

# 液状化に伴うマンホール浮上がり メカニズムと対策に関する振動台実験

関東学院大学 理工学部  
土木・都市防災学系  
教授 規矩 大義

## 過去のマンホールの浮き上がり事例

### 軟弱地盤

- 2003年十勝沖地震(豊頃町)  
最大浮き上がり量 **1.97m**  
同じ十勝沖地震でも砂質土地盤の大津地区では浮き上がり量が少ない
- 2004年新潟県中越地震(小千谷市)  
浮き上がり量 **1m**以上  
完全に突出した事例も・・・

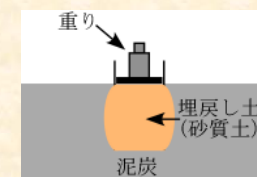
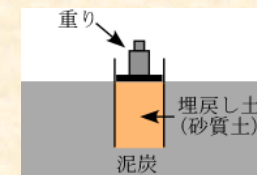


### 砂質土地盤

- 1995年兵庫県南部地震  
浮き上がり量 最大でも**約10cm**

## 埋戻し過程の確認実験

平面ひずみ土槽で埋戻し過程を再現した実験



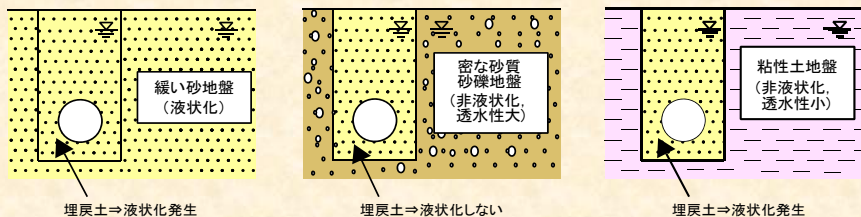
矢板引抜き後に、  
はらみだしが生じた

密度低下を招く

## 周辺地盤と浮き上がり被害の関係

これまでの調査や被害事例から、**周辺地盤が軟弱地盤**のほうが、**浮き上がり被害が激しい**ことが明らかにされてきた。

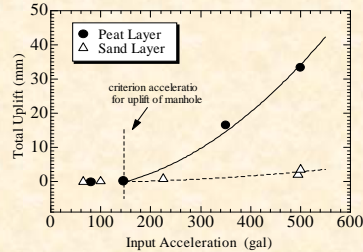
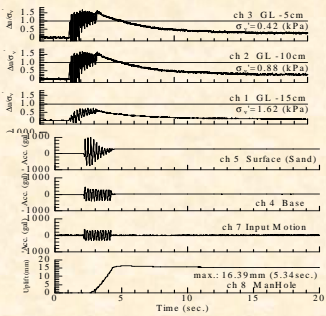
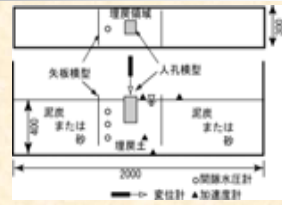
- ・豊頃町の豊頃地区と大津地区
- ・刈羽村
- ・長岡市悠久町
- ・小千谷桜新町, 若葉町 など



周辺が軟弱地盤

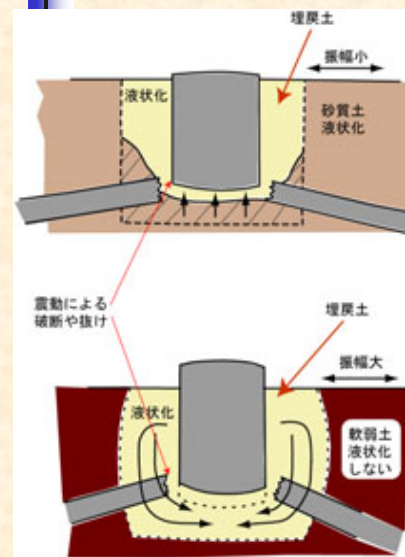
揺れやすいため液状化しやすい  
排水が限定され、液状化継続時間が長い  
埋戻しが不十分

## 周辺地盤に泥炭を用いた振動台実験(H16)



模型レベルでは液状化程度も、排水程度も  
軟弱地盤、砂質土地盤ともに大差ない  
にもかかわらず、浮き上がり量に差

## 軟弱地盤で浮上がりが生じやすい理由



マンホールが浮き上がると同時に  
底面に空洞が生じ、サクションが発生

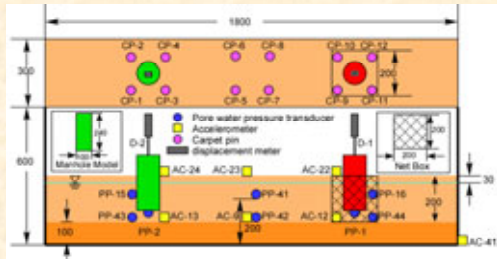
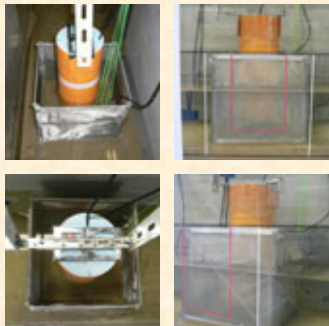
その空洞に向けて、周囲の土が  
流れ込むことで対流が生じる

泥炭内の埋戻しでは、  
上部砂層が廻り込むため、  
さらに浮上がりやすい

## 廻り込みを検証する模型振動実験

- 埋戻し領域を75 $\mu$ mのネットで囲う
- 2供試体の同時加振(ネットあり, ネットなし)

周辺地盤の液状化程度、透水性は同じだが、  
土粒子移動のみを比較対象とする。



メッシュは対策を意味するものではなく、  
粘性土地盤を模擬している。

## 廻り込みを検証する振動台実験



水平振動台 (1,500 × 1,500)



マンホール模型:  $\phi$ 100mm, 比重調整  
底部に水圧計を埋込み



ネット

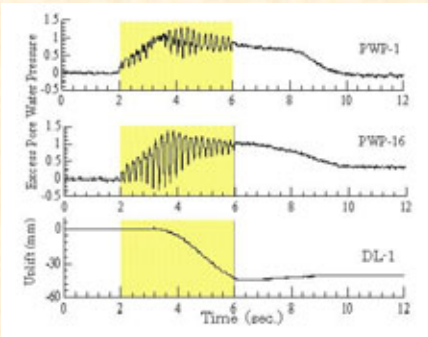


周辺地盤ならびに埋戻し領域の相対密度  
5Hz, 正弦波加振(加振加速度を変化させた)

地盤試料は5号圭砂を使用



### 実験結果(1)



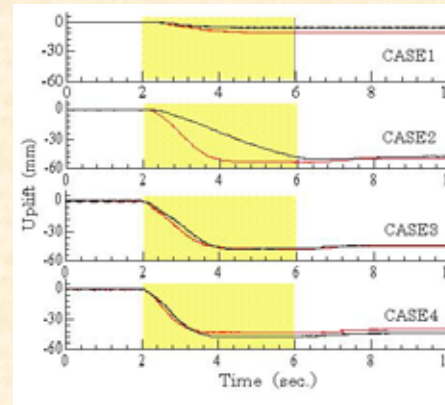
浮き上がりのタイミング

加振直後から水圧上昇  
 液状化に到達した後、浮き上がり  
 水圧消散で浮き上がり停止



### 実験結果(2)

周辺地盤の相対密度:  $Dr=40\%$   
 加振加速度: 100gal~400gal

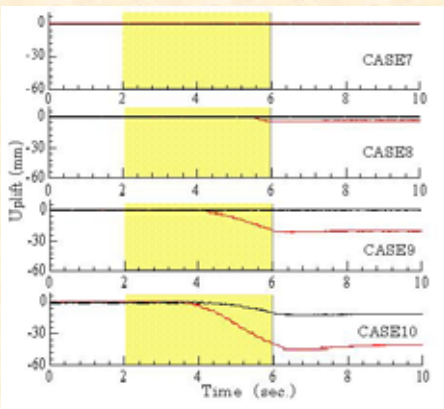


浮き上がりの時刻歴

浮き上がり挙動に  
 明らかな差がある  
 液状化の程度が  
 激しくなれば、最大量まで  
 浮上るのであまり差はない  
 — ネットあり  
 — ネットなし

### 実験結果(3)

周辺地盤の相対密度:  $Dr=60\%$   
 加振加速度: 200gal~400gal



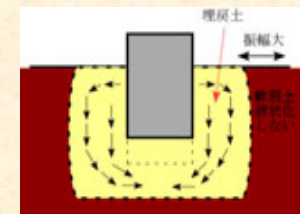
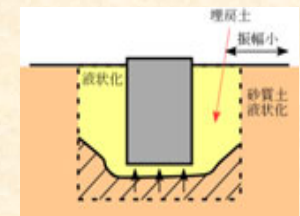
浮き上がりの時刻歴

液状化に至らなかったケース  
 加振終了間際に液状化  
 浮き上がり挙動に差  
 加振終了後も浮き上がりが  
 継続

— ネットあり  
 — ネットなし

### 実験から明らかになった浮き上がりメカニズム

- ① 液状化発生が浮き上がりのトリガー
- ② 浮き上がりによって下部に空洞(負圧)
- ③ 底部と側方に水頭差
- ④ マンホール周囲の土粒子が下部に向かって流れ込む(水圧回復)
- ⑤ 再び浮上がりが生じる
- ⑥ 側方の土粒子が下部に廻り込んで、さらに拘束を弱める



これまでの推測を、  
 実験的に検証することができた。

## 浮き上がりに対する対策工



### ①液状化の発生を許さない

セメント改良など

有効だが、頻繁に再掘削、埋戻しする場合などには不向きの場合も

締固め

施工性

完全に抑止することは難しい

### ②液状化しても浮上がらないよう付加荷重を加える

### ③土粒子の廻り込みを抑制する

(遮蔽物を設ける)

浮き上がり量を小さく抑える

簡易・施工性・CP

## 廻り込み抑止のための対策



### 廻り込みを抑止するリングを設ける

マンホール敷設時に捨コンを打設するイメージ

(施工が容易で、再掘削時にも床盤付近のコンクリートを撤去)



リングはマンホール底周縁部に

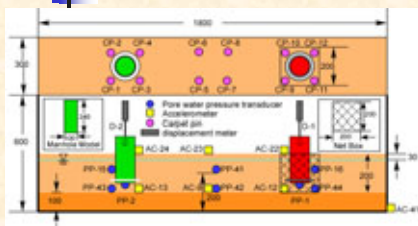
1)密着固定した場合と、

2)縁が切れている 場合を想定

比較対象のため、

マンホール中段位置にリングを設置したケースも検討

## リングによる対策を施した模型振動実験



埋戻し領域をネットで囲んだ人孔模型と、  
ネットで囲んでいない人孔模型を同時加振  
(粘性土地盤と砂質土地盤)

— ネットあり  
— ネットなし

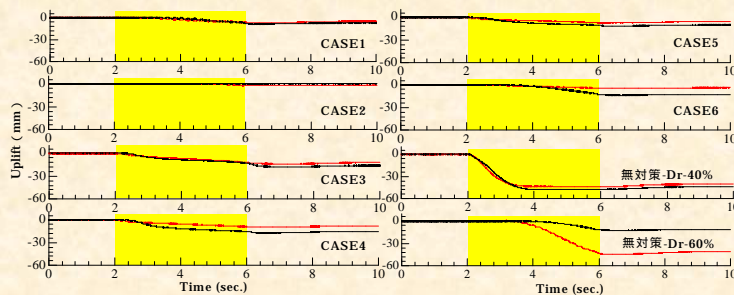
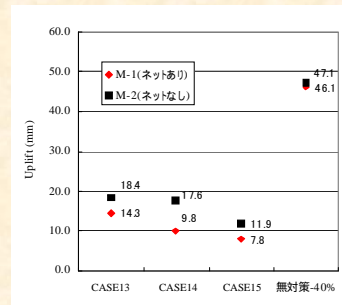
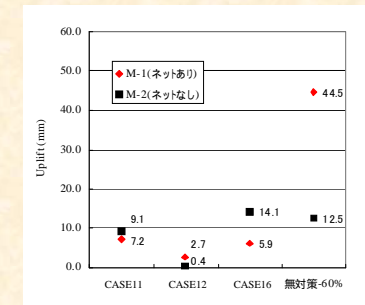


図 5-21 マンホール浮き上がり量

## 実験結果(リングによる廻り込み阻止)



周辺地盤Dr=40%



周辺地盤Dr=60%

- ・リング径の大きいほうが対策効果がある
- ・下段面にリングを設置したほうが効果は大きい
- ・マンホールに密着させたほうが効果がある

ある程度予想通りの結果を確認

## リング対策の効果



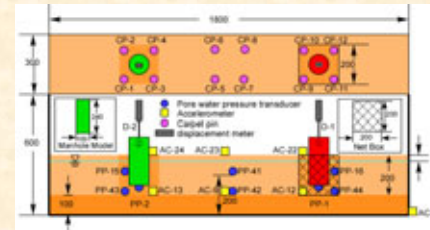
- ・リングによってマンホール下部への土粒子の廻り込みを抑制

上部層の緩みが生じにくい

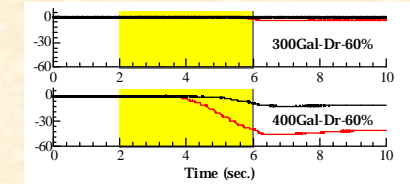
- ・リング上面に加わる液状化砂の重量も、浮き上がり抑止の方向に働く

荷重効果

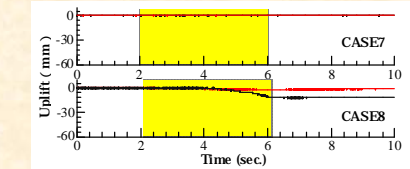
## 締固めによる対策を施した模型振動実験



無対策



対策

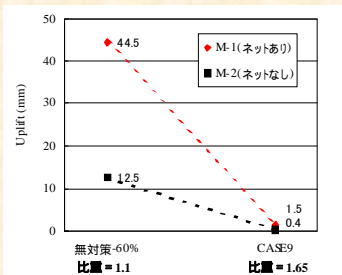


周辺地盤よりも埋戻し領域をより締固める

周辺地盤: Dr=60%  
埋戻し領域: Dr=80%

メッシュなし(砂質地盤)で変位大  
周辺地盤に拡がったため  
*(実験だけなのかor現実でもそうなるか?)*

## 比重調整した人孔の模型振動実験の一例



実際の施工では、既に地盤に埋設されているマンホールであっても、掘削することなく比重を変えることは可能ではないか？

蓋の構造を工夫し重くするだけでもよい

## マンホールの浮上がり対策

対策の種類	メカニズム	効果	その他	施工性	
				新設	既設
セメント改良	液状化抑止	◎	プラント混合・現場混合 再掘削時の問題	○	×
重量調整	比重差を小さくする	○	沈下に対する対処も必要	◎	○
締め固め	液状化低減	△	周辺地盤が激しく液状化すれば効果が低下する	○	×
礫で埋戻し	水圧消散	○	表層がカバーされていれば、粒径によっては液状化する。	○	×
リング	廻り込み抑止	○	施工時に捨コンを打設するだけでも効果	◎	×