

液状化を防ぐ Prat 4

袋井市立浅羽中学校

3 年 白畑伊織

1 動機

僕の祖母は福島に住んでいて、東日本大震災を経験している。僕には地震の記憶はないが、小さい頃から家族と地震の映像などを見て色々な話をしてきた。小学校 6 年生の時に液状化現象に興味を持ち、そこから「液状化現象を防ぐ」というテーマで研究を続けて行っている。

3 年の研究を経て、「液状化を防ぐには地中に杭を挿すとよい」ということ、「軽い杭でも効果がある」ということ、「杭は表面に抵抗を付けると抜けにくくなる」ということが分かっている。今年度は、昨年まで行っていた縦揺れ（P 波）だけでなく、その後に続けて横揺れ（S 波）を起こし、より本当の地震に近い条件を発生させ、横揺れ（P 波）だけの時との違いを調べる。更に、今までの研究で得られた液状化対策を使って建物の倒壊を防ぐことができるかを検証する。

2 昨年度までの研究で分かったこと

- (1) 砂は体積の 20%前後の水で液状化するが、粒子の大きさによって保持率は変わる。
- (2) 液状化を防ぐには、地中に杭を挿すとよい。
- (3) 杭は太い方が液状化を防ぐ効果があるが、太い杭は抜けやすい。
- (4) 杭は重たい方が抜けにくい。
- (5) 杭は硬さによってその効果は変わらない。
- (6) 杭は表面に抵抗を付けると、抜けにくくなる。

3 本研究の目的

- (1) 縦揺れ（P 波）と横揺れ（S 波）を発生させ、横揺れ（P 波）だけの時との違いを調べる。
- (2) 今までの研究で得られた液状化対策を使って建物の倒壊を防ぐことができるか検証する。

4 準備物

虫かご、竹串、ストロー、軽量カップ、プラスチックトレイ、わりばし、下敷き、巻き尺、チョーク、スコップ、バケツ、ざる、砂

5 方法

- (1) 液状化を起こす為の砂を作る。
 - ア 砂をざるに入れ小石を取り除く。
 - イ 虫かごに砂を入れる。
 - ウ 砂の体積の約 26%の水を入れて、5 cm の高さから 100 回落下させ、様子を確認する。(昨年・一昨年の結果を基に最初に入れる水を砂の体積の 26%と設定した。→本年度はあらかじめ砂の小石を取り除いているので、基準となる 23%よりも高い保持率を想定した)
 - エ 100 回の落下で、水が全体にあふれてくるよう、砂や水の量を調整する。
- (2) 縦揺れ（P 波）と横揺れ（S 波）を発生させ、横揺れ（P 波）だけの時の違いを調べる。
 - ア トレイの底面に丸い割りばしを敷き詰めて、上に下敷きを置きその上に砂を入れた虫かごを置く。横揺れの揺れ幅に合わせて菜箸をトレイ横面の穴に入れ、揺れ幅を固定する。(1)で

作成した砂を使い、上から1回落下させ、続けて横に100回（1秒間で1往復×100回）動かし、縦揺れだけの場合との比較をする。落下させる高さで揺れ幅は以下の通りとする。

- (ア) 落下高さ：1 cm、揺れ幅：左右に各1 cm（合計2 cm）
- (イ) 落下高さ：2 cm、揺れ幅：左右に各2 cm（合計4 cm）
- (ウ) 落下高さ：4 cm、揺れ幅：左右に各4 cm（合計8 cm）
- (エ) 落下高さ：16 cm、揺れ幅：左右に各16 cm（合計32 cm）

揺れ幅がトレイよりも大きい(エ)は、足元に左右の揺れ幅(16 cm+16 cm)+虫かごの長さ(21 cm)の合計37 cmの位置に線を引き、その位置に2人で向かい合って立ち、トレイを持って水平に動かす。その際揺れ幅を固定する菜箸は抜いておく。

イ (1) で作成した砂に杭になるもの(竹串)を刺してアと同様にしてから1回落下させ、続けて横に100回動かし、様子を確認する。

(3) 建物の倒壊を防ぐことができるか、検証する。

ア (1) の砂の上に建物を置き、(2) と同様に上から1回落下させ、続けて横に100回動かし、様子を確認する。

イ 建物を置いた状態で、杭になるもの(竹串・ストロー)を刺して、倒壊を防ぐことができるか検証する。

6 結果

(1) 液状化を起こす為の砂を作る。

ア 砂の体積の約26%の水を入れて染み出し方を確認する。

- ・ 砂(縦21 cm×13.5 cm×高さ4 cm)+水(300 ml)→水分量26.5%を100回落下させる。
- ・ 50回くらいで表面にひびが出始めた。中央が水気を帯びてきたようにも見えるが、水がしみ出るような様子は見られない。表面の様子や砂の質感から、まだ全然水が足りないと感じる。

イ 水の量を増やす。

- ・ 砂(縦21 cm×13.5 cm×高さ4 cm)+水(450 ml)→水分量39.6%を100回落下させる。
- ・ 10回くらいで水があふれ出し、手にかかるほどになった。これ以上回数を重ねても結果は出ているので50回で終了した。

ウ 砂の量を増やす。

- ・ 砂(縦21 cm×13.5 cm×高さ5 cm)+水(450 ml)→水分量31.7%を100回落下させる。
- ・ ひびが多入ってきたが、水はしみ出していない。

エ 更に水の量を増やす。

- ・ 砂(縦21 cm×13.5 cm×高さ5 cm)+水(465 ml)→水分量31.7%を100回落下させる。
- ・ 50回を過ぎてから水がしみ出てきた。落下前の様子も昨年度、一昨年度とほぼ同じになった。

これ以後、水分量約31%の砂を使って実験する。

(2) 上から1回落下させ、続けて横に100回動かした様子を確認する。

ア 杭なし

- (ア) 落下高さ：1 cm+揺れ幅左右に各1 cm（合計2 cm）



【イ 水が多すぎる場合】



【ウ 水が少なすぎる場合】



【エ 水の量が適正】

- ・ 50 回振動→砂の小さな塊ができて転がっている。
- ・ 100 回振動→砂の塊が大きくなった。地面に大きなひびは無いが、塊がごろごろしている。水は染み出てこない。

(イ) 落下高さ：2 cm＋揺れ幅左右に各 2 cm（合計 4 cm）

- ・ 50 回振動→砂の塊ができて転がる。
- ・ 100 回振動→砂の塊が大きくなって端の方が陥没した。水は染み出てこない。

(ウ) 落下高さ：4 cm＋揺れ幅左右に各 4 cm（合計 8 cm）

- ・ 50 回振動→砂の塊ができて真ん中に地割れができた。水は染み出てこない。一部の砂が層になり、そこだけが固まって下の面を滑るような動きをしていた。地滑りを起こしているのではないか。
- ・ 100 回振動→塊が全体に広がった。水は染み出てこない。固まって動いていた層は崩れた。

(エ) 落下高さ：16 cm＋揺れ幅左右に各 16 cm（合計 32 cm）

- ・ 50 回振動→砂の塊ができ、端の方が大きく陥没しているが、水は染み出てこない。
- ・ 100 回振動→大きな塊もできるが、全体が動いて、揺れ幅が大きいので割れて壊れる。水は染み出てこない。



【(ア) ー振動前】



【(ア) ー100 回振動】



【(エ) ー100 回振動】

イ 竹串 20 本

(ア) 落下高さ：1 cm＋揺れ幅左右に各 1 cm（合計 2 cm）

- ・ 50 回振動→小さな砂の塊ができてきたが、大きなひび割れはない。
- ・ 100 回振動→砂の塊が大きくなったが、大きなひび割れはない。

(イ) 落下高さ：2 cm＋揺れ幅左右に各 2 cm（合計 4 cm）

- ・ 50 回振動→砂の塊ができ、端の方がへこんできた
- ・ 100 回振動→砂の塊が大きくなり、端の方がへこんだ。竹串は少しずれた。

(ウ) 落下高さ：4 cm＋揺れ幅左右に各 4 cm（合計 8 cm）

- ・ 50 回振動→砂の塊ができてきて端の方に寄っている。竹串はほとんど動いていない。
- ・ 100 回振動→大きな砂の塊ができて、端の方が陥没したが竹串は陥没したところ以外あまり動いていない。

(エ) 落下高さ：16 cm＋揺れ幅左右に各 16 cm（合計 32 cm）

- ・ 50 回振動→大きな砂の塊ができて、端の方が陥没したが、竹串は陥没したところ以外、あまり動いていない。
- ・ 100 回振動→竹串の位置は移動し、端の方は陥没しているが、大きな地割れは少なく表面の変化は小さい。



【竹串 20 本挿して
(エ) ー100 回振動】

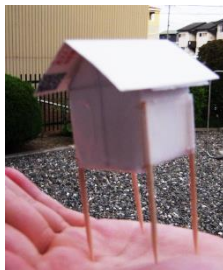
ウ 家の模型を 2 軒建て、建物の倒壊を防ぐことができるかを検証

(ア) 杭なし、家を建てただけの状態

- ・ 落下高さ：1 cm＋揺れ幅左右に各 1 cm（合計 2 cm）
- ・ 50 回振動→20 回で 2 軒ともあっけなく倒れた。基礎から浮き上がり完全な液状化といえる。



【住宅街を模して家を２軒建てた
基礎には、イで使用した竹串を用いた】



【倒壊の様子】

上記の設定以上の揺れでは対策できないと判断して、落下の高さや、揺れ幅を変えた実験は実施せず、「落下高さ：1 cm＋揺れ幅左右に各 1 cm（合計 2 cm）」とする実験のみを実施、横揺れを 50 回までとする。

(イ) 家の周りに竹串 20 本

- ・ 落下高さ：1 cm＋揺れ幅左右に各 1 cm（合計 2 cm）
- ・ 20 回振動→家が横に倒れてきた。
- ・ 50 回振動→家が横に倒れ浮き上がってきてしまった。



【(イ) 竹串 20 本の配置】

(ウ) 家の基礎にストロー（返しあり）＋家の周りに竹串 20 本

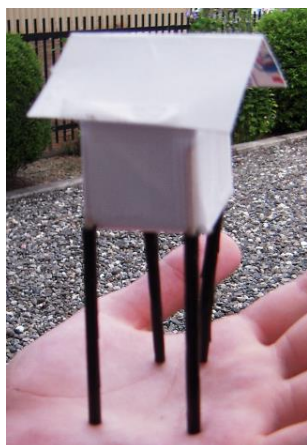
- ・ 落下高さ：1 cm＋揺れ幅左右に各 1 cm（合計 2 cm）
- ・ 20 回振動→家が横に傾いてきた。
- ・ 50 回振動→家が横に倒れ浮き上がってきてしまった。



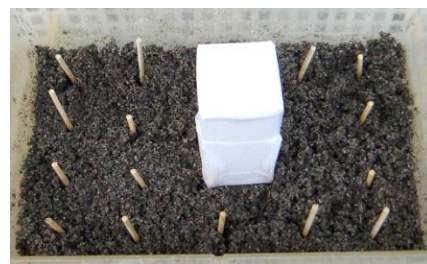
【(イ) —50 回振動】

(エ) 家の基礎にストロー（返しあり）＋家の周りに竹串 20 本

- ・ 落下高さ：1 cm＋揺れ幅左右に各 1 cm（合計 2 cm）
- ・ 20 回振動→建物は揺れるが、傾いたり、浮き上がったりしてくることはない。
- ・ 50 回振動→建物は揺れるが、傾いたり、浮き上がったりすることもなく、最初に置いた位置からほとんど動いていない。今までで一番状態が良い。



【(ウ) —50 回振動】



【(エ) —50 回振動】

【(ウ) 基礎に、ストロー（返しあり）は、
2020 年の研究の成果をもとにしている】

7 考察

- (1) 縦揺れと横揺れでは、揺れている間も揺れが鎮まった後も、状態が全く異なることが分かった。縦揺れ的时候は、徐々にひびが入り、そこから水が溢れてくる感じで、突き上げられて

いるような様子が見られるが、横揺れは、全体が大きくかき混ぜられるような感じで、ひびよりも陥没が目立った。そして横揺れでは、杭を挿さない場合でも水が染み出る様子は見られなかった。同じ砂を使っているのに、横揺れでは水が染みて出こないということは、水が染み出て来るのは縦揺れ（P波）だけで、横揺れでは発生しないと推測する。今回の実験から、液状化の直接の原因になるのは大きな縦揺れ（P波）によって地中の水が染み出てくることで、その後の横揺れ（S波）によるものではないと言える。そして、液状化でよく見られる、地面がうねり、陥没や隆起が起こるなどの独特な被害は、縦揺れ（P波）によって緩んだ地盤が横揺れ（S波）でかき混ぜられることで発生すると考えられる。

- （2）横揺れで目立ったのは、揺れ始めてすぐに砂の小さな塊ができて、徐々に大きくなりながら地表をコロコロ転がり、壊れ、それがまた大きな塊になってゆく様子だった。また、一部地滑りを起こしている様子も見られた。縦揺れの場合も、小さな砂の塊ができることはあったが、大きく目を引く程ではなく、地滑りの様子は見られなかった。
- （3）縦揺れと横揺れは揺れ方も結果も全く異なるが、竹串だけでも、十分に効果があった。杭を挿すという方法は、揺れの方向が変わっても効果があると言える。
- （4）砂の上に家を建ててみたが、何も対策をしていない状況では、あっという間に建物が浮き上がり転倒した。完全に液状化したと言える。そこで家の周りを取り囲むようにして竹串をさしたが、これはあまり効果がなく、少し離れた状態で広範囲に杭を入れる方がよいことが分かった。状態が一番良かったのは、家の基礎部分をストロー（返しあり）と広範囲の竹串で、建物はかなり揺れるが、液状化の特徴である、建物が浮いてくるような状態も見られなかった。

8 感想

液状化の研究をこれまで4回行ったが、今回初の試みがいくつかあり、思うことが多々ある。

まず、砂についてだが、一昨年の研究で「砂を液状化させるのは砂の体積の約23%の水」と報告したが、昨年使用したのは19%の水だった。そして砂の粒子によって条件が変わることを昨年の研究で理解した。では、どうすれば同じ条件の研究用の砂を準備できるのか、考えて辿り着いたのは、砂を使用する前にざるで篩にかけることだった。気付いてしまえばとても簡単なことなのだが、実際にやってみなければ、気付きにくいものであった。これまでは縦揺れ（P波）だけの検証だったが、今回初めて横揺れ（S波）を再現することに挑戦した。落下は引力に任せて落とすだけなので簡単だが、横揺れはとても難しかった。トレーの中に虫かごを入れて動かせばできるだろうと軽い気持ちで始めてみたが、そんなに甘いものではなかった。同じ速さと同じ力で、しかも水平を保ってトレーを動かす・・・それは技も体力も忍耐力も必要で、水平を保てずトレーに敷いた割りばしが飛び出したり、揺れ幅を固定するはずの菜箸が抜けたり・・・その度にやり直して挫けそうになった。方法を変えるならまた最初からデータ取り直しだと、泣きたくなるような気持ちにもなった。そこで思い直し気持ちを奮い立たせて、最後まで実施できた自分を誉めたいと思う。「台車に載せて揺らしても良いのかも」という案も出たが、実際の地震では縦・横・水平に同じ力で揺れるはずはないから、これくらいの精度の方が、現実味があって良いのではとも思った。砂の上に家を建てての検証も初の実験だったが、その前に実施した横揺れの実験では水も染み出ずひびも入らずで今までと全く違っていただけで、本当にこれで液状化していると言えるのかと少し疑問を抱いていたが、あっという間に建物が浮き上がり転倒し、完全な液状化を再現できたので、ほっとした反面、家が倒れてがっかりした。建物を建てての検証の中で、一番良かったのは、「家の基礎部分にストロー（返しあり）+広範囲の竹串を挿す」だったが、実際の住宅地で基礎部分に返しを付けるのはできるかもしれないが、広範囲に杭を・・・というところまでの範囲を？ということにならないだろうか。家を建てる時には、地盤の調査は必須だと思うが、自分の家だけでは液状化を防ぐことは難しく、地域全体で取り組まなければな

らない問題と言える。今回、液状化の直接の原因になるのは大きな縦揺れ（P波）によって地中の水が染み出てくることで、その後の横揺れ（S波）によるものではないという結論を出したが、縦揺れ（P波）の影響を受けやすいのは、震源に近いのか、地震の規模が大きいかのどちらかである。東日本大震災の時、震源から離れた千葉や東京などで液状化の被害が大きかったと聞くと、どれほど巨大な地震だったか推測できる。

縦揺れと横揺れに挑戦したことで、液状化が発生する仕組みについて、より理解を深めることができたと思う。4年も継続できるとは思っていなかったが、地震の研究は、やればやるほど奥が深く、なかなか終わることはないように思う。ただ、今できる範囲ではあるが、倒れない家を建てられたので、自分なりに満足している。杭の役目を果たしてくれた竹串とストローには感謝しかない。揺れ方が今までと全く異なる状況でも、地面の揺れをしっかり受け止めてくれてありがたい。僕もそんな人間になりたいと思う。

9 協力

（1） 浅羽建材 （砂提供）