

平成 21 年 6 月 2 日現在

研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19510194  
 研究課題名(和文) 埋戻し土の液状化にともなう人孔浮き上がり被害に対する合理的な対策手法  
 研究課題名(英文) Experimental Study on a Countermeasure of Uplift of Manholes due to Soil Liquefaction  
 研究代表者  
 規矩 大義 (KIKU HIROYOSHI)  
 関東学院大学・工学部・教授  
 研究者番号：70251759

## 研究成果の概要：

地震時のマンホール(人孔)の浮き上がりメカニズムと対策法に関する検討を行った。過去の被害事例と振動台実験から、浮き上がりは埋戻し土の液状化が主因ではあるが、加えて液状化した埋戻し土が人孔の下部に廻り込むことで、より助長されることを明らかにした。さらに、砂質土地盤より粘土地盤に埋設された人孔のほうが浮き上がり量は大きく、埋戻し土の廻り込み抑止のための簡易な抑制工を施すことで、十分、合理的な対策になることを明らかにした。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

## 研究分野：地盤工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：液状化，地震，ライフライン防災，マンホール，浮き上がり，地中構造物，減災

## 1. 研究開始当初の背景

新潟県中越地震を始めとする、過去の被害地震では、マンホール(人孔)が大きく浮き上がる被害が散見された。以前から、人孔に限らず共同溝や洞道、槽類などが浮き上がる被害は存在していたが、それらは主として液状化が激しく生じた砂地盤で見られる被害であった。一方、人孔の浮き上がりに関しては、全面的に液状化が生じた阪神淡路大震災ではそれほど目立った被害は顕れず、新潟県中越地震の際のように、それまで液状化の被害が殆ど見受けられなかった粘土地盤や腐

植土地盤において浮き上がり被害が顕著であった。この浮き上がりメカニズムについて、研究代表者らは、粘土地盤中の埋戻し土の液状化が人孔浮き上がりの主たる原因であるとして、それを検証するための研究を実施し始めていた。2005～2006年度の科学研究費補助金の助成を受け実施した浮き上がりメカニズムの研究から、以下に掲げる浮き上がり被害のメカニズムと、その要因が実験的に明らかになってきた。

1)人孔の浮き上がりのトリガーとなるのは、埋戻し土の液状化による揚圧力である。

2)埋戻し土の液状化は、周辺地盤が軟弱なほど激しく生じる。

3)浮き上がり量の最大値(上限値)は、液状化した埋戻し土と人孔の見かけの比重差で一意的に規定される。

4)浮き上がり量がどの程度になるかは、液状化の継続時間と埋戻し土(液状化土)の廻り込みによって決定される。

この液状化した埋戻し土が人孔の下部に廻り込むことを抑制することができれば、浮き上がり対策として十分に機能するものと考え、研究を開始した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、地震時の液状化にともなう地中構造物、特に人孔の浮上がり被害に対して、人孔の埋設環境や施工方法、コスト、維持管理等を考慮した合理的、現実的な対策方法を検討し、その効果の定量的評価と設計に資する技術的情報を得ることである。

浮き上がり対策工については、2004年新潟県中越地震直後から、国土交通省で遠心載荷実験を含んだ精力的な研究が行われた結果、地震発生半年後には、具体的な浮き上がり対策の指針が公表されるに至っている。既に具体的で、有効な対策方法が公表されているにも関わらず、新たな浮き上がり対策の提案、実証、実用化を本研究の目的としたのは、以下の理由からである。

1)現在、推奨されている浮き上がり対策は、埋戻し土をセメント改良するもので、埋戻し土の液状化を完全に抑制するものである。

2)この方法は、人孔を含んだ管路施設と周辺地盤を剛体化(一体化)するもので、地盤振動に対しては不利な条件である。

3)埋戻し土の改良プラントや混合機材を必要とし、小規模の敷設工事ではコスト高である。

4)埋戻し土が固化体となっているので、下水道施設の更新や、メンテナンスのための再掘削が容易でない。

5)掘削した改良土は団粒化して再利用できない。(掘削した埋戻し土は建設残土となる)

6)浮き上がりメカニズムを考慮した合理的な対策ではない。

埋戻し土の液状化の発生そのものを抑止してしまうという発想は、一見確実で、根治的な対処であるが、費用対効果は良好とは言えない。また、他の土木構造物とは異なり下水道施設は、頻りに敷設替えや補修がなされる。そのため、施工性の良さ、掘削、埋戻しの際の廃棄物発生量の極小化も考慮すべきである。

従って、安価で合理的な対策工の模索は、工学的に十分に意味のあることと考え、本研

究の目的とした。

## 3. 研究の方法

研究方法は、主として過去の被害事例調査と模型振動台実験によって人孔の浮き上がりメカニズムの再検証を行った後、安価で施工性に優れた浮き上がり対策工の検討、提案を行い、その対策効果を定性的、ならびに定量的に評価することとした。

## 4. 研究成果

### (1)浮き上がりメカニズム

埋戻し土で液状化が発生することによって、人孔の浮き上がりが生じることは明らかであったが、一方で、砂質土地盤では浮き上がりはそれほど大きくなく、粘性土地盤では大きな浮き上がりが見られることについては明確な結論が得られていなかった。そこで振動台実験によって浮き上がりメカニズムの検討と検証を行った。

図1に示すような砂質土と粘性土を模擬した模型地盤内に人孔模型を設置し、さまざまな条件で加振実験を行い、人孔模型の浮き上がり開始点と収束点、浮き上がり量などを調べた。その結果、粘性土地盤内に設置された人孔のほうが、浮き上がり量は有意に大きく、浮き上がりが生じ始める加速度も小さいことが明らかになった。

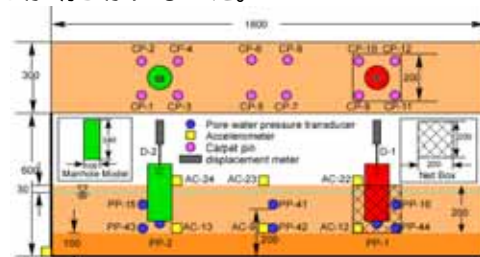


図1 浮き上がり検討の模型地盤

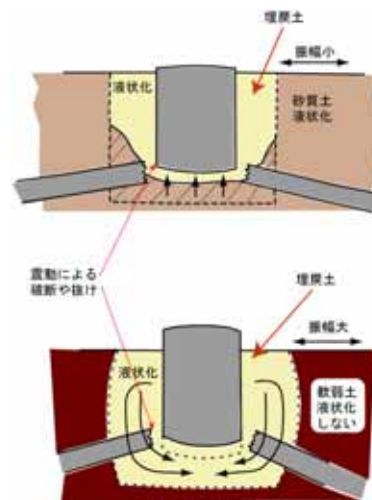
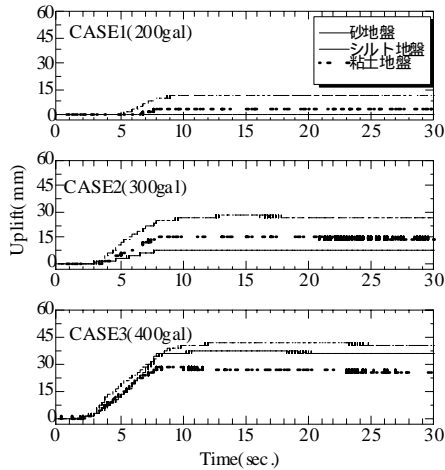


図2 人孔の浮き上がりメカニズム

その結果、図2に示すように、埋戻し層上部から土が廻り込むのではなく、同一レベルの周辺地盤から土砂供給のある砂質土地盤

では、大きな浮き上がりは生じないが、周辺地盤から土砂供給の無い粘性土地盤のほうが、上部の埋戻し土が人孔の下部に廻り込んで、結果として埋戻し土が緩み、大きな浮き上がりが生じることを実験的に明らかにした。さらに図3、図4に示したように、浮き上がり量は、粘性土地盤、シルト地盤、砂地



盤の順で大きいことも示した。

図3 浮き上がり量の時刻歴記録

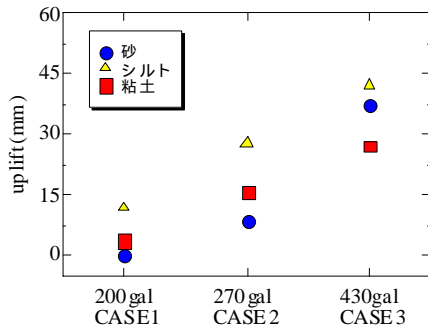


図4 加速度と浮き上がり量の関係

## (2)浮き上がり対策

前述したメカニズムに対抗する浮き上がり対策として、埋戻し土の締め固めの他に、人孔の下部に廻り込み抑制のためのリングを設置して、浮き上がり軽減を図ることを提案した。実施工に於いては、このリングは、捨てコンクリートを打設するのみの簡易な対策を模擬している。従って、人孔底部にしっかりと固定されたリング（基礎コンクリートとして打設）と、固定されていないリング（人孔設置後に捨てコンとして打設）の2種類の施工法による対策効果の違いも検討した。写真1は、模型実験で用いた対策リングの一例である。

図5は、リングを固定した対策工でのマンホール浮き上がりの時刻歴の一例、図6は、各地盤条件における加振加速度と最大浮き

上がり量を整理したものである。

加速度の小さなレベルでは、砂地盤ではほとんど浮き上がりは生じていないが、シルト地盤では多少浮き上がりが生じた。リング対策を施すことによって土粒子の廻り込みを防ぐことができ、浮き上がり量は大きく抑制されている。加速度が大きくなると砂地盤でも浮き上がりが生じているが、その浮き上がり方に差があり、砂地盤は徐々に浮き上がったのに対し、シルト地盤では一気に浮上した。大きな加速度で加振した場合は、いずれの地盤においても、最大浮き上がり量に達しているため、地盤による違いは見られなかった。



写真1 対策工を模擬したリング

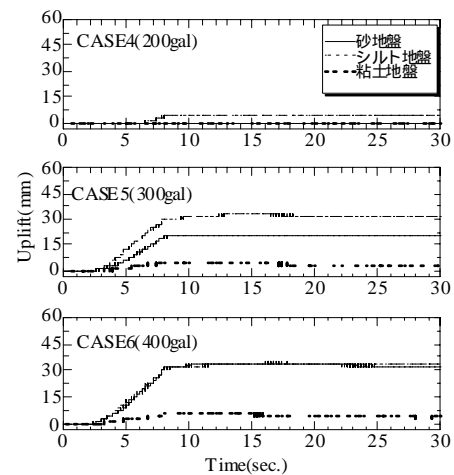


図5 対策工の浮き上がり時刻歴

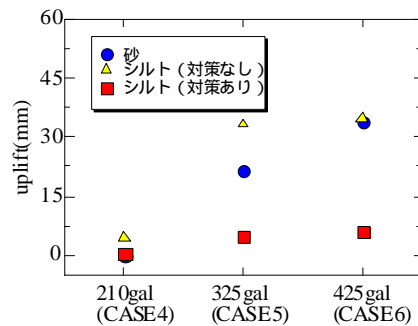


図6 加速度と浮き上がり量の関係(対策工)

リングを人孔模型に固定しない場合の一

連の実験では、固定した場合に比して、浮き上がり量は大きくなったが、それでも無対策に比べると大きく浮き上がり量は抑制される結果となった。

### (3)対策効果の評価

人孔の浮き上がり対策の評価として、全く浮き上がらないことを目標とするのは、人孔の数と重要度を勘案すると合理的とはいえない。そこで、表1に示すように、緊急車輛の通行を妨げると考えられる15cmの浮上を一つのクライテリアとして、実物換算した浮き上がり量をもとに、対策効果の評価した。

表1 浮き上がり量の評価基準

判定	浮き上がり量(mm)	説明
	0~5	全く支障はない
	6~15	緊急車両には支障はない
	16~20	車両の通行を妨げる
x	21~	論外

表2 浮き上がり量の違い

	小	大
砂地盤		x
シルト地盤	x	x
粘土地盤		x

その結果、無対策の場合には、表2に示すように小さな加速度では、砂地盤、シルト地盤、粘性土地盤ともに緊急車輛の通行に支障はないが、加速度が大きくなると、粘土地盤では通行に支障をきたし始め、シルト地盤では車輛の通行が不可能となる。さらに加速度が大きくなると、砂地盤を含め、あらゆる地盤でクライテリアを超える大きな浮き上がりが生じるものと考えられる。ここで、加速度の大きさは、実験と実物では換算値が異なり、具体的な数字は誤解が生じやすいので、数軸を用いず、大小の概念的な評価に留める

コンクリート打設(リング)による対策効果について、表3にシルト地盤の例を示すが、小さな加速度レベルでは、固定した場合も固定しない場合においても、交通支障をきたす浮き上がりは抑止されているが、加速度レベルが大きくなると、固定していない対策では、交通支障をきたす可能性が高い、大きな加速度レベルでは、根固めを行っていても、対策としては十分とはいえない。

表3 対策工の評価(シルト地盤)

	小	大
固定あり		
固定なし	x	x

これら一連の研究から、人孔の浮き上がり対策として、人孔底部に捨てコン打設することによって、廻り込み抑制を目的とした対策

は十分に効果が見込める。想定される地震動の大きさ、管路の埋設深度、地下水面の状況、周辺地盤と埋戻し土の締固め程度等を勘案して、どの程度の対策効果を見込むかを決定できれば、十分に合理的な対策工として機能するものと考えられる。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

山口恵美・村上実嘉子・規矩大義, 地震時のマンホール浮き上がりのメカニズムに関する実験的研究, 関東学院大学工学部研究報告, 52-1, pp.17-26, 2008, 査読有

[学会発表](計 6 件)

規矩大義, 山口恵美, Uplift of Buried Manholes and Pipes due to Liquefaction of Replaced Soil, 5th. International Joint Workshop "Seismic Microzoning and Risk Reduction", 2008.3.1, 名古屋

規矩大義, Uplift of Buried Manholes and Pipes due to Liquefaction of Replaced Soil, 3 Universities' Joint Workshop on Earthquake Disaster and Risk Management, Aichi Institute of Technology, 2008.3.1, 名古屋

規矩大義, 福永大輔, 液状化に伴うマンホール浮き上がりメカニズムに関する振動台実験, 第42回地盤工学研究発表会, 2007.7.4, 名古屋

規矩大義, 福永大輔, マンホールの浮き上がりメカニズムを考慮した簡易な対策方法に関する模型振動実験, 第42回地盤工学研究発表会, 2007.7.4, 名古屋

多田守夫, 規矩大義, 地震時のマンホール浮き上がりメカニズムと対策に関する模型実験, 第1回神奈川県地盤工学セミナー, 2007.11.30, 横浜

多田守夫, 規矩大義, 地震時のマンホール浮き上がりメカニズムとその対策に関する模型振動台実験, 2007年度・関東学院大学工学部研究発表会講演会, 2007.11.22, 横浜

### 6. 研究組織

(1)研究代表者

規矩 大義 (KIKU HIROYOSHI)

関東学院大学・工学部・教授

研究者番号: 70251759

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし