

マンホール周辺液状化対策としてのドレーン工法の適用性

岡本敏郎¹・嶋田慎司²

1正会員 芝浦工業大学教授 工学部土木工学科（〒135-8548 東京都江東区豊洲3丁目7-5）
E-mail:t-okamo@sic.shibaura-it.ac.jp.

2 東京都庁（元芝浦工業大学大学院生）東部第一下水道事務所（〒135-0016 東京都江東区東陽 7-1-14）

東北地方太平洋沖地震により、特に千葉県湾岸では住宅の傾斜やライフラインの被害など生活基盤に多大なる影響が生じ、中でもマンホールの被害数は多かった。液状化によるマンホールの浮上対策の内、重量化工法及び過剰間隙水圧消散工法は施工実績も多く、2011 震災での効果確認も進んでいることから、他工法との差別化を図る必要がある。しかし、これらの工法は適切な設計手法の確立されておらず、早急に耐震指針に反映させるべきである。本研究では、過剰間隙水圧消散工法の代表的なドレーン工法に関し、室内振動台実験による定量的分析を行い、さらにマンホールの機能を考察することにより適切な許容浮上量を設定し、これに対応する許容最大加速度を求めて、ドレーン工法の適用地震レベルを定めた。その結果、緩い場合以上の密度では、地震動が 800gal 程度以上でもドレーン工法の適用性は高いが、地震動が 200gal 以上で大変緩い場合には、ドレーン工法のみでは不十分である。

Key words: manhole, liquefaction, drain

1. 背景と目的

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により、関東の河川沿いと東京湾岸地域で液状化が発生し、マンホールの浮上被害が多く見られた。国土交通省¹⁾によるとマンホールの被害個数は全体で 6,699 基にも及んだ。マンホール被害は、下水道の機能障害だけでなく、道路の復旧に時間を要することにもなるため、液状化地盤におけるマンホールの地震時安定性を高める必要がある。

マンホールの液状化対策工法としてドレーン工法や重量化工法等が検討されているが、本研究では実証的研究が十分でないドレーン工法²⁾に着目し、液状化地盤におけるドレーン工法の適用性について中型振動台実験により検討する。

2. 実験概要

(1) 現在使用されているマンホール

鉄筋コンクリート製組立マンホールは、基本的に最上部の斜壁・中間部の直壁・底部からなり、さらに鉄蓋と

受け枠・調整部などから構成されており、工場生産された各パーツを、現場で簡単に組立ができるようにしたもので、下水道事業に多く採用されてきている。平成元年には、(社)日本下水道協会³⁾に認定され、「下水道用鉄筋コンクリート製組立マンホール」として、国内規格では表-1⁴⁾のようになっている。直径が様々あるが、さらに高さに関しては1号マンホールでも高さは1mから4.5mと種類は大きく、現地の状況で選択が容易である。

(2) 現在使用されている液状化対策工法

表-1 実用化されているマンホールの種類（日本下水道協会³⁾）

呼び方 (号)	0	1	2	3	4	5
サイズ (内径mm)	750	900	1200	1500	1800	2200

下水道管路施設の液状化対策工法に関し、2004年新潟県中越地震後の緊急提言⁵⁾では、埋戻し土の締固め、砕石等による埋戻し、埋戻し土の固化の3工法について提案があった。下水道施設の耐震設計指針と解説—2014年版—⁶⁾では、液状化発生防止対策と被害軽減対策の2つに

区分した上で、新設時について液状化発生防止対策として2工法と被害軽減対策として5工法が、既存施設については液状化発生防止対策2工法と被害軽減対策2工法が紹介しており、それによると、①重量化工法及び過剰間隙水圧消散工法は施工実績も多く2011震災での効果確認も進んでいることから他工法との差別化を図ることも考慮すべき、②具体的な設計照査方法の解説がない、計算例だけでなく、適切な設計手法の確立を行い耐震指針に反映させるべき、とある。根本的に浮上対策を行う場合にはアンカー定着型が好ましいが、現地の地盤構成や作業性と経済性から重量化工法及び過剰間隙水圧消散工法が優先して検討されている。

液状化地盤におけるドレーン工法の有効性については7)8)において検討されており、液状化地盤でのマンホールの浮上現象については、9)では地下水位とマンホール高さの関係、10)では解析的評価の試みがされている。重量化工法については、11)においてマンホールの振動台実験結果が示されている。

過剰間隙水圧消散工法は、マンホール側壁に集水管や弁を設置する工法とマンホール周辺にドレーンを設置する工法の2つに大別できる。前者は、過剰間隙水圧の上昇に伴ってマンホール周辺の水位上昇が発生したとき、集水管や弁によって水をマンホール内部に導くことにより、特にマンホール底面に働く過剰間隙水圧をある程度以上上昇させないことに主眼を置き、マンホール内に流入した水重量増加により浮き上がり抵抗を増し、さらにマンホール側面の水位上昇を防止することにより浮き上がりに対する側面摩擦抵抗維持と側面受動土圧維持による地震時水平変位抵抗の維持を図る工法である。しかしながら、これらマンホール底面に働く過剰間隙水圧低減・マンホール内流入水重量増加・側面摩擦抵抗維持と側面受動土圧維持が十分大きくないと液状化対策として不十分な可能性がある。

一方、マンホール周辺にドレーンを設置する工法につ



写真 マンホールに設置されたドレーン（アースドレーン工法協会による）

いては、ドレーンの性質・大きさ・設置範囲によって、過剰間隙水圧消散に大きな影響を与え、対策として地震に対する詳細な効果は明瞭ではない。このことは、マンホール側壁に集水管や弁を設置する工法も同様である。ただ、マンホール内流入水重量増加の点を除けば、この工法は、ドレーン工法とかなり似通ったメカニズムで過剰間隙水圧消散工法として同じ範疇に入ると考える。さらにマンホール周辺碎石埋戻しも推奨されており、この工法もドレーン工法とメカニズムは同じである。ただし、地表まで排水が連続していることが条件である。

以上のように、過剰間隙水圧消散工法は、メカニズムが複雑で、具体的な液状化対策としての効果が明瞭ではないと言える。そこで、本研究では、過剰間隙水圧消散工法の中心的位置を占めるドレーン工法に関して、模型実験により入力地震動の影響と液状化対策工法としての基本設計を検討する。

(3) マンホール模型

実物の 1/25 スケールで作成した。マンホール本体は円筒状にした型枠の中に鉄筋の代用として金網を挿入し、モルタルを打設した。蓋部はゴム製とした。標準タイプのマンホールの浮上安全率は 0.65 であり、標準タイプのマンホールにドレーンを巻きつけたものを 3 ケース作成した(図-1)。

ドレーンは不織布を、砂は珪砂 6 号を使用した。珪砂の物理特性は 12)、液状化強度は 13)14)において調べられており、豊浦砂とほとんど同じである。珪砂 6 号の最大密度及び最小密度は、それぞれ $1.64t/m^3$ 、 $1.37t/m^3$

である。不織布の厚さは 1~2mm のものを使用し、透水係数は 1.0×10^{-2} であり、珪砂 6 号の透水係数¹⁾は $1.0 \times$



ケース 1 標準タイプ



ケース 2 側面のみ



ケース 3 側面+底面



ケース 4 ドレーンを底面下部 2m まで挿入

図-1 使用したマンホール模型

10^{-4} である。ドレーンの有無・配置場所により、以下の4ケースとした。

ケース1 標準タイプ

ケース2 ドレーンを側面のみに巻きつけたもの

ケース3 ドレーンを側面と底面に巻きつけたもの

ケース4 ドレーンを側面に巻きつけ、さらに底面から2m柱状に挿入したもの

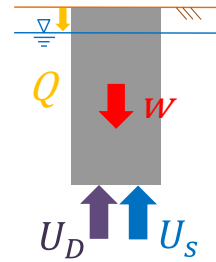


図-2 浮上安全率Fs計算の定義

(4) 浮上安全率Fs

マンホールの直径一定のまま地表までであるとし、設計基準でも多く使用されている以下の式で計算した。(図-2参照)

$$F_s = \frac{W_0 + Q_B}{U_s + U_D}$$

W_0 :マンホールの死荷重

Q_B :非液状化層内のマンホール側面の摩擦抵抗

U_s :マンホール底面に作用する静水圧による揚圧力

U_D :マンホール底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力

U_D については、有効鉛直応力もしくは水平応力が考えられるが、共同溝設計指針¹⁵⁾のように有効鉛直応力に等しいとした。



図-3 土槽及び中型振動台

(5) 中型振動台及び土槽

中型振動台は電磁式であり、その性能は、最大加振加

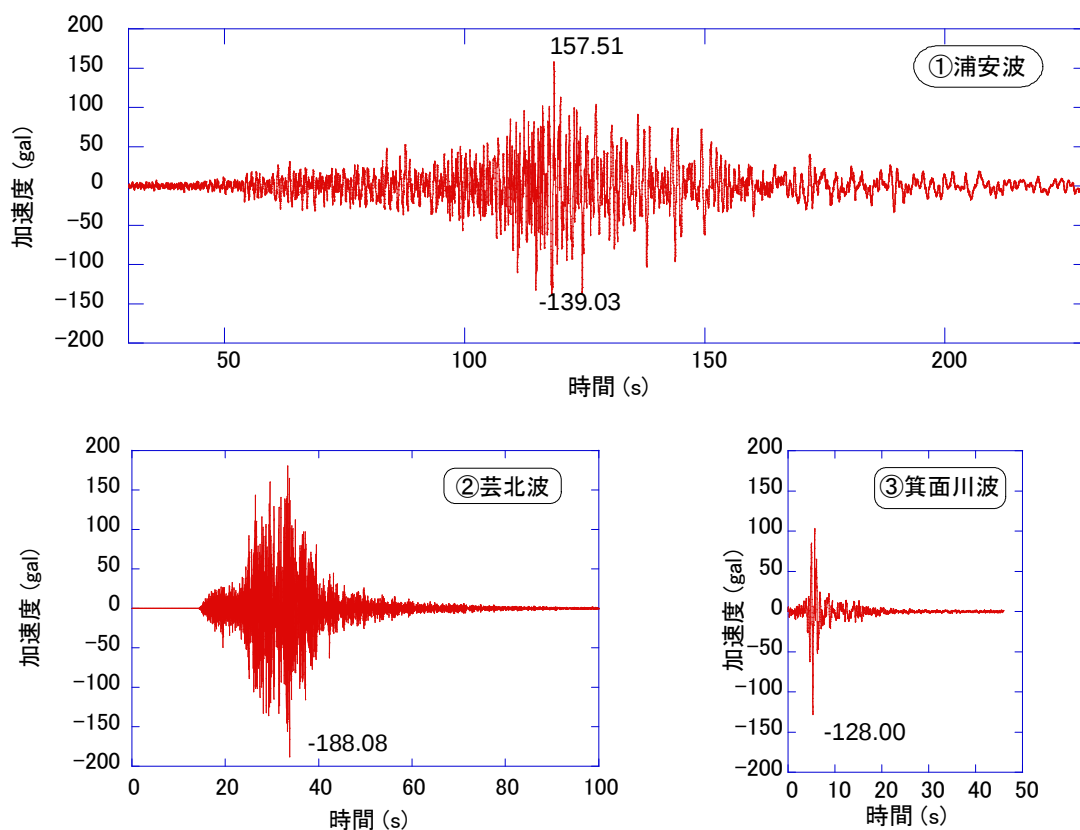


図-4 使用した入力地震動

速度 1000gal, 最大加振変位±50mm であり, 土槽は直径 40cm, 高さ 46cm のものを使用した(図-3)。

(6) 入力地震動

入力地震波は, 以下の3つを使用し, 最大加速度を変化させ載荷した。それらの地震波を図-4に示す。継続時間が長いほどマグニチュードも大きいので, 特に継続時間の長さが異なるものを選定した。また, ①はプレート型, ③は直下型としても良く知られた代表的なものである。

- ①2011 年東北地方太平洋沖地震浦安観測波(最大加速度 157.3gal 以下浦安波と称する),
- ②2001 年芸予地震芸北観測波(最大加速度-188.07gal 以下芸北波と称する),
- ③1995 年兵庫県南部地震箕面川観測波(最大加速度-128.0gal 以下箕面川波と称する)

(7) 地盤作成方法

実規模レベルで地盤高 10m, 地下水位 1m に設定した。相対密度については, 大変緩い(Dr=0-20%), 緩い(Dr=20-40%), 中位(Dr=40-60%)の3 ケースを実験した。

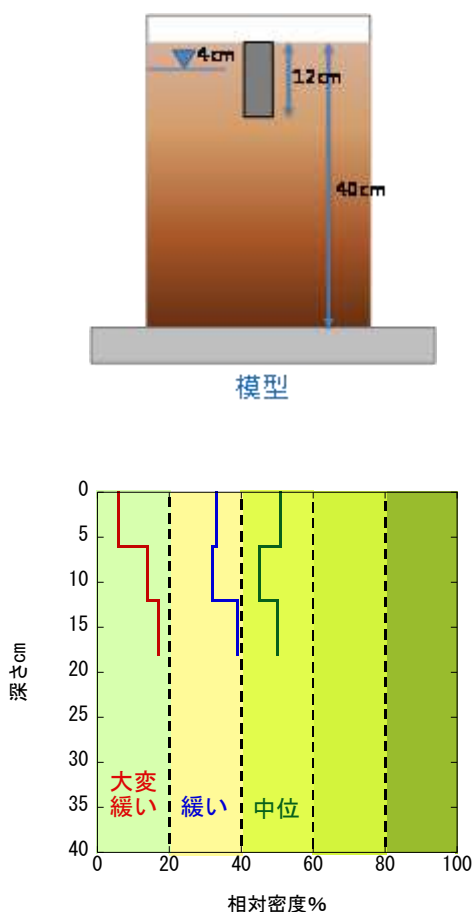


図-5 土槽内の相対密度分布

液状化の検討では深さ 20m が検討対象であり, 実際の地盤は砂と年度もしくはシルトとの互層が多く, 砂層単独でも浦安市埋立地では 10m ほどである。また地下水位については, 低地や埋立地では高い場合地下 1m 程度である。以上により, 砂地盤単独で 10m 厚さ, また地下水位は-1m とすれば, 実際の条件を反映し, 液状化検討として厳しい条件と考えた。

地盤作成方法として, 上向き浸透流によりパイピングを発生させた直後砂地盤を攪拌し, 水中沈降させることで大変緩い地盤を作成した。緩い地盤については, 大変緩い地盤を作成した後, 最大加速度 70gal とした芸北波を 5 度載荷し小規模な液状化を発生させ密度を上昇させた。最大加速度をより大きくして液状化させると側方流動が生じ, 均一に沈下しないと考えたからである。中位な地盤についても緩い地盤を作成した後, 同様に液状化を発生させ, さらに密度を上昇させた。模型地盤の密度計測は, 地盤作成後マンホール設置位置で $\phi=5\text{cm}$, $h=6\text{cm}$ のシンウォールチューブで砂試料を採取して実施した。その結果を図-5に示す。大変緩い・緩い・中位の

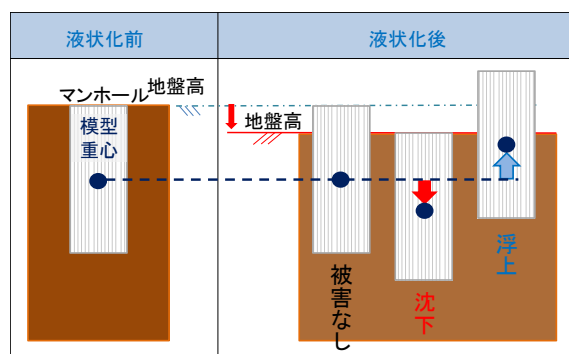


図-6 液状化実験後のマンホールの残留変位計測法

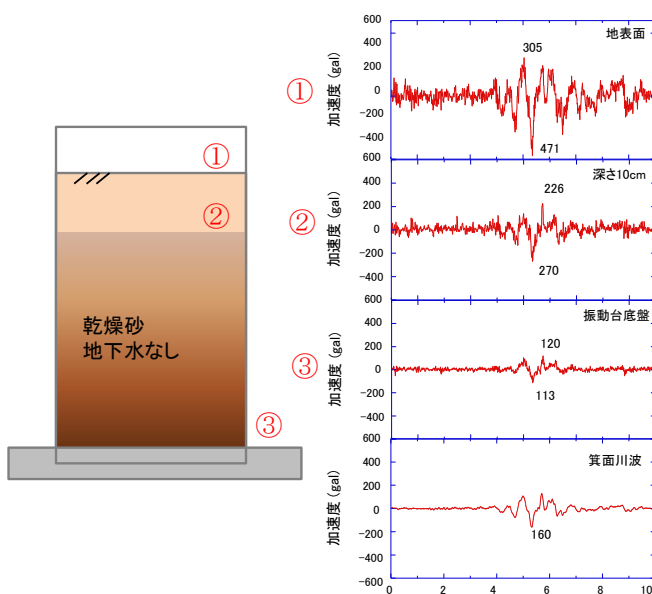


図-7 振動実験時土槽内地盤応答

密度はほぼ再現されている。

(8) 計測方法

模型地盤作成及び模型設置後、入力地震波を載荷しマンホールの残留変位を計測した。この時、計測する変位は実験前の地盤高を基準とした（図-6参照）。なお以後の実験結果の単位表記は実規模レベルで表記する。

振動実験時土槽内地盤応答を乾燥砂地盤で計測した。その結果は図-7のようであり、ノイズが大きいので移動平均値を示してある。想定した入力波が振動台に入力されており、土槽内のマンホール位置では 1.7~2.9 倍に増幅している。液状化しているときは、増幅は当然小さくなるので、実際の加速度はより小さいものである。

(9) 相似則

振動に関する相似則では、時間縮尺が $1/\sqrt{N}$ (N :縮尺値)となる¹⁰⁾ため、本研究では時間縮尺を $1/\sqrt{25}$ にし、入力地震波とした。浦安波に関しては、時間縮尺をしない場合振動台の最大加振変位に達し振動台の加速度の上昇が出来なかったが、時間縮尺をすることにより振動台の加速度の大きさも十分な範囲まで可能となった。一方で、時間縮尺をすることにより、液状化が発生し難くなる可能性があり、実験により確認をした。その結果、浦安波では $1/\sqrt{25}$ 程度以上に時間縮尺をすると、液状化発生が確認できなくなることがあったが、 $1/\sqrt{25}$ 程度では想定とおり液状化発生が確認された。一方芸北波と箕面川波では、図-8のように、時間縮尺した波を載荷すると、液状化が発生しなくなることがあり、発生しても残留沈下量が小さい場合があった。以上により、浦安波では $1/\sqrt{25}$ に時間縮尺した波を用い、芸北波と箕面川波では時間縮尺しない元の波を用いた。

浸透拡散に関しては、一般に相似則は $1/N^2$ となる

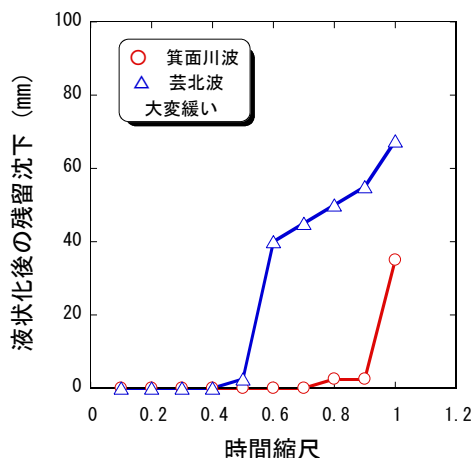


図-8 時間縮尺をした時の液状化後の残留沈下

¹⁰⁾ので、今回の場合には過剰間隙水圧の消散に関して、砂の透水系数を $1/625$ にする必要があるが、実験では非常な困難を伴うため、蒸留水及び珪砂 6 号そのものを使用した。このため、本実験では、実物に比較して浸透拡散が早すぎて、過剰間隙水圧の蓄積が十分でなく、液状化が発生し難くなる可能性があると考えられる。そこで、液状化発生を観察したが、ほぼ想定とおり発生しており、また後述のように浮上量に関しても十分な議論ができる程度であると考えるので、実験に当たり浸透拡散に関する相似則は特に考慮しなかった。

3. 結果と考察

(1) 大変緩い場合

図-9に大変緩い地盤の結果を、浦安波・芸北波・箕面川波の場合を順に示す。ドレーンなしの標準型では、最大加速度の増加に対し、実規模レベルで 80~100cm も急激に浮上する様子が明瞭である。したがって、浮上量と最大加速度との関係は曲線というよりも線形関係に近くなってきている。

液状化によるマンホールの浮上では、回転も見られることがあるが、今回のドレーン工法を適用した場合は回転は見られなかった。マンホールが液状化により回転が見られたのは、重量化工法でかつ上部のみ重量化した場合であって¹⁰⁾、均等に重量化した場合は見られなかった。回転はマンホールが浮上した後発生しており、ドレーン工法を適用した場合も特にマンホールに偏心がないので、回転が見られないと解釈できる。

ドレーン工法を適用することで対策の効果は見られ、側面のみ・側面と底面・側面挿入を底面下 2m までの順に効果がある。しかし、ドレーンなしの標準型に比較して、数十ガル程度の最大加速度の上昇であって、標準タイプのものと比較してドレーン工法は約 2 倍程度効果があることが確認できたものの、地震の大きさに対しては最大 300 ガル程度であるので、設計地震レベルが比較的大きい場合には十分でないことが確認できる。

ドレーン柱状巻き付け一側面挿入を底面下 2m までのケースは、他の 2 つのケースよりやや効果があるように見える。しかし、不織布をマンホール底面以下まで敷き詰めているため、マンホールもしくはその底面下の砂の水平変位を拘束している可能性があり、その効果については今後より詳細な検討が必要と考える。

なお、マンホールの浮上の他に回転が生じることが考えられ、実験では浮上後に回転が卓越してくる場合があり、また上部重量化工法では浮上抑制しても回転が卓越する場合がある。今回のドレーン工法を用いた場合、浮上が卓越し、回転はほとんどなかった。今回用いた地

震はよりも継続時間が長い東北地方太平洋沖地震の場合には、浮上と共に回転について検討する必要があり、今後の課題と考える。

(2) 緩い及び中位の場合

図-10 に緩い地盤の結果を、浦安波・芸北波・箕面川波の場合を順に示す。大変緩い地盤に比べドレーンの効果が表れたが、中でも柱状に巻きつけたケースの効果が

最も高かった。上述のように、その効果については今後より詳細な検討が必要と考える。

中位な地盤では浦安波で液状化が発生したものの、標準タイプのマンホールでも浮上量は下記に示す許容値内となったため、ドレーン工法を適用したケースでの実験は行わなかった。また、芸北波、箕面川波では液状化が

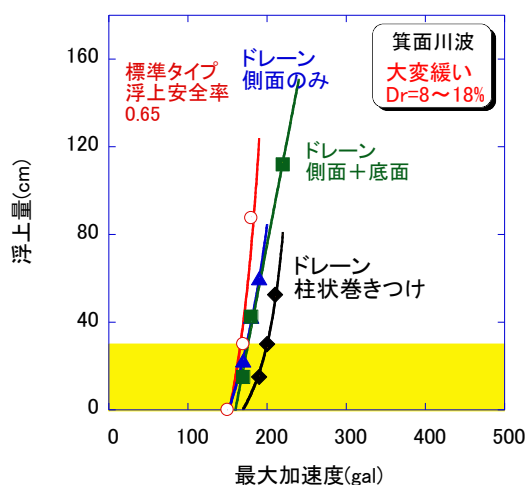
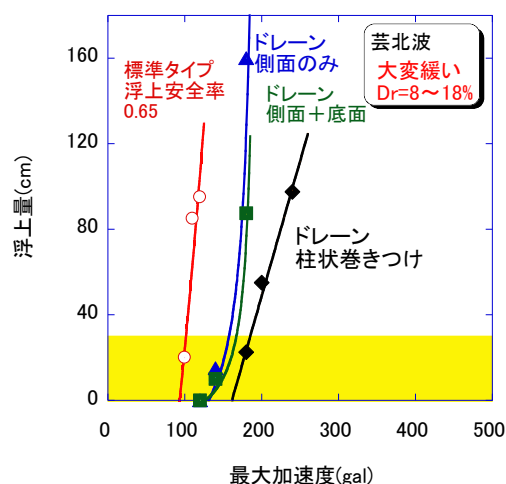
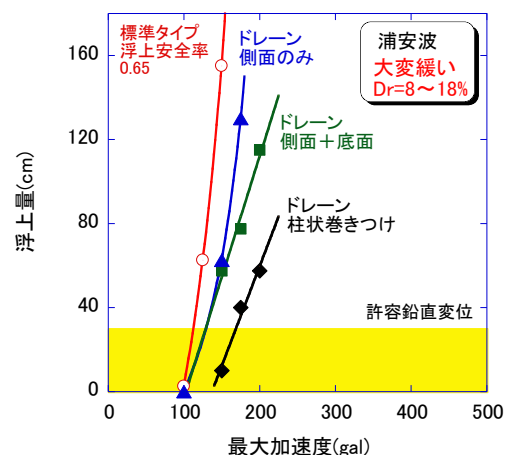


図-9 大変緩いケースでの浮上量と最大加速度関係

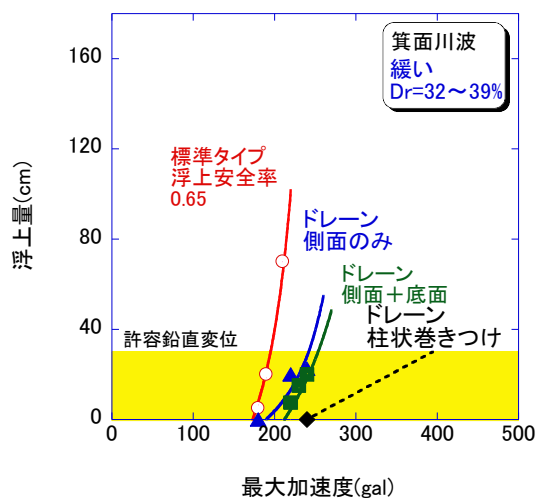
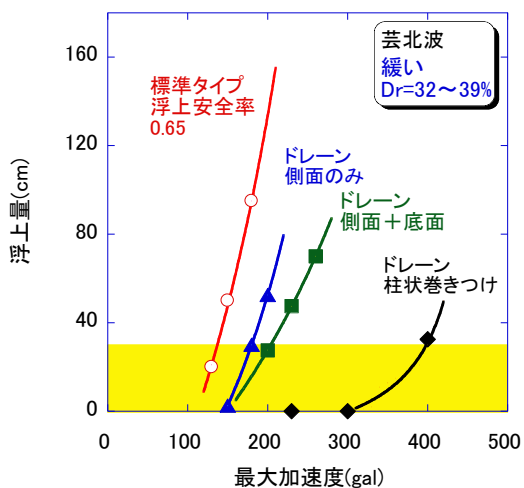
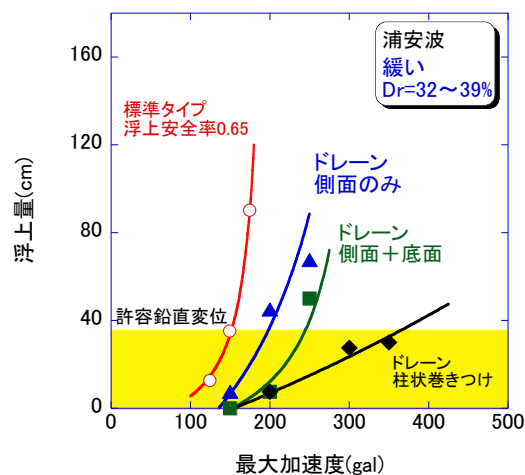


図-10 緩いケースでの浮上量と最大加速度関係

発生しなかった。

4. 許容最大加速度

(1) 許容値の考え方

最近の構造物の安定性評価では、極限状態として、構造物としての崩壊と機能喪失を考慮し、さらに修復可能なレベルをも考慮することが増大している。下水道施設の耐震対策指針と解説 2006¹⁹⁾では、〔液状化による沈下量〕 δ (cm) = 〔液状化層厚〕 HFL (m) × 〔沈下率〕 ($\eta = 0.05$) × 100として推定しているが、評価基準値が明瞭ではなく、マンホールの機能喪失や地震時被害の修復などについては、あまり検討されておらず、液状化地盤にあるマンホールの機能と修復について考察し、実験結果の評価に資する。

マンホールは、地下の下水道や電気・通信など埋設管の点検・修理・清掃・排気などを目的とした、作業員の出入り用縦孔である。従って、マンホールの地震時安定性は、その機能というよりも、マンホールが本来の目的である下水道や埋設管の機能を損なわないことが重要である。

以上より、2つの視点からマンホールの浮上量に関する機能上の制約を考察した(図-11 参照)。

視点1：マンホールと接続する管の機能

- ①導管内の水の流れ：流れなくなる限界値を勾配が 0.1～0.3%以内とすると、これは 100m 長さに対し、10 から 30cm の浮上に相当する。
- ②導管コンクリートの破壊：コンクリートは 0.1%程度のせん断ひずみで破壊するので、100m 長さに対し、10cm の浮上に相当する。

視点2：浮上・沈下による影響

- ③上部道路の修復：マンホールの浮上・沈下により、

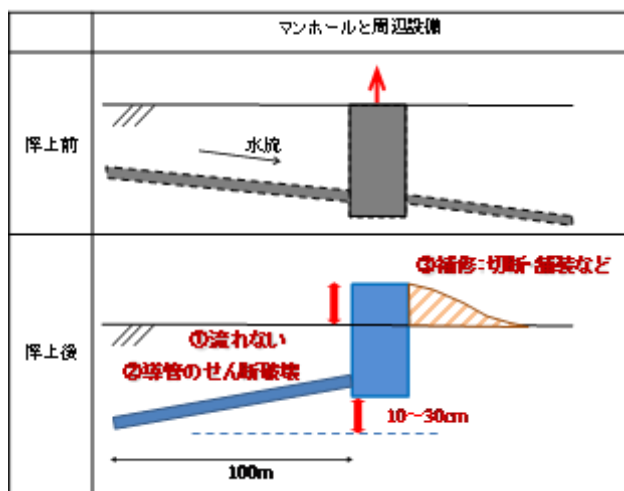


図-11 許容浮上量の考え方

道路の凹凸の補修が必要となり、10～30cm 浮上の場合と考える。

- ①～③を考慮し、±30cm 程度の浮上・沈下量を許容値とした。

液状化による沈下予測量は前述の方法によれば、液状

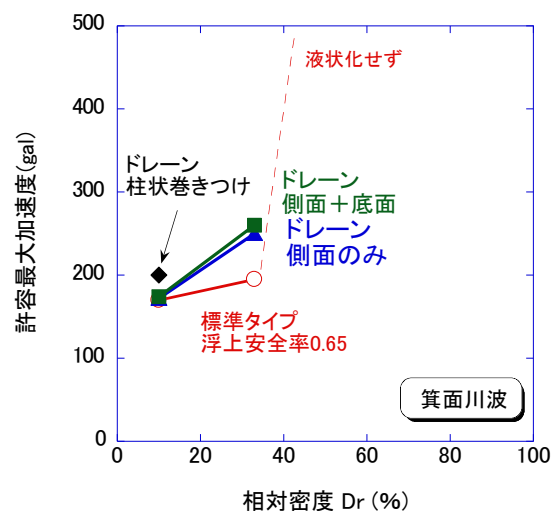
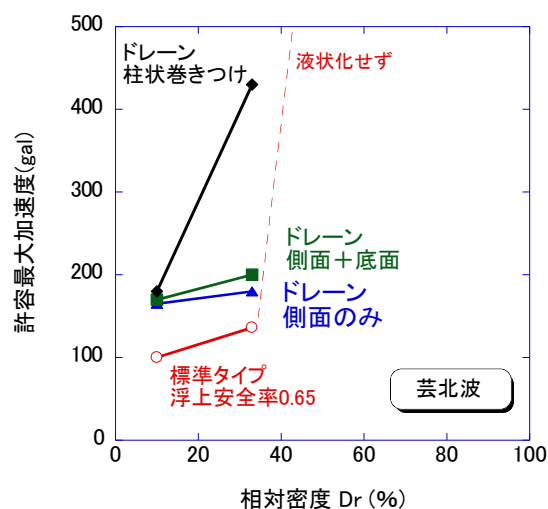
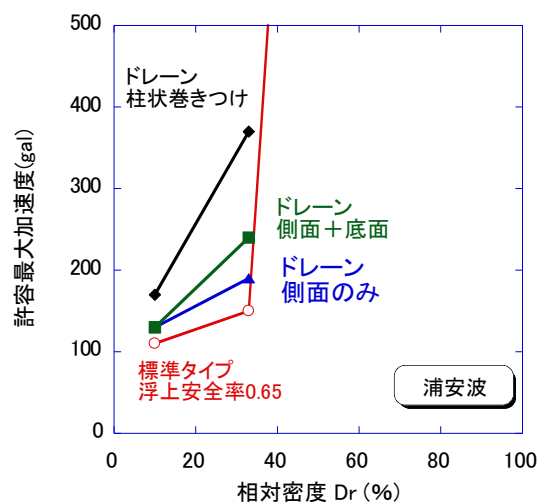


図-12 許容最大加速度

化層厚 5～10m のとき、25～50cm である。許容値および浮上に関して定義されていないが、上記のように定めた許容沈下・浮上量はこの値よりやや小さい量である。

(2) 地震波の影響

許容値を下水道管の機能と上部道路の機能・修復を考慮し+30cm と設定し、浮上量と最大加速度の関係から、この許容値に相当する加速度を許容最大加速度とした。図-9・10 に許容鉛直変位の範囲を示してあるが、許容浮上量 30cm とした場合、10～20cm としたときの許容最大加速度の差は数十ガル程度であり、地震の大きさに対し、誤差として十分小さいと考える。

図-12 に浦安波、芸北波、箕面川波の結果を示す。相対密度と地震波により許容最大加速度の値が変化していることがわかる。東北地方太平洋沖地震による東京湾岸北東部の最大加速度分布は図-13 のようであり、液化化被害地域は埋立部が中心で 150～200gal となっている。図-12 の浦安波の結果では、大変緩い～緩い場合は許容最大加速度は 100～120gal となっており、許容最大加速度が若干小さく、整合している。

(3) ドレーン効果

ドレーン効果について観ると、どの地震波でも、効果が大きい順からドレーン柱状>ドレーン側面+底面>ドレーン側面>標準タイプと許容最大加速度が大きくなり、ドレーン設置により地震時安定性が高まっていることが確認できる。

標準タイプのものと比較してドレーン工法を適用すると、許容最大加速度の観点からは約 2 倍近く効果があることが確認できた。しかし、レベル 2 地震動が 200gal 以上で大変緩い場合にはドレーン工法のみでは不十分である。

「重要な幹線等」と「その他の管路」の区分は、基本的に「日本下水道協会；下水道施設の耐震対策指針と解説、1997 年版」¹⁹⁾に従い、地域特性、地盤特性及び施設の特性や規模ならびに類似施設の被災事例等を考慮して、設計者の判断により決定する。したがって、重要幹線等は、レベル 2 に対し設計されることがあるが、その他の管路については明瞭ではない。ライフラインの損傷は直接人命に係ることではないので、レベル 2 の適用は限定的との考えと、ライフラインの機能損失と復旧の経費と時間の重要性を、個別的に調和させて判断するのが現在の考えであろう。

5. 重量化工法などとの併用

ここでは、既設マンホールの耐震性向上を図る場合、ドレーン工法と他の工法との併用を図る場合について検

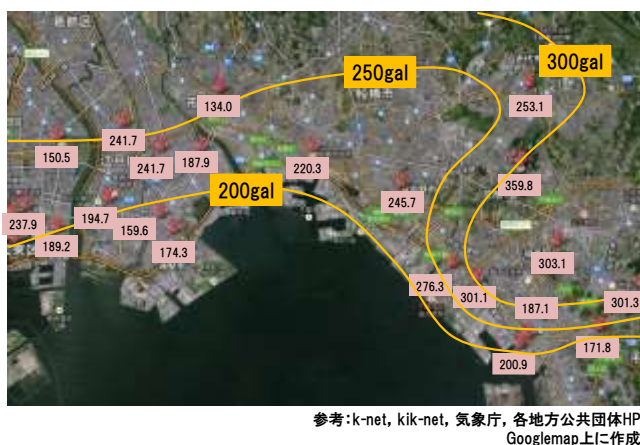


図-13 東北地方太平洋沖地震による東京湾岸北東部の最大加速度分布



図-13 杭及び均等重量化模型とドレーン併用

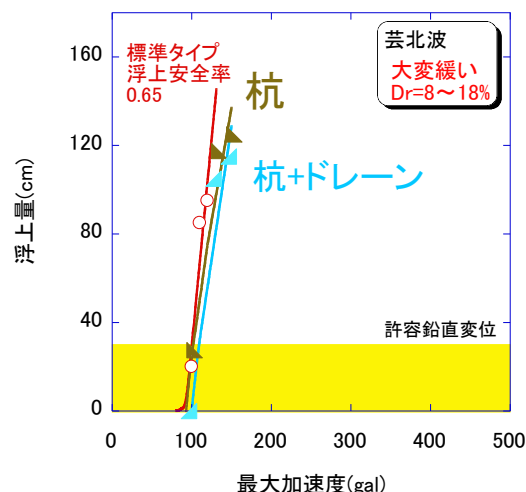


図-14 杭とドレーンの併用
(大変緩い、芸北波 の場合)

討した。

(1) 摩擦杭とドレーンの併用

浮上対策として、重量化工法と過剰間隙水圧消散工法を挙げたが、アンカー定着工法も有力⁴⁾であり、定着に相応しい地盤の存在と掘削施工が条件となる。同様に、杭基礎でも引抜き抵抗を考慮した場合には有効となる。

しかし、引抜き抵抗も含めると支持杭以上の条件が求められると考えられ、深部地盤条件と経費が許されれば有力なものである。ここでは摩擦杭では不十分であることを実験的に示すことにする。

浮上安全率 0.65 のマンホールの底面に杭を 3m 接着させたタイプ(図-13)、同様のマンホールにドレーンを側面に加えたタイプ、標準タイプの 3 ケースを大変緩い地盤で芸北波の場合に関し比較した。その結果は図-14 に示すように、摩擦杭との併用タイプではほとんど効果は見られなかった。

(2) 重量化工法とドレーンの併用

重量化工法ではかなりの重量化それも重量の均等化が要求されることから、既設マンホールに重量化工法が不十分かつ経済的効果であるとき、ドレーン工法を併用することが考えられ、この検討を行った。

標準タイプのマンホールの浮上安全率は 0.65 であるのに対し、重量化工法との併用は、浮上安全率 0.82 の均等重量化マンホールタイプ、同様のマンホールにドレーンを側面+底面に巻きつけたタイプ(図-12)とし、標準タイプを加えて 3 ケースを大変緩い地盤で芸北波の場合に関し比較した。

その結果は図-15 のようであり、重量化工法との併用タイプはやや改善しているが、均等型重量化工法で浮上安全率 1.0 のとき、全く浮上せず、回転もしていなかった¹⁰⁾ので、ドレーン工法との併用よりも重量化工法単独の方が好ましい。

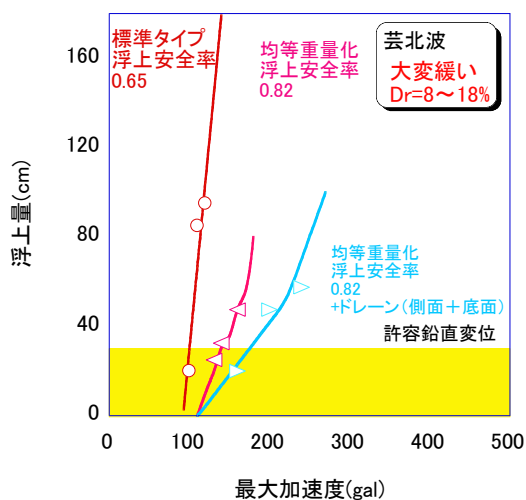


図-15 重量化工法とドレーンの併用
(大変緩い、芸北波の場合)

6. まとめ

振動台実験により、マンホール周辺液状化地盤へのド

レーン工法の適用性を検討してきた。大変緩い及び緩い地盤では共に、浦安波・芸北波・箕面川波の順にドレーン効果は大きかった。さらに、許容浮上量を定め、これに対応する許容最大加速度を求めると、標準タイプのものと比較して、ドレーン工法は約 2 倍近く効果があることが確認できた。また、ドレーンは側面だけでなく、底面をも含めて全面的に敷設するのが好ましい。ただし、マンホール底面以下の深部までドレーンを敷設することは実験では効果があったが、液状化に対する抵抗となった可能性もあり、またドレーンの敷設も困難であったため、今後詳細に検討することが必要である。

マンホールの浮上対策は地震動の対象としてレベル 1 もしくは 2 とするのか、マンホールの機能上から地区ごとに設定する必要がある。地震動が 200gal 以上で大変緩い場合にはドレーン工法のみでは不十分である。そのため、既設マンホールでは重量化工法と併用することも検討したが、重量化工法単独の方が好ましい。

参考文献

- 1) 国土交通省(2012)：東日本大震災における下水道管路施設液状化対策工法の被害状況と今後の課題 H24.2.24, <http://www.mlit.go.jp/common/000193184.pdf>
- 2) アースドレーン工法協会(2011)：
<http://www.earthdrain.jp/new/20110912/20110912.pdf>
- 3) 日本下水道協会規格 (JSWAS)
- 4) 下水道管路管理協会(2010)：下水道管路施設管理の専門誌 JASCOMA Vol.16 No.32
<https://www.jascoma.com/doc/book/list/images/jascoma32.pdf>
- 5) 国土交通省 (2005)：下水道地震対策技術検討委員会 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 平成 17 年 8 月
<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040826/07.pdf>
- 6) 国土交通省(2012)：下水道施設指針類の課題と今後のあり方 H24.2.24 <http://www.mlit.go.jp/common/000193187.pdf>
- 7) 足立有史・小林秀匡・脇田和武・柳 清・関根康正・渦岡良介 (2006)：水平ドレーンによる液状化対策工法の検討 http://www.ad-hzm.co.jp/trr/hazama/2006/pdf_file/03.PDF ハザマ研究年報 (2006.12)
- 8) 国土交通省国土技術政策総合研究所 柱状ドレーンによる液状化対策効果の計測
http://www.nilim.go.jp/lab/jbg/takuti/eki_jyoka/20120509.pdf 平成 24 年 3 月
- 9) 飛田哲夫・井合進・姜基天・小西康彦・原照照二 (2009)：液状化によるマンホールの最大浮上量の推定法、京都大学防災研究所年報、第 52 号 B、平成 21 年 6 月
- 10) 足立有史・浦野和彦・三原正哉 (2009) 大型せん断土槽を用いたマンホールの浮上がり実験と有効応力解析 http://www.ad-hzm.co.jp/trr/hazama/2009/pdf_file/02.pdf ハザマ研究年報 (2009.12)
- 11) 高橋勝彦・国生剛治・遠藤大智・青野紀夫(2009)：重量化によるマンホール浮上防止効果の振動実験、第 54 回地盤工学シンポジウム、No.64, pp.405-410
- 12) 紙谷 恵介・日置 和昭 (2009)：薬液注入改良土の透水係数と一軸圧縮強さに関する考察土木学会第 64 回年次学術

- 講演会Ⅲ-484
- 13) 岡田真幸 岡庭一憲 末政直晃 片田敏行・永尾浩一：
マイクロバブル水を利用した地盤不飽和化による液状化
対策工法の開発 第36回土木学会関東支部技術研究発表
会, Ⅲ-36
 - 14) 田中智宏・安田進・直井賢治：種々の珪砂の低拘束圧下
における液状化および液状化後の変形挙動 第30回土木
学会地震工学研究発表会論文集
 - 15) 共同溝設計指針（1987）
 - 16) 地盤工学会編地盤工学ハンドブック
 - 17) 岡本 敏郎・種田 智憲（2015）：マンホールの液状化時
安定性向上を目指した均等重量化工法の適用性 第50回
地盤工学研究発表会 No.805
 - 18) 国土交通省(2012)：下水道施設指針類の課題と今後のあ
り方 H24.2.24 <http://www.mlit.go.jp/common/000193187.pdf>
 - 19) 日本下水道協会；下水道施設の耐震対策指針と解
説，1997年版
- (2015.9.4受付)

APPLICATION OF DRAIN METHOD TO MANHOLE SURROUNDED LIQUEFACTION GROUND

Toshiro OKAMOTO¹, Shinji SHIMADA²

Great influence occurred for the life facilities including the slant of the house and the damage of the lifeline because of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake in particular on the Chiba coastal line, and, above all, there was much number of the damage of the manhole. Because a lot of construction results advance to the effect confirmation by 2011 earthquake disasters as for the method of construction to the heavier weight and the water pressure dispersion method of construction among surfacing measures of the manhole by the liquefaction, it is necessary to plan the differentiation with other methods of construction. However, of the design technique that is appropriate as for these methods of construction should let an earthquake-resistant guideline reflect it immediately without being established. I established application earthquake level of the drain method of construction by performing the quantitative analysis by the indoor vibration stand experiment about the representative drain method of construction of the surplus crack water pressure dispersion method of construction in this study, and setting the permission surfacing quantity that was more appropriate by considering the function of the manhole, and considering permission's greatest acceleration corresponding to this. As a result, when it is loose, but, by the above-mentioned density, earthquake vibration is high in the applicability of the drain method of construction more than 800gal degree, but is insufficient only in a drain method of construction when earthquake vibration is loose at all in more than 200gal. In this case I can hope that I use it together with a method of construction to weight and take measures.