

平成 28 年熊本地震を踏まえた
「地震による管路被害予測式」の見直しに関する検討

報 告 書

平成 28 年度

公益財団法人 水道技術研究センター

平成 28 年熊本地震を踏まえた「地震による管路被害予測式」の見直しに関する検討

報告書

目 次

1	本研究の目的と研究体制	1
1.1	本研究の目的	1
1.2	研究体制	2
2	地震による管路被害予測式の概要	3
2.1	管路被害予測式の実施フロー及び補正係数	3
3	平成 28 年熊本地震による管路被害予測式の検証	5
3.1	検証の方法	5
3.2	検証に当たっての留意事項	6
3.2.1	予測式の精度	6
3.3	管路被害データベースの構築	7
3.3.1	検証に用いるデータ	7
3.3.2	管路被害データの入手先	8
3.4	平成 28 年熊本地震における管路被害の特徴の整理及び既往地震との比較	9
3.4.1	平成 28 年熊本地震における管路被害の特徴の整理	9
3.4.2	平成 28 年熊本地震と既往地震との比較	18
3.5	管路被害予測式の精度検証	19
3.5.1	補正係数の精度検証	19
3.5.2	液状化範囲における予測式の精度検証	24
3.5.3	被害予測件数の精度	26
3.6	管路被害予測式の妥当性評価	32
3.6.1	検証結果のまとめ	32
3.6.2	見直しの必要性	33
4	参考文献	35

1 本研究の目的と研究体制

1.1 本研究の目的

平成 20 年度から 22 年度の 3 ヶ年にわたって実施された厚生労働科学研究費補助金による「健康リスク低減のための新たな浄水プロセス及び管路更新手法の開発に関する研究」の一環として「地震による管路被害予測等」に関する研究を行い、「地震による管路被害予測式」を確立させた。

その後、平成 23 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震により、水道管路についても広い範囲で多くの被害が確認されたことから、平成 23 年度に水道技術研究センターの自主研究事業として、「地震による管路被害予測の確立に向けた研究」を実施した。

上記研究では、東北地方太平洋沖地震による管路被害データの収集・分析を行った結果から得られた知見を、平成 22 年度までに確立された被害予測手法に加えることにより、さらに精度を高めた被害予測手法の確立を目指し、「地震による管路被害予測式」の改定を平成 24 年度に行った。

平成 28 年 4 月に発生した平成 28 年熊本地震では、観測史上初めてとなる震度 7 を 2 回観測し、水道管路についても多くの被害が確認された。今後も南海トラフ等の大規模地震の発生が予想されており、最新の知見を加え、予測手法の検証・さらなる精度向上が必要である。

そのためにも、過去の地震被害実績から確立された被害予測手法に対し、今回の平成 28 年熊本地震における管路被害の特徴を踏まえて、管路被害予測式の妥当性を評価する必要があると考える。

本研究では、平成 28 年熊本地震による管路被害データの収集・分析を行い、平成 24 年度までに確立した「地震による管路被害予測式」について、妥当性を評価し、見直しの必要性について、検討を行った。

1.2 研究体制

平成 28 年熊本地震を踏まえた「地震による管路被害予測式」の見直しに関する検討委員会の研究体制を以下に示す。なお、所属、部署名については、研究参画時の所属を記載した。

(敬称略)

委員区分	所属	所属部署名	委員氏名	備考
学識者	金沢大学	理工研究域 環境デザイン学系 地震工学講座	宮島 昌克	委員長
事業体	仙台市水道局	給水部 配水管理課	小野 誠一	
	新潟市水道局	技術部 管路課	渋谷 裕一	
	神戸市水道局	事業部 配水課	出口 佳孝	
	熊本市上下水道局	計画整備部 計画調整課	山本 耕作	
企業	(株) クボタ	鉄管研究部 第 5G	林 光夫	
	(株) 栗本鐵工所	鉄管事業部事業企画部 大阪水ビジネスグループ	岸本 圭司	
水道関係 団体	(一社) 全国上下水道 コンサルタント協会	(株) NJS 東部支社 東京総合事務所 水道部	大嶽 公康	
水道技術研究センター (兼事務局)			佐々木 史朗	
			篠永 通英	
			安達 徹	
			山本 雅之	
			石川 裕一	
			鶴田 侑子	

2 地震による管路被害予測式の概要

2.1 管路被害予測式の実施フロー及び補正係数

平成24年度までに確立した「地震による管路被害予測式」（以下、予測式という。）の実施フローを図2-1に、予測式と補正係数を表2-1示す¹⁾。

予測式は、250mメッシュごとの管路被害を評価することを目的としており、予測した被害数よりも多い被害が実際に発生することを避けるため、推定被害率が安全側の推定となることを前提とした式である。

予測式では、管路の属性情報のうち“管種・継手”、“口径”、管路が布設されている箇所の“微地形”と地震の強さを表す“地表面最大速度”並びに“液状化情報”から管路ごとの推定被害率（件/km）を算出することとしている。予測式で使用する標準被害率は、標準管種・継手、標準口径、標準微地形に該当する管路の被害率であり、地表面最大速度を用いて求めるものである。なお、液状化の情報を有する場合については、標準被害率を標準液状化被害率“5.5”とし、一律に評価することとしている。また、管種・継手、口径、微地形別にそれぞれの補正係数を設けている。補正係数は、基準となる標準補正係数を“1.0”と定め、管種・継手では、“DIP (A)”、口径では、“φ100-150”、微地形では、“谷底低地、扇状地、後背湿地、三角州・海岸低地”を標準補正係数としている。各補正係数の値は、標準補正係数である前述のDIP (A)等と各管種・継手、口径、微地形の既往地震における被害率を比較し、補正係数の設定がされている。

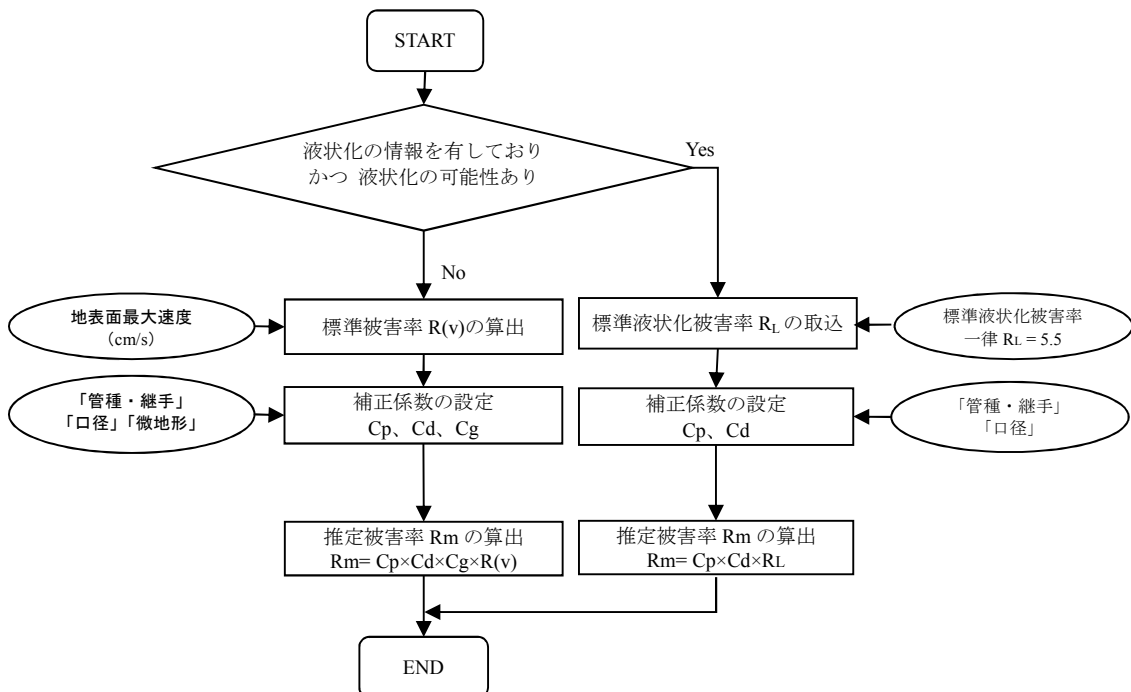


図 2-1 管路被害予測式の実施フロー

表 2-1 管路被害予測式と各補正係数

地震による管路被害予測式					
液状化の情報を有していない場合、 又は 液状化の可能性がない場合の被害予測式			液状化の情報を有しており、 かつ 液状化の可能性ありの場合の被害予測式		
$R_m = C_p \times C_d \times C_g \times R(v)$ $R(v) = 9.92 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.14}$ $v : \text{地震動の地表面最大速度 (cm/s)}$ (ただし、 $15 \leq v < 120$)			$R_m = C_p \times C_d \times R_L$ $R_L = 5.5$		
R_m	: 推定被害率 [件/km]		R_m	: 推定被害率 [件/km]	
C_p	: 管種・継手補正係数		C_p	: 管種・継手補正係数	
C_d	: 口径補正係数		C_d	: 口径補正係数	
C_g	: 微地形補正係数		R_L	: 標準液状化被害率 [件/km]	
$R(v)$: 標準被害率 [件/km]				
補正係数					
管種・継手	C_p	口径	C_d	管が布設されている微地形	C_g 注1
DIP (A)	1.0	φ 50-80	2.0	山地 山麓地 丘陵 火山地	0.4
DIP (K)	0.5	φ 100-150	1.0	火山山麓地 火山性丘陵	
DIP (T)	0.8 注2	φ 200-250	0.4	砂礫質台地 ローム台地	0.8
DIP (離脱防止)	0	φ 300-450	0.2	谷底低地 扇状地 後背湿地	1.0
CIP	2.5	φ 500-900	0.1	三角州・海岸低地	
VP (TS)	2.5			自然堤防 旧河道 砂州・砂礫州	2.5
VP (RR)	0.8 注3			砂丘	
SP (溶接)	0.5/0 注4			埋立地 干拓地 湖沼	5.0
SP (溶接以外)	2.5 注5				
ACP	7.5 注6				
PE (融着)	— 注7				

注1 管が布設されている微地形の補正係数「 C_g 」の値についても、微地形ごとの液状化の発生頻度がある程度反映している。

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（φ700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当たり、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。

3 平成 28 年熊本地震による管路被害予測式の検証

3.1 検証の方法

本研究の実施フローを図 3-1 に示す。本研究では、平成 28 年熊本地震の水道管路被害データを収集し、管路被害データベースの構築を行った。その後、熊本地震の管路被害の特徴の整理及び既往地震との比較、予測式による予測結果と実管路被害を比較し、予測式の精度検証することにより、予測式の妥当性を検証した。水道管路被害データ及び水道管路マッピングデータは、熊本市から提供を受けて検証を行った。

なお、検証の対象とした管路被害データは、管口径 $\phi 50$ 以上の導・送・配水管（水管橋・添架管の露出部及び付属施設の被害を除く）における被害とした。

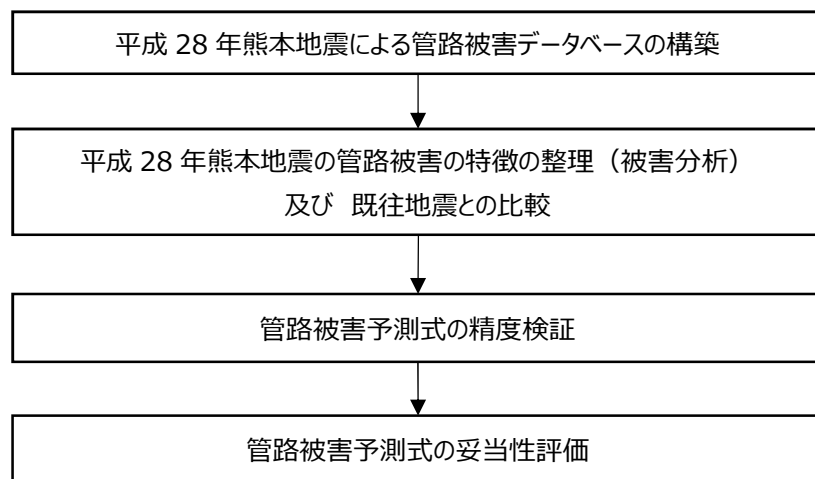


図 3-1 検証実施フロー

3.2 検証に当たっての留意事項

3.2.1 予測式の精度

平成 24 年度までに確立した予測式は、簡易に予測できることを主眼に確立したことから、以下に示す事象については対応できていない。本研究においても、これらの事象については、対応しないこととして、予測式の妥当性を検討している。

(1) 微地形における被害件数の精度

予測式は、250m メッシュごとの微地形により地盤の評価を行う。そのため、250m メッシュごとの微地形には反映されない宅地造成地である人工改変地や微地形境界地点等の局地的な地盤条件に関して、予測精度が低く、被害予測数が実被害数よりも小さいという危険側に評価されてしまう場合がある。

この現象を予測式に取り込むには、多くの事例について検証する必要がある、宅地造成地等の人工改変地や微地形境界地点の地盤変状は、本研究で用いる 250m メッシュよりも更に細かなメッシュでの検証が必要となる。

(2) 液状化範囲における被害件数の精度

予測式は、250m メッシュ内の全範囲で発生する液状化の可能性により評価を行うため、局所的な液状化については、安全側での評価となる。

(3) 総被害件数の精度

予測式は、被害が発生したメッシュを抽出し、分析を行うことにより作成した推定式であり、250mメッシュごとの管路被害を評価することを目的としている。予測した被害数よりも多い被害が実際に発生することを避けるため、推定被害率が安全側の推定となることを前提とした式である。そのため、区域全体の被害件数の推計では過大評価となる場合があることに注意が必要である。

3.3 管路被害データベースの構築

3.3.1 検証に用いるデータ

平成 28 年熊本地震を踏まえた予測式の妥当性を検証するに当たり、管路被害及び推定地震動、液状化発生情報について整理する必要がある。そのため、平成 28 年熊本地震の水道管路被害データを収集するとともに、地盤条件、地震動、液状化情報に関する資料を収集し、GIS データベースの構築を行った。

管路被害については、熊本市マッピングシステムにより整理された管路被害データの提供を受け、被害位置をプロットするとともに、管路属性である管種・継手形式、口径、布設年度及びメッシュごとの各種地盤条件並びに地震動強さ、液状化情報を入力し、データベースを構築した。データベース化した項目を表 3-1 に示す。

なお、検証の対象とした管路被害データは、管口径φ50以上の導・送・配水管（水管橋・添架管の露出部及び付属施設の被害を除く）における被害とした。

また、地震動については、観測史上初めてとなる震度7を2回観測しているが、前震と本震のどちらで発生した管路被害か区分できないことから、地震動が最大であった2016年4月16日1時25分頃発生の本震データを使用するものとした。液状化については、局所的な被害が多くを占めていたことから、液状化分布のメッシュデータ及び発生が確認された位置のポイントデータを使用した。

表 3-1 データベース化の項目

項目	整理内容	データの形状	引用
管路属性	管種、継手形式、口径 布設年度	ライン	熊本市マッピングデータ (熊本市上下水道局)
管路被害位置	GIS 上でのプロット	ポイント	熊本市マッピングデータ (熊本市上下水道局)
管路被害属性	被害状況、管種、継手形式、 口径、布設年度	ポイント	熊本市マッピングデータ (熊本市上下水道局)
地盤条件	微地形分布 GIS 上でのメッシュによる 区分	メッシュ (250m)	地形・地盤分類データベース ²⁾ (国研 防災科学技術研究所)
地震動	地表面最大速度 (PGV) GIS 上でのメッシュによる 区分	メッシュ (250m)	平成 28 年熊本地震の本震 (2016 年 4 月 16 日 1 時 25 分頃発生) における最大速度分布・メッシ ュデータ ³⁾ (国研 防災科学技術研究所)
液状化分布	液状化が確認された位置 GIS 上でのメッシュ及び発 生プロットによる区分	メッシュ (250m) 及び ポイント	平成 28 年熊本地震の液状化分 布・メッシュデータ及び発生位 置・ポイントデータ ⁴⁾ (国研 防災科学技術研究所)

3.3.2 管路被害データの入手先

本研究に使用する管路被害データとして、震度7を観測した「熊本市」及び「益城町」の管路データを対象とし、データの入手を試みた。

最終的には、データの入手が可能であった熊本市のデータを対象とすることとした。

なお、益城町のデータについては、以下の理由からも対象外とした。

- 平成26年度水道統計による益城町の管種別延長を表3-2に示す⁵⁾。
予測式で基準となる管種は、DIP(A)であるが、平成26年度水道統計を参照すると、益城町内の布設管路は、塩化ビニル管が約7割程度を占めており、DIP(A)の割合が比較的少ない状況である。そのため、検証に使用できるデータ数が少ないことが予想された。
- 研究期間中において、管路被害の位置データが未整理の状況であった。

表 3-2 益城町管種別水道管延長⁵⁾

	CIP	DIP(耐震)	DIP(その他)	SP(溶接)	SP(その他)	VP	PE(融着)	PE(その他)	計
延長	16,207	3,727	4,758	0	47	77,472	3,128	186	105,525
割合	15.4%	3.5%	4.5%	0.0%	0.0%	73.4%	3.0%	0.2%	100.0%

(m)

導水管	送水管	配水管	計
2,140	2,877	100,508	105,525

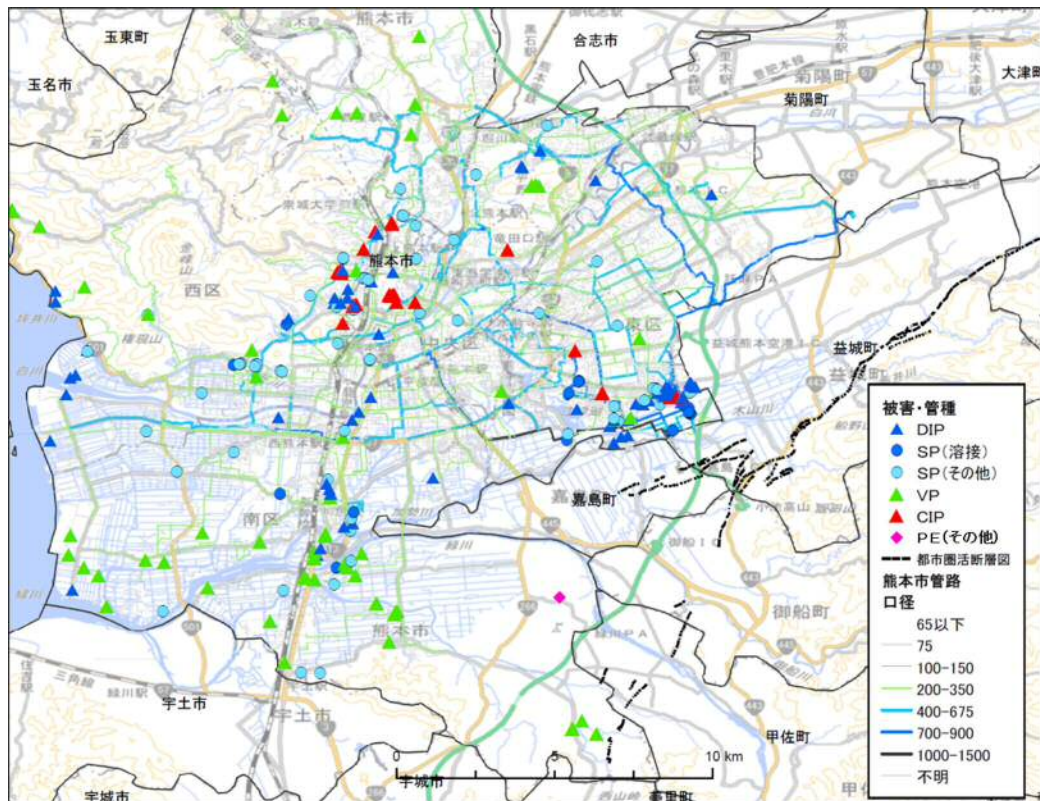
3.4 平成 28 年熊本地震における管路被害の特徴の整理及び既往地震との比較

3.4.1 平成 28 年熊本地震における管路被害の特徴の整理

(1) 熊本市の管路網と管路被害

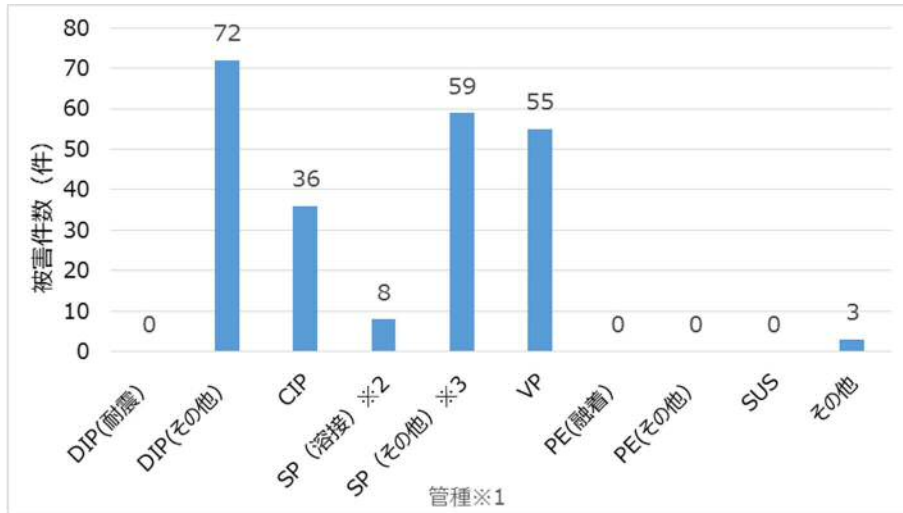
熊本市の管路網と被害位置を図 3-2 に、管種別の被害件数を図 3-3 に示し、管種別の管路延長を図 3-4 に、口径別の管路延長を図 3-5 に示す。また、管種・微地形別の被害件数及び被害率のクロス集計表を表 3-3 に、管種・口径別の被害件数及び被害率のクロス集計表を表 3-4 に示す。熊本市の分析対象の管路総延長は、約 3,238km であり、被害件数は 233 件、市全体での管路被害率は約 0.07 件/km であった。図 3-3 によれば、被害件数 233 件のうち、DIP (その他)、SP (その他)、VP の順で被害が多く発生しており、DIP (耐震) については、被害が発生していないことが確認されている。

また、図 3-4、図 3-5 によれば、管路総延長約 3,238km のうち、管種・継手は DIP (その他) が約 1,882km、口径では ϕ 100-150 が約 1,613km と、これらの管路が約半数を占めていることが確認された。



備考：「国土地理院の電子地形図（タイル）」⁶⁾ に熊本市上下水道局の水道管及び被害位置等を追記して掲載

図 3-2 熊本市の管路網と被害位置



※1 分析対象は口径 50mm 以上
 ※2 SP (溶接) は伸縮管・フランジ継手等の被害は含まない、それらの被害は SP (その他) で集計
 ※3 SP (その他) は、SP (溶接) 以外のねじ込み継手等

図 3-3 管種別の被害件数 (熊本市)

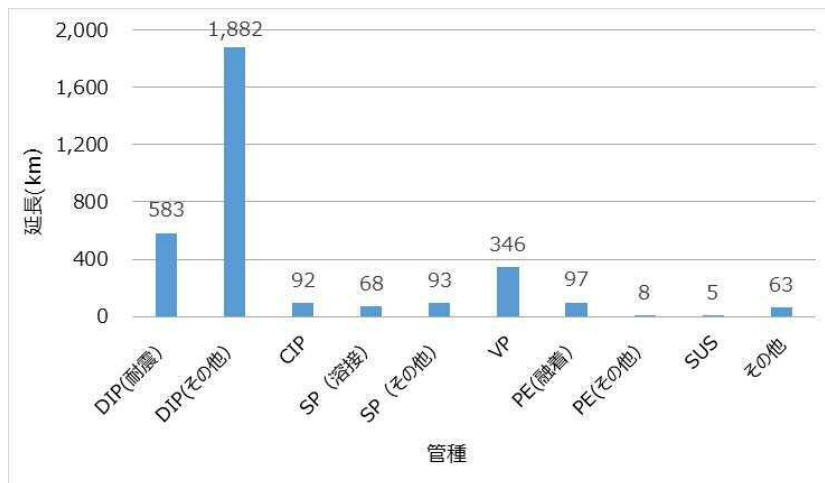


図 3-4 管種別の管路延長 (熊本市)

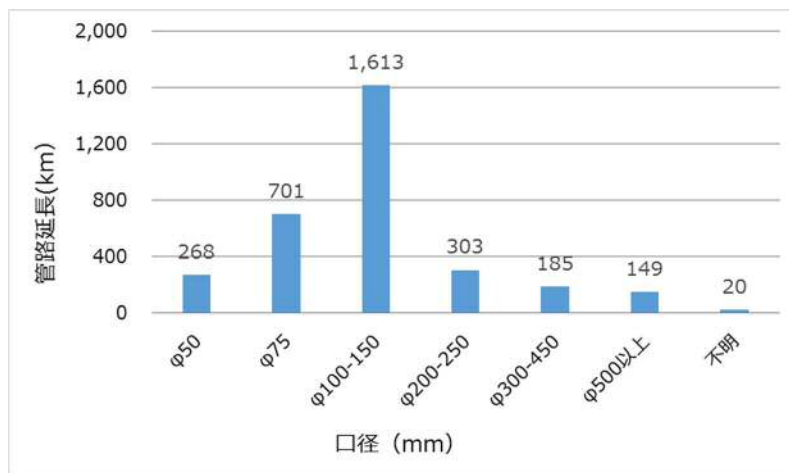


図 3-5 口径別の管路延長 (熊本市)

被害件数(件)
延長(m)
被害率(件/km)

表 3-3 管種・微地形別の被害件数及び被害率クロス集計(熊本市)

管種	微地形	山地	丘陵	火山地	火山山麓地	火山性丘陵	砂礫質台地	ローム台地	谷底低地	扇状地	自然堤防	後背湿地	旧河道	三角州・海岸低地	砂州・砂礫州	干拓地	埋立地	河原	全微地形
CIP		0	0	1	2	10	1	7	14	0	0	1	0	0	0	0	0	0	36
		0	0	2,250	3,650	11,399	24,998	32,902	9,103	3,479	2,207	1,790	0	8	0	709	0	0	92,497
		0.00	0.00	0.44	0.55	0.88	0.04	0.21	1.54	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0.39
DIP(耐震)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		749	2,270	34,898	30,309	97,869	40,095	139,438	26,354	16,787	30,768	145,663	1,342	10,327	280	6,257	0	0	583,406
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DIP(K)		0	0	0	1	0	0	6	2	0	1	3	0	0	0	0	0	0	13
		672	1,567	45,115	50,633	87,367	54,046	159,933	47,227	2,776	32,254	67,356	105	5,453	156	7,856	42	0	562,556
		0	0	0	0.02	0	0	0.04	0.04	0	0.03	0.04	0	0	0	0	0	0	0.02
DIP(A)		0	0	4	3	0	1	23	4	0	4	10	2	0	0	8	0	0	59
		0	1,880	35,712	125,150	93,341	65,946	468,952	59,978	8,716	116,400	272,567	1,080	26,338	1,218	41,998	470	0	1,319,745
		0	0	0.11	0.02	0	0.02	0.05	0.07	0	0.03	0.04	1.85	0	0	0.19	0	0	0.04
SP(溶接:裏波・両面)		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3
		13	0	11,947	3,931	566	3,280	11,150	4,490	281	4,673	16,184	0	163	18	203	0	0	56,901
		0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	0	0.12	0	0	0	0	0	0	0.05
SP(溶接:裏波以前)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3
		0	0	5,631	529	167	185	698	1,293	28	173	2,813	0	25	0	10	0	0	11,553
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.77	0.71	0	0	0	0	0	0	0.26
SP(溶接:方法未特定)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SP(溶接:フランジ等)		0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	10
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SP(その他)		0	0	0	3	3	5	11	3	1	4	15	1	2	0	1	0	0	49
		301	88	13,041	9,980	8,787	3,866	27,246	4,350	1,012	7,552	13,599	3	1,506	59	1,468	156	0	93,013
		0	0	0	0.30	0.34	1.29	0.40	0.69	0.99	0.53	1.10	389.11	1.33	0	0.68	0	0	0.53
VP		0	0	6	1	2	0	8	6	0	7	16	2	3	0	4	0	0	55
		2,080	240	17,014	24,477	99,051	3,951	86,492	12,793	918	18,434	48,193	620	20,118	857	10,434	59	0	345,731
		0	0	0.35	0.04	0.02	0	0.09	0.47	0	0.38	0.33	3.22	0.15	0	0.38	0	0	0.16
PE(融着)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		102	340	6,785	7,469	18,830	1,693	26,237	4,146	461	7,080	19,887	106	2,137	31	1,291	162	231	96,987
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PE(その他)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	365	2,085	462	802	0	1,696	268	46	404	903	0	636	0	397	0	0	8,065
		0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
SUS		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	197	777	93	430	465	465	130	86	2,250	0	223	0	67	0	0	5,182
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
その他		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3
		756	0	1,150	165	4,944	223	11,420	2,431	1,076	8,332	28,704	374	3,455	0	187	0	30	63,247
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05
全管種		0	0	11	10	15	7	59	29	1	18	60	5	5	0	13	0	0	233
		4,673	6,751	175,825	257,531	423,217	198,712	966,628	172,900	35,710	228,362	619,909	3,629	70,388	2,620	70,878	889	261	3,238,882
		0	0	0.06	0.04	0.04	0.04	0.06	0.17	0.03	0.08	0.10	1.38	0.07	0	0.18	0	0	0.07

注1) 水管橋・添架管の露出部及び付属施設の被害は除く

注2) 熊本市上下水道局提供のマッピングデータを用いてGIS上で延長を集計、なお、排水管・不明管は除外

表 3-4 管種・口径別の被害件数及び被害率のクロス集計（熊本市）

被害件数(件)
延長 (m)
被害率(件/km)

管種	口径	50	75	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	675	700	800	900	1,000	1,100	1,200	1,350	1,500	不明	全口径	
DIP(耐震)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		6	113,330	166,400	0	143,017	44,458	1,391	40,483	1,128	22,181	38	25,463	0	12,830	0	539	7,036	2,849	0	0	27	2,231	0	0	583,407	
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
DIP(その他)		0	27	23	0	15	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	
		124	417,564	648,477	0	453,770	168,146	55,461	55,802	11,127	16,593	3,134	16,208	0	12,425	0	13,570	7,284	214	0	0	0	2,404	0	0	1,882,303	
		0.00	0.06	0.04	0.00	0.03	0.02	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	
CIP		0	3	21	0	5	0	0	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	
		0	8,136	19,479	52	13,882	9,250	5,632	4,200	5,437	9,531	1,373	4,129	575	7,351	2,570	900	0	0	0	0	0	0	0	0	92,497	
		0.00	0.37	1.08	0.00	0.36	0.00	0.00	0.24	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	
SP(溶接)		0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	8	
		277	4,689	2,851	199	3,814	6,152	9,440	2,878	3,934	4,463	765	6,643	0	4,593	0	5,520	7,469	1,726	284	321	186	2,201	42	6	68,453	
		0.00	0.21	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.35	0.00	0.22	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	
SP(その他)		32	7	8	0	4	1※	4※	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2※	0	0	0	0	1※	0	0	59	
		82,533	5,781	3,420	685	590	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93,012
		0.39	1.21	2.34	0.00	6.78	—	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	0.00	0.63	
VP		18	23	8	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	
		89,795	126,769	99,807	63	29,066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	231	345,731
		0.20	0.18	0.08	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
PE(融着)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		85,781	4,734	4,828	0	841	803	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96,987
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PE(その他)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		6,019	396	109	0	1,494	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,065
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SUS		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		57	40	694	0	1,882	443	277	833	0	41	0	809	0	14	0	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,183
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
その他		0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
		3,466	19,892	11,835	100	5,632	1,345	38	367	29	168	77	81	0	265	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	19,945	63,246
		0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
全管種		50	63	60	0	31	5	8	2	6	1	1	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	1	0	0	233	
		268,058	701,331	957,900	1,099	653,988	230,647	72,239	104,563	21,655	52,977	5,387	53,333	575	37,478	2,570	20,622	21,789	4,795	284	321	213	6,836	42	20,182	3,238,884	
		0.19	0.09	0.06	0.00	0.05	0.02	0.11	0.02	0.28	0.02	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.07	

注3) SP(溶接)は伸縮管・フランジ継手等の被害は含めず、それらの被害はSP(その他)で集計

注4) ※印はフランジ継手の被害

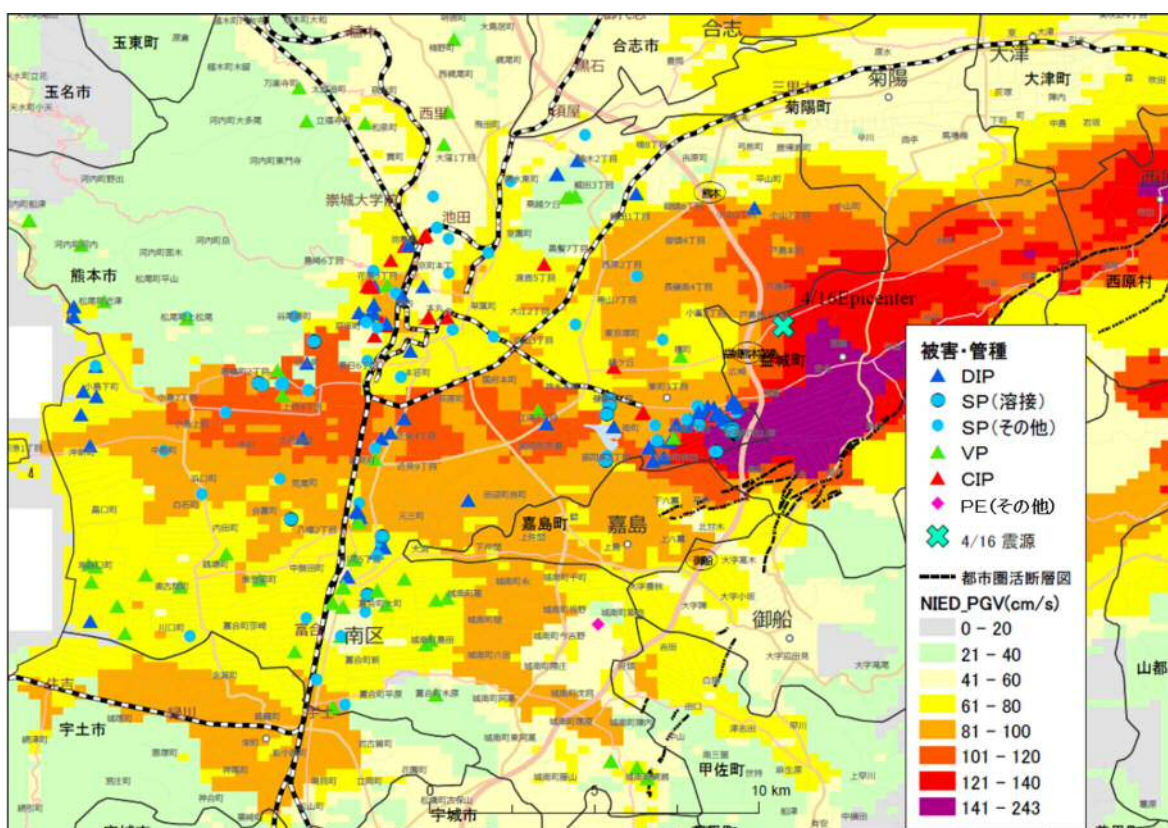
(2) 地表面最大速度と管路被害率

平成 28 年熊本地震（本震）の地表面最大速度（PGV）分布と管路被害位置を図 3-6 に、地表面最大速度（PGV）別の被害率を図 3-7 に示す。

図 3-7 によれば、地表面最大速度が大きくなるほど、被害率は増加し、現行の標準被害率曲線と同じ傾向であることが確認できた。また、予測式に用いる地震動の地表面最大速度は、 $15 \leq v < 120$ (cm/s) を対象としているが、地表面最大速度 120cm/s 以上の範囲が観測されており、被害も確認されている。被害率は、140～150cm/s 未満において 0.29 件/km、150～160cm/s 未満において 2.76 件/km となっており、増加する傾向にあることが確認された。

しかし、熊本市内において地表面最大速度 120cm/s 以上の範囲に該当する管路延長は、約 20km 以下と短いため、本検証では、地表面最大速度の適用範囲を見直すようなデータ数は得られていない。

また、標準管種・継手かつ標準口径における地表面最大速度（PGV）別の被害率を図 3-8 に示す。標準被害率は、各補正係数が“1.0”の場合における被害率を算出したものである。そのため、標準管種・継手かつ標準口径における地表面最大速度別の被害率の確認を行った。標準管種・継手かつ標準口径の地表面最大速度の範囲は、予測式の適用範囲と同じ 0～120cm/s 未満であり、被害率は、標準被害率と同様に地表面最大速度が大きくなるに従い増加する傾向であることが確認できた。



備考 1：地表面最大速度（PGV）分布は防災科学研究所の提供³⁾

備考 2：断層位置は、国土地理院 都市圏活断層図の断層位置を転記⁷⁾

図 3-6 平成 28 年熊本地震（本震）の地表面最大速度（PGV）分布と管路被害位置（熊本市）

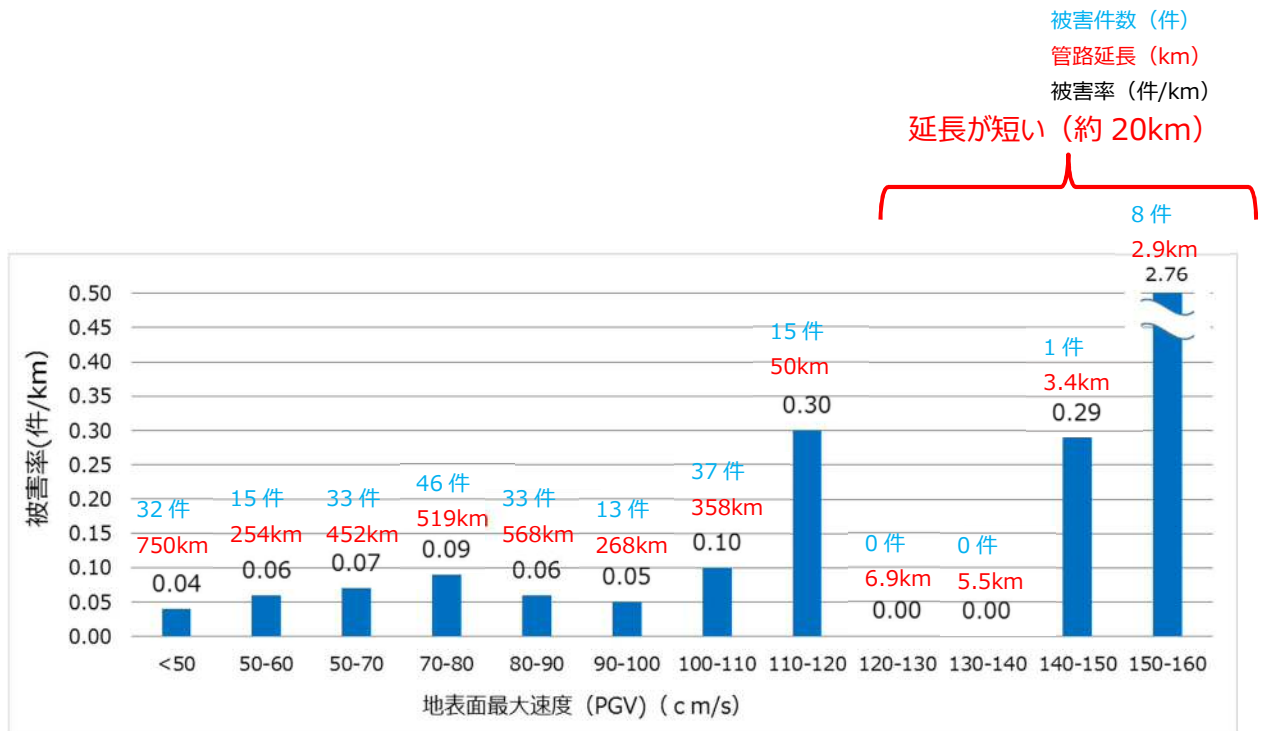


図 3-7 地表面最大速度 (PGV) 別の被害率 (熊本市)

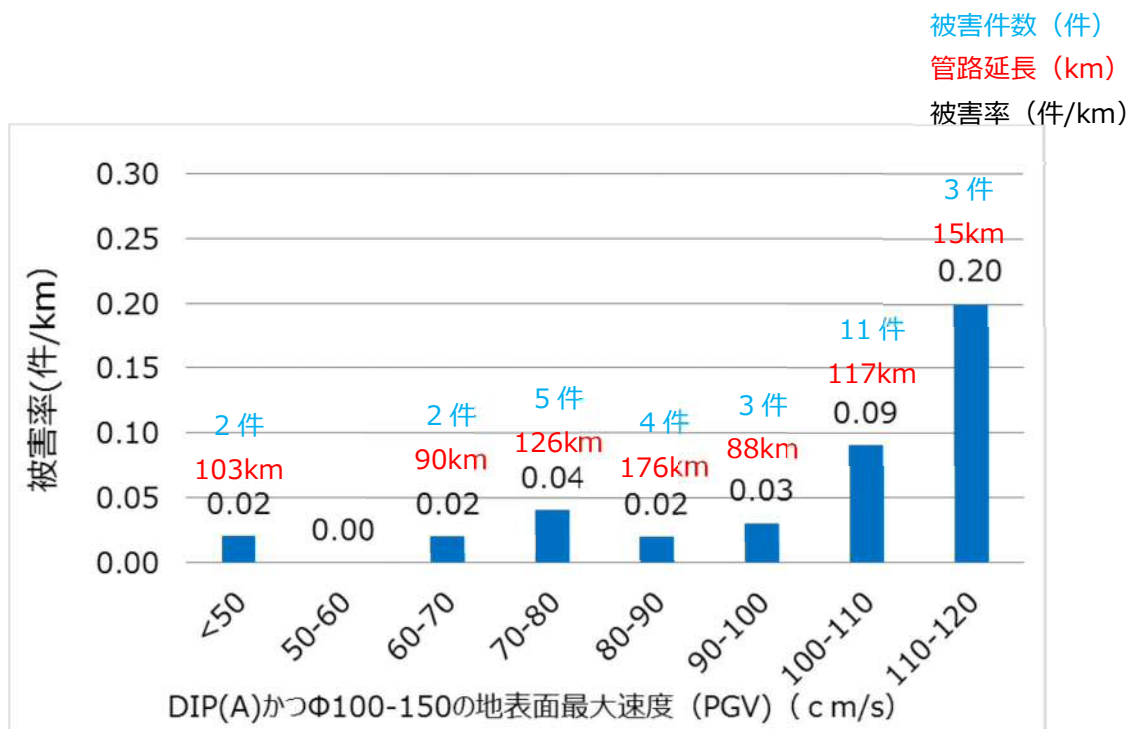
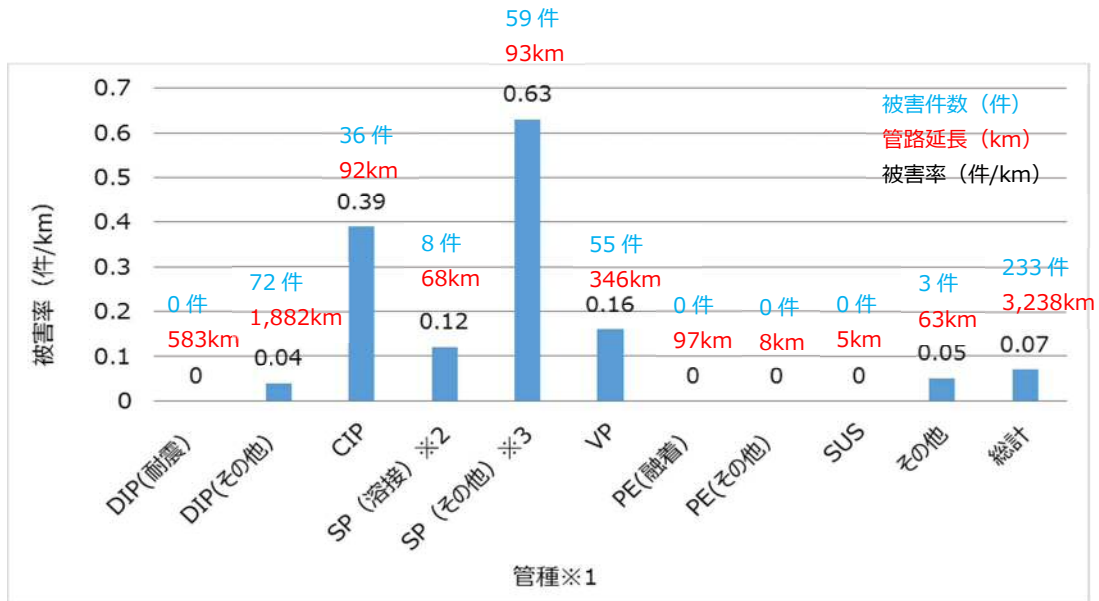


図 3-8 標準管種・継手かつ標準口径における地表面最大速度別の被害率 (熊本市)

(3) 管種別の被害率

管種別の被害率を図 3-9 に示す。

図 3-9 によれば、主な管種別の被害率は鋼管（その他）0.63 件/km、普通鋳鉄管 0.39 件/km、塩化ビニル管 0.16 件/km、鋼管（溶接）0.12 件/km、ダクタイル鋳鉄管（その他）0.04 件/km の順となっている。なお、分析対象は、口径 50mm 以上のため、口径 50mm 未満の配水管の被害を含む「平成 28 年（2016 年）熊本地震水道施設被害等現地調査団報告書⁸⁾」とは、管路延長及び被害率が異なっている。



※1 分析対象は口径 50 以上

※2 SP（溶接）は伸縮管・フランジ継手等の被害は含まない、それらの被害は SP（その他）で集計

※3 SP（その他）は、SP（溶接）以外のねじ込み継手等

図 3-9 管種別の被害率（熊本市）

(4) 口径別の被害率

全管種を含めた口径別の被害率を図 3-10 に示す。

図 3-10 によれば、全体の被害率は、口径が大きくなるに従い、被害率が低下する傾向がみられた。

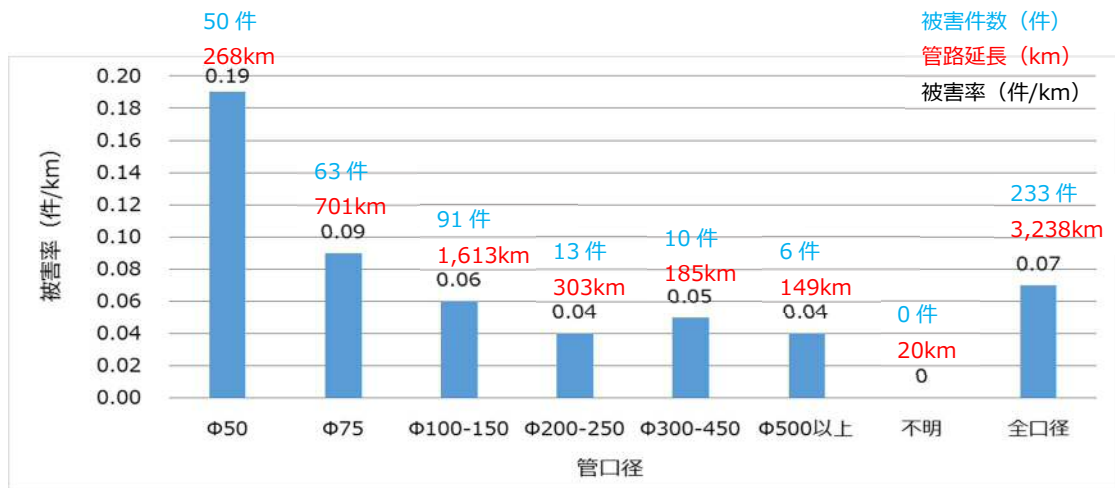
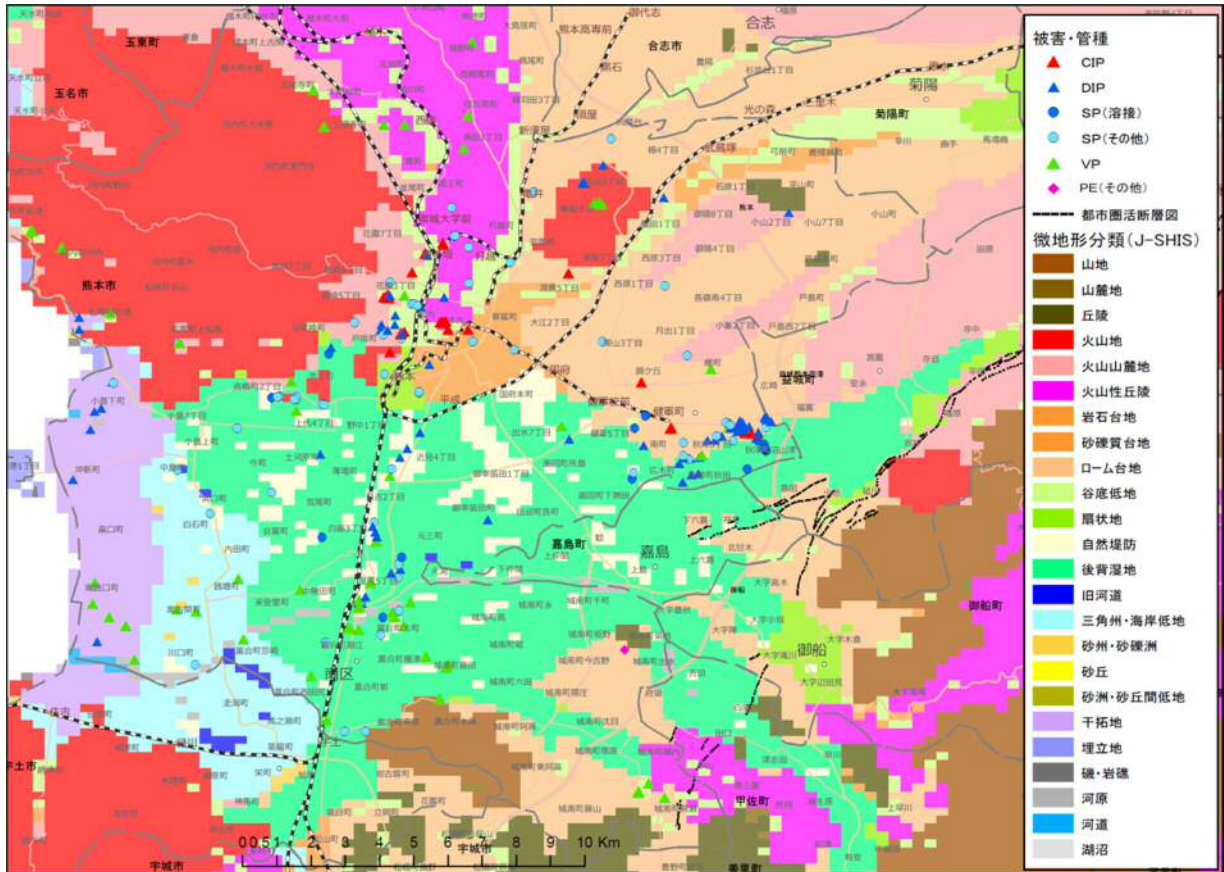


図 3-10 口径別の被害率（熊本市）

(5) 微地形別の被害率

微地形と管路被害位置を図 3-11 に、全管種を含めた微地形別及び微地形区分別の被害率を図 3-12 に示す。

図 3-12 によれば、微地形別にみると、旧河道での被害率が最も高くなっているが、これは、旧河道への布設延長が約 5km と短いことが影響しているものと考えられる。微地形区分ごとにおける被害率でみると、軟弱地盤になるほど被害率が増加する傾向が確認でき、微地形区分別の被害率は、補正係数 C_g と同様の傾向がみられた。



備考 1：微地形分布は、防災科学技術研究所地震ハザードステーション J-SHIS の表層地盤データを使用²⁾
 備考 2：断層位置は、国土地理院都市圏活断層図の断層位置を転記⁷⁾

図 3-11 微地形分布と管路被害位置（熊本市）

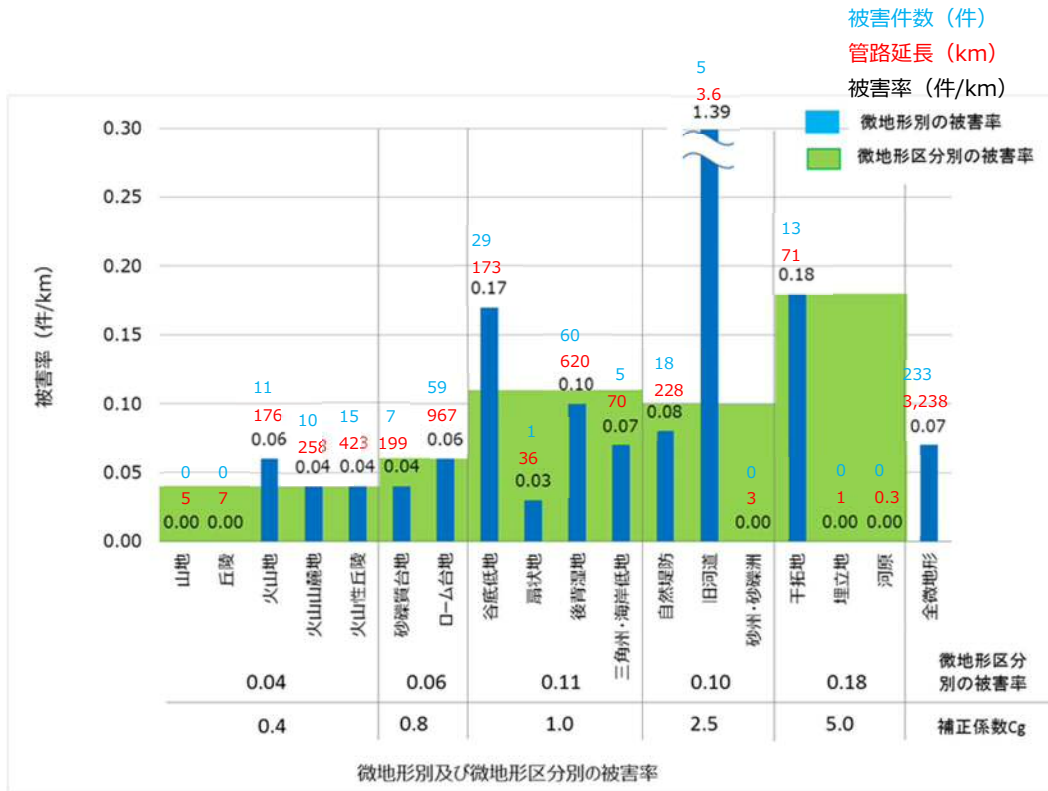
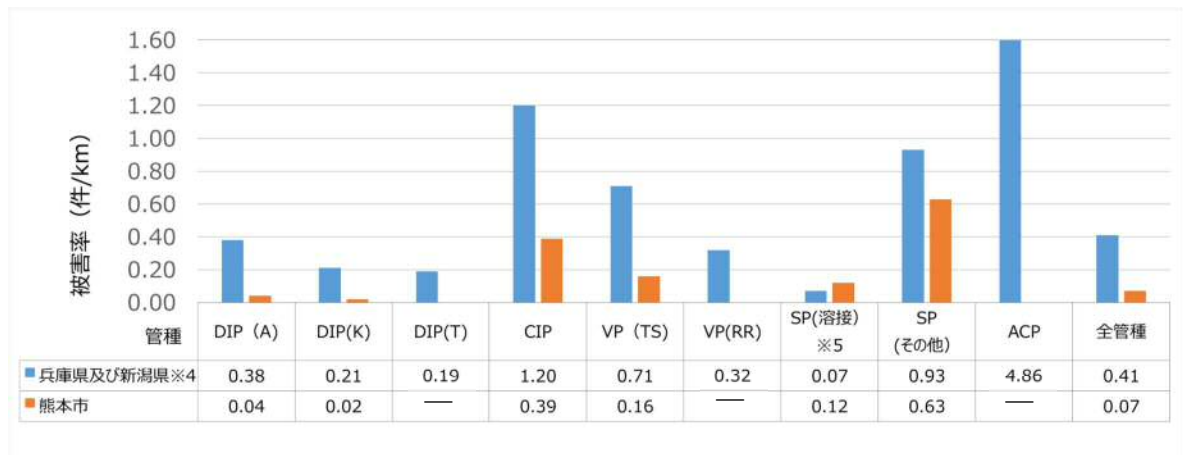


図 3-12 微地形別及び微地形区分別の被害率 (熊本市)

3.4.2 平成 28 年熊本地震と既往地震との比較

熊本地震の被害率と既往地震における被害率を図 3-13 及び図 3-14 に示す。

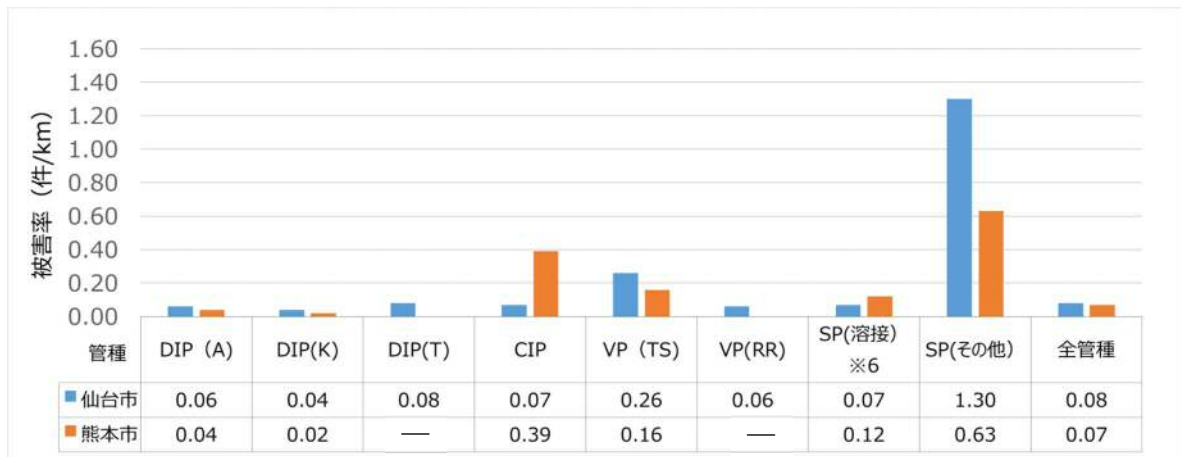
図 3-13、図 3-14 によれば、1995 年兵庫県南部地震、2004 年新潟県中越地震、2007 年新潟県中越沖地震による兵庫県及び新潟県の被害率及び 2011 年東北地方太平洋沖地震による仙台市の被害率と平成 28 年熊本地震の被害率を比較すると、熊本市の被害率は、兵庫県及び新潟県の被害率の 1/10 程度、仙台市の被害率と同程度であることが確認された。



※4 兵庫県及び新潟県の被害率の分析対象は、1995 年兵庫県南部地震（神戸市・西宮市・芦屋市）、2004 年新潟県中越地震（旧長岡市・小千谷市）、2007 年新潟県中越沖地震（柏崎市・刈羽村）

※5 SP（溶接）は、伸縮管・フランジ継手等を含まない

図 3-13 兵庫県及び新潟県における管種別の被害率（平成 22 年分析）⁹⁾



※6 SP（溶接）は、伸縮管・フランジ継手等を含まない

図 3-14 2011 年東北地方太平洋沖地震による仙台市の管種別の被害率（平成 24 年分析）¹⁾

3.5 管路被害予測式の精度検証

3.5.1 補正係数の精度検証

予測式における補正係数の精度検証に当たっては、補正係数の基準値となる標準管種・継手（DIP（A））、標準口径（φ100-150）、標準微地形（谷底低地、扇状地、後背湿地、三角州・海岸低地）の被害率に対する他管種・継手、口径、微地形の被害率の比率が補正係数に準ずる値であることから、各標準項目と他項目との被害率を比較することで、精度検証を行うものとしている。

(1) 管種・継手補正係数 C_p の検証

1) 全管種・継手の補正係数 C_p

管種・継手補正係数 C_p の検証のため、予測式の標準口径（φ100-150）及び標準微地形（谷底低地、扇状地、後背湿地、三角州・海岸低地）における標準管種・継手（DIP（A））の被害率と他管種の被害率を比較した。ただし、標準微地形のみでは、データ数が十分に得られなかったため、微地形については、標準微地形相当として補正係数 0.8 の区分（砂礫質台地、ローム台地）も加えて検討を行った。

標準口径かつ標準微地形における管種・継手別の被害率を表 3-5 及び図 3-15 に示す。

標準口径かつ標準微地形における管種・継手別の被害率は、標準管種・継手 DIP（A）の被害率 0.04 件/km と比較すると、CIP の補正係数 2.5 に対して 12.5 倍と高い値を示した。しかし、DIP（K）では、補正係数 0.5 に対しては 0.8 倍、VP の補正係数 2.5 に対しては 2.9 倍となり、現行の補正係数 C_p と近い比率が得られた。なお、SP（溶接）、SP（その他）の被害率に対する比率は、管路延長が著しく短いため被害率の算定対象から除外した。

また、熊本市における DIP（A）及び DIP（K）の被害率を表 3-6 に示す。DIP（K）の被害率は、DIP（A）の被害率に対して 0.5 倍であり、現行の補正係数と同じ傾向がみられた。

表 3-5 標準口径かつ標準微地形における管種別の被害率（熊本市）

	管種・継手					
	CIP	DIP(K)	【標準管種・継手】 DIP(A)	SP(溶接) ^{※8}	SP(その他) ^{※8}	VP(TS)
管路延長(m) ^{※7}	26,124	211,508	515,753	3,981	1,664	63,678
被害件数(件)	14	7	22	1	10	8
被害率(件/km)	0.54	0.03	0.04	—	—	0.13
標準管種・継手の被害率に対する比率	12.5	0.8	1.0	—	—	2.9
補正係数 C_p	2.5	0.5	1.0	0.5/0	2.5	2.5

※7 予測式の微地形補正係数 1.0 及び 0.8（谷底低地、扇状地、後背湿地、三角州・海岸性低地、砂礫質台地、ローム台地）かつ標準口径（100-150）を集計対象とし、被害管種のみを集計

※8 SP（溶接）、SP（その他）は、管路延長が著しく短いため被害率の算定対象から除外した。また、SP（溶接）の被害件数は、伸縮管・フランジ継手の被害を除いた値



図 3-15 標準口径かつ標準微地形における管種別の被害率（熊本市）

表 3-6 DIP (A) と DIP (K) の被害率（熊本市）

	DIP の継手分類		総計
	(A)	(K)	
被害件数(件)	59	13	72
管路延長(m)	1,319,745	562,556	1,882,302
被害率(件/km)	0.04	0.02	0.04
DIP(A)の被害率に対する比率	1.0	0.5	—
補正係数 Cp	1.0	0.5	—

2) 溶接鋼管の補正係数

溶接鋼管における溶接方法別の被害率を表 3-7 に示す。

表 3-7 によれば、裏波溶接以前かつ片面溶接の鋼管において 3 件、裏波溶接または両面溶接の鋼管において 3 件の被害が発生している。予測式では、裏波溶接が採用される以前の片面溶接（φ700 以下で 1975 年以前に布設のもの）以外の裏波溶接または両面溶接を補正係数“0”として取り扱っているが、平成 28 年熊本地震では、溶接鋼管において被害が確認されている。日本水道鋼管協会の報告書¹⁰⁾によれば、これらの被害原因としては、現場溶接部内面が無塗装であったことから、それに伴う内面腐食による耐震性の低下が確認されており、現場溶接部の内面が無塗装であったことによる劣化等が挙げられている。

このことから、耐震性の確保のため、内面の腐食状況を調査診断し、必要に応じて補修を施す、または、更新の対象とする等の経年劣化対策の重要性が再認識された。

また、裏波溶接が採用される以前の片面溶接（φ700 以下で 1975 年以前に布設のもの）に限り補正係数は“0.5”としている。この SP（裏波溶接以前のかつ片面溶接鋼管）の被害率 0.26 件/km と標準管種・継手である DIP（A）の被害率 0.04 件/km を比較すると、補正係数 0.5 に対して 6.5 倍と高い値を示したが、これは、溶接鋼管の管路延長が短いことが原因として考えられる。

表 3-7 溶接鋼管の溶接方法別の被害率（熊本市）

	溶接鋼管の分類				総計	DIP(A)
	裏波溶接以前 ^{※9} かつ片面溶接	裏波溶接または 両面溶接	溶接方法未特定 (布設年不明)	フランジ等 ^{※10}		
被害件数 (件)	3	3 ^{※11}	2	10	18	59
管路延長 (m)	11,553	56,901	—	—	68,454	1,319,745
被害率 (件/km)	0.26	0.05	—	—	0.26	0.04
DIP(A)の被害 率に対する比率	6.5	1.25	—	—	6.5	1.0
補正係数 Cp	0.5	0	—	—	—	1.0

※9 φ700 以下で布設年が 1975 年以前の溶接鋼管を「裏波溶接以前かつ片面溶接鋼管」に分類

※10 フランジの被害に加え伸縮管・伸縮可とう管の被害件を「フランジ等」に分類

※11 日本水道鋼管協会の報告書の記載では、「現場溶接部内面が無塗装なため腐食・減肉し溶接部から漏水：1 件」、
「内面塗装部の経年劣化及び損傷部の腐食減肉による溶接部の漏水：1 件」、
「地震前からの孔食による漏水：1 件」に該当¹⁰⁾

(2) 口径補正係数 Cd の検証

口径補正係数 Cd の検証のため、管種・継手の補正係数の検証と同様に、標準管種・継手における標準口径の被害率と他口径の被害率の比較を行った。

標準管種・継手における口径別の被害率を表 3-8 及び図 3-16 に示す。

標準口径 $\phi 100-150$ の被害率 0.04 件/km と比較すると、 $\phi 200-250$ の補正係数 0.4 に対して 1.0 倍となっており、若干高い傾向がみられたものの、 $\phi 75$ では補正係数 2.0 に対して 1.9 倍となることが確認でき、現行の補正係数 Cd と同じ傾向がみられた。

表 3-8 標準管種・継手における口径別の被害率（熊本市）

	口径					
	$\phi 50$	$\phi 75$	【標準口径】 $\phi 100-150$	$\phi 200-250$	$\phi 300-450$	$\phi 500$ 以上
管路延長(km)	0	313	765	160	72	9
被害件数(件)	0	23	30	6	0	0
被害率(件/km)	0	0.07	0.04	0.04	0	0
標準口径の被害率に対する比率	—	1.9	1.0	1.0	—	—
補正係数 Cd	2.0		1.0	0.4	0.2	0.1

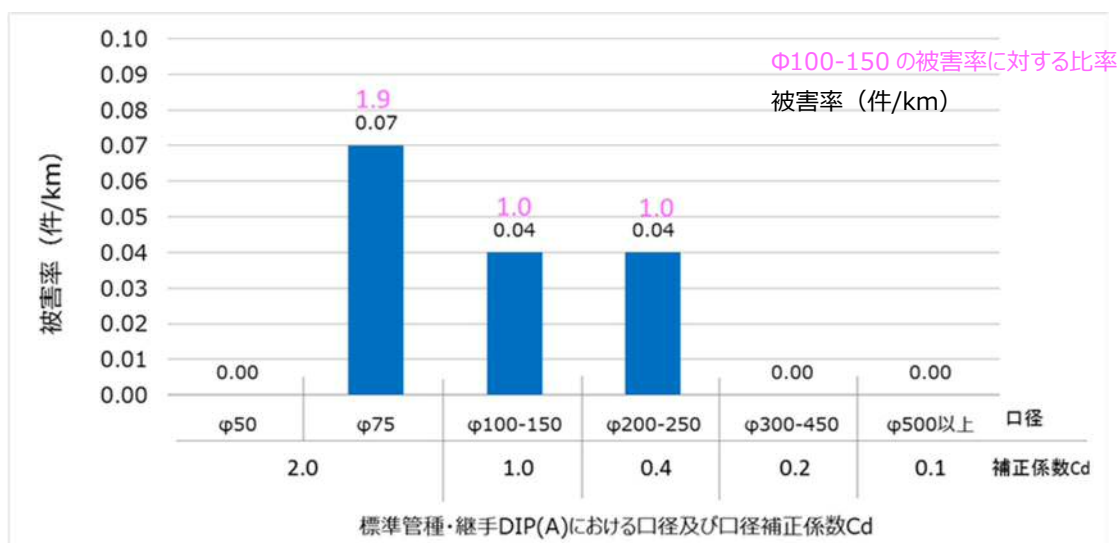


図 3-16 標準管種・継手における口径別の被害率（熊本市）

(3) 微地形補正係数 Cg の検証

微地形補正係数 Cg の検証のため、標準管種・継手かつ標準口径に対する標準微地形区分における被害率と他微地形区分の被害率の比較を行った。

標準管種・継手かつ標準口径における微地形区分別の被害率を表 3-9 及び図 3-17 に示す。表 3-9 及び図 3-17 によれば、標準管種・継手かつ標準口径における微地形区分別の被害率は、管路延長が短い微地形区分における補正係数 2.5、5.0 の区分では、補正係数 1.0 の微地形区分の被害率に対して 0.7 倍、3.2 倍と乖離がみられたが、その他の区分では、補正係数 0.4 の区分に対して 0.5 倍、補正係数 0.8 の区分に対して 1.2 倍となり、補正係数と近い比率が得られた。

表 3-9 標準管種・継手かつ標準口径における微地形区分別の被害率（熊本市）

	微地形区分				
	山地丘陵 山麓地 火山地 火山山麓地 火山性丘陵	砂礫質台地 ローム台地	【標準微地形区分】 谷底低地 扇状地 後背湿地 三角州・海岸低地	自然堤防 旧河道 砂州・砂礫洲 砂丘	埋立地 干拓地 湖沼
管路延長(km)	157	310	205	69	24
被害件数(件)	3	14	8	2	3
被害率(件/km)	0.02	0.05	0.04	0.03	0.13
標準微地形区分の被害率に対する比率	0.5	1.2	1.0	0.7	3.2
補正係数 Cg	0.4	0.8	1.0	2.5	5.0

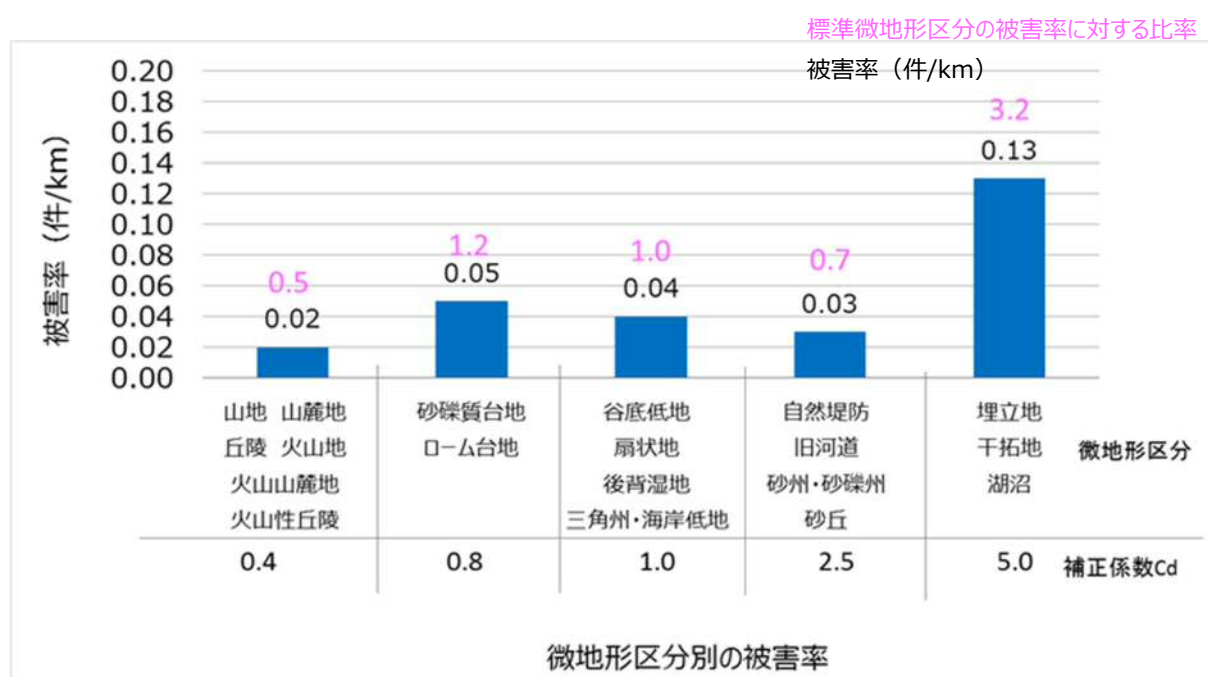


図 3-17 標準管種・継手かつ標準口径における微地形区分別の被害率（熊本市）

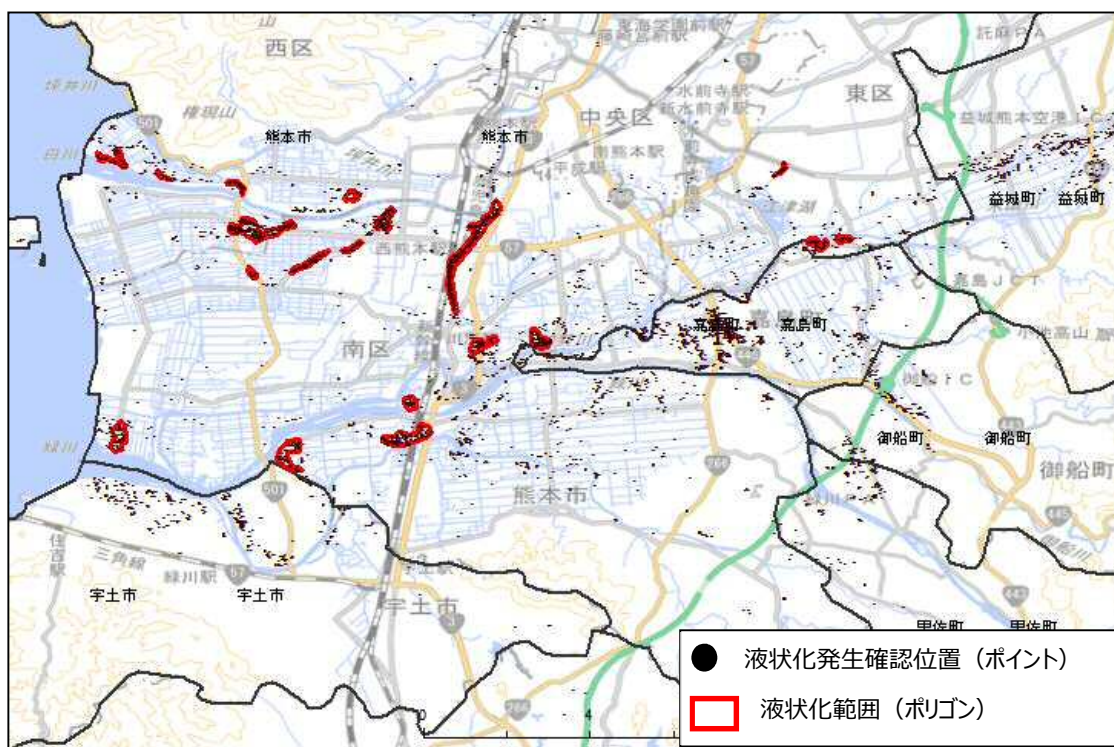
3.5.2 液状化範囲における予測式の精度検証

(1) 液状化範囲の被害率

熊本市及びその周辺における液状化の発生が確認されたことから、液状化の発生が集中した範囲（以下、「液状化範囲」という。）を特定し、液状化範囲の被害率について分析を行った。熊本市内の液状化発生確認位置及び液状化範囲の分布を図 3-18 に、液状化範囲の管路延長及び被害率を表 3-10 に、液状化範囲及び非液状化範囲の被害率を図 3-19 に示す。

表 3-10 及び図 3-19 によれば、熊本市における液状化範囲の管路延長は約 26.7km、管路被害は 17 件であり、被害率は 0.64 件/km であった。液状化範囲の被害率は、非液状化範囲の被害率 0.07 件/km と比べて約 10 倍の値であり、液状化範囲の被害率は、非液状化範囲よりも高くなる傾向が認められた。また、管種別の被害率の比率においても、同様な傾向がみられた。

一方で、液状化範囲内に含まれる管路延長（約 26.7km）は、全管路延長（約 3,238km）の 0.8%程度であり、液状化による管路被害は限定的なものであることを確認した。



備考：「国土地理院の電子地形図（タイル）」に防災科学研究所提供⁶⁾の液状化確認地点と本検討で作成した熊本市内の液状化範囲を追記

図 3-18 液状化発生確認位置及び液状化範囲の分布（熊本市）⁴⁾

表 3-10 液状化範囲の管路延長及び被害率（熊本市）

管種	DIP (耐震)	DIP (その他)	CIP	SP (溶接)	SP (その他)	VP	PE (融着)	PE (その他)	SUS	その他	全管種
管路延長 (km)	5.3	15.1	1.1	0.5	0.1	3.0	0.4	0.0	0.0	1.2	26.7
被害件数 (件)	0	8	0	3	3	3	0	0	0	0	17
被害率 (件/km) ^{※12}	0	0.53	0	—	—	1.00	0	0	0	0	0.64

※12 管路延長が短いため被害率は参考値として算出、ただし延長が 1km 未満の区分は被害率の算出から除外

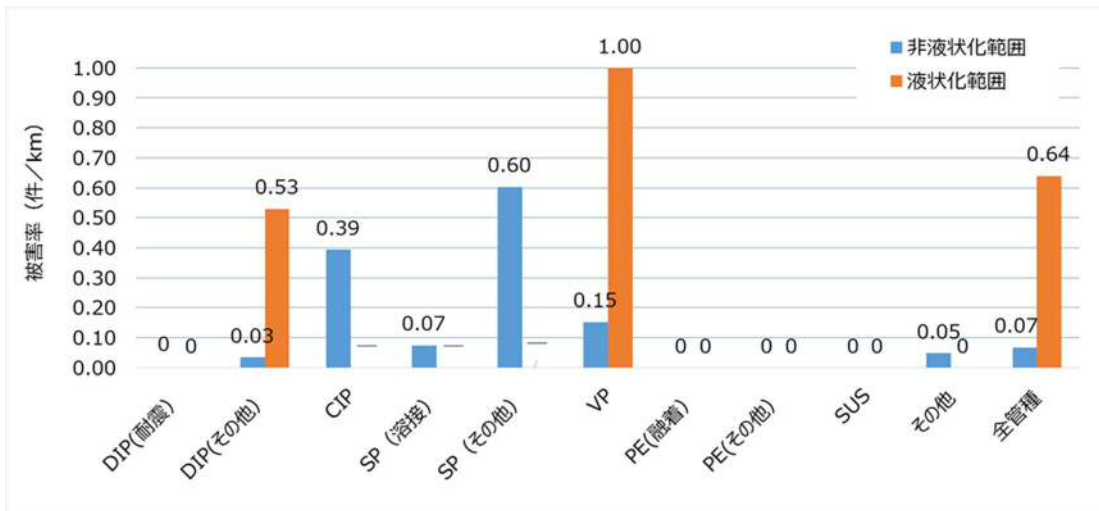


図 3-19 液状化範囲及び非液状化範囲の被害率 (熊本市)

(2) 標準管種・継手かつ標準口径における被害率

予測式の標準管種・継手 DIP (A) かつ標準口径φ100-150における液状化及び非液状化範囲の管路延長及び被害率を表 3-11、図 3-20 に示す。

標準管種・継手かつ標準口径における液状化範囲の管路延長は約 5km と短いため、液状化範囲の被害率は参考値として取り扱うこととする。参考値ではあるが、表 3-11 及び図 3-20 によれば、液状化範囲の被害率は、非液状化範囲の被害率と比べ約 10 倍以上となり、全管種における結果と同様に、液状化範囲では被害率が著しく高くなる傾向が認められた。

表 3-11 標準管種・継手かつ標準口径における液状化及び非液状化範囲の管路延長及び被害率

	液状化範囲	非液状化範囲	全体
管路延長 (km)	5	760	765
被害件数 (件)	3	27	30
被害率 (件/km)	0.60 ^{※13}	0.04	0.04

※13 管路延長が短いため液状化範囲の被害率は、参考値とする

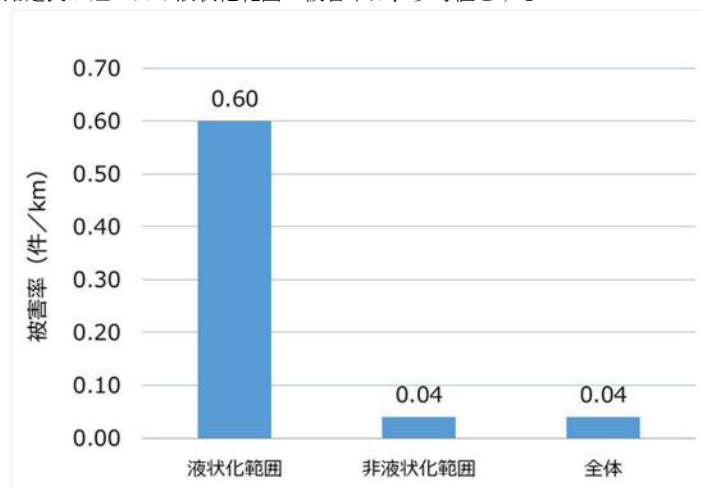


図 3-20 液状化範囲及び非液状化範囲の被害率 (熊本市 DIP (A) かつ φ100-150)

3.5.3 被害予測件数の精度

(1) メッシュごとの被害予測件数と管路被害の発生位置との比較

予測式を用いてメッシュごとの被害件数を予測し、実際に被害が発生した位置との比較を行った。全管種におけるメッシュごとの予測結果と実被害発生位置を図 3-21 に示す。

予測式では、補正係数が“0”以外となる管路が布設されている全てのメッシュ内にて被害が予測されることから、図 3-21 に示すとおり、実際の被害が発生していない箇所についても被害が予測されている。

図 3-21 によれば、実際に被害が発生した位置は、予測件数 1 件以上と推定されたメッシュ（水色、黄緑色、橙色）に概ね分布していることを確認した。一方で赤色の楕円（破線）で示す範囲は、予測件数が 0.5 件/km 未満の箇所であるが、VP 又は DIP の被害が実際に確認された箇所である。この位置を図 3-22 に示す微地形分布でみると、火山地又は火山性丘陵（補正係数 0.4）に含まれることから、低い予測結果となっている。

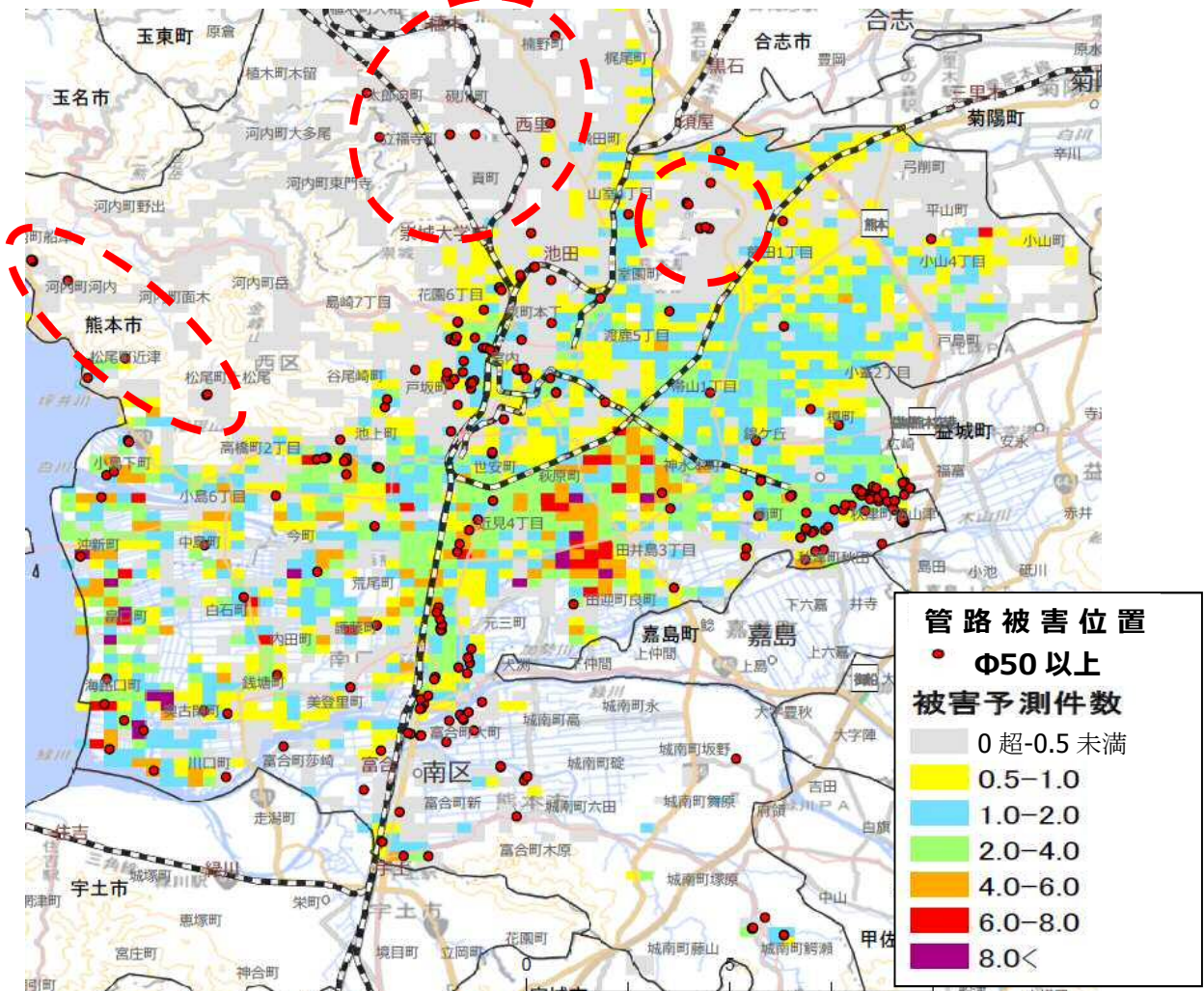


図 3-21 メッシュごとの予測結果と実被害発生位置（熊本市 全管種φ50 以上）

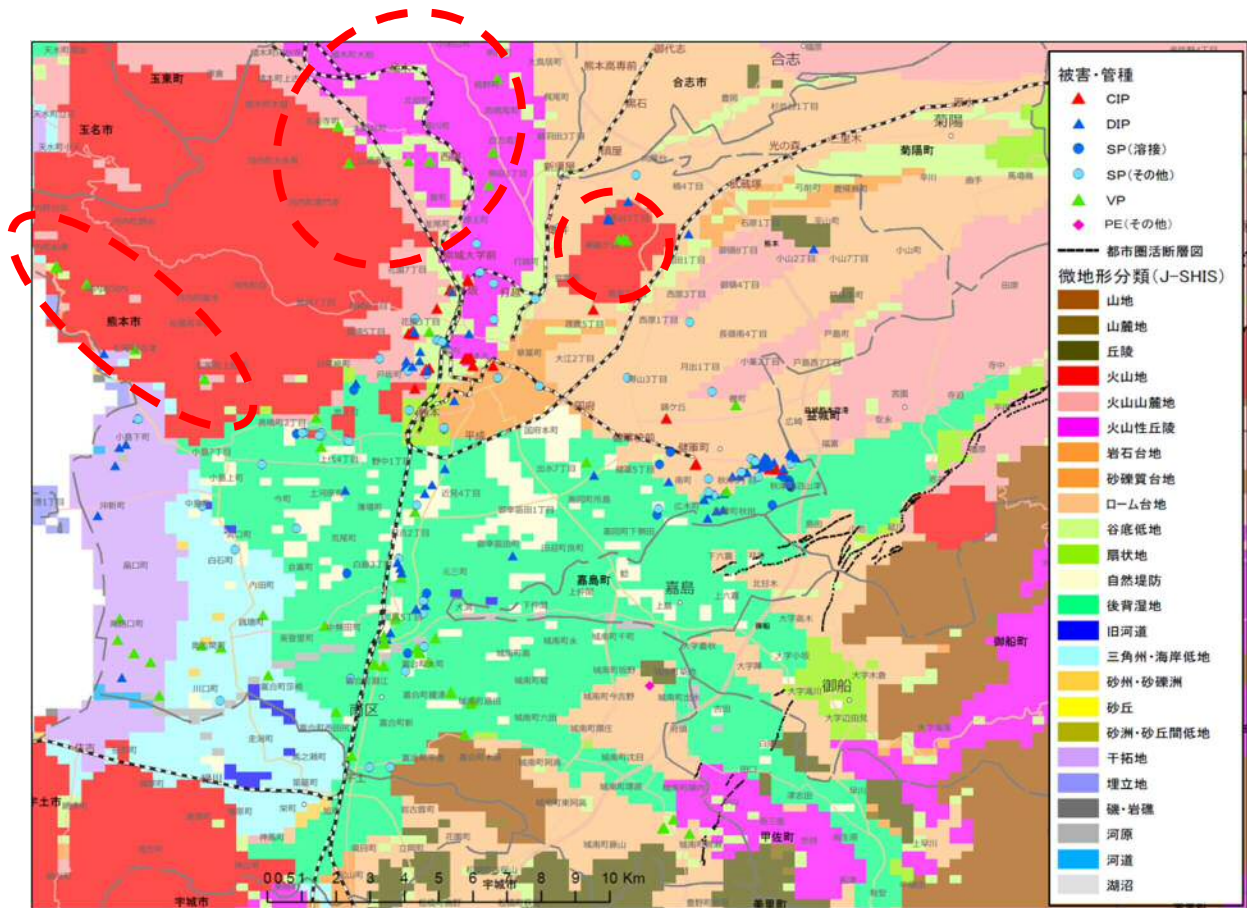


図 3-22 微地形分布と管路被害位置（熊本市）（再掲）

(2) 被害予測件数と実被害件数の精度検証

被害予測件数と実被害件数の精度検証のため、予測式の標準管種・継手 DIP (A) かつ標準口径φ100-150 について、被害が発生したメッシュごとの被害予測件数と実被害件数を比較した。メッシュごとの予測結果と実被害発生位置を図 3-23 に示す。また、メッシュごとの被害予測件数と実被害件数の比較を図 3-24 に、メッシュごとの被害予測件数の分布を図 3-25 に示す。

被害予測件数と実被害件数を比較すると、前述のとおり、予測式では、補正係数が“0”以外に該当する全ての管路において、メッシュ内での被害が予測されるため、図 3-24 及び図 3-25 に示すように補正係数の違いで数分の一から数倍程度の幅を持った予測結果となり、メッシュ当たりの被害予測件数が 1 件未満と算出される場合がある。

図 3-24 によれば、標準管種・継手 DIP (A) かつ標準口径φ100-150 における被害件数 30 件のうち、約 90%の被害は、1 メッシュに対して 1 件の発生が確認されている。なお、図 3-24 に実被害件数：被害予測件数における比率直線を示しているが、1:1 の線より下に存在する場合は、安全側に推計されていることを表している。青色の楕円（破線）で示す範囲は、震源に近く地表面最大速度 (PGV) が高い地域に属していたこと、また、図 3-22 によれば、ローム台地と後背湿地の境界部に属していることから、実被害件数が多くみられたと推察する。(過去の研究から、管路被害は、地盤変状の発生しやすい地盤の不均一性（地盤構成や硬軟の変化域）の高い位置で多いことが分かっている)¹⁾ これら以外の被害箇所においては、液状化範囲の被害とともに、実被害件数 1 件に対して、予測件数は概ね 1 件以上と推計されており、メッシュ当たりの予測結果は、安全側の推計になっていることを確認した。

また、図 3-25 によれば、被害が推定されたメッシュのうち、1 件未満と推計されるメッシュは、80%以上存在する結果となったことから、実被害件数との比較に当たり、被害予測件数が 1 件以上となるメッシュ数との比較を行った。実被害件数は、19 メッシュ内で 30 件が発生したことに対して、1 メッシュ当たり 1 件以上の被害が推計された予測被害件数は、251 メッシュ内で 430 件と算出され、給水区域全体でみた場合も安全側の予測であることが確認された。

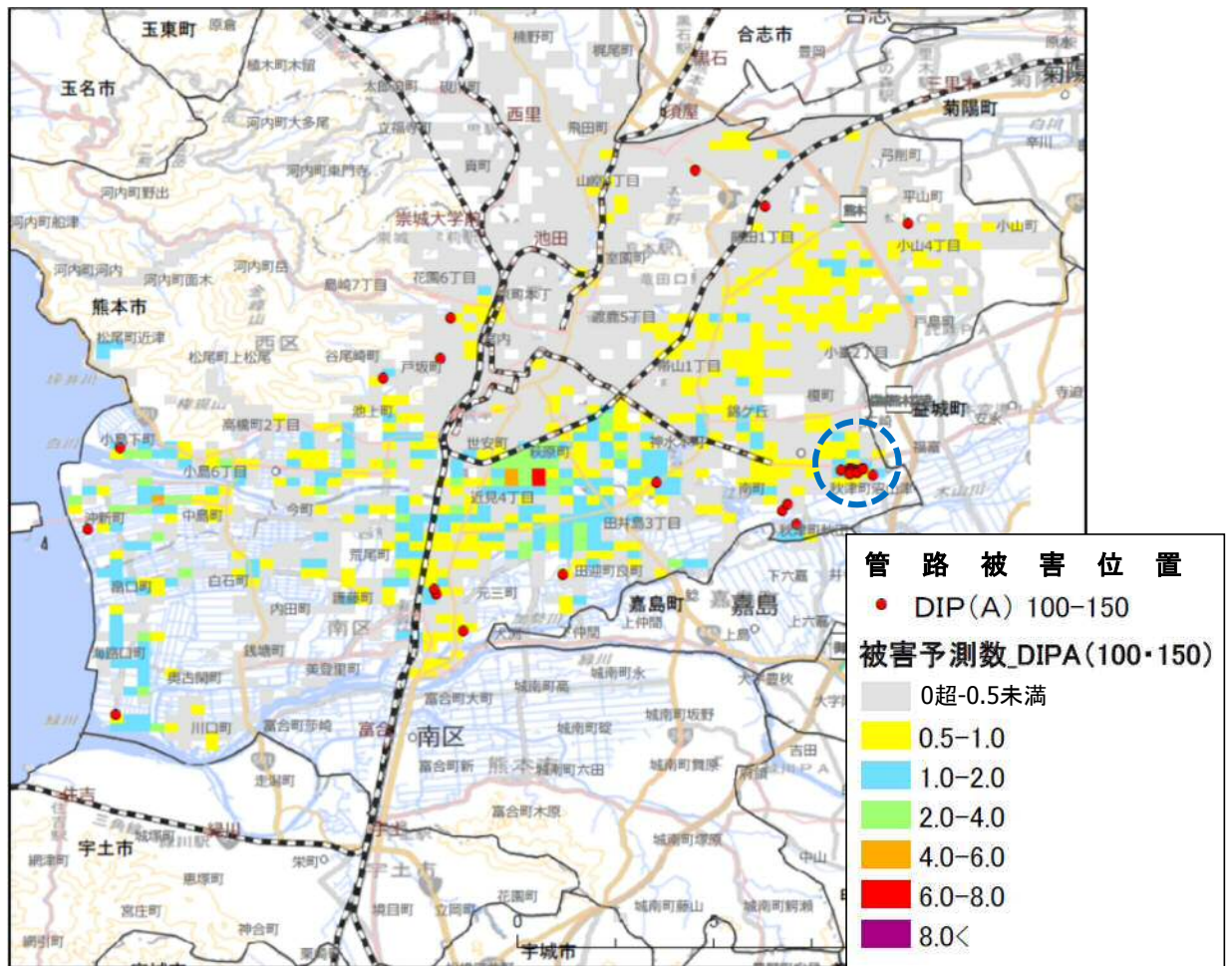


図 3-23 メッシュごとの予測結果と実被害発生位置（熊本市 DIP（A）かつφ100-150）

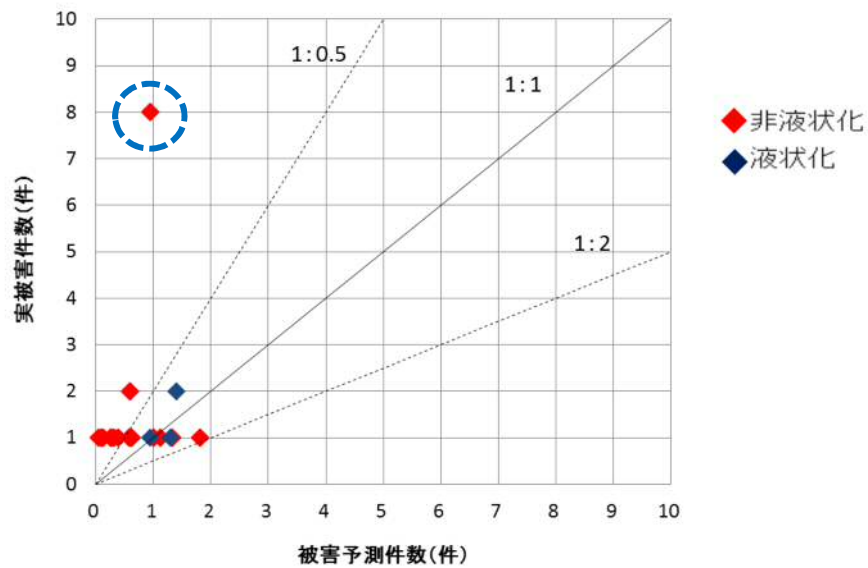


図 3-24 メッシュごとの被害予測件数と実被害件数の比較（DIP（A）かつφ100-150）

DIP-A φ100-150埋設メッシュ総数：2,122

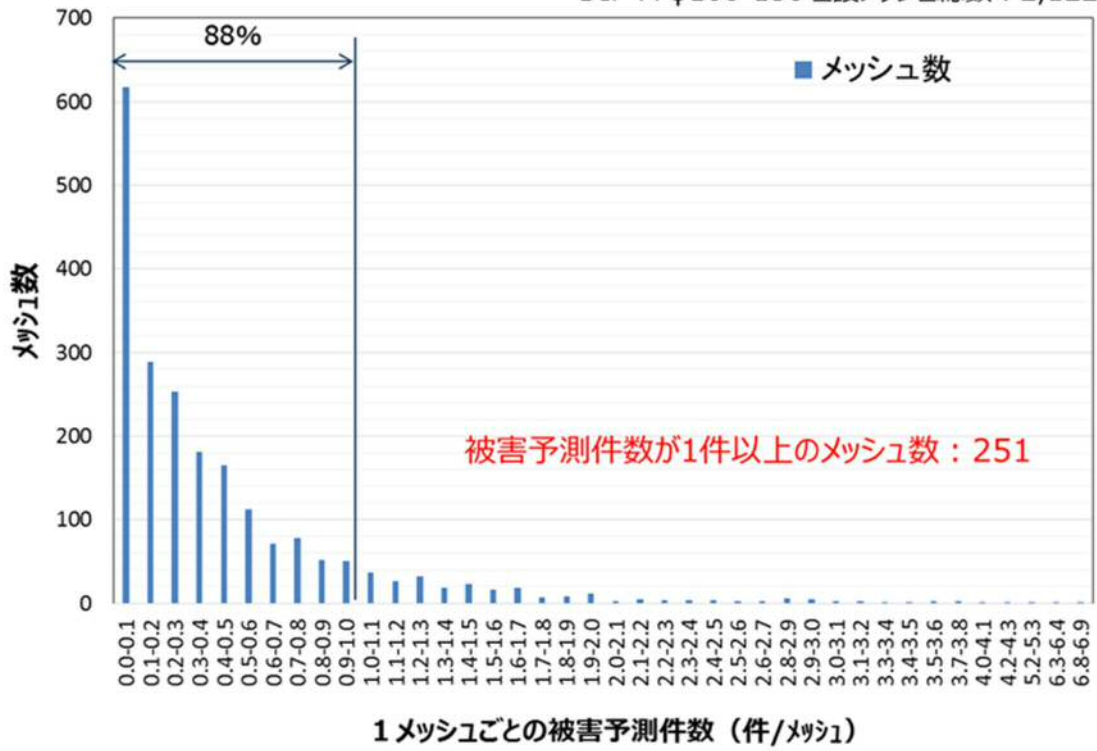


図 3-25 メッシュごとの被害予測件数の分布 (DIP (A) かつφ100-150)

(3) 被害発生メッシュの被害率と既往地震との比較

予測式の標準管種・継手 DIP (A) かつ標準口径φ100-150について、被害発生メッシュ当たりの被害率を過去の被害分析に用いた既往地震の被害率との比較を行った。

地表面最大速度別における熊本地震の被害率と既往地震の被害率及び過去の被害分析から算出した標準被害率曲線を図 3-26 に示す。比較の結果、熊本地震の被害発生メッシュの被害率と既往地震の被害発生メッシュの被害率の分布は、同程度の範囲にあることが確認できた。

なお、既往地震における被害発生メッシュの被害率は、メッシュ内の管路延長が 1km 以上のデータを対象に分析を行っているが、熊本地震における被害発生メッシュの被害率は、メッシュ内の管路延長が 1km を超えるメッシュが存在しなかったことから、比較に当たり延長による絞り込みは行っていない。このため、被害率の変動が大きい場合がある。

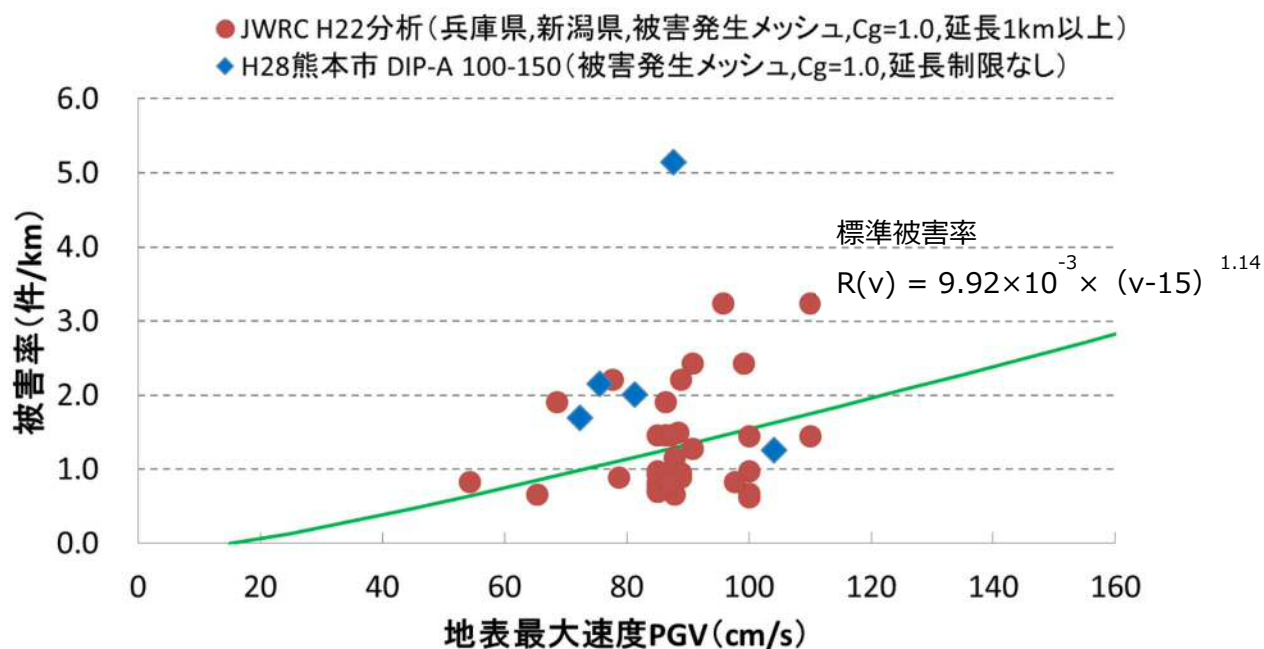


図 3-26 地表面最大速度別における熊本地震の被害率と既往地震の被害率及び過去の被害分析から算出した標準被害率曲線

3.6 管路被害予測式の妥当性評価

3.6.1 検証結果のまとめ

熊本地震による管路被害と予測式の検証結果一覧を表 3-12 に示す。

表 3-12 熊本地震による管路被害と被害予測式の検証結果一覧

項目	分析結果概要	参照
地表面最大速度と被害率	<ul style="list-style-type: none"> DIP (A) の被害率は地表面最大速度が大きくなると増加し、予測式と同様の傾向であった。 	図 3-8
管種補正係数 C_p	<ul style="list-style-type: none"> 標準口径かつ標準微地形における管種別の被害率は、標準管種・継手 DIP (A) に対して、CIP では補正係数 2.5 に対して 12.5 倍と高い値を示したものの、DIP (K) では補正係数 0.5 に対して 0.8 倍、VP では補正係数 2.5 に対して 2.9 倍となり、現行の補正係数 C_p に近い比率が得られた。 DIP (K) の被害率は、DIP (A) の被害率の 0.5 倍であり、現行の補正係数と同じ傾向がみられた。 	表 3-5 表 3-6 図 3-15
溶接鋼管の溶接方法による補正係数	<ul style="list-style-type: none"> 現場溶接部内面が無塗装による腐食等の劣化が原因と推察される被害が確認されている。 	表 3-7
口径補正係数 C_d	<ul style="list-style-type: none"> 全体被害率は、口径が大きくなるほど、被害率は減少傾向であった。 標準口径 $\phi 100-150$ の被害率と $\phi 200-250$ の被害率を比較すると、補正係数 0.4 に対して、1.0 倍となり、若干高い傾向がみられたものの、$\phi 75$ の被害率との比較は、補正係数 2.0 に対して 1.9 倍となり、現行の補正係数 C_d と同じ傾向がみられた。 	表 3-8 図 3-16
微地形補正係数 C_g	<ul style="list-style-type: none"> 微地形区分別の被害率は、補正係数 C_g と比率の大小と同様の傾向がみられた。 管路延長が短い微地形区分 2.5、5.0 の区分では、標準微地形区分の被害率に対して 0.7 倍、3.2 倍と乖離がみられたものの、その他の区分では、それぞれの補正係数 C_g と近い比率が得られた。 	表 3-9 図 3-17
液状化範囲の被害率	<ul style="list-style-type: none"> 標準管種・継手 DIP (A) かつ標準口径 $\phi 100-150$ の液状化範囲の被害率は、非液状化範囲の被害率の 10 倍以上であった。(管路延長が短いため参考値とする) 管種別の被害率の比率においても同様の傾向がみられた。 	表 3-10 表 3-11 図 3-19 図 3-20
被害予測件数の精度	<ul style="list-style-type: none"> 微地形補正係数等の違いにより、数分の一から数倍程度の幅をもった予測結果となった。 実被害件数は、19 メッシュ内で 30 件の発生に対して、1 メッシュ当たり 1 件以上の被害が推計された予測被害件数は、251 メッシュ内で 430 件と算出され、安全側の予測となっている。 既往地震の被害発生メッシュの被害率と熊本地震の被害発生メッシュの被害率の分布は、同程度の範囲にあった。 	図 3-23 図 3-24 図 3-25 図 3-26

3.6.2 見直しの必要性

熊本市の管路被害分析結果は、管路延長が短い項目では、既往地震との被害率や各補正係数との比率等において、乖離している部分も確認されているが、予測式の補正係数、標準被害率の傾向は、ほぼ一致していた。また、予測式は、安全側の推定となることを前提とした式であることから、本検討においても安全側の推定結果となった。

以上のことから、予測式の妥当性は“有り”と判断し、予測式の補正係数、標準被害率と見直しの必要はないと判断した。また、予測式は、250mメッシュごとの管路被害を評価し、管路の耐震化優先順位等を検討することを目的としていることから、妥当性は有るものと判断した。ただし、被害予測件数は、安全側ではあるものの、実被害件数に比べ、数倍の推定結果が求められたことから、給水区域全体における被害推定への適用は、今後の課題であり、予測式の更なる精度向上が必要となる。

なお、見直しの必要はないものの、本検討の過程で判明した新たな知見及び補足すべき事項を注釈に加えるものとした。表 3-13 に管路被害予測式と補正係数とともに、本研究において、注釈に補足を加えた箇所を下線で示す。

表 3-13 管路被害予測式と各補正係数

地震による管路被害予測式 ^{注8}					
液状化の情報を有していない場合、 又は液状化の可能性がない場合の管路被害予測式			液状化の情報を有しており、 かつ液状化の可能性ありの場合の管路被害予測式		
$R_m = C_p \times C_d \times C_g \times R(v)$ R _m : 推定被害率 [件/km] C _p : 管種・継手補正係数 C _d : 口径補正係数 C _g : 微地形補正係数 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 ≤ v < 120)			$R_m = C_p \times C_d \times R_L$ R _m : 推定被害率 [件/km] C _p : 管種・継手補正係数 C _d : 口径補正係数 C _g : 微地形補正係数 R _L : 標準液状化被害率 [件/km] R _L = 5.5		
補正係数					
管種・継手	C _p	口径	C _d	管が布設されている微地形	C _g ^{注1}
DIP(A)	1.0	φ 50-80	2.0	山地 山麓地 丘陵 火山地	0.4
DIP(K)	0.5	φ 100-150	1.0	火山山麓地 火山性丘陵	
DIP(T)	0.8 ^{注2}	φ 200-250	0.4	砂礫質台地 ローム台地	0.8
DIP(離脱防止)	0	φ 300-450	0.2	谷底低地 扇状地 後背湿地	1.0
CIP	2.5	φ 500-900	0.1	三角州・海岸低地	
VP(TS)	2.5			自然堤防 旧河道 砂州・砂礫州	2.5
VP(RR)	0.8 ^{注3}			砂丘	
SP(溶接)	0.5/0 ^{注4}			埋立地 干拓地 湖沼	5.0
SP(溶接以外)	2.5 ^{注5}				
ACP	7.5 ^{注6}				
PE(融着)	— ^{注7}				

- 注 1 管が布設されている微地形の補正係数「C_g」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。
- 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
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、それ以外のは 0 とする。なお、補正係数が 0 となる SP（溶接）において、
溶接継手部内面が無塗装による腐食等の劣化が原因と推察される被害が確認されている。
- 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 25 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。
- 注 8 本予測式は、メッシュごとの被害を評価することを目的としていることから、推定被害率が安
全側に算出される傾向となっている。なお、給水区域全体の被害件数の推計では過大評価とな
る場合もあることに注意が必要である。

※ 地震による管路被害データを多変量解析で分析するに当たり、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。

4 参考文献

- 1) 公益財団法人 水道技術研究センター『平成 25 年 3 月 地震による管路被害予測の確立に向けた研究報告書』
- 2) 国立研究開発法人 防災科学技術研究所、『J-SHIS 地震ハザードステーション』
<http://www.j-shis.bosai.go.jp/> (2017 年 3 月時点)
なお、『J-SHIS 地震ハザードステーション』は、以下の文献を参考に作成されている。
 - (1) 若松加寿江・松岡昌志(2013)：全国統一基準による地形・地盤分類 250m
メッシュマップの構築とその利用，地震工学会誌 No.18, pp.35-38.
 - (2) Wakamatsu, K. and Matsuoka, M. (2013): " Nationwide 7.5-Arc-Second Japan Engineering Geomorphologic Classification Map and Vs30 Zoning", Journal of Disaster Research Vol.8 No.5,pp.904-911.
 - (3) 松岡昌志・若松加寿江(2008)：地形・地盤分類 250m メッシュマップ全国版に基づく地盤のゆれやすさデータ，産業技術総合研究所，知的財産管理番号 H20PRO-936.
 - (4) 藤本一雄・翠川三郎(2006)：近接観測点ペアの強震観測記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均 S 波速度の関係,日本地震工学会論文集,Vol.6,No.1,pp.11-22.
- 3) 国立研究開発法人 防災科学技術研究所、平成 28 年熊本地震の最大速度分布・メッシュデータ <http://www.j-risq.bosai.go.jp/report/static/R/20160416012514/0424/00002/R-20160416012514-0424-00002-REPORT.html> (2017 年 3 月時点)
- 4) 国立研究開発法人 防災科学技術研究所、平成 28 年熊本地震の液状化分布・メッシュデータ及び発生地点・ポイントデータ
- 5) 公益社団法人 日本水道協会、平成 26 年度水道統計、施設の概要、管種別延長
- 6) 国土地理院の電子地形図 (タイル)、国土地理院ウェブサイト
<http://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html> (2017 年 3 月時点)
- 7) 国土地理院 都市圏活断層図、国土地理院ウェブサイト
http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/active_fault.html (2017 年 3 月時点)
- 8) 厚生労働省 熊本地震水道施設被害等現地調査団、平成 28 年(2016 年)熊本地震水道施設被害等現地調査団報告書 平成 29 年 3 月
- 9) 財団法人 水道技術研究センター『平成 23 年 3 月 地震による水道管路被害予測の手引き』
- 10) 日本水道鋼管協会、熊本地震における水道鋼管の被害分析ならびに今後の減災に向けた提言 平成 28 年 10 月