

# 管路施設の被害予測手法について

## 1.1 基本的な考え方

下水道管路は、処理場に直結する幹線管きょから各家庭まで延びる枝線管きょに至るネットワークとして、膨大なストックを有している。地下に埋設されたこれらの管路施設すべてについて、個々に診断、被害予測を行うには、多大な労力と時間が必要である。したがって、緊急的な対策のための被害予測としては、老朽化の程度による優先順位付けとあわせて、面的に管路被害の程度を予測し、処理場と防災拠点をつなぐ管路や緊急輸送路下の管路等についてその危険度を評価したうえで、ネットワーク化も含めた対応を検討することが重要である。

このため、本委員会では、過去の被害実績から管路を面的に捉え、地盤及び管種条件ごとのマクロ的な被害率を設定する手法を提示するとともに、例えば1 km × 1 kmメッシュ単位で、当該メッシュ内に敷設された管路の被害率、被害延長を算出することで、危険度の高い地区を抽出する手法を提示する。また、メッシュ単位で被害額を算出することで、対策を講じた場合の費用と効果の関係を検証する手法を提示する。

なお、この手法に基づく検討の結果として作成される「管路被害状況マップ(メッシュごとの管路被害率、被害延長及び被害額)」は、防災拠点や緊急輸送路等の情報や老朽管の情報等と重ね合わせることで、緊急的な対策の優先順位決定の基礎資料として活用できる。

## 1.2 被害の定義と被害率設定手法

### 1.2.1 被害の定義

本検討では、地震により以下に示す ～ に示すような状態となり、流下機能に支障を生じることを被害とし、過去の被災実績においては、災害査定の対象となったものを被害として取り扱う。なお、本検討で扱う被害とは、以下のようなものがある。

スパン全体：管路のたるみ及び管路の蛇行

管本体：ヒューム管・ボックスカルバートの亀裂・破損、塩ビ管の変形及び破損

継手部：ずれ及び亀裂・破損

ふた・受枠：破損

マンホール本体：斜壁・直壁のずれ、亀裂及び破損、底版・インバートの亀裂・破損、本管接続部の破損、突出及び抜け

### 1.2.2 被害率の設定方針

管路施設の被害要因としては、一般的に地震動の強さ、地盤条件、管種、管径、埋設深さ、老朽化の程度等が挙げられる。過去の被害状況から、これらの要因別に有意な関係を導き出すことが理想であるが、図1に示すように、震度別の値をみても被害率にはばらつきがあり、かつ、データの蓄積状況からばらつきの要因を特定し、すべ

での条件ごとに被害率を設定することは困難な状況である。

したがって、本検討では、既存のデータをもとに、図2に示すように、統計的手法に基づく平均的な被害率を算出するとともに、最大値及び最小値から想定される被害の幅を提示する。なお、図1に示すように震度5弱以上から被害が発生しており、本検討では、震度5弱以上の地震動を対象とする。

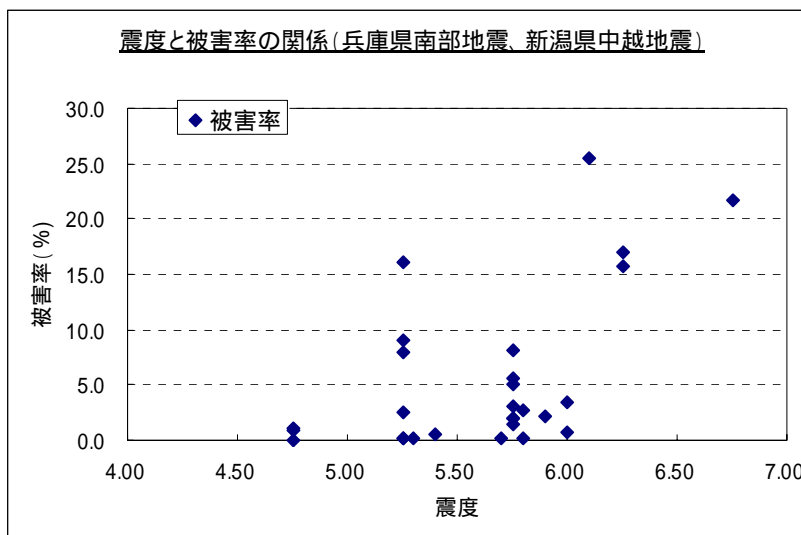


図1 震度と被害率の関係(兵庫県南部地震、新潟県中越地震)

- 注1) 兵庫県南部地震発生時の市町村代表震度は、中央防災会議ホームページの「地震被害想定支援マニュアル」の「地震被害想定支援ツール」を用いて試算した。
- 注2) 新潟県中越地震の震度は、各市町村毎の計測震度を用いた。
- 注3) 兵庫県南部地震の被害率の算定は、市町村単位の被害集計結果より、被害スパン数を延長に換算(1スパン25m平均と設定)し、下水道統計(H7)集計の全管路延長で除して試算した。
- 注4) 新潟県中越地震の被害率は、災害査定結果にもとづく。

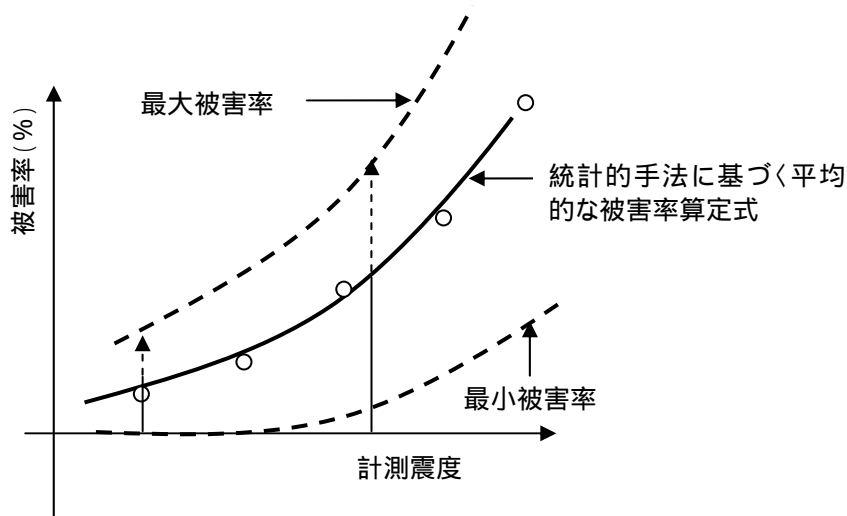


図2 管路被害率の設定イメージ

### 1.2.3 被害率の設定に用いるデータと手法に関する留意点

被害率の設定にあたっては、本来、過去の被害実績に基づくデータから、地盤条件・管種条件ごとに平均・最大・最小被害率を算出すべきであるが、現状における震度と被害率の関係について確認できたデータは以下のとおりであり、すべての条件について十分なデータに基づく被害率の算定が困難な状況である。

市町村単位の代表震度と管路全体の平均被害率については、図1のとおり、28データを収集（兵庫県南部地震及び新潟県中越地震）

一方、地盤条件（液状化地盤or非液状化地盤）及び管種条件（塩ビ管orヒューム管等）別の震度と被害率の関係については、表1のとおり、データ数が極めて少ない状況

表1 地盤条件・管種条件別の頻度と被害率の関係データ数

地盤条件	塩ビ管		その他の管	
	データ数	箇所名	データ数	箇所名
液状化地盤	2	神戸市東灘区 神戸市長田区	1	秋田県能代市
非液状化地盤	2	新潟県川口町 新潟県小千谷市	5	神戸市内5地区

以上のデータ収集状況を勘案し、現時点において、地盤条件・管種条件ごとの震度と被害率の関係を想定される被害率の幅（最大値・最小値）も含めて設定するため、次に示す考え方にに基づき検討を行った。また、検討イメージを図3に示す。

図1をもとに、震度階級ごとの統計的平均値、最大値、最小値から、震度と平均被害率の関係式、震度と最大被害率の関係式、震度と最小被害率の関係式を求める。

3つの関係式から、各震度階級における、平均値と最大値及び最小値の倍率を求める。

震度と平均被害率の関係式に、表-1の既存データから求めた地盤条件・管種条件ごとの平均値を代入し、地盤条件・管種条件ごとの平均値に関する関係式（aの値）を求める。（2地盤条件×2管種条件=4の式ができる。）

それぞれの式に、各震度を代入し、震度階級ごとの平均被害率を求める。

で求めた各震度階級における平均値と最大値及び最小値の倍率から、地盤・管種条件ごとの震度階級別最大・最小被害率を求める。

なお、この考え方では、地盤条件・管種条件ごとの最大値・最小値については、関係式を設定しないため、被害率が震度階級ごとの点でしか算定できないが、今回の被害想定手法への適用にあたって支障は生じない。

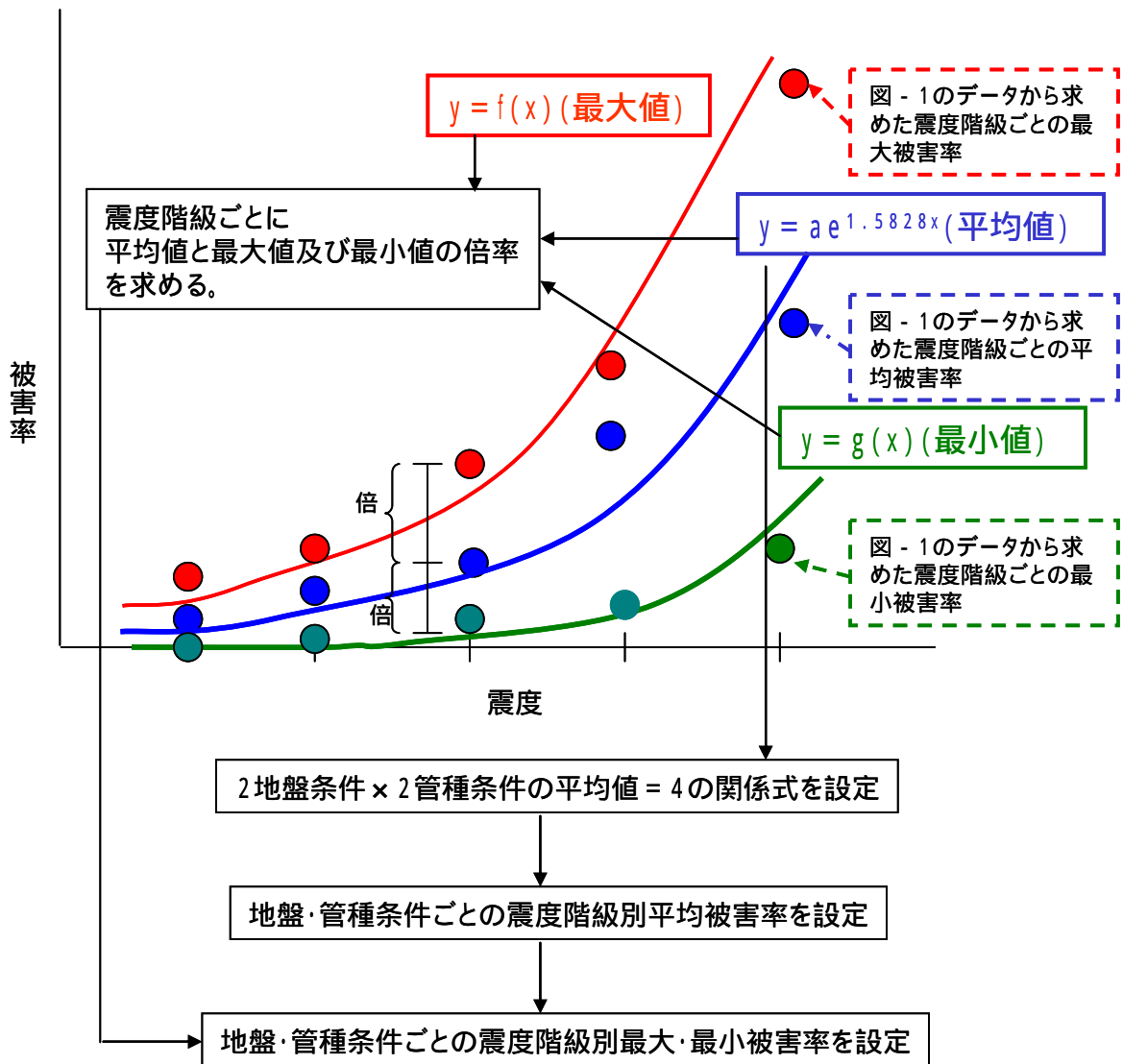


図3 検討イメージ

### 1.2.4 被害率の設定手法

被害率の設定にあたっては、データの蓄積状況を勘案し、まず始めに計測震度と被害率の関係式（基本となる式）を設定する。次に、地盤条件（周辺地盤の液状化の有無）と管種の2つの要因に着目し、基本となる式に補正係数を乗じて被害率を設定する。

全体の設定手順は図4のとおりである。

なお、管径、埋設深さ、老朽化の程度等の要因については、十分な既往データが得られないことから、考慮しないこととした。特に、老朽化の程度は被害率に大きく影響することが想定されるため、より一層の知見の集積を図る必要がある。

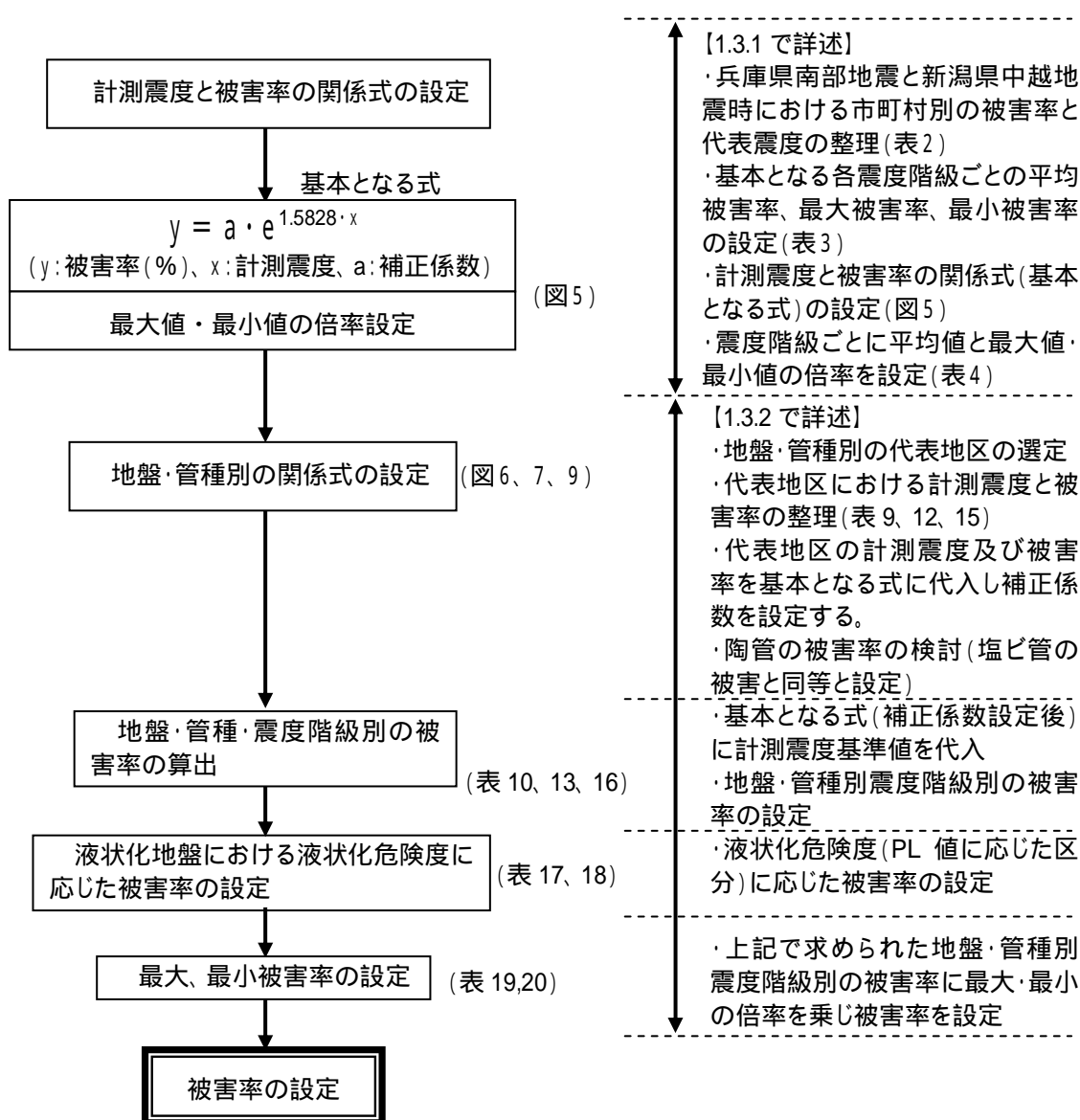


図4 被害率設定手順

#### 計測震度と被害率の関係式の設定(基本となる式の算出)

計測震度と被害率の関係は、図1に示したとおり、計測震度が増加するにつれ被害率が高くなる傾向がみられるものの、計測震度が同じであっても被害率に相違が生じている。被害率の相違理由としては、地盤特性や管種、施工法等の違いによるものと考えられるが、これらの被害要因が明確になるほどの調査や分析が行われていない状況にある。したがって、被害率の設定にあたっては、まず始めに震度階級と被害率の関係を見出すために、震度階級ごとの被害率を延長による加重平均で算出し、計測震度と被害率の関係式を導き、本式を基本となる式と位置付けることとした。また、最大値・最小値のデータを用いて震度階級別の平均値と最大値及び最小値の倍率を設定する。

なお、各震度階級別の平均被害率の算出においては、広範囲にわたり下水道管路施設に被害をもたらせた、兵庫県南部地震及び新潟県中越地震を検討対象とした。

#### 地盤・管種別の関係式の設定

液状化地盤と非液状化地盤の分類可能な代表的な地区を選定し、塩ビ管とその他の管別に代表震度と被害率を設定する。なお、兵庫県南部地震では、旧陶管の被害率が高かったことから、別途検討を加える方針とした。

#### 地盤・管種・震度階級別の被害率の算出

上記より求められた基本となる式(補正係数設定後)に計測震度基準値を代入し、地盤・管種・震度階級別の被害率を算定する。

#### 液状化地盤における液状化危険度に応じた被害率の設定

液状化地盤については、液状化危険度(PL値に応じた区分)により被害の程度が異なるため、上記より求められた震度階級別の被害率と液状化面積率(1964年新潟地震時の液状化発生状況)との関係から、液状化危険度に応じた被害率を設定する。

#### 最大・最小被害率の設定

上記の、 で設定した地盤・管種・震度階級別の被害率に で設定した倍率を乗じ最大・最小の被害率を設定する。

## 1.3 被害率の算出

兵庫県南部地震、新潟県中越地震等の地震動及び管路被害データ等を基に、1.2 に示す手法を用いて被害率を算出する。

### 1.3.1 市町村ごとの代表震度と被害率の関係整理（基本となる式の算出）

兵庫県南部地震、新潟県中越地震で被害があった市町村の被害率と代表震度をもとに、震度と被害率の関係式（基本となる式）を算出する。

#### 被害率

- 市町村単位の被害率を整理した。（被害率 = 管きよの被害延長 ÷ 管路延長）

出典：兵庫県南部地震による下水道の被害に関する調査報告書（案）

（H8.3 下水道地震対策技術調査検討委員会）

下水道地震対策技術検討委員会報告書

（H17.8 下水道地震対策技術検討委員会）

#### 震度

- 兵庫県南部地震：市町村単位の平均震度（計測震度）を、中央防災会議ホームページの「地震被害想定支援ツール」を用いて 1km メッシュ単位の震度を算定した（参考-1、参考-2 参照）。
- 新潟県中越地震：地震調査研究推進本部 地震加速度情報ホームページの資料に基づいた。

#### 参考-1) 地震被害想定支援ツール

「地震被害想定支援ツール」は、内閣府防災担当の「地震被害想定支援マニュアル」ホームページ（[http://www.bousai.go.jp/manual/tool/tool\\_index.html](http://www.bousai.go.jp/manual/tool/tool_index.html)）よりダウンロードできるもので、震源を点や線、断層面などで入力すると震度分布や建物倒壊、死者数などの基本的な被害が計算できるプログラムである。

#### 参考-2) 震度の試算

中央防災会議の「地震被害想定支援ツール」を用いた、1km メッシュ単位の震度の試算にあたっては、下表に示す震源パラメータを入力した。

参考表 兵庫県南部地震の震源パラメータ

項目	震源パラメータ	項目	震源パラメータ
マグニチュード	7.2M	走向	53 度
緯度	34 度 28 分	長さ	45 k m
経度	134 度 51 分	傾斜角	90 度
深さ	0 k m	幅	20 k m

両地震における市町村ごとの代表震度と管きよの被害率を整理した結果が表2のとおりであり、その結果を震度階級毎に集計したものが表3である。

表2 兵庫県南部地震、中越地震での震度と被害率の関係

市町村	管路延長 (km)	被害延長 (km)	被害率 (%)	計測震度	震度階級
長岡市	1,258.0	62.9	5.0	5.75	6-
柏崎市	421.5	3.9	0.9	4.75	5-
小千谷市	182.8	31.1	17.0	6.25	6+
栃尾市	135.1	2.5	1.9	5.75	6-
見附市	195.0	0.2	0.1	5.25	5+
越路町	83.7	4.7	5.6	5.75	6-
三島町	58.7	1.8	3.0	5.75	6-
与坂町	56.0	5.1	9.1	5.25	5+
和島村	37.7	6.1	16.1	5.25	5+
出雲崎町	39.6	3.1	7.9	5.25	5+
小国町	61.3	9.6	15.7	6.25	6+
十日町市	198.0	2.9	1.4	5.75	6-
川口町	43.0	9.3	21.7	6.75	7
川西町	29.3	2.4	8.1	5.75	6-
魚沼市	212.2	4.3	2.0	5.75	6-
弥彦村	100.2	0.0	0.0	4.75	5-
津南町	59.0	1.5	2.5	5.25	5+
中之島町	33.3	0.0	0.1	5.25	5+
西山町	25.8	0.3	1.1	4.75	5-
明石市	584.8	3.8	0.6	6.00	6+
神戸市	3,851.5	133.3	3.5	6.00	6+
芦屋市	215.5	55.1	25.6	6.10	6+
西宮市	970.8	25.8	2.7	5.80	6-
宝塚市	555.3	2.9	0.5	5.40	5+
川西市	432.9	0.6	0.1	5.30	5+
伊丹市	490.9	0.6	0.1	5.80	6-
尼崎市	1,033.0	23.2	2.2	5.90	6-
大阪市	4,569.9	9.2	0.2	5.70	6-

新潟県中越地震関連市町村

・被害延長、管路延長、被害率、震度階級：下水道地震対策技術検討委員会報告

・計測震度：各震度階級の計測震度中央値を採用

兵庫県南部地震関連市

・管路延長：H6下水道統計より

・被害延長：兵庫県南部地震報告書より(1スパン25mと想定)

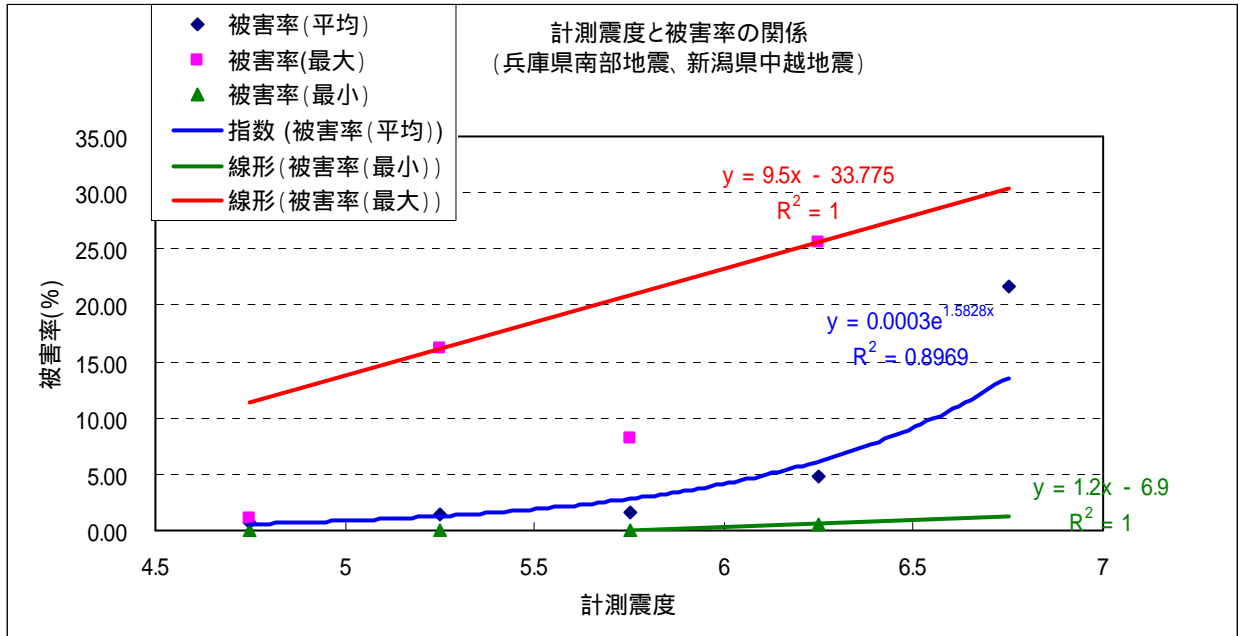
・計測震度：被害想定支援ツールにより試算

表3 各震度階級における被害率

震度階級	該当 自治体数	管路延長 (km)	被害延長 (km)	被害率		
				平均(%)	最大(%)	最小(%)
5-	3	547.5	4.2	0.8	1.1	0
5+	8	1,408.8	19.5	1.4	16.1	0
6-	11	9,039.6	140.3	1.6	8.1	0
6+	5	4,895.9	232.9	4.8	25.6	0.6
7	1	43.0	9.3	21.7	-	-



表3の震度階級と平均被害率から、震度と被害率の基本となる式を設定すると図5に示すとおりである。



注) 各震度階級の間値により計測震度に変換した

図5 計測震度と被害率(兵庫県南部地震 新潟県中越地震)

ここで基本となる式は、震度階級別の平均値から最も相関が高かった指数近似式を採用し、下記のとおりとした。

$$y = a e^{1.5828x}$$

y : 被害率

x : 計測震度

a : 補正係数(地盤条件及び管種によって定まる係数)

この基本となる式( $y = a e^{1.5828x}$ )に、それぞれの地盤条件・管種条件ごとの該当データの値を代入し、それぞれについてaを求め、地盤条件・管種別の平均被害率を算出することとする。

また、最大値及び最小値についても関係式を算出すると以下のとおりとなる。

- ・最大値の関係式：被害率の高い震度5強、震度6強の2点を結ぶ直線

$$y = 9.5X - 33.775$$

- ・最小値の関係式：震度6弱、震度6強の2点を結ぶ直線

$$y = 1.2X - 6.9$$

この最大値及び最小値の関係式に各震度階級における基準計測震度を代入し、平均被害率に対する最大及び最小の倍率を算出すると表4のとおりである。

表4 震度階級別の平均被害率と最大・最小の倍率

震度階級	基準計測震度	実績被害率 (%)			関係式による被害率 (%)			平均被害率 (関係式) に対する倍率	
		平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	最大	最小
5弱	4.75	0.8	1.1	0	0.6	11.4	0	19.0	0
5強	5.25	1.4	16.1	0	1.2	16.1	0	13.4	0
6弱	5.75	1.6	8.1	0	2.7	20.9	0	7.7	0
6強	6.25	4.8	25.6	0.6	5.9	25.6	0.6	4.3	0.1
7	6.75	21.7	-	-	13.1	30.4	1.2	2.3	0.1

### 1.3.2 地盤・管種ごとの震度と被害率の関係整理

兵庫県南部地震、新潟県中越地震で被害があった市町村の被害率と代表震度をもとに、震度と被害率の関係式（基本となる式）を算出する。

1.3.1 で算出した市町村ごとの代表震度と被害率の関係（基本となる式）をもとに、地盤条件、管種ごとの被害率を算出する。

設定する条件は、表5示すように、地盤条件については周辺地盤の液状化の有無、管種については塩ビ管及びその他の管とする。

また、それぞれの区分における関係を算出する際のデータについては、過去の被害実績から各区分に該当するデータが得られる兵庫県南部地震、新潟県中越地震及び日本海中部地震のデータを用いた。

具体的には、表5の区分ごとに、対象とする地震の実績（当該区分における震度と被害率の関係）を基本となる式に代入し、係数aを求めることとした。

表5 被害率の区分方法

項目	塩ビ管	その他の管	備考
周辺地盤が液状化の恐れなし（非液状化地盤）	新潟県中越地震の実績より被害率を設定（川口町、小千谷市）	兵庫県南部地震の実績より被害率を設定（神戸市垂水区、長田区、灘区、東灘区、長田区）	中央防災会議での被害想定対象外である
周辺地盤が液状化の恐れあり（液状化地盤）	兵庫県南部地震の実績より被害率を設定（神戸市東灘区、長田区）	日本海中部地震の実績より被害率を設定（能代市）	中央防災会議の被害率は、幹線管きよの土砂堆積による流下阻害を“機能支障率”としており、被害率の定義が異なる

兵庫県南部地震、新潟県中越地震では液状化地盤の塩ビ管以外のデータが得られなかったため、日本海中部地震による能代市（市街地）の被害実績を用いる方針とした

## (1) 塩ビ管の被害率

### 1) 非液状化地盤

非液状化地盤における塩ビ管の被害率は、周辺地盤が非液状化地盤と判断でき、主に塩ビ管が用いられている新潟県中越地震時の川口町及び小千谷市の被害データの活用が考えられる。

川口町の災害査定延長と、H15 下水道統計をもとに管路延長を整理した結果は表6のとおりである。表6に示すとおり、平均震度7の川口町における塩ビ管の被害率は24.8%であった。なお、川口町ではヒューム管も一部区間に布設されているが、布設延長、被害延長とも塩ビ管に比べて非常に小さいため、川口町の自然流下管の全延長を塩ビ管の全延長とみなした。

また、小千谷市の災害査定延長と、H15 下水道統計をもとに管路延長を整理した結果は表7のとおりである。表7に示すとおり、平均震度6強の小千谷市における塩ビ管の被害率は17.5%であった。

表6 川口町における被害率（災害査定延長／管路延長）

工事番号	管径 (mm)	被害延長 (m)
3051	100	4.0
	150	1,143.0
	200	143.8
3052	150	23.9
	200	790.3
	250	259.1
	450	136.0
3053	150	4.0
	200	93.1
	250	4.0
3054	150	67.4
	200	412.6
3055	150	532.6
	200	1,473.4
	250	117.1
	300	1.0
2146	150	1,370.8
3956	150	323.9
	200	2,076.0
	250	135.1
<b>被害延長</b>		<b>9,111.1</b>
<b>管路延長</b>		<b>36,761.0</b>
<b>被害率</b>		<b>24.8%</b>

1：H15 下水道統計における川口町の自然流下管の総延長

表7 小千谷市における被害率（災害査定延長／管路延長）

工事番号	塩ビ管	
	管径 (mm)	被害延長 (m)
3101	500	12.4
2147	200	723.6
2148	200	768.8
3111	200	778.5
3112	350	76.9
	250	281.8
3113	250	93.3
	200	615.4
3114	300	160.5
	250	161.8
	200	413.7
3115	200	310.2
3936	200	516.9
	250	72.6
3937	200	255.4
	250	455.3
3938	200	939.3
3939	200	1224.9
3940	200	870
3941	200	505.6
	250	528.6
3942	150	54
	200	931.6
3943	200	835.5
		199.5
3944	200	534.9
	250	379.9
3945	200	1155.3
	250	208.3
3946	200	639.5
	250	180.7
3947	200	995.1
3948	200	758.7
	250	90.4
3949	200	551.2
3950	200	901.8
4780(流域)	500	23.2
4808	200	763.5
4809	200	869.7
4810	200	812
4811	200	667.2
4812	200	798.1
4813	200	917.8
4814	200	877.6
4815	200	958.5
4816	200	649.1
4817	200	724.4
4818	200	840
4819	200	687
4820	200	641.8
4821	200	972.9
4822	200	1360.6
被害延長計		30,745.3
全体延長		175,670.8
被害率		17.5%

## 2) 液状化地盤

液状化地盤における被害率は、兵庫県南部地震の神戸市の被害実績をもとに検討する。兵庫県南部地震において詳細調査が実施された地区のなかで、塩ビ管の被害率が明確となっているのは、“東灘区 六甲アイランド地区”、“長田区 苅藻島地区”であり、これら2地区の被害率と、地震被害想定支援ツールを用いて試算した計測震度を表8に示す。

表8 兵庫県南部地震 各地区被害率

		地盤	管種	被害 スパン数	全体 スパン数	被害率 (%)	計測震度 (試算値)	備考
神戸市	東灘区 六甲アイランド地区	液状化	高剛性硬 塩化ビニール卵形管	14	108	13.0	6.63	スパン被害率
	長田区 苅藻島地区	液状化	硬質塩化 ビニール卵形管	5	20	25.0	6.74	〃

出典：兵庫県南部地震による下水道の被害に関する調査報告書

注) 両地区とも代表的な一部の地域に限定した調査結果である。

## 3) 塩ビ管の被害率の設定

塩ビ管については、新潟県中越地震の被害状況から、山砂で埋戻した場合、地下水位が高い等の条件下においては、地盤が液状化しなくても埋戻土が液状化することが判明しており、周辺地盤が液状化地盤であるか否かに関係なく被害が発生している。このため、塩ビ管の被害率は、液状化地盤、非液状化地盤とも同様な被害が生じるものと考え、表9に示す4データから平均的な被害率を設定することとする。

平均的な被害率を算定するにあたっては、延長による加重平均とすることが考えられるが、川口町、小千谷市は、町内もしくは市内全域のデータとなっているのに対し、東灘区及び長田区のデータは区内の一部のデータとなっている。このため、延長による加重平均で算出する場合には、ほとんど延長比率の高い小千谷市のデータを用いることになる。以上より、平均的な被害率の算定にあたっては、図6に示すように、川口町及び長田区のデータがほぼ一致しており、小千谷市と東灘区のデータのほぼ中央値となることから、町全体のデータとなっている川口町のデータを代表値とし、塩ビ管の被害率の補正式として設定することとした。また、震度階級毎の塩ビ管の被害率を整理すると表10のとおりである。

表9 塩ビ管の基準被害率

液状化区分	代表地区	基準被害率 (%)	基準計測震度	備考
非液状化地盤 (新潟県中越地震)	川口町	24.8	6.75	代表値
	小千谷市	17.5	6.25	
液状化地盤 (兵庫県南部地震)	東灘区	13.0	6.63	
	長田区	25.0	6.74	

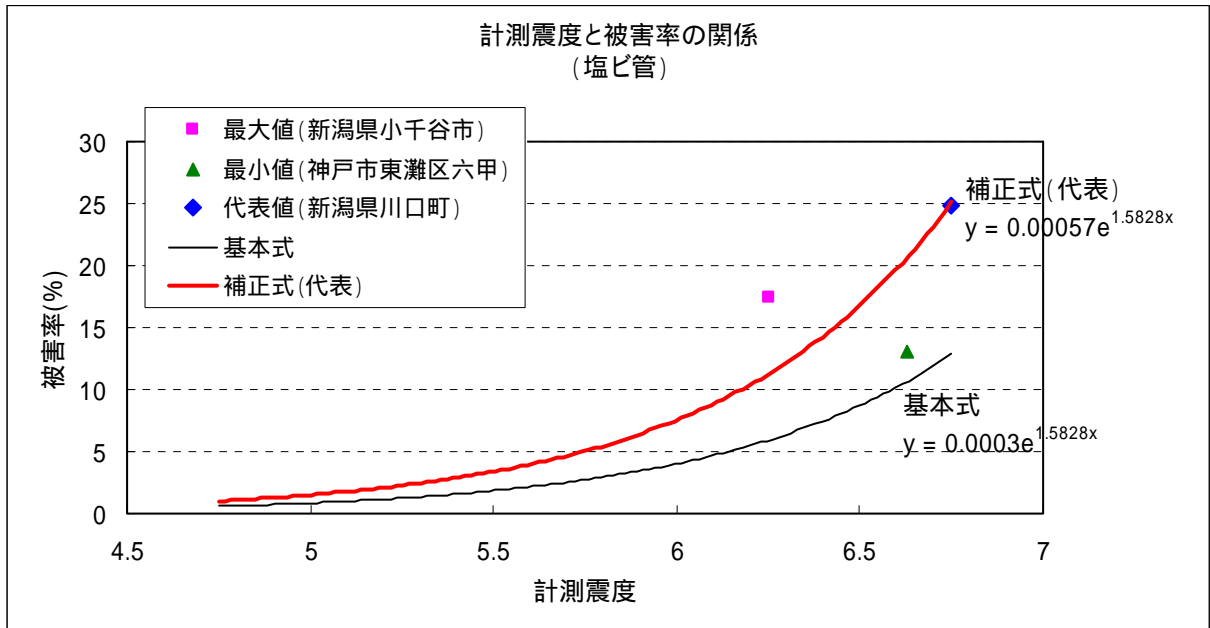


図6 塩ビ管の計測震度と被害率の関係

表10 塩ビ管の震度階級別の被害率

震度階級	5-	5+	6-	6+	7	補正式 <sup>1</sup>
計測震度基準値	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	
被害率	1.0%	2.3%	5.1%	11.3%	24.8%	$y = 0.00057 e^{1.5828x}$

1 x : 計測震度、y : 被害率(%)

## (2) その他の管の被害率

### 1) 非液状化地盤

兵庫県南部地震時の被害報告（『兵庫県南部地震による下水道の被害に関する調査報告書（案）（第2章 管路施設）』平成8年3月 下水道地震対策技術調査検討委員会）に基づき、塩ビ管以外の管種に関して、非液状化地盤の被害率を設定する。同報告の中では、一部の代表地区を対象としたモデル地区の検討が数箇所で行われており、非液状化地盤のモデル地区で、塩ビ管以外の管種が布設されている地区は表11のとおりである。

これらの地区の平均計測震度、被害率を加重平均により算出した結果、表12に示すように平均震度6.51、平均被害率6.3%となる。また、平均値をグラフ化すると図7とおりとなり、震度階級毎の被害率は表13のとおりとなる。

- 平均計測震度：6.51

注) 布設延長を基準とした加重平均値

$$(6.06 \times 13,152 + 6.32 \times 25,075 + \dots) / 108,283 = 6.51$$

- 平均被害率：6.3%

注) 布設延長を基準とした加重平均値

$$(8.2 \times 13,088 + 7.0 \times 25,075 + \dots) / 106,798 = 6.3$$

表11 兵庫県南部地震モデル地区被害率（非液状化地区・塩ビ管以外）

	単位	垂水区	長田区	灘区	東灘区	長田区	備考	
		多聞台地区	上池田地区	六甲道駅 東側地区	魚崎地区	新長田駅 南側地区		
計測震度		6.06	6.32	6.60	6.60	6.77	ツールによる試算値	
液状化危険度	-	非液状化	非液状化	非液状化	非液状化	非液状化		
管種別被害率								
塩ビ管	布設延長	m	64		68	1,097	256	合計:1,485
	布設スパン数	スパン	4	不明	5	51	15	
	被害スパン数	スパン	0		3	2	0	被害率より逆算
	被害率	%	0.0		60.0	3.9	0.0	調査結果
その他	布設延長	m	13,088	25,075	20,111	19,871	28,653	合計:106,798
	布設スパン数	スパン	640	1,894	823	942	1,475	
	被害スパン数	スパン	52	133	68	68	40	被害率より逆算
	被害率	%	8.2	7.0	8.3	7.2	2.7	調査結果
全体	布設延長	m	13,152	25,075	20,179	20,968	28,909	合計:108,283
	布設スパン数	スパン	644	1,894	828	993	1,490	
	被害スパン数	スパン	52	133	71	70	40	被害率より逆算
	被害率	%	8.1	7.0	8.5	7.0	2.7	調査結果

注) ここでの被害率は、“被害スパン数 / 布設スパン数”である

表 12 非液化化地盤のその他の管の基準被害率

液化化区分	代表地区	基準被害率 (%)	基準計測 震度	備考
非液化化地盤	5地区の平均	6.3	6.51	

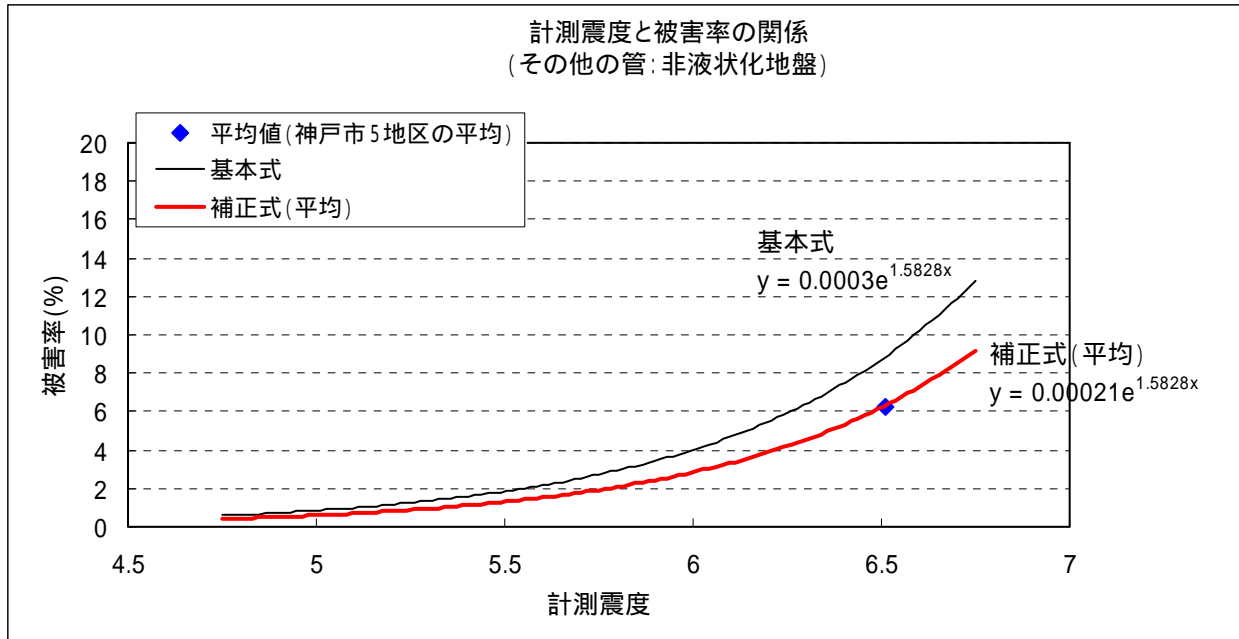


図 7 非液化化地盤のその他の管の計測震度と被害率の関係

表 13 非液化化地盤のその他の管の震度階級別の被害率

震度階級	5-	5+	6-	6+	7	補正式 <sup>1</sup>
計測震度基準値	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	
非液化化地盤 その他の管 被害率	0.4%	0.9%	1.9%	4.2%	9.2%	$y = 0.00021 e^{1.5828x}$

1 x : 計測震度、y : 被害率 (%)



## 2) 液状化地盤

兵庫県南部地震、新潟県中越地震では液状化地盤の塩ビ管以外のデータが得られなかったため、日本海中部地震による能代市(市街地)の被害実績を用いる方針とした。当該地区では噴砂、噴水が確認されており、液状化地盤と考えて良い。当該地区の被害実績は表 14、図 8 のとおりであり、当該地域の被害率は、管破損の割合を採用し、14.5%を代表値とする。

表 14 日本海中部地震による能代市の下水道管路施設の被害

管路施設	全延長又は全箇所数	被害状況	被害延長又は箇所数	被害率
管きよ	約 60,000m	管破損	8,705.6m	14.5%
		管目地ずれ	1,048 箇所	17.4 箇所 / km
		土砂堆積	4,100.3m	6.8%
人孔	1260 箇所	亀裂, 破損	135 箇所	10.7%
取付管	不明	破損・突出	1,117 箇所	-

注) 当該区域に布設された管きよは概ねヒューム管である

出典：建設省土木研究所地震防災部耐震研究室：土木研究所資料第 2244 号，昭和 58 年日本海中部地震による下水道管路施設の被害調査 - (その 1) 被害の特徴 - ，1985.

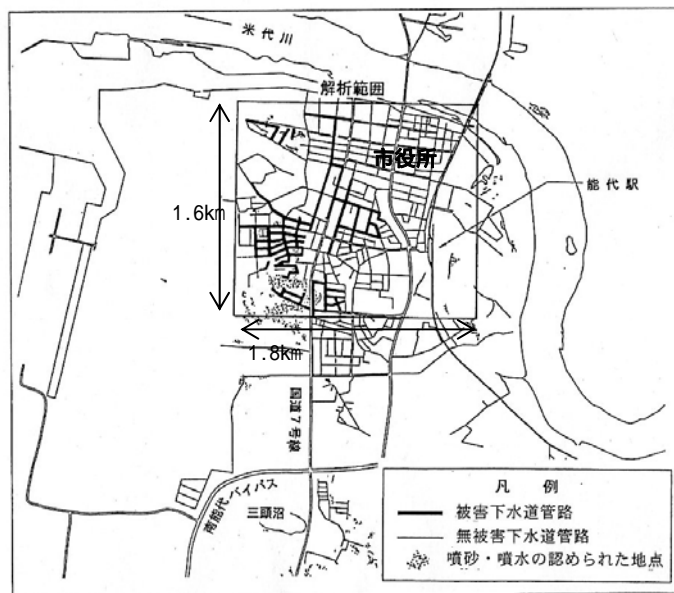


図 8 日本海中部地震時の能代市被害状況

一方震度については、地震被害予測システムによる推定計測震度では 5.5 (能代市役所周辺) であるが、地震被害の詳細解析が行われたエリアのなかで噴砂、噴水が認められた地点(液状化地盤)は局所であり、液状化地盤の震度を代表していない可能性があるため、当該区域の震度は余裕を含め震度 7 (基準計測震度 6.75) として取り扱うこととする。

これらの値を整理すると、表 15 のとおりとなり、代表値を基本となる式に代入すると図 9 のとおりであり、震度階級毎の被害率は表 16 のとおりとなる。

表 15 液状化地盤のその他の管の基準被害率

液状化区分	代表地区	基準被害率 (%)	基準計測 震度	備考
液状化地盤	日本海中部地震能代市	14.5	6.75	

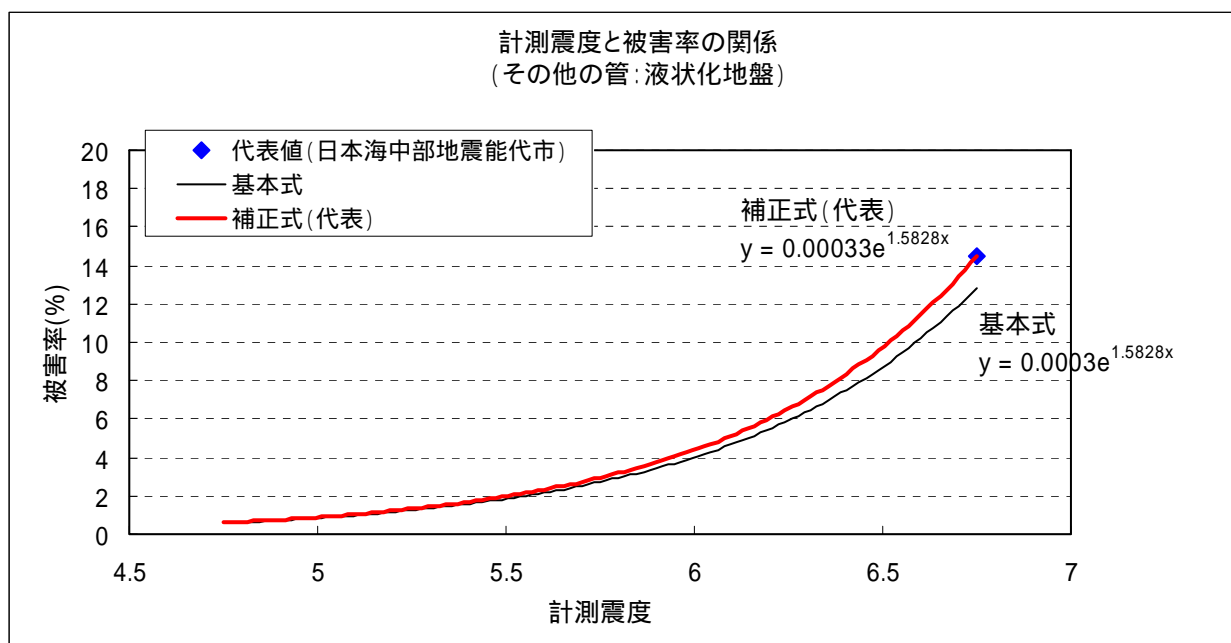


図 9 液状化地盤のその他の管の計測震度と被害率の関係

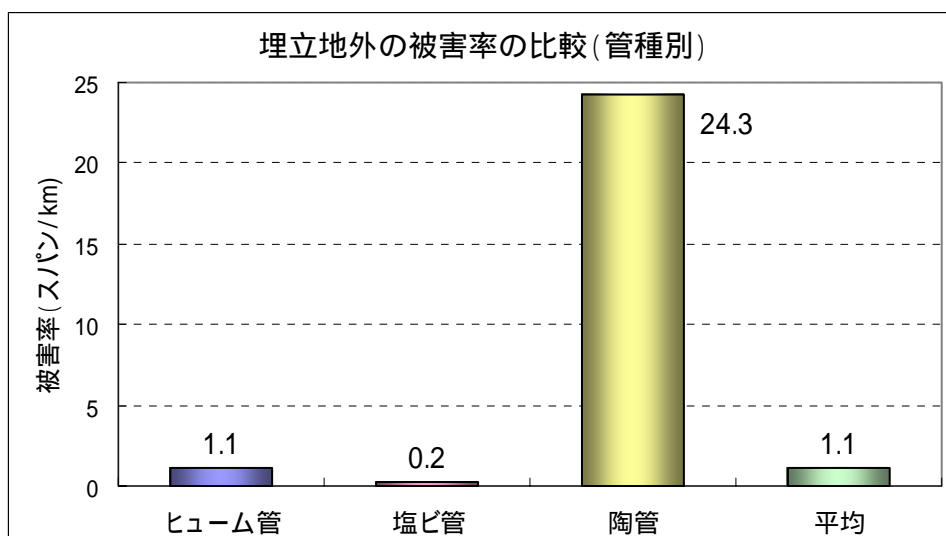
表 16 液状化地盤のその他の管の震度階級別の被害率

震度階級	5-	5+	6-	6+	7	補正式 <sup>1</sup>
計測震度基準値	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	
液状化地盤 その他の管 被害率	0.6%	1.3%	3.0%	6.5%	14.5%	$y = 0.00033 e^{1.5828x}$

1 x : 計測震度、y : 被害率 (%)

### (3) 陶管の被害率

被害率算定に関しては、塩ビ管と塩ビ管以外に区分し設定を行ったが、塩ビ管以外の管に関しては、ヒューム管と陶管で被害率が異なることが兵庫県南部地震の神戸市の実績により確認されている。神戸市の5つの埋立地以外の地区の管種別の被害率は図 10 のとおりである。



出典：阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 ライフライン施設の被害と復旧

図 10 神戸市の管種別の被害率

上図に示す通り、神戸市に関して管種別に被害率を比較した場合、陶管の被害率が圧倒的に大きく、陶管が布設されている3行政区（中央区、兵庫区、垂水区）でいずれも1kmあたり20～45スパンの被害が生じている（50%以上のスパンで被害が発生している）と報告されている。

兵庫県南部地震時の神戸市における陶管は、被害が顕著であった上記3行政区に集中して布設されているとともに、昭和30年代に布設された老朽管で現在の規格とは異なる旧規格のものであったため、被害が大きくなったと推察される。

この被害状況は、先述した塩ビ管の被害率よりも高いものとなり、旧陶管については少なくとも塩ビ管以外のコンクリート管等と同等に扱うことは適当でないと考えられる。

一方、昭和62年以降に製造された陶管については、以下の理由から、下水道用鉄筋コンクリート管の被害率を参考として評価することが妥当であると考えられる。

1. JSWAS規格変更に伴い、圧縮強さが従前の1.7倍程度に高まり、その外圧への強さは鉄筋コンクリート管（1種）の破壊荷重に匹敵する程度となった
2. 兵庫県南部地震時の被害パターンによると、陶管本管部の被害形態はクラックが8割程度を占め、ヒューム管のそれと類似している

このような状況を踏まえれば、本来、陶管については旧陶管、現陶管に分けて別途被害率を設定すべきと考えられるが、被害想定対象となる陶管の、布設年次が不明であること、大半が旧陶管と考えられることを考慮し、「塩ビ管の被害と同等」として被害率を設定するものとした。

#### (4) 液状化危険度による補正

その他の管（塩ビ管以外の管）の液状化地盤における被害の程度は、地盤の液状化危険度（PL値に応じて区分）によって異なるため、液状化危険度による被害率の補正を行う必要がある。また、PL値と液状化危険度のランクの関係は、表17のとおり示される。ここで、表16においては、“液状化危険度A”の被害率を定めており、“液状化危険度D（非液状化）”の被害率は表13で定めていることから、液状化危険度B,Cの被害率は、表17の比率（右欄）に基づいて比例計算により設定することとした。この結果、被害率は、表18のとおりとなる。なお、液状化面積率は、1964年新潟地震時の液状化発生状況に基づいたものであり、中央防災会議首都直下地震での被害想定における被害率（下水道機能支障率）の設定においても、同面積率をもとに比例計算によりPL値ランクごとの値を算出している。

表17 液状化危険度とPL値の関係

液状化危険度ランク		PL値	液状化面積率	
			液状化面積率	比率
液状化危険度A	液状化の可能性高い	15 < PL値	18%	1.00
液状化危険度B	液状化の可能性有り	5 < PL値 15	5%	0.28
液状化危険度C	液状化の可能性低い	0 < PL値 5	2%	0.11
液状化危険度D	液状化の可能性無し	PL値 = 0	0%	0.00

注) 液状化面積率：1964年新潟地震時の液状化発生状況に基づき設定（中央防災会議手法に準拠）

表18 液状化危険度別、震度階級別、管種別の平均被害率

管種	液状化危険度	PL値	震度階級				
			5-	5+	6-	6+	7
			計測震度基準値	4.75	5.25	5.75	6.25
塩ビ管 陶管	A~D	ALL	1.0%	2.3%	5.1%	11.3%	24.8%
その他の管	A	15 < PL	0.6%	1.3%	3.0%	6.5%	14.5%
	B	5 < PL 15	0.5%	1.0%	2.2%	4.8%	10.7%
	C	0 < PL 5	0.4%	0.9%	2.0%	4.5%	9.8%
	D	PL = 0	0.4%	0.9%	1.9%	4.2%	9.2%

### (5) 最大・最小被害率の設定

最大・最小被害率は、表 18 で設定した液状化危険度別、震度階級別、管種別の平均被害率に表 4 で設定した震度階級別の平均被害率に対する倍率を乗じることにより設定する。この結果を表 19、20 に示す。

表 19 液状化危険度別、震度階級別、管種別の最大被害率

管種	液状化	PL 値	震度階級				
			5-	5+	6-	6+	7
		計測震度 基準値	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75
平均被害率に 対する倍率	19	13.4	7.7	4.3	2.3		
塩ビ管 陶管	A~D	ALL	19.0%	30.8%	39.3%	48.6%	57.0%
その他 の管	A	15 < PL	11.4%	17.4%	23.1%	28.0%	33.4%
	B	5 < PL 15	8.7%	13.6%	17.0%	20.8%	24.6%
	C	0 < PL 5	8.0%	12.6%	15.6%	19.1%	22.5%
	D	PL = 0	7.6%	12.1%	14.6%	18.1%	21.2%

表 20 液状化危険度別、震度階級別、管種別の最小被害率

管種	液状化	PL 値	震度階級				
			5-	5+	6-	6+	7
		計測震度 基準値	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75
平均被害率に 対する倍率	0	0	0	0.1	0.1		
塩ビ管 陶管	A~D	ALL	0.0%	0.0%	0.0%	1.1%	2.5%
その他 の管	A	15 < PL	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	1.5%
	B	5 < PL 15	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	1.1%
	C	0 < PL 5	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	1.0%
	D	PL = 0	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.9%

## 1.4 メッシュ単位の被害状況予測手法

1.3 で算出した被害率をもとに、メッシュ内に敷設された管路の被害率、被害延長及び被害額を算出するとともに、その結果を「管路被害状況マップ」として図示し、緊急的な対策の優先順位決定の基礎資料として活用するための手法を提示する。

### 1.4.1 検討フロー及び利用データ

検討は、図 11 に示すフローに基づき、メッシュごとの検討に必要な情報を入力し、被害状況を算定する。

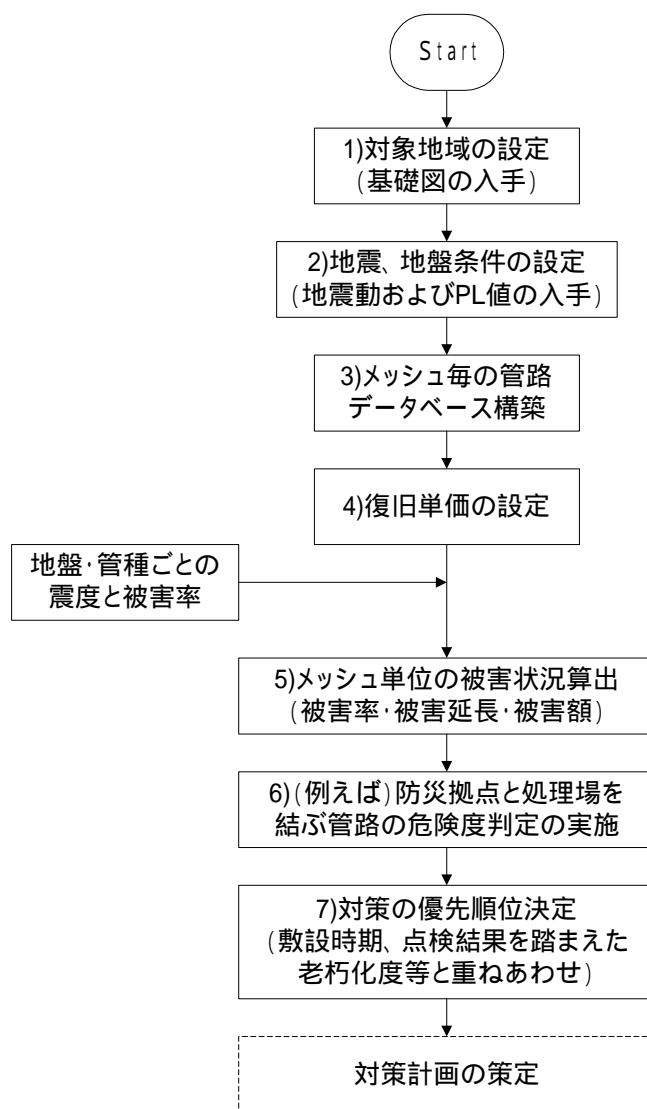


図 11 検討フロー

## 1.4.2 検討に必要な情報

### (1) メッシュの基礎図

本検討においては、マクロ的な被害を算出するため、1 km × 1 km 程度のメッシュ単位の国土地理院の3次メッシュを利用した。

3次メッシュとは：「標準地域メッシュ・システム(昭48.7.12 行政管理庁告示第143号「統計に用いる標準地域メッシュ及び標準地域メッシュコード)」に基づくもので、一定の経線、緯線で地域を網の目状に区画する方法で作成されたものである。

第1次地域区画は、経度差1度、緯度差40分で区画された範囲を指す。第2次地域区画は第1次地域区画を縦横8等分したもので、第3次地域区画は第2次地域区画を縦横10等分したものである。集計・解析等にあたってはこれらを用いて行われる。

一般にこの第3次地域区画のことを「標準地域メッシュ」あるいは「3次メッシュ」と呼ぶ。(1/2.5万地形図の図郭割の縦横10等分の範囲に該当(約1 Km × 1 Km))

### (2) 地震・地盤条件

対象とする地震に対する、地震動及びP L値を上記メッシュ単位で入力する。なお、本検討における試算では、首都直下地震(東京湾北部地震)及び東海・東南海・南海連動型地震発生時における、1 km × 1 kmメッシュごとの震度及びP L値を中央防災会議から入手した。

### (3) 管路施設データ

メッシュごとの管種・管径別管路延長を入力するため、図12のフローに基づきデータベースを構築する。ここで、管種・管径別の施設データが下水道台帳として整理されている場合は、その活用が精度及び効率性の観点から有利である。また、下水道台帳が十分整備されていない場合は、下水道統計等のデータから市町村単位または処理区単位等で面積按分することによってデータベースを構築する。

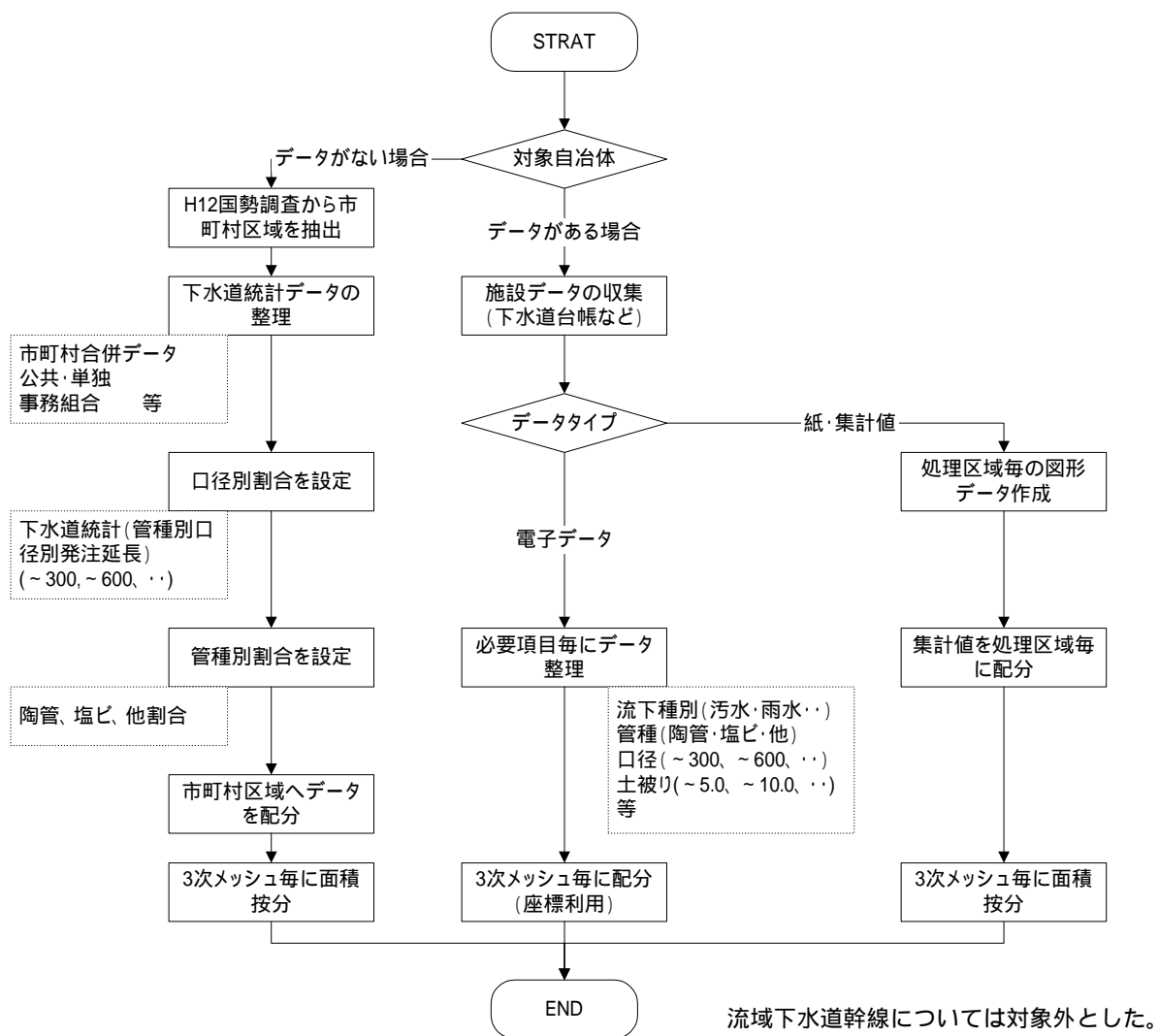


図 12 メッシュ毎の管路データベース策定フロー



#### (4) 復旧単価

被害額は、被害を受けた管路の復旧に要する費用として算出するものとし、災害査定の実績に基づき、図 13 に示す流れで復旧単価を算出する。

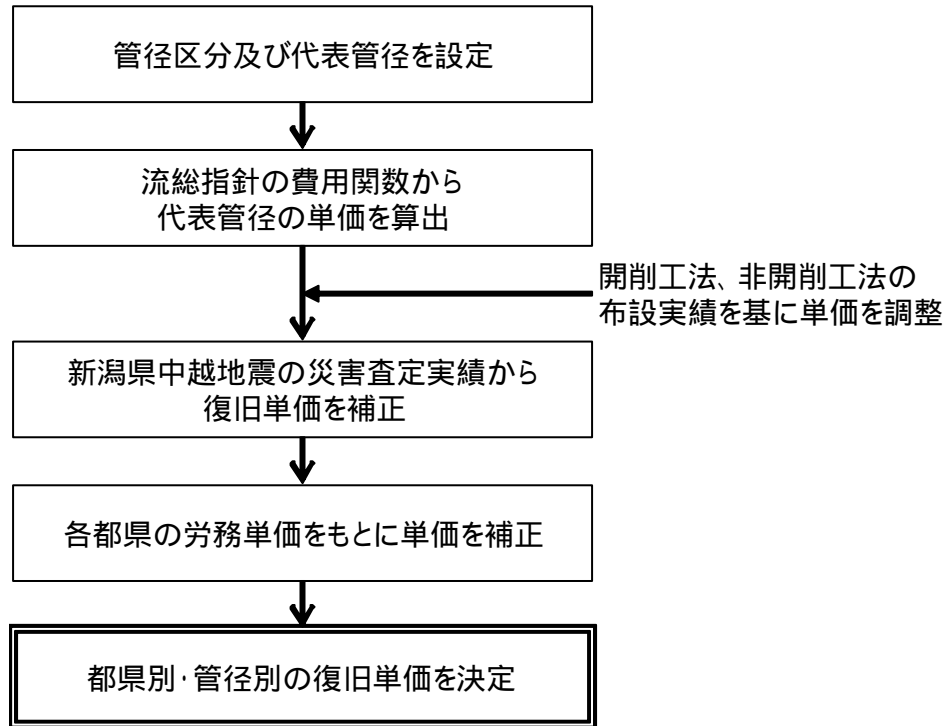


図 13 復旧単価算出手順

### 1.4.3 検討フロー及び利用データ

1.4.1 に示した検討に基づき算出されたデータを図化することで、管路被害状況マップを作成する。図 14 に被害状況マップのイメージを示す。

これらの情報に、防災拠点や緊急輸送路等の情報、老朽管の情報等を重ね合わせることで、緊急的な対策の優先順位決定の基礎資料として活用できる。防災拠点～終末処理場間管きよ耐震化優先順位検討イメージ を図 15 に示す。

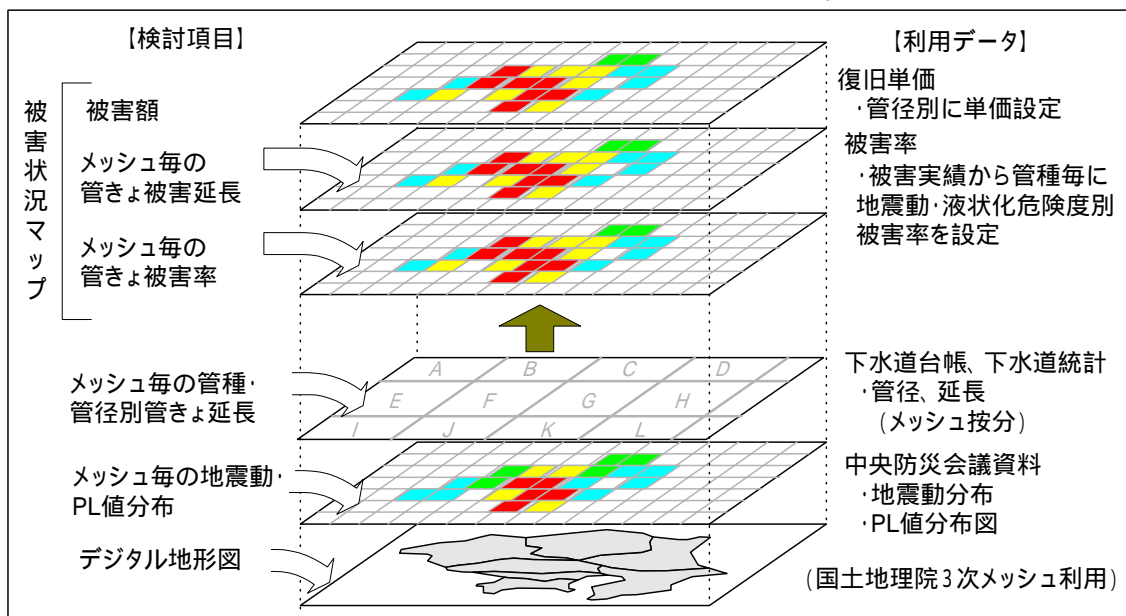


図 14 被害状況マップイメージ

### 1.4.4 防災拠点～終末処理場間管きよ耐震化優先度検討手順

防災拠点が複数ある場合には、すべての防災拠点～終末処理場を結ぶ管きよを短期間に耐震対策を実施できないことが予想される。このような場合には、優先度を決定して、耐震化対策を実施することが重要である。

ここでは、管きよの被害マップを活用した防災拠点～終末処理場間の管きよの優先順位決定手順の例を提示する。

被害マップに終末処理場及び防災拠点をプロットする。

終末処理場と防災拠点を結ぶ管きよを台帳などから抽出し、被害マップに抽出した管きよをトレースする。

管きよが通過するメッシュの被災危険度（被害率などを指標に設定）を抽出する。

各管きよの被災平均危険度を算出する。

この事例では、被災平均危険度を各メッシュの被災危険度の平均値とした。

防災拠点 1 の管きよ被災平均危険度 =  
 $(5+5+4+4+3+3+3+3+3+4+3+2+2+2+3+4+5+6+4+4+4+3) / 23 = 3.57$

防災拠点 2 の管きよ被災平均危険度 =  
 $(5+5+1+2+2+2+2+1+3+4+3+3+3+5+4+4+3+3+2+3) / 20 = 3.00$

防災拠点 3 の管きよ被災平均危険度 =  
 $(5+5+1+2+2+2+2+1+3+4+3+4+4+5+4+4+3+3+3+3+4+4+4+4+4+4+5+5+6+6+6+6+6+3) / 35 = 3.89$

被災平均危険度から事業実施の優先度を決定する。  
 ここまでの、手順をまとめたイメージ図を図 15 に示す。

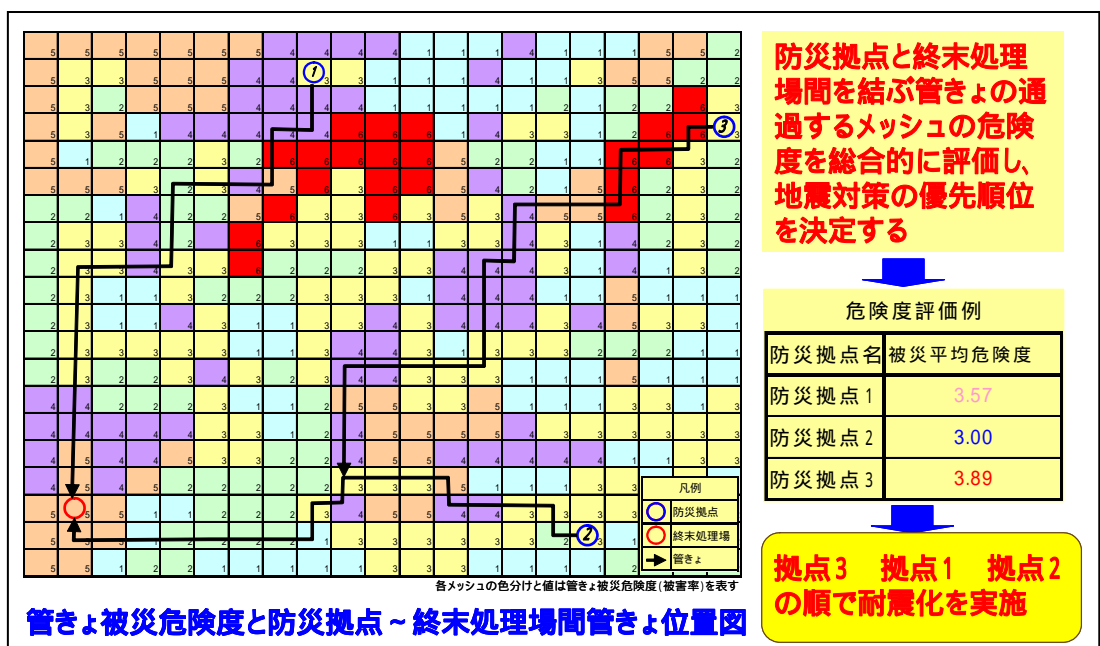


図 15 防災拠点～終末処理場間管きよ耐震化優先順位検討イメージ

なお、優先度の決定には、  
 防災拠点の規模、重要度  
 管きよの老朽度、耐震化状況  
 等の要因などについても、データがある場合には、それらの要因についても加味することが必要である。