

下水道施設の耐震対策指針と解説 —2014年版— のマンホール浮上防止に関する改正点

下水道施設の耐震対策指針と解説—2014年版—（(公社)日本下水道協会）にはマンホールの浮上防止対策に関しての考え方が新たに記載されました。

○対策指針発行以前

それぞれの工法が独自の実験を行い、それらの実験条件での性能評価を行っていたため、浮上力についての考え方や算出根拠に下記のような大きな違いがありました。その一例として下記構造物による違いがあります

Ⅱ 類 構 造 物 : マンホール底面に作用する静水圧による揚圧力(U_s) および、地下水位以上の地盤が有効上載圧(U_d)としてマンホール底部に揚圧力として寄与する考え方。

Ⅱ 類以外の構造物 : 地下水位以下が泥水状となってマンホール底部に揚圧力 (U_s) として作用する考え方。

○対策指針 2014 年版発行後

浮上力についての判定式が「共同溝設計指針」Ⅱ 類構造物の計算式に一本化されました。マンホールの浮上判定には U_s 及び U_d の揚圧力により計算を行い

U_s : マンホール底部に働く静水圧による揚圧力。

U_d : マンホール底部に働く過剰間隙水圧による揚圧力。

の二種類の揚圧力を総和する考え方となりました。

○対策上の具体的な相違点

- ・地下水位が満水（GLまで）状態では、対策重量差は殆どありません。
- ・地下水位がアスファルト及び路盤材直下の場合は、「半無限地盤を想定し過剰間隙水圧が伝播すると考える」ことから、対策重量に差が発生してきます。
- ・地下水位がマンホールの中間付近から最大 50%程度、対策重量に差が生じるケースがあります。

○設置済のインナーウェイト工法及び

マンホールフランジ工法について

(公財)日本下水道新技術機構でのマンホールフランジ工法を共同研究の際、この実験の中で得られた新たな知見であるⅡ 類構造物の考え方で揚圧力の計算を行っておりました。

従いまして、既にインナーウェイト工法及びマンホールフランジ工法を採用し施工されたマンホールにつきましては、浮上防止性能に新たな検討を加える必要はございません。

目 次

●下水道施設の耐震対策指針と解説 -2014年版-	1
: 第4節 耐震対策	2
: マンホールの浮上防止対策工法の一覧	3
: 液状化対策	
マンホールの浮上判定式	4.5
●共同溝設計指針	6
: 浮上りに対する安全率(式)	7.8
●インナーウェイト工法 土木学会 技術評価報告書	9
: インナー工法の浮上安全率の計算	10.11.12
●マンホールフランジ工法 下水道新技術推進機構 新技術研究成果証明書	13
: 浮力に対する安全率の計算	14
◎下水道施設の耐震対策指針と解説	
2014年版説明会の主な質疑応答(抜粋)	15
【Q10.2】揚圧力のケース分けについて	16
【A10.2】回答	

下水道施設の耐震対策指針と解説

－2014年版－

公益社団法人 日本下水道協会

第4節 耐震対策

8.4.1 耐震対策の基本

既存管路施設の耐震対策は「防災」を基本とするが、「減災」により下水道システム全体としての耐震性能の向上を図ることも重要である。

【解説】

「防災」は構造的なハード対策であり、優先順位を定めて適切な耐震補強などを講じるものである。一方、「減災」はソフト対策であり、BCP 計画等の策定などにより、システムとしての下水道の耐震性能の向上を図るものである。

耐震対策の基本となる「防災」は、地域特性や下水道の整備状況（汚水、雨水、合流）、地盤条件や現場条件を十分に勘案し、費用対効果の高い適切な耐震補強工法を選定したうえで、優先順位にもとづき段階的に講じる必要がある。

一方、「減災」による下水道システム全体としての耐震性の向上は、マニュアル第2章第3節 減災計画に具体的な手法が記述されているので、これを参照されたい。

本節はハード対策である「防災」を中心に述べるものである。

8.4.2 既存管路施設の耐震対策

既存管路施設の耐震対策は、現場条件や周辺への影響、安全性、経済性等を考慮し、適切な工法を選定して行う。

【解説】

既存管路施設のもっとも有効な耐震対策は、開削工法などを用いた布設替えである。布設替えが可能な場合には、耐震性能を有する管路施設を再構築することが望ましい。しかし、布設替えは困難である場合が多いことから、その場合には、非開削工法等による耐震補強などにより段階的に実施する。

既存管路施設は、管きょ、マンホールなど、その施設ごとに、第4章 管路施設の耐震設計・耐津波対策に示した耐震設計法により安全性を照査する必要があるが、その際に可能であればその老朽化の程度を考慮することが望ましい。また、地震による液状化の発生が想定される場合は、流下機能を確保するための対策を講じる必要がある。非開削工法により耐震性能の向上を図る場合に、マンホールの浮上防止対策技術やマンホールと本管の接続部に可とう性をもたせる技術が、すでに具体的な技術が開発され実用化されてきている。以下には現状で実行可能と考えられる工法を示すことにする。

1) マンホールと管きょの接続部における可とう性継手の設置

地震時に管路施設が受ける被害はマンホールと管きょとの接続部に多く見られる。このことから、接続部に可とう性継手を設置することが有効である。この場合、地表面から掘削せず、マンホールの内部から施工する実用的な方法が開発されている。

2) 管きょ内側の切込み及び止水リングの設置

既設管きょ内側から円周状に切込みを入れて止水リングを設け、地震時に発生する断面力を切込み箇所集中させ、ほかの箇所での破壊を防止する工法が開発されている。

3) マンホールの浮上防止対策

埋戻し土が液状化することによりマンホールが浮上する事例が多く見られる。浮上したマンホールは緊急車両の通行などを阻害し、地震災害からの復旧を遅らせる要因となる。埋戻し土の液状化



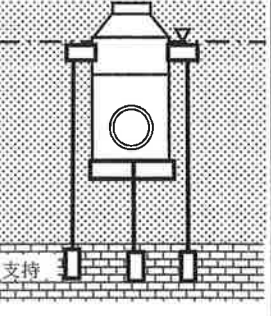
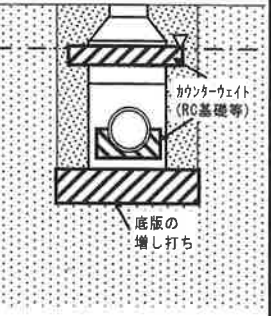
が想定される場合には、表 8.4.1 に示すような多くの対策工法が開発されている。

4) 耐震性能を有する管きよの更生工法

「管きよ更生工法における設計・施工管理ガイドライン（案）」を参照するとよい。

既存管路施設の耐震対策は、今後とも優れた工法が開発されれば積極的に採用を検討し、既存管路施設全体の耐震性能の向上を段階的に図って行くことが重要である。

表 8.4.1 マンホールの浮上防止対策工法の一覧（参考）

分類	液状化発生防止方策		液状化時の被害軽減方策	
	①地盤改良タイプ	②過剰間隙水圧消散タイプ	③アンカータイプ	④重量化タイプ
適用施設・部位	管渠 マンホール	管きよ マンホール	大規模の管きよ 小規模のマンホール	小規模の管きよ 小規模のマンホール
方法・概要図	<p>管路施設周囲の地下水位以下の地盤をセメント・石灰等の改良剤により固化したり、振動等により周辺地盤を締固めたりすることで、土のせん断強度を増加させて液状化の発生を防止する。</p> 	<p>砕石ドレーンによる地中杭等を構築し、間隙水を地下水位の上あるいはマンホール内へ排水させ、地震時の過剰間隙水圧の発生を抑制する。</p> 		
対策効果	<p>液状化層を非液状化層に変化させるため、効果は大きい。 埋戻しと周辺地盤の液状化防止に効果がある。 地盤の急変化部、マンホールと管きよの接続部での抜出し防止・応力緩和にも効果がある。 振動による改良は液状化を遅らせる効果がある。</p>	<p>埋戻し部の地震時の過剰間隙水圧の発生を抑制する方法であるが、浮上りが防止効果の発現には若干のタイムラグがある。</p>	<p>マンホール躯体をアンカーで固定するため、浮上りに対して有効な方策である。 埋戻し土の液状化による浮上りが被害の軽減効果がある。</p>	<p>本体の重量増加で過剰間隙水圧に抵抗するため、浮上りへの軽減に対して有効な方策である。</p>
設計・施工上の問題点	<p>改良体に作用する液状化時の偏土圧を考慮し、液状化防止かつ施設の浮上り防止のための改良範囲を十分検討する。 対象層が深い場合は、改良範囲が増大し、大規模な方策となる。 管路下・マンホール底版下の改良が望ましいが、適用工法・施工性等を十分検討する。 管きよの場合は、枝管・取付け管により施工の制約がある。</p>	<p>砕石の目詰まり等の透水性維持の問題があるため、ドレーンの規模・設置長さ等、適切な構造を考える。 ドレーンを用いず、マンホール内へ排水用圧力弁を設け、マンホール内へ排水する方法もある。 管きよの場合は、枝管・取付け管を避けて配置を検討する。</p>	<p>アンカーの定着層(非液状化の支持層)を調査で判断する。アンカーはロッドのほかワイヤーロープ等でも対応可能である。 アンカー頭部は底版に固定するタイプと側壁に固定するタイプがある。底版に固定するタイプは路上施工と本体内部施工の両方が可能だが、施工性を検討する。 側壁固定タイプは道路の掘削が必要となり、地下埋設物への影響を検討する。</p>	<p>過剰間隙水圧に対して重量で抵抗するため、単位重量のみで対処することとなる。 重量不均衡による不同沈下を起こさないようにする。 管きよの場合は、取付け管の後施工が困難となる。 内部に鉄製製品を貼り付ける場合は酸化による酸欠に注意する。</p>
下水管路施設への適用性	<p>固化は比較的大規模の管路施設に適する。 振動はマンホールに適用する。</p>	<p>マンホールに適する。 管きよにも適するが、枝管・取付け管により制約を受ける。</p>	<p>比較的大規模の管きよ、比較的小規模のマンホールに適する。</p>	<p>浮上りが軽減効果はあるが、重量増による沈下の懸念がある。 比較的小規模の管路施設に適する。</p>
環境上の問題点等	<p>規模が大きくなると、周辺構造物への影響が懸念される。</p>	<p>排水先が道路面や舗装内になる場合は、関係機関との調整が必要である。</p>	<p>管路施設の下に地下埋設物がある場合は、関係機関と協議が必要である。</p>	<p>占有範囲が外側に広がる場合は、関係機関との調整が必要である。</p>

8.4.3 液状化対策

液状化の可能性のある地盤に埋設されている既存管路施設は、地盤の液状化判定を行い、液状化による被害の有無を判定した上で以下の対策を講じる。

- (1) マンホールの浮上抑制対策
- (2) マンホールブロックのずれ対策
- (3) マンホールと管きよの接続部における可とう性対策
- (4) 管きよ本体の浮上抑制対策

【解説】

1993年釧路沖地震では、マンホールが1m以上も浮上したケースがあり注目されたが、それ以後、2003年十勝沖地震、2004年新潟県中越地震、2007年能登半島沖地震及び新潟県中越沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震など、近年の地震では管路施設の液状化による被害が数多く見うけられる。

既存の管路施設では、現場条件により開削工法による布設替えが困難で、埋戻し土の固化や締め固め等による液状化対策を行うことができない場合も多い。既存管路施設を掘削せずに行う液状化対策として、マンホールの浮上抑制対策技術の実用化が進んできているが、管きよ本体に関する対策技術ははまだ実用化されるに至っておらず、その研究開発は喫緊の課題である。

(1) について

液状化の可能性のある地盤に埋設されているマンホールについては、浮上判定を行った上で対策を講じる。

1) マンホールの浮上判定式

マンホールが浮上するか否かの判定を行う場合、埋戻し土が液状化するかどうかを判定することが基本となる。埋戻し土や周辺地盤が液状化する場合に、マンホールが浮上するかどうかは、マンホールの重量とそれに作用する土水圧および過剰間隙水圧、マンホールと土との摩擦力、土のせん断力抵抗力などのバランスにより決まる。図8.4.1は鉛直方向の力の釣り合いをもとにマンホールの浮上判定を行う例を示したものである。ここでは、重量バランスによる判定方法の検討事例を示す。

液状化時のマンホールの浮上判定に対する安全率は、

図8.4.1の記号を用いて式(8.4.1)で表すことができる。

$$F_s = \frac{W + Q}{U_s + U_d} > 1.0 \quad \dots\dots\dots \text{式(8.4.1)}$$

ただし、液状化に対する抵抗率 $F_L \leq 1.0$ の液状化地盤では、原則としてQは考慮しない。

ここに、

U_s : マンホール底部に働く静水圧による揚圧力(kN)

$$U_s = A \times (h - h_w) \times \gamma_w \quad \dots\dots\dots \text{式(8.4.2)}$$

A : マンホールの底面積で、 $A = \pi/4 \times (d + 2 \times t_2)^2$

U_d : マンホールの底部に働く過剰間隙水圧による揚圧力(kN)

ここで、マンホールの底部に働く過剰間隙水圧による揚圧力

U_d には、次の2ケースの考え方があ

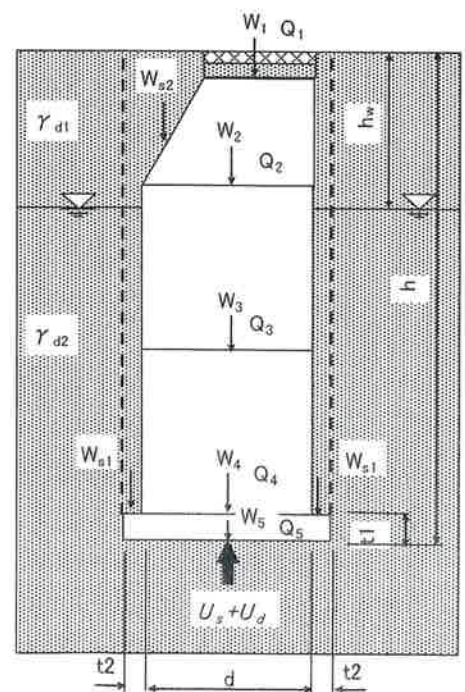


図8.4.1 液状化時の重量バランス

ケース1：地下水位以下の砂層が泥水状となってマンホール底部に揚圧力（体積×泥水比重）として作用する考え方

ケース2：地下水位以上の地盤が有効上載圧としてマンホール底部に作用する揚圧力に寄与する考え方（半無限地盤を想定し過剰間隙水圧が伝播すると考える「共同溝設計指針」の考え方）

地下水位が高い場合には、ケース1とケース2は同程度の値となる。地下水位が低い場合はケース2の揚圧力の方が大きくなるが、地下水位が浅いマンホールに周面摩擦力が作用してマンホールの浮上に対する抵抗力となる。

W ：マンホール底部に働く鉛直荷重(kN)

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_{S1} + W_{S2} \dots \dots \dots \text{式 (8.4.3)}$$

Q ：マンホールの側壁に働く摩擦力(kN)。液状化地盤では原則として Q は考慮しない。

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \dots \dots \dots \text{式 (8.4.4)}$$

2) マンホールの浮上抑制対策

マンホールの浮上抑制対策は、そのメカニズムにより①地盤改良タイプ、②過剰間隙水圧消散タイプ、③アンカータイプ、④重量化タイプに大きく分類される表8.4.1は開発されている工法の概要を参考に示したものである。

① 地盤改良タイプ

これには固化工法と振動工法がある。固化工法は、地盤を固化して液状化の発生を防止することから過剰間隙水圧 $U_a = 0$ となるため、安全率 (F_s) > 1 となる。

振動タイプは、マンホール周辺地盤を締め固めて液状化時の浮上抵抗力（壁面摩擦力） $Q > 0$ とすることで、安全率 (F_s) > 1 を満足させる。

② 過剰間隙水圧消散タイプ

過剰間隙水の排水による壁面摩擦力の増大を期待する考え方と、圧力の消散を期待する考え方がある。前者は、周辺地盤が液状化した場合に、ドレーンの影響範囲と影響範囲外で地盤の内部摩擦角に差が生じるが、それを壁面の摩擦力に換算して浮上を抑制する考え方であり、液状化時にも壁面摩擦力 $Q > 0$ と想定し、安全率 $F_s > 1$ を満足させる。一方、後者は、過剰間隙水圧 U_a そのものを低減して、安全率 $F_s > 1$ とする。

③ アンカータイプ

アンカーの頭部をマンホールの底部に設置するタイプとマンホールの側壁上部に設置するタイプとがある。どちらも、浮上判定式(8.4.1)において、 $U_s + U_a > W + Q$ の場合に、 $U_s + U_a = W + Q$ となるようにアンカー力を分担させることで、安全率 (F_s) > 1 を満足させる。

④ 重量化タイプ

ウエイトをマンホール内部に負荷するタイプとマンホール外部に負荷するタイプとがある。どちらも、浮上判定式(8.4.1)において、 $U_s + U_a > W + Q$ の場合に、 $U_s + U_a = W + Q$ となるように新たにウエイトを設置することで、安全率 (F_s) > 1 を満足させる。

(2) について

近年の地震ではマンホールブロックのずれが生じて内部に土砂が堆積し流下機能を阻害するような被害が、ブロック間をモルタル接合したものや、ブロック接合部が平滑状になっている組立マンホールの継手形状で見られた。図8.4.3に示す例は、中越地震以降ずれ止め対策として改良されたものである。マンホールのブロックのずれ対策には、図8.4.3に示すような継手構造に布設替えする方法のほか、図8.4.4に示すような継手の補強やマンホールへの更生工法の適用等が考えられる。

共同溝設計指針

昭和 61 年 3 月

社団法人 日本道路協会

〔解説〕

(1) 図-6.3.1及び図-6.3.2の関係を式で表わすと次式のようになる。

0.02mm ≤ D₅₀ ≤ 0.05mmの場合

$$R = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} + 0.19 \quad \dots\dots\dots (解 6.3.1)$$

0.05mm < D₅₀ < 0.6mmの場合

$$R = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} + 0.225 \log_{10} \left(\frac{0.35}{D_{50}} \right) \quad \dots\dots\dots (解 6.3.2)$$

0.6mm < D₅₀ < 2.0mmの場合

$$R = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} - 0.05 \quad \dots\dots\dots (解 6.3.3)$$

図-6.3.1及び図-6.3.2あるいは上式は、ゆるい砂の不攪乱試料を用いた繰返し三軸試験より求められたものであり、これらの関係を密な砂地盤や地盤改良後の地盤に適用すると、動的せん断強度比Rを過小評価することになる。従つて、式(解6.3.1)、式(解6.3.2)、(解6.3.3)をN値が30以上の地盤に適用してはならない。

6.3.4 浮上がりに対する検討

(1) 浮上がりに対する検討は、共同溝底面が6.3.2に規定する液状化の判定を行う必要のある土層に位置する場合、又はその土層以深の粘性土層への共同溝の根入れが不十分な場合を対象に行うものとする。

(2) 浮上がりに対する安全率F_sは、式(6.3.8)により算出するものとする。

$$F_s = \frac{W_s + W_B + Q_s + Q_B}{U_s + U_D} \quad \dots\dots\dots (6.3.8)$$

ここに、

W_s：上載土の荷重（水の重量を含む）（t/m）

W_B：共同溝の自重（収容物件及び捨てコンの重量を含む）（t/m）

Q_s：上載土のせん断抵抗（t/m）

Q_B：共同溝側面の摩擦抵抗（t/m）

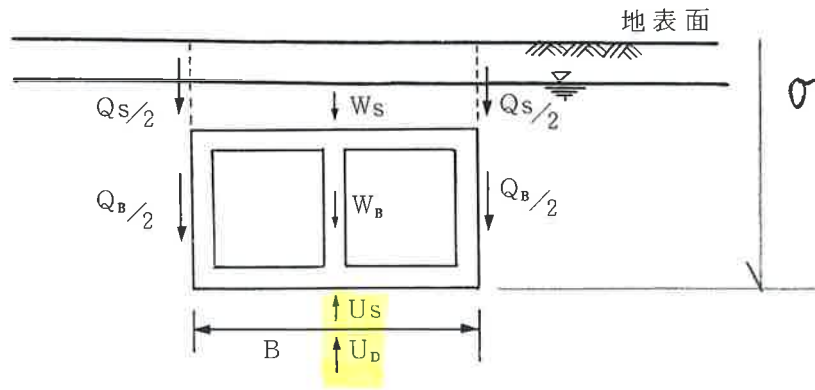
U_s：共同溝底面に作用する静水圧による揚圧力（t/m）

U_D：共同溝底面に作用する過剰間げき水圧による揚圧力（t/m）

で、(3)項の規定による。

ただし、液状化に対する抵抗率F_Lが1.0以下の土層におけるQ_s、Q_Bは考

慮してはならない。なお、共同溝に作用する力は共同溝縦断方向の単位長さあたりの値である。



図は下の土の
上載圧のこと
お×h
おは地中の
ひびき

図-6.3.3 液状化における共同溝に作用する力

(3) 共同溝底面に作用する過剰間げき水圧による揚圧力は、式(6.3.9)により算出するものとする。

$$U_D = \Delta u \cdot B = L_U \cdot \sigma_v' \cdot B \quad \dots\dots\dots (6.3.9)$$

ここに、

B : 共同溝の幅 (m)

σ_v' : 静水圧状態における共同溝底面と同じ深さの土中の有効上載圧 (t/m²)

L_U : 過剰間げき水圧比で、 $L_U = \frac{\Delta u}{\sigma_v'}$

Δu : 過剰間げき水圧 (t/m²)

L_U は、図-6.3.4を用いて F_L より算出する。

図-6.3.4の F_L と L_U の関係を式で表わすと次のようになる。

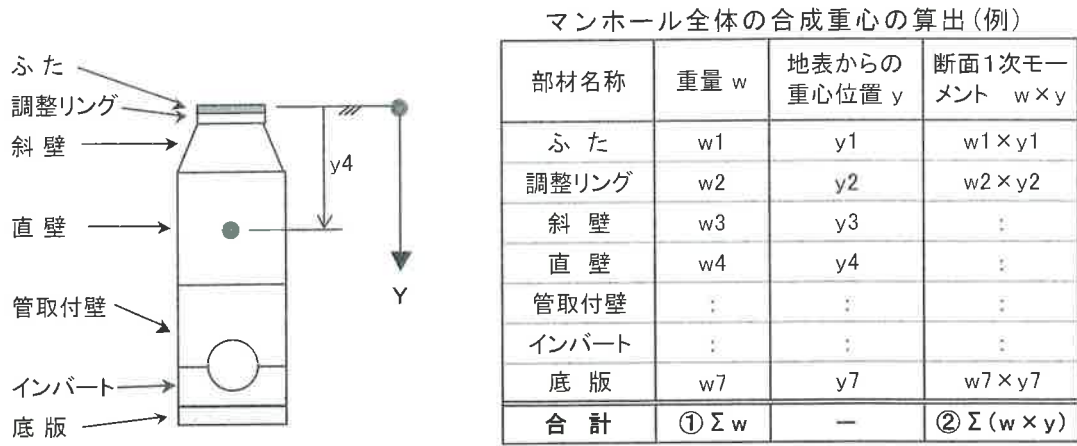
$$\left. \begin{array}{l} L_U = F_L^{-1} (F_L \geq 1) \\ L_U = 1 \quad (F_L < 1) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (6.3.10)$$

なお、式(6.3.10)に用いる F_L は、地下水面から深さ20mまでの土層のうち粘性土層を除く土層の深さ1m毎の F_L の平均値とする。

マンホールの重量化による液状化時の 浮上防止技術『インナーウェイト工法』 に関する技術評価

報 告 書

土 木 学 会



合成重心の位置(地表面から)

$$Y = \Sigma(w \times y) / \Sigma w (= ② / ①)$$

図 1.6.2 マンホール全体の合成重心の求め方(例)

(3) インナーブロックの必要重量の計算

1) 浮上安全率

インナーウェイト工法の必要重量は、液状化時の過剰間隙水圧を考慮した浮上安全率の式を用いて算出する。

浮上安全率は、式(1.6.4)にて計算する^{5),6)}。

$$F_s = \frac{\text{(抵抗力)}}{\text{(揚圧力)}} = \frac{W_s + W_B + Q_s + Q_B}{U_s + U_D} \quad \dots\dots \text{式(1.6.4)}$$

ここに、

F_s : 浮上安全率

設計では、レベル1・レベル2地震動共に浮上安全率 $F_s = 1.0$ として必要重量を求める。ただし、インナーブロックは1片の重量を定めているので、理論計算に基づく設計重量との若干の差が生じる。この場合の扱いについては、以下の5)で述べた。

W_s : 埋戻し土の荷重(kN)

中床版や中間斜壁を設けて上部の内径を絞ってあるマンホールは、中床版や中間斜壁の上部の土(埋戻し土)の荷重を計算に考慮する(図1.6.3のc), d)。

設計土質定数は、対象マンホールの近傍での土質調査・試験に基づいて設定する。測定値がない場合は表1.6.5に設計上の単位体積重量(案)を掲げたので、これを参照して設定することもできる。

また、地下水位は土質調査により測定した値を基本として、水位の季節変動などの現地状況を勘案して設計上の地下水位とする。

W_B : 重量化後のマンホールの重量(kN)で、ここから元のマンホール重量 W_{B0} を差し引けば、インナーブロックの必要重量 W_0 が求められる。

$$W_0 = W_B - W_{B0} \quad \dots\dots \text{式(1.6.5)}$$

ただし、 W_0 : インナーブロックの必要重量(kN)

W_{B0} : 元のマンホール重量(kN)

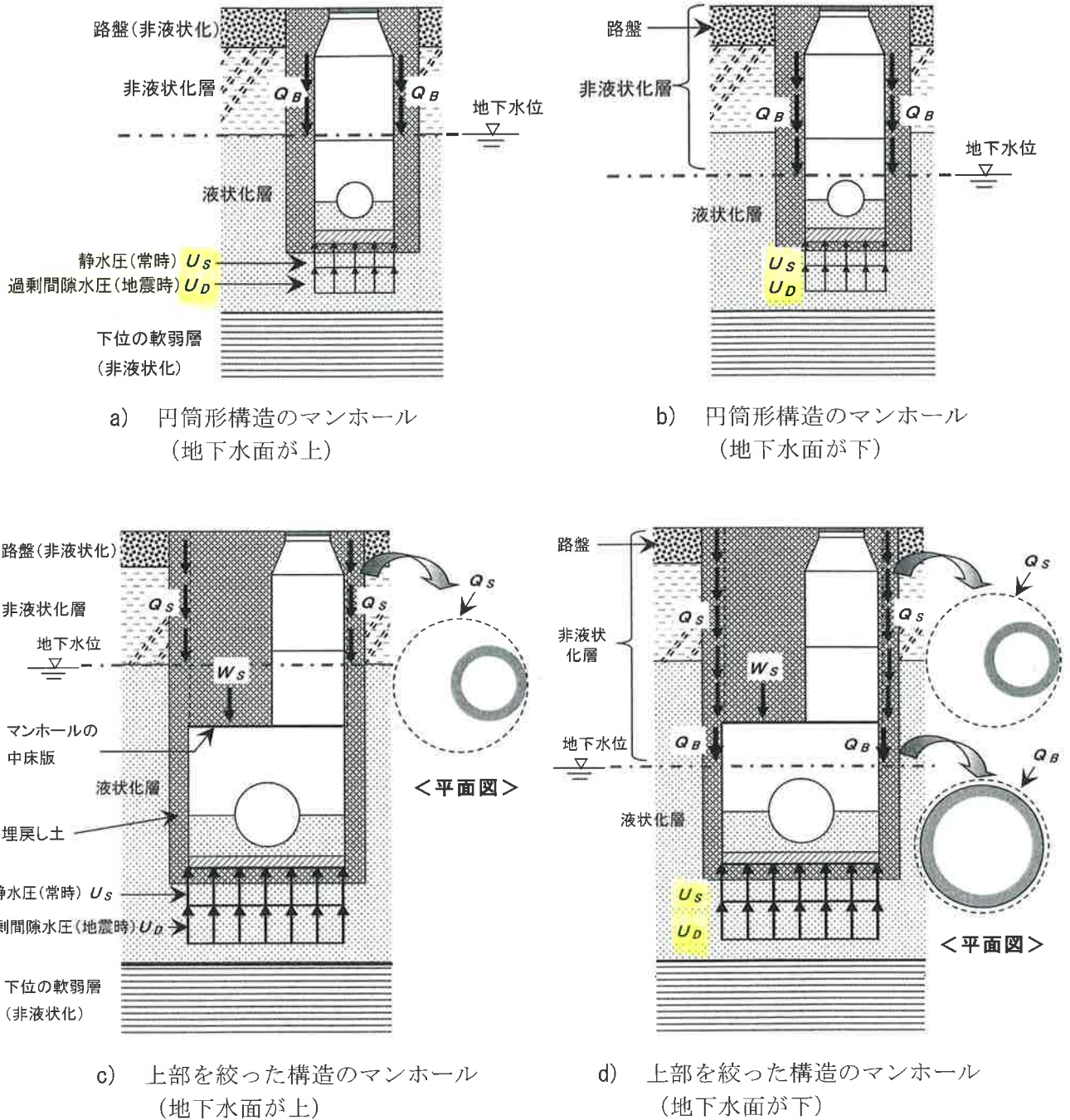


図 1.6.3 マンホールに作用する揚圧力・抵抗力(例)

Q_s : 埋戻し土のせん断抵抗 (kN)

Q_s は、上部を絞った構造のマンホールにおける中床版上部の非液化化層(埋戻し土)のせん断抵抗である。 Q_s は、図1.6.3のc)のような上部を絞った構造のマンホールに限り考慮する。また、図1.6.3のa), b)のような円筒形マンホールには Q_s は作用しない。

$$Q_s = \pi \cdot D \sum_i (K_0 \cdot \sigma_{v_i}' \cdot t_i \cdot \tan \phi_{si}) \quad \dots \dots \text{式(1.6.6)}$$

ただし、 D : 埋戻し土に位置するマンホールの外径

K_0 : 静止土圧係数 (=0.5)

σ_{v_i}' : 埋戻し土が n 層に細分できる場合、第 i 層中央での有効上

載圧 (Σ は全n層の集計をとるとの意味) (kN/m^2)

t_i : 埋戻し土を細分した第i層の厚さ(m)

ϕ_{Si} : 埋戻し土のせん断抵抗角(度)で、周辺地盤の液状化抵抗率 $F_L \leq 1.0$ の場合は $\phi_{Si} = 0$, $F_L > 1.0$ では以下3)のように考えることができる。

Q_B : 非液状化層内のマンホール側面の摩擦抵抗(kN)

Q_B は、図1.6.3のa), b)のような円筒形構造のマンホールでは、液状化層・非液状化層の境界が図1.6.3のc)のように上部の位置であると考慮できないが、d)のような位置であれば Q_B を考慮することができる。

$$Q_B = \pi \cdot D \sum_j (K_0 \cdot \sigma_{V'j} \cdot t_j \cdot \tan \phi_{Bj}) \quad \dots\dots \text{式(1.6.7)}$$

ただし、 D : マンホールの外径(m)

K_0 : 静止土圧係数 (=0.5)

$\sigma_{V'j}$: 埋戻し土がn層に細分できる場合、第j層中央での有効上載圧 (Σ は全n層の集計をとるとの意味) (kN/m^2)

t_j : 埋戻し土を細分した第j層の厚さ(m)

ϕ_{Bj} : 非液状化層内のマンホール側面の壁面摩擦角(度)で、周辺地盤の液状化抵抗率 $F_L \leq 1.0$ では $\phi_{Bj} = 0$, $F_L > 1.0$ では以下4)のように考えることができる。

U_S : マンホール底面に作用する静水圧による揚圧力(kN)

$$U_S = \gamma_w (Z_B - Z_w) \cdot A \quad \dots\dots \text{式(1.6.8)}$$

ただし、 γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m^3)

Z_B : マンホール底面までの深さ(m)

Z_w : 地下水面までの深さ(m)

A : マンホールの外径に対する面積 (m^2)

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(kN)

$$U_D = \Delta u \cdot A = L_u \cdot \sigma_{V'} \cdot A \quad \dots\dots \text{式(1.6.9)}$$

ただし、 Δu : 過剰間隙水圧 (kN/m^2)

A : マンホールの外径に対する面積 (m^2)

$\sigma_{V'}$: 静水圧状態におけるマンホール底面と同じ深さの土中の有効上載圧 (kN/m^2)

$\sigma_{V'}$ を算出する際は、液状化の状態に応じて表1.6.2に示す単位体積重量を用いる。

L_u : 過剰間隙水圧比 ($= \Delta u / \sigma_{V'}$) で、液状化の状態に応じて表1.6.3に示す条件とする。 F_L と L_u の関係図は図1.6.4による。

マンホール浮上防止対策工法
(浮上防止マンホールフランジ工法)
技術マニュアル

—2008年6月—
(平成20年)

財団法人 下水道新技術推進機構

表4-3 過剰間隙水圧比 Lu の取り扱い
(下線部分は本マニュアルで推奨する条件)

液状化が想定される地盤		地震動レベル	
埋戻し土	周辺地盤	レベル1	レベル2
液状化	非液状化	<u>$Lu=1$</u>	<u>$Lu=1$</u>
液状化	液状化	<u>$Lu=1$</u>	<u>$Lu=1$</u>
非液状化	液状化	F_L の値により判断 ^{※2} $F_L \geq 1$; $Lu = F_L^{-7}$ $F_L < 1$; $Lu = 1$	F_L の値により判断 ^{※2} $F_L \geq 1$; $Lu = F_L^{-7}$ $F_L < 1$; $Lu = 1$

※2 : F_L は §13 で算定された値とし、地下水面から深さ 20m までの土層のうち粘性土層を除く土層の深さ 1 m 毎の F_L の平均値とする。

浮力に対する安全性の確認は、「共同溝設計指針」(昭和 61 年版 (社)日本道路協会)に準じ、式(4・1)により行う。^{※3}

式(4・1)にもちいる液状化時の F_L は、§13 液状化の検討で算定された値とする。

※3 : 構造物の断面検討時における地下水圧の算定は、地震時においても設計用計画地下水位をもちいるものとする。

$$F_s = \frac{W_s + W_B + Q_s + Q_B}{U_s + U_D} \quad \dots \dots \dots (4 \cdot 1)$$

ここに、

F_s : 安全率 (レベル1 地震動 ≥ 1.00 , レベル2 地震動 ≥ 1.00)

W_s : 上載土の荷重で、マンホールは土被りがないため無視する (= 0) (kN)

W_B : マンホールの自重 (kN)

Q_s : 上載土のせん断抵抗で、マンホールは土被りがないため無視する (= 0) (kN)

Q_B : マンホールの側面のせん断抵抗 (kN)

地震時のせん断抵抗は、「共同溝設計指針」の(解 6.3.6) 参照

ここで、 $F_L \leq 1.0$ では $\phi_{Bj} = 0$, $F_L > 1.0$ では $\phi_{Bj} = (2/3)\phi_j$

ϕ_{Bj} : 上載土のせん断抵抗角 (内部摩擦角)

ϕ_j : 埋戻し土のせん断抵抗角

U_s : マンホール底面に作用する静水圧による揚圧力 (kN)

静水圧による揚圧力は、「共同溝設計指針」の(解 6.3.7) 参照

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 (kN)

ここで、マンホール底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力は、式(4・2)

下水道施設の耐震対策指針と解説 2014 年版説明会の主な質疑応答

平成 26 年 5 月 16 日から 27 日にかけて仙台市、東京都、大阪市、福岡市内で行いました、「下水道施設の耐震対策指針と解説 2014 年版説明会」の事前質問、当日質問と事後質問の主なものを取りまとめました。なお、いただいた質問につきましては、一部わかりやすい表現に改めています。

ここでは特に断りがない限り、「下水道施設の耐震対策指針と解説－2014 年版－」を「指針」又は「本指針」と表記しています。「下水道施設の耐震対策指針と解説－2006 年版－」と比較する場合は、それぞれ「2014 年版指針」、「2006 年版指針」と表記しています。

また、「下水道施設耐震計算例－管路施設編－（2001 年版）」は、「耐震計算例 2001 年版」「下水道施設耐震計算例－処理場・ポンプ場編－（2002 年版）」は、「耐震計算例 2002 年版」と表記しています。

— 目 次 —

1. 液状化判定	1
2. 土質試験について	2
3. 応答スペクトルについて	2
4. マンホールと管きよの継手部の耐震性について	3
5. 差し込み継手について	4
6. 周面せん断力について	5
7. 地盤反力係数について	6
8. 矩形きよの耐震設計について	7
9. 抜き出し防止継手について	9
10. マンホールの浮き上がりについて	10
11. 取付管の耐震対策について	12
12. 地下調整池の構造分類について	12
13. 耐震性能 2' について	13
14. 層間変形角、破壊モード判定について	14
15. 津波対策について	15
16. 設計に使用する係数、解析方法について	17
17. ソフトについて	18
18. 適用時期、事務連絡等について	19

10. マンホールの浮き上がりについて

【Q10. 1】 浮上判定式の揚圧力 U_d について

指針 p374 の浮上判定における揚圧力のケース 1 の考え方について、揚圧力 U_d を（体積×泥水比重）として算出するとの記載がありますが、具体的には、 U_d =液状化層にあるマンホールの体積×（泥土の単位体積重量－水の単位体積重量）として求めればよいでしょうか。

【A10. 1】

ご指摘の通り、 U_d =地下水位以下の液状化層にあるマンホール体積×（泥土の単位体積重量－水の単位体積重量）となります。

【Q10. 2】 揚圧力のケース分けについて

指針 p373 の浮上判定式 8.4.1 の U_d について、ケース 1 及びケース 2 の 2 ケースの計算が必要ですか。また、ケース 1、ケース 2 に具体的な計算例を示してください。

【A10. 2】

浮上の計算については、地下水条件によりケースを使い分けることとなります。

地下水位が高い場合はケース 1 とケース 2 はほぼ同じ結果となりますが、地下水位が低い場合はケース 1 が OK でもケース 2 は NG となる場合がありますので、安全側となるケース 2 を推奨いたします。なお、具体的な計算例は、今後発刊する耐震計算例に記載予定です。

【Q10. 3】 浮上判定式の揚圧力 U_s について

指針 p373 の式 8.4.2 で、マンホール底部に働く静水圧による揚圧力 U_s は、マンホール底版面積に地下水位以下の深さを乗じています。 U_s =地下水位以下の体積×静水比重= $V \times \gamma_w$ になるのではないのでしょうか。

【A10. 3】

マンホールの浮上判定は、マンホール底部での重力バランスにより判断しております。マンホール底部径が側壁径と等しい場合は、底部に働く静水圧 U_s とマンホールに働く浮力が等しくなりますが、底部が広い場合はマンホール周辺の土粒子にも浮力が働くと考えられるため、揚圧力 U_s は、マンホール底版面積に地下水位以下の深さを乗じて求めます。

【Q10. 4】 マンホールの側壁に働く摩擦力について

指針 p 373 にある、マンホールの側壁に働く摩擦力 Q について、具体的にどのような計算を行うのですか。土の内部摩擦角等を用いて算出するのでしょうか。

【A10. 4】

常時においては、共同溝設計指針を参考に、側壁と土の摩擦係数として、 $\tan \phi$ （ ϕ は土の内部摩擦角）を用いて計算を行います

壁面の摩擦力： $Q=A \cdot K \cdot \sigma_v \cdot \tan \phi$

ここに、 A :壁面の面積、 K :静止土圧係数=0.5、 σ_v :有効上載圧

なお、地震時においては、原則として地下水以下の液状化地盤では、壁面摩擦力 Q は考慮しないこととしています。

【Q10. 5】 マンホールの浮上判定式の適用について

マンホールの浮上の判定式が、既存管路施設の耐震のページに記載されています。新設の場