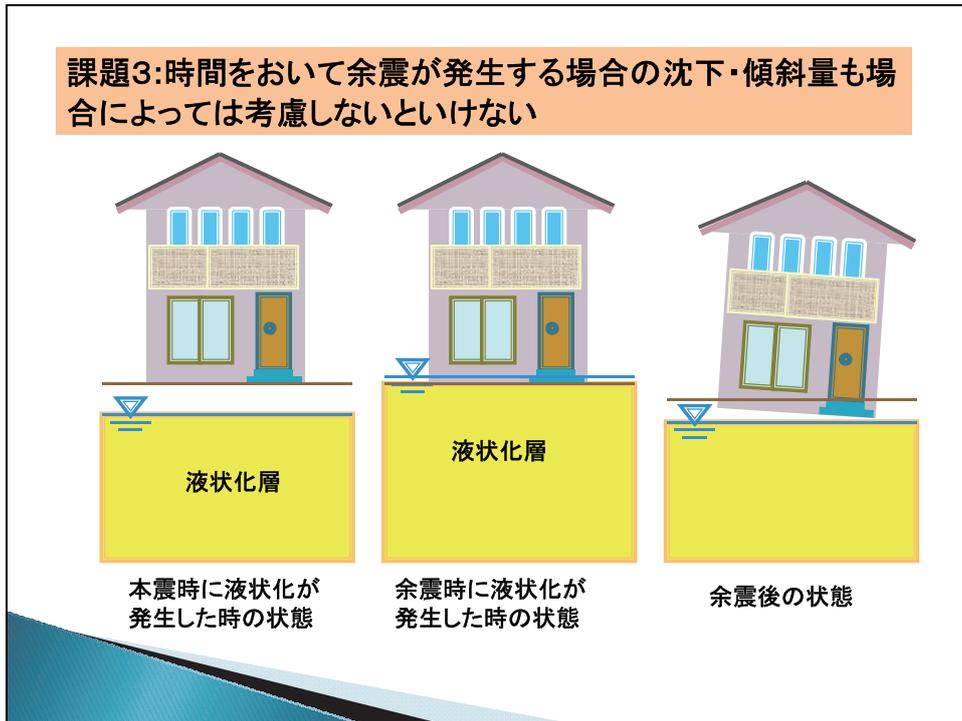
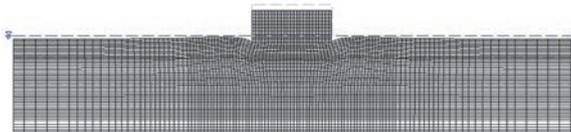


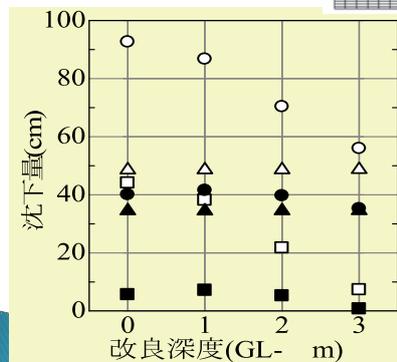
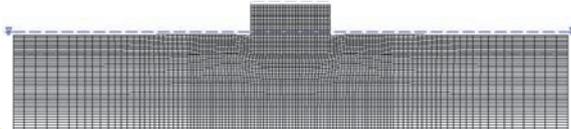
図 38

地下水位、締固め深さが沈下量に与える影響の試算 (ALIDによる)

a) 無対策(地下水位GL-0.0m)



b) 締固め工法(改良深度3.0m, 地下水位GL-0.0m)



<地下水位GL-0.0m>

○家屋絶対沈下量 △地盤の沈下量  
□家屋めり込み沈下量  
◇家屋両端から1.0m程度改良幅を広げた時の家屋めり込み沈下量

<地下水位GL-1.0m>

●家屋絶対沈下量 ▲地盤の沈下量  
■家屋めり込み沈下量

図 39

その結果、地下水が動いてしまった影響が今回の液状化被害の解釈をまた非常に難しくしています。いま住民の方に、本震のときに沈下したのか、余震のときに沈下したのかということをお聞きしています。そうすると、どちらかというとき余震とお答えの方と翌日気がついたという人が多くいらっしゃいます。実は私は本震ではそれほど沈下の被害は発生していないと思っていて、余震があったことが今回のダメージを大きくしたと考えています。

図 39 は単なる計算ですが、地下水の水面が地表にある場合と地下 1m にある場合、計算上どれくらい建物の沈下量が違ってくるか。それを計算しました。図左下の白の四角が 0m の時の沈下量です。それに対して地下 1m の場合は黒い四角で、沈下量が大きく変わっています。地下水の水位の影響が大きいということが分かります。

これは補足ですが、何故これだけ戸建て住宅が液状化で被害を受けたか。全部で2万何千件の被害が発生したわけですが、戸建て住宅はそのほかの建築物と違って建築確認申請の審査が簡略化されており、その中で液状化も考慮してきてなかったことが一因と考えています。

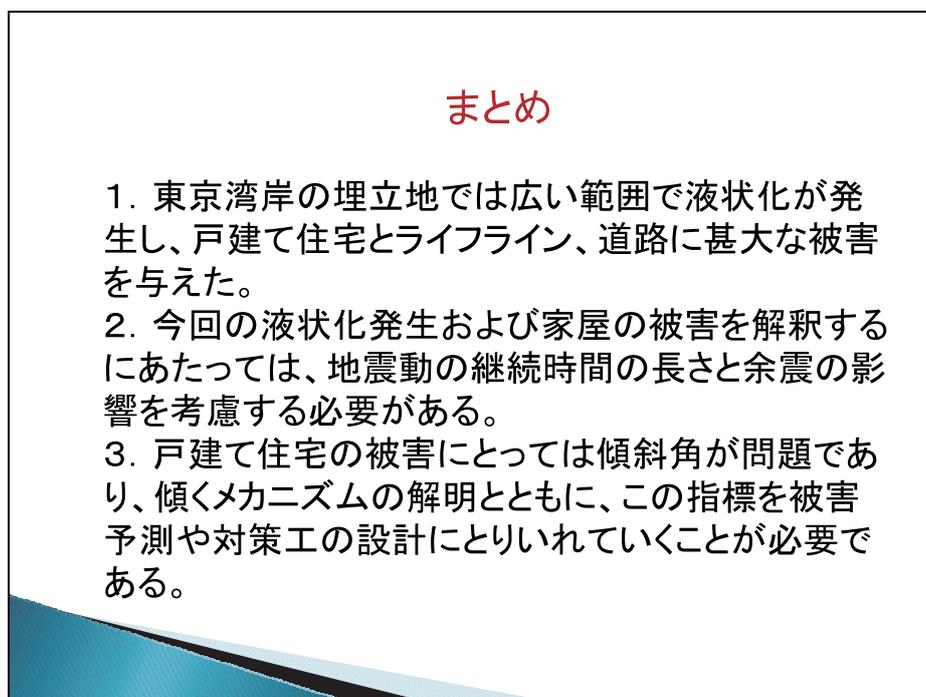


図 40

最後に簡単なまとめ(図 40)ですが、東京湾岸では広い範囲で液状化して、戸建て住宅や道路、ライフラインに非常に大きな被害を受けました。そして、今回の液状化の発生、これを解釈するには地震の継続時間、それから余震の影響、これらを考慮しなければいけません。また、戸建て住宅の被害にとっては傾斜角が非常に問題であり、こういった指標を今後の被害の予測や対策の設計に採り入れていくことが必要だと考えています。以上です。どうもありがとうございました。