

下水道施設の被害

藤田 昌一・小松 俊哉

長岡技術科学大学 環境・建設系

1. はじめに

新潟県中越大地震では下水道管路の被害が目立った。しかしその実態把握と原因究明と耐震対策についてはまだ結論が出ていない。現地で大地震を体験し、様々な被害を身近に見た立場からいくつか推論を試みてみたい。定量的かつ系統的なデータをもとにした議論ではないが、いずれ真相究明に向けて証拠を固めていくつもりである。また本稿の中での、現象や効果についてのネーミングは筆者らが勝手に付けたものであり、まだ世間に認知されているものではない。

2. 今回の地震の特徴

①何回も攻撃された

表1と図1に見られるように、震度5以上の地震が短い期間内に何度も起きている。「本震より大きな余震はない」という定説は今回も間違いはなかった。しかし、図2のように、余震の場所があちこちに分散していたので、長岡からみれば「本震なみの余震が何回も来た」ことになった。

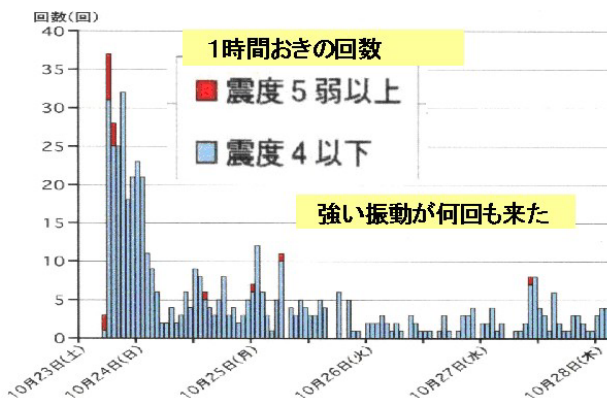


図1 強い地震が何度もきた（気象庁資料）

表1 震度5以上が2時間で11回もきた（気象庁資料）

震度5弱以上を観測した地震 (10月23日17時56分～11月10日05時、暫定値)			
震源時 (年月日)	時(分)	マグニチュード	最大震度
2004/10/23	17時56分	6.8	7
2004/10/23	17時59分	5.3	5強
2004/10/23	18時03分	6.3	5強
2004/10/23	18時07分	5.7	5強
2004/10/23	18時11分	6.0	6強
2004/10/23	18時34分	6.5	6強
2004/10/23	18時36分	5.1	5弱
2004/10/23	18時57分	5.3	5強
2004/10/23	19時36分	5.3	5弱
2004/10/23	19時45分	5.7	6弱
2004/10/23	19時48分	4.4	5弱
2004/10/24	14時21分	5.0	5強
2004/10/25	0時28分	5.3	5弱
2004/10/25	6時04分	5.8	5強
2004/10/27	10時40分	6.1	6弱
2004/11/4	8時57分	5.2	5強
2004/11/8	11時15分	5.9	5強
2004/11/10	3時43分	5.3	5弱

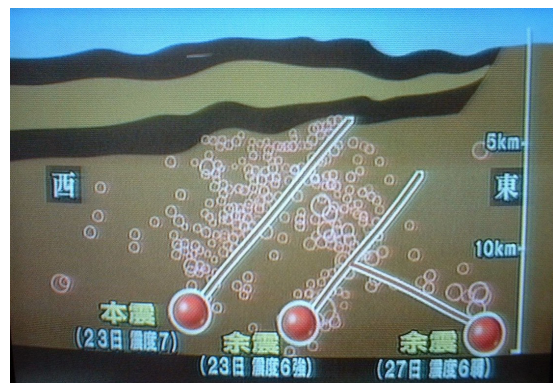


図2 震源があちこちに（NHKテレビより）

②パワーが大きい

地震の強さ、つまり地震加速度も阪神淡路が最大で818ガルだったが、中越では1700ガルという値だった。つまりパワフルな地震であったといえる。

以上2点の特徴は、構造物にとっては「強い力で何回も揺すられた」ということにある。これが

下水道管路に大きな被害を与えた要因のように思う。

3. 下水道管路の被害

被害についての地域的な分布や数量的なデータは数多く公表されているので、ここではやや定性的な特徴を見てみよう。

①飛び出すマンホール

写真1のようにマンホールが地表面より高くなっている箇所が多かった。場所によっては1メートル以上にもなった所もある。



写真1 地震で飛び出したマンホール

②へこんだ地面

写真2はマンホールの周辺の地盤が沈下した所であるが、その結果、見かけ上はマンホールが隆起しているように見える。



写真2 マンホール周辺の地盤沈下

③地山にぶつかるマンホール

写真3のように、マンホールと周囲の地盤が異

なる動き方をしたために構造物の境目にひびわれが生じた。地盤の中でマンホールが暴れたのか、地盤が動いたのでマンホールがガタついたのか、きっとその両方であろう。



写真3 地盤とマンホールが別々に動いた

④下水道管のせいで道路が傷んだ

下水道が敷設されている部分で道路の沈下が見られる。道路管理者からすれば「下水のせいで道路が傷んだ」と言いたいところである。下水道としては大家さんに迷惑を掛けないように入居していなければならない。

⑤管渠の浮上

図3は長岡市が調査した地震後の下水道管渠の状況を示した縦断面図である。管渠の浮上が起きている。しかし管路中央部に浮上が少ないのは、取付け管が「押さえ」になっているからであろう。

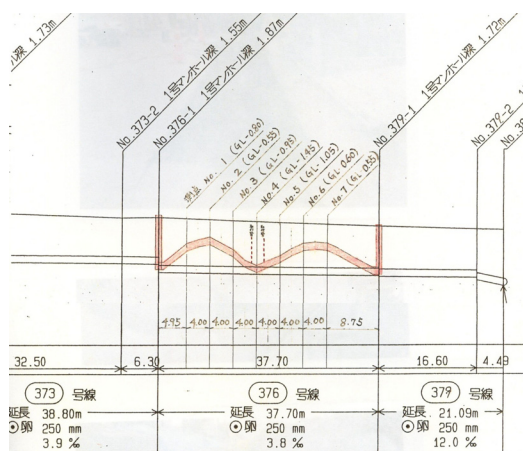


図3 被害管路縦断面図

管渠はマンホールと取付け管に拘束されているために「への字」形の浮上になっている。

4. 被害の原因

マンホールの隆起や地盤の沈下をソク「液状化のため」と断定してよいのか少々疑問が残る。液状化現象とは、地盤の中でかみあって重なりあっている土の粒子のすきまの中に地下水があると、そこが地震によって揺すられて、土粒子のかみ合わせがだんだんはずれてきて、地下水の中に浮いたような状態になることである。今回の地震でも液状化が起きたとみられるが、以下に述べるような別の要因も働いているのではないかと思われる。これらは定量的データや実験に基づくものではなく、あくまで「推察」なのであるが、今後の地震対策を考える上で少しは考慮に入れてもよい要因ではないかと思う。

①叩き上げ現象

下水道のマンホールは写真4に示すように、ほぼ円筒形の工場製のコンクリート構造物である。つまり「組立マンホール」である。標準的なサイズの、内径 90 センチメートル、深さ 2 メートルの組立マンホールは、重さ 1,500 キログラム、体積 1.8 立法メートルで、比重は約 0.8 である。



写真4 組立マンホール

地中に埋められたこのような構造物が地盤の中で振動を受けて揺すられると、まず最初の揺れで構造物とその周辺の土との間の摩擦が切れた

状態になる。つまり周囲の地盤とフリーになる。そこにまた本震と同程度のゆれが来ると上下左右に動くことになるが、横方向には地山があるので変位しにくい。結果として上下方向に揺すられた時に構造物が上に動く。一度上に動くと構造物の下方は崩れた周囲の地山で埋められてしまうので、構造物は元の位置には戻れない。結果として少し隆起した状態になる。普通の地震ならここで止まるところであるが、今回の地震は本震クラスの地震が2時間に6回も起きているので、このような縦方向の連続振動によってマンホールの隆起が累加して次第に高くなっていったのではなかろうか。つまり、あたかも下から叩き上げられたかのような力を受けたことになる。すなわち「叩き上げ現象」による「マンホールの成長」が起きたのではなかろうか。

②お茶筒とんとん現象

下水道管渠の周りには埋め戻しの砂がぎっしり詰まっている。しかし、実際の下水道管渠工事で砂を埋め戻す作業は必ずしも十分に行われていないこともある。特に開削工法では、山留めのために切張（きりばり）が 1.5 メートルおき（または 3 メートルおき）に掘削した溝を横断している。この間をぬって手押しの締め固め機を巡らしてゆく作業は多くの時間と人手と入念な技術が必要である。また可撓性（かとうせい）の管渠は（管の側面の締め固めが不十分な時には）管の上部の埋め戻し砂を「あまり締め固めると管渠が水平方向に扁平に撓む」とされ、簡単な埋め戻しと、不十分な締め固めのまま、交通開放を急ぐために仮舗装をすぐにかけてしまうことになる。

そういう、ゆるい埋め戻しの砂が地震で振動を受けると、「お茶筒とんとん現象」で砂が締め固まってくる。つまりお茶筒にお茶を入れる時に、お茶筒をとんとんと叩くと、カッサリとゆるく入れられたお茶が締まってくる現象である。管渠のまわりに十分な締め固めをしていない土があると、お茶筒と同じように埋め戻しの砂が地震で叩

かれて沈下して、その結果、管渠を埋設した部分での地表面が沈下してしまうことになる。

③大玉せり上がり現象

下水管のまわりの埋め戻しの砂が叩かれると、相対的に管渠が持ち上がることになる。コップの中に大小の玉を入れて揺ると、大きな玉がだんだんと上のほうに集まってくる。これを「大玉せり上がり現象」という（誰も言っていないけれど）。可撓性の管渠は軽いので浮き上がりも容易のように思われる。もしそうだとすると耐震対策上は重い管渠の方ががっちり締め固められるし、浮上もしにくいので有利なことになる。

④自己液状化現象

震災にあった下水道施設はほとんどが分流式の汚水管である。つまり地震が起きた午後6時頃には一日のうちでも下水の流れが多い時間帯である。そういう下水管が地震にあうと破壊に至らなくとも亀裂が入る。すると下水が漏れて管渠の周りの地山を濡らすことになる。何回も本格的な振動に見舞われると下水の漏水も進行するし、埋め戻しの砂の中にも水が行き渡ってゆく。かくして地下水位の高くない場所でも、管のまわりの砂が水を含んで「液状化」の条件が揃うことにならないだろうか。つまり、下水管自身が液状化の状態を作り出してしまった可能性がある。これを「自己液状化現象」と我々は勝手に呼んでいる。

⑤直前の大雨が液状化促進

この大地震の3日前、10月20日は、台風の影響でかなり的大雨があった。長岡市内を流れる信濃川は水位が高水敷を埋めるほどの高さとなり、警戒水位を突破していた。長岡市内で雨は10月19日午後3時ごろから降り始め、10月21日朝9時ごろまで降り続いた。台風の雨だから広い範囲に及んだと思われる。ということはこのあたり一帯つまり中越大震災の地域では、山も丘も田も畑もそこら中の地盤がたっぷりと雨の水を含んで

「あたり一面水浸し地盤」となっていたのである。地下水位の高さは降雨に影響されやすい。普段は地下水位が低い所でも、この時は地下水位が高くなっていた可能性がある。そこへ大地震である。降り続いた雨が十分地下に行き渡っていたために「液状化」がそこら中で促進されたのではなかろうか。

5. 耐震対策

以上、強い地震が連続して何回も襲ってきた新潟県中越大震災では、地震被害の原因として主たるものとされる「液状化」と共に「叩き上げ」「お茶筒現象」「大玉浮き上がり」「自己液状化」「水浸し地盤」の5つを上げてみた。これらの推理を基に対策を考えてみると次のようなことがらが現実的ではなかろうか。

①転圧を期待しない埋め戻し材料

施工管理において埋め戻し土を十分に転圧することの必要性についてはすべての関係者が意を用いているところであるが、現実には十分に行われていない場合があるように思う。転圧が不十分でも大丈夫なような、一種のフルプルーフと言うかフェイルセーフの原理を導入して、転圧に期待しないでも大丈夫なようにしておく方が現実的ではなかろうか。もちろん十分な転圧は必要であって、これを不要と言っているわけではない。

②碎石と改良土

国土交通省の下水道地震対策技術検討委員会の提言では、碎石や改良土での埋め戻しが示されている。長岡市では、被災した管渠の入れ替えに当って、掘削した土を「残土」とするのは忍びないということで、これにセメントを若干混ぜて改良土として埋め戻しに用いることを検討している。もともとが「砂埋め」であったのだから、掘削して出てくる土も良質な砂質土である。残土の発生も抑制され、碎石などの新たな材料の購入もしないで済ませられる予定である。むしろ碎石

の入手が容易な地域では碎石による埋め戻しも可である。

③マンホールのフーチング

円筒形のマンホールの底に、マンホールの外径よりも大きなコンクリートの板（これをマンホールフーチング、略してMFと呼ぶ）を取り付けておくのも浮き上がり防止に効果的ではなかろうか。マンホールが浮上しようとしてもMFが押さえになる。浮上するにはMFの上部の土も持ち上げなくてはならない。このMFはマンホール築造時の掘削幅目いっぱいに行った現場打ちコンクリートで十分であろう。

④さかさ卵形管

前記のMFと同じ原理で、卵形管も上が太くて下が細いと浮かびやすいので、これをさかさにして水滴の形のように敷設したらどうだろうか。卵形管の特徴がひとつ失われるが「浮上しにくい」という別の特徴が出てくる。

⑤推進工法のすすめ

開削工法では埋戻しの土が液状化するおそれがあるが、推進工法ならが砂地盤でない限りその恐れが少ない。近年は開削工法よりもコストの低い推進工法が多種類出回っているので、この際、この方面への目配りもしておくといよいように思う。

⑥重たい管渠材料

軽い管渠材料には、それなりの大きなメリットがあり、それゆえに今日の隆盛が築かれている。しかしここにきて、軽いから浮上すると言われていた。そこで改めて、陶管、ヒューム管、レジン管、ポリエチレン管、鋳鉄管などなど、原点に立ち返って考えてみるのもよいことではなかろうか。

⑦マンホールのかぎ

マンホールの蓋を開けるには特殊なフック（マンカギとも呼ばれている）が必要である。管渠の維持管理の必需品である。ところが、マンホールを開ける穴の形状は各都市で微妙に異なっている。災害支援に行った都市の人が自分達が持っていたフックでは蓋が開かなくて困ったそうである。小さなことであるが、地震対策の点からも統一化に向けてすぐに動こうではありませんか。

6. 危機管理のISO

大きな地震はめったに來ない。だから毎日の多忙な仕事のルーチンの中に入ってくるのに、緊急時の体勢についての備えが出来ていないことがある。地震が来て初めて「災害時の相互支援協定」を紐解いたりした都市もあるという。そこで「普段から災害に備える体制を十分にとっている」ということを証明する仕組みがほしい。品質管理や環境管理のISOのような「緊急時の対応」が十分に行われることを保証する認証システムである。管路協会あたりが音頭をとってみたいかがであらうか。ともかく何か新しい仕組みを考えてみませんか。