

## 「迫りくる液状化」

### 4 班

学籍番号	氏 名
C09005	小川 竜治
C09016	竹内 健悟
C09023	三輪 晃平
C09027	吉田 智博

アドバイザー教員：酒造 敏廣教授・棚橋 秀行准教授

## 目 次

	ページ
1. 調査目的	1
2. 調査方法	2
2-1 インターネット	2
2-2 施設訪問	2
2-3 施設訪問	2
3. 調査結果	3
3-1 液状化とは	3
3-2 液状化による被害	3
3-2-1 構造物の沈下	3
3-2-2 浮き上がり	4
3-2-3 填砂	4
3-2-4 側方流動	5
3-2-5 そのほかの被害	5
4. 対策	5
4-1 液状化の原因になる地中の水を抜く	5
4-2 固い地盤を柱で繋いで建物を支える	6
4-3 地盤を強化する	6
5. 液状化危険度～FL・PL 法～	6
5-1 FL・PL 法	6
5-2 FL 法	6
5-3 PL 法	7
6. 南区の地盤	7
7. 提案	8
7-1 概要	8
7-2 検証	8
7-3 結果	9
8. 謝辞	9
9. 参考文献	9
10. 感想, 各自の貢献内容	10
C09005 小川竜治	10
C09016 竹内健悟	11
C09023 三輪晃平	12
C09027 吉田智博	13

## 1. 調査目的

当初、私たち4班は南区における東海地震の被害規模と対策を調査する予定だった。しかし調査をすすめるにつれてここ南区は東海地震の震源は静岡であり、南区とさほど近くなかった。そのため、東海地震は南区へは震度5強以下の揺れが来ることになる。気象庁震度階級によると、耐震工事をしていない古い木造住宅が倒壊する程度である。(表-1) 名古屋市は名古屋市防災条例第6節19条で「市は、自らが所有する建築物の地震に対する安全性を確保するため、必要に応じて耐震診断を行い、その結果に基づいて耐震改修を行うよう努めなければならない。」と定めている。さらに南区には「臨海部防災区域」の建築物の構造の制限があり、南区には木造建造物は建てられない。

(図-1)

このことから、南区は倒壊する建物の数は少ないと想定され、大して大きな被害はでないであろうという結果になった。

さらに調査を進め、南区が地盤の弱い軟弱地盤と呼ばれる地域だということが分かった。私たちはそこに目をつけ相談した結果、地震によって引き起こされる液状化について調べる方向に変えた。そこから液状化とは何かといったメカニズムを詳しく調査し、今後起こり得る地震での被害を最小限に抑えるには私たちに何が出来るのか具体的な対策を考案し提示できるようにする。

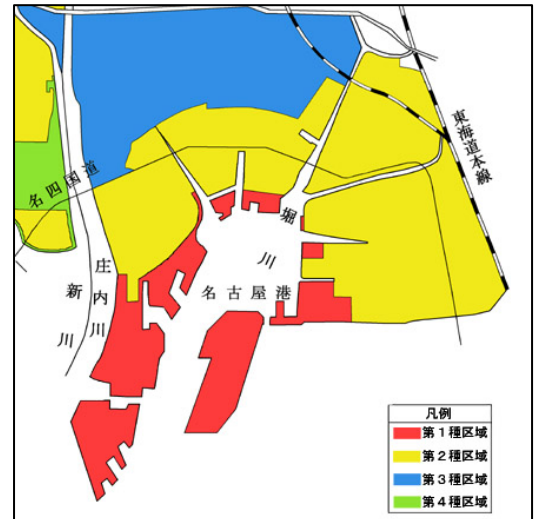


図-1 臨海部防災区域マップ  
※南区は第1種区域である。  
木造建築は禁止で、1階の床は地面から4m以上の高さでなければならない。

表-1 震度5強での周囲の被害・様子 (気象庁震度階級より抜粋)

震度階級	屋外	屋内	建物	設備・インフラ	地形
5 強	恐怖を感じ、たいていの人が行動を中断する。	窓ガラスが割れたり、補強していないブロック塀が落ちてくる。道路にも被害が出てくる。	木造:耐震性の低い住宅では壁や柱が破壊するものがある。	停電する家庭が出てくる。ガス・水道管に被害が出て、利用できなくなる。	軟弱な地盤で、亀裂が生じることがある。山地で落石、小さな崩壊が生じることがある。
	食器棚などの棚の中にあるものが落ちてくる。テレビもテレビ台から落ちることもある。一部の戸が外れたり、開閉できなくなる。		RC造:耐震性の低い建物では、壁や柱に大きな亀裂が入るものがある。耐震性の高い建物でも壁に亀裂が入るものがある。		

## 2. 調査方法

私たちが調査したものは、大きく分けて

- ・ 液状化とは何か
- ・ 液状化の発生条件
- ・ 液状化による被害
- ・ 今とられている対策
- ・ 南区の地盤の液状化しやすさ
- ・ 提案を検証するにあたって必要な事柄

などである。

### 2-1 インターネット

インターネットでは、液状化の大まかなメカニズムとそれによって引き起こされる被害内容や対策など、過去の大きな地震での調査結果を元に調べた。

さらに、Yahoo!地図などを使い、名古屋市南区周辺の地図の検索や、液状化危険度判定法や構造物の重さなどの調査などにもインターネットを使用した。

### 2-2 施設訪問

11 月 12 日に名古屋市港区にある港防災センターを訪問した。質問に答えて頂ける人がいないことは予め分かっていたため、過去に起きたいろいろな地震が体験できる設備で地震の揺れを体験したり、いくつかある資料に目を通したりした。ほかにもペットボトルで作られた液状化を発生させる装置「エッキー」というもので小さいながらも初めて液状化というものを見た。(図-2)

### 2-3 資料文献

学校の図書館で液状化についての資料を探したが、これといったものが見つからず液状化を完全に理解できずにいたが、大東先生に貸していただいた「液状化はこわくない」(渡辺 具能 著 山海堂 版)という本が専門用語も少なく分かりやすかったので非常に役に立った。



図-2 液状化発生装置「エッキー」

### 3. 調査結果

#### 3-1 液状化とは

液状化とは水をたっぷり含んだ地盤が振動によりまるで液体のようになる現象である。(図-3) 地盤の中は砂や粘土などの粒子が互いに組み合わさっており、その間を間隙といい、間隙の中の水を間隙水という。振動により砂粒が浮遊状態になると砂粒は地上や地中の構造物を支えられなくなる。その結果、建物が沈下し、地中のガス管が浮上し破裂する。液状化はあまり水を含まない地盤、又粘土や砂粒の大きい地盤では起こりにくい。

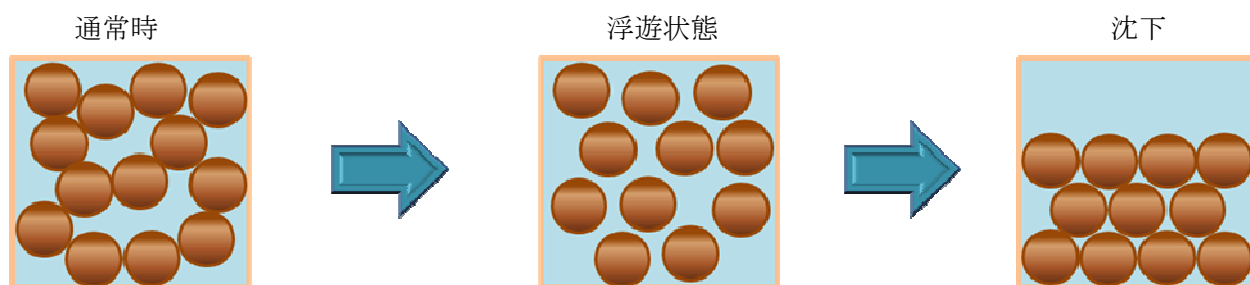


図-3 液状化メカニズム

#### 3-2 液状化による被害

液状化そのものには人命に直接大きな被害をもたらすことは少ない。ただ、地盤の沈下やマンホールなどの地下設備の浮き上がり、填砂などあらゆる被害は起こる。ここでは液状化によって引き起こされる様々な被害を紹介していく。

##### 3-2-1 構造物の沈下

液状化した砂地盤は、一般の液体と同じように浮力を持つため、地盤の持つ本来の支持力を著しく低下させ、その上に建っている建造物や構造物に大きな被害をもたらす。一般に構造物は重いため、支持力を失った地盤に支えられることが出来なくなり、地面に沈んでいく。また建造物の形は必ずしも均一ではないので、どちらか重い方向へと傾いていくこともある。そして最悪の場合、建造物の倒壊という事態もある。(図-4), (図-5)



図-4 構造物沈下の様子 1



図-5 構造物沈下の様子 2

### 3-2-2 浮き上がり

液状化は a)で示したような地上だけの被害でなく、配水管などの地下にある埋設管にも被害を与える。つまり、液状化によって地盤がズレたりして、それらが破断、極端な場合には管が地上に浮上してしまうこともあるのだ。その代表的なものがマンホール。マンホールが浮上(図.1)すると交通の妨げになり避難や緊急車両に遅れが生じる。また埋設管には貴重なライフラインが多くある。たとえば地震ではよく火災が起きるが配水管が破断してしまった場合、消火活動に大きな影響を及ぼすことになる。ほかに、管が地上に浮き出て破断した場合、それが配水管ならあたり一面水浸しに、ガス管ならガスが充満し、とても危険な状態になってしまう。(図－6)，(図－7)



図－6 浮き上がりによる被害の様子 1



図－7 浮き上がりによる被害の様子 2

### 3-2-3 填砂

填砂とは普段固まっている砂地盤が地震による強振動で流動化し、それが地割れなどに隙間から地上に噴き出していく現象のことをいう。この現象は人命には関わりはないが、アスファルトの補修など復興に多くの手間がかかる。(図－8)



図－8 填砂の様子



### 3-2-4 側方流動

地盤流動現象のひとつで、傾斜や段差があるところで液状化現象が起きた際、液状化した地盤が水平方向に移動する現象を側方流動という。側方流動には大きく分けて二つの種類があり、ゆるい勾配のところで液状化層があるとき、その傾斜に沿って移動するのがひとつ目である。ふたつ目は、地震の揺れや液状化により護岸などが移動することで引き起こるものである。このような場合、地中構造物に大きな被害を与える。たとえば杭基礎の場合、側方流動が発生すると横からせん断力や曲げの力を受ける。この力に杭が耐えられなくなり、破壊されてしまうと地上にある杭基礎上部の建造物を支えられなくなり、最悪倒壊の恐れがある。また、橋の場合も同様に側方流動により、橋脚に水平方向の力が加わるとズレが生じる。そのズレが大きいと橋は繋ぎ目から崩落してしまう。これはもし橋の上に人がいた場合、命にかかわる災害になるため注意が必要である。



図－9 側方流動によりできた道路の大きな陥没と段差

### 3-2-5 そのほかの被害

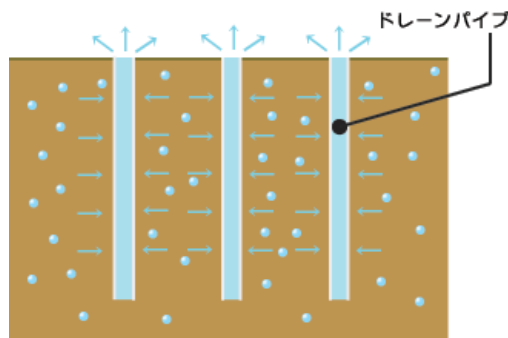
今まで挙げてきた被害のほかにも液状化による被害はいくつかある。たとえば地すべり、地面の隆起や沈下などたくさんある。これらは直接、人命に関わるような被害ではないが、中・長期的に見ても住民にはかなり影響してくるものだと思う。一口に液状化といっても、このようにいろいろな面で被害が出てくるということを住民は肝に銘じ、注意していかなければならないと思う。

## 4. 対策

液状化による被害を抑えるために以下のような対策が行われている。

### 4-1 液状化の原因になる地中の水を抜く

地中の水を抜くにはドレーンパイプ工法という手法がある。大地震時に砂の粒子間の水圧を抑え、上昇する地盤中の水圧をこのパイプを通して地下水をすみやかに逃がすことにより、液状化の原因となる地下水圧の上昇を抑制し、常に安定した地盤を確保できる工法である。(図－10)



図－10 ドレーンパイプ工法

#### 4-2 建造物の基盤と地面の深い所にある固い地盤を柱で繋いで建物を支える

建物の柱の周りを地盤改良し液状化に弱い軟弱層の下にある液状化に強い支持層まで建物の柱を埋める工法。(図-11)

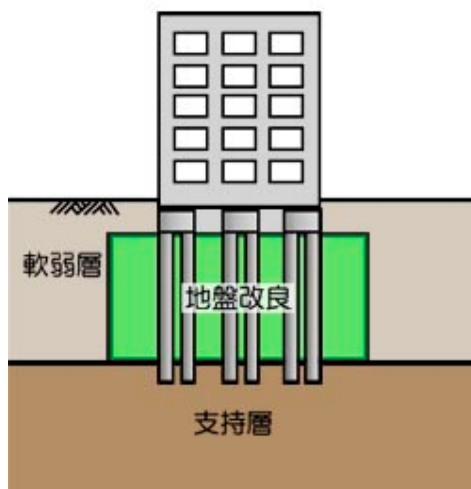


図-11 建物を支持層に支えてもらうことにより、安定化を図る。

#### 4-3 地盤を強化する

ゆるい砂の改良には、動的締固め工法という振動または衝撃による工法が有効である。その理由は、粒子同士を押し付ける力（有効応力）をいったん解除して摩擦を切り、粒子が容易に動けるようにして砂粒を詰めることができるからである。しかし市街地では騒音・振動が、既設構造物近傍では土圧が問題となります。

### 5. 液状化危険度～FL・PL法～

液状化は、未然に起こる可能性を計算することができる。液状化危険度の評価は「どうろきょうしほうしょ道路橋示方書」に準じる FL・PL 法という手法が一般的であるのでここで紹介する。

#### 5-1 FL・PL 法

FL・PL 法とは表層部での地震の動計算結果から地中のせん断応力を求め、液状化対象層ごとに液状化に対する抵抗率（FL）を求め、地表全体の液状化可能性指数（PL）を評価するものである。

#### 5-2 FL 法

FL 法は日本道路協会により提案された手法で、深度 1m 毎に地下 20m まで液状化抵抗率（ $F_L$  値）を計算し、液状化の可能性を定量的に評価するものである。

##### 5-2-1 液状化抵抗率とは

液状化抵抗率は次のようにして求める

- ①メッシュごとの地盤モデルから土質と N 値（ボーリング調査によって地盤の強度等を求めた値）を求め地震時のせん断応力度比  $R$  を算出する。
- ②想定する地震の地表震度から地震時のせん断応力比  $L$  を算出する。
- ③ $R/L$  を求める。

$$F_L = \frac{\text{地盤の動的せん断強度比}}{\text{地震時せん断の応力比}}$$



この方法では、深さ毎の液状化の可能性は評価できるが、その地点全体での評価には不便な面がある。そこで各層の  $F_L$  値を使い、地表全体の液状化可能性指数（ $P_L$  値）を評価する。

### 5-3 PL 法

PL 法とは FL 法により算出した深度毎の  $F_L$  値を足し合わせた数値を 1 地点の最終判定とする方法です。この数値が高いほど液状化の危険があると予測される。（表－2）

表－2 液状化危険度評価

$P_L$ 値	液状化危険度評価
15 以上	液状化危険度が極めて高い
5～15	液状化危険度が高い
0～5	液状化危険度は低い
0	液状化危険度が極めて低い

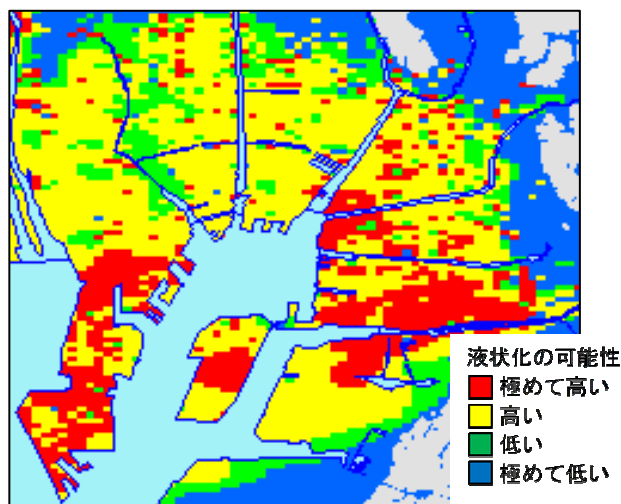
## 6. 南区の地盤

ここ大同大学がある名古屋市南区の液状化危険度どのようになっているのか。調査した。

（図－12）、（図－13）



図－12 南区地図



図－13 南区液状化マップ

図を見てわかるとおり名古屋市南区はとても液状化しやすい。これは南区が臨海部にあり地盤が水を多く含んでいるからである。

## 7. 提案

前述したとおり、地盤の液状化による被害を抑える為に、さまざまな対策が行われてきた。しかし、今までの対策は、地盤に細工をするものであった。そのため地震により細工箇所が破壊されるということや、時間とともに地盤が変化しその機能を失う恐れがあった。そこで、今回私たちが提案したのは地上の建物に細工をし、液状化による被害を抑えようというものだ。さらに、地上は地下よりも維持管理がしやすいという利点もある。

### 7-1 概要

地盤が液状化すると重い建物を支えられなくなり、建物は沈んでしまう。この反重力コプター（図－14）は地盤に支える力がなくなり建物を支えきれなくなった差分をプロペラの浮力で補うものだ。

つまり

**建物の重力 ≒ 建物の浮力 + プロペラが生む浮力**

になればいいのだがそのようなことは可能なのだろうか。

### 7-2 検証

今回の検証は

- ①建物の重力
- ②建物の地下部分にかかる浮力を調べ
- ③プロペラが①－②の浮力を生み出せるかを検証する

今回は図－14のような3階建てのRC構造の建物の屋上にプロペラを取り付けた場合を考える。まず建物の重さだが、床面積を  $20\text{ m}^2 \times 20\text{ m}^2$ 、 $1\text{ m}^2$  当たりだいたい  $1\text{ t}$  とし、

$$20 \times 20 \times 3 \times 1\text{ t} = 1200\text{ t} = 12000000\text{ kg} \quad \text{とする。}$$

さらに  $1200\text{ t}$  に重力加速度をかける

$$1200000 \times 9.8 = 11760000\text{ N} = \text{①}$$

次に地下部分にかかる浮力を決める。浮力の公式により

浮力 (B) = 地下の部分の容積 (V) × 液状化層の比重 (ρ) × 重力加速度 (g) で求める。

地下部分の容積は1フロア分の面積に深さが  $5\text{ m}$  だとして

$$20 \times 20 \times 5 = 2000\text{ m}^3$$

液状化層の比重は水の約2倍なので

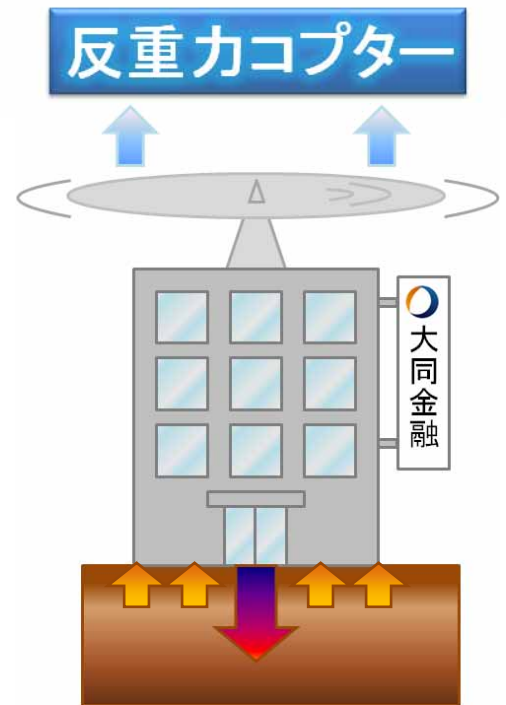
$$2000 \times 2 = 4000\text{ m}^3$$

さらに  $2000\text{ m}^3$  に重力加速度をかける

$$B = 4000 \times 9.8 = 39200\text{ N} = \text{②}$$

つまり建物を支えきれない差分は  $11760000 - 39200 = 7760000\text{ N} = 7760\text{ tm/s}^2$  である。

しかし、ヘリコプターは重いものでも  $5\text{ t} \sim 10\text{ t}$  程度でヘリのプロペラの700倍の浮力を生まなければならない。



図－14 反重力コプター

### 7-3 結果

以上の結果から、プロペラによって構造物の浮力を生むというのは大変実現し難いという結果になった。しかしこれから先、技術が進歩し、地上から地震対策を行える日が来るかもしれない。

### 8. 謝辞

稿を終えるにあたり、見学させて頂いた港区防災センターの皆様には深く感謝いたします。また、参考書籍を貸して下さった大東教授、そして、御指導・御鞭撻を頂きましたすべての方に心より感謝の意を表し謝辞といたします。

### 9. 参考文献

液状化はこわくない（渡辺 具能 著 山海堂 版）

Yahoo！地図 <http://map.yahoo.co.jp/>

名古屋市：臨海部防災区域

<http://www.city.nagoya.jp/jigyoku/kenchiku/kaihatsutakuchi/jigyoubetsu/kakunin/rinkaibu/>

ウィキペディア（気象庁震度階級・液状化危険度・浮力など）

<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

## 10. 感想, 各自の貢献内容

### 「最終報告を終えて」

C09005 小川 竜治

感想：

班が決まり、テーマを決める段階で、「棚橋準教授の担当分野がいい」という短絡的な理由で決めてしまった。なのでなかなか地震についての探求心が沸かなかった。さらに、先に「東海大地震が来ると建物は崩れ地盤が・・・それにはこういう予防策が必要で・・・」という大まかな流れを作り、さあ調べようという段階で東海大地震の南区の構造物やライフラインに与える被害が少ないことがわかり、とても時間をロスしてしまった。

中間発表まではほぼ全て自分一人でやった。そして締め切りに間に合わず、本番で寝てしまった。そして中途半端な状態で他の3人に引き渡した。中間発表はコピペばかりで見られたものではなかった。

最終発表は気合を入れて頑張ろうと思い取り組んだ。今度は班員と分担したが、パワーポイントは1枚のスライドに文字が小さくて見えなかったり、液状化とあまり関係ないことを調べていたりしてあったので大量に修正した。結局最終発表も殆ど一人でやった。レジュメの締切日は20:30まで残り家に着いたのは23:30頃だった。気温が低く前日徹夜で働いており抵抗力が落ちていた為、風邪を引いた。火曜日に病院に行き、水曜は休んだが、熱が下がらず当日昼まで寝ていたら遅刻してしまった。さらにPPT2003で動作確認をする暇がなく、当日はアニメーションが動かなかった。

最終報告書はかなり分担を振り分けたが、三輪君の持ってきたファイルの作成日時が締め切り前日の19:00でしかも大東教授に貸して頂いた本のまる写しだった。すべて書き直した。それでも2人の協力があつたのでとてもはかどった。

私は特別優秀なわけではないのですが、周囲より年上なので頼られ、またプライドもあつたので一人でやろうとしてかなり無理がありました。1番の心残りはもっと発表の練習がしたかったことです。

私の貢献内容：

この班での調査の中で、私はテーマ決めから中間発表までほぼ全てやった。最終発表ではA1ポスターは全てやり、スライドは南区の液状化マップを竹内君に探してもらった事意外全て、レジュメは9割方一人でやったが吉田君が隣で誤字などをチェックしてくれていたのがかなり速く作成できた。最終報告書は5~8を担当し、他のメンバーが作成したものをまとめ、修正し一つのものにした。

## 「液状化について調べて」

C09016 竹内 健悟

感想：

私の班では最初は東海大地震について調べていましたが思っていたよりも地震による被害が小さく地震によって起こる液状化による被害が大きいことを知り液状化について調べることになりました。

この班で私の担当は液状化の被害と対策で被害については建物の地盤沈下だけでなく水圧により地面から噴砂し 30cm から 40cm も砂が堆積することもあり、一部の地下に埋めてある水道やガス管などのライフラインが浮上し破壊されることなど思っていたよりも被害が大きい事を知りました。

また対策については地面を固めて地盤を強化する方法だけでなく地中にパイプを通し液状化によって土粒子と分かれた水の逃げ道を作り液状化の被害を減らす方法などがあり面白いと思いました。

私の貢献内容：

この班での調査の中で、私は液状化の被害と対策について調べ情報を集めていましたが液状化被害対策は、この授業の中盤くらいに渡された参考文献の本に調べていた液状化の対策が全部乗っていたので対策関係については全く貢献できてない気がします。

感想：

私の班では近々発生するであろう東海地震において愛知県に最も被害をもたらすと言われている液状化現象について被害・被害の規模・対策を調べた。

この研究授業を通して思ったことは自分自身にきちんと知識をつけてから専門家や知識を持っている人物に直接話を聞くことが大切なことだと言うことを反省から学んだ。今回、ほとんどがネット検索か図書館の本を閲覧してパワーポイント・レジュメを作成した。この授業自体を何のためにやっているのか？ということに気付くことが遅れたことにとっても反省をしている。なによりも、チームでやっているのだから、チームでの連携をしっかりととらなければならないと思った。チームでの話が全然噛み合わなかったり、チームで上手く連携をとって割り振りをして作業を進めることの難しさがよくわかった。

液状化を調べてわかったことは、液状化による人災はほとんどないということ。液状化は建物の基礎である地盤じたいが崩れてしまうためその上にある建造物や地中の配管などに被害をあたえる。ということは、修繕するのに莫大な費用がかかる。このようなことが起こらないためにも、地盤対策は必要だと思う。しかしその反面、地盤の補強にもそれなりの費用がかかってしまう。費用の面にも兼ね合いを考えなくてはいけないと思った。

液状化は一般の人々にはあまり重要視しておらず、地震の外見しか注目をしていないのでは？と私は思う。なによりも建物の基礎である地盤の対策にも注目をして欲しいと思う。そして、自分の住んでいる地域の地盤はどうだろうか？PL 値はどのくらいなのか？どのような地質なのか？など人々に関心をもってもらいたい。

最後に液状化は人的な被害は少ないが、インターネットの被害の画像などを見て決して液状化を軽視しないでほしいと思った。そして、この授業を通し失敗から学んだことを無駄にしないようにこれからの研究授業に生かして行きたいと私は思った。

私の貢献内容：

この班での調査の中で、私はインターネットや本から液状化現象に関しての知識を入れた。その知識をもとに「液状化現象とはなにか？」・「愛知県名古屋市の液状化の被害の規模はどれほどか？」・「液状化がもたらす被害はなにか？」について調べまとめた。

地域の防災センターに出向き地震体験や、地質学の教授に直接質問をしてそのヒントをもとにインターネットや名古屋市の地質の本を参考にしながら調査を進めていった。

チームで担当分担を割り振って、授業時間外に調査をしまとめて班で発表をした。レジュメやパワーポイントにまとめた。



感想：

私の班では液状化の危険度とその対策について調査をすすめてきました。液状化について調査をして、南区という場所は本当に液状化の影響を大きく受けてしまうことが分かった。そもそも私は液状化というものがどういうものなのか詳しく知らなかったので、インターネットで過去の大地震の際に起こった液状化の被害の資料を見てみると、填砂や地下にある埋設物の浮き出しなどたくさんの被害があることが分かった。また、「PL 値」液状化の危険度をリアルな数字というかたちで示すことができ、その数値の大きさには軽く衝撃を受けた。

また対策ですが建物を建てる前にするのと建てた後にするのでは手間や費用が違い、すでに多くの建物が建てられている南区では莫大なお金がかかるうえに、結局はその対策も市などがやるのではなく個人次第というものわかった。やはりそこは、個人の家にも液状化対策全額補助などの対策を立ててほしいと思った。

反省点としてはやはり調査のほとんどをインターネットに頼ってしまったことです。大東先生に貸していただいた本があってよかったと思います。

班全体では当初の予定で東海地震の南区における被害と対策といったかたちで調査をすすめるつもりでいたのですが、大きな被害が出ないということが次第に分かっていき調査の方向をかえることになりました。液状化にかえてからというもの、さらに専門知識が必要になり理解するのが難しくなりました。班としてもあまり上手く機能できていなかったため中間発表には間に合わず、後日の発表でも散々な結果に終わってしまいました。しかしそこからはハプニングも続きましたが、ある程度みんなで協力してやれたと思います。

私の貢献内容：

この班での調査の中で、私は対策や被害など与えられたものの調査を主にインターネットでしていきその情報を提供しました。あと授業として環境地質学を取っているので業後、その先生に南区で今とられている対策や地盤についてなど質問しました。