

液状化によるマンホール浮き上がりの原因と土のうを利用した対策の提案

A Cause of Manhole Floating by Liquefaction and a Proposal of a Measure Method Using Sandbags.

堀内 宏信 (ほりうち ひろのぶ)
山形設計(株) 技術営業課長

1. はじめに

平成 16 年 10 月 23 日 17 時 56 分頃、新潟県中越地方を震源とする地震が発生した。震源の深さ 13km, M6.8(暫定値)の直下型の大地震により、新潟県の川口町で震度 7, 小千谷市, 山古志村, 小国町で震度 6 強を観測したのを始め、東北地方から近畿地方にかけて広い範囲で揺れを観測した。¹⁾

後に平成 16 年新潟県中越地震と名付けられたこの地震は、土砂災害や構造物被害など、各種の社会基盤に甚大な被害をもたらした。今回の地震被害の特徴的な事例の一つとして、下水道のマンホールの浮き上がり、地表部の陥没による損傷が挙げられる。²⁾

マンホールに浮き上がりが発生すると、下水道本来の機能である汚水の流下能力を失い、中・長期的な復興の障害になるばかりではなく、被災直後に最も重要となる緊急輸送路を阻害してしまうため、その対策は大きな課題の一つと考えられる。

本稿は、マンホールの構造と地震被害の報道映像などに基づき、浮き上がりの原因を推定し、併せて対策の一方法について提案するものである。

2. 浮き上がり原因の推定

2.1 被害状況の比較

写真-1 は、兵庫県南部地震の際に筆者らがポートアイランドで撮影した大規模な液状化の発生後の状況である。辺り一帯が噴出した砂混じりの水により“泥の海”と化し、広い範囲で地表面が 1m 近く沈下している。



写真-1 液状化で噴出した砂

一方、写真-2, 3 は今回の新潟県中越地震における下水道被害の状況である。マンホールと管渠周辺だけが局部的、選択的に被害を受けている状況が伺える。

大規模な液状化被害は発生していないにもかかわらず、このような下水道施設の液状化による被害の多発は、一見して不自然である。



写真-2 マンホールの浮き上がり³⁾



写真-3 管渠埋め戻し部の陥没³⁾

2.2 マンホールの構造と施工

図-1 は、標準的な汚水幹線のマンホールの構造を模式的に示したものである。

設置箇所の周囲を、たて込み簡易土留め工、あるいは

軽量鋼矢板工などで土の崩壊を抑えながら所定の深度まで掘削し、マンホールを据え付けた後、山砂や碎石などを締め固めながら埋め戻すことで構築を行っている。

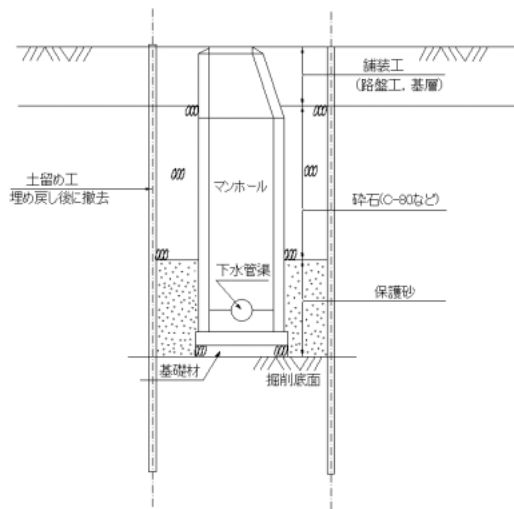


図-1 マンホール構造の模式図

設置個所の掘削平面の形状は、一般に2m×2m程度であることが多い。この内部に外径約1mのマンホールを据え付けるので、埋め戻し土の締め固めは狭い作業空間内での施工となり、大型の機械は使用できず通常はタンパ等を用いている。

このため、適切な施工管理を行った場合であっても埋め戻し土の締め固めには自ずと限界がある。

2.3 浮き上がり発生メカニズム

このような構造と施工により構築されたマンホールが強い地震動にさらされると、図-2に示すように、下部の埋め戻し土である砂層が局所的な液状化を引き起こすものと推定される。

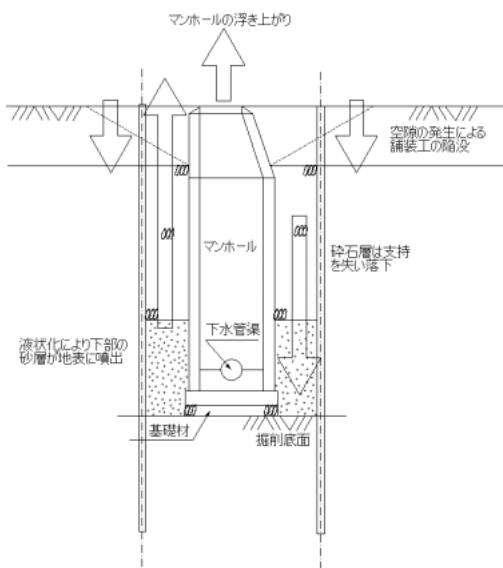


図-2 マンホールの浮き上がりメカニズム

局所的な液状化の発生によって下部の砂層が流体化して地表面に噴出すると、その上部の碎石層は支持を失うために落下して空隙が生じ、生じた空隙に向かって舗装工が陥没する。

またマンホールの深さと地下水位との関係にもよるが、マンホールには土被りがなく単独では浮力に対する安定を確保できないため、仮に液状化に至らずとも、周辺地盤からの拘束を失えば浮き上がりは発生し得る。

なお管渠部においても同様の局所的な液状化が生じているはずであるが、掘削幅が約1mと狭く周辺地盤の拘束が大きいこと、埋設深がマンホール下端付近と深いこと、管径の違いから作用する浮力が小さいこと、などの相違点によりマンホールほど目立った浮き上がりを生じていないものと推定される。

以上が、筆者が仮定した局所的な液状化によるマンホールの浮き上がり発生メカニズムである。全てのマンホールの被害をこの原因だけで説明するものではないが、このようなメカニズムを仮定すると、実際の被害状況と整合する点が多い。

3. 対策工法

3.1 下水道の構造的特徴

このような“コップの中の嵐”ともいえる局所的な液状化被害の対策を検討する際には、下水道特有の構造について考慮する必要がある。

地下鉄の駅舎や共同溝などのボックス構造における代表的な液状化対策として、グラベル材による埋め戻しや固化材による地盤改良などの工法が挙げられる。

しかしマンホールの場合には、相対的に自分より小口径で強度の低い管渠と接合されている構造上の特徴を無視することはできない。

仮に砂材を用いず、全てを碎石などのグラベル材で埋め戻した場合、塩化ビニール製の管渠であれば、碎石と点接触している部分に応力が集中し、管渠が損傷するおそれがある。

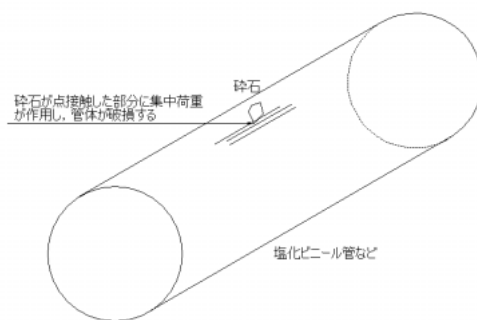


図-3 碎石による管渠の破損

またセメント系固化材などにより地盤改良した場合、改良部の地盤剛性が大きくなり過ぎると、地震時の揺れ方が周囲の地盤と異なって、境界付近の管渠に過大な曲げやせん断力が作用するおそれがある。

この現象は、改良強度の適正管理や、管渠の周囲を含めた改良で防ぐことができるが、施工管理が煩雑となり、工事数量が増加する。またセメント系固化材の使用にあ

たつては六価クロムの溶出試験が必要となるなどの問題も発生する。

なお管体に損傷が発生すると、小口径の汚水幹線では豪雨などの際に多量の地下水が流入し、汚水の逆流や、マンホールからの溢水などの問題を引き起こす可能性がある。

3.2 対策工法の提案

このような特徴を持つマンホールにおいては、図-4に示すような、下部の砂層を土のう詰めて埋め戻す工法が有効ではないかと筆者は考えている。

土の液状化は、飽和した緩い砂質土が地震動によりせん断変形されると、負のダイレイタンスにより体積が減少し、これによって過剰間隙水圧が上昇し、最終的に土粒子間に働く有効応力が消失することで発生する。

従ってマンホールを埋め戻す際に、土のう詰めた土を用いると、地震時の土粒子の移動を物理的に拘束して、液状化の発生を防ぐことができると考えられる。

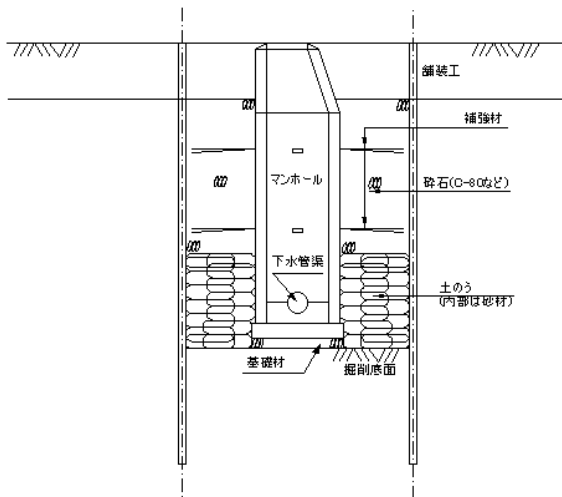


図-4 土のうを利用した浮き上がり対策

土のうは、土全体を補強材で包み込む構造であることから、極めて優秀な複合材料である。土のうの補強効果により、地震時における土のう内部の土粒子の移動を拘束するので、無補強の場合と比較して発生する過剰間隙水圧は小さくなる。また土のう内部に詰められた砂は、外に飛び出すことはできないので、過剰間隙水圧が大きくなっても最終的な液状化の発生を防ぐことができる。

マンホール下部の埋め戻し土である砂層を、このような補強効果を持つ土のう詰めとすることにより、局所的な液状化によるマンホールの浮き上がりを防ぐことが可能ではないかと考えている。

さらに土のう詰めることで、側圧がない状態でも土を自立させることができるようになる。このため、砕石層までを土のう詰めることで、一帯が液状化し易い地盤であっても、マンホール周辺に自立性の高い非液状化領域を形成することができる。

また、マンホール周辺の埋め戻し土の重量を利用して、

マンホールの浮力への抵抗力を増加させるためには、例えばマンホール側壁に取り付けた補強材を埋め戻し土中に布設する方法が有効である。

3.3 管渠部

報道映像を見る限り、管渠部はマンホールほど目立った浮き上がり被害を生じていないが、勾配に狂いが生じると、自然流下が原則である下水道に障害が発生する。

地下水位の高い地域では、図-5に示すように保護砂の周囲に吸出し防止材を布設するが多い。吸出し防止材は、土のうと同様に土粒子の移動を拘束することから、液状化防止にある程度効果があると考えられる。

このため、今回の地震によって被害が発生した管渠部において、このような構造を採用した箇所が含まれていたか注目している。

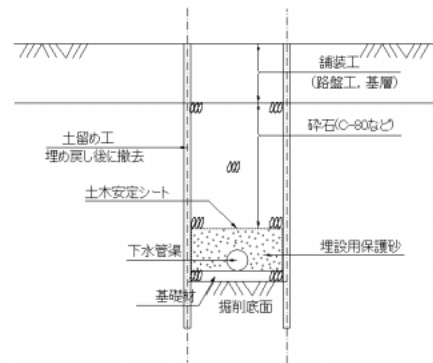


図-5 吸出し防止材を併用した管渠の埋め戻し

4. おわりに

本稿で示したマンホールの浮き上がり発生メカニズムは、筆者の推定であるため、その正否については今後の被害調査結果を待つ必要がある。

土のうと補強材を利用した浮き上がり防止対策は、定性的な効果は期待できるものの、一般的な工法として認められるためには、実験や解析に基づく定量的な効果の確認が不可欠である。さらに実用化のためには、土のう袋の材質、土のうに詰める土の量、積み方、管渠廻りの処理などの細かな仕様についても標準化が求められる。

以上の状況を踏まえ、対策工法としての可能性の検証と、実用化に向けた研究開発に着手した。

参考文献、関連 URL

- 1) 気象庁：平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震について一速報—
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2004_10_23_niigata/sokuho/index.html
- 2) 平成 16 年 新潟県中越地震土木学会第二次調査団(社会基盤システム総合調査)：調査結果と緊急提言(速報)，pp.8, 2004.
- 3) 速報 新潟県中越地震：日経コンストラクション，pp.19, 2004.11-12