

下水道地震被害即時推定システムの精度向上

山路昂央・平出亮輔・濱田知幸・岡安祐司

1. はじめに

近年、大地震が頻発しており、南海トラフ地震等の広域で甚大な被害が予想される巨大地震の発生が危惧されている。下水道は公衆衛生の向上等に貢献する重要なライフラインの一つであるため、下水道の被災は市民生活等に大きな影響を及ぼす。また、管路やマンホールは道路下に埋設されていることが多いため、地震発生時に下水道管路施設の破損や変位に伴う交通障害等を、地震発生後の調査により早急に把握することが重要である。そのため、下水道分野では大地震が発生した際、各地方公共団体において下水道施設の被害状況を把握するために調査を行い、必要に応じて応急復旧を行う場合がある。しかしながら、発災直後は人命救助が最優先であり、さらに住民対応や職員自身の被災等により、下水道管路施設の点検に必要な人員が確保できず、被災情報の把握が難しい状況が続く可能性がある。このため、発災直後は支援の準備に入る都道府県の対策本部等へ被災現場の情報が届かない“情報の空白期”が発生する。

そこで、国土交通省国土技術政策総合研究所(以下「国総研」という。)では、大地震が発生した直後においても各地方公共団体の概算被災管路延長と必要調査人数を推定し、迅速な支援体制構築を可能

とする下水道地震被害即時推定システム(以下「本システム」という。)の開発を進めている。

しかし、本システムでは、計測震度別の被災率等の設定値について、近年発生した地震の被害傾向が含まれていない等の課題があった。そこで、これまで国総研が地震発災後に行ってきた下水道管路施設の被害傾向分析(近年の地震も含む)等を用いて、本システムにおける設定値の見直しを行ったので、その結果について報告する。

2. 下水道地震被害即時推定システム

本システムは情報の空白期において支援の目安となる概算被災管路延長及び必要調査人数を算出する事で、各地方公共団体における体制構築や支援機関の初動体制をサポートするものである(図-1を参照)。算出方法は、本システム(Microsoft Excel)に各地方公共団体の震度情報を入力することで対象地方公共団体の管種、液状化危険度もしくはPL値の情報から被災率(被災延長/布設総延長)を決定し、各地方公共団体の管路ごと(コンクリート管・陶管、塩ビ管)の布設総延長より被災延長を算定する。また、事前に本システムには各地方公共団体における布設総延長(「下水道統計」(日本下水道協会)をベースに作成)、代表となる液状化危険度(A~Dランク)、点検編成人数(過去の地震時の実績を整理したもの)



図-1 下水道地震被害即時推定システム活用フロー

表-1 下水道地震被害即時推定システムにおける検討項目及び現状の考え方及び改善点

検討項目	現状	改善点
① 計測震度別の被災率	「大規模地震による被害想定手法および想定結果の活用に関するマニュアル」(平成18年3月)で設定した震度階級別により推定被災延長を算出。	本システムにおける震度5強以下の被災率を一律0%に変更。
② 布設年度別被災延長と被災率	対象管路延長が決定する項目である。現状の被害推定システムでは1997年以前施工の管路延長が被災すると設定。	埋戻し土の対策工法が示される2006年度以前の管路が被災するものとして設定を変更。
③ 微地形区分別の被災延長	PL値は内閣府が公表している「南海トラフ巨大地震の被害想定について(第一次報告)」の設定値を使用。PL値が不明な場合は「下水道の地震対策マニュアル 2014年版」(日本下水道協会)および「東北地方整備局における即時被害予測システム(SATURN)の開発」を参考に微地形区分から液状化危険度(A~D)に読み替え。	谷底低地、ローム台地、火山山麓地の液状化危険度ランクをAに変更。
④ 必要編成人数	1次調(応急復旧及び2次調査の必要性の判断)査及び2次調査(本復旧工事の必要性判定及び災害査定資料作成の必要な情報の確保)の日進量は東日本大震災で被災した地方公共団体の実績値を採用。	1班あたりの調査日進量及び必要編成人数の整理を行った結果、1次調査日進量を5km、2次調査日進量を0.4km、1班あたりの編成人数を5名に変更。
⑤ 使用する地震情報	地震情報取得プログラムを用いて防災科学技術研究所(防災科研)HP上の強震観測網(K-NET、KiK-net)の公開データより取得。	気象庁が発表する震度でも算出が行えるように改良。

表-2 液状化危険度別、震度階級別、管種別の平均被災率(%)

管種	液状化危険度	PL値 計測震度 基準値	震度階級				
			5弱	5強	6弱	6強	7
塩ビ管 陶管	A~D	ALL	0.0(1.0)	0.0(2.3)	5.1	11.3	24.8
鉄筋コン クリート 管他	A	15<PL	0.0(0.6)	0.0(1.3)	3.0	6.5	14.5
	B	5<PL≤15	0.0(0.5)	0.0(1.0)	2.2	4.8	10.7
	C	0<PL≤5	0.0(0.4)	0.0(0.9)	2.0	4.5	9.8
	D	PL=0	0.0(0.4)	0.0(0.9)	1.9	4.2	9.2

※()内の数値は旧システムにおける被災率である。

表-3 最大震度別における各震度別の被災率

震度	被災率(%)		
	北海道胆振東部地震	最大震度7の地震(平均)	最大震度6強及び6弱の地震(平均)
7	20.1	6.4	
6強	7.8	2.6	2.0
6弱	0.1	0.5	0.2
5強	0.2	0.2	0.0
備考	H30年北海道胆振東部地震単独(5自治体)の被災率	阪神・淡路大震災以降で最大震度7を記録した地震(過去)の平均被災率	阪神淡路大震災以降で最大震度6強及び6弱を記録した地震(過去)の平均被災率

※ 阪神・淡路大震災(1995)及び東日本大震災(2011)は除く。

を設定している。また、本システムによる被災率の算出は地震発生後に発表される国立研究開発法人防災科学技術研究所(以下「防災科研」という。)・強震観測網(K-NET、KiK-net)を基にデータを読み込み、地方公共団体ごとに自動計算することも可能である。

3. 下水道地震被害即害推定システムの精度及び利便性の向上に関する検討

本検討においては、本システムの精度及び利便性を向上させることを目的に、表-1に示す5つの項目について検討を行った。

3.1 計測震度別の被災率の検討(表-1①)

表-2は本システムで使用している震度階級(以下「震度」という。)別による液状化危険度ごとの管種別平均被災率を示したものである。管種別平均被災率は阪神・淡路大震災及び新潟県中越地震を整理して算出されており、震度5弱以上で被災率が設定されていたり。しかし、平成30年北海道胆振東部地震(以下「本地震」という。)、平成15年(2003年)十勝沖地震以降に発生した最大震度7の地震(被災原因の特定が困難な東日本大震災(2011年)を除く)と最大震度6弱及び6強を計測した地震における最大震度別の被災率を整理した結果(表-3参照)、震度5強以下での被災率は概ね0%であったため、本システムにおける震度5強以下の被災率を0%に変更した。

3.2 布設年度別の被災率の検討(表-1②)

これまで本システムでは、下水道施設の耐震対策と解説の改定があった1997年を基準に、それ以前に施工された管路を未耐震としていた。なお、1997年の改定は阪神・淡路大震災を受けて工学的な解析により耐震設計の考え方が示された。設計対象地震動としてレベル1地震動(施設の供用期間内に1~2度発生する確率を有する地震)及びレベル2地震動(発生確率は低い大きな強度を持つ地震動)の2段階地震動の想定や管路については圧縮等の地震による外力を分散させる構造の考え方等が示されたため、1997年以降に施工された管路は耐震済みとしていた。しかし、図-2の本地震のデータ整理の結果、1998年度から2003年度までに施工された管路の被災率が1.9%で高い値を示した。これは、1998年から複数の地方公共団体が本格的に下水道整備を開始したが、埋戻し土の液状化対策工法の緊急提言前であったためと考えられる。また、1998年度以前の低い被災率に関しては、整備を行っていた地方公共団体が埋戻し土の締固め度を90%で施工していたことをヒアリング調査により確認した。なお、2004年度以降の被災については、液状化対策工法の未施工や施工方法の認識違い等、特殊な被災事例をヒアリング調査で確認したため、本システムでは2004年度以前の管路が被災するとして設定を変更した。

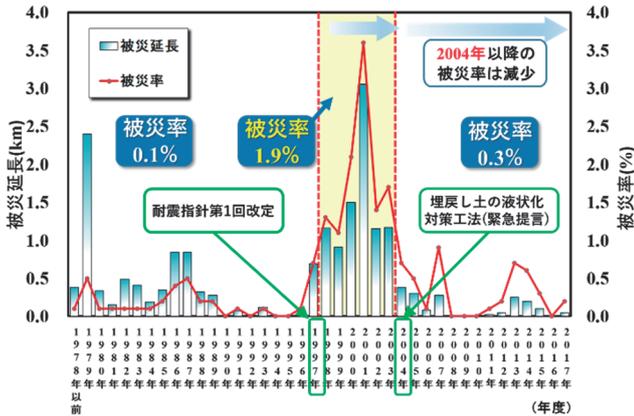


図-2 布設年度別の被災延長及び被災率

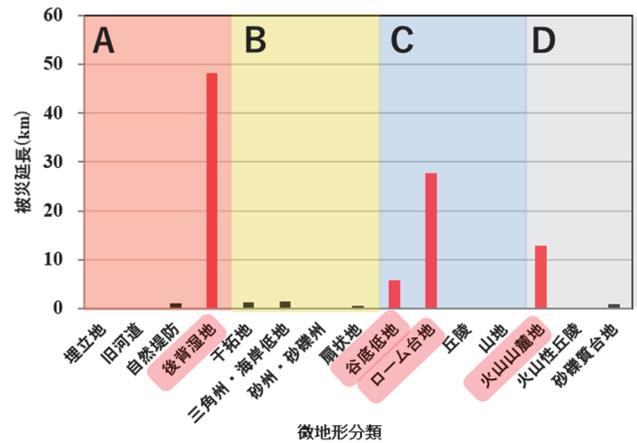


図-3 下水道管路の微地形分類別被災延長

(地盤情報：地震ハザードステーション 国立研究開発法人 防災科学技術研究所)

表-4 液状化危険度

No.	微地形区分	液状化危険度	No.	微地形区分	液状化危険度
1	埋立地	A	13	谷底低地	(C)※→A
2	旧河道・旧池沼	A	14	ローム台地	(C)※→A
3	自然堤防	A	15	丘陵	C
4	後背湿地	A	16	山地	D
5	砂州・砂丘間低地	A	17	山麓地	D
6	干拓地	B	18	火山地	D
7	三角洲・海岸低地	B	19	火山山麓地	(D)※→A
8	砂丘	B	20	火山性丘陵	D
9	砂州・砂礫州	B	21	岩石台地	D
10	河原	B	22	砂礫質台地	D
11	河道・水路	B	23	礫・岩礁	D
12	扇状地	B	24	湖沼	D

※ () 内は旧システムで設定されている危険度である。

表-5 北海道胆振東部地震及び熊本地震の震度

地震発生日	被災団体	気象庁発表震度	防災科研計測震度	
2018/9/6	北海道胆振東部地震	厚真町	7	
		安平町	6強	6強 (6.50)
		むかわ町	6強	6弱 (5.97)
		日高町	6弱	5強 (5.50)
		札幌市	5強	5弱 (5.00)
2016/4/16	熊本地震	益城町	7	6強 (6.50)
		熊本市	6強	6弱 (6.00)
		宇土市	6強	6弱 (6.20)
		宇城市	6強	—
		嘉島町	6強	6弱 (6.00)
		八代北部流域	6強	5強 (5.45)
		阿蘇市	6弱	—
		御船町	6弱	6強 (6.25)

3.3 微地形区分別の液状化危険度の検討(表-1③)

図-3は本地震及び平成28年(2016年)熊本地震³⁾の微地形区分別の被災延長を整理したものである。本システムにおいて最も液状化危険度が高いAに位置付けられている後背湿地での被災が多いものの、液状化危険度が低いC及びDにおいても被災が顕著であるため、谷底低地、ローム台地、火山山麓地の液状化危険度ランクをAに変更した(表-4参照)。なお、今回の集計では被災延長のみを対象としており、より明確に被災傾向を掴むためには、直接的な被災しやすい条件を示す指標である被災率を算出する必要がある。今後は被災率を把握し、必要に応じて震度ごとに液状化危険度や管種別の被災率を見直し、本システムの精度向上に繋げていきたい。

3.4 必要編成人数の検討(表-1④)

過去の大規模地震に関する文献等では被災時の調査人数などは公表されていない。そのため、現状では1次調査(応急復旧及び2次調査の必要性の判断)及び2次調査(本復旧工事の必要性判定及び災害査定資料作成の必要な情報の確保)の日進量は東日本大震災で被災した地方公共団体の実績値を採用し、1

次調査及び2次調査の日進量を4km、1班当たりの編成人数を4名としている。本検討においては本地震等で被災した17の地方公共団体を対象にアンケート調査を行い、1班あたりの調査日進量及び必要編成人数の整理を行った結果、1次調査日進量を5km、2次調査日進量を0.4kmとし、1班当たりの編成人数を5名に変更した。

3.5 使用する地震情報の検討(表-1⑤)

これまでの計算は地震発生後に発表される防災科研・強震観測網データを基に被災率を算出していたが、全ての地方公共団体に観測地点が設置されていない場合や同じ地方公共団体においても防災科研と気象庁の発表震度に相違がみられる(表-5参照)。そこで、本システムでは気象庁が発表する震度でも被災延長の算出が行えるように改良を行った。

4. 下水道地震被害即害推定システムの精度検証

本システムの精度検証は、過去の大地震で被災した2つの地方公共団体を抽出して行った。なお、本システムは被災規模の概算を推定することを目的としていることから、被災箇所の特定までは考慮し

ていない。

本システムの精度は地方公共団体Aで6%から46%、地方公共団体Bで52%から98%となり、どちらにおいても精度は上昇した(表-6参照)。さらに震度の詳細を確認すると、地方公共団体Aにおいて震度(代表値)と推定震度分布(防災科研クライシスレスポンスサイト⁴⁾)に相違があったため、これまで市町村単位で設定していた震度を処理区ごとに変更して計算を行った。その結果、本システムにより算定された被災延長は5.19kmとなり、その精度は約76%に上昇した。

5. まとめ

本研究は、地震発生時における迅速な初動体制構築のための本システムの精度向上及び利便性の向上を目的に5つの項目について検討を行った。精度向上では、過去の地震における震度別被災率の検討により、これまで考慮してきた震度5弱及び5強における被災率を0%とした。また、対象とする管路の布設年度は北海道胆振東部地震において埋戻し土の液状化対策工法が緊急提言される2003年度までの管路で被災があったことから、推定の対象となる未耐震管路の設定を1997年度以前から2004年以前に変更した。さらに、微地形分類では北海道胆振東部地震及び熊本地震の被災傾向から谷底低地、ローム台地、火山山麓地の液状化危険度をAに変更した。さらに、利便性の向上を目的に気象庁発表震度でも被災延長の算出を可能とするように改良を行った。

以上を踏まえて本システムの精度の検証を行った結果、精度は地方公共団体Aで6%から46%、地方公共団体Bにおいても52%から98%と大きく向上した。また、地方公共団体Aにおいては推定震度分

表-6 計算値と実績値の比較検証

項目	単位	地方公共団体A		地方公共団体B	
		改良前	改良後	改良前	改良後
(A) 計測震度	—	6強		7	
(B) 液状化危険度	—	C	A	D	A
(C) 本システムによる被災延長	(km)	0.39	3.39	11.45	21.54
(D) 実地震被災延長	(km)	6.84		21.94	
(E) 精度 (C) ÷ (D) × 100	(%)	6	46	52	98

※ (C)及び(D)はコンクリート管・塩ビ管・陶管の合計

布(防災科研クライシスレスポンスサイト)を用いて処理区ごとに震度設定を行い、再度計算を行った結果、その精度は約76%であった。今後は、推定震度分布の活用や微地形区分別の被災率を整理すること等により、さらなる精度向上に努めていきたい。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、アンケート調査や関連資料の提供等にご協力いただいた地方公共団体の皆様に、心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大規模地震による下水道被害想定手法について、第1回大規模地震による下水道被害想定委員会、2005年12月
https://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/info/seisaku_kenkyu/jishinhigai.html
- 2) 下水道施設の耐震対策指針と解説－1997年版－、社団法人日本下水道協会、1997年8月25日発行
- 3) 平成28年熊本地震における下水道管路施設被災の特徴、国土技術政策総合研究所資料、No.997、2017年11月
- 4) 防災科研クライシスレスポンスサイト、国立研究開発法人防災科学技術研究所
<https://crs.bosai.go.jp/>

山路昂央



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研究室 交流研究員
YAMAJI Takahiro

平出亮輔



研究当時 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研究室研究官、現 国土交通省関東地方整備局河川部水災害対策センター水災害調査係長
HIRAIDE Ryosuke

濱田知幸



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研究室 研究官
HAMADA Tomoyuki

岡安祐司



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研究室長、博士(工学)
Dr. OKAYASU Yuji