

1 研究の背景・目的

1.1 研究の背景

阪神淡路大震災以降、新潟県中越地震や中越沖地震、能登半島地震、岩手・宮城内陸地震、東日本大震災、熊本地震等、震度6を超える大地震が頻発し、下水道施設が被災する事態が相次いでいる。記憶に新しい東日本大震災においては、下水道管路600km以上、マンホール15,000基以上、下水処理場120箇所、ポンプ場112箇所が被災した¹⁾。ポンプ場及び下水処理場の被災箇所の多くは津波によるものであるが、管路被害の多くは液状化現象等によるものであり、処理場の被害が軽微であっても、処理場に至る途中で、下水の流れが滞るケースも多く発生した。

下水道管路施設が被災すると、下水道サービスの停止や、道路陥没等の2次災害が発生するなど、震後の避難や生活再建、災害復旧等に多大な影響を及ぼす恐れがあることから、下水道は、水道、電気、ガスと共に重要なライフラインとして認識されつつある。

また、内閣府中央防災会議では、近い将来発生が懸念される南海トラフ巨大地震、首都直下地震の震源モデルや被害想定などが検討²⁾され、南海トラフ巨大地震の発生規模はマグニチュード8~9、発生確率は30年以内に60~70%と言われている³⁾。

下水道施設を整備・管理する地方公共団体は、これらの状況を踏まえ、早急に施設の耐震化を進め、有事の際にも最低限の下水道の機能維持と早期に機能回復を実現させることが求められている。

しかしながら、我が国の下水道管路施設の耐震化率は、平成27年度末現在、重要な幹線（流域幹線やポンプ場・処理場に直結する幹線管路、河川・軌道下横断管路、緊急輸送路下管路、防災拠点や避難所等からの排水を受ける管路等）において46%⁴⁾と低迷している（図1-1）。

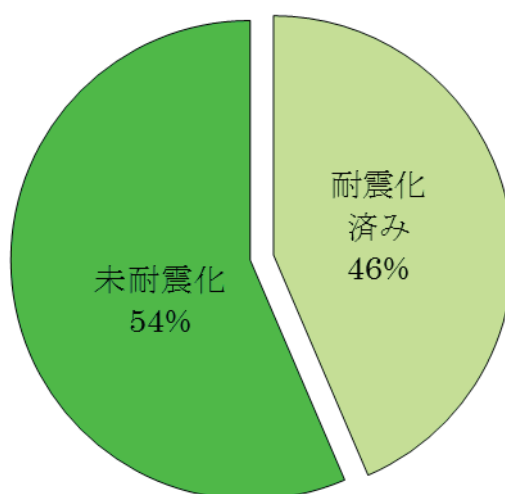


図 1-1 下水道管路の耐震化率(重要な幹線、平成27年度末時点)

これは、地方公共団体が、限られた人員、時間、予算の中で耐震化を迫られている他、下水道管路施設は大きな幹線から各家庭の排水を受け持つ枝線に至るまで、多様な土地利用や設置条件の異なる膨大な延長が埋設されていることから、全ての管路施設の耐震性能を同一レベルで確保することが費用対効果の面から現実的に困難なためである。

このため、被害想定等に基づき、守るべき施設を特定するなど、耐震対策の優先順位を定めて効率的に実施することが求められている。下水道施設の耐震対策指針と解説⁵⁾（以下、耐震指針）では、管路施設の耐震対策の優先度は、施設の重要度や想定される被害形態、被害の程度等、万一被災した場合のリスクも加味して決めることが望ましい。耐震指針では優先順位の評価指標として、①下水道機能として重要、②二次災害の影響が大きい、③老朽化が進んでいる、④被害を受けやすい、⑤耐震性能が低い、⑥津波による浸水が想定される、を示しこれらを総合的に判断するとしているが、リスク等の評価に必要な指標の定量化・重み付けは事例が少なく、壊れ難いが事故時のリスクが高いといった評価指標相互でトレードオフの関係にあるなど、優先度判断を悩ませるケースも存在する。

また、近年の防災の基本的な考え方は、施設損傷等の被害を未然に防止するための事前耐震対策（施設耐震化）と、二次災害の拡大を防止するための事後対応（迅速な応急復旧）の組み合わせであり、事後対応を最大限活用しつつ事前対策を進め、その最適な組み合わせにより、全体被害の最少化を図ることが望ましいとされている（図 1-2）¹⁾。

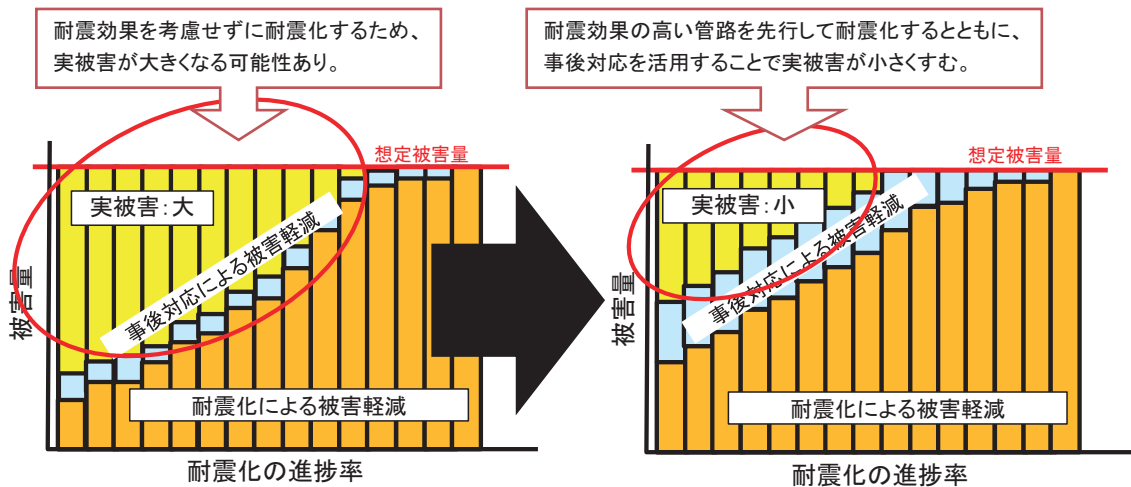


図 1-2 事後対応の活用による全体被害の最小化イメージ

1.2 研究目的と内容

前述の通り、迫る大地震への備えが急務である一方、逼迫する財政等の制約から、短期間に全ての管路施設の耐震性能を同一レベルで確保することは非常に困難な状況である。このため、既設下水道管路の耐震化にあたっては、耐震化の優先順位を設定した上で、効率的に整備を推進していく必要がある。

耐震指針⁵⁾においては、重要度や設置条件の異なる幹線や枝線を一律の耐震性能で整備することは非現実的であるため、管路施設の重要度、想定される被害形態、被害の程度、万一被災した場合のリスクを分析した上で、「重要な幹線等」と「その他の管路」に区分し、要求される耐震性能に差をつけることが示されている。このうち「重要な幹線等」とは、下水を収集し輸送する上での根幹的施設で、耐震性能としてレベル1地震動に対して設計流下能力を確保し、レベル2地震動に対しては流下能力を確保することとされており、特に、人命を守ることに重きを置いた避難機能確保と、市街地での汚水溢水を防止し疫病蔓延等の疫学的リスクを回避する安全衛生機能確保が必要な施設を「守るべき施設」として、下記の①～⑦を例示している。

①流域幹線の管路

②ポンプ場・処理場に直結する幹線管路

③河川・軌道を横断し、2次被害のある管路 及び 復旧が極めて困難な管路

④被災時に重要な交通機能への障害を及ぼす恐れのある緊急輸送路等に埋設されている管路

⑤相当広範囲の排水区を受け持つ吐き口に直結する幹線管路

⑥防災拠点や避難所、地域防災対策上必要な施設からの排水を受ける管路

⑦その他、下水を流下収集させる機能面から見て、システムとして重要な管路

さらに、「重要な幹線等」の中でも、特に優先度が高い管路を「特に重要な幹線」として下記⑧～⑩を設定している。

⑧処理場と災害対策本部施設や特に大規模な広域避難所等の防災拠点を繋ぐ管路

⑨軌道や緊急輸送路等下の埋設管路

⑩既存施設を活用したネットワーク化などのシステム的な対応管路

⑪相当広範囲の排水区を受け持つ吐き口に直結する幹線管路

耐震化を促進する地方公共団体は、上記の施設に対し耐震化を進めていくことになるが、先に触れたように予算等の制約があるため、一度に全ての施設を耐震化することができない。このため、守るべき施設の中でも優先順位を決めて順序よく効率的に耐震化を進める必要があり、耐震指針では優先順位の設定方法として、下記①～⑥の評価軸を総合的に判断することとしている。

①下水道機能として重要な管路（施設重要度）

②二次災害の影響が大きい管路（社会的影響度）

③老朽化の進んでいる管路（緊急度）

④被害を受けやすい管路（被害度）

⑤耐震性能が低い管路（耐震性能）

⑥津波による浸水が想定される管路（津波被害度）

しかしながら、総合的な判断には、各評価軸を判定するための指標の定義及び定量化が必要であり、評価軸毎の重みは地方公共団体の地域特性に左右されるため、優先順位の決定は容易ではない。また、処理場直結幹線は非常に重要で壊れたときの事故リスクが高い（施設重要度：高、社会的影響度：高）が、大口径（シールド）で地下深くに埋設されることから壊れにくく（被害度：低）、流量が多く止水しての耐震化工事が非常に困難といった、評価軸相互でトレードオフの関係にあるケースが存在することもあり、判断をより複雑にする一因になっている。

このため、限られた予算等の制約条件下で、必要不可欠な耐震対策を施し、下水道施設に被害が発生しても最低限の機能維持（水洗トイレの利用、溢水防止）と早期の機能回復を実現させるために、事前耐震対策・事後応急対応それぞれの長所を生かした役割分担をした上で、下水道施設の耐震化優先順位を決定する耐震化優先度評価について、**図 1-3** に示す研究フローに従い検討した。

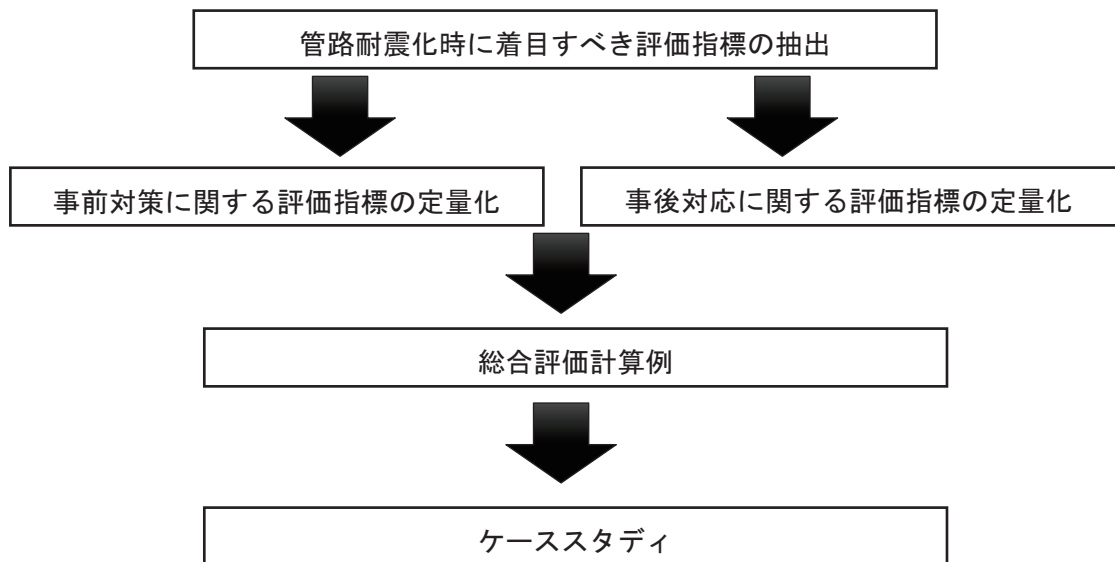


図 1-3 耐震化優先度評価に関する研究フロー

- 研究課題 : 大規模地震災害時における最低限の下水道機能維持・早期復旧に関する研究
- 研究期間 : 平成 25 年度～平成 27 年度 (3 カ年)
- 研究予算 : 技術開発推進費 (事項立て)
- 備考 : プロジェクト研究として実施

1.3 報告書の構成

(1) 管路耐震化時に着目すべき評価指標の抽出【第2章】

耐震化の優先度を評価するための評価軸には、下水道機能上の重要度や万が一施設が被災したときの生活や都市活動に与える社会的影響度、下水道管路施設の被害の起き易さを表す被害度、既に劣化が進んでいるなどの時間的対応の必要性を表す緊急度が耐震指針に示されている。他には、耐震化工事の技術的困難度や現有耐震性能の大きさを表す指標、損傷したときの復旧費用等が考えられ、事後対応を最大限活用する観点では、応急復旧のし易さを表す指標も想定される。

これらの複数の評価軸を用いて耐震化を実施する必要がある管路の優先度を評価しようとする場合、評価軸毎に配分した点数に各評価軸の重みを乗じた上で合算し、優先順位を付けるリスク評価を組み込んだ点数計算法が最も簡易な方法であるが、評価軸が多くなると、トレードオフ関係にある評価軸の評価や評価軸相互間の重み付けが複雑になり、適正な評価がなされているかの判断が難しくなる恐れがある。

このため、各評価軸の中で、最も被害の最小化に貢献するものを抽出することが極めて重要であり、様々な指標に関する情報を収集整理した上で、下水道管路耐震化の優先度評価に有用な指標の抽出を行った。

(2) 事前対策に関する評価指標の定量化【第3章】

施設の耐震化に長期の期間を要する場合、事前対策（ハード対策）と事後対応（ソフト対策、応急復旧など）を組み合わせ、被害の最小化を図る必要がある。ここでは、事前対策（ハード対策）の観点から、優先順位付けに必要となる評価指標について、定量化（定式化）、を行った。

定量化は、優先順位付け計算の簡便性を向上させる観点から、耐震化を実施する必要がある管路の管種や口径、管路延長、土被りといった手に入りやすい基礎的な属性情報をパラメータとし、各指標の大小が計算できるよう配慮した。

評価指標の内、被害確率に関する詳細な検討資料を【参考資料-2】に示した。

(3) 事後対応の可否判断に関する定量化【第4章】

長期にわたる耐震化工事の途中で地震に見舞われた場合、事前対策が間に合わない路線については、迅速な事後対応による被害の抑制を図る必要がある。言い換えれば、事後対応が困難な路線を優先的に整備し、事後対応が容易な路線は優先順位を下げ、整備することで、全体リスクが軽減し、耐震化の着手から完了までの期間における全体最適化が図られるものと考えられる。ここでは、事後対応の可否判断について定量化（定式化）を行った。

(4) 総合評価計算例【第5章】

(2) 及び(3)の指標を用いた、最終的な耐震化優先順位を決定するための計算例を示すとともに、モデル都市において耐震化優先度評価を試行し、効果の検証を行った。

(5) 参考資料

本研究の一環で収集、検討した資料等を参考資料として添付した。

参考資料－1 下水道管路の耐震対策工事費用

参考資料－2 被害発生確率に関する検討資料

参考資料－3 下水道管路地震被害データベース

参考資料－4 下水道即時地震被害推定システム

参考資料－1は、下水道管路の耐震対策工法別の概算工事費用であり、将来的に必要な耐震化のための概算費用の把握や、耐震計画の策定の際に活用できる。

参考資料－2は、第3章の事前対策に関する評価指標の定量化で設定した被害発生確率の設定根拠資料である。

参考資料－3は、被害発生確率の設定に用いた元データを収録したデータベースであり、地震発生時の被害想定分析等に活用が可能である。

参考資料－4は、地震発生直後の情報の空白期において、支援の目安となる概算被害量を算定する(被害の相場観を把握する)ことで、支援者側の初動体制をサポートするための被害推定システムに関する資料である。