

3 事前対策に関する評価指標の定量化

3.1 被害発生確率

被害発生確率は、施設の壊れやすさおよび地震時の液状化等の地盤変位のしやすさを表す指標であり、総延長に対する被害延長の割合（以下、「被害率」）で代替できる。被害率は、地震動や地盤の状況、管路の埋設条件、管種等の様々な条件により異なることから、ここでは、東日本大震災における管種・管径別被害率（表 3-1）と、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率（表 3-2）の2つの設定例を示す。

なお、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やデータ不足のため近似条件の値をスライド採用もあるほか、自治体毎に被害率を算出しているため、表中の被害率には幅が存在す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強や震度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。

被害率の詳細な検討内容は、巻末の【参考資料-2】【参考資料-3】を参照されたい。

表 3-1 震度階級別・管種別・管径区分別の被害率

管種	管径	震度階級			
		5強以下 5.25	6弱 5.75	6強 6.25	7 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 3-2 液状化危険度別・震度階級別・管種別・土被り別の被害率

管種	土被り	液状化危険度	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。

3.2 システム機能向上度

地震により下水道管路システムが被害を受けると、管路施設の損傷や閉塞等により下水道の流下機能が停止し、下水道の使用制限が生じる。使用制限による直接的な影響は、下水道サービスを受ける市民が受けることとなり、トイレ使用停止や台所等での生活用水の使用停止など、震後の日常生活や避難生活、生活再建に多大な影響を及ぼす。

下水道管路システムは通常、上流からの下水を集めて下流に流下させる方式を採用していることから、使用制限等の住民生活に与える影響の度合いは、被害箇所の管路施設を利用する上流側の住民の数で表すことができる。例えば、上流域（末端管渠）の被害は施設を使用している住民が少ないため下水道管路システム上の影響は小規模で済むが、処理場に近い下流域で被害を受けると多くの住民が影響を受けるため、システム機能が大幅に低下すると言える。また、布設深度や地盤条件等の施設の状態及び発生する地震の規模によって被害を受ける確率が異なることから、影響の大きさを考えるときには、流量の大小だけでなく、被害の確率を考慮する必要がある。

ここでは、震後の日常生活や避難生活、生活再建に対する影響を回避するために、下水道管路システムのどの管路を優先的に耐震化すればよいかを見出すことを目的に、「システム機能向上度」を評価する。システム機能向上度は、任意の管路被害の状態が、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ことに着目し、「流量」をパラメータとして代用する。被害が著しいときは最下流点での到達流量は大幅に減少し、被害程度が軽微なときには到達流量は平常時とさほど違わないため、ある箇所（以下、「リンク」）で耐震化を実施することにより、最下流点での到達流量がどの程度向上するかを計算することで、システムとしての機能向上に寄与するリンク（優先的に耐震化すべき管路）を見出す。ここでは、田中らの「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年1月）¹⁷⁾を参考に、任意のスパンの耐震化が最下流の到達流量の向上にどの程度寄与するかを、流量期待値を用いて算定する手法を示す。

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、特定拠点到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。

3.2.1 システム機能向上度算定方法

地震により被災した任意のスパンが、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3.1で設定した被害発生確率を乗じたものを流量期待値として算出し、これをシステム機能向上度として定義する。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 α での発生流量、 $E(\beta)$ ：リンク番号 α の直上流の流量期待値の和、 $Pf\alpha$ ：リンク番号 α の被害確率 $=1 - \exp(-Rf\alpha \cdot L)$ 、 Rf ：リンク番号 α 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	土張り (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 ³ /day)		
						管種管径	管種土張り	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	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	2.00	1.633	13.191	4.315
303	8.49	VU	200	埋立地	5+	11.5%	8.8%	11.5%	0.0883	198.00	24.00	11.558	74.440	20.945
401	6.67	その他	1200	埋立地	5+	0.4%	37.7%	37.7%	0.5260	359.00	8.48	5.129	11.558	2.796
402	3.45	VU	250	埋立地	5+	20.1%	27.9%	27.9%	0.6327	450.00	0.00	0.000	25963.643	1296.495
501	5.92	その他	1200	埋立地	5+	0.4%	37.7%	37.7%	0.6137	464.00	10.63	6.429	6.429	2.484
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

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、

管番号	土張り (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 ³ /day)		
	平均	区分	管種	区分	管種	区分	管種管径	管種土張り	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%	23.00	0.00	0.000	1360.336	1106.975
201	7.08	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	135.00	8.47	0.000	3356.933	2735.988
202	2.63	B	VU	A	500	D	埋立地	A	40.7%	17.3%	40.7%	710.00	11.80	0.000	7.796	0.000
301	6.86	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	82.00	7.22	0.000	2.484	0.000
302	4.05	D	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	8.8%	20.1%	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%	198.00	24.00	0.000	74.440	0.000
401	6.67	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	450.00	0.00	0.000	2735.988	0.000
402	3.45	C	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	8.8%	20.1%	464.00	10.63	6.429	2.484	0.000
501	5.92	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	450.00	0.00	0.000	5772.127	0.000
502	1.20	A	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	20.5%	20.5%	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%	726.00	8.79	698.700	162.378	0.000

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 ³ /day)		
	平均	区分	管種	区分	管種	区分	管種	管径	管種	管径	採用				被災率	常時流量	地震時期待値
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	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	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	
301	5.86	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.2659	82.00	7.22	5202.203	2734.673	
302	4.05	D	VU	A	250	B	埋立地	A	20.1%	8.8%	20.1%	0.0258			4.315	0.000	
303	3.49	D	VU	A	200	A	埋立地	A				0.0983			74.440	0.000	
401	5.67	D	その他	B	1200	E	埋立地	A	20.1%	27.9%	27.9%	0.6327	198.00	24.00	14.515	7082.137	3725.204
402	3.46	C	VU	A	250	B	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.0000	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	6.423	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

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

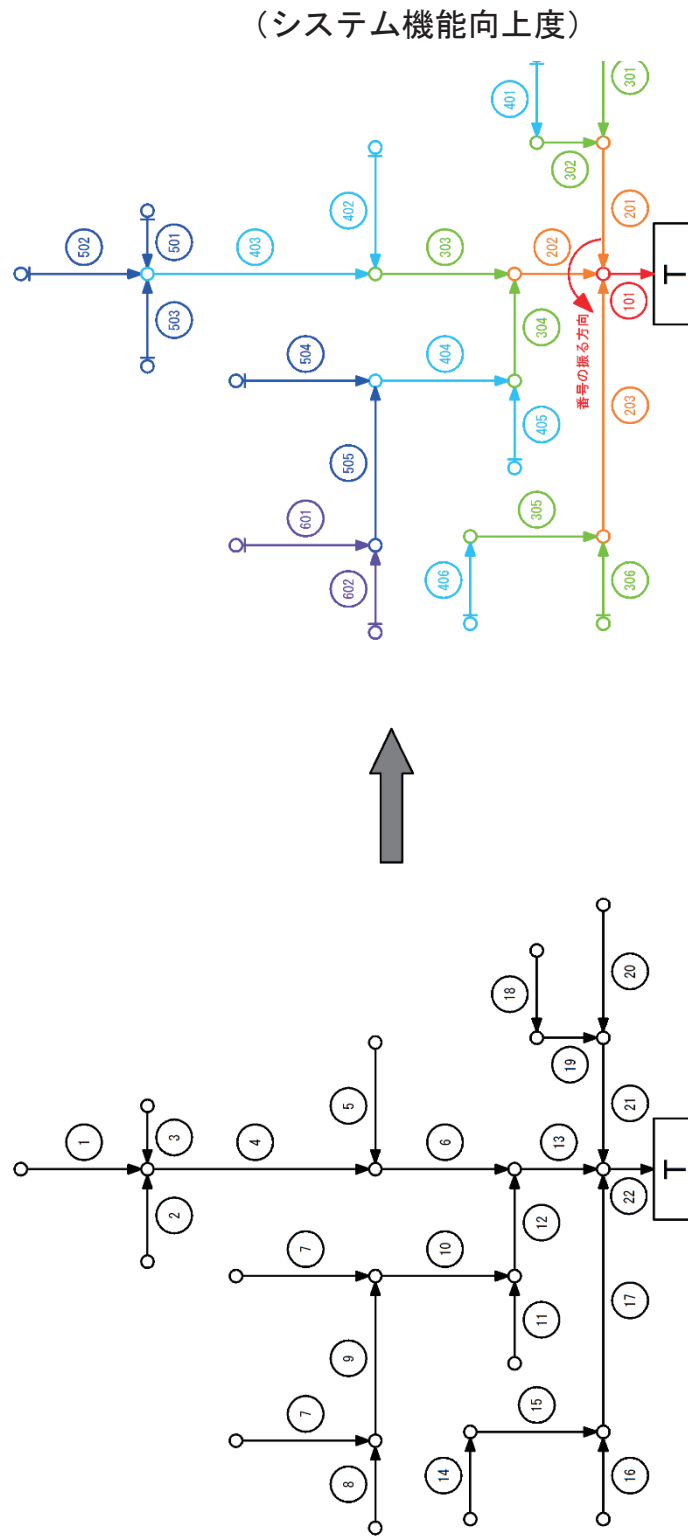
④ 同様の操作を繰り返す。

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 ³ /day)		
	平均	区分	管種	区分	管種	区分	管種	管径	管種	管径	採用				被災率	常時流量	地震時期待値
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	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	VII	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%	0.6137	464.00	10.63	6.423	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
701	5.02	D	その他	B	800	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.1407	43.00	3.29	261.516	845.867	0.000
702	3.73	C	その他	B	800	E	埋立地	A	0.4%	12.7%	12.7%	0.0000	337.00	2.96	227.333	9309.293	3450.416
801	5.02	D	その他	B	800	E	埋立地	A	0.4%	37.7%	37.7%	0.0748	298.00	4.09	372.799	739.271	0.000
802	2.53	B	その他	B	800	E	埋立地	A	0.4%	9.0%	9.0%	0.2269	286.00	159.72	12523.551	9681.957	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

(補足) リンク番号の付け方

下水道事業計画では、最遠点から番号を振り分けて施設平面図や流量表が作成されるが、リンク番号は流末における流量の期待値を評価することから河川工学に用いられる河道法則（河道位数理論）により下流側から番号を付ける（図 3-1）。



路線番号（下水道事業計画）

リンク番号（システム機能向上度）

図 3-1 リンク番号の付け方

3.2.2 防災拠点補正

震後、一時的に人や物が集積する防災拠点や救急病院は、下水道サービスを確実に提供する必要あることから、前述のシステム機能向上度の算定時に、防災拠点に直結する路線に対して、排出相当分の下水量の追加補正（加算）を行う。

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ことから、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、汚水量を設定した例を示す。

(1) 復旧シナリオ

被災後の下水量が、ライフラインの復旧や営業活動の回復等に伴い、被災直後、避難所へ移動または帰宅した数日間、水道やガス等のライフラインが回復するまでの間、企業等が営業活動の再開以降と4段階に分かれるものと仮定すると、各種ライフラインの復旧率は、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」の被害想定結果を参考にできる。ただし、住機能に支障がない割合は、南海トラフ巨大地震の被害想定結果には津波被害による影響が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」を参考にする。

(2) 処理人口

処理人口は住機能に支障が生じ、避難所等への移動を余儀なくされた人口について以下のように配分する。

- ① 処理区内の避難所に優先的に移動
- ② 処理区内の避難所に収容できない分は他の避難所へ移動
- ③ さらに避難所が不足する場合は、避難所が増設されるとして配分した。
- ④ 防災拠点での作業員等の集結を考慮する。

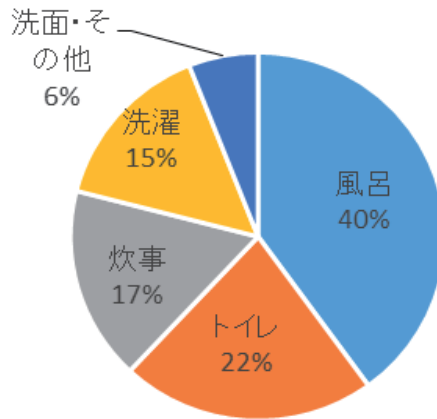
(3) 原単位、汚水量

家庭系の汚水量は、処理人口に1人当たりの汚水量を乗じて算出し、1人当たりの生活および営業汚水量は事業計画値を用いることとする。被災後の生活汚水量は、し尿、風呂、炊事・洗濯等に分けて算出し、使用水量の割合は、各自治体の実績等を用いることが望ましい。

ここでは、東京都水道局の実態調査結果等¹⁸⁾を参考に設定する（図3-2、表3-3）。

なお、炊事・洗濯等は水道の復旧に、風呂はガスの復旧に伴い増加するものとする。工場排水量およびその他水量は、晴天日の実績の平均値に対して事業計画の水量割合分を見込み、各段階の水量は水道の復旧率に従うこととする。

また、算定した被災後の水量は事業計画水量で割り、被災後の水量減少率として整理する。



出典：東京都水道局・平成24年度生活用水等実態調査

図 3-2 家庭用水の内訳

表 3-3 世帯人員別一ヶ月当たりの平均使用水量

世帯人員	使用水量	世帯人員	使用水量
1人	8.0m ³	4人	25.1m ³
2人	16.2m ³	5人	29.6m ³
3人	20.8m ³	6人	35.4m ³

(4) 防災拠点での補正水量の設定例

上記の設定に基づく防災拠点での補正水量の試算例を下記に示す。表 3-4 は、中央防災会議の資料を参考した水量設定の例であり、表 3-5 は東京都水量実績を用いた避難所で想定される水道使用割合である。

表 3-4 被災後の水量設定(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 自宅での居住率は40% (残りは避難所)	同左 自宅での居住率は60% (残りは避難所)	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80% (残りは避難所)
生活汚水	×	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%
営業汚水	×	×	×	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

表 3-5 避難所での水道水使用割合の例

水道 使用内訳	使用割合	ケース 1(～1 週間)		ケース 2(1 ヶ月)	
		使用有無	使用割合	使用有無	使用割合
風呂	40%	×	—	×	—
トイレ	22%	×	—	○	22%
炊事	17%	○	17%	○	17%
洗濯	15%	○	15%	○	15%
洗面・その他	6%	○	6%	○	6%
計		38%		60%	

防災拠点における補正水量(避難所から排出される汚水量)は、下記により算出できる。

防災拠点補正水量=1日当り平均汚水量 × 避難所での水道水使用割合 × 全収容人員

全収容人員は、避難所の収容人員や帰宅困難者、復旧活動に集まった作業員及びボランティア等を考慮し設定する必要がある、各地区の防災計画を参考にする。

なお、住民の避難により、避難所周辺の自宅居住率が一時的に低下することから、避難所を含む集水区域の下水量についても、下記の式で補正を行う必要がある。

避難所周辺区域の水量=平常時流量 × 水道復旧率 × 自宅居住率

3.3 社会的影響度

社会的影響度とは、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（二次的）な影響の大きさを表す評価項目である。社会的影響としては、管路施設被災に起因する道路陥没やマンホール浮上による住民の避難や人命救助、緊急物資の輸送等と与える影響の度合いがあげられる。ここでは、東日本大震災における交通障害の実績に基づく、経済的被害額の算出例を示す。

3.3.1 経済的被害額の試算方法

地震被害により道路の通行に支障が出ると、目的地までの移動に通常以上の時間を浪費したり、通行可能路線の選択肢が減少することにより他路線の渋滞が助長されたりといった影響が生じる。本来は、これらの影響をくまなく検討し被害額を算定する必要があるが、①被害は面的に発生する可能性があり、全ての被害を想定して交通シミュレーションを行うことは膨大な作業を伴うこと、②交通の質自体が変わりうること、③高速道路等と最も社会的影響の大きい路線では下水道の占有はないこと等から、最低限の被害想定額として、被災箇所を迂回することで生じる被害額を算定するものとする。

経済的被害額は、東日本大震災で通行止め等の措置を実施した6つの地方公共団体から得られた情報を基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算定した。

また、センサスデータなどから対象区間の指定最高速度、混雑時旅行速度を抽出し、それぞれ通常時・迂回時の速度として設定したうえで通常時ルート、迂回時ルートの走行距離を計測し、抽出した交通量、速度、距離を下式に適用して走行距離損失、走行経費損失を算出した。

$$\begin{aligned} \text{走行時間損失} &= \text{時間価値原単位} \times (\text{迂回時の所要時間} \times \text{車両数} \\ &\quad - \text{平常時の所要時間} \times \text{車両数}) \\ \text{走行経費損失} &= \text{走行経費原単位} \times (\text{迂回時の走行距離} \times \text{車両数} \\ &\quad - \text{平常時の走行距離} \times \text{車両数}) \end{aligned}$$

次頁の図 3-3 に交通途絶による被害額の算出手順を示す。

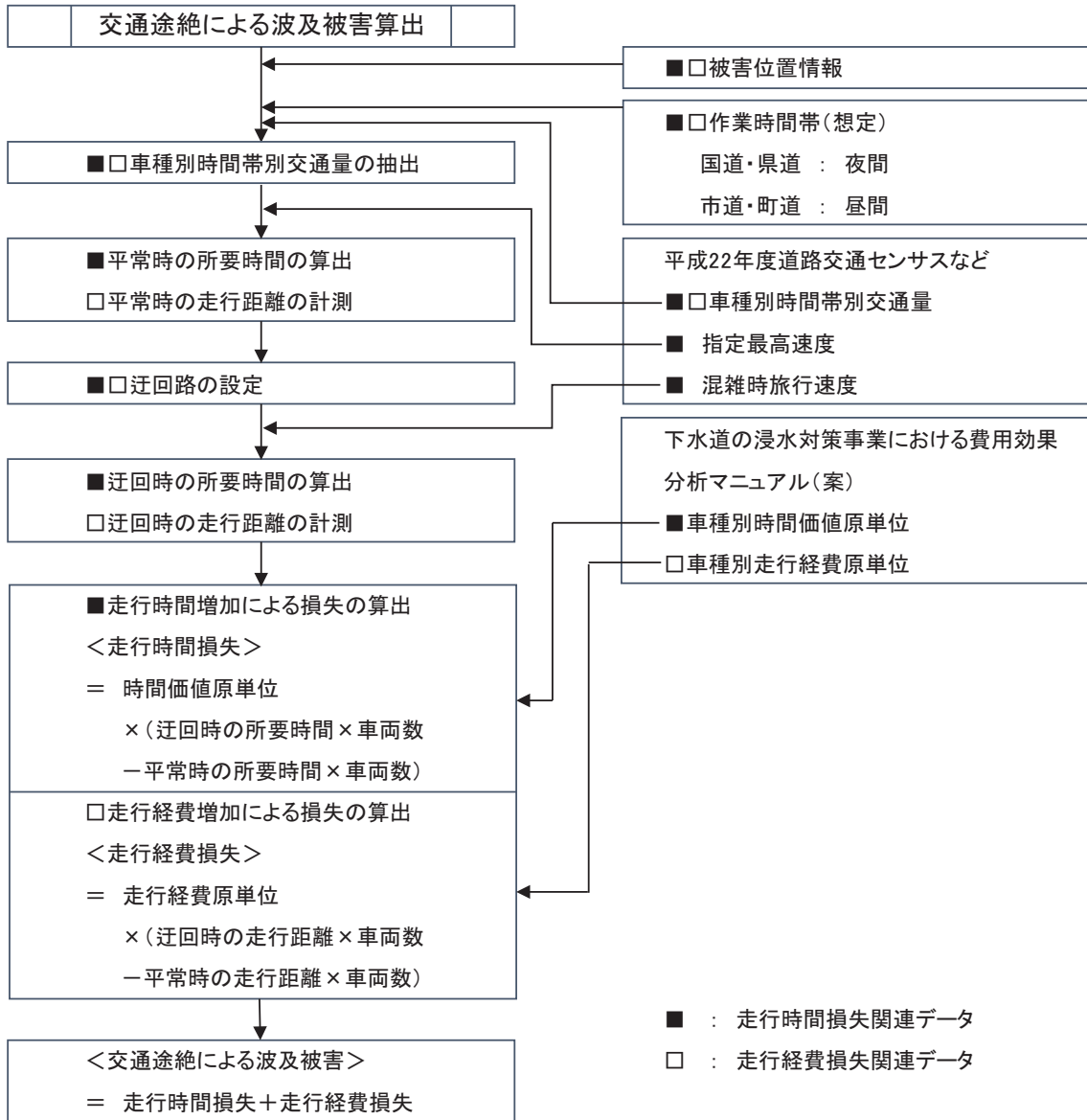


図 3-3 交通途絶による波及被害の算出順

(参考) 経済的被害額の算出方法の例として、福島県福島市のケースを示す。

d. 所要時間の算出

所要時間 : 平常時 (対象路線 = 0.48 分、迂回路線 = 0.76 分)
迂回時 = 1.52 分

● 平常時

・ 対象路線

距離 : 0.24 km

指定最高速度 : 30 km/h

所要時間 : 0.48 分 (= 0.24 km / 30 km/h)

・ 迂回路線

距離 : 0.38 km

指定最高速度 : 30 km/h

所要時間 : 0.76 分 (= 0.38 km / 30 km/h)

● 迂回時

・ 迂回路線

距離 : 0.38 km

混雑時旅行速度 : 15 km/h

所要時間 : 1.52 分 (= 0.38 km / 15 km/h)

e. 走行時間増加による損失の算出

走行時間増加による損失 : 21,532,602 円

● 走行時間増加による損失 : 21,532,602 円 / (116,892,664 円 - 95,360,062 円)

● 平常時

・ 車種別総走行時間費用合計 : 273,238 円 × 349 日 = 95,360,062 円

小型車 : 223,349 円

= 3,040 台/昼間8時間 × 0.48 分 × 59.25 円/分・台

+ 3,040 台/昼間8時間 × 0.76 分 × 59.25 円/分・台

大型車 : 49,889 円

= 471 台/昼間8時間 × 0.48 分 × 85.42 円/分・台

+ 471 台/昼間8時間 × 0.76 分 × 85.42 円/分・台

● 迂回時

・ 車種別総走行時間費用合計 : 334,936 円 × 349 日 = 116,892,664 円

小型車 : 273,782 円

= 3,040 台/昼間8時間 × 1.52 分 × 59.25 円/分・台

大型車 : 61,154 円

= 471 台/昼間8時間 × 1.52 分 × 85.42 円/分・台

参考-1 車種別の時間価値原単位《参考値》

車種		時間価値原単位 (円/分・台)	H17年度割合 (%)	採用原単位 (円/分・台)
小型車	乗用車	62.86	64.8	59.25
	小型貨物車	47.91	20.6	
大型車	バス	374.27	1.0	85.42
	普通貨物車	64.18	13.6	

※ 平成20年度価格

※ 平成22年度交通センサスから車種が小型車、大型車に変更となったため、

H17年度割合から加重平均にて原単位を算出した。

出典：「費用便益分析マニュアル」(平成20年11月、国土交通省 道路局 都市・地域整備局)

f. 走行経費増加による損失の算出

走行経費増加による損失：5,535,140 円

● 走行経費増加による損失：5,535,140 円 (= 20,548,073 円 - 15,012,933 円)

● 平常時

・ 車種別総走行時間費用合計：58,877 円 × 349 日 = 20,548,073 円

小型車：44,802 円

= 3,040 台/昼間8時間 × 0.24 km × 23.77 円/分・km

+ 3,040 台/昼間8時間 × 0.38 km × 23.77 円/分・km

大型車：14,075 円

= 471 台/昼間8時間 × 0.24 km × 48.20 円/分・km

+ 471 台/昼間8時間 × 0.38 km × 48.20 円/分・km

● 迂回時

・ 車種別総走行時間費用合計：43,017 円 × 349 日 = 15,012,933 円

小型車：32,380 円

= 3,040 台/昼間8時間 × 0.38 km × 28.03 円/分・km

大型車：10,637 円

= 471 台/昼間8時間 × 0.38 km × 59.43 円/分・km

参考-2 車種別の走行経費原単位《参考値》

速度 (km/h)	車種		走行経費原単位 (円/分・km)	H17年度割合 (%)	採用原単位 (円/分・km)
30	小型車	乗用車	23.62	64.8	23.77
		小型貨物車	24.26	20.6	
	大型車	バス	80.32	1.0	48.20
		普通貨物車	45.84	13.6	
15	小型車	乗用車	28.26	64.8	28.03
		小型貨物車	27.32	20.6	
	大型車	バス	89.42	1.0	59.43
		普通貨物車	57.23	13.6	

※ 平成20年度価格

※ 平成22年度交通センサスから車種が小型車、大型車に変更となったため、H17年度割合から加重平均にて原単位を算出した。

出典：「費用便益分析マニュアル」(平成20年11月、国土交通省 道路局 都市・地域整備局)

g. 交通途絶による波及被害

交通途絶による波及被害 : 2,707 万円

● 走行時間増加による損失 : 21,532,602 円

● 走行経費増加による損失 : 5,535,140 円

3.3.2 交通途絶による社会的影響度の簡易的算出

交通途絶による被害額は、対象路線毎に前頁の〈参考〉のレベルで算出することが望ましいが、路線数が多いと作業量が膨大になることから、簡易的な評価方法を示す。

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した結果を(表3-6、図3-4)に示す。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道路交通阻害が発生していることから、道路幅員による直線近似式にて定量化を行うと下記の通りとなる。

$$Y = 4.8051 x^{1.0024}$$

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)

表 3-6 東日本大震災における経済的被害額

	福島県			宮城県					千葉県		
	福島市		県道	栗原市	仙台市	川崎町			大崎市	習志野市	
交通途絶による波及被害 (万円/日)	7.8	6.2	3.1	13.3	4.4	20.0	27.6	1.2	7.2	0.7	5.0
経済的被害額 (万円/日)	54.8	58.7	32.1	34.9	15.5	39.6	46.0	2.0	88.4	8.6	51.9
被害延長(m)	238	196	164	407.1	131	748	835	38.4	220	25	150
道路区分	市道	市道	県道	市道	市道	町道	町道	町道	市道	市道	市道
道路幅員(m)	6.0	6.0	9.0	4.0	5.0	10.0	5.0	5.0	6.0	5.0	5.0
発生震度	5強	5強	5強	7	6強	6強	6強	6強	6強	5強	5強

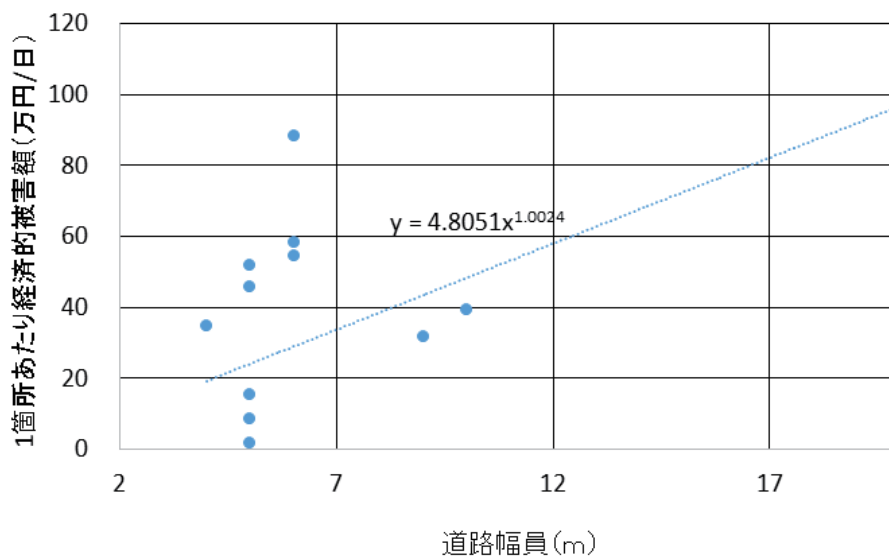


図 3-4 経済的被害額と道路幅員

3.4 重要度

重要度とは、河川や軌道、緊急輸送路などの重要な他インフラ施設に甚大な被害・影響を及ぼす恐れのある管路や、下水道管理者の視点からここだけは守るべきと想定される管路を優先度に反映させるための評価指標であり、3.2 システム機能向上度及び3.3 社会的影響度では評価しきれない管路を対象に設定する。

3.4.1 重要度における優先順位の設定方法

ここでは、下水道施設耐震指針と解説⁵⁾に準拠して、「重要な幹線等」のうち「特に重要な幹線等」の流下機能・交通確保機能が高いことから優先度 A と位置付け、次いで「その他の重要な幹線等」を優先度 B として位置付ける。「重要な幹線等」のうち、「特に重要な幹線等」の位置付けは、図 3-5 に示す通りであり、「重要な幹線等」および「特に重要な幹線等」は、次に掲げるものを基本とする。

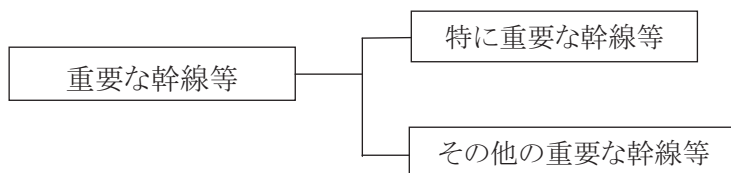


図 3-5 特に重要な幹線等の位置付け

【重要な幹線等】

- ▶ 流域幹線の管路
- ▶ 処理場・ポンプ場施設に直結する幹線管路
- ▶ 河川・軌道等を横断する管路で地震被害によって二次被害を誘発する恐れのあるもの、および復旧が極めて困難と予想される幹線管路等
- ▶ 被災時に重要な交通機能へ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
- ▶ 防災拠点や避難所、または地域防災対策上必要と定めた施設等から排水を受ける管路
- ▶ 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

【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
- ▶ 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

※ 特に大規模な広域避難場所等は以下のものが考えられる。

- ・ DID 地区内等にあり、当該自治体において多数の避難者を収容する拠点
- ・ 地域防災計画等に位置付けられた災害時の拠点医療施設
- ・ 支援基地に近接するなどの避難者が一時的に集中する避難場所や応急給水拠点等

【その他の管路】

➤ 「重要な幹線等」を除く管路施設

上記のように、「特に重要な幹線等」、「重要な幹線等」ごとに評価点数を設定する方法や、
 図 3-6 に示すとおり、「特に重要な幹線等」に対して二次的被害の大きさを考慮して優先
 順位を設定する方法も考えられる。

想定される二次的被害	対象となる管路施設の例	順位 (例)
管路破損やマンホール浮上がりによる交通障害で他事業への影響が大きい。	緊急輸送路下の管路施設(車道)	1
歩道部の管路施設の破損により緊急輸送機能の障害のおそれがある。	緊急輸送路下の管路施設(歩道)	2
鉄道への被害が拡大し、災害復旧に時間を要す。交通手段途絶による社会的影響が大きい。	軌道を横断する管路施設	3
防災拠点・避難所運営への影響が大きい。	防災拠点・避難所より下流の枝線・幹線管路	4
場所的に早期復旧が困難であり、復旧に時間を要することから影響が大きい。	河川を横断する管路施設	5

図 3-6 想定される二次的被害を考慮した「特に重要な幹線等」の優先順位付け例

3.5 緊急度

老朽化等が進んだ管路施設は、維持管理上、早急な措置が必要であるとともに、地震時の施設被害を助長する可能性がある。老朽化対策と地震対策を合わせて実施することで発注等の効率化も図られることから、優先度評価の一指標として取り扱う。

老朽化等による不具合の起こり易さは、「下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン－2015年版－」¹⁹⁾では、以下の方法が提案されている。

- ① 管路内視覚調査結果に基づく緊急度の判定
- ② 管種別不具合発生確率算定式（国総研研究成果）
- ③ 経過年数による方法

3.5.1 管路内視覚調査結果に基づく緊急度の判定

管路内視覚調査は、耐震化の対象となる管路施設を対象に、現時点における異常の発生状況を調査し、緊急度を判定するもの（以下を参照）で、下水道維持管理指針等に基づいて調査診断を実施する。事前に、対象管路の潜行目視またはTVカメラ調査の実施が必要であるが、実態に即した緊急度が得られる。

(1) 調査判定基準

下水道維持管理指針等に示される、鉄筋コンクリート管および陶管、硬質塩化ビニル管の調査判定基準（表 3-7、表 3-8）を用いて、1 スパン毎に潜行目視またはTVカメラ調査により異常の有無及び程度を調査する。

表 3-7 調査判定基準(鉄筋コンクリート管等および陶管)

項目		ランク			
		A	B	C	
スパン全体で評価	管の腐食		鉄筋露出状態	骨材露出状態	表面が荒れた状態
	上下方向のたるみ	管きょ内径700mm未満	内径以上	内径の1/2以上	内径の1/2未満
		管きょ内径700mm以上1650mm未満	内径の1/2以上	内径の1/4以上	内径の1/4未満
		管きょ内径1650mm以上3000mm以下	内径の1/4以上	内径の1/8以上	内径の1/8未満
管一本ごとに評価	管の破損及び軸方向クラック	鉄筋コンクリート管等	欠落	軸方向のクラックで幅2mm以上	軸方向のクラックで幅2mm未満
			軸方向のクラックで幅5mm以上		
		陶管	欠落	軸方向のクラックが管長の1/2未満	-
	軸方向のクラックが管長の1/2以上				
	管の円周方向クラック	鉄筋コンクリート管等	円周方向のクラックで幅5mm以上	円周方向のクラックで幅2mm以上	円周方向のクラックで幅2mm未満
		陶管	円周方向のクラックでその長さが円周の2/3以上	円周方向のクラックでその長さが円周の2/3未満	-
	管の継手ズレ		脱却	鉄筋コンクリート管:70mm以上 陶管:50mm以上	鉄筋コンクリート管:70mm未満 陶管:50mm未満
	侵入水		噴き出ている	流れている	にじんでいる
	取付け管の突出し		本管内径の1/2以上	本管内径の1/10以上	本管内径の1/10未満
	油脂の付着		内径の1/2以上閉塞	内径の1/2未満閉塞	-
	樹木根侵入		内径の1/2以上閉塞	内径の1/2未満閉塞	-
	モルタル付着		内径の3割以上	内径の1割以上	内径の1割未満

表 3-8 調査判定基準(硬質塩化ビニル管)

スパン全体での評価	ランク		A	B	C
	項目	適用			
	上下方向のたるみ	管きょ内径800mm以下	内径以上	内径の1/2以上	内径の1/2未満

管一本ごとに評価	ランク項目	a	b	c	
	管の破損及び軸方向クラック	亀甲状に割れている	軸方向のクラック	-	-
	管の円周方向クラック	円周方向のクラックで幅:5mm以上	円周方向のクラックで幅:2mm以上	円周方向のクラックで幅:2mm未満	
	管の継手ズレ	脱却	接合長さの1/2以上	接合長さの1/2未満	
	偏平	たわみ率15%以上の偏平	たわみ率5%以上の偏平	-	
	変形* (内面に突出し)	本管内径の1/10以上内面に突出し	本管内径の1/10未満内面に突出し	-	
	侵入水	噴き出ている	流れている	にじんでいる	
	取付け管の突出し	本管内径の1/2以上	本管内径の1/10以上	本管内径の1/10未満	
	油脂の付着	内径の1/2以上閉塞	内径の1/2未満閉塞	-	
樹木根侵入	内径の1/2以上閉塞	内径の1/2未満閉塞	-		
モルタル付着	内径の3割以上	内径の1割以上	内径の1割未満		

ここで、(表 3-7、表 3-8)に示す評価項目についての基準値をもとに判定する「スパン全体」および「管一本ごと」の評価ランクは、(表 3-9)のように分類する。

表 3-9 評価ランクの分類

スパン全体の評価	管一本ごとの評価
A : 重度。機能低下、異常が著しい。	a : 重度。劣化、異常が進んでいる。
B : 中度。機能低下、異常が少ない。	b : 中度。中程度の劣化、異常がある。
C : 軽度。機能低下、異常がほとんどない。	c : 軽度。劣化、異常の程度は低い。
A、B、Cに該当しない場合は、異常なし等と判定する。	a、b、cに該当しない場合は、異常なし等と判定する。

(2) 診断および評価

下水道本管の診断および評価では、潜行目視調査またはテレビカメラ調査から得られた本管の症状別に表 3-7 または表 3-8 に基づきランク付けを行い、調査記録表等を使用して不具合、異常等（リスク）の程度を診断し、緊急度の判定を行う。

ここで、緊急度は図 3-7 に示すとおり、3 つの診断項目（管の腐食、上下方向のたるみ、管の破損・クラック等管一本ごとの評価から算定する不良発生率に基づくランク）におけるスパン全体の評価により、スパン毎に判定を行う。

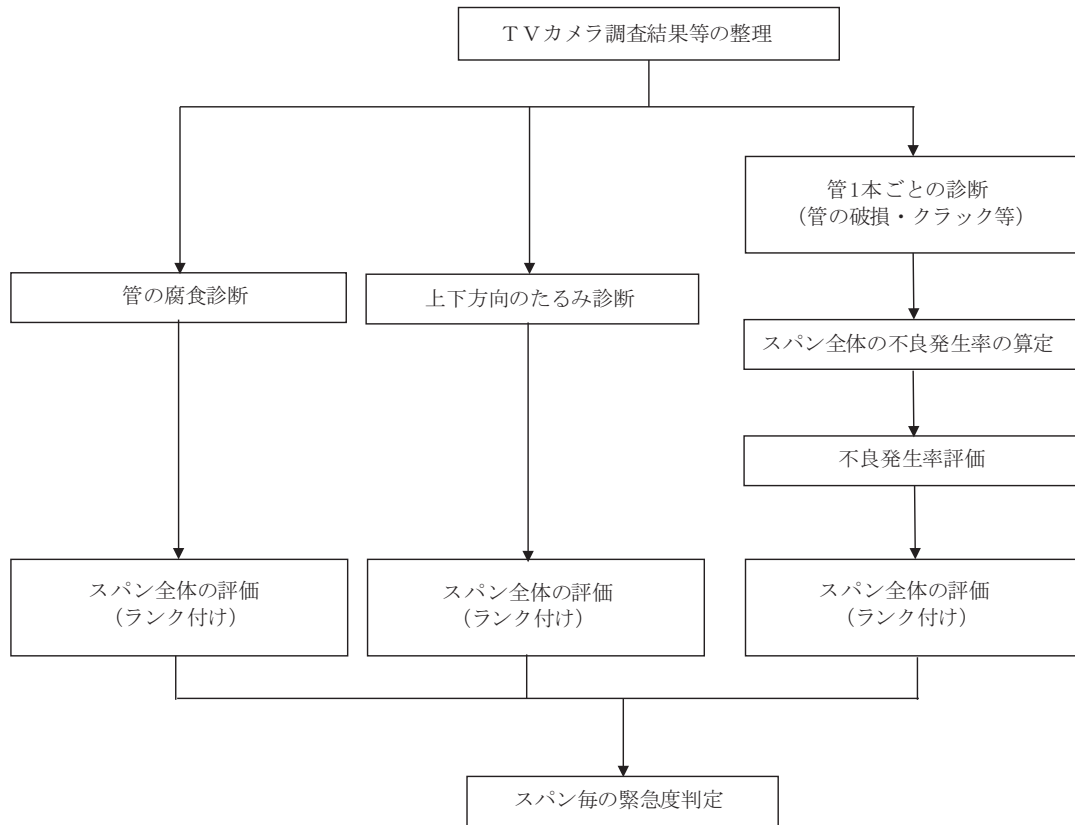


図 3-7 緊急度の判定フロー

1) スパン全体で評価する場合

異常の程度の診断では、1 スパン全体に対して診断項目を評価する。評価のランク付けと判定基準例を表 3-10 に示す。

表 3-10 スパン全体の評価のランク付けと判定基準例¹⁶⁾

診断項目	管種別該当項目		ランク (スパン全体で評価)			判定の基準
	鉄筋コンクリート管等 及び陶管	硬質塩化 ビニル管	重度	中度	軽度	
管の腐食	○	—	A	B	C	A:機能低下,異常が著しい B:機能低下,異常が少ない C:機能低下,異常が殆どない A,B,Cに該当しない場合は,異常なし等と判定する
上下方向のたるみ	○	○				

2) 管 1 本ごとに評価する場合

- ① 異常の程度の診断は、まず管 1 本ごとに対して各診断項目を評価してランク付けを行い、次にそれを基にスパン全体の判定を行う。管 1 本ごとの評価ランク付けと判定基準例を表 3-11 に示す。

表 3-11 管 1 本ごとの評価のランク付けと判定基準例¹⁶⁾

診断項目	管種別該当項目		ランク (管1本ごとに評価)			判定の基準
	鉄筋コンクリート管等 及び陶管	硬質塩化 ビニル管	重度	中度	軽度	
管の破損及び 軸方向クラック	○	○	a	b	c	a:劣化,異常が進んでる b:中程度の劣化,異常がある c:劣化,異常の程度は低い a,b,cに該当しない場合は、異常なし 等と判定する
管の円周方向 クラック	○	○				
管の継手ズレ	○	○				
偏平	—	○				
変形	—	○				
侵入水	○	○				
取付管の突出し	○	○				
油脂の付着	○	○				
樹木根侵入	○	○				
モルタル付着	○	○				

- ② スパン全体の判定では、管 1 本ごとの評価に基づき 1 スパン全体に対する不良管の割合（不良発生率）により定める。スパン全体のランク付けと判定基準例を表 3-12 に示す。

表 3-12 不良発生率によるスパン全体のランク付けと判定基準例¹⁶⁾

ランク (スパン全体での評価)	判定の基準(不良発生率)
A	「aランク20%以上」もしくは「aランク+bランク40%以上
B	「aランク20%未満」もしくは「aランク+bランク40%未満」 もしくは「aランク+bランク+cランク60%以上」
C	「aランク,bランクがなく,cランク60%未満」

ここで、不良発生率は次式により求める。

$$\text{不良発生率} = \frac{\text{a,b,cランクごとの合計本数}}{1\text{スパンの管きよ本数}} \times 100(\%)$$

3) 緊急度の判定

緊急度は、対策が必要とされたものについてその補修等の実施時期を定めるもので、(表 3-13) に示すように管の腐食、上下方向のたるみ、管の破損・クラック等管一本ごとの算定する不良発生率に基づくランク (塩化ビニル管は管の腐食が該当しないため 2 つの項目) におけるスパン全体の各ランク数から判定する。

表 3-13 管路の緊急度の判定基準例¹⁶⁾

緊急度	区分	対応の基準	区分
I	重度	速やかに措置が必要な場合	表 3-10~12 の3つの診断項目(管の腐食、上下方向のたるみ、不良発生率に基づくランク)におけるスパン全体のランクで、ランクAが2項目以上ある場合
II	中度	簡易な対応により必要な措置を5年未満まで延長できる。	表 3-10~12 の3つの診断項目(管の腐食、上下方向のたるみ、不良発生率に基づくランク)におけるスパン全体のランクで、ランクAが1項目もしくはランクBが2項目以上ある場合
III	軽度	簡易な対応により必要な措置を5年以上に延長できる。	表 3-10~12 の3つの診断項目(管の腐食、上下方向のたるみ、不良発生率に基づくランク)におけるスパン全体のランクで、ランクBが1項目もしくはランクCのみの場合
劣化なし	—	—	ランクCもない場合

スパン全体での評価 (管の腐食、たるみ) ならびに管一本ごとの評価からの不良発生率によるスパン評価から緊急性判定までの手順をまとめたものを、図 3-8、図 3-9 に示す。

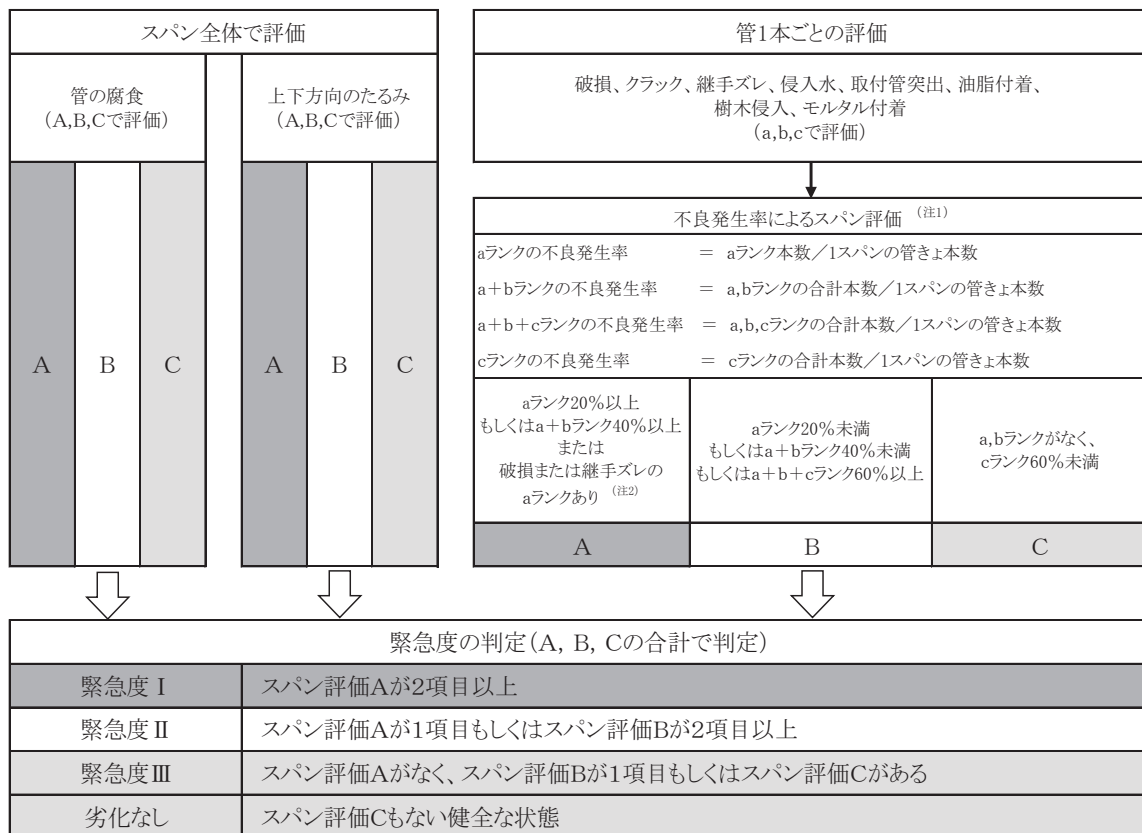


図 3-8 緊急度の判定手順(鉄筋コンクリート管等および陶管)¹⁶⁾

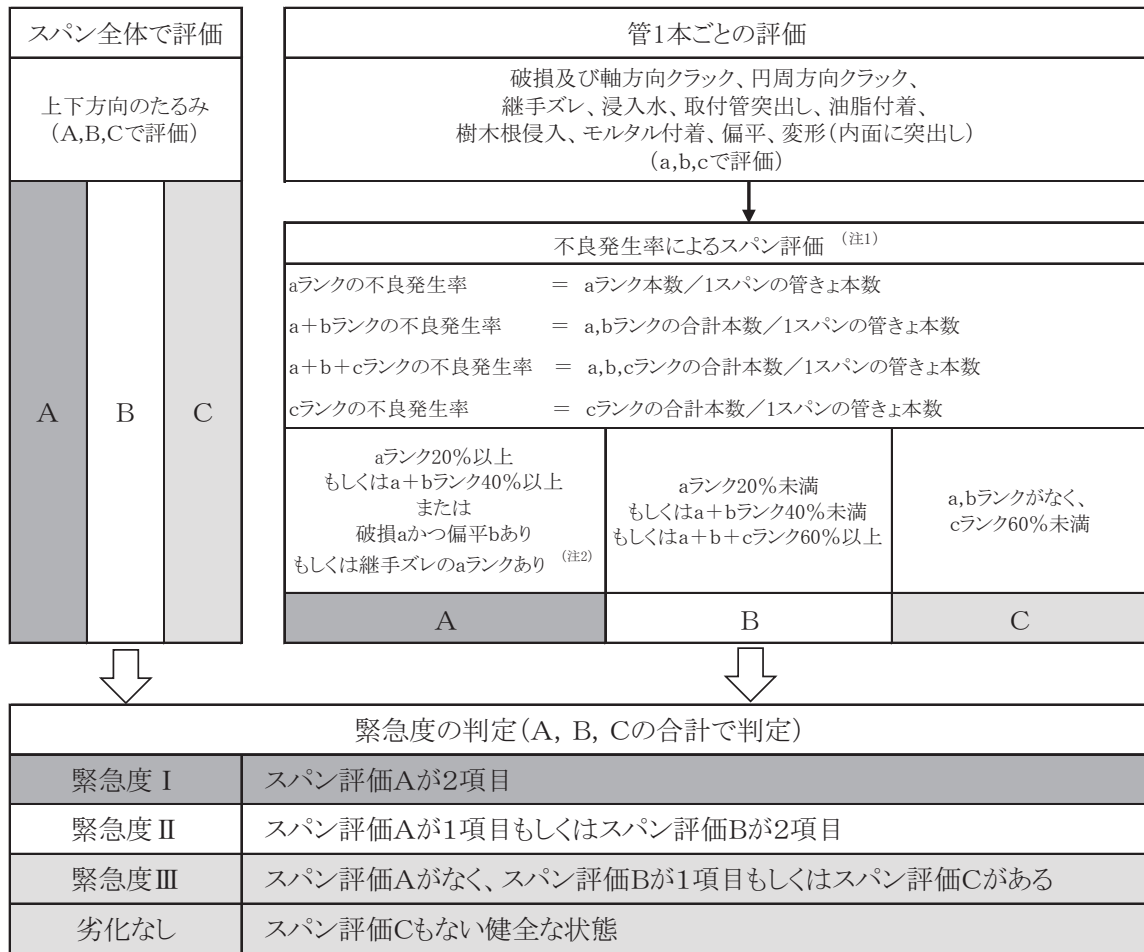


図 3-9 緊急度の判定手順(硬質塩化ビニル管)¹⁶⁾

3.5.2 管種別不具合発生確率算定式

当研究室の過去の成果²¹⁾として、全国12自治体より約29,000スパンの管路内調査データを収集・整理し、以下の管種別の不具合発生確率の算出式(スパン単位)を提案している。これを使用して、不具合発生確率をランク化することが可能である。

陶管 (合流・汚水・雨水)	$Pr1 = \frac{1}{1 + \exp[-(\text{経過年数} \times 0.023 + \text{取付管本数} \times 0.064 + 2.380)]}$
鉄筋コンクリート管 (合流・雨水)	$Pr2 = \frac{1}{1 + \exp[-(\text{経過年数} \times 0.073 + \text{取付管本数} \times 0.148 - 0.923)]}$
鉄筋コンクリート管 (汚水)	$Pr3 = \frac{1}{1 + \exp[-(\text{経過年数} \times 0.122 + \text{取付管本数} \times 0.055 - 2.004)]}$
塩化ビニル管 (合流・雨水)	$Pr4 = \frac{1}{1 + \exp[-(\text{経過年数} \times 0.045 + \text{取付管本数} \times 0.133 - 1.718)]}$
塩化ビニル管 (汚水)	$Pr5 = \frac{1}{1 + \exp[-(\text{経過年数} \times 0.058 + \text{取付管本数} \times 0.221 - 2.263)]}$

※取付管本数: 1スパン当たりの本数

3.5.3 経過年数による方法

3.3 管路施設の劣化による不具合の発生確率から初期不良と予期せぬ出来事の発生を除けば、経過年数に応じて発生確率が高くなる傾向にあることを考慮して、「経過年数」を代用指標として簡易的にランク化して使用することも考えられる。

茅ヶ崎市は、「茅ヶ崎市公共下水道管路施設長寿命化基本計画」²¹⁾において管路布設から制限期間 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 3-10 のようにランク化している。

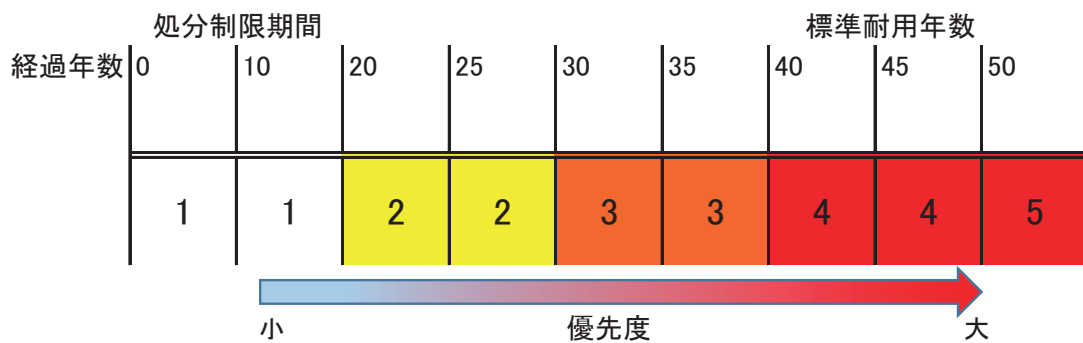


図 3-10 経過年数による不具合発生確率の配点例