

下水道における地震・津波への対応*

～東日本大震災から5年を経て～

内田 勉 深谷 渉

1. 東日本大震災における下水道の被害

平成23年3月11日に発生したわが国観測史上最大のマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）から約5年が経過した。下水道施設の被災については、管路642 km（132自治体等）、ポンプ場111カ所、下水処理場120カ所という膨大な数の下水道施設が、地震や津波により広域的に甚大な被害を受けた。稼働停止した処理場の半数は津波が原因であり、主に地震動で被災した処理場は概ね1ヵ月以内に機能復旧しているのに対し、津波で被災した処理場の復旧は長期間を要した。

平成27年11月時点で、被災した管路の98%が復旧済みであり、処理場も一部を除き概ね復旧している。平成



写真1 東日本大震災直後の仙台市南蒲生浄化センター



Tsutomu Uchida

昭和63年 名古屋大学大学院工学研究科博士課程前期課程土木工学専攻修了
同年 建設省入省
平成10年 環境庁水質保全局企画課地下水・地盤環境室
12年 建設省都市局下水道部流域下水道課
16年 国土交通省近畿地方整備局建政部
21年 倉敷市
23年 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料資源研究グループ
25年 日本下水道事業団関東・北陸総合事務所
27年 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道機能復旧研究官



Wataru Fukatani

平成3年 富山県立技術短期大学衛生工学科卒業
同年 建設省土木研究所河川研究室
6年 同下水道研究室
10年 日本下水道事業団東京支社計画設計課主査
13年 国土交通省近畿地方整備局建政部都市整備課主任
16年 同木津川上流河川事務所名張砂防出張所技術係長
18年 同大和川河川事務所工務第1課専門員
19年 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究室研究官
23年 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究室主任研究官
下水道協会有功賞優秀論文（実務部門）受賞

28年4月には、最も大きな被害を受けた仙台市南蒲生浄化センターが復旧工事を終え運転再開した。

津波により下水道区域の全域が壊滅的な被害を受けた地域では、既存インフラ施設を原型復旧するのではなく、まちづくりそのものから見直された。

また、地震が原因で発生した地盤沈下により自然流下での雨水排水が困難となった地域もある。宮城県石巻市では約80 cmの沈下が観測され、降雨時や満潮時に道路や宅地が浸水した。これらの地域では河川堤防の嵩上げや防潮堤の築造等も行われ、ポンプ場による雨水強制排水が計画されている。

2. 東日本大震災を受けての耐震・耐津波の技術指針類の改定

東日本大震災後、下水道分野においても、被災地の復旧・復興方針や、今後の地震・津波対策の考え方などが検討され、耐震・耐津波設計基準類が改定された。

震災直後の平成23年4月、下水道地震対策をさらに推進し、技術指針を適宜見直す方針を示すことを目的として、国土交通省および日本下水道協会が中心となり、学識経験者、国、地方公共団体、関係団体等からなる下水道地震・津波対策技術検討委員会が設置された。国土交通省国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）からも参加し、委員会は東日本大震災の総括と耐震・耐津波対策の今後の進め方について提言したほか、約1年の審議を経て成果を取りまとめ、平成24年3月に報告を公表した。委員会での提言内容は平成26年5月発刊の「下水道施設の耐震対策指針と解説 2014年版」に反映された。以降に本指針の主な改定内容を紹介する。

2.1 耐震対策について

本指針の耐震対策に関する主な改定点は次のとおりである。

* Response to Earthquake and Tsunami in Sewage Systems Based on a 5-Year Experience After the Great East Japan Earthquake

2.1.1 既存施設に対する段階的耐震性能（要求性能）設定

既存施設の耐震性能は「レベル1地震動」に対して「耐震性能1」の1段階とし、「レベル2地震動」に対しては機能の優先度等に応じて「耐震性能2」と「耐震性能3」の2段階として、段階的な耐震性能の向上を目指すものとされた。この段階的な設定は、主要な構造部材を重点的に補強し、施設全体の安全性（崩壊に至らない）が確保できる範囲で最低限の下水道機能の確保を目指すというものである。

2.1.2 管路埋戻し土の液状化対策

埋戻し土の液状化対策は、東日本大震災等の被災状況を踏まえ、品質確保や施工性の観点から「埋戻し土の固化」や「砕石等による埋戻し」を検討するものとされた。「埋戻し土の締固め」は、管側面部のスペースの有無や埋戻し土の土質等により、締固め度90%の確保が困難な場合がある等、施工にあたって多くの課題があることから、品質面と工法面に係る規定等の充実化が図られた。

2.2 耐津波対策について

これまで下水道分野での地震対策は主として施設の耐震化であったが、東日本大震災で津波による甚大な被害を受け耐津波対策の重要性も強く認識されることとなった。

本指針の耐津波に関する主な改定点としては、リスクマネジメントを踏まえた耐津波対策として下水処理場の構造物や設備等毎に、機能の重要度、費用対効果、実施可能性等に応じ、①リスク回避（津波が来襲しても浸水しない構造）、②リスク低減（津波で浸水しても機能は守られる）、③リスク保有（浸水を許容する構造）の3つの防護レベルから適切なものを設定するものとしている。

3. 熊本地震における下水道の被害

平成28年4月14日21時26分、熊本県熊本地方を震源（深さ11km）とするマグニチュード6.5、最大震度7の地震が発生した（前震）。続いて約28時間後の16日1時25分には熊本県熊本地方を震源（深さ12km）とするマグニチュード7.3、最大震度7の地震が発生した（本震）。前震の発生以降約3ヵ月間で1,900回を超える余震が続いている。この熊本地震はまだ記憶に新しいところである。

地震により2県9市町の下処理場13ヵ所が被災した。このうち11ヵ所は被害が軽微で早期に処理機能が確保されたが、益城町浄化センターでは一部の構造物や設備が損壊し、応急復旧措置により水処理を行った。

管路については、1流域下水道7市町の管路延長約3,250kmのうち、被災した割合は約2~3%であった。このうち、熊本市は都市規模が大きいため被災延長は比較的長かった。阿蘇市および益城町では管の破断や閉塞により流下機能の失われた箇所が10ヵ所あり、仮設の配管により機能が確保された。

被害状況について表1に示す。

熊本地震に関し、国総研下水道研究部は地震直後の4月から5月にかけて3次にわたり現地調査を行った。その概要について以下に述べる。

被災した管路施設の本復旧方法（埋戻し土の固化、砕石埋戻し、埋戻し土の締固め。以下「埋戻し3工法」という。）の妥当性を確認するため、耐震化済み管路施設を

対象とした被災状況を調査した。

調査は、熊本市、嘉島町、益城町の管路を対象に、現地調査、ヒアリング、書面調査を行った。現行の埋戻し3工法のうち、被災地で採用されていたのは砕石埋戻しと埋戻し土の締固めの2工法であった。各工法の調査結果は次のとおりである。

- 砕石埋戻しについては、現行指針に従い適切に施工されていた箇所では高い耐震効果が確認された。しかし、現行指針と異なる埋戻し部に山砂を採用した箇所では一部に被害が見られた。

- 埋戻し土の締固め（締固め度90%程度以上）は、採用されている箇所はあったが、必要な仕様明示および品質管理がなされていたことが確認できないことから、本工法を採用したと断定できる箇所がなかった。

以上より、熊本地震においては現行の埋戻し3工法の基準に準拠しながら被害が生じた箇所はみられず、現時点で基準の見直しは必要ないものと判断された。

今後、これらの結果も踏まえ、国総研としてさらに必要な調査を実施することとしたい。

4. 地震対策に関する国総研の取り組みの一例

～管路施設の合理的な耐震対策優先度評価手法～

国総研下水道研究部では、下水道地震対策として、管路施設の合理的な耐震対策優先度評価方法に関する検討や、南海トラフ巨大地震時を想定した二次的被害の最小化を図るための支援体制に関する検討等、様々な調査研究を実施している。このうち「管路施設の合理的な耐震対策優先度評価方法」について紹介する。

全国での管路施設の耐震化率は、平成25年度末で、重要な幹線管路（流域下水道幹線やポンプ場・処理場に直結する幹線管路、河川・軌道下横断管路、緊急避難路下管路、防災拠点や避難所等の排水を受ける管路等）において44%と未だ耐震化の途上にあり、各下水道事業者は限られた人員、時間、予算の制約下で施設の耐震化を効率的に進めることが求められている。

管路における耐震対策優先度として、現行の耐震対策設計指針^{1,2)}では重要な幹線管路が示されており、これは言わば点的な施設であるが、実際には管路は上流端の各家庭や事業場等から下流端の処理場に至る連続した線状の施設である。管路の機能維持のための耐震化には水の流れの連続性の確保が重要であり、また、二次的被害等を抑制するためのリスクマネジメントの視点も必要である。

このため、管路に被害が発生しても当面の流下機能維持（水洗トイレの利用、溢水防止等）および早期の機能回復が可能となる必要最低限の耐震化を行うべき管路の優先順位付けを合理的に決定するための耐震対策優先度評価手法について検討を行った。

管路の耐震対策の優先度は、施設の重要度や被災した場合の社会的被害の大きさ等の被害規模に関わる指標と、被害形態や被害の程度等の被害確率に関する指標の両方を加味したリスク評価による決定手法が望ましい。また、近年の防災に対する基本的な考え方は、施設損傷等の被害を未然防止するための事前対策（施設耐震化）と二次的被害の拡大を防止するための事後対策（迅速な応急復旧）の最適な組み合わせであり、この考え方により下水道システム全体の被害の最少化を図ることが重要である。

表1 熊本地震による下水道の被災状況（平成28年7月現在）

〈処理施設〉			
都道府県名	市町村・流域等名	下水処理場名	対応状況
熊本県	水俣市	水俣市浄化センター	応急対応により、必要な処理機能を確保
熊本県	菊池市	菊池浄水センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保
熊本県	阿蘇市	阿蘇市浄化センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保
熊本県	大津町	大津町浄化センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保
熊本県	御船町	御船浄水センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保
熊本県	嘉島町	嘉島浄化センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保
熊本県	益城町	益城町浄化センター	応急対応により、必要な処理機能を確保
熊本県	熊本市	東部浄化センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保
		西部浄化センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保
		南部浄化センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保
		中部浄化センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保
		城南町浄化センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保
大分県	別府市	別府市中央浄化センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保

※その他の処理場については、被害なし

〈管渠〉

(合流管・汚水管)

都道府県名	市町村・流域等名	総延長 (km)	被災延長 (km)
熊本県	八代北部流域下水道	14.9 km	1.1 km
熊本県	熊本市	2491.0 km	52.3 km
熊本県	宇土市	144.5 km	3.0 km
熊本県	宇城市	186.9 km	2.0 km
熊本県	阿蘇市	68.4 km	2.4 km
熊本県	御船町	72.4 km	1.3 km
熊本県	嘉島町	51.4 km	5.5 km
熊本県	益城町	166.4 km	15.8 km

※下水の流下機能は確保

(雨水渠)

都道府県名	町村・流域等名	延長 (km)	被災延長 (km)
熊本県	熊本市	2.8 km	0.3 km
熊本県	益城町	1 km	0.1 km

※下水の流下機能は確保

一つの処理区における管路施設の耐震対策優先度の評価フローを図1に示す。被災による下水道機能への直接的被害である「システム信頼度」と下水道被害による二次的被害である「社会的影響度」について、被害発生確率を加味した指標の定量化を行ったほか、「事後対応の可否判断」に関する検討を行った。

「システム信頼度」は、任意のリンク（路線）の耐震化による最下流点での到達流量の向上寄与度を算定し、これに被害確率を乗ずるものとした。防災拠点や救急病院など地震後に人や物が集積する場所は、下水道サービスを確実に提供するため、流量の補正を行った。図2は、流量補正後の路線ごとの優先順位を表したものである。

「社会的影響度」は、緊急輸送路等に埋設されている管路が被災した場合に道路陥没やマンホール浮上による交通障害を誘発し、災害時における住民の避難や人命救助、緊急物資の輸送等に重大な支障が生じることから、道路通行止めによる移動時間の増加等を貨幣換算して交通途絶による波及被害額を算出し、これに被害確率を乗じた。波及被害額は、道路交通センサスの車種別時間帯交通量や過去地震時の調査結果などを元に算定した。

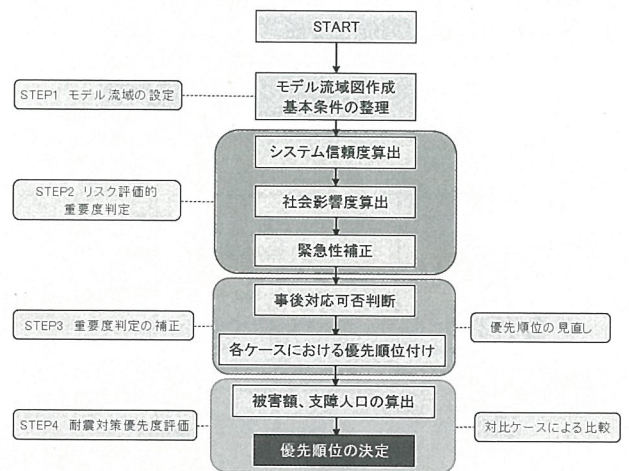


図1 下水道管路施設の耐震対策優先度の評価フロー

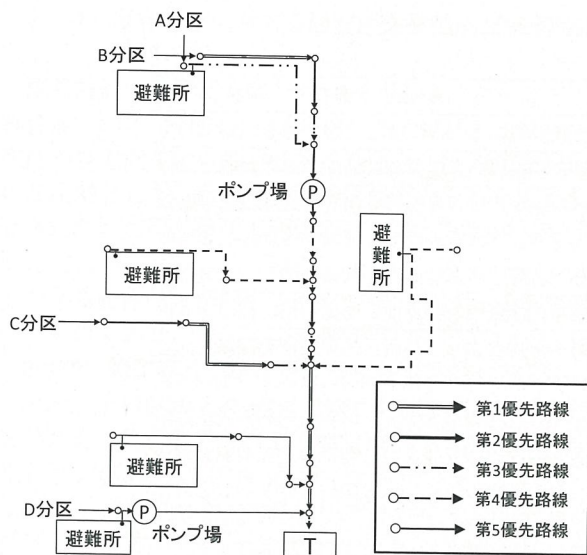


図2 システム信頼度の算出結果 (イメージ)

「事後対応の可否判断」は、東日本大震災時に被害を最小限に抑えるため実施した事後対策（仮設ポンプ設置、緊急放流等）の実態を踏まえ、施工規模、流量、土被り、道路種別等を設定し、事後対応困難な路線の優先度を高く評価した。

これらの考え方により、ある都市のモデル処理区において耐震化を実施する場合の工事完了までの期間の下水道利用支障人口を試算した。その結果、この手法により最適な耐震対策優先順位により耐震化を行うと、従前の手法よりも耐震化進捗率が100%になるまでの間の支障人口が削減されることとなった（図3）。

すなわち、防災拠点の存在、社会的影響度、事後対応の可否等の要因を考慮した最適な優先順位により耐震化を実施し、なおかつ下水道BCP策定および事後対応により震後対応を適切に実施することで、現行の耐震対策指針どおり重要な幹線管路を流量見合いで順位付けした場合に比して、耐震化工事完了までの期間の下水道利用支障人口を大幅に減少させることが可能となることが示された。

なお、地域の実情に合わせて各指標に重みを付けたり、耐震診断の結果や被害想定結果を反映させることで、より精度の高い評価が可能となる。

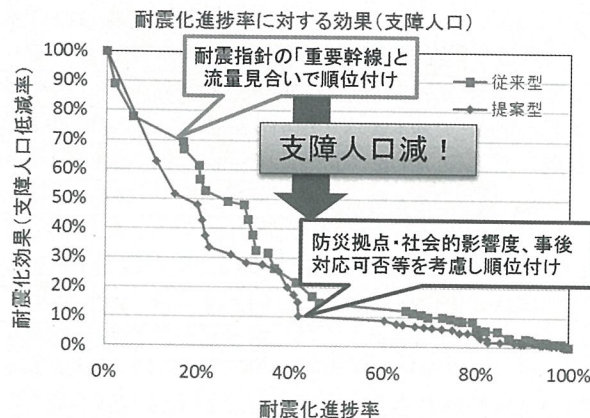


図3 モデル処理区での耐震化効果試算例

5. おわりに

下水道分野においても他のインフラ施設と同様、地震・津波対策は最重要課題である。平成27年12月に国総研下水道研究部が中心となりとりまとめた下水道技術ビジョンでは11項目のロードマップの一つとして地震・津波対策を挙げている。ここでは、適切な被害想定、耐震化・耐津波化のハード対策、既存ストック活用や広域支援体制整備等のソフト対策を組み合わせた対策手法を確立すべきであるとし、耐震・耐津波対策手法やその優先度評価手法、非常時の段階的応急水処理技術などの中期的な技術目標を提示した。

また、平成28年7月には、国、地方公共団体、研究機関、関係団体等により構成される下水道技術開発会議において、下水道技術ビジョンのロードマップ項目のうちとくに重点化して実施すべき項目である重点課題の一つとして、大規模地震を対象とした耐震対策手法、優先度評価手法が選定されたところである。

今後とも我々国総研の研究結果が南海トラフ巨大地震や首都直下地震などの大規模災害対策として有効なものとなり、国土や国民の生命・財産を災害から守るために貢献できるよう努めてまいりたい。

参考文献

- 1) 下水道地震・津波対策技術検討委員会、平成24年3月、下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書。
- 2) (公社)日本下水道協会、平成26年5月、下水道施設の耐震対策指針と解説 2014年版。