

(5) 管路被害予測式の提案

管路被害予測式の構築に当たっては、従来の被害予測式と同様に、標準被害率に各要因の補正係数を掛けることによって、管路毎の被害率を算出する手法を採用することとした。

4.3 研究結果

(1) 被害予測手法の課題に関するアンケート調査

①被害予測実施済み事業者向けアンケート

アンケート調査 37 事業者の内、34 事業者から回答を得た。回答結果を整理し、以下に示す項目で現在の状況や問題点を抽出した。その内容の主な特徴を示す。

- 1)被害予測の対象管路を任意に設定している場合、ほとんどが口径によって対象管路を設定している。
- 2)配水支管等、応急復旧等で十分対応が可能である管については、被害予測を行っていない事業者が多い。
- 3)被害予測式の繁雑さから地盤情報等の補正を考慮しないで被害予測を実施している事業者も確認された。
- 4)被害予測式を構築するに当たり改善してほしい要望が多くあった項目は以下のとおりである。
 - ・各管種の継手の取り扱い（ダクタイル鋳鉄管、鋼管、塩ビ管の継手別の扱い）
 - ・地盤区分の扱い
 - ・液状化区分の扱い
- 5)現在、各事業者が使用している被害予測式の改善対策例としては、管種や口径及び地形や地盤に関する補正係数と液状化について別途、係数を設定し対応付けを行い、被害予測式に適用できるよう独自にカテゴライズするという意見があった。
- 6)被害予測評価のメッシュサイズは「250mメッシュ」「500mメッシュ」が多く使用されている。これは、地形・地盤、液状化に関する情報を県や市町村の防災計画から入手しており、そのメッシュサイズに合わせているためである。
- 7)被害予測の利用形態としては、管路更新計画や内部資料、議会説明用として主に活用している。
- 8)ほぼすべての事業者において、被害予測結果はマッピングシステムとは別のシステムを構築している。

②被害予測未実施事業者向けアンケート

アンケート調査対象である、センター会員 227 事業者の内、171 事業者から回答を得た。回答結果を整理し、以下に示す項目で現在の状況や問題点を抽出した。その内容の主な特徴を示す。

- 1)管路属性の管理については、事業者規模を問わず、多くの事業者において、管種・口径・継手・布設年について管理されていることが確認された。また、管種別継手の管理状況については、DIP の継手については約 85%の割合で管理されている。
- 2)管路の耐震化計画等を実施している事業者は全体の 2 割弱であるが、約 8 割の事業者で策定

予定中や将来的に実施したいという要望が確認された。

- 3)被害予測を実施していない場合の更新の優先順位は、「管種」「経過年数」「事故歴」「重要管路」を基準に決めている。
- 4)被害予測の実施範囲については、「基幹管路となる導送配水本管レベル」「配水支管レベル」まで必要との意見が多くあった。

(2) 想定地震動の評価

想定地震断層が与えられた場合の各地点における想定地震動強さの評価手法は、既に多くの研究者によって提案されているが、自治体の地震防災計画等に用いられている手法について整理、分析した。この結果、以下のことが明らかとなった。

- ・工学的基盤面における地震動強さをまず求め、そこから地表面までの増幅特性を考慮して地表面における地震動強さを求める手法を用いている場合がほとんどである。
- ・それぞれ、詳細法と簡易法の2とおりがあるが、近年、計算に必要なパラメータが多くなく簡易に求められる手法が多く用いられている。
- ・地震動強さとして最大加速度を採用しているものが多いが、管路被害との相関が高いと言われている最大速度も採用している場合がある。

(3) 管路被害データベースの構築

管路被害データを収集するに当たり、平成16年新潟県中越地震、平成19年新潟県中越沖地震の水道管路被害データを収集・分析したが、小口径管の布設延長が長く、被害数も小口径管に多いことから、大口径管の被害予測にはこれらのデータだけでは十分でないことが明らかとなった。このため、平成7年兵庫県南部地震における神戸市、芦屋市、西宮市の被害データを改めて精査し、データベースに追加した。それらをGIS上の管路図に被害地点としてプロットするとともに、管路属性である管種、口径、継手種類などを入力するとともに、メッシュごとの微地形分類、地震動強さを入力し、データベースを構築した。

データサンプル数は、兵庫県南部地震2,170、新潟県中越地震277、新潟県中越沖地震491の合計2,938サンプルである。表4.2に集計の対象とした管路延長を、表4.3～4.5に地震毎の被害データの集計結果を示す。

○本研究で収集した管路被害データ

表 4.2 対象とした管種と延長データ

管種	DIP(A)	DIP(K)	DIP(T)	DIP(耐震)	CIP	VP(TS)
新潟県	580.908	616.697	74.525	123.438	80.468	496.635
兵庫県	1551.708	252.429	1863.898	270.764	452.511	285.142
全体	2132.616	869.126	1938.423	394.202	532.979	781.777
管種	VP(RR)	SP(溶接)	SP(溶接以外)	PE(融着)	PE(融着以外)	ACP
新潟県	89.857	24.076	137.038	67.259	83.878	8.231
兵庫県	0	84.998	0	0	2.863	0.616
全体	89.857	109.074	137.038	67.259	86.741	8.847

表 4.3 兵庫県南部地震による管路被害集計結果(神戸市・西宮市・芦屋市)

管種	継手	口径																	総計		
		50	65	75	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900			
ACP	(空白)			26	10		4	2		1											43
ACP	集計			26	10		4	2		1											43
CIP	集計			60	140	8	178	122	16	49	4	20	3	3	1	1				5	610
DIP	*不明			1	8		11	3		12		3		1					2	1	42
	A			74	158	4	207	106		20		80	3	3	3						658
	K											16		6						3	28
	T			2	67		177	82						1				2			328
DIP	集計			77	233	4	395	191	20	108	3	12	3	2			2		5	1	1056
SP	溶接以外	3	1	2																	6
	溶接			1	1		1	2	1								2				8
SP	集計	3	1	3	1		1	2	1								2				14
VP	TS	129		122	76	1	6														334
VP	集計	129		122	76	1	6														334
不明	集計			3	20		49	10		17		2		2	3	1				6	113
総計		132	1	291	480	13	633	327	37	175	7	34	6	7	6	4	5	12			2170

表 4.4 新潟県中越地震による管路被害集計結果(旧長岡市・小千谷市)

子-タの個数 / 口径		口径															総計				
管種	継手	50	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700		不明			
CIP	集計		3	5	5	1		3													17
DIP	A		11	19	22	8	1														61
	K		12	19	8	1															40
	不明		1	1	1																3
DIP	集計		24	39	31	9	1														104
SP	溶接以外	54		1		1		21													77
SP	集計	54		1		1		21													77
VP	RR	7																			7
	TS	62		1																	63
	不明		1	4																	5
VP	集計	69	1	5																	75
不明	集計	1	1		1	1															4
総計		124	29	50	37	12	1	24													277

表 4.5 新潟県中越沖地震による管路被害集計結果(柏崎市・刈羽村)

管種		口径																総計			
継手		50	75	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	不明				
CIP	集計				6		2	1			1										10
DIP	A		6		17		32	14	1	17	2			1							90
	K		27		33		28	13	3	1	1	1	1	2	6	2					118
	T		3		6		11	9	9												38
	不明		1				2							1							4
DIP	集計		37		56		73	36	13	18	3	1	1	4	6	2					250
PE	融着以外	1																			1
	不明	1																			1
PE	集計	2																			2
SP	溶接以外	22	8	4	4		6														44
SP	集計	22	8	4	4		6														44
VP	RR	13	5		2	1		1													22
	TS	146	8		6															1	161
	不明	2																			2
VP	集計	161	13		8	1		1													185
総計		185	58	4	74	1	81	38	13	18	4	1	1	4	6	2	1				491

(4) データ解析

クロス集計と多変量解析の両方に用いる管路の延長を、図 4.1 管種別の布設延長、図 4.2 口径別布設延長に示す。なお、「兵庫県」は、兵庫県南部地震における神戸市、芦屋市、西宮市のデータ、「新潟県」は、新潟県中越地震における旧長岡市、小千谷市、及び新潟県中越沖地震における柏崎市、刈羽村のデータであり、「合計」は、これらの合計である。

なお、今回クロス集計及び多変量解析の対象外とした兵庫県南部地震における宝塚市と能登半島地震のデータは、被害予測式の精度を検証するために用いることとしている。

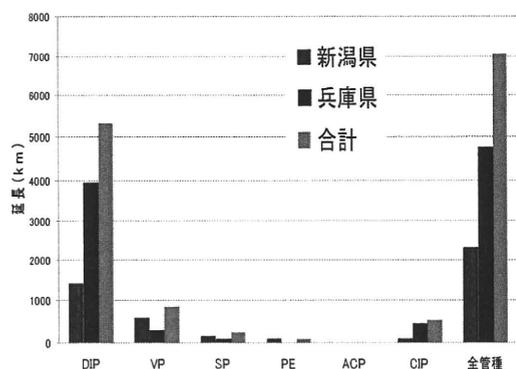


図 4.1 管種別の布設延長

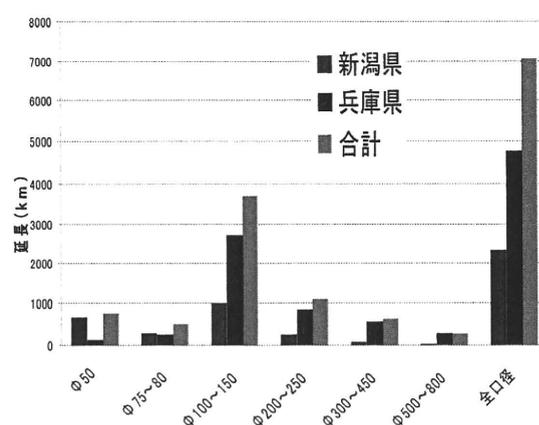


図 4.2 口径別の布設延長

①クロス集計による被害分析

被害率を微地形分類、管種、口径、継手種類ごとに算出し、それぞれの要因がどのように被害に関与しているのかを分析した。

分析結果として、以下に、図 4.3 微地形分類と被害率の関係、図 4.4 口径と被害率の関係、図 4.5 管種と被害率の関係、図 4.6 継手種類と被害率との関係を示す。

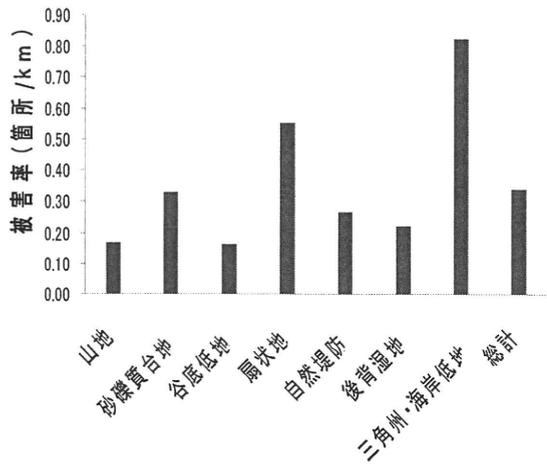


図 4.3 微地形分類と被害率の関係

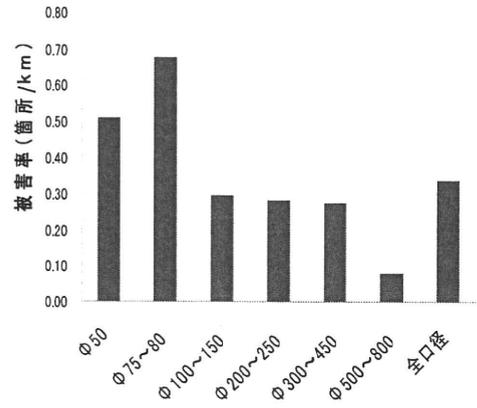


図 4.4 口径と被害率の関係

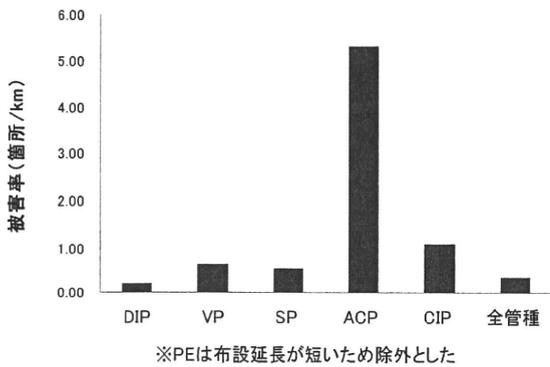


図 4.5 管種と被害率の関係

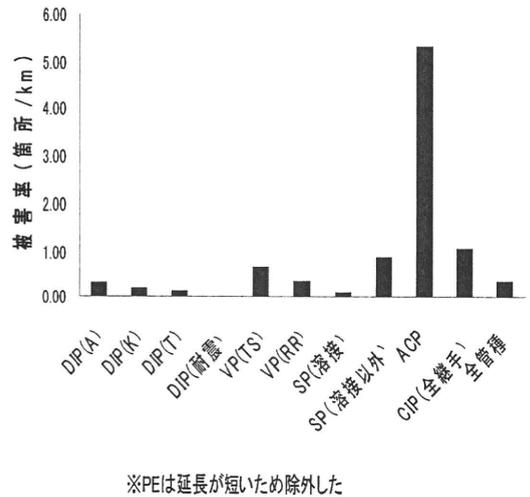


図 4.6 継手種類と被害率の関係

②多変量解析

250m メッシュ内の管種、口径、微地形分類ごとの被害率を目的変数として解析を行うので、メッシュ内の布設延長が短いと、被害が少数でも被害率は大きな値となる。このことを確認するために、本データベースに基づく被害率と1メッシュ内における布設延長との関係でまとめると図 27 のようになる。この図から、布設延長が短いと1箇所被害が発生しただけで被害率が10箇所/kmを超える場合が数多くあることが分かる。被害率と布設延長とは力学的には無関係であるが、本研究で用いる被害率の定義とメッシュを用いた分析という手法に起因して強い相関が生じていることが分かる。

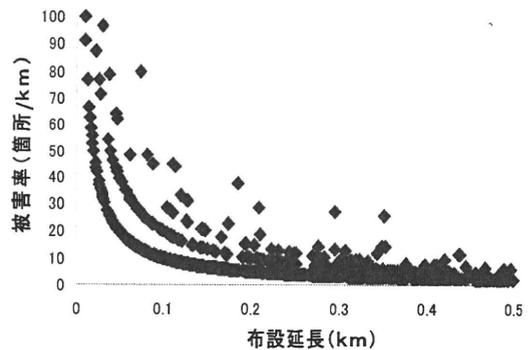


図 4.7 1メッシュ内の布設延と被害率 (件/km) との関係

そこで、この影響を排除するため、本来は無関係であるはずの1メッシュ当たりの布設延長も被害率を説明する変数として扱うことにした。

要因を管種、口径、微地形、布設延長としたときの多変量解析の結果を表4.6に示す。

表 4.6 多変量解析の結果(管種、口径、微地形、布設延長)

	カテゴリスコア	サンプル数	偏相関係数	Ci	比較	
管種	DIP	1	-0.19	468	0.65	1.00
	VP	2	0.10	232	1.27	1.96
	SP	3	-0.28	27	0.52	0.80
	PE	4	-2.01	1	解析不能(注1)	
	ACP	5	14.49	1	解析不能(注1)	
	CIP	6	0.31	194	2.02	3.12
口径	Φ50	1	0.16	161	1.44	1.11
	Φ75~80	2	-0.28	112	0.53	0.41
	Φ100~150	3	0.11	436	1.30	1.00
	Φ200~250	4	-0.14	128	0.73	0.56
	Φ300~450	5	-0.13	75	0.74	0.57
	Φ500~900	6	-1.52	11	0.03	0.02
微地形	砂礫質台地	1	-0.52	231	0.30	0.16
	谷底低地	2	-0.75	68	0.18	0.10
	扇状地	3	0.27	336	1.85	1.00
	自然堤防	4	0.84	41	6.86	3.70
	後背湿地	5	-0.03	70	0.94	0.51
	三角洲・海岸低地	6	0.28	177	1.88	1.02
布設延長	0.1~0.2	1	4.30	221	解析不適(注2)	
	0.2~0.3	2	0.30	209	2.00	1324.255347
	0.3~0.4	3	-0.76	136	0.18	115.7020826
	0.4~0.5	4	-1.77	91	0.02	11.29008646
	0.5以上	5	-2.82	266	0.00	1

注1 PE, ACPについてはサンプル数不足のため解析不能

注2 1メッシュ当たりの延長不足のためばらつきが大きく解析不適

重相関係数 = 0.59

それぞれの要因が被害率に寄与している程度の大きさを偏相関係数が表しているが、この表によれば、布設延長が被害率に最も大きく寄与し、管種、微地形が続いている。表4.6の「Ci」は、被害予測式の補正係数に相当し、「比較」の欄は基準となるものを1.0として基準化したときの補正係数の値である。したがって、表4.6は、他の条件が同じであれば、VPの被害はDIPの約2倍、CIPのそれはDIPの約3倍であることを示している。PEとACPが解析不能となっているのはサンプル数が1つのみで解析不能であったことによる。なお、この解析は1メッシュ当たりの管路延長が0.1km以上のサンプルに対して行った。図4.7に示されるように、1メッシュ当たりの延長が短くなるほど被害率のばらつきが大きくなり、解析に適さないからである。表4.6の延長0.1~0.2kmの欄が解析不適となっているのは、このばらつきの大きさの影響でCiが非常に大きく解析不適となっていることを示している。表4.7に管種の継手種別を考慮した多変量解析の結果を示す。

表 4.7 多変量解析の結果(管種の継手種別、口径、微地形、布設延長)

	カテゴリスコア	サンプル数	偏相関係数	Ci	比較	
管種継手	DIP(A)	1	-0.25	271	0.57	1.16
	DIP(K)	2	-0.31	67	0.49	1.00
	DIP(T)	3	0.14	105	1.39	2.86
	VP(TS)	4	0.14	215	1.39	2.84
	VP(RR)	5	-1.12	10	0.08	0.16
	SP(溶接)	6	-2.86	4	解析不能(注1)	
	SP(溶接以外)	7	0.18	24	1.50	3.08
	PE(全継手)	8			解析不能(注1)	
	ACP(全継手)	9	14.38	1	解析不能(注1)	
	CIP(全継手)	10	0.24	194	1.72	3.52
口径	Φ50	1	0.06	155	1.15	0.70
	Φ75~80	2	-0.27	112	0.53	0.33
	Φ100~150	3	0.21	423	1.63	1.00
	Φ200~250	4	-0.23	122	0.59	0.36
	Φ300~450	5	-0.39	69	0.41	0.25
	Φ500~900	6	-1.30	10	0.05	0.03
微地形	砂礫質台地	1	-0.50	223	0.32	0.18
	谷底低地	2	-0.85	65	0.14	0.08
	扇状地	3	0.26	333	1.80	1.00
	自然堤防	4	0.92	40	8.33	4.63
	後背湿地	5	-0.33	60	0.47	0.26
	三角洲・海岸低地	6	0.38	170	2.38	1.32
布設延長	0.1~0.2	1	4.13	230	解析不適(注2)	
	0.2~0.3	2	0.11	221	1.28	1705.66
	0.3~0.4	3	-0.93	140	0.12	157.45
	0.4~0.5	4	-2.03	87	0.01	12.57
	0.5以上	5	-3.13	213	0.00	1.00

注1 SP(溶接), PE, ACPはサンプル数不足のため解析不能

注2 1メッシュ当たりの延長不足のためばらつきが大きく解析不適

重相関係数 = 0.57

表4.7においても、SP(鋼管)の溶接継手とPE、ACPはサンプル数不足のため解析不能となっている。また、延長0.1~0.2kmの欄が解析不適となっているのは、表4.6と同じ理由である。

(5) 管路被害予測式の提案

解析結果から算出した管路被害予測式及び各補正係数を表 4.8 に示す。なお、データベースのサンプル数の関係等で、信頼に足る解析結果を算出できなかった項目に関しては、工学的な知見等を考慮し補正係数を決定した。

表 4.8 管路被害予測式と各補正係数【再掲 表 3.1】

地震による管路被害予測式						
$R_m(v) = C_p \times C_d \times C_g \times R(v)$ $R_m(v)$: 推定被害率 [件/km] $R(v)$: 標準被害率 [件/km] $R(v) = 9.92 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.14}$ v : 地震動の地表面最大速度(cm/s) (ただし、 $15 \leq v < 120$)						
補正係数						
管種	C_p	口径 C_d		微地形 C_g 注1		
DIP(A)	1.0	φ 50-80	2.0	液状化の可能性		無し 有り
DIP(K)	0.5	φ 100-150	1.0	山地 山麓地 丘陵 火山地	0.4	6.0
DIP(T)	0.8 注2	φ 200-250	0.4	火山山麓地 火山性丘陵		
DIP(離脱防止)	0	φ 300-450	0.2	砂礫質台地 ローム台地	0.8	
CIP	2.5	φ 500-900	0.1	谷底低地 扇状地 後背湿地	1.0	
VP(TS)	2.5			三角洲・海岸低地		
VP(RR)	0.8 注3			自然堤防 旧河道	2.5	
SP(溶接)	0.5/0 注4			砂州・砂礫州 砂丘		
SP(溶接以外)	2.5 注5			埋立地 干拓地 湖沼	5.0	
ACP	7.5 注6					
PE(融着)	— 注7					

- 注1 液状化の可能性無しの値についても、微地形ごとの液状化の発生頻度をある程度反映しているが、液状化に関する情報を有している場合は、液状化の可能性がある場所に対して補正係数 6.0 を用いる。
- 注2 平成 11 年度以前に出荷されたものに限る。平成 11 年度以降に出荷されたものはダクタイル鋳鉄管 K 形継手と同等と評価されているので補正係数を 0.5 とする。
- 注3 RR 継手を有する塩化ビニル管は布設延長が十分ではなく*、ダクタイル鋳鉄管の T 形継手と継手構造が近いことから、クロス集計の結果も考慮して同等の係数とした。また、RR ロング継手を有する塩化ビニル管は、管路被害データが RR 継手のものと区別されていなかったため、個別の補正係数は算定できなかった。
- 注4 裏波溶接が採用される以前の片面溶接管（φ 700 以下で 1975 年以前に布設のもの）に限り補正係数を 0.5 とし、それ以外のものは 0 とする。
- 注5 溶接以外の鋼管の布設延長も十分ではなく*、継手強度試験結果などからクロス集計の結果も考慮して鋳鉄管、塩化ビニル管 TS 継手と同等の係数とした。
- 注6 石綿セメント管の布設延長も十分ではなく*、クロス集計の結果などから算定した。
- 注7 融着継手を有する配水用ポリエチレン管は地震による被害がないが、布設延長が十分でない*ことから、補正係数は算定できなかったため、「平成 18 年度 管路の耐震化に関する検討会報告書（厚生労働省）」を参照し、各水道事業者の判断により設定できることとする。
- * 地震による管路被害データを多変量解析で分析するにあたり、データサンプルとして布設延長が十分ではないことを意味している。

提案した予測式の精度検証として、実際の地震による被害結果と本予測式による予測結果との比較を行った。図 4.8 に比較結果の一例を示す。

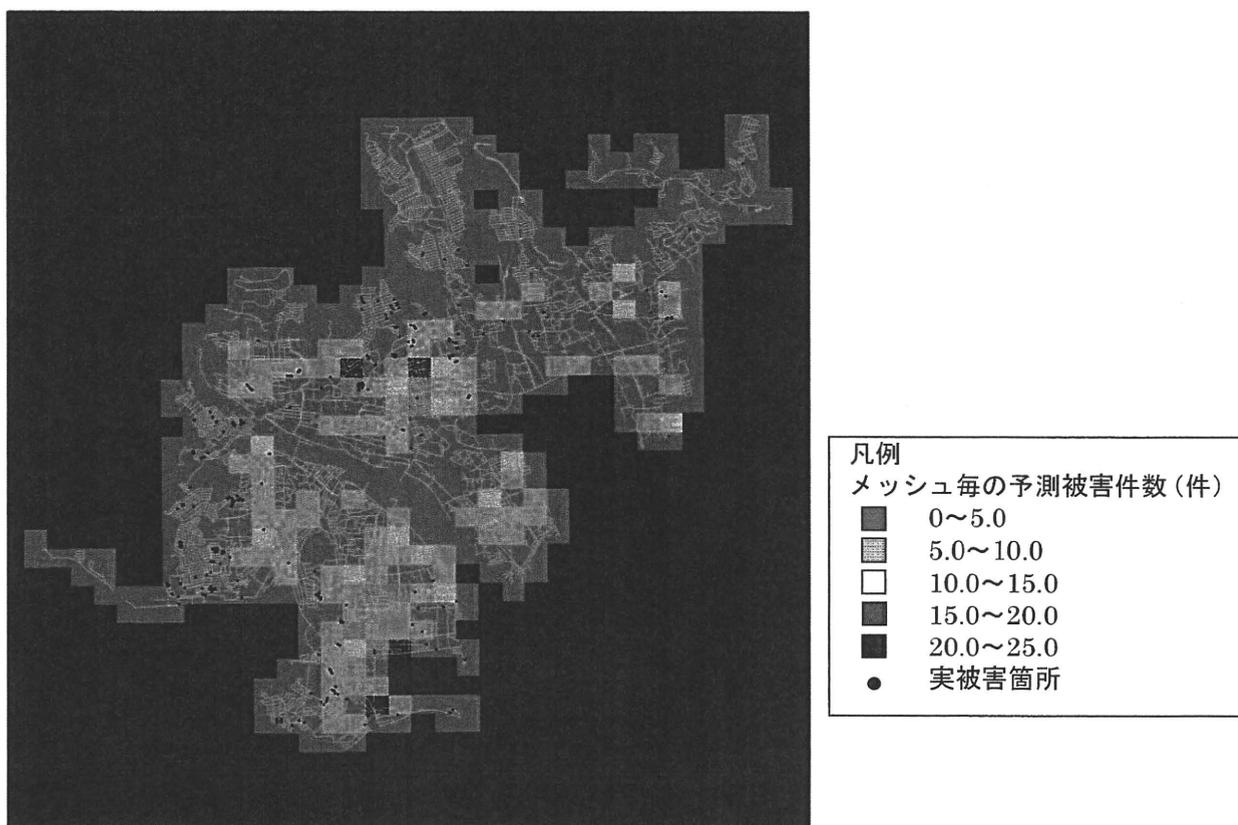


図 4.8 管路の実被害と予測結果との比較

図 4.8 を見ると、予測結果は実際の被害箇所をよく再現しているが、一部に予測結果と実被害箇所が合わない地区が見られる。これらの場所は宅地造成などを行った人工改変地であった。人工改変地は微地形分類では表されていないため、実被害と予測結果の違いの原因となったと考えられる。

今後、人工改変地での管路被害データを収集し、人工改変地に関する補正係数を設定することができれば、予測式の精度は更に向上すると考えられる。

4.4 考察

提案した管路被害予測式の妥当性の検討として、宝塚市と輪島市、七尾市に適用し、兵庫県南部地震と能登半島地震による被害とそれぞれ比較した。その結果、被害予測結果は実際の被害と良い対応を示しており、被害予測式の妥当性が確認された。

特に、提案した管路被害予測式の地形別補正係数は、既に公開されている J-SHIS の微地形分類に対応しており、微地形分類に液状化の起こりやすさも反映されているので、液状化発生予測図を用いなくとも、精度よく被害を予測できることが確かめられた。さらに、詳細な液状化発生予測図を利用する場合には、液状化補正係数を導入することで、被害予測の精度が向上することが明らかとなった。

5 管路被害予測式の活用方法

5.1 予測式の解説

4章表 4.8 に示す本被害予測式は、管路の属性情報のうち、「管種・継手」「口径」「布設されている箇所の特徴分類」と、地震動の強さを表す「地表面最大速度」から管路毎の推定被害率（件/km）を算出することとしている。

以下に、本予測式で使用する管種補正係数 C_p 、口径補正係数 C_d 、微地形補正係数 C_g 、地震発生時の地表面最大速度PGV（cm/s）など各項目の算出根拠、取扱い、活用方法について説明する。

（1）各補正係数について

・管種補正係数 C_p

「管種・継手」から選択される係数である。一般に広く使われている管種・継手について補正係数の算出を行った。ダクタイル鋳鉄管 A 形を基準として補正係数 1.0 とし、A 形と各管種継手の被害率を比較し、補正係数を決定した。

離脱防止機能継手を有するダクタイル鋳鉄管、溶接鋼管（溶接交換については表 4.8 注 4 参照）は布設延長が十分長く、地震による被害がないことから、補正係数を 0 とする。

RR ロング継手を有する塩化ビニル管は、管路被害データが RR 継手のものと区別されていなかったため、個別の補正係数は算定できず、また、融着継手を有する配水用ポリエチレン管は、地震による被害がないが布設延長が十分でないことから、補正係数は算定できなかった。これらの管種・継手の補正係数については、厚生労働省健康局水道課により平成 19 年 3 月にまとめられた「平成 18 年度 管路の耐震化に関する検討会報告書」を参照し、各水道事業者の判断により設定できることとする。

・口径補正係数 C_d

「管の口径」から選択される係数である。配水管として布設延長が多いφ100-150を1.0とし、補正係数の算出を行った。補正係数の算出に当たり、収集した被害データがφ900までのものしか存在しないため、それ以上の口径については値を設定していないが、口径が大きくなるほど被害率は低下することから、φ900以上の口径については0.1と設定できることとする。

・微地形補正係数 C_g

管が布設されている箇所の「微地形分類」から選択される係数である。本予測式で使用する微地形分類は、独立行政法人防災科学技術研究所が Web 上で運営する地震ハザードステーション（J-SHIS）にて公開されている微地形分類に合わせている。J-SHIS では全国の微地形分類が 250 mメッシュ（標準地域 1/4 メッシュ（一辺約 250m）をいう。以下、同じ）で公開されている。J-SHIS のデータ使用に当たっては J-SHIS の使用約款を参照のこと。（地震ハザードステーション（J-SHIS） <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>）

表 4.8 注 1）に記載のとおり、液状化マップ等の情報を所有し、液状化発生の可能性が高い地域を把握している場合は、補正係数 6.0 を設定する。これは、液状化が発生した箇所では一様に管路被害が多発していたことからである。

※J-SHISにて公開されている微地形データについて

J-SHISでは微地形情報等が250mメッシュ単位で閲覧でき、Shapeデータ、CSVデータのダウンロードが可能となっている。J-SHISデータの閲覧方法及びデータのダウンロード方法については「9. 参考」を参照のこと。

J-SHIS よりダウンロードできるデータの一部を表 3.1 に示す。

表 5.1 J-SHIS からダウンロードした微地形に関する情報 (CSV データ)

CODE	JCODE	AVS	ARV
5339000011N	4	510.4	0.812485
5339000012N	4	510.4	0.812485
5339000013N	4	510.4	0.812485
5339000014N	4	510.4	0.812485
5339000021N	4	510.4	0.812485
5339000022N	4	510.4	0.812485
5339000023N	4	510.4	0.812485
5339000024N	4	510.4	0.812485
5339000011N	4	510.4	0.812485
5339000012N	4	510.4	0.812485

表 5.1 中の「CODE」は 250mメッシュの番号を、「JCODE」は微地形分類を表している。JCODE と補正係数 C_g の対応を表 3.2 に示す。

表 5.2 JCODE と予測式の対応

JCODE	微地形分類	補正係数 C_g	JCODE	微地形分類	補正係数 C_g
1	山地	0.4	13	後背湿地	1.0
2	山麓地	0.4	14	旧河道	2.5
3	丘陵	0.4	15	三角州・海岸低地	1.0
4	火山地	0.4	16	砂州・砂礫州	2.5
5	火山山麓地	0.4	17	砂丘	2.5
6	火山性丘陵	0.4	18	砂州・砂丘間低地	-
7	岩石台地	-	19	干拓地	5.0
8	砂礫質台地	0.8	20	埋立地	5.0
9	ローム台地	0.8	21	磯・岩礁	-
10	谷底低地	1.0	22	河原	-
11	扇状地	1.0	23	河道	-
12	自然堤防	2.5	24	湖沼	5.0

(2) 地表面最大速度について

・地震発生時の地表面最大速度 PGV (cm/s)

管路被害予測に必要な地震動の強さを表す項目として、本予測式では地震による管路被害との相関が高いと言われている地表面最大速度を使用することとした。なお、本予測式は地表面最大速度が 120cm/s までのデータを対象としており、それを超えた場合は正しい予測結果が算出されない場合があることを留意されたい。

地表面最大速度の求め方、入手方法として以下に 4 通りの方法を示す。

①行政により作成された防災計画等で示された最大速度分布等を用いる方法

県や市の防災計画 (各都道府県による地震被害想定調査結果等) にて、想定地震動の強さを

設定してある場合にそのデータを用いる。前述のとおり、本予測式では最大速度を用いるため、防災計画等で設定されている地震動強さの項目が最大速度である場合はそのまま使用できるが、最大加速度や計測震度で与えられている事例も少なくない。そういった場合は、下記に示す換算式で最大速度に変換して使用する。ただし、一般に最大速度と最大加速度の間には高い相関はなく、速度-加速度換算式は経験則から作られた式であるため、精度は高くはないことに留意されたい。

○最大加速度 PGA を最大速度 PGV に変換する簡易式

$$\text{Log}_{10}\text{PGV} = 0.89 \times \text{log}_{10}\text{PGA} - 0.74$$

PGV : 地表面最大速度(cm/s)

PGA : 地表面最大加速度(cm/s/s)

出展 : 防災科学技術研究所資料, 第 237 号, p.53.

最大加速度 PGA が 1000cm/s/s と与えられている場合の計算例
上の式を変形して

$$\begin{aligned}\text{PGV} &= 10^{(0.89 \times \text{log}_{10}\text{PGA} - 0.74)} \\ &= 10^{(0.89 \times \text{log}_{10}1000 - 0.74)} \\ &= 85.11(\text{cm/s})\end{aligned}$$

○計測震度 I を最大速度 PGV に変換する簡易式

$$I = 2.68 + 1.72 \times \text{log}_{10}\text{PGV} \quad \text{翠川・他(1999)}$$

I : 計測震度

PGV : 地表面最大速度(cm/s)

計測震度 I が 5.5 (震度 6 弱) と与えられている場合の計算例
上の式を変形して

$$\begin{aligned}\text{PGV} &= 10^{(I - 2.68)/1.72} \\ &= 10^{(5.5 - 2.68)/1.72} \\ &= 43.60(\text{cm/s})\end{aligned}$$

②想定断層の情報、地形情報から求める詳細法

ここでは J-SHIS¹⁾において取得可能な表層地盤データに基づく地表面最大速度の計算方法について説明する。地震ハザードステーションでは日本全国あるいは特定の地域における表層地盤データをダウンロードすることが可能であり、表層地盤データには 250m メッシュコード (日本測地系) や微地形分類コード、表層 30m の平均 S 波速度 (m/s)、工学的基盤 (S 波速度=400m/s) から地表に至る最大速度の増幅率が記載されている。今回、2007 年能登半島地震

を対象とした場合の地表面最大速度の計算例を説明するので、石川県輪島市におけるメッシュコード（表 1）を例に用いることにする。

最大速度の計算において対象地点の情報として必要なものは緯度、経度と最大速度の増幅率である。表 1 に示すように最大速度の増幅率はすでに得られているので、250m メッシュコードからメッシュ中心点の緯度、経度を求めると表 1 のようになる。表 1 の緯度、経度と表 2 に示す国土地理院による能登半島地震の断層モデル²⁾を用いて計算した場合の対象メッシュ中心の断層最短距離は 16.3km となる。この断層最短距離と能登半島地震のモーメントマグニチュード、震源深さを以下の式³⁾の代入することにより、対象メッシュ中心の基盤面における最大速度が求める。

$$\log_{10} PGV = 0.58M_w + 0.0038D + d_i - 1.29 - \log_{10}(X + 0.0028 \times 10^{0.50M_w}) - 0.002X \quad (1)$$

ここで PGV は基盤面の最大速度 (cm/s) , M_w はモーメントマグニチュード, D は震源深さ (km) , X は断層最短距離 (km) , d_i は断層タイプに関する係数である。能登半島地震は地殻内地震であるので d_i は 0 となる。なお、式(1)によって求められる PGV は S 波速度=600m/s の層における値であるので、S 波速度=400m/s の層における値に補正する必要がある。松岡・翠川⁴⁾による増幅度算出式によると S 波速度=600m/s から S 波速度=400m/s の層での増幅率は 1.31 であるので、この値を式 (1) の PGV に乗じる。この PGV にメッシュデータの増幅率を乗じることにより、地表面の最大速度が得られる。表 1 のメッシュデータにおける地表面や基盤面の最大速度は表 2 のようになる。

表 1 メッシュデータ¹⁾とメッシュ中心の緯度、経度

CODE	JCODE	AVS	ARV	緯度(°)	経度(°)
5636076144N	15	207.5	1.749	37.39062	136.89844

CODE : 250m メッシュコード (日本測地系)

JCODE : 微地形分類コード

AVS : 表層 30m の平均 S 波速度 (m/s)

ARV : 工学的基盤 (S 波速度=400m/s) から地表に至る最大速度の増幅率

表 2 能登半島地震の断層モデル諸元²⁾

	緯度(°)	経度(°)	深さ(km)
断層面上端	37.19497	136.55456	1.172
	37.30455	136.74970	
断層面下端	37.25854	136.79004	13.539
	37.14903	136.59497	

表 3 計算結果

Mw	震源深さ (km)	断層最短距離 (km)	最大速度(cm/s) S波速度=600m/s	最大速度(cm/s) S波速度=400m/s	最大速度(cm/s) 地表面
6.7	10.7	16.3	17.8	23.3	40.8

* : Mw は防災科学技術研究所 F-net⁵⁾, 震源深さは気象庁地震年報⁶⁾による値である。

参考文献

- 1) 独立行政法人 防災科学技術研究所：地震ハザードステーション，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 2) 国土地理院：平成 19 年（2007 年）能登半島地震を起こした震源断層の姿，
http://www.gsi.go.jp/cais/notohanto-fault_model.html
- 3) 司 宏俊，翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，Vol.523，pp.63-70，1999.
- 4) 松岡昌志，翠川三郎：国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング，第 22 回地盤震動シンポジウム資料集，日本建築学会，pp.23-34，1994.
- 5) 独立行政法人 防災科学技術研究所：広帯域地震観測網 F-net，<http://www.fnet.bosai.go.jp/>
- 6) 気象庁：地震年報 2007 年（CD-ROM），財団法人 気象業務支援センター。

③工学的基盤に一律の最大速度を設定し、地盤増幅度を乗じて地表面最大加速度を求める方法。

予測を行う範囲の工学的基盤の PGV を同一の値として設定し、増幅率 ARV からメッシュごとに地表面最大速度を求める。

④地表面最大速度 PGV を一律同じ値とする方法。

予測を行う範囲全体に同一の地表面最大速度を設定する。作業の簡略化を図る事ができる反面、精度は劣ることとなるが、管網情報と微地形情報のみで、地震動に対して強い管路、弱い管路を示すことができる。

5.2 予測式の活用例

5.2.1 紙図面使用の場合

紙図面を使用した被害予測式の使い方の例を示す。

(1) 下図のように管路図と微地形分類メッシュ、地震動分布図を重ね合わせる。

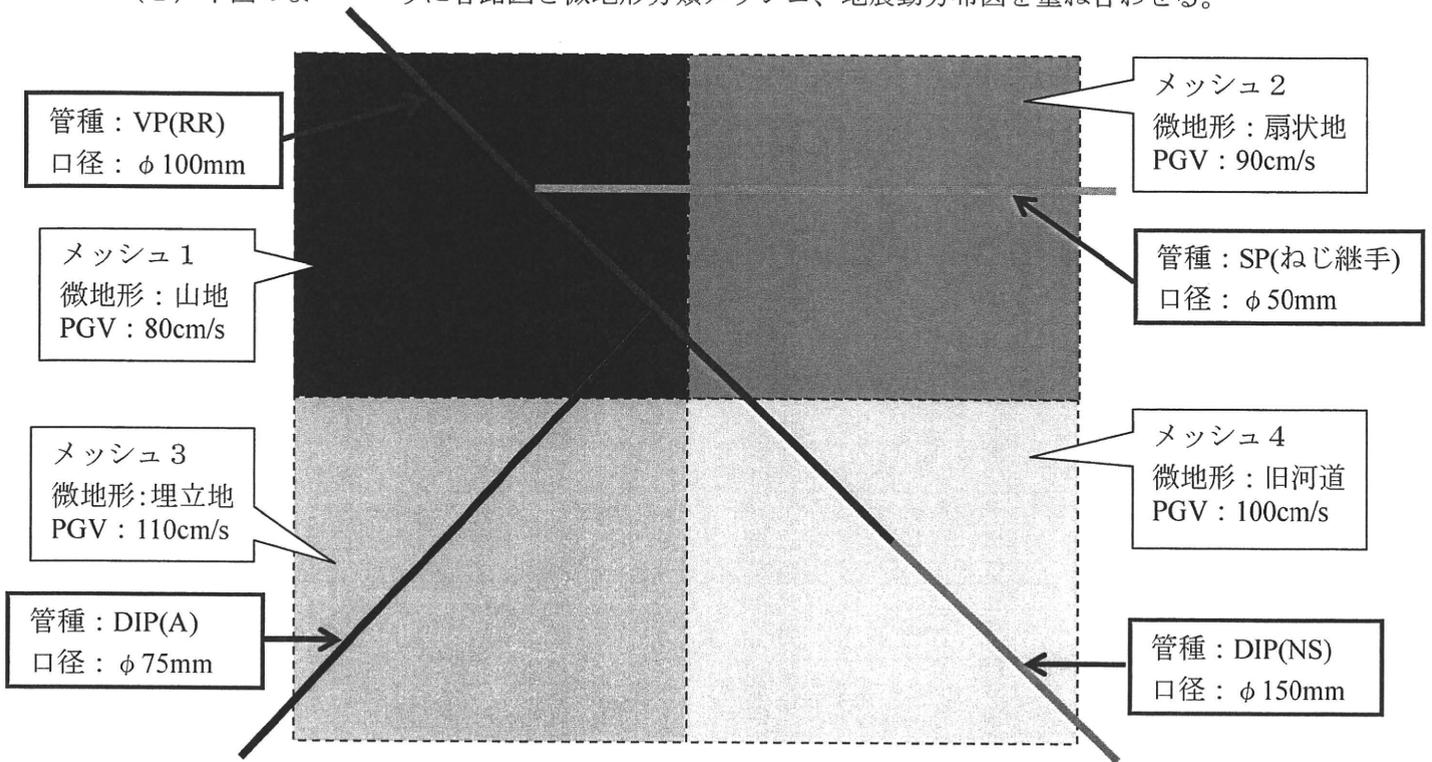


図 5.2.1 管路図・微地形分類・地震動分布の重ね合わせ
微地形分類は J-SHIS から設定し、地表面最大速度 PGV は 3.1 (2) ①～④に示す方法で、J-SHIS のメッシュに設定するものとする。

(2) 管属性、微地形、PGV が異なる管路毎に細分化し、管路番号を割り振る。

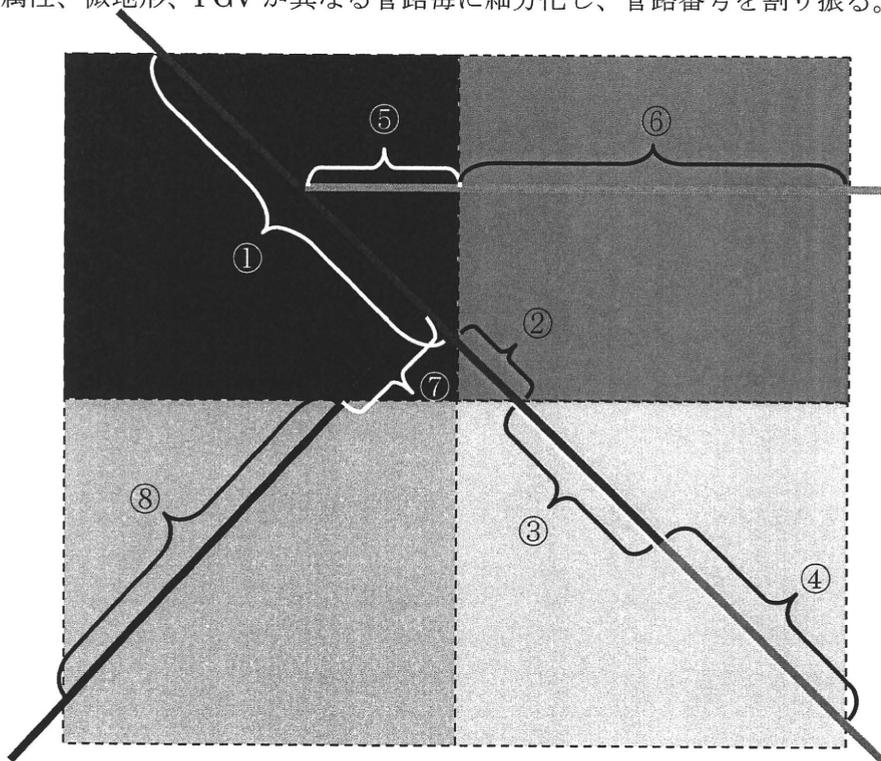


図 5.2.2 管路図の細分化

(3) 細分化した管路をリスト化する。

表 5.2.1 細分化した管路リ

管路番号	メッシュ番号	管種・継手	口径	微地形	PGV
①	1	VP(RR)	100	山地	80
②	2	VP(RR)	100	扇状地	90
③	4	VP(RR)	100	旧河道	110
④	4	DIP(NS)	150	旧河道	110
⑤	1	SP(ねじ継手)	50	山地	80
⑥	2	SP(ねじ継手)	50	扇状地	90
⑦	1	DIP(A)	75	山地	80
⑧	3	DIP(A)	75	埋立地	100

(4) 管種・継手、口径、微地形について、表 2.7 に記載の補正係数を設定する。

表 5.2.2 管路リスト (補正係数追加)

管路番号	メッシュ番号	管種・継手	C_p	口径	C_d	微地形	C_g	PGV
①	1	VP(RR)	0.8	100	1.0	山地	0.4	80
②	2	VP(RR)	0.8	100	1.0	扇状地	1.0	90
③	4	VP(RR)	0.8	100	1.0	旧河道	2.5	110
④	4	DIP(NS)	0	150	1.0	旧河道	2.5	110
⑤	1	SP(ねじ継手)	2.5	50	2.0	山地	0.4	80
⑥	2	SP(ねじ継手)	2.5	50	2.0	扇状地	1.0	90
⑦	1	DIP(A)	1.0	75	2.0	山地	0.4	80
⑧	3	DIP(A)	1.0	75	2.0	埋立地	5.0	100

(5) PGV、各補正係数から、各管路の被害率を算出する。

・管路番号①の被害予測計算例を以下に示す。

被害予測式 (表 4.7 より)	
$R(v)$: 標準被害率 [件/km]	$R(v)=9.92 \times 10^{-3} \times (v-15)^{1.14} \dots$ 式 1
	v : 地震動の地表面最大速度(cm/s)
$R_m(v)$: 推定被害率 [件/km]	$R_m(v)=C_p \times C_d \times C_g \times R(v) \dots$ 式 2

まず、PGV から標準被害率 $R(v)$ を計算する。

式 1 の v に PGV の値を代入する。

$$R(v)=9.92 \times 10^{-3} \times (80-15)^{1.14}=1.16$$

計算した標準被害率と各補正係数を式 2 に代入し、管路の推定被害率 $R_m(v)$ を計算する。

$$R_m(v)=0.8 \times 1.0 \times 0.4 \times 1.16=0.37$$

以上より、管路番号①の推定被害率は0.37件/kmとなる。

同様に各管路の推定被害率を計算する。

①～⑧の予測結果は下表のとおりである。

表 5.2.3 管路リスト (被害率計算)

管路番号	メッシュ番号	管種・継手	C _p	口径	C _d	微地形	C _g	PGV	R(v)	R _m (v)
①	1	VP(RR)	0.8	100	1.0	山地	0.4	80	1.16	0.37
②	2	VP(RR)	0.8	100	1.0	扇状地	1.0	90	1.36	1.10
③	4	VP(RR)	0.8	100	1.0	旧河道	2.5	110	1.78	3.57
④	4	DIP(NS)	0	150	1.0	旧河道	2.5	110	1.78	0
⑤	1	SP(ねじ継手)	2.5	50	2.0	山地	0.4	80	1.16	2.31
⑥	2	SP(ねじ継手)	2.5	50	2.0	扇状地	1.0	90	1.36	6.81
⑦	1	DIP(A)	1.0	75	2.0	山地	0.4	80	1.16	0.93
⑧	3	DIP(A)	1.0	75	2.0	埋立地	5.0	100	1.57	15.70

(6) 予測結果を視覚的に判断するために、管路図を色分け表示する。細分化した管路を被害率により3つに分けて表示した図を以下に示す。

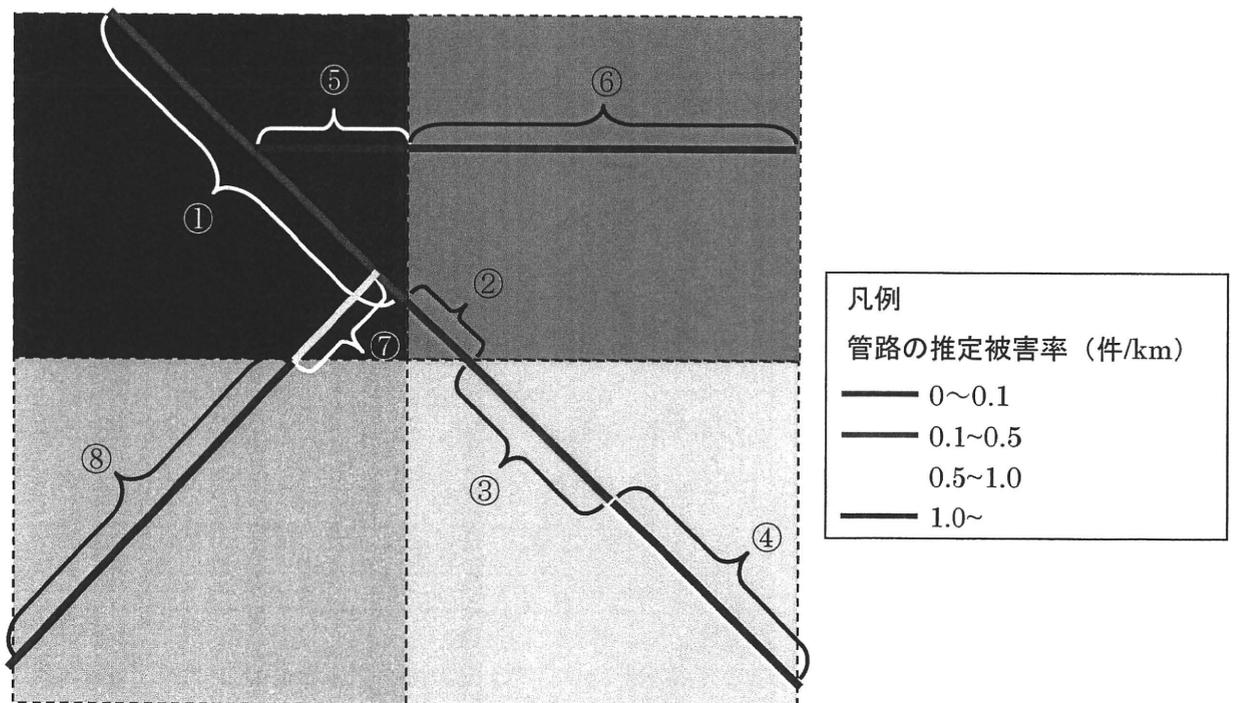


図 5.2.3 推定被害率による色分け管路図

色分け表示する事により、管路番号②,③,⑤,⑥,⑧が高い被害率を示していることを視覚的に判断する事ができる。管路更新計画を検討するにあたり、これらの管路は布設替えの優先順位が高いものと判断できる。

5.2.2 マッピングシステム・GIS 使用の場合

マッピングシステムや GIS 等、電子化した管路図を使用した被害予測式の使い方の例を示す。

(1) マッピング, GIS 上の管路図に微地形分類メッシュ、地震動分布メッシュを重ね合わせる。

微地形分類は J-SHIS にて公開されている 250m メッシュの Shape データをダウンロードして用いる。地震動分布は防災計画等で作成された 500m メッシュのデータを用いることとする。

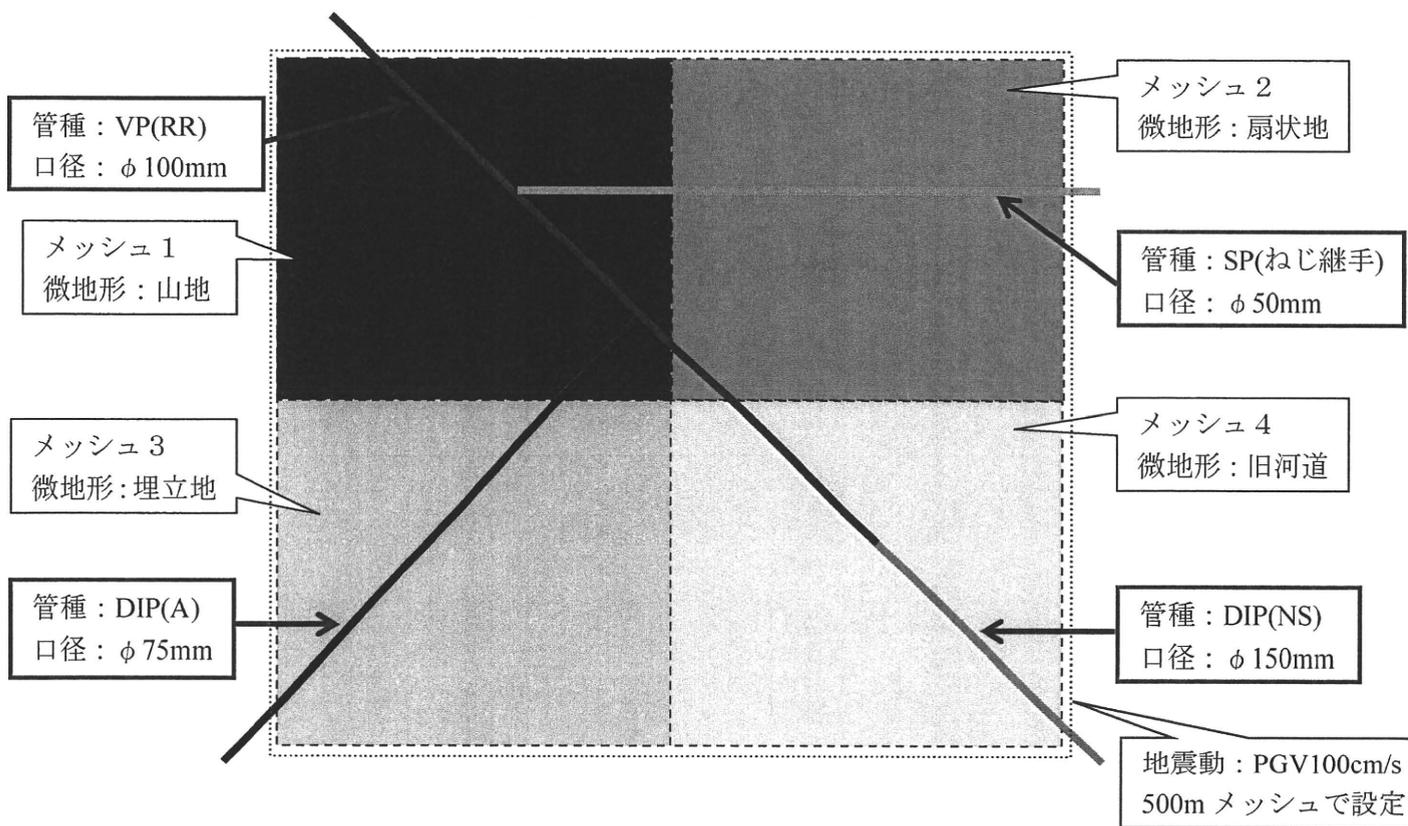


図 5.2.4 管路図・微地形分類メッシュ・地震動分布メッシュの重ね合わせ図

- (2) 管路データ、PGVデータを250mメッシュ毎に区切る。この操作はマッピング、GISによるメッシュでの管路データ等の分割が可能であるという前提でのものである。マッピングシステム、GISソフトの詳細な操作・設定等については販売会社等に問い合わせのこと。

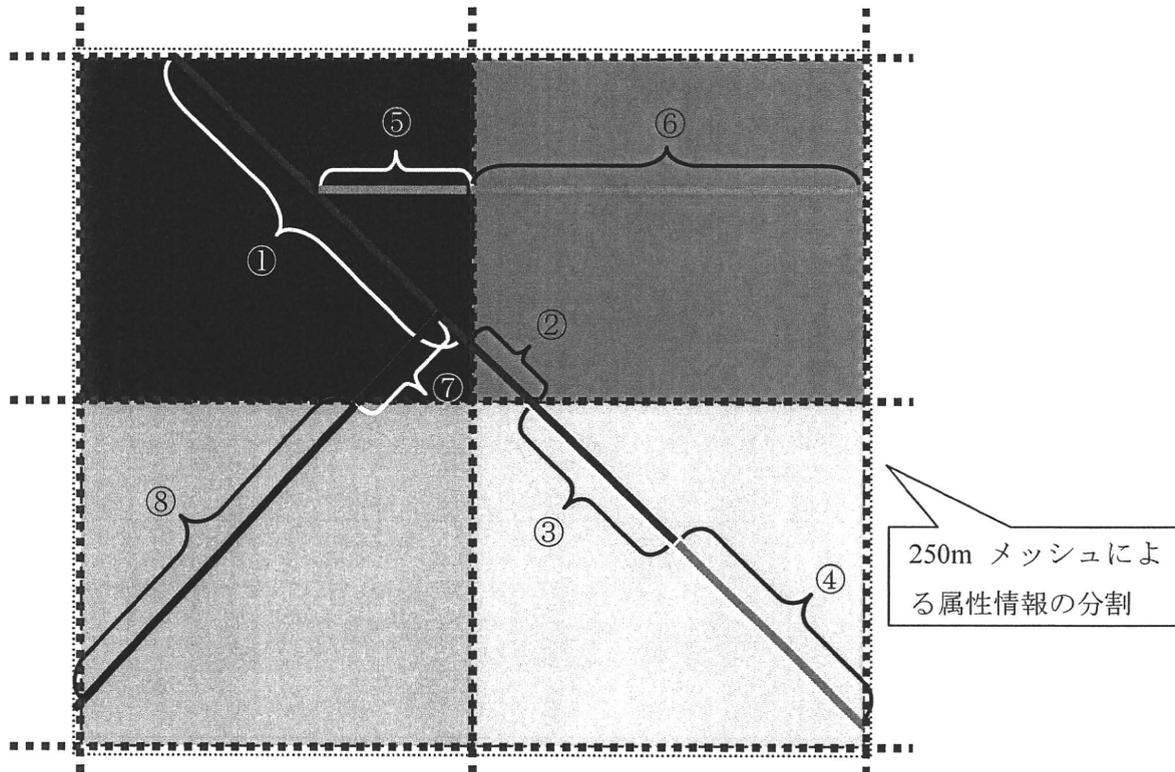


図 5.2.5 250m メッシュでの属性情報の分割図

- (3) マッピング・GISの管路データから、250mメッシュで区切った管路リストを出力する。ここで出力するデータ項目は管路番号、メッシュ番号、管種・継手、口径、管路のメッシュ内延長、微地形分類、PGVである。

表 5.2.4 出力された管路リスト

管路番号	メッシュ番号	メッシュ内延長(km)	管種・継手	口径	微地形	PGV
①	1	0.25	VP(RR)	100	山地	100
②	2	0.04	VP(RR)	100	扇状地	100
③	4	0.1	VP(RR)	100	旧河道	100
④	4	0.15	DIP(NS)	150	旧河道	100
⑤	1	0.08	SP(ねじ継手)	50	山地	100
⑥	2	0.25	SP(ねじ継手)	50	扇状地	100
⑦	1	0.05	DIP(A)	75	山地	100
⑧	3	0.2	DIP(A)	75	埋立地	100