

提言

今後の下水道管路の耐震設計への提案

たなか しゅうじ
田中 修司TNK 水道コンサルタント(株)
代表取締役

1 1993年の釧路沖地震以降下水道被害が顕著化 ―兵庫県南部地震で下水道管路の耐震設計法確立へ

私は、1992年（平成4）に当時の建設省土木研究所の下水道研究室長のポストにつきました。それまでは下水道管路が地震被害をうけた記憶がなかったのですが、就任後、急に地震が頻発するようになり地震のたびに建設本省から被害調査を依頼されるようになりました。最初は1993年の釧路沖地震での地震調査です。この地震では粘土質の土壌の中に砂で埋め戻されたマンホールが人の背丈近くまで浮上するという今までに見たことがない被害でした。砂で埋め戻された土中で地震動により間隙水圧が高くなり砂が液状化してマンホールが浮き上がったものです。

それ以前の地震で下水道が大きな被害を受けたのは1964年の新潟地震です。液状化でヒューム管が地上まで浮かび上がってその上を子供たちが歩いて通学している写真が記録として残っています。

釧路沖地震以降、北海道南西沖地震、北海道東方沖地震、三陸はるか沖地震と立て続けに大きな地震が発生しました。その度に下水道被害調査に出かけたのですが、ほとんど埋め戻し土の中での液状化被害でした。1964年の新潟地震から約30年後の時間を経て、釧路沖地震以降急に地殻活動が活発化したように感じています。

そして極めつけは1995年1月17日の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）でした。兵庫県南部地震では、釧路沖地震から三陸はるか沖地震までの地震被害とは全く異なるタイプの地震被害だったのです。兵庫県南部地震では下水道地震対策検討委員会の事務側として下水道管路の耐震化設計法について原案を作成することになり、当時の土木研究所の動土質研究室長の松尾修氏や、早稲田大学の浜田雅則教授、京都大学の亀田弘行教授などの地震工学の専門家の先生の指導を受け下水道管路の耐震の考え方などをまとめることができました。

それまでは下水道管路について耐震設計という考え方がほとんどなかったのです。兵庫県南部地震の被害から以下の3点の考え方が下水道管路の耐震設計に導入されることになりました。

- ①石油パイプライン基準で用いられている応答変位法の導入（下水道管路では主として大口径の断面方向に適用）
- ②側方流動による地盤変状を前提とした管の抜け出し許容量の設定
- ③設計対象振動をレベル1（L1）とレベル2（L2）の2つに分け、重要幹線ではレベル1は設計流下能力を確保、レベル2には流下機能の確保を旨とする極めてシンプルな内容です。しかしそれ以降、しばらく下水道管路の耐震設計からは離れていたのですが、

下水道協会の耐震設計指針などを見るとかなり複雑で精緻化し難解になっていることに気がつきます。下水道管路の耐震設計は何度か改定を受けておりその度にかなり指針や設計例など充実してはいるものの一層難解になっています。

2 現行の耐震設計の課題と限界

前述のとおり、兵庫県南部地震以前から指摘されていた液状化によるマンホールの浮上や管路の持ち上がりといった被害は、残念ながらその後の地震においても依然として頻発しています。現行の耐震設計は、応答変位法や側方流動対策など、特定の破壊モードに対する対策は進んでいるものの、広範な地盤変動や液状化に伴う複合的な被害に対しては、必ずしも十分に対応できているとは言えない状況です。

全ての管路をあらゆる規模の地震に対して「壊れない」ように設計することは、技術的に非常に困難であるだけでなく、莫大な建設コストと維持管理コストを必要とします。特に、既に敷設されている膨大な量の既設管路全てに高度な耐震化を施すことは、財政的にも現実的ではありません。また、地盤条件は場所によって大きく異なり、予測困難な地盤変動も起こりうるため、「壊れない」ことを追求することには限界があるといわざるを得ません。

これらの状況を踏まえると、現行の「壊れないようにする」という強度論中心の耐震設計思想だけでは、大規模地震時における下水道機能の確保という本来の目的を達成するには限界があります。頻発する液状化被害への対応の難しさや、コスト的な制約を考慮すると、耐震設計の考え方そのものを根本的に見直す時期に来ているようです。ではどのように考えるべきでしょうか？

3 新たな視点：計画論に基づく耐震設計への転換

3.1 強度論から計画論へ

兵庫県南部地震の教訓から導入されたL2対応は、全ての管路を守るのではなく、大地震時でも「主要幹線だけは機能を守る」という選択と集中の考え方であり、

これは純粋な強度論から一步進んで、システム全体の機能維持を考慮する「計画論」への移行の兆しと捉えることができます。

さらに、2025年1月に発生した八潮市の道路陥没事故（下水道管路の老朽化が原因とされる）では、単一の管路の破損が広範囲に影響を及ぼすことが示され、システムとしての冗長性（リダンダンシー）の重要性が議論されるようになってきました。この冗長性の議論は、まさに耐震設計を個々の施設の強度だけでなく、ネットワーク全体としての機能継続性や代替性といった「計画論」の視点から深掘りする必要性を示唆しています。

3.2 「壊れることを前提とした」設計思想(逆転思考)

ここで、発想を大きく転換し、「地震で管路が壊れるのはある程度仕方がない」と初めから割り切った上で、それでも「下水道システム全体として困らないような仕組み」を構築するという「逆転思考」が有効になるのではないのでしょうか。これは、被害をゼロにすることを目指すのではなく、被害が発生してもその影響を最小限に抑え、迅速な復旧を可能にする「レジリエンス（強靱性）」を高めるという考え方です。

この「壊れることを前提とした」設計思想は、以下の具体的なアプローチにつながります。

【フェイルセーフ】

故障や破損が発生した場合でも、被害が拡大しないように、安全側に機能が停止または縮退する仕組み。

【フォールトトレラント】

一部の構成要素が故障しても、システム全体としては機能を維持し続けられる設計。

これらの概念を耐震設計に取り入れることで、より現実的で持続可能な下水道システムの構築が可能になります。

4 計画論に基づく具体的な耐震対策案

「壊れることを前提とした」レジリエントな下水道システムを構築するためには、強度論に基づく従来の対策に加え、計画論に基づいた以下のような多角的なアプローチが考えられます。