

# マンホールの液状化時安定性向上を目指した均等型重量化工法の適用性

岡本敏郎<sup>1</sup>・種田智憲<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>西松建設(元芝浦工業大学生) (〒105-6310 東京都港区虎ノ門1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー10階)

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が確立されておらず、早急に耐震指針に反映させるべきである。本研究では、重量化工法の中でも上部型と均等型に関し、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と回転量を設定し、これに対応する許容最大加速度を考察することにより、重量化工法の適用地震レベルを定めた。その結果、上部型と均等型共に浮上抑制は期待できるが、上部型は回転が大きく、均等型は回転も抑制できることが解った。また、重量化工法では、浮上安全率1.0としたとき十分浮上抑制ができ、設計上安全率の余裕は必要ない。また、均等型であっても、緩い場合以上の密度では地震動が最大加速度800gal程度以上でも重量化工法の適用性は高いが、地震動が最大加速度200gal以上で大変緩い場合には重量化工法のみでは不十分である。

**Key words:** manhole, liquefaction, weight increase method, uniformed weight increase type, uplift

## 1. 研究背景

東北地方太平洋沖地震により、東京湾岸の埋立て地域に甚大な被害があり、国土交通省<sup>1)</sup>によるとマンホールの被害箇所数は全体で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、マンホールの地震時安定性を高める必要がある。液状化対策として構造物自体の重量を増やす重量化工法が既に提案され、著者らは上部に重りを付け実験を行った(以下上部型)<sup>2)</sup>。その結果、浮上抑制効果が確認できたが、緩い地盤ではマンホールが回転してしまい上部型の適用性が低くなる。そこで、本研究ではマンホールの浮上と回転抑制のため、全体に重りを付ける均等型、すなわちマンホールコンクリートの肉厚を全体的に厚くするタイプを用いて重量化工法の適用性を検討する。

## 2. 研究概要

### (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<sup>3)</sup>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-1<sup>3)4)</sup>のようになっている。内径750~2,200mmが実用化されている、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。

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<sup>3)</sup>)

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

## (2) 現在使用されている液状化対策工法

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<sup>5)</sup>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—<sup>6)</sup>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)9)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、10)では地下水位とマンホール高さの関係、11)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、12)13)においてマンホールの振動台実験結果が示されている。14)においてはマンホール内面を重量化する方法が示されている。

## (3) 浮上安全率と重量化工法

マンホールの直径一定のまま地表までであるとし以下の式で計算した。(図-1 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

重量化工法は、地震時の鉛直方向の力の釣合いから浮上安全率を上記式のように算出し、浮上安全率が所定の値以上となるように、鉛直荷重を重りとして増加させる工法である。このため、物理的意義が比較的明確であるが、以下の点に課題がある。

①地震時過剰間隙水圧の大きさの見積

②浮上安全率の評価基準値

である。共同溝設計指針<sup>15)</sup>では、①については、構造物底面に相当する深度で液状化すると判定した地盤のみの有効鉛直応力に等しい値、②については、1.1 とすることが明記されている。他の基準では、浮上安全率を定義してあるのは、下水道<sup>16)</sup>および水道<sup>17)</sup>の設計指針であり、浮上安全率の基準値は下水道で 1.2 である。①と②で有効応力の大きさと浮上安全率の基準値については具体的な数値を明瞭化することが課題である。

## (4) マンホール模型

図-2 のように実物の 1/25 スケールで作成した。マンホール本体は、円筒状にした型枠中に鉄筋の代わりに金網を挿入し、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は浮上安全率 0.65 であるが、モルタル製重りをマンホール上部に付加した上部型タイプでは浮上安全率は 1.05、肉厚を太くして全体に重りを付

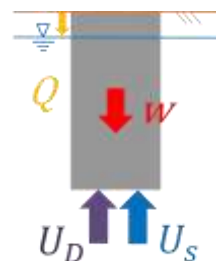


図-1 浮上安全率  $F_s$  計算の定義



ケース1 標準タイプ  $F_s=0.65$



ケース2 上部重量タイプ  
 $F_s=1.05$



ケース3 均等タイプ  $F_s=1.03$

図-2 マンホール模型

表-1 マンホール模型の諸元

| ケース     | 高さ<br>mm | 外径<br>mm | 内径<br>mm | 壁厚<br>mm |
|---------|----------|----------|----------|----------|
| 1 標準タイプ | 120      | 44       | 34       | 5        |
| 2 上部型   | 120      | 84       | 44       | 34       |
| 3 均等型   | 120      | 70       | 34       | 18       |
| 4 均等型   | 120      | 56       | 34       | 11       |

ける均等型タイプは1.03と0.82の2種とし、全部で4ケース作成した。

ケース1：標準タイプ 浮上安全率0.65

ケース2：上部型 浮上安全率1.05

ケース3：均等型 浮上安全率1.03

ケース4：均等型 浮上安全率0.8

#### (5) 中型振動台及び土槽

中型振動台は、最大加振加速度 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）。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  $1.64\text{g/cm}^3$ ， $1.37\text{g/cm}^3$ である。

#### (5) 入力地震動

入力地震波は、

①2001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）と

②1995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）

を使用し、最大加速度を変化させ載荷した。それぞれ図-4と5に示す。

#### (6) 地盤作成方法

試料は珪砂6号を使用し、実規模換算で地盤高10m，地下水位1mに設定した。相対密度については大変緩い（ $D_r=0-20\%$ ），緩い（ $D_r=20-40\%$ ），中位（ $D_r=40-60\%$ ）の3ケースを実験した。液状化の検討では深さ20mが検討対象であり、実際の地盤は砂と粘土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（浦安市の事例）。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、

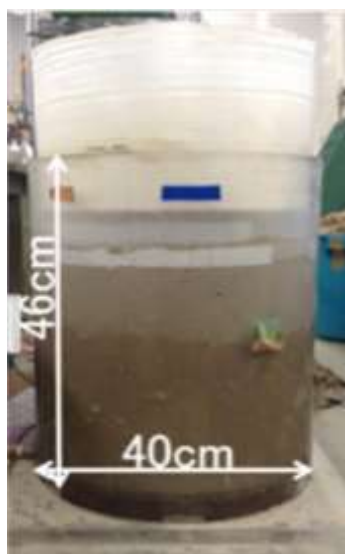


図-3 中型振動台及び土槽

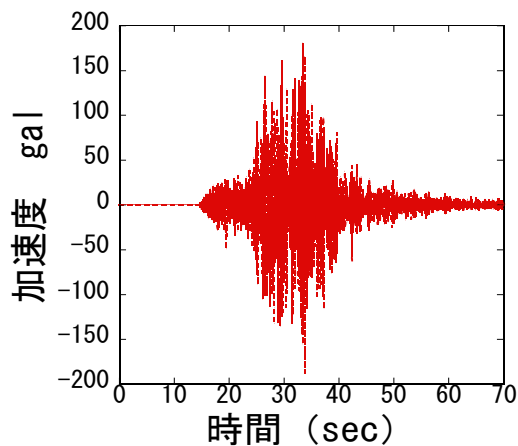


図-4 芸北波

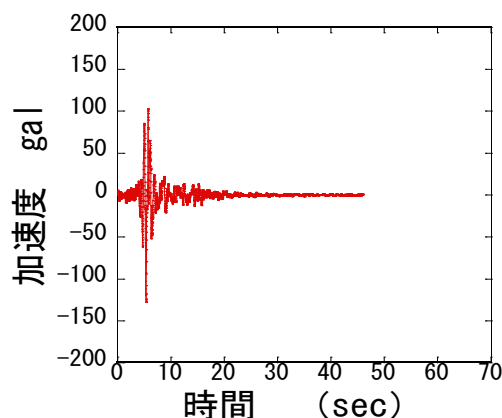


図-5 箕面川波

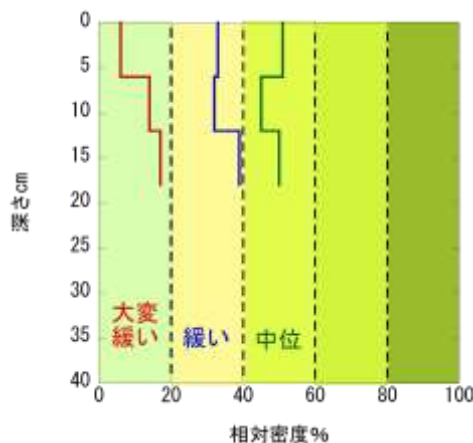
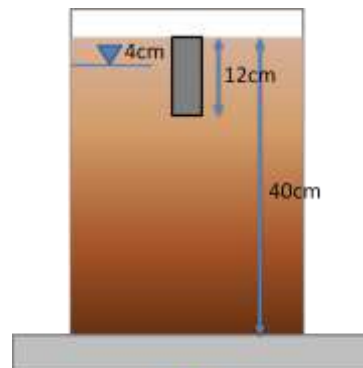


図-6 土槽内の相対密度分布

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。

大変緩い模型地盤作成については、上向き浸透流によりパイピングを発生させ、砂地盤を攪拌し、水中沈降させることで模型地盤を作成した。緩い地盤では、大変緩い地盤を作成した後に、芸北波 70gal 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。中位の地盤は緩い地盤を作成した後、同様に液状化を発生させ、さらに密度上昇させた。地盤作成後、振動実験とは別に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、模型地盤の密度を計測した。その結果を図-6 に示す。大変緩い・緩い・中位の密度はほぼ再現されている。

## (7) 計測方法

模型地盤作成及び模型設置後、図-4 と 5 の入力地震波を載荷し、マンホールの残留鉛直変位と残留回転角度を計測した。この時、鉛直変位は、図-7 のように、実験前の地盤高を基準とした。なお以後の実験条件の単位表記は実規模レベルで表記する。

土槽内の地震応答は、9) に示したように、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。

## (8) 相似則

小型の模型実験から実物の挙動を推定するのに、最も単純には縮尺を変えた一連の実験結果を実物に延長・外挿する方法であるが、その際、通常は何らかの物理・力学法則が援用される。その法則を相似則とするが、定義は必ずしも明確ではない。

振動の相似則を満たすには、周波数を  $\sqrt{N}$  倍にしなくてはならない<sup>18)</sup>。中型振動台で周期の長さを変更することは可能である。液状化の相似則については、新党すなわち過剰間隙水圧の消散についても考慮しなくてはならない。透水係数  $k = m/s = \frac{1/N}{1/N^2} = N$  倍となるので、両挙動を忠実に再現する場合には、透水係数を  $1/N$  にしなくてはならない<sup>18)</sup>。このため忠実に再現するには、粘性が水の  $N$  倍の液体（油）を間隙水に用いて整合性を持たせる必要があるが、実験に置いてメンテナンスの問題から油を使用するのは難しい。そのため、間隙水に水を使用し、載荷する地震波の時間縮尺を変化させ、模型の挙動を調べた。

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。時間縮尺で実際に 1 とし、0.1 から 1 まで変化させた。兵庫県南部地震の箕面川ダムにて観測された地震波の時間縮尺を変化させたとき、時間縮尺 0.7 以下では液状化が発生せず、0.8, 0.9 にて表面に水が浮かび上がる程度の液状化、実際に観測された地震波に等しい時間縮尺 1 にて液状化

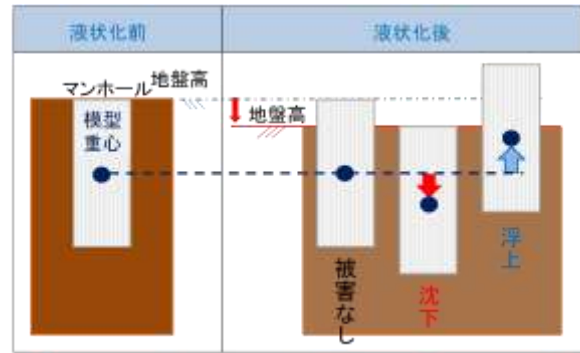


図-7 液状化実験後のマンホールの残留変位計測法

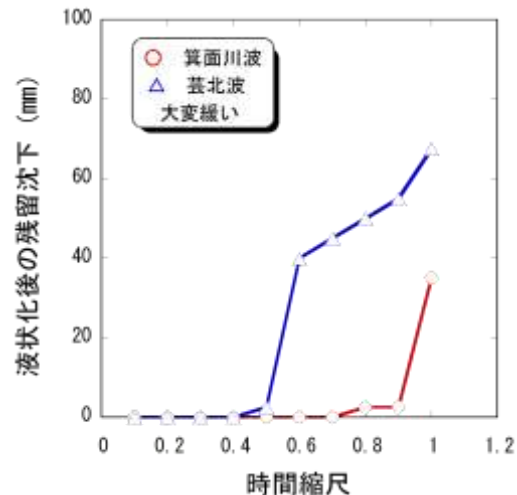


図-8 時間縮尺をした時の液状化後の残留沈下

と地盤沈下を観測した。今回のケースでは模型縮尺を  $1/25$  としているので相似則での周波数は 5 倍つまり時間縮尺 0.2 にあたる。しかし時間縮尺 1 と 0.2 を比較したときの差は明白である。この結果より液状化実験に置いては周波数を  $\sqrt{N}$  倍せずに実際に観測された地震波を使用の方が良いと考えられる。以上により、芸北波と箕面川波では時間縮尺しない元の波を用いた。

## 3. 実験結果

### (1) 大変緩い ( $Dr=0-20\%$ ) 場合

図-9 に大変緩い地盤における芸北波と箕面川波によるマンホールの残留鉛直変位の結果を示す。上部型 ( $F_s=1.05$ ) と均等型 ( $F_s=1.03$ ) は浮上抑制効果が表れていることが分かる。一方で、均等型 ( $F_s=0.82$ ) は浮上安全率が確保されていないこともあり、標準型 ( $F_s=0.65$ ) よりも浮上し難いが、効果は限定的である。また箕面川波による結果は、芸北波による結果に比べ、全体的に最大加速度が大きくなっている。

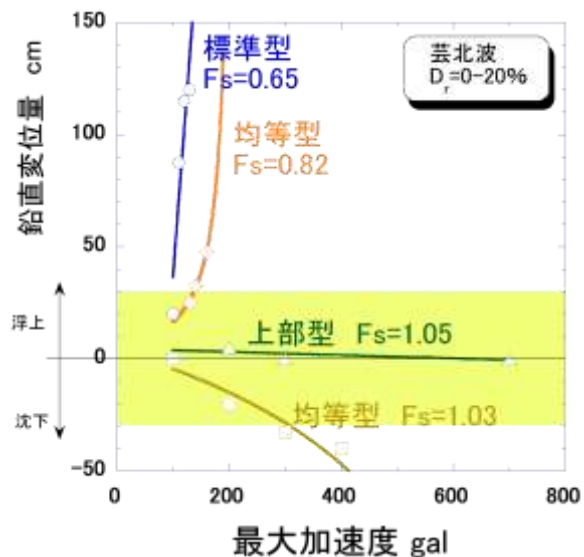


図-9 大変緩いときの残留鉛直変位 (1)芸北波

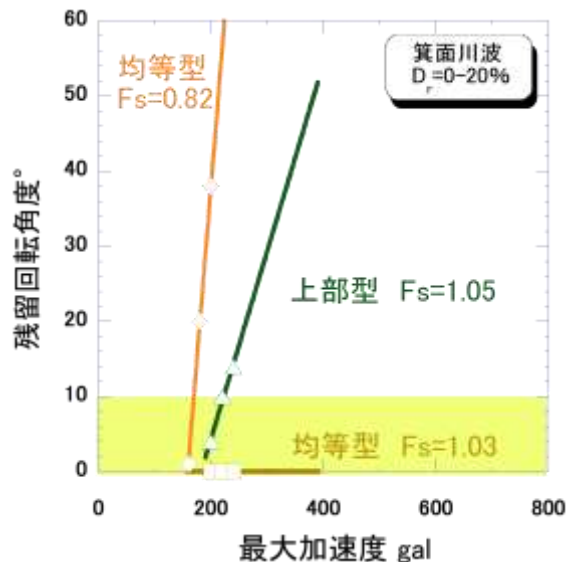


図-10 大変緩いときの回転角度 (2)箕面川波

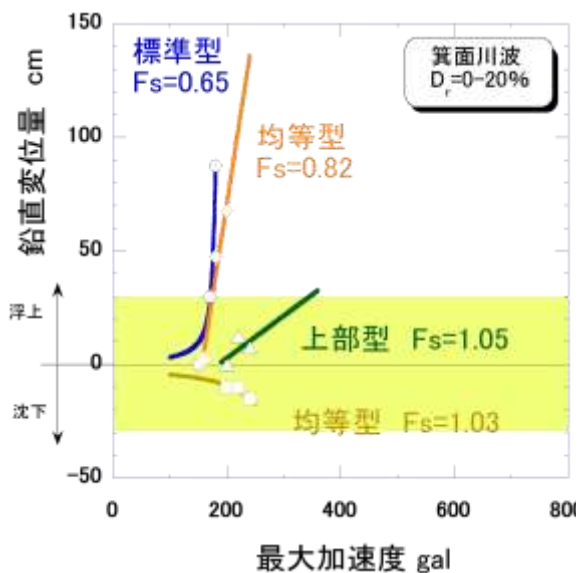


図-9 大変緩いときの残留鉛直変位 (2)箕面川

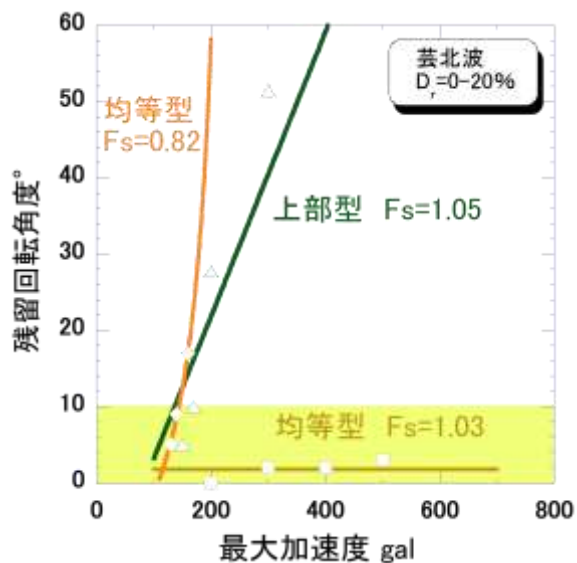


図-10 大変緩いときの残留回転角度 (1)芸北波



図-11 上部型重量化工法を適用したマンホール  
の回転 (上 : 45° ほど回転、下 90° ほど回転)

図-10に残留回転角度の結果を示す。上部型 ( $F_s=1.05$ ) と均等型 ( $F_s=0.82$ ) は大きく回転してしまうが、均等型 ( $F_s=1.03$ ) は回転が抑制されていることがわかる。上部型 ( $F_s=1.05$ ) は浮上抑制には効果があるが、回転してしまうので、均等型 ( $F_s=1.03$ ) と大きく効果が異なる。また箕面川波による結果は、芸北波による結果に比べ、全体的に最大加速度が大きくなっている。

実験後マンホールが回転したときの様子を図-11に示す。上部型だけであるが、地盤の液状化が発生した直後、マンホールは浮き上がり始め、その後回転する。上部型は重心が高いので、マンホール浮上後水平支持力がなくなり、不安定化するからと考える。

## (2) 緩い ( $D_r=20\sim40\%$ )、中位 ( $D_r=40\sim60\%$ ) 場合

図-11に緩い地盤で芸北波と箕面川波による残留鉛直

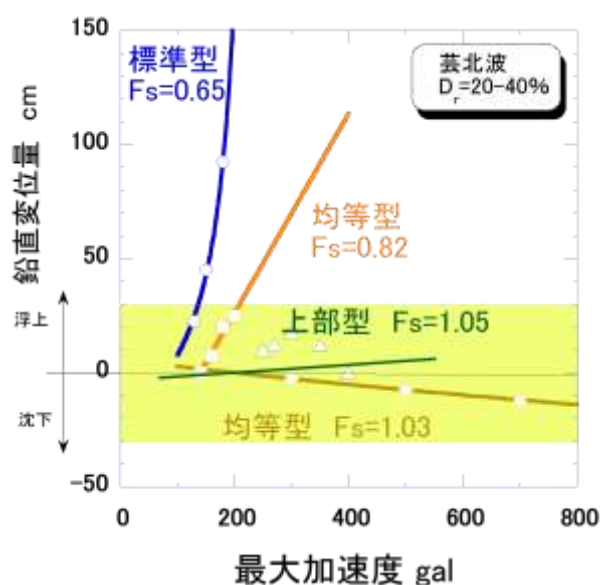


図-12 緩いときの鉛直変位 (1)芸北波

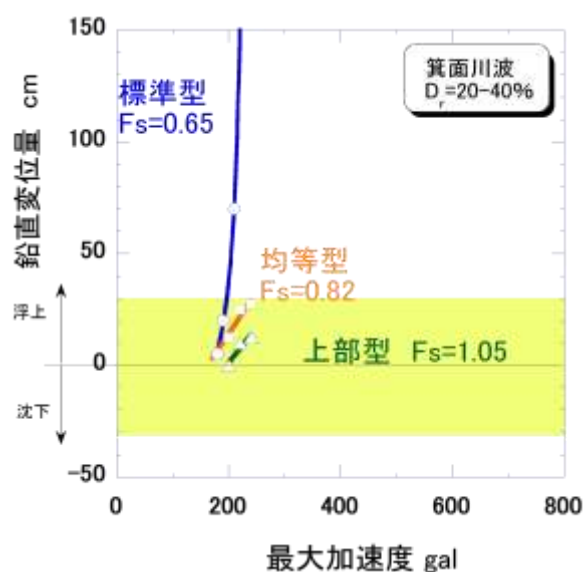


図-12 緩いときの鉛直変位 (2)箕面川波

変位の結果を示す。大変緩い地盤の結果と同様に上部型と均等型 ( $F_s=1.03$ ) は浮上抑制効果が表れた。

図-12の残留回転角度も最大加速度は多少大きくなっているものの、大変緩い地盤と同様な結果となった。また、大変緩い場合に比べ、全体的に最大加速度が大きく、芸北波よりも箕面川波による最大加速度が大きくなっている。

中位な地盤では芸北波、箕面川波共に液状化が発生しなかったため中位な地盤のマンホール実験を行わなかった。

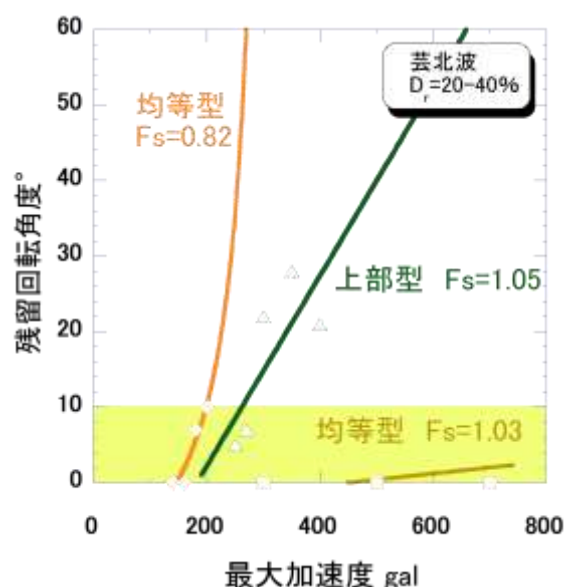


図-13 緩いときの回転角度 芸北波

## 4. 考察

### (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 2006<sup>19)</sup>では、〔液状化による沈下量〕 $\delta$  (cm) = 〔液状化層厚〕HFL (m)  $\times$  〔沈下率〕( $\eta=0.05$ )  $\times 100$ 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-13 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、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程度の残留浮上・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。

許容回転角度に関しては、マンホールと管路の接続部に可撓性を持つようにジョイントを配置するなど考慮した場合にはその性能に依存するので一般的には明確に定め難い。そこで大変形に至らないとして、大きめの値である5°～10°を残留回転角度に関する許容値に設定した。

## (2) 許容最大加速度と浮上安全率

許容残留浮上もしくは沈下量をマンホールと接続する管の機能や上部道路の影響を考慮し±30cmと設定した。残留回転角度に関してはこの許容値に相当する加速度を許容最大加速度とした。また、10°を残留回転角度に関する許容値に設定した。

図9～11中に残留浮上もしくは沈下量と残留回転角度に関する許容範囲を示してある。ここで、許容範囲内に実

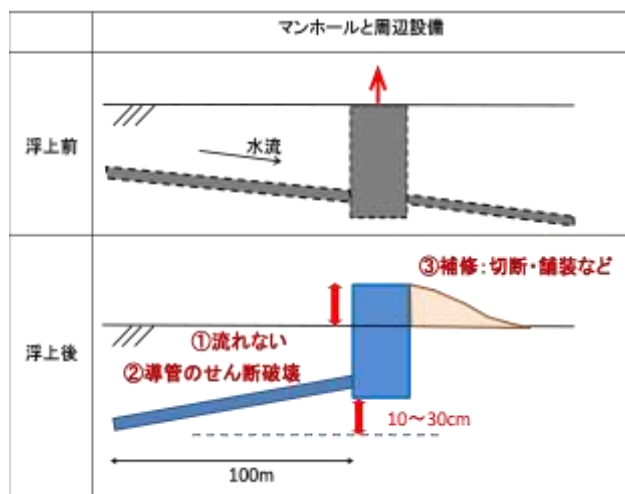


図-13 許容浮上量の考え方

験結果が収まっている場合があり、許容最大加速度が明瞭でないので、当面800～1,000galとして以下議論する。

図-14と15に、許容最大加速度と浮上安全率の関係を、それぞれ浮上と沈下および回転角度に関し示した。図-14から以下の事がわかる。①浮上安全率が大きくなるほど許容最大加速度が大きくなり、浮上安全率が1.0付近で急激に大きくなる。②浮上と沈下に関しては上部型が均等型よりも許容最大加速度が大きい。③均等型は浮上安全率が1.0付近で浮上ではなく沈下で許容最大加速度が決定される。④密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑤密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑥密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑦密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑧密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑨密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑩密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑪密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑫密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑬密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑭密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑮密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑯密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑰密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑱密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑲密度が高いほど許容最大加速度は大きい。⑳密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉑密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉒密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉓密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉔密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉕密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉖密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉗密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉘密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉙密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉚密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉛密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉜密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉝密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉞密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㉟密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊱密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊲密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊳密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊴密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊵密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊶密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊷密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊸密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊹密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊺密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊻密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊼密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊽密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊾密度が高いほど許容最大加速度は大きい。㊿密度が高いほど許容最大加速度は大きい。

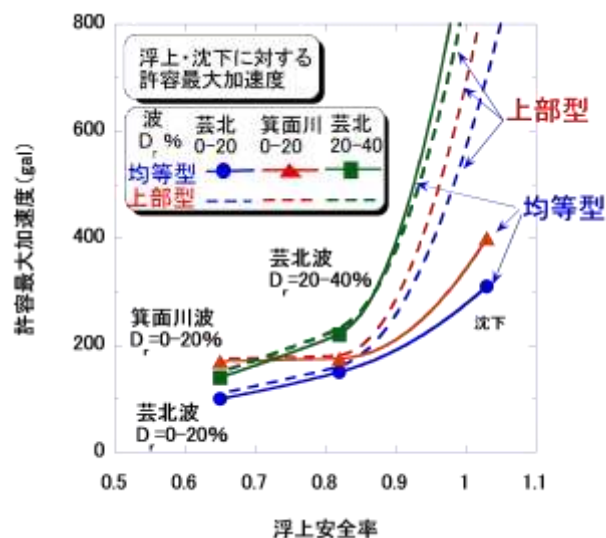


図-14 浮上と沈下に対する許容最大加速度と浮上安全率との関係

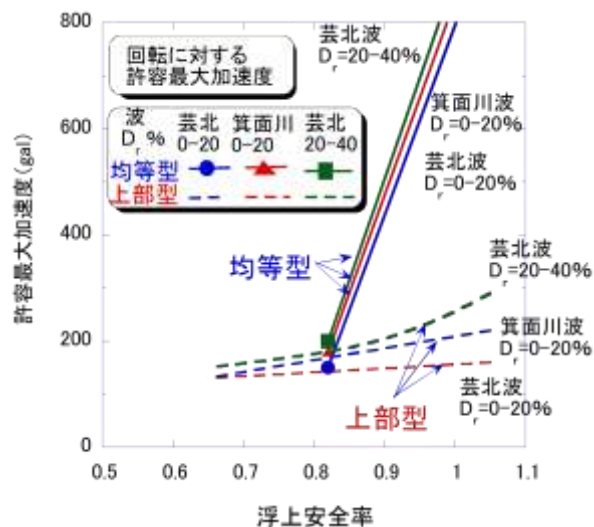


図-15 浮上と沈下に対する許容最大加速度と浮上安全率との関係

若干小さく<sup>9)</sup>、許容最大加速度が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よりも若干小さく、整合していると考ええる。

一方、図-15からは以下のことがわかる。⑤回転角度に関する許容最大加速度は、均等型は浮上安全率が1.0付近で急激に大きくなるが、上部型はあまり上昇しない。この原因は既述した。⑥浮上安全率を1.0より大きくすることよりも、均等型を選択することが重要である。特に③と⑥により、上部型ではなく均等型を選択すること、また浮上安全率を1.0より大きくすると沈下が許容値を超えることがあるので、評価基準値は1.0とし、1.0としてなおかつ課題がある場合は他の対策を検討した方がよいことがわかる。

### (3) 許容最大加速度と密度

浮上と沈下および回転角度、これら二つに対する許容最大加速度を比較すると、上部型は回転の場合の方が、

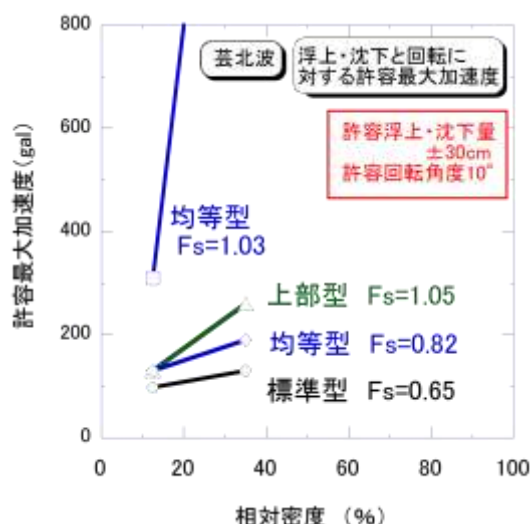


図-16 芸北波のときの許容最大加速度

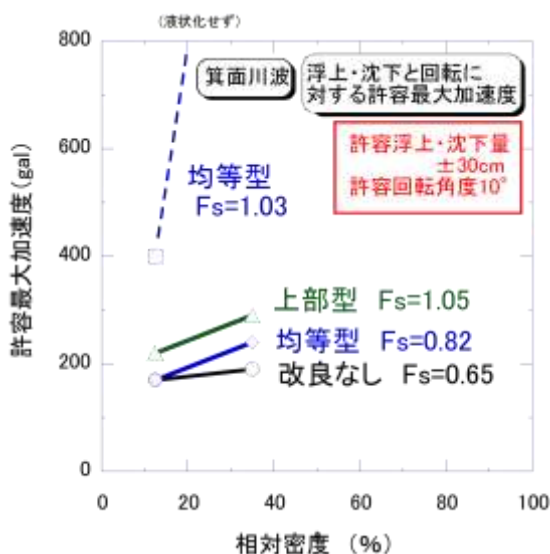


図-17 箕面川波のときの許容最大加速度

均等型と標準型は浮上の場合の方が許容最大加速度が小さいので、図-16と17にこれら小さい方を示した。これらから、芸北波、箕面川波のどちらも、均等型( $F_s=1.0$ )の許容最大加速度は上部型よりも大きくなり、地震時安定性が高くなっていることが分かる。

また、均等型であっても、緩い場合以上の密度では、地震動が800gal程度以上でも重量化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、重量化工法のみでは不十分である。

## 5. まとめ

均等型は浮上のみならず、上部型より回転を抑制することが確認できた。浮上安全率を1.0より大きくすると沈下が許容値を超えることがあるので、評価基準値は1.0とし、1.0としてなおかつ課題がある場合は他の対策を検討した方がよい。しかし、大変緩い地盤でレベル2地震動が200gal以上の場合には均等型のみでは不十分であり、他の対策工（アンカー定着など）との併用が必要である。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 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、<http://www.mlit.go.jp/common/000193184.pdf>
- 2) 岡本敏郎・種田智恵(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 土木学会年次講演会、
- 3) アースドレーン工法協会(2011)：  
<http://www.earthdrain.jp/new/20110912/20110912.pdf>
- 4) 日本下水道協会規格 (JSWAS)
- 5) 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>
- 6) 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>
- 7) 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>
- 8) 足立有史・小林秀匡・脇田和試・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](http://www.ad-hzm.co.jp/trr/hazama/2006/pdf_file/03.PDF) ハザマ研究年報(2006.12)
- 9) 岡本敏郎・嶋田慎司(2015)：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 土木学会第35回地震工学研究発表会
- 10) 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/ekijyoka/20120509.pdf> 平成24年3月
- 11) 飛田哲夫・井合進・姜基天・小西康彦・原園照二(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
- 12) 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](http://www.ad-hzm.co.jp/trr/hazama/2009/pdf_file/02.pdf) ハザマ研究年報 (2009. 12)
  - 13) 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
  - 14) 青野紀夫 相原素晴 西脇和也 福原 勝 高橋勝彦 石川 隆  
(2012) : マンホール内側を重量化した浮上防止対策工法の  
開発と実施事例第 49 回下水道研究発表会
  - 15) 日本道路協会 1986 共同溝設計指針
  - 16) 日本下水道協会 1997 下水道施設の耐震対策指針と解説—  
1997 年版—
  - 17) 日本水道協会 1997 水道施設耐震工法指針・解説
  - 18) 地盤工学会編地盤工学ハンドブック
  - 19) 下水道施設の耐震対策指針と解説 2006  
(2009. 7. 1 受付)

## APPLICATION OF WIGHT INCREASE METHOD AIMING AT STABILITY IMPROVEMENT OF LIQUEFIED GROUD AROUND A MANHOLE

Toshiro OKAMOTO and Tomonori TANEDA

Even while great influence had occurred to a livelihood inclination in housing and damage of a lifeline at Chiba-ken gulf in particular by Tohoku-district Pacific offing earthquake, the number of damage in a manhole was large. Because experience of construction is also advancing over the leap measure in a manhole, weight chemical processing method and a excess pore pressure evaporation method of construction by liquefaction towards validation by 2011 earthquake disasters much, it's necessary to plan for differentiation with other methods of construction. But of the design technique to which these methods of construction are appropriate, it isn't established and I should make an earthquake-resistant guideline reflected immediately. The application earthquake level of the weight chemical processing method was set by analyzing in the weight chemical processing method quantitatively by interior shaking table test about the upper part type and the equal type by this research, establishing the permission leap amount and the revolving amount more appropriate to consider the function of the manhole and considering the permission maximum acceleration which corresponds to this. As a result, leap restraint could be expected of the upper part type and the equal types, but a revolution was big and the upper part type found out that the equal type is also able to restrain a revolution. When making it leap safety rate 1.0 by weight chemical processing method, the margin of the safety rate on the design can do enough leap restraint, and isn't necessary. When being loose, the application properties by which an earthquake motion even is weight chemical processing method more than about 800 gal has a high equal type by the above mentioned density, but when being very loose by more than 200 gal, an earthquake motion is insufficient only by weight chemical processing method.