

液状化ハザードの説明力向上のための新たなリスクマップの提案

名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻

博士前期課程 2 年 護研究室 小川雄哉

1. はじめに

液状化現象は 1964 年の新潟地震以降、地震時の液状化による被害が広く認識されるようになり、国内外の数多くの技術者、研究者によってそのメカニズムが研究され、液状化対策が取られるようになった。

南海トラフ地震の近い将来の発生が危惧される現在では地震や津波などのハザード評価と同様、液状化危険度推定も行われており、どこの誰でも予測された情報を入力することができるようになっている。しかしハザードマップは現在でも広く普及しているとは言えず、人々の生活に浸透しきれていないのが現状であり、自然災害に対する危機感、我が事感の低さがうかがえる。そこで本研究では液状化のハザードマップの説明力向上により人々に自然災害に関するより大きな危機感や我が事感を持たせることを目標としている。

具体的には、液状化マップ作成の基盤となる過去の液状化被害の分析や現液状化評価手法の整理とその課題抽出を行うとともに、液状化ハザードに対する説明力の向上を目指した新たな液状化マップの作成とアンケート調査によるその有効性について検証した。

2. 過去の液状化被害の分析

本節では過去に起きた代表的な液状化被害についてまとめた。

地震動に特徴があったり、地盤に特徴があったりするがやはり干拓地や埋立地など人工造成地での被害が顕著に発生するという共通していることが分かった。

東北地方太平洋沖地震によって起きた液状化被害の関東地方での被害に関するデータが他の地震に比べデータが多く集められたためこの地震での液状化被害について考察する。

「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」¹⁾ のデータを自らでまとめた。183 箇所分の調査票がある。以降で液状化の発生面積と被害程度という言葉が出てくる。表 1、表 2 に定義を示す。

表 1 液状化発生面積 定義

液状化発生面積	定義
大	面的に広範囲に液状化が発生
中	5箇所以上だが、面的には限定的な発生
小	5箇所以下程度の発生箇所
なし	発生見られず

表 2 液状化被害程度 定義

被害の程度	定義
大	復旧に時間がかかるような大きな変形が発生、または、箇所的に多い場合
中～大	
中	中程度の被害
小～中	
小	復旧が容易な被害、または、箇所的に少ない場合
なし	被害がみられない

液状化被害程度と各調査箇所の最寄りの地震観測点における震度の関係を図 1 に示す。

図 1 では近傍での震度が 5 弱から液状化発生が急増していることが分かる。

被害程度大は数値的に見れば 5 強が一番多いが母数が他より多いというだけで

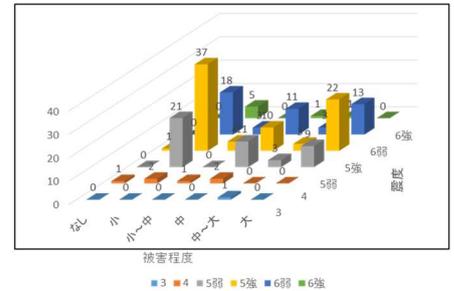


図 1 被害程度と震度の関係

で割合の高さでみれば 6 弱で被害程度が大きくなっているため、震度 6 弱で液状化被害が甚大になることが多いと言える。

次に継続時間と最大加速度と被害程度を図 2 に示す。

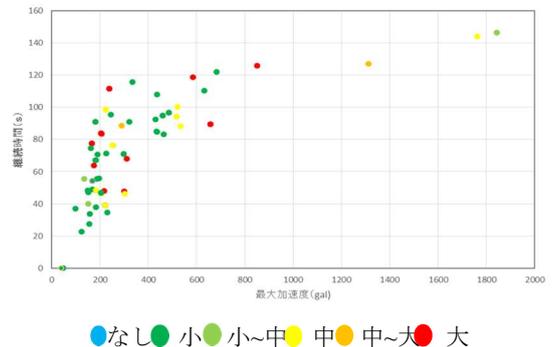


図 2 継続時間と最大加速度と被害程度の関係

最大速度と継続時間と被害程度を図 3 に示す。

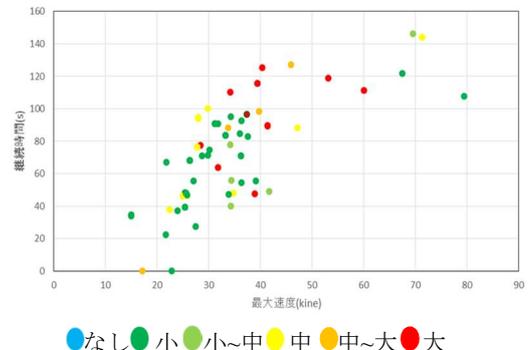


図 3 継続時間と最大速度と被害程度の関係

最大速度も最大加速度も途中まで継続時間に比例に近い関係を示した。液状化が起きれば地盤のせん断抵抗が失われるため加速度は減少するので加速度と被害程度の

関係はあまり見られず、速度と継続時間のグラフの方が被害程度の高さとも相関が高いと言える。その一方で現在は地表面での加速度を用いた液状化予測が多く行われている。

3. 一次元液状化解析の結果分析

現状の液状化の予測・解析には様々な手法があり、簡便なものから複雑なものまで多岐に渡る。

今回は有効応力解析の中でも比較的扱いやすくオープンソースがある一次元有効応力解析 YUSAYUSA²⁾を用いて液状化解析の現状について考察した。

有効応力解析の中でも比較的扱いやすい YUSAYUSAですら数多くの地盤データを必要とする。その中で今回は用いる骨格曲線を双曲線モデルと RO モデルの2通り使い解析結果の違いを確認した。

双曲線モデルの特徴としては、ひずみが大きくなるとせん断応力がせん断強度に漸近するようになっていることである。またひずみが基準ひずみのとき応力がせん断強度のちょうど半分になるようになっていて、剛性が初期剛性の半分になることも特徴の一つである。

ROモデルの特徴としては双曲線モデルより剛性低下率とせん断ひずみの関係が反映されているがすべてのひずみレベルでフィッティングすることはできない。特にひずみが大きくなるとせん断応力も無限に大きくなることは実挙動とは異なる点で注意する必要がある。用いた地盤データを表3に示す。

表3 試算用地盤データ

層	層厚(m)	単位体積重量(kN/m ³)	静止土圧係数	せん断剛性(kN/m)	間隙率	透水係数	土質
1	1	17.658	0.5	18000	0.46	0.0005	砂
2	2.9	17.658	0.5	34300	0.46	0.0005	砂
3	2	17.658	0.5	21800	0.46	0.0005	砂
4	2.1	17.658	0.5	18000	0.45	0.00001	砂
5	1.8	17.658	0.5	60700	0.44	0.0002	砂
6	1.6	17.658	0.5	18000	0.44	0.000025	砂
7	2.3	17.658	0.6	19600	0.44	0.000005	砂
8	2.3	17.658	0.6	19600	0.44	0.000005	砂
9	5	17.658	0.6	55500	0.43	0.00002	砂
10	4	18.1485	0.6	55500	0.45	0.001	砂
11	3.5	16.1865	0.7	103000	0.42	0.000001	砂
12	3.5	16.1865	0.7	103000	0.42	0.000001	砂
13	3.5	16.1865	0.7	103000	0.42	0.000001	砂
14	3.5	16.1865	0.8	103000	0.41	0.000001	砂
15	3.5	16.1865	0.8	103000	0.41	0.000001	砂
16	3.5	16.1865	0.8	103000	0.41	0.000001	砂
17	3.5	16.1865	0.8	103000	0.41	0.000001	砂
18	2.5	18.1485	0.8	204000	0.42	0.001	砂

ここでは2011年東北地方太平洋沖地震の石巻で得られた地震波を用いて解析を行った。

各層の応答加速度と応答速度の結果が異なっていたため過剰間隙水圧比を確認した。双曲線モデルとROモデルでの過剰間隙水圧比を図4に示す。

HDモデルでは第4層の過剰間隙水圧比がほとんど1まで上昇し、液状化が起きていることが分かる。一方でROモデルでは第4層で過剰間隙水圧比の上昇はみられるが液状化を起こすほどではない。モデルの違いだけで解析結果も変わっている。

図5に双曲線モデルの場合とROモデルの場合の変位を示す。変位の仕方は違うが全体的に見れば変位量の差は5cmも無い。

結論として1つの違いで結果が大きく変わることがあり、液状化現象に関する十分な知識を有していないと扱

うことが難しいのが一次元有効応力解析の現状だと考えられる。もちろん今回扱ったものの他にも様々な構成則が提案されているがいずれも使い方や目的にあったものを適切に選択し扱わなければならない。

将来的にデータが充実すれば解析に基づいた予測図にすることで既存の抽象的な予測より液状化対策には有効的になると考えられる。しかし、現状では広域でハザードマップ用に解析を用いるにはデータが足りないことが大きな課題となっている。

4. 液状化ハザードマップの作成

4.1. 既存の液状化マップについて

地震によりその土地が揺れた場合の液状化の危険(影響)の度合いを地図上に色づけて塗り分けたもの。地域の液状化の危険性がどの程度あるかを知ることができる。

地震の揺れの強さの仮定の仕方として、「震度5強」のように、対象地域全域に対して一定とみなしているものと、震源と地震の規模(マグニチュード)を想定した地震が起きた場合、その場所がどれだけ揺れるかを計算して、その揺れによる液状化現象の発生危険度を表したものの二通りがある。他には液状化による沈下量をマップ化したものもある。既存の液状化マップの特徴を表4に示す。

表4 既存液状化マップの特徴

種類	表しているもの	特徴	欠点
液状化危険度マップ	液状化危険度(PL値)	広域的視点から液状化が起きやすいかが分かる	曖昧な危険度評価
液状化しやすさマップ	液状化危険度	土地の特徴を知らず液状化の対策を促す	被害の想定なし
沈下量マップ	沈下量	定量的な評価で液状化対策や避難の難しさを呼びかける	沈下による被害が記されていない

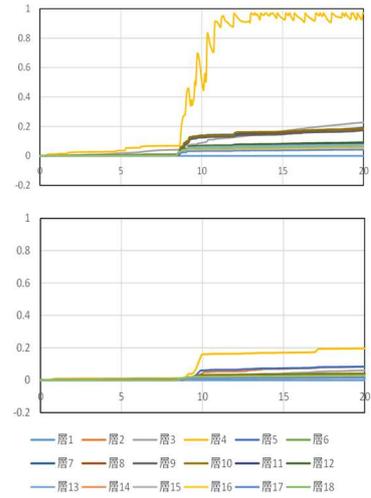


図4 過剰間隙水圧比

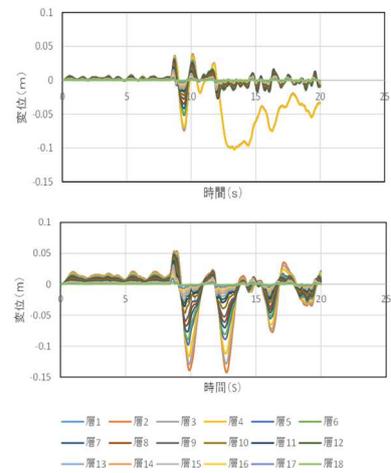


図5 変位 (上 HDモデル 下 ROモデル)

4.2. 沈下量を用いた液状化マップ作成

既存の液状化マップの中で唯一定量的な評価である沈下量に着目した。

また、マップを見た人がよりいっそう我が事感をもつということを考えれば身近に起こりうる被害を見せることが効果的ではないかと考えた。

以上の二つの点から人の生活には切っても切り離せない住宅についての液状化リスクマップの作成を提案する。定量的で住宅に関する指標として建物傾斜量があり、それに関してのマップを作成した。また傾斜からもう一步我が事感を意識した健康被害に関するマップも作成した。

沈下量の算出法は建築基礎構造設計指針に示されている補正N値とせん断ひずみの関係を用いて算出している。基本となる地盤沈下量の推定式を式(1)に示す。

$$S = \sum (H_i \times \varepsilon_{vi}) \quad (1)$$

Sは沈下量, H_i は層厚, ε_{vi} はひずみである。

一つ目の建物傾斜マップは安田ら³⁾によって明らかにされているめり込み沈下量と傾斜の関係を用いてハザードマップを作成した。

国交省が公表する資料の中に建物傾斜の概算でめり込み沈下量を地盤沈下量に変えて概算する手法を用いており、それに倣い地盤沈下量を採用した。推定式を式(2)に示す。

$$\theta = 0.13 \times S \quad (2)$$

θ は傾斜角(1/1000), Sはめりこみ沈下量(mm)

ハザードマップでの表現としては内閣府の被害認定⁴⁾にならぬ、建物の被害程度で表現した。作成した建物傾斜マップを図6に示す。

大規模半壊以上の被害が多く出る結果となった。めり込み沈下量の代わりとして深さ20mまで計算している地盤沈下量を用いているため被害は大きめの予測になっていると考えられる。

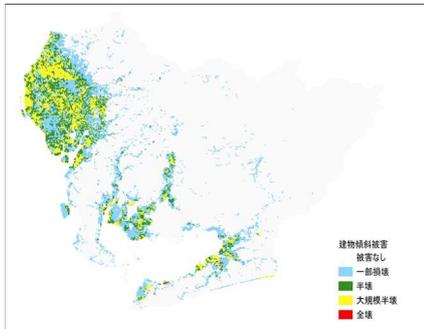


図6 めり込み沈下量と建物傾斜の関係を用いた住宅被害マップ

二つ目は時松ら⁵⁾によって明らかにされている地盤沈下量と建物傾斜の関係を用いてハザードマップを作成した。これは東北地方太平洋沖地震の関東地方で得られたデータをもとに地盤沈下量と建物傾斜が関係づけられている。沈下量毎に被害割合が与えられている。半壊以上の被害割合をハザードマップとして表した。図7に二つ目の傾斜マップを示す。半壊以上の被害で見れば25%以下のメッシュがほとんどになったが、この割合の見せ方・伝え方次第で印象が大きく変わることには注意したい。

作成した傾斜マップの予測の精度の確認として被害棟数の比較を行った。計算結果を表5に示す。

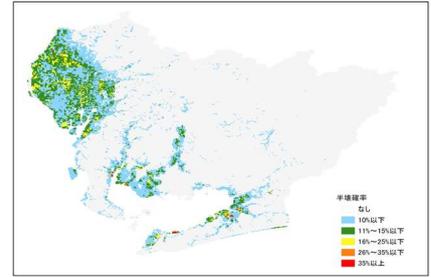


図7 地盤沈下量と建物傾斜の関係を用いた住宅被害確率マップ

表5 被害棟数比較

	全壊	大規模半壊	半壊	合計
愛知県	15950		56000	71950
めり込み沈下と傾斜	833	182928	197405	381166
地盤沈下と傾斜		24682	57605	82287

結果としてめり込み沈下量と傾斜の関係から被害棟数を算出した場合は他の二つに比べて大きくはずれた数値となった。これはメッシュ内の建物が全てメッシュの被害判定と同じ被害として計算されているため大きな数値となっている。

一方で地盤沈下量と傾斜の関係から被害棟数を算出した場合は、愛知県は住宅棟数だけで350万棟以上あることを考慮すれば、半壊以上の被害棟数でみたとき概ね一致していると考えられる。

4.3. 液状化マップにまつわるアンケート

4.3.1 名古屋市でのアンケート

名古屋市の液状化危険度マップや、建物傾斜マップを見て頂き危機感の感じ方やマップに加えてほしい情報についての調査を行った。

名古屋大学の建築学生や街の方を対象に計48名に回答をいただいた。標本は大きく3つのグループに分かれ、名古屋大学建築学生29人、名古屋大学減災連携研究センター研究員7人、街頭調査12人である。今回はA.液状化危険度マップ, B.液状化沈下量マップ, C.液状化沈下による建物半壊リスクマップ, D.液状化による健康被害リスクマップの4つを見ていただき、自分が名古屋市に住むという想定で4つのマップそれぞれの液状化についての危機感の感じ方など11の質問に答えてもらった。4つのマップを図8に示す。

右の4つの液状化マップを見て一番液状化に対して危機感をもつマップはどれか聞いた。結果を図9に示す。

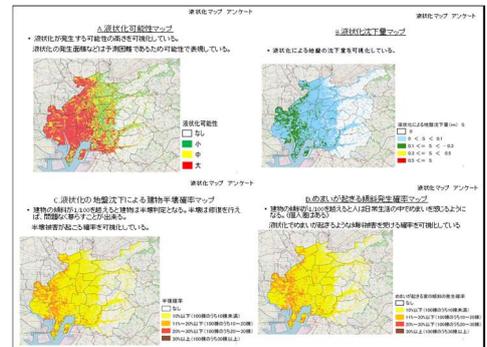


図8 アンケート資料 名古屋マップ

Aの液状化危険度のマップをみて危機感が高まると回答した人が一番多く31人で6割以上がAのマップと回答した。

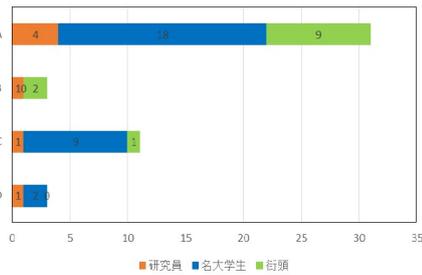


図9 「どのマップが危機感を強く持たせるのか」回答結果

一番危機感を感じるマップの選んだ理由を回答してもらった。B,C,Dは回答数が少ないため一つにまとめて表示する。結果を図10に示す。

Aの液状化危険度マップで危機感を一番感じると答えた人の約55%がマップの色使いから判断しており、ハザードマップに

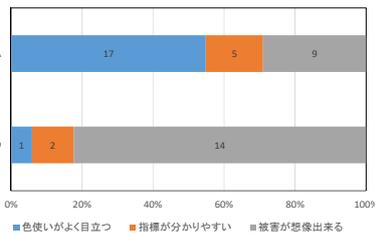


図10 選択理由の回答結果

おける色使いの重要性を改めて感じた。

一方でB~Dのマップを選んだ人の理由としては80%以上が被害を想像しやすいという理由から選択しており、人への影響を示すことで危機感を覚える人がいて、そのような情報を提供することの重要性が見えた。

色使いから想像する曖昧な危険ではなく、被害が想像出来る情報でマップを作成することでマップでの液状化リスクの説明力は向上したと考えられる。

4.3.2 一宮市でのアンケート

愛知県一宮市でも同様の液状化マップに関するアンケートを50人に行った。対象に男性19人、女性31人である。図11を見ながらアンケートに回答していただいた。

名古屋市でのアンケートの時に比べCのマップは色使いの変更をした。それぞれのマップを見たとき液状化対策をしよう

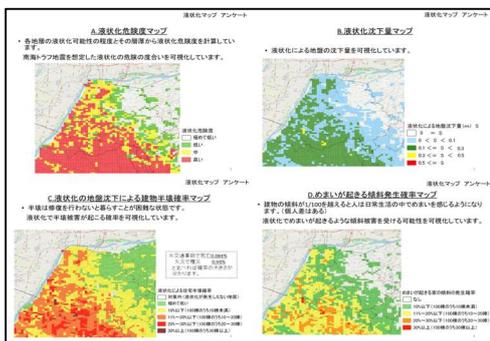


図11 アンケート資料 一宮マップ

と思うか調査した。結果を図12に示す。名古屋市でも同様の質問をしたがその時と比べCのマップをみて対策を取ろうと思う人の割合は増加した。一方でB,Dのマップでは名古屋市と同じような回答結果となった。

Aのマップをみて対策をしようと強く思う人よりCの

マップをみて対策をしようと強く思う人が多く、身近な液状化リスクを示すことで液状化対策に対する意識は向

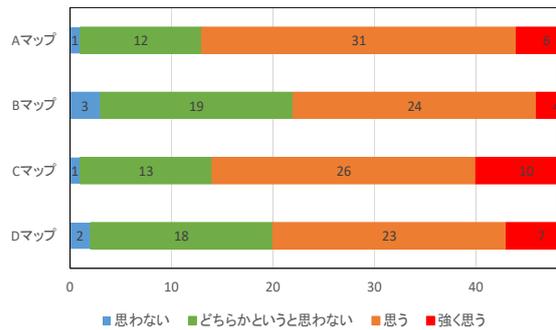


図12 「マップを見て液状化対策しようと思うか」回答結果

上したといえる。

名古屋市でのアンケートと同様に液状化マップを見て一番液状化に対して危機感をもつマップはどれか聞いたところやはりAの液状化危険度マップの色が目立つという理由で選ぶ人が17人で一番多かった。ただCの液状化沈下による建物半壊リスクマップの色使いの改善でCのマップを選択する人が増えた。やはり色使いに気を使いながら身近なリスクを提示することは液状化など災害に対する意識向上には必要だとわかる。

5. まとめ

地震の特徴や地盤の特徴がそれぞれあるが、共通して人工造成地での被害が話題となること多いと言えることと、液状化はいくつかの要素を複合的に捉えなければいけないと改めて理解することが出来た。

次元有効応力解析 YUSAYUSA を用いて、次元有効応力解析の現状について考察した。扱う情報の少しの違いで結果が大きく変わることが示すことが出来た。

最後に我が事感に着目した新たな液状化マップの作成を提案した。被害棟数の観点で見れば地盤沈下量と傾斜の関係の方が現状ではハザードマップに適していた。作成したハザードマップについてアンケートを実施し、結果として多くの人が危機感を最も感じるの液状化危険度マップであった。ただ色使いによって危機感を感じる人が多く、液状化による半壊確率マップでは被害を想像しやすく危機感を感じると答えた人が多かったためこの二つのハイブリッドが危機感を持ってもらうマップとして一番効果的であると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局：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説明, 2011年
- 2) 吉田望, 東畑郁生: YUSAYUSA-2 SIMMDL-2 理論と使用法 (改訂版 Version 2.10), 2005年
- 3) 安田進, 橋本隆雄, 山口亮: 東北地方太平洋沖地震による液状化被災地区における住宅の傾斜とめり込み沈下量の関係, 2012年内閣府: 防災情報ページ「災害に係る住家の被害認定」
http://www.bousai.go.jp/taisaku/pdf/r306higai_nintei.pdf
閲覧日 2021年10月
- 4) 時松孝次: LIQUEFACTION-INDUCED DAMAGE TO BUILDINGS IN URAYASU CITY DURING THE 2011 TOHOKU PACIFIC EARTHQUAKE, 2012年