

## 2. 下水道施設の戦略的な耐震対策優先度評価手法に関する調査

下水道機能復旧研究官 内田 勉  
下水道研究室 室長 横田 敏宏  
主任研究官 深谷 渉

### 1. はじめに

下水道施設の耐震対策に関する基準等は、大規模地震の度に見直されており、兵庫県南部地震では、それまでの設計地震動をはるかに超える地震動が観測されたことから 1997 年版下水道施設の耐震対策指針（以下 1997 年版指針）<sup>1)</sup> に新たにレベル 2 地震動が設定されるとともに下水道施設の液状化対策が記載され、これ以降の指針に基づき建設された下水道施設では地震動による致命的な被害は報告されていない。しかし、1997 年版指針発刊以前に建設された下水道施設は現在想定されている地震動に対する耐震対策がなされておらず、東日本大震災でもこれらの下水道施設に甚大な被害が生じ社会生活に大きな影響を与えた。<sup>2)</sup>

一方、内閣府中央防災会議において、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され、ライフラインの一つである下水道施設も下水道サービスの停止等の影響が想定されている<sup>3)</sup>。このため、耐震化を促進し、地震発生時に下水道施設として最低限の機能を確保できるようにする必要がある。しかし、自治体は、限られた人員、時間、逼迫した予算の中で下水道施設の耐震化を行う必要があることから、被害想定に基づく耐震対策箇所の絞り込みなどを実施し、耐震対策を効果的に行う必要がある。

本研究では、限られた予算等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）と早期に機能回復を実現させるため、迅速な応急復旧や BCP 作成に有用な被災想定精度向上に役立つ過去の大規模地震の被害情報の整理を実施するほか、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、下水道管路施設の耐震化優先順位を決定できる耐震対策優先度評価手法について検討した。

### 2. 研究方針と研究計画

本研究の構成は以下の通りである。

#### ①東日本大震災下水道管路施設被害情報収集整理【平成 25、26 年度】

東日本大震災等の管路施設被害情報を収集整理し、下水道管路施設地震被害データベースを作成し公表した。

#### ②耐震化優先度評価指標の検討【平成 26、27 年度】

①で整理した下水道管路施設被害情報等を活用し、住民生活や経済活動に与える影響を表す評価指標及びその定量化について検討した。

#### ③事前対策抽出手法の検討【平成 26 年度】

既存の事前対策・事後対応についてコストや適応範囲を整理し、事前対策と事後対応の最適な組み合わせ手法について検討した。

#### ④下水道施設の戦略的な耐震対策優先度評価手法の開発【平成 27 年度】

②、③の検討結果に基に下水道施設の耐震化優先度の評価手法として構築し、実自治体に適応させたケーススタディを実施した。

平成 26 年度の調査では、事前と事後の対策の組み合わせによる耐震対策の優先度を評価するために必要な対策困難度、被害度、社会的影響度等の事前対策評価指標と、復旧のしやすさを定量化した事後対応評価指標を設定するうえで必要となる基礎情報を収集し、整理した。

平成 27 年度は、過年度の成果を踏まえ、中小規模都市における耐震対策優先度評価に活用可能な評価手法を構築すると共に、モデル都市においてケーススタディを実施した。

### 3. 耐震化優先度評価手法の構築

#### 3. 1 耐震化優先度評価手法の基本方針

管路施設の耐震対策の優先度は、万一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、地震の大きさや損傷の程度等の発生確率に関する指標の両方を加味したリスクマネジメントの視点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、これにより全体被害の最少化を図ることが可能となる。

なお、耐震化優先度評価手法の構築にあたっては、中小規模の都市を念頭に、大都市と比較して道路及び下水道施設の重要度や被害の大きさに差が生じにくいことに留意しつつ、より簡便で地域特性を反映させやすいものを検討する。下水道管路施設の耐震対策優先度の評価フローは図-1に示す通りとし、被災による下水道機能への直接的被害（システム信頼度）と下水道被害による二次的被害（社会的影響度）の2つの指標をベースに、地震被害データベースを活用した被害発生確率を加味したリスク評価を行うほか、事後対応の可否判断の視点を加える評価方法とした。

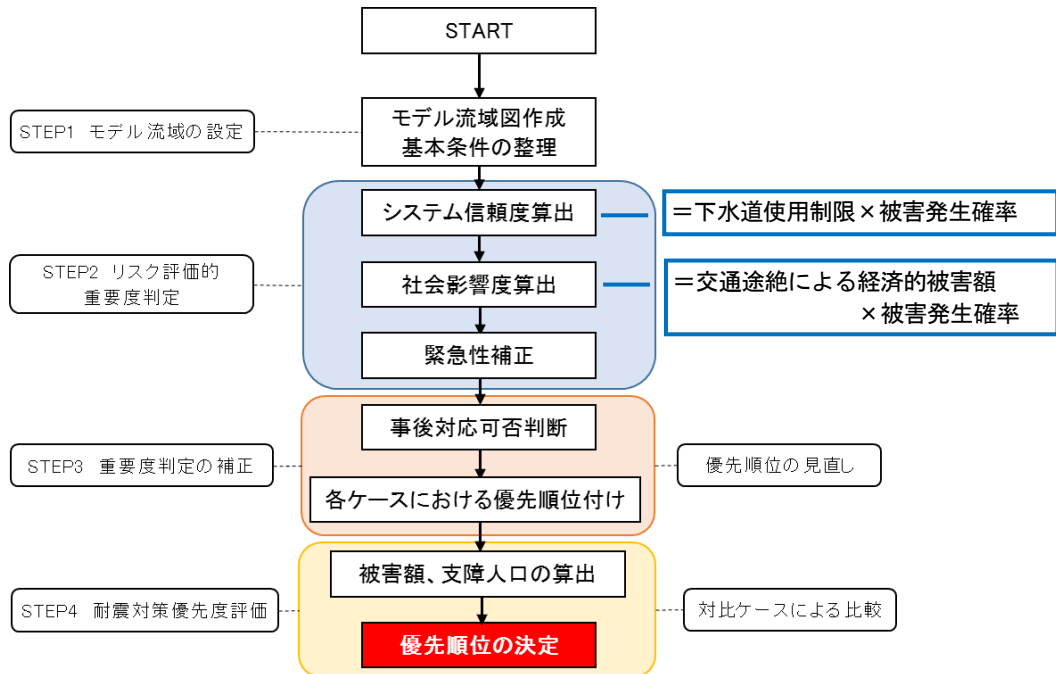


図-1 耐震対策優先度評価フロー（案）

#### 3. 2 被害発生確率の設定

地震により発生する施設被害は、施設の壊れやすさや地震時の液状化等の地盤変位のしやすさ等により変わってくる。ここでは、平成25年度成果である地震被害情報データベース<sup>4)</sup>を活用し、東日本大震災における管種・管径別被害率を表-1に整理し、液状化マップ等の整備が進んでいる箇所での活用を考慮し、管種・土被り・液状化危険度別の被害発生確率を表-2の通り整理した。実績値を用いている都合上、震度階級と被害率高低が逆転している箇所もあることに留意が必要である。また、兵庫県南部地震、新潟県中越地震のような直下型地震や、東日本大震災の東北地方のように埋戻し土による局所的な液状化にて被害を受けた地域では震度6強や7での被害が多く、東日本大震災の関東地方のように断続的な余震や広域的な液状化被害を受けた地域では震度5弱や5強での被害が大きくなる傾向にあることから、地震の特性毎に被害発生確率は異なるのが現状である。このため、被害発生確率の採用にあたっては、検討対象とする区域における想定地震に応じたデータ分析及び抽出が必要と考えられる。

表-1 震度階級・管種・管径別の被害率（東日本大震災）

管種	管径	震度階級			
		5強以下	6弱	6強	7
		5.25	5.75	6.25	6.75
塩ビ管	D ≤ 200	4.0% ~ 11.5%	3.1% ~ 20.1%	5.4% ~ 7.9%	4.0%
	200 < D ≤ 300	10.1% ~ 20.1%	1.4% ~ 8.5%	6.3% ~ 24.4%	8.9%
	300 < D ≤ 400	15.2% ~ 40.7%	3.1% ~ 20.1%	0.0% ~ 60.6%	15.1%
	400 < D < 600	15.2% ~ 40.7%	3.1% ~ 20.1%	0.0% ~ 60.6%	30.2%
	D ≥ 600	0.4%	0.9%	1.6%	2.9%
その他管	D ≤ 200	0.0% ~ 1.7%	0.0% ~ 1.6%	0.0% ~ 36.7%	7.0%
	200 < D ≤ 300	0.3% ~ 2.1%	0.0% ~ 0.5%	0.0% ~ 36.7%	7.0%
	300 < D ≤ 400	0.7% ~ 39.1%	3.6% ~ 11.7%	0.0% ~ 36.7%	7.0%
	400 < D < 600	16.6% ~ 38.8%	5.2% ~ 6.6%	0.0% ~ 36.7%	7.0%
	D ≥ 600	0.4%	0.9%	1.6%	2.9%

表-2 震度階級・管種・土被り別の被害率（東日本大震災）

管種	土被り	液化化危険度	震度階級			
			5強以下	6弱	6強	7
			5.25	5.75	6.25	6.75
塩ビ管	2m未満	A	20.5%	4.0%	4.9%	10.8%
		B	13.5%	2.6%	3.2%	7.1%
		C	0.5%	0.1%	0.1%	0.3%
	2m以上3m未満	A	17.3%	16.8%	22.2%	30.2%
		B	11.4%	11.1%	14.7%	19.9%
		C	0.4%	0.4%	0.5%	0.7%
	3m以上4m未満	A	27.9%	1.2%	18.9%	25.1%
		B	18.4%	0.8%	12.5%	16.6%
		C	0.6%	0.1%	0.4%	0.6%
	4m以上	A	8.8%	16.8%	21.0%	25.0%
		B	5.8%	11.1%	13.9%	16.5%
		C	0.2%	0.4%	0.5%	0.5%
その他管	2m未満	A	6.2%	1.3%	45.0%	27.2%
		B	4.1%	0.9%	29.7%	18.0%
		C	0.2%	0.1%	0.9%	0.6%
	2m以上3m未満	A	9.0%	3.5%	45.0%	27.2%
		B	5.9%	2.3%	29.7%	18.0%
		C	0.2%	0.1%	0.9%	0.6%
	3m以上4m未満	A	12.7%	3.5%	45.0%	27.2%
		B	8.4%	2.3%	29.7%	18.0%
		C	0.3%	0.1%	0.9%	0.6%
	4m以上	A	37.7%	3.5%	19.5%	7.6%
		B	24.9%	2.3%	12.9%	5.0%
		C	0.8%	0.1%	0.4%	0.2%

※1 着色部はデータがないため、震度階級の最大値を採用した。

### 3.3 システム信頼度の検討

被災による下水道機能への直接的被害として、管路施設の損傷や閉塞等による下水道使用制限があげられるが、被害箇所によって施設全体の機能に大きな影響を与える箇所と、小規模の影響で済むところがある。また、施設の状態（布設深度や地盤条件等）によって被害を受ける確率も異なってくる。これらの被害状態は、最終的には検討対象とする下水道管路システムの最下流点での到達流量に反映される。被害が著しいときは最下流点での到達流量は大幅にダウンし、被害程度が軽微なときには到達流量は平常時とさほど変わらないことになる。

下水流量はシステムを使用している住民の数を反映しており、下水道の使用状態を表す指標とも考えられ、この期待値をシステムの信頼性を代表させる指標として扱った。したがって、検討しようとする下水道管路システ

ムのうち、あるリンクの強化が最下流点での到達流量の向上にどの程度寄与するかを検討すれば、寄与程度の大小により、システム全体の信頼性の向上に寄与するリンクを見出すことができる<sup>5)</sup>。

ここでは、地震により被災した任意のスパングが、施設全体の下水流下機能に及ぼす影響を表す評価項目として「流量」を選定し、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、これに前述の（2）で設定した被害確率を乗じたものを流量期待値として算出し、これをシステム信頼度として定義する。なお、流量期待値  $E(\alpha)$  は、(式1)により算出し、算出の手順は下記①～④の通りとした。

$$E(\alpha) = (Q\alpha + E(\beta)) \times (1 - Pf\alpha) \dots \dots \dots (式1)$$

ここに、 $Q\alpha$  : リンク番号  $\alpha$  での発生流量  
 $E(\beta)$  : リンク番号  $\alpha$  の直上流の流量期待値の和  
 $Pf\alpha$  : リンク番号  $\alpha$  の被害確率  $= 1 - \exp(-Rf\alpha \cdot L)$   
 $Rf$  : リンク番号  $\alpha$  の被害率  
 $L$  : リンク延長 (m)

① 全てのリンクに被害確率を与える。次に、被害確率と地震前流量から地震後の流量を算出する。

管番号	土被り (m)	管種	管径 (mm)	微地形	想定震度	被害率 (%)			被害確率	延長 (m)	面積 (ha)	日最大汚水量 (m <sup>3</sup> /day)		
						管種管径	管種土被り	採用被害率				各線流量	地震(前)	地震(後)
101	7.31	その他	1200	埋立地	5+	0.4%	37.7%	37.7%	0.0831	23.00	0.00	0.000	26090.531	262.361
201	7.08	その他	1200	埋立地	5+	0.4%	37.7%	37.7%	0.3989	135.00	8.47	5.123	26000.839	281.603
202	2.63	VU	500	埋立地	5+	40.7%	17.3%	40.7%	0.9444	710.00	11.80	7.137	89.692	4.536
301	6.86	その他	1200	埋立地	5+	0.4%	37.7%	37.7%	0.2659	82.00	7.22	4.367	25982.525	459.042
302	4.05	VU	250	埋立地	5+	20.1%	8.8%	20.1%	0.0258	13.00	2.70	1.633	13.191	4.315
303	8.49	VU	200	埋立地	5+	11.5%	8.8%	11.5%	0.0983	90.00	13.60	8.255	74.440	74.440
401	6.67	その他	1200	埋立地	5+	0.4%	37.7%	37.7%	0.5260	198.00	24.00	5.515	3356.933	2735.988
402	3.45	VU	250	埋立地	5+	20.1%	27.9%	27.9%	0.6327	359.00	8.48	5.129	11.530	2.796
501	5.92	その他	1200	埋立地	5+	0.4%	37.7%	37.7%	0.8167	450.00	0.00	0.000	25963.643	1295.495
502	1.20	VU	250	埋立地	5+	20.1%	20.5%	20.5%	0.6137	464.00	10.63	6.429	6.429	2.484
601	4.68	VU	250	埋立地	5+	20.1%	8.8%	20.1%	0.7676	726.00	8.79	698.700	698.700	162.378

①地震後流量

② あるリンクで耐震対策を実施したと仮定し被害確率をゼロとする。その時の流末における流量を①で求めた地震後流量に対する期待値とする。すべてのリンクで被害確率をゼロとした場合の流量をそれぞれ算出し、最も大きい期待値の増加が見込めるリンクを最優先のリンクとする。

管番号	土被り (m)		管種 (-)		管径 (mm)		微地形 (-)		被害率 (%)			被害確率	延長 (m)	面積 (ha)	流量期待値計算 (m <sup>3</sup> /day)		
	平均	区分	管種	区分	管径	区分	管種管径	管種土被り	採用被害率	地震時	期待値				期待値増加		
101	7.31	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.0831	23.00	0.00	0.000	2876.547	1507.211
201	7.08	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.3989	135.00	8.47	5.123	3132.717	1643.812
202	2.63	B	VU	A	500	D	埋立地	A	40.7%	17.3%	40.7%	0.9444	710.00	11.80	7.137	4.536	0.000
301	6.86	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.2659	82.00	7.22	4.367	2467.530	2008.488
302	4.05	D	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	8.8%	20.1%	0.0258	13.00	2.70	1.633	4.315	0.000
303	8.49	D	VU	A	200	A	埋立地	A	11.5%	8.8%	11.5%	0.0983	90.00	13.60	8.255	74.440	0.000
401	6.67	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.5260	198.00	24.00	5.515	3356.933	2735.988
402	3.45	C	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	27.9%	27.9%	0.6327	359.00	8.48	5.129	2.796	0.000
501	5.92	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.0000	450.00	0.00	0.000	7067.622	5772.127
502	1.20	A	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	20.5%	20.5%	0.6137	464.00	10.63	6.429	2.484	0.000
601	4.68	D	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	8.8%	20.1%	0.7676	726.00	8.79	698.700	162.378	0.000

③第1優先リンクを耐震化した場合の流量

被害確率ゼロと仮定

②地震時期待値

期待値増加分 = ②地震時期待値 - ①地震後流量

③ 次に最優先のリンクを被害確率ゼロの状態にして、残りのリンクを再度1箇所ごとに被害確率をゼロの状態として流量の期待値の増加を算出する。最優先リンクを除くリンクの中で、被害確率をゼロとした場合における流量期待値の増加が最も大きいリンクを、第2優先リンクとする。

管番号	土被り (m)		管種 (-)		管径 (mm)		微地形 (-)		被害率 (%)			被害確率	延長 (m)	面積 (ha)	流量期待値計算 (m <sup>3</sup> /day)		
	平均	区分	管種	区分	管径	区分	管種管径	管種土被り	採用被害率	常時流量	地震時期待値				期待値増加分		
101	7.31	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.0831	23.00	0.00	0.000	2876.547	1507.211
201	7.08	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.3989	135.00	8.47	5.123	3132.717	1643.812
202	2.63	B	VU	A	500	D	埋立地	A	40.7%	17.3%	40.7%	0.9444	710.00	11.80	7.137	4.536	0.000
301	6.86	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.2659	82.00	7.22	4.367	5202.203	2734.673
302	4.05	D	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	8.8%	20.1%	0.0258	13.00	2.70	1.633	4.315	0.000
303	8.49	D	VU	A	200	A	埋立地	A	11.5%	8.8%	11.5%	0.0983	90.00	13.60	8.255	74.440	0.000
401	6.67	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.0000	198.00	24.00	14.115	7082.137	3725.204
402	3.45	C	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	27.9%	27.9%	0.6327	359.00	8.48	5.129	2.796	0.000
501	5.92	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.0000	450.00	0.00	0.000	7067.622	0.000
502	1.20	A	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	20.5%	20.5%	0.6137	464.00	10.63	6.429	2.484	0.000
601	4.68	D	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	8.8%	20.1%	0.7676	726.00	8.79	698.700	162.378	0.000

第1優先リンク

④地震時期待値

期待値増加分 = ④地震時期待値 - ③第1優先リンク耐震化後流量

④ 同様の操作を繰り返す。

管番号	土被り (m)		管種 (-)		管径 (mm)		微地形 (-)		被害率 (%)			被害確率	延長 (m)	面積 (ha)	流量期待値計算 (m <sup>3</sup> /day)		
	平均	区分	管種	区分	管種	区分	微地形	区分	管種管径	管種土被り	採用被災率				常時流量	地震時期待値	期待値増加分
101	7.31	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.0831	23.00	0.00	0.000	4050.331	1173.784
401	6.67	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.0000	198.00	24.00	14.515	9983.247	2901.110
402	3.45	C	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	27.9%	27.9%	0.6327	359.00	8.48	5.129	2.796	0.000
501	5.92	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.0000	450.00	0.00	0.000	9968.732	2901.110
502	1.20	A	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	20.5%	20.5%	0.0000	450.00	0.00	0.000	9968.732	2901.110
601	4.00	C	その他	B	800	E	埋立地	A	20.1%	8.8%	20.1%	0.0000	337.00	2.86	227.336	9909.293	3450.416
701	5.00	D	その他	B	800	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.0000	298.00	4.69	372.799	733.271	0.000
702	3.73	C	その他	B	800	E	埋立地	A	0.4%	12.7%	12.7%	0.0000	286.00	159.72	12523.551	9681.957	0.000
801	5.02	D	その他	B	800	E	埋立地	A	37.7%	0.6748	298.00	4.69	372.799	733.271	0.000	0.000	
802	2.53	B	その他	B	800	E	埋立地	A	9.0%	0.2269	286.00	159.72	12523.551	9681.957	0.000	0.000	

期待値増加分 = n 番目の地震時期待値 - n-1 番目の耐震化後流量

また、防災拠点や救急病院といった震後に人や物が一時的に集積する場所は、下水道サービスを確実に提供する必要があるため、特定拠点に重点を置く場合には、震後に特定拠点の排水量が他の地域よりもかなり多くなることを想定して流量の補正を行うものとした。

被災後の下水量は、ライフラインの復旧や営業活動の回復等に伴い経時的に増加するものと考え、被災直後、避難所へ移動または帰宅した数日間（～1 日後）、水道やガス等のライフラインが回復するまでの間（1 週間後）、企業等の営業活動の再開以降（1 ヶ月後）と 4 段階に分けて、人口、汚水量を設定した（表-3）。

各種ライフラインの復旧率については、中央防災会議の「南海トラフ巨大地震の被害想定について」<sup>3)</sup>の被害想定結果を参考としたが、津波被害による影響も含まれていることから、地震のみの被害である「東海地震、東海・東南海地震、東海・東南海・南海地震の被害想定」や「首都直下地震の被害想定」を使用した。使用水量の割合は東京都水道局の実態調査結果<sup>6)</sup>等を参考に設定した。

表-3 被災後の水量設定の設定例

項目	第 1 段階	第 2 段階	第 3 段階	第 4 段階
	被災直後	避難所等へ移動	ライフライン復旧	営業活動再開
	—	～1 日後	1 週間後	1 ヶ月後
人口	—	企業等の活動停止中の処理人口を対象	同左	企業等の活動再開による処理人口を対象
		自宅での居住率は 40%（残りは避難所）	自宅での居住率は 60%（残りは避難所）	自宅での居住率は 80%（残りは避難所）
生活污水	×	し尿のみ 水道、ガスが使用不可	し尿・雑排水 復旧率：水道 42%、 ガス 21%	し尿・雑排水 復旧率：水道 93%、 ガス 95%
営業污水	×	×	×	復旧率：水道 93%
工場排水	×	×	×	大規模工場から排水 復旧率：水道 93%
その他	×	×	×	大規模工場から排水 復旧率：水道 93%
地下水	計画地下水量相当が流入	同左	同左	同左

### 3. 4 社会影響度の検討

社会影響度とは、任意スパンが地震により被災した際に生じるそのポイントにおける社会的な影響の大きさを表す評価項目である。被災時においては、下水道施設の機能低下・停止による住民や社会に与える影響を最小限に留めることであり、汚水管路施設においては「交通機能の確保」、「汚水溢水の解消」を最優先に取り組まなければならない社会的に影響の大きい項目である。

ここでは、緊急輸送路等に埋設されている下水道管きょ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（交通途絶による経済的被害額）、これに被害発生確率を乗じたものを社会影響度とした。経済的被害額は、過年度成果<sup>8)</sup>を参考に、工事時間帯を想定し（国道・県道は夜間工事、市道・町道は昼間工事）、平成22年度道路交通センサスの車種別時間帯交通量などを影響交通量として抽出した。

東日本大震災における経済的被害額を1箇所・1日あたりに換算して整理すると、図-2の通りとなる。国道・県道・市道などの道路区分や震度階級の大きさに関係なく、下水道管路施設被害による道路陥没等により交通障害が発生し、経済的被害額は被害延長1箇所・1日あたり経済的被害額と道路幅員による近似式で定量化した。

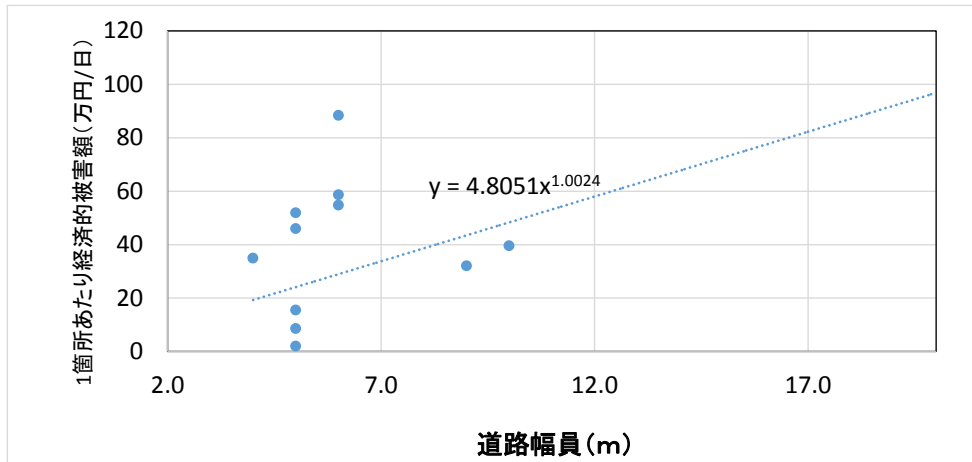


図-2 経済的被害額と道路幅員

相関係数の高かった線形近似による近似曲線を採用すると、社会的被害額は道路幅員に応じて（式2）の通り算出が可能となる。よって社会影響度は、上述の社会的被害額に被害発生確率を乗じて算出を行うものとした。

$$Y = 4.8051 x^{1.0024} \quad \dots \dots \dots \quad (式2)$$

ここに、 X : 道路幅員 (m)  
 Y : 1箇所あたり経済的被害額 (万円/日)

### 3.5 緊急性補正の検討

管路施設の不具合に伴う被害の発生確率は、管路施設の劣化状態の影響を受ける可能性がある。劣化等による被害発生確率を直接的に算定することは難しいが、施設属性と不具合の発生状況との関係をデータ分析し定式化した、不具合発生確率<sup>9)</sup>や健全率曲線<sup>10)</sup>を用いることで経年的な劣化による被害の受けやすさを考慮することができると考える。また、最も単純な考え方として、経年的劣化が標準耐用年数50年まで直線的に進行するものとして評価する方法もある。

### 3.6 事後対応可否判断の検討

耐震化手法として、事前対策（耐震化）のみならず、事後対応を効果的に活用しようという観点から、事後対応が容易なスパンについては優先順位を低く見直すなどの対応が考えられる。事後対応の方法としては、東日本大震災での対応実績を踏まえると、近隣マンホールへのバイパスや公共用水域への放流を行うための水中ポンプ投入や仮設配管設置、バキューム車での処理場等への汚水運搬がある。

これらの事後対応の評価には、対象スパンにおける事後対応の可否判断が行えるような判断基準が必要であることから、水中ポンプ投入方式および仮設配管方式の採用判断基準について検討を行った。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、表-4に示す通り、対応可能な施工規模・流量等を設定し、事後対応困難な路線の優先度を高く評価した。

表-4 事後対応の可否判断例

判定項目		事後対応困難	事後対応容易
施工規模	工事費用	500万円以上	500万円未満
	人口密度	1,000人/km <sup>2</sup> 以上	1,000人/km <sup>2</sup> 未満
	管径	φ600mm以上	φ600mm未満
流量		2.0m <sup>3</sup> /分超え	2.0m <sup>3</sup> /分以下
土被り		3.0m以上	3.0m未満
道路種別		主要道路	一般道路

### 3.7 総合評価

耐震対策優先度判定における評価点数は、上述の検討結果を踏まえて、システム信頼度、社会影響度等の各評価指標別に点数を与えて、これらの点数を加・乗算して、耐震化優先度の高さを表わす点数を求めるものとした。

総合評価 = Σ {①システム信頼度、②社会影響度 (管路施設重要度 + 交通途絶による影響)、③緊急性補正、④事後対応可否判断}

#### ①システム信頼度

システム信頼度の評価点数は、システム信頼度における耐震対策優先度順位に応じて設定した。ここでは、上位20%までを5点、40%までを4点、60%までを3点と優先度ランクに応じて5段階に区分した。

#### ②社会影響度

社会影響度は、社会的影響からみた管路施設の優先順位および被災時の交通途絶による経済的被害額により算出し、評価点数は以下に示すとおり設定した。

##### i) 社会的影響からみた優先順位

下水道施設の耐震対策指針と解説-2014年版<sup>11)</sup>では、耐震性能不足と想定される管きょが地震により破損した場合の社会活動に及ぼす影響の大きさを踏まえ、耐震化を優先的に行うべき重要な施設を「重要な幹線」として位置づけている。このうち、下水道施設の破損に伴う道路陥没等による交通障害、復旧に時間を要し鉄道手段途絶による社会的影響の大きさ、防災拠点・避難所運営への影響の大きさを勘案し、軌道や緊急輸送路等下の管きょ、防災拠点・避難所より下流の管きょ、河川を横断する管きょを「特に重要な幹線等」と位置づけている。このことから、「特に重要な幹線等」は5点、「重要な幹線等」は3点、「その他の管路」は0点に設定した (表-5 参照)。

表-5 社会的影響度配点例

管路施設の重要度	対象となる管路施設	点数
特に重要な幹線等	処理場と災害対策本部施設(役所等)や特に大規模な広域避難場所等の防災拠点をつなぐ管路	5
	軌道や緊急輸送路等下の埋設管路	
	既存施設を活用したネットワーク化等のシステムの対応管路	
重要な幹線等	流域幹線の管路	3
	処理場・ポンプ場施設に直結する幹線管路	
	上記以外の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	
その他の管路	特に重要な幹線等、重要な幹線等以外の管路	0

ii) 被災時の交通途絶による社会影響度

被災時の交通途絶による社会的影響度は、任意スパンの交通阻害による経済的被害額×被害発生確率により算出し、上位20%までを5点、40%までを4点、60%までを3点と優先度ランクに応じて5段階に区分した。

③緊急性補正

緊急度補正の配点は、管路布設から処分制限期間20年と、道路陥没等の事故が多くなると言われる30年から標準耐用年数50年までの期間を5年ごとに区切り、図-3のようにランク化して配点した。

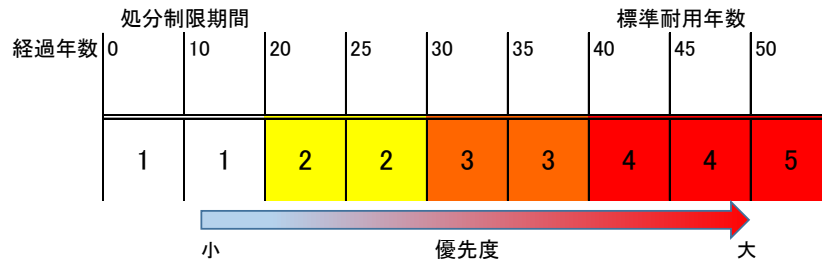


図-3 経過年数による不具合発生確率の配点例

④事後対応可否判断

事後対応可否判断は、事後対応困難な場合を5点、事後対応容易な場合を0点とした。なお、本来は事後対応で用いる資機材や人員（業者数）には上限があるため、必要に応じ考慮するものとする。

4. ケーススタディ

4.1 ケーススタディの方法

前述の耐震対策優先度評価手法を用いて、東日本大震災被災都市であるA市を対象に、被災時の避難所・防災拠点における人口の一時的な集積による排水量増大を考慮した3ケース（表-6）でケーススタディを実施した。

表-6 ケーススタディにおけるケース一覧

CASE	設定方針	備考
CASE1	防災拠点非考慮型	流量は事業計画原単位により設定
CASE2	防災拠点型(被災後1週間)	被災状況が明らかとなり、ライフラインの復旧にも一定の進捗がみられる時期での汚水量補正を考慮
CASE3	防災拠点型(被災後1ヶ月)	応急復旧に一定の効果があり、企業などの営業活動が再開される時期での汚水量補正を考慮

ケーススタディは、モデル都市提供の下水道台帳データや下水道事業計画書、既往の上下水道耐震対策計画、地域防災計画（避難所位置・規模など）等の情報を元に、前述の耐震対策優先度評価手法により耐震化の優先順位を決定し、各ケースや耐震化率の進捗状況にあわせて被害額（布設替えるものとして被害額を積み上げ）および支障人口の割合がいかに変化するかの確認をした。

下水道支障人口は、耐震化の途上で施設が被災した場合に下水道サービスを受けられない人口とし、下水道計画の処理人口と処理面積から路線毎の対象人口を算出し、これに被害率を乗じて算出した。避難所を考慮する場合は、自宅居住率と避難所の収容人員を考慮する必要があることから、支障人口は、自宅及び避難所人数に被害率を乗じて算出した。なお、事後対応が可能と判断された路線については、耐震化されていなくても震後の下水道サービス提供が可能であることから、耐震化済み路線と見なすものとし、下水道支障人口は0とした。



## 4. 2 ケーススタディ結果

A市は、東日本大震災で液状化現象に伴う下水道管路施設被害のあった中規模都市（人口約16万人）であり、優先度評価に必要なデータが入手しやすいことから選定した。ケーススタディにおいては、防災拠点を含む一部のエリア（約200ha、約30スパン）を抽出し、実際の計画流量や避難所規模等のデータを用いて、耐震化優先度評価を実施した。図-4～図-6にCASE1～3の優先度判定結果を示す。

CASE1とCASE3の優先順位は、比較的下流に位置し、流量が多く、路線延長が長い路線の優先度が高い傾向にある。これは、CASE3は被災後1ヶ月後が経過し流量が地震前の状態に近づくことから、CASE1とほぼ同じ路線が選定される傾向にあるためである。CASE2は、避難所への人口集中により流量配分が地震前（CASE1）と大きく異なることから、避難所の下流路線が選定される傾向にある。なお、ケーススタディで最も優先度が高かった路線（501）周辺は、東日本大震災で被災を受けた地域であり、実際の被災箇所と計算上の優先箇所が一致した。

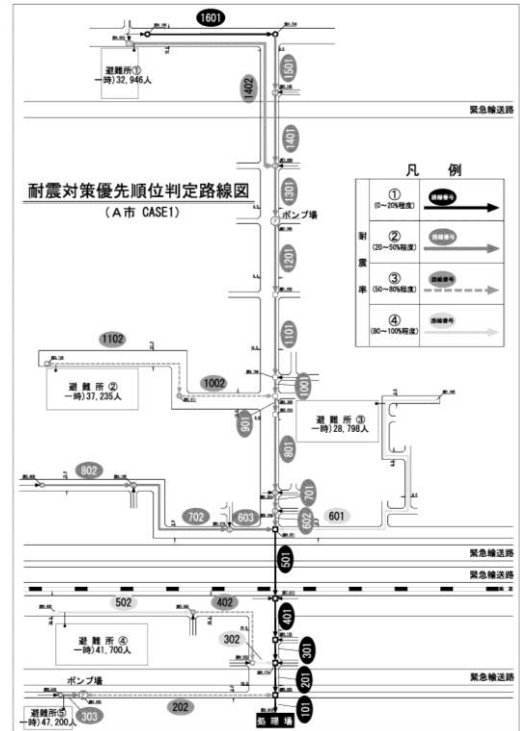


図-4 優先度結果 (CASE1)

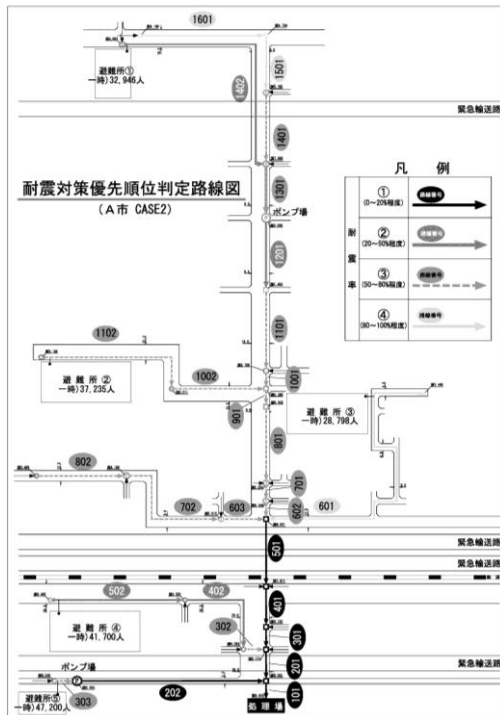


図-5 優先度結果 (CASE2)

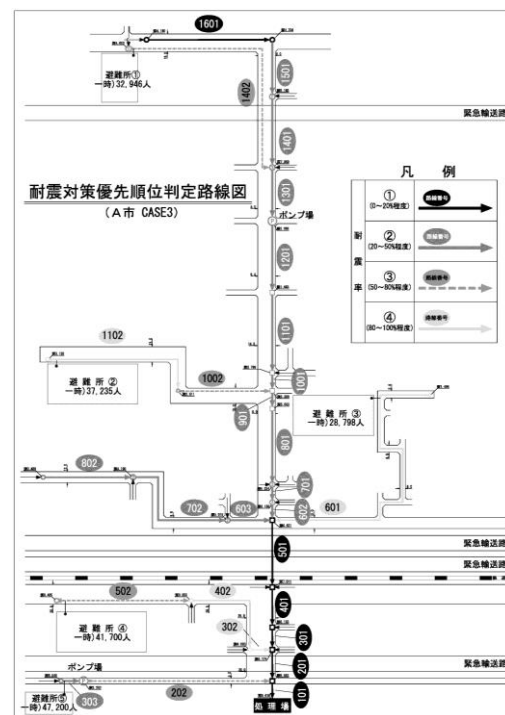


図-6 優先度結果 (CASE3)

耐震化進捗率による被害額、支障人口、対平常時流量割合を検討した結果を図-7～9に示す。耐震化進捗率に対しては、CASE1とCASE3は耐震優先順位がほぼ同じであるため被害額割合は変わらないが、支障人口割合および最下流点の対平常時流量割合ではCASE1の方がやや効果がある。また、CASE2については耐震化率20%程度までは他のケースと差はないが、耐震化率50%程度では大きな効果が得られていない。これは防災拠点の排水を受ける一時的に流量が増える路線が優先度ランクの上位を占めたことにより、他の路線を耐震化しても流量が回復しないためと考えられる。よって、支障人口だけを見ると、幹状態の管渠網より、放射状状態の管渠網の方が防

災拠点の補正効果が現れやすいと考えられた。また、支障人口割合について、事後対応による耐震化の見なし効果が非常に小さくなっている。これは、今回の対象管路の管径が 200~1200 mm と幅があり、事後対応可能な小口径を耐震化したと見なしても、全体に対する貢献度が小さいためである。小規模下水道のように小口径が中心の場合は、事後対応による効果が大きくなり、より明確な違いが現れると考えられる。

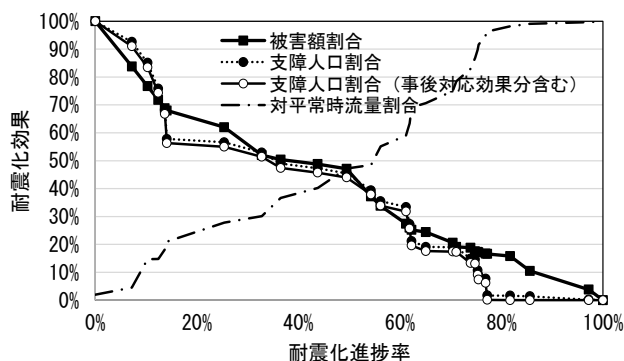


図-8 耐震化進捗率と耐震効果 (CASE2)

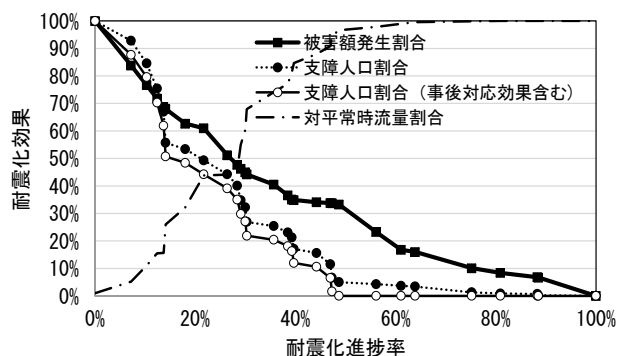


図-7 耐震化進捗率と耐震効果 (CASE1)

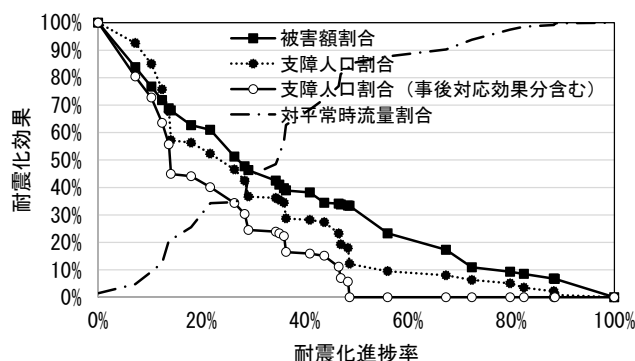


図-9 耐震化進捗率と耐震効果 (CASE3)

## 5. まとめと考察

管路施設の耐震化優先度を定めるための評価手法について検討した結果のまとめ及び考察を述べる。

- ・リスク評価の観点を組み込んだ耐震化優先度評価として、流量期待値に基づくシステム信頼度と交通障害に伴う経済的被害額、緊急性補正、事後対応可否による見なし効果等に配慮した優先度判定法を提案した。
- ・リスク評価に必要な被害発生確率や経済的被害額、事後対応可否判断については、東日本大震災の被害情報等を分析し、簡易な判定表や費用関数等を作成した。
- ・ケーススタディにより、防災拠点への配慮による優先度の変化を確認した。ただし、管渠網形態が幹状の場合は支障人口の差が生じにくく、より放射状形態に近い方が変化の度合いが大きくなった。
- ・対象とする区域の規模や埋設管の管属性によっては耐震効果に差が現れにくい場合もあることから、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も必要と考えられた。
- ・提案した評価方法は、改築時期が迫っている場合の優先度の考え方や、耐震対策工事の困難さ、現有耐震性能に応じた耐震化工事費用等は考慮しておらず、これらの反映により、より高度な評価が可能と考えられる。

## 参考文献

- 1) (社)日本下水道協会、下水道施設の耐震対策指針と解説-1997年版-、平成9年8月
- 2) 下水道地震津波対策技術検討委員会、下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書、平成24年3月
- 3) 内閣府中央防災会議、南海トラフ巨大地震の被害想定について (第二次報告)、平成25年3月18日
- 4) 下水道研究室ホームページ : [http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/zishin\\_db.html](http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/zishin_db.html)
- 5) 田中修司ら、下水道管路の耐震対策優先対象の決定に関する検討、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、1996.1
- 6) 東京都水道局、平成24年度生活用水等実態調査
- 7) 平成26年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料No.882、PP67-78、平成28年1月
- 8) 平成21年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料No.605、PP67-78、平成22年8月
- 9) 平成22年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料No.882、PP5-20、平成23年9月
- 10) (公社)日本下水道協会、下水道施設の耐震対策指針と解説-2014年版一、平成26年7月