

粘性土地盤中の埋戻し砂の液状化によるマンホールの浮上りと対策

安田 進¹・黛 峻亮²・小野瀬 創³

¹東京電機大学教授 理工学部建設環境工学科 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

E-mail: yasuda@g.dendai.ac.jp

²東京電機大学大学院学生 理工研究科建設環境工学専攻 (同上)

E-mail: 06smg17@ed.ccs.dendai.ac.jp

³東京電機大学学生 理工学部建設環境工学科 (同上)

E-mail: 03SG037@ed.ccs.dendai.ac.jp

本釧路沖地震以来、下水道マンホールや管渠の浮上り被害がいくつかの地震で発生してきた。この原因は埋戻し土の液状化にあることが分かっているが、さらに、原地盤が軟弱粘性土の場合に大きく浮き上がっていることも明らかになってきた。2004年新潟県中越地震の際の刈羽村の被害を調べてみても、砂地盤で液状化した地区よりは、軟弱粘性土地盤の方が浮上り量が大きかった。そこで、軟弱粘性土地盤内に敷設された既設のマンホールや管渠を対象に、対策方法として地下水を一旦下げる過圧密を施すことを考案した。そして、この効果を確認するために振動台を用いた模型実験を行ったところ、浮上りがかなり防げることが明らかになった。

Key Words : Liquefaction, Sewage manhole, Uplift, Clayey ground

1. はじめに

我が国においては近年各地で下水道が整備されてきた。それに伴って、地震時の被害も多くなってきている。特に、埋戻し土の液状化に伴うマンホールや管渠の浮上被害が1993年釧路沖地震以来目立っている。この原因は原地盤の液状化よりは埋戻し土の液状化にあることが分かかってきており、さらに、原地盤が軟弱粘性土の方が浮上り量が大きいのではないかと思える事例が沢山生じてきている。我が国には後背湿地など軟弱粘性土が堆積している地区が非常に多く存在する。しかも近年の都市の拡大により、そのような軟弱地盤に住宅が建てられ、下水道も整備されてきている。このような軟弱粘土地盤では通常液状化は発生しないので、液状化のことは考慮されてきていない。ところが、原地盤でなく埋戻し土が液状化して被害を受けるとなると対策が必要と考えられる。特に、下水道管の場合は自然流下方式のため、少しの浮上り量で敷設のし直しになり、多額の費用が復旧にかかることになる。

そこで、本報告では、まず、原地盤が粘性土でマンホールが大きく浮き上がった事例を紹介する。次に、この

ような軟弱粘性土を対象にし、既設の下水道マンホールと管渠に安価で施工可能な対策方法を模索する。この一つの方法として本報告で取り上げたのは、埋戻し土内の地下水位を一旦下げる過圧密による対策である。この対策方法の効果に関して模型のマンホールを用いて振動台実験を行った。その結果、この対策方法により浮上りがかなり防止できることが分かった。

2. 粘性土地盤でマンホールが浮き上がった事例

1964年新潟地震以来のいくつかの地震の際にマンホールが浮き上がったか否か大まかに比較してみると表1のようになる¹⁾。このように浮上りが多数発生した地震とそうでない地震が分かれているようである。

マンホールの浮上りが大きく注目されたのは1993年に発生した釧路沖地震である。この地震では下水道のマンホールが人の背丈ほど浮き上がった。マンホールだけでなく、下水道管も浮き上がっていた。浮き上がった箇所地盤調査の結果、ここでは表土の下に3~4m程度の泥炭層と粘土層があった。

表 1 過去の地震時におけるマンホールの浮上り被害の概要

年	地震名	マンホールの浮上り状況
1964	新潟	2 地区だけで浮上り
1983	日本海中部	通信のマンホールが八郎潟で浮き上がったのみ
1993	釧路沖	釧路町で多数浮上り
1993	北海道南西沖	長万部町で多数浮上り
1994	北海道東方沖	標津町などで多数浮上り
1995	兵庫県南部	ほとんどなし
2000	鳥取県西部	ほとんどなし
2003	十勝沖	豊頃町などで多数浮上り
2005	福岡県西方沖	ほとんどなし
2007	能登半島	門前町で多数浮上り

同年には北海道南西沖地震も発生し、長万部でまた下水道のマンホールが浮き上がった。ただし、原地盤が泥炭地盤の所が最も大きく浮き上がり、密な砂礫地盤では浮き上がっていなかった。翌年に発生した北海道東方沖地震では中標津町や標津町の泥炭地盤でマンホールの大きな浮上りが発生した。

釧路沖地震から 10 年経った 2003 年に十勝沖地震が発生し、またまた下水道のマンホールが豊頃町と音別町で大きく浮き上がった。ただし、音別町では町の東側ではマンホールが浮き上がったのに対し、西側では浮き上がらなかった。表層の地盤条件を比較してみると、東側は泥炭や粘土地盤であったのに対し、西側では砂礫地盤であった。また、豊頃町でも海岸近くの大津地区では 1 つのマンホールを除いて浮上り量はあまり大きくなかった。ここでは表層に砂質土が主に堆積していた。

さて、2004 年新潟県中越地震では 1453 個のマンホールが路面から突出した。特に長岡市や小千谷市にその被害が多く、被災箇所

詳細な調査が行われたところ、被災箇所の原地盤は粘性土地盤が多いことが明らかにされた²⁾。これに加えて、刈羽村の被害を調べてみると、砂地盤と粘性土地盤で浮上り量に違いがあった。

新潟県刈羽郡刈羽村は柏崎市の北に位置し、柏崎平野の北部域を占め、西の日本海に沿って砂丘が発達している。新潟県中越地震の際には砂丘と平野の境の緩やかな斜面で液状化が発生し、家屋等が被害を受けた。下水道施設もマンホールの浮上りや管路の破損などの被害を多く受けた。刈羽村のうち、刈羽駅や稲場地区を含む中央地区におけるマンホールの浮上り量の分布図を図 1 に示す³⁾。数 cm 浮き上がったマンホールが多数あり、さらに 50 cm 以上浮き上がったものもこの図面の範囲内で 4 箇所ほどあった。これらは西元寺地区の一部に集中していた。この地区は軟弱粘性土地盤である。次に、C-C' 線に沿った断面をとって、土質柱状図³⁾とマンホールの浮上り量の関係を図 2 に示す。砂丘末端斜面に位置する B-2 地点では、表層に約 5m の厚さで砂丘成の砂層が堆積している。N 値は 10 程度と緩い砂層で、地下水位は GL-25 cm と浅いため、この砂層が液状化したと考えられる。砂層の下部には軟弱な腐植土層が堆積している。こ

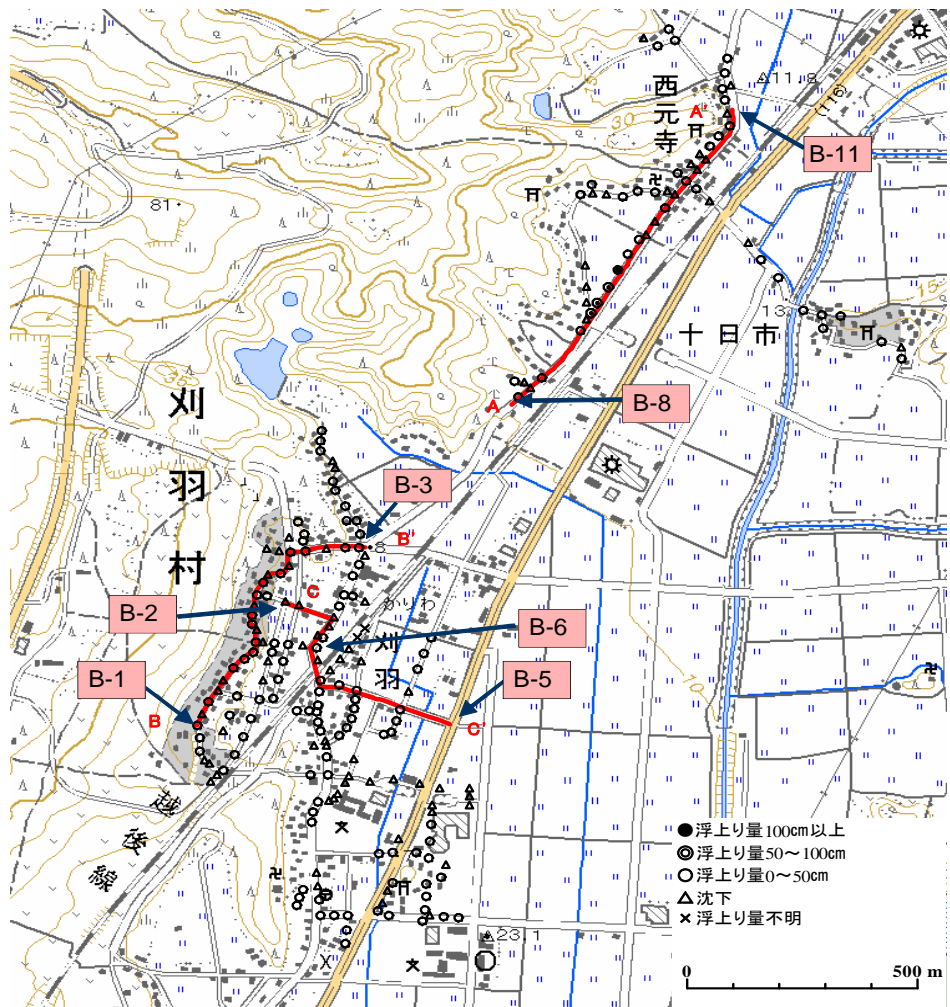


図 1 刈羽中央地区のマンホール浮上り量の分布

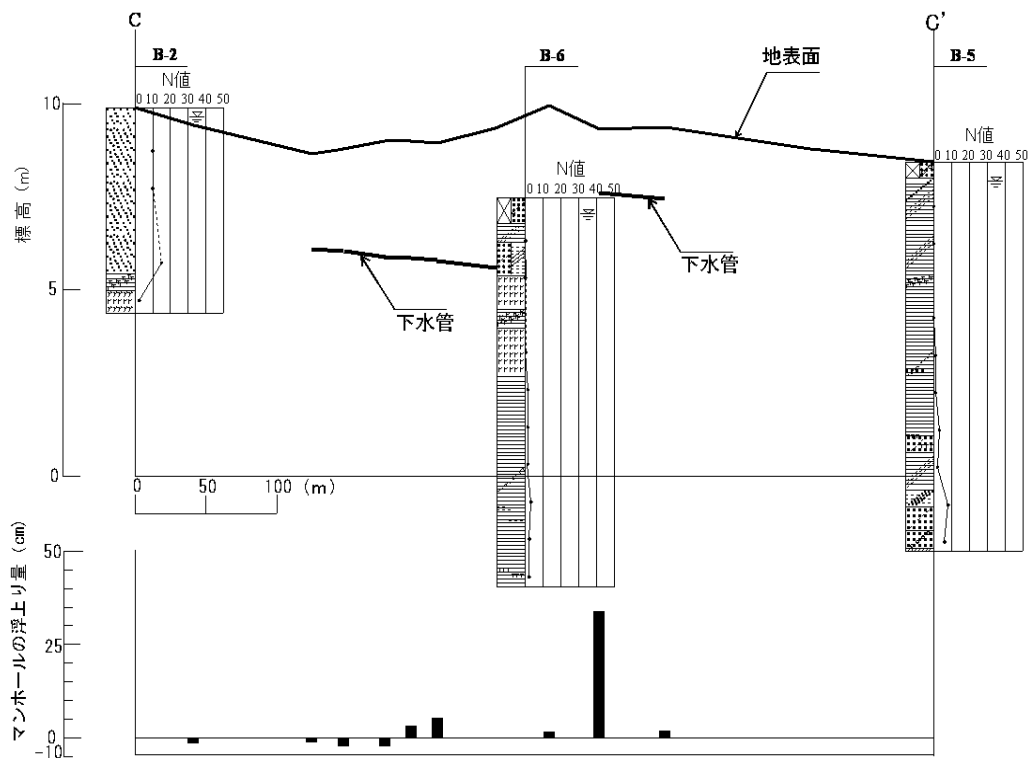


図2 C-C線に沿った断面における土質柱状図とマンホール浮上り量の分布

れに対し、国道付近の B-5 地点では地表面付近から軟弱な粘性土が厚く堆積している。地下水位も GL-52 cm と浅い、中間に位置する B-6 でも軟弱な粘性土と腐植土の互層が厚く堆積していてやはり地下水位は GL-45 cm と浅い。マンホールの浮上り量の分布を見てみると原地盤で液状化した B-2 付近ではほとんど浮き上がっていないのに対し、軟弱な粘性土や腐植土が堆積している B-6 付近では約 30 cm 浮き上がっていた。

以上の被災事例を見てみると、地山(原地盤)が軟弱な粘性土地盤や泥炭地盤においてやはり浮上り被害が多く発生しているようである。

3. 過圧密による対策の考え方と振動台実験による効果の確認

原地盤が粘性土の場合を対象にした場合、管路沿いに数 m おきにウェルポイントのように排水パイプを打設し、ポンプで排水するだけで、埋戻し土内の地下水位を容易に一時的に下げることが出来るであろう。そしてその後は自然に地下水の回復を待つか、または排水パイプから水を注入して回復させれば、埋戻し部の地下水位は元に戻る。このように一時的に地下水位を下げただけなら周囲の粘性土地盤の圧密沈下は心配しなくて良いであろう。

埋戻し土が緩い場合、このように地下水位を一旦低下させた過圧密により、液状化強度が増したり液状化後に変形し難くなって、マンホールや管渠の浮上りを抑制出来る可能性がある。また、管路沿いに施工すれば、既設のマンホールだけでなく管渠にも同時に対策が施せる。マンホールや管渠底面位置まで水位を下げれば、最大で過圧密比は 2 程度となり、既往の室内実験からも液状化強度が 1.4 倍程度上がることが予想される。このように考えて、過圧密効果を確認するための振動台実験を行った。

実験では振動台上にせん断土槽(幅 1200mm×奥行き 800mm×高さ 1000mm)を載せて 1 方向加振した。3.5m の深さのマンホールを対象にし、模型には、実物の 1/5 スケールの模型を塩ビ管で作成し、実物と比重を合わせるため鉛玉と発泡ガラス (25.28kg) を入れて調整したものをを用いた。地盤のモデルとしては原地盤部を粘性土とし、埋戻し部分を砂とした。埋戻し部は直径 610mm であり、豊浦砂 ($\rho_s=2.659/\text{cm}^3$, $e_{\text{max}}=0.993$, $e_{\text{min}}=0.614$) を用いた。原地盤部は粘性土として木節粘土(液性限界 89.4% より少し小さめな 69.0% の含水比に調整)を用いた。過圧密させる方法としては、模型地盤作成後に土槽下部より排水し、一旦水位を下げ、時間をおいたあと水を入れていき、もとの水位に戻す手順で行った。このため、地下水位を①GL-5cm、②GL-35cm まで地下水位を下げた後 GL-5cm に戻す、③GL-70cm まで地下水位を下げ

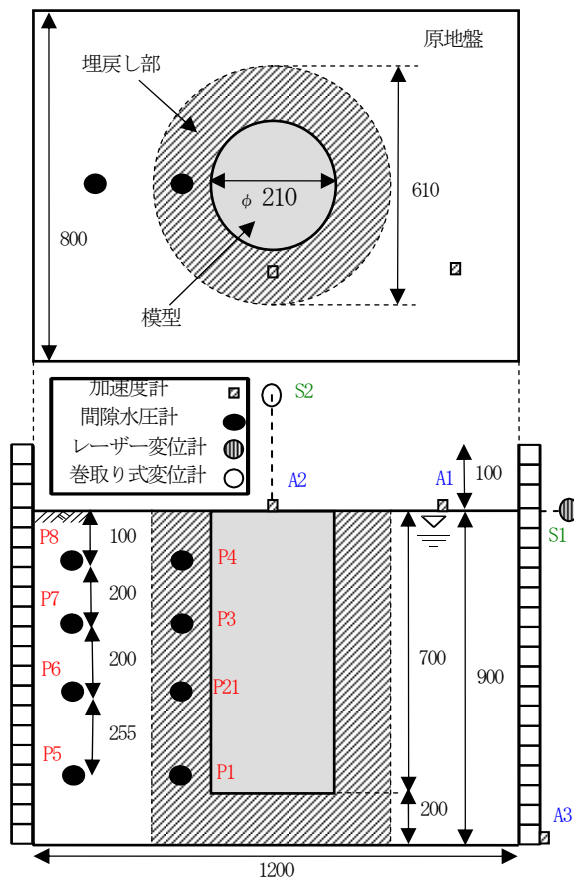


図3 模型と計測器の配置

た後 GL-5cm に戻すという条件で今回の実験を行った。このようにすると、過圧密比は②で 1.37、③で 1.80 となる。さらに、地下水位を GL-35cm まで下げただけの実験も行った。なお、実験は 2 度の時期に渡っておこなったため、同じ条件で 2 回行ったものもある。

加振は入力振動数 2Hz、正弦波 20 波とし、入力加速度 70Gal で 10 秒加振した。そして模型が浮き上がらなかった時、または浮き上がり量が小さい場合、第 2 段階 105Gal (70Gal の 1.5 倍)、第 3 段階 140Gal (70Gal の 2 倍) と入力加速度を大きくして同様に加振した。加振中の加速度は振動台上と地表面で、間隙水圧は埋戻し土内の 4 点で測定、レーザー変位計で地表面の水平変位を、巻き取り式変位計でマンホールの浮上り量を測定した。模型と計測器の配置は図 3 に示す。

実験結果のうち過剰間隙水圧比を見ると、過圧密させていない Case1 では全ての計測点で過剰間隙水圧比の値が 1 に達しており、70Gal の入力ではほぼ液状化したと見なせた。また、埋め戻し部の地下水位を GL-35cm と一旦



写真1 無対策のケースの浮上り状況



写真2 過圧密比が 1.80 で対策したケースの浮上り状況

下げ過圧密させた Case2 では液状化をしかけた状態だったのでないかと考えられた。これに対し、埋め戻し部の地下水位を GL-70cm まで下げ過圧密させた Case3 では、全ての計測点で過剰間隙水圧比の値が 1 まで達しておらず、液状化しにくかった。写真 1、2 に入力加速度が 70Gal の場合における地下水位が -5cm の無対策のケースと、-70cm で過圧密したケースの加振終了時の状況を示す。前者では大きく浮き上がったのに対し、後者ではほとんど浮き上がらなかった。図 4 に最終的に浮き上がった量を比較して示す。ただし、設定した加速度 (図では入力加速度) に対し、実際に振動台が揺れた加速度は多少異なるのでその台加速度でも整理している。いずれの図を見ても、加速度が大きくなるにつれ浮上り量は少し大きくなったが、入力加速度で 70Gal、台加速度で 100Gal 付近の浮上り量を比較してみると、地下水位 -5cm の無対策では 15cm 程度浮きあがったのに対し、地下水位 -35cm、-70cm で対策したものはそれぞれ 10cm、ほぼ 0cm と過圧密比が大きくなるにつれ浮上り量は小さくなった。

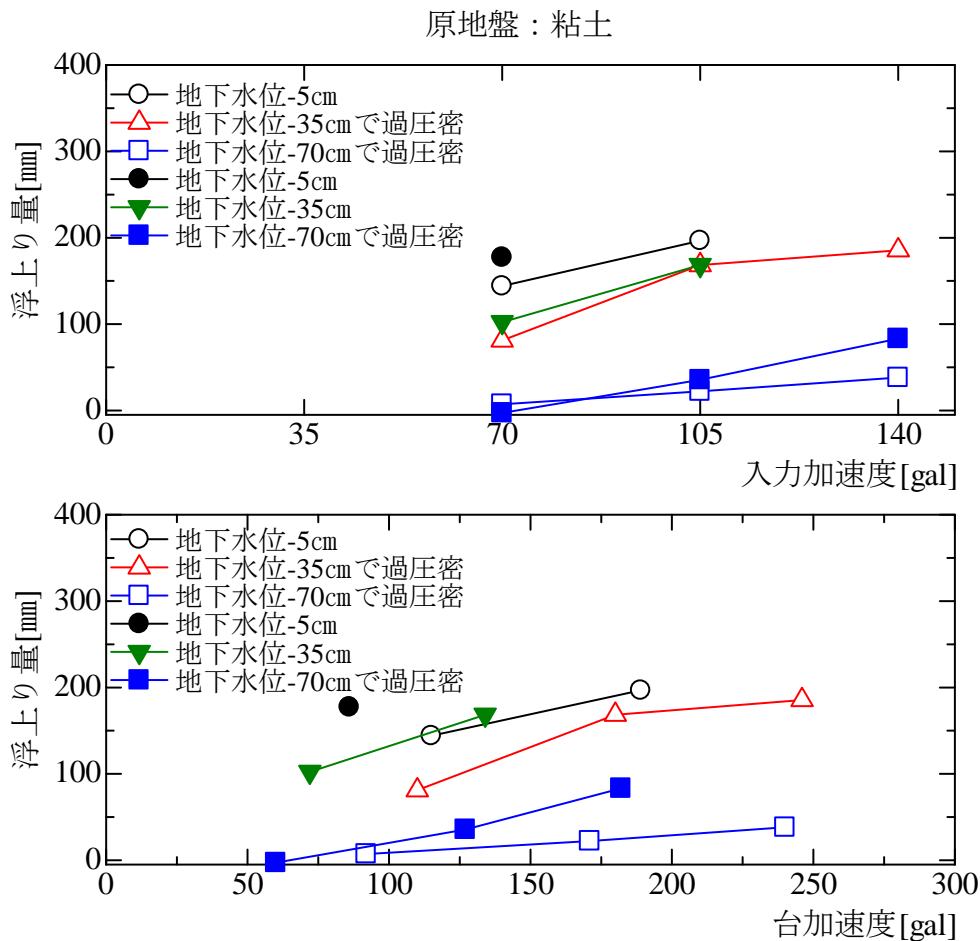


図4 加速度と浮上り量

このように、過圧密の効果がみられた。

4. まとめ

下水道のマンホールの浮上り被害に関して過去の地震時の事例を調べてみると、原地盤が粘性土の場合に大きく浮き上がっているようであった。そこで、粘性土地盤を対象にし、既設のマンホールや管渠で簡易に対策できる方法として地下水位を一旦下げる過圧密による方法を考案して、その効果を振動台実験で確かめた。その結果、過圧密により浮上り量が減少する効果が得られた。

今後、管路に対する効果も実験で確かめていきたいと考えている。

謝辞：振動台実験にあたっては元東京電機大学学生の井上匠君などに手伝っていただいた。感謝する次第である。

参考文献

- 1) Yasuda, S. and Kiku, H. : Uplift of sewage manholes and pipes during the 2004 Niigataken-chuetsu earthquake, 地盤工学会論文報告集, Vol.46, No.6, pp.885-894, 2006.11, R.: A self-consistent mechanics of composite materials, *J. Mech. Phys. Solids*, Vol.13, pp.213-222, 1965.
- 2) 下水道地震対策技術検討委員会：下水道地震対策技術検討委員会報告書—新潟県中越地震の総括と地震対策の現状を踏まえた今後の下水道地震対策のあり方—
- 3) 刈羽村から提供していただいた資料

(2007.06.29 受付)

A COUNTERMEASURE AGAINST UPLIFT OF MANHOLES DUE TO LIQUEFACTION OF SAND FILL IN CLAYEY GROUND

Susumu YASUDA, Shunsuke MAYUZUMI and Hajime ONOSE

Many sewage manholes and pipes were uplifted during past earthquakes. Studies conducted after the earthquake clarified that main reason to cause the uplift is the liquefaction of sand fill. Moreover, it was observed that large uplift of sewage manholes and pipes was induced in mainly clayey grounds. A same phenomenon was occurred in Kariwa Village during the 2004 Niigataken-chuetu earthquake. Then the authors developed a countermeasure which can be applied to existing sewage manholes and pipes. In this method, water table is decreased in short time, and then water table is increased again. During this process, liquefaction strength of sand fill would increase due to over consolidation. The authors conducted several shaking table tests to demonstrate the effectiveness of the countermeasure method. Test results showed that the method could prevent the uplift of a model manhole.