

液状化現象発生時におけるマンホールの形状と浮き上がりの関係

茨城県立日立第一高等学校 3年

緒言

近年地震発生時において、液状化現象の事例が多く見られており、実際に能登半島地震では2000か所以上で液状化が確認された。

さらに液状化発生時に、マンホールが浮き出る事例がある。(図1¹⁾)しかし、先行研究においてマンホールの浮上防止の効果と実現性の高い対策はまだ明らかになっていない。そのため、SDGsの11番目の目標である「住み続けられるまちづくりを」(図2²⁾)の達成が、より重要性を増した。

そこで本研究では、液状化現象発生時におけるマンホールの形状と浮き上がりの関係を明らかにすることを目的とした。



図1 液状化によって浮上したマンホール¹⁾



図2 SDGs11番²⁾

研究方法

模擬的に地震を起こし、液状化を起こした際のマンホール模型(三角柱、四角柱、五角柱、六角柱、円柱)の形状の違いによる浮き上がりを評価する。

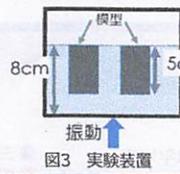


図3 実験装置

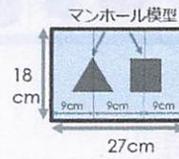


図4 上から見た様子



図5 実験の様子



図6 起震装置

仮説

側面積が小さく、周囲の地盤からの影響が小さい六角柱、または円柱が浮上しやすく、側面積が大きい三角柱が最も浮上しにくい。

模型と地盤の間に働く抵抗値

$$A_0 = \frac{H_2 \gamma_{sat} A - W - Q_t}{\gamma_{sat} A}$$

変数は q_t のみ

図7 マンホール浮上量³⁾ (服部他)

A₀: マンホールの浮上量 (m)
 γ_{sat} : 液状化層の飽和単位体積重量 (N/m)
 A: マンホールの断面積 (m²)
 H₂: 液状化層のマンホールの高さ (m)
 W: マンホールの重量 (kg)
 Q_t: マンホール周辺地盤の剪断抵抗 (kgm/s²)

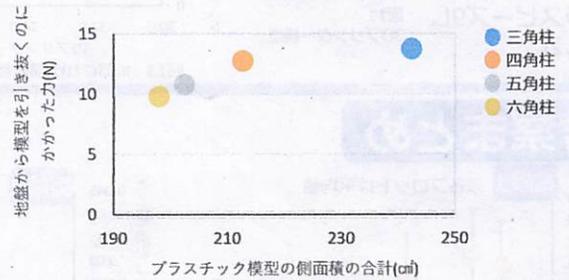


図8 プラスチック模型を模擬地盤から引き抜くのにかった力

実験1

実験方法

地盤の密度1.84g/cm³
 粒径不揃い
 水とガラスビーズ
 混ぜた状態
 ガラスビーズ16kg、
 水2.8L



図9 プラスチック模型

表1 プラスチック模型

頂点数 (個)	底面積 (cm ²)	側面積 (cm ²)	高さ (cm)	体積 (cm ³)	質量 (g)	密度 (g/cm ³)
3	28.27	242.4	10	282.7	54.2	0.192
4	28.3	212.8	10	283	67	0.237
5	28.22	202.5	10	282.2	76.6	0.271
6	28.3	198	10	283	83.2	0.294

結果

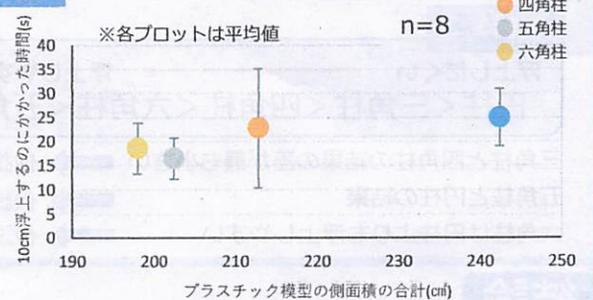
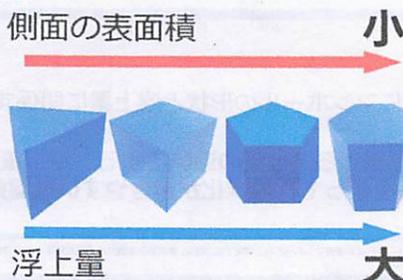


図10 模型が完全に浮上するのにかかった時間

考察



仮説通り

改善点

再現性の改善

模型: 3Dプリンター
 地盤: 山砂

実験2

実験方法

地盤の密度1.50g/cm³

粒径2mm以下



山砂3.7L、水1.3L

図11 3Dプリンター模型

表2 3Dプリンター模型

頂点数 (個)	底面積 (cm ²)	側面積 (cm ²)	高さ (cm)	体積 (cm ³)	質量 (g)	密度 (g/cm ³)
3	3.135	40.35	5	15.675	7.5	0.478
4	3.133	35.4	5	15.665	7.5	0.479
5	3.135	33.75	5	15.675	7.5	0.478
6	3.141	33	5	15.705	7.5	0.478
∞(円)	3.142	31.4	5	15.71	7.5	0.477

結果

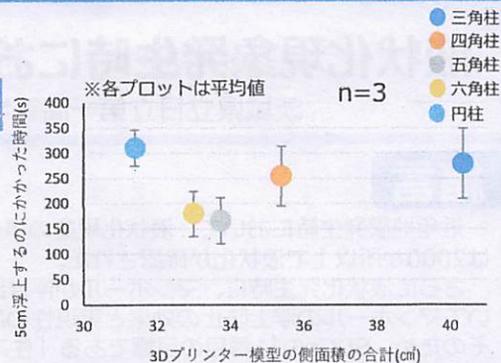


図12 模型が完全に浮上するのにかった時間

考察

実験1と全体の傾向が一致



円柱は多角柱とは違う傾向？

改善点

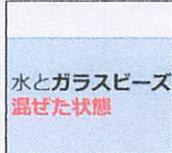
地盤に一定感がある
液状化が起きやすい条件を整えられる
→ 地盤をガラスビーズに戻す

実験3

実験方法

地盤の密度1.57g/cm³

粒径0.2mmのみ



ガラスビーズ9L、水3.2L

図11 3Dプリンター模型

結果

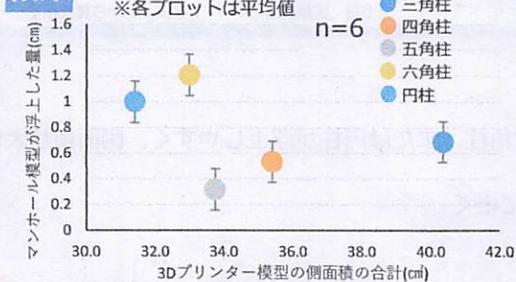


図13 地盤に10分間振動を与えた時に模型が浮上した量

考察 実験1,2と傾向が変わった

表3 地盤の粒径

実験	1	2	3
地盤の粒径	0.1-2mm	2mm以下	0.2mmのみ

→ 実験1,2は粒径不揃い

→ 粒度分布が結果に影響？

考察まとめ

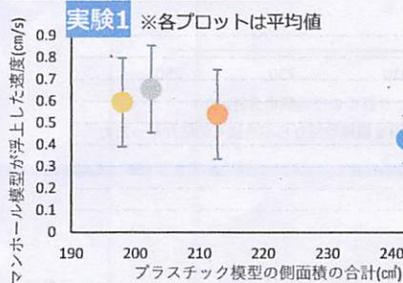


図14 実験1 模型が浮上した速度

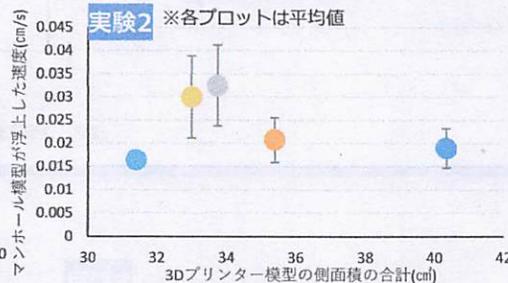


図15 実験2 模型が浮上した速度

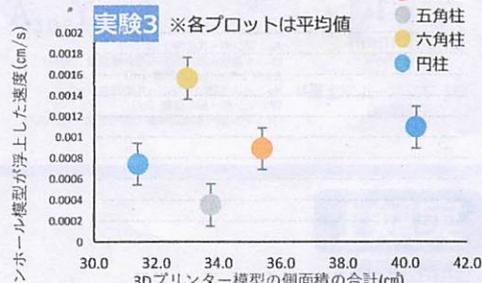


図16 実験3 模型が浮上した速度

実験1,2

浮上しにくい → 浮上しやすい
円柱 < 三角柱 < 四角柱 < 六角柱 < 五角柱

三角柱と四角柱の結果の差が最も小さい → 仮説と異なる
五角柱と円柱の結果 → 仮説と異なる
六角柱は円柱よりも浮上しやすい → 仮説と異なる

実験3

浮上しにくい → 浮上しやすい
五角柱 < 四角柱 < 三角柱 < 円柱 < 六角柱

→ 浮上量と側面積の大きさは、一定の関係を持たない

結論

本実験から、マンホールの形状によって浮き上がりに違いがあることがわかった。しかし、側面積の大きさと浮上量に、一定の関係性を見つかることができなかった。

今後の展望

今後は以下の実験をして、側面積の大きさが浮上量に本当に関係しないのか、側面積以外にマンホールの形状と浮上量に関する要素はないのかを検討したい。

- ① ガラスビーズの粒度分布を1種類ではなく、複数種類混ぜて地盤を作ってみる。
- ② 振動源からの位置の違いによる、浮上量の違いを確かめてみる。
- ③ 現在はマッサージ器で振動を作っているが、デジタルシェーカーを使って、液状化が起きやすい地盤条件を探し、その条件で実験をしてみる。