

既往の上水道配水管の地震被害予測式の 予測精度に関する検討

永田 茂¹・丸山喜久²・庄司 学³

¹正会員 鹿島技術研究所 都市防災・環境グループ (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

E-mail: nagata-shigeru@kajima.com

²正会員 千葉大学准教授 大学院工学研究科 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)

E-mail: ymaruyam@tu.chiba-u.ac.jp

³正会員 筑波大学准教授 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail: gshoji@kz.tsukuba.ac.jp

本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震における仙台市といわき市を対象として、これまでに提案された4種類の配水管被害予測式による予測結果と被害実績の比較検討を行うことにより被害予測精度を検証するとともに、被害予測式や予測式で使用する各種補正係数に関する改善点を整理した。さらに、これまでに提案された一つの被害予測式を取上げ、管種・口径補正係数、地形・液状化補正係数を適切に修正することにより、被害箇所数や被害発生位置の予測精度の改善が可能であることを示した。

Key Words : water supply pipelines, earthquake damage estimation formula, 2011 Tohoku Earthquake

1. はじめに

国や自治体の地震被害想定調査では、社会生活に影響を与えるライフラインの地震対策立案のための被害予測が行われており、特に上水道施設については過去の地震で甚大な被害が発生してきた配水管路施設の適切な地震対策を検討するための被害予測結果が重要な情報となっている。このため、配水管被害予測の精度向上を目的として、これまでも複数の被害予測式が提案されている。

近年の研究成果としては、阪神・淡路大震災の配水管被害データをもとに構築された日本水道協会による被害予測式¹⁾や高田・宮島らの被害予測式²⁾、近年の複数の被害地震における配水管被害データをもとに構築された丸山・山崎の被害予測式³⁾、さらに東北地方太平洋沖地震の管路被害データを加えて構築された水道技術研究センターの予測式⁴⁾などが代表的なものとなっている。

阪神・淡路大震災以降の上水道管路施設データの電子化やGPSなどを活用した被害情報収集技術の向上により、東北地方太平洋沖地震では高精度な被害情報の整理が完了しており、これまでに提案されてきた配水管被害予測式の予測精度を詳細に検討できる素地が整ってきた。

本研究では、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震における仙台市及びいわき市の配水管被害、東北地方太平洋沖地震の誘発地震である2011年4月11日の福島県浜

通りの地震（以下、誘発地震と呼ぶ）におけるいわき市の配水管被害を対象として、これまで提案された配水管被害予測式の予測精度の検証を行うとともに、被害予測精度向上のために今後取り組むべき研究課題を整理した。

2. 既往の配水管の地震被害予測式

既往の配水管の地震被害予測式としては、阪神・淡路大震災の配水管被害データをもとに構築された日本水道協会の予測式（以下、日水協式）と高田・宮島らの予測式（以下、高田・宮島式）、近年に発生した被害地震の配水管被害データを用いて構築された丸山・山崎の予測式（以下、丸山・山崎式）、近年の地震の配水管被害データに東北地方太平洋沖地震の配水管被害データを加えて構築された水道技術研究センターの予測式（以下、センター式）の4種類を検討対象とした。

日水協式と高田・宮島式は、地表最大加速度（以下、PGA）及び地表最大速度（以下、PGV）を地震動強さ指標とした予測式を提案しており、丸山・山崎式、センター式はPGVを使用した予測式を提案している。このため、本研究では地震動強さ指標として共通のPGVを使用している被害予測式について比較検討を行った。

以下には、上記4種類の予測式に関する論文・報告書

に示された配水管被害予測式、標準被害率予測式、各種補正係数を示した。日水協式は、口径100-150mmの普通铸铁管（以下、CIP）及びダクトイル铸铁管（以下、DIP）を基準とする式(1)～(4)である。高田・宮島式は、口径100-150mmのCIPを基準とする式(5)～(6)であり、丸山・山崎式は、CIP（口径は指定していない）及び口径100-150mmのDIPを基準とする式(7)～(9)である。センター式は口径100-150mmのCIPを基準とする式(10)～(12)である。

$$N_D = C_p \cdot C_d \cdot C_g \cdot C_l \cdot R(v) \cdot L \quad (1)$$

$$CIP: R(v) = 3.11 \cdot 10^3 \cdot (v-15)^{1.30} \quad (2)$$

$$DIP(\text{良質な沖積平野}): R(v) = 7.03 \cdot 10^6 \cdot (v-15)^{2.19} \quad (3)$$

$$DIP(\text{地形変化がある地域}): R(v) = 2.04 \cdot 10^5 \cdot (v-15)^{2.19} \quad (4)$$

$$N_D = C_p \cdot C_d \cdot C_l \cdot R(v) \cdot L \quad (5)$$

$$CIP: R(v) = 6.33 \cdot 10^5 \cdot v^{2.10} \quad (6)$$

$$N_D = C_p \cdot C_d \cdot C_l \cdot R(v) \cdot L \quad (7)$$

$$CIP: R(v) = 2.06 \cdot \Phi((\ln v - 5.00)/0.860) \quad (8)$$

$$DIP: R(v) = 4.99 \cdot \Phi((\ln v - 6.04)/0.864) \quad (9)$$

$$N_D = C_p \cdot C_d \cdot C_g \cdot R(v) \cdot L \quad (\text{非液化化地盤}) \quad (10)$$

$$CIP: R(v) = 9.92 \cdot 10^3 \cdot (v-15)^{1.14} \quad (15 \leq v < 120) \quad (\text{非液化化地盤}) \quad (11)$$

$$N_D = C_p \cdot C_d \cdot 5.5 \cdot L \quad (\text{液化化地盤}) \quad (12)$$

ここで、 N_D は配水管の地震被害箇所数、 v はPGV、 $R(v)$ は標準被害率（箇所/km）、 L は配水管延長（km）を表す。なお、日水協式、高田・宮島式、センター式の v は水平2成分の最大値であり、丸山・山崎式は水平2成分の合成値である。 $C_p \cdot C_d \cdot C_g \cdot C_l$ はそれぞれ管種・口径・地形・液化化補正係数であり、4種類の被害予測式で使用している管種・口径補正係数を表-1に、日水協式及びセンター式の地形補正係数を表-2と表-3に、液化化補正係数を表-4に示した。日水協式と高田・宮島式、センター式の各種補正係数は独自に設定したものであり、丸山・山崎式は内閣府首都直下地震被害想定手法⁵⁾を参考に設定したものである。

表-1 既往の配水管被害予測式で使用されている管種・口径補正係数（ $C_p \cdot C_d$ ）

（1段目：日水協式、2段目：高田・宮島式、3段目：丸山・山崎式、4段目：センター式）

管種 \ 口径	75mm以下	100-150mm	200-250mm	300-450mm	500mm以上
DIP(ダクトイル铸铁管・一般継手)	1.6 0.48 2.0 1.0	1.0 0.3 1.0 0.5	0.8 0.27 1.0 0.2	0.8 0.21 1.0 0.1	0.5 0.15* 0.3 0.05
CIP(普通铸铁管・一般継手)	1.6 1.6 1.7 5.0	1.0 1.0 1.2 2.5	0.8 0.9 0.8 1.0	0.8 0.7 0.8 0.5	0.5 0.5* 0.4 0.25
VP(塩化ビニル管・TS継手)	1.6 1.6 1.5 5.0	1.0 1.0 1.2 2.5	0.8 0.9 1.2 1.0	0.8 0.7 1.2 0.5	0.5 0.5* 1.2 0.25
VP(塩化ビニル管・RR継手)	— — — 5.0	— — — 2.5	— — — 1.0	— — — 0.5	— — — 0.25
SP(鋼管・溶接継手)	0.48* 0.48* 0.84 1.0	0.3* 0.3* 0.42 0.5	0.24* 0.27* 0.36 0.2	0.24* 0.21* 0.36 0.1	0.15* 0.15* 0.24 0.05
SGP(鋼管・ねじ継手)	— 6.4* — 5.0	— 4.0* — 2.5	— 3.6* — 1.0	— 2.8* — 0.5	— 2.0* — 0.25
ACP(石綿セメント管)	1.92* 4.0* 6.9 15.0	1.2* 2.5* 2.7 7.5	0.96 2.25* 2.0 3.0	0.96 1.75* 2.0 1.5	0.6 1.25* 1.2 0.75
その他	— 0.3 —	— 0.3 —	— 0.3 —	— 0.3 —	— 0.3 —

注1) 「*」は延長が短いため参考値扱いの補正係数、「—」は補正係数の設定がない。

注2) 日水協式及び丸山・山崎式のDIP（一般継手）の補正係数は、口径100-150mmのDIPを1.0とした場合の補正係数で、それ以外は口径100-150mmのCIPを1.0とした場合の補正係数。

注3) センター式のDIP（一般継手）の補正係数はA、K、T形について示されているが、表にはK形継手の値を示した。

注4) DIP(ダクトイル铸铁管・耐震継手)は無被害と想定されるため、 $C_p=0.0$ となっている。

3. 仙台市及びいわき市の配水管被害

東北地方太平洋沖地震と誘発地震における仙台市及びいわき市の市内全域（津波被害地域を除く）における配水管の被害概要を示した。

(1) 仙台市の被害

仙台市の配水管被害データは、仙台市が作成したものを使用しており、表-5には東北地方太平洋沖地震の管種・口径別の被害箇所数、管路延長、被害率の一覧表を示した⁶⁾。図-1(a)には表-5の被害発生位置を250mメッシュごとに集計した結果を示した。なお、被害には東北地方太平洋沖地震の本震の被害に加え、当日の余震の被害が入っている可能性がある。図-1(a)には配水管被害の集計結果とともに、丸山らによって抽出された丘陵地の宅地造成地盤（人工平坦化地）⁷⁾を示している。東北地方太平洋沖地震の水道施設被害に関する各種報告で示されているように、丘陵地の宅地造成地盤に配水管被害が集中している状況が確認できる^{7),8)}

(2) いわき市の被害

いわき市の配水管被害データは、日本地震工学会東日本大震災によるライフライン被害データベース検討委員会が作成したものであり^{9),10)}、表-6には東北地方太平洋沖地震と誘発地震の際の管種・口径別の被害箇所数、管路延長、被害率の一覧表を示した。なお、東北地方太平洋沖地震の被害には本震の被害に加え当日の余震の被害が、誘発地震の被害には前後の地震の被害が入っている可能性がある。図-1(b)には表-6の被害発生位置を250mメッシュごとに集計した結果とともに広域に液状化が発生地区¹¹⁾及び滑動崩落被害が発生した丘陵地の造成宅地¹²⁾を示した。図-1(b)の拡大図に示すように、広域液状化地区に配水管被害が集中している状況が確認できる。

4. 既往の被害予測式を用いた被害の再現解析

本章では、前述の4種類の配水管被害予測式を用いて

表-2 日水協式の地形補正係数 (C_g)

地形分類	補正係数 C_g
改変山地 (山地・丘陵地の造成地で造成の程度の軽いもの)	1.1
段丘 (丘陵地の大規模造成地)	1.5
谷・旧水部 (丘陵地に刻まれた細い谷地形の造成地)	3.2
沖積平野 (一般的な沖積平野)	1.0
その他	0.4

表-3 センター式の地形補正係数 (C_g)

地形分類	補正係数 C_g
山地・山麓地・丘陵・火山地・火山山麓地・火山性丘陵	0.4
砂礫質台地・ローム台地	0.8
谷底低地・扇状地・後背湿地・三角州・海岸低地	1.0
自然堤防・旧河道・砂州・砂礫州・砂丘	2.5
埋立地・干拓地・湖沼	5.0

表-4 液状化補正係数 (C_l)

液状化程度	補正係数 C_l
なし ($0 \leq PL \leq 5$)	1.0
部分的 ($5 < PL \leq 15$)	2.0
全体的 ($15 < PL$)	2.4

表-5 東北地方太平洋沖地震における仙台市の配水管の管種・口径別被害集計

(上段：被害箇所数（箇所）、中段：管路延長（km）、下段：被害率（箇所/km））

管種 \ 口径	75mm以下	100-150mm	200-250mm	300-450mm	500-900mm	1000mm以上	管種別合計
DIP(耐震継手)	0	0	0	0	0	0	0
	30.84	442.68	137.75	206.98	53.07	0.32	871.64
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
DIP(一般継手)	17	75	14	8	3	0	117
	103.56	1198.33	300.93	183.44	64.75	4.24	1855.24
	0.164	0.063	0.047	0.044	0.046	0.000	0.063
CIP	0	0	0	0	0	0	0
	0.228	5.471	2.852	1.112	4.742	0.000	14.405
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SP(溶接継手)	4	6	1	0	1	0	12
	4.85	11.28	8.66	14.92	50.57	47.20	137.48
	0.825	0.532	0.116	0.000	0.020	0.000	0.087
VP(TS 継手)	203	57	0	0	0	0	260
	568.44	294.14	0.13	0.29	0.00	0.00	863.00
	0.357	0.194	0.000	0.000	0.000	0.000	0.301
VP(RR 継手)	21	16	0	0	0	0	37
	366.38	282.76	0.12	0.27	0.00	0.00	649.53
	0.057	0.057	0.000	0.000	0.000	0.000	0.057
その他 (LP,PP,GP)	11	0	0	0	0	0	11
	60.38	1.78	1.35	2.77	0.29	0.26	66.85
	0.182	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.165
口径別合計	256	154	15	8	4	0	437
	1134.67	2236.43	451.80	409.78	173.43	52.02	4458.14
	0.226	0.069	0.033	0.020	0.023	0.000	0.098

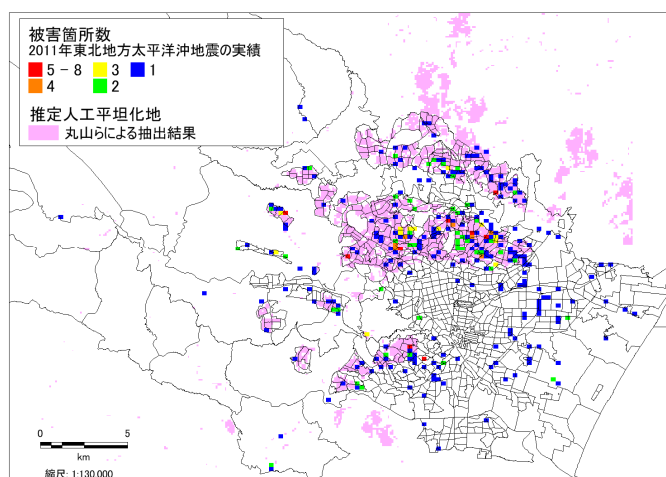
注1) 管種別・口径別の延長は仙台市水道局から借用した配水管の数値データの値を使用しており、公表値とは若干異なる。
注2) SPは、SU（ステンレス管）を含む。
注3) VPは、HV（耐衝撃性塩化ビニール管）を含む。
注4) その他は、LP（鉛管）・PP（ポリエチレン管）・GP（亜鉛メッキ鋼管）である。

表-6 東北地方太平洋沖地震におけるいわき市の配水管の管種・口径別被害集計

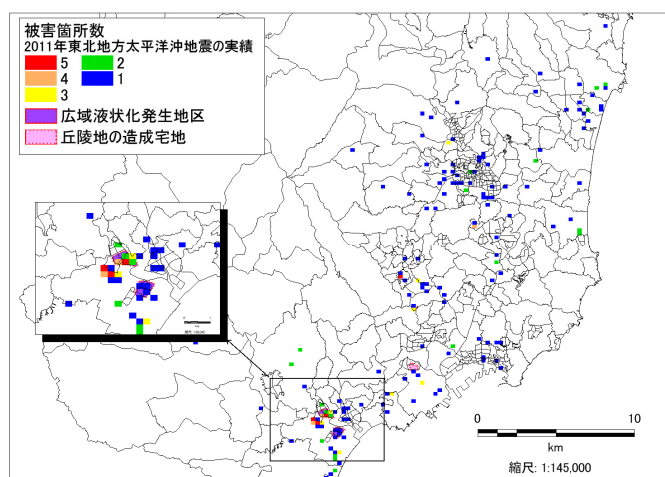
(上段:被害箇所数(箇所)、中段:管路延長(km)、下段:被害率(箇所/km))

口径 管種	東北地方太平洋沖地震					誘発地震					管種別 合計
	75mm以下	100-150mm	200-450mm	500mm以上	管種別 小計	75mm以下	100-150mm	200-450mm	500mm以上	管種別 小計	
DIP(耐震継手)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.17	10.82	85.27	26.88	126.13	3.17	10.82	85.27	26.88	126.13	126.13
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
DIP(一般継手)	1	22	17	11	51	5	28	24	10	67	118
	39.63	323.39	306.69	84.67	754.38	39.63	323.39	306.69	84.67	754.38	754.38
	0.025	0.068	0.055	0.130	0.068	0.126	0.087	0.078	0.118	0.089	0.156
CIP	3	0	2	0	5	3	5	0	0	8	13
	0.50	3.40	8.87	0.00	12.77	0.50	3.40	8.87	0.00	12.77	12.77
	6.004	0.000	0.226	0.000	0.392	6.004	1.471	0.000	0.000	0.627	1.018
SP(溶接継手)	9	4	4	0	17	7	17	5	0	29	46
	6.76	12.70	7.66	3.59	30.71	6.76	12.70	7.66	3.59	30.71	30.71
	1.332	0.315	0.522	0.000	0.554	1.036	1.338	0.652	0.000	0.944	1.498
VP(IS継手)	97	42	0	0	139	100	54	0	0	154	293
	709.35	757.23	0.28	0.00	1466.87	709.35	757.23	0.28	0.00	1466.87	1466.87
	0.137	0.055	0.000	0.000	0.095	0.141	0.071	0.000	0.000	0.105	0.200
ACP	3	0	0	0	3	3	5	2	0	10	13
	2.53	2.98	0.52	0.00	6.03	2.53	2.98	0.52	0.00	6.03	6.03
	1.184	0.000	0.000	0.000	0.497	1.184	1.679	3.846	0.000	1.658	2.156
口径別 合計	113	68	23	11	215	118	109	31	10	268	483
	772.83	1110.71	409.36	115.18	2408.08	772.83	1110.71	409.36	115.18	2408.08	2408.08
	0.146	0.061	0.056	0.096	0.089	0.153	0.098	0.076	0.087	0.111	0.201

注1) 日本地震工学会東日本大震災によるライフライン被害データベース検討委員会の作成した配水管のGISデータの口径75mm以下の管路延長は水道統計(平成22年度版)より170km程度長くなっているがそのまま使用した。



(a) 仙台市配水管被害発生箇所(437箇所)



(b) いわき市配水管被害発生箇所(215箇所)

図-1 250mメッシュごとに集計した東北地方太平洋沖地震(誘発地震は除く)の配水管被害発生箇所の分布

仙台市といわき市の配水管被害の再現解析を行い、被害予測式の予測精度(被害箇所数と被害発生位置)の検討を行うとともに、被害予測精度を向上させるための課題を整理した。

(1) 地震動分布

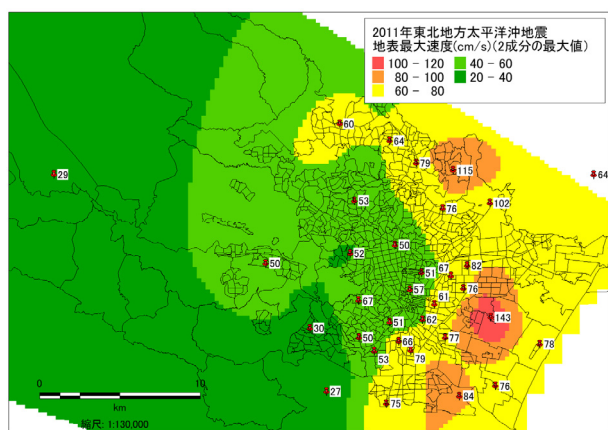
再現解析に用いた東北地方太平洋沖地震の仙台市のPGV分布は、仙台市内及びその周辺の防災科学技術研究所のK-NET・KiK-net⁽¹³⁾、東北工業大学アレー強震観測システムSmall-Titan⁽¹⁴⁾、東北大学災害制御研究センターのDCRC観測網^(15,7)、気象庁95型震度計⁽¹⁶⁾の強震観測記録から求めたPGVを用いて、自然近傍補間法による空間補間によって作成した。上述したように、被害予測式によって使用しているPGVが異なることから、水平2成分の最大値及び合成値の2種類のPGV分布を作成し、図-2(a)に

は紙面の関係から水平2成分の最大値のPGVのみを示した。

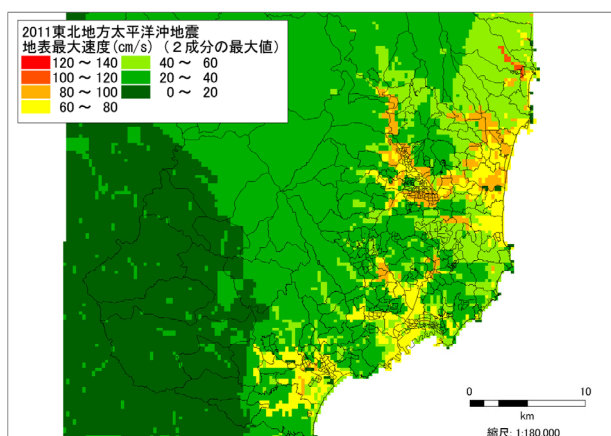
一方、東北地方太平洋沖地震及び誘発地震におけるいわき市のPGV分布は、産業技術総合研究所地球観測グリッドが公開する地震動マップ即時推定システム(QuiQuake)の予測値⁽¹⁷⁾を使用した。水平2成分の最大値としてはQuiQuakeの値をそのまま使用し、水平2成分の合成値は、既往の経験式⁽¹⁸⁾を参考にQuiQuakeの値を1.085倍した値を使用した。図-2(b)には水平2成分の最大値のPGVのみを示した。

(2) 被害箇所数の再現

再現解析で使用した被害予測式は、日水協式の式(1)~(3)、高田・宮島式の式(5)~(6)、丸山・山崎式の式(7)~(9)、センター式の式(10)~(12)である。



(a)仙台市（水平2成分の最大値）



(b)いわき市（水平2成分の最大値）

図-2 分析に使用したPGV分布

配水管延長は、250mメッシュごとに集計した管種・口径別延長を使用した。管種・口径補正係数 ($C_p \cdot C_d$) は、4種類の被害予測式に関する論文に示された値（表-1）を使用し、論文に記載が無い日水協式、高田・宮島式、丸山・山崎式のVP（RR継手）に関してはすべての口径で0.1、その他の管種に関してはすべての口径で0.3の値を使用した。なお、DIP（耐震継手）（KF・NS・PI・PII・S・SII形継手）、PE（溶着継手のポリエチレン管）は無被害とした。

日水協式で使用している地形補正係数 (C_g) の地形分類に関しては、原論文で国土地理院の土地条件図（1/1万）を参照していることから、仙台市では国土地理院数値地図25000（土地条件）の地形分類を参照して補正係数（表-2）を適用した。いわき市に関しては土地条件図が発行されていないことから、若松らの250mメッシュの微地形データを使用して補正係数（表-2）を適用した。センター式で使用している C_g に関しては、若松らの250mメッシュの微地形データ¹⁹⁾に基づいて設定されていることから、これを使用して補正係数（表-3）を適用した。

仙台市の液状化補正係数については、配水管の被害箇所数に大きな影響を与える広域液状化の痕跡に関する情

報が報告されていないことや、仙台市が想定地震を対象に作成した液状化マップに基づいて液状補正係数を設定すると沖積平野での被害箇所数の非常に過大に想定する傾向が見られたことから、4種類の被害予測式で $C_f=1.0$ として計算を行った。一方、いわき市に関しては、既往の研究¹¹⁾から広域な液状化が発生した地区を特定できたことから、それらに関しては表-4の液状化補正係数の $C_f=2.4$ を適用した。

上記の条件により仙台市及びいわき市の再現解析を行い、管種・口径別の予測結果と被害実績の比較を表-7、表-8にそれぞれ示した。表-7、表-8の1段目（太字）は被害実績、2～5段目は日水協式、高田・宮島式、丸山・山崎式、センター式を用いた予測結果である。また、管種別及び口径別の予測結果と被害実績の比を図示したものを図-3に示した。

仙台市の総被害箇所数の実績に対する予測結果は、表-7及び図-3に示すように日水協式が3.2倍、高田・宮島式及び丸山・山崎式が1.7倍、センター式が8.7倍となり、4種類の予測式による結果はいずれも過大評価となり、特にセンター式による予測結果が過大になった。一方、いわき市の東北地方太平洋沖地震における総被害箇所数の実績に対する予測結果は、表-8及び図-3に示すように日水協式が4.0倍、高田・宮島式及び丸山・山崎式が3.1倍、センター式が23.0倍、誘発地震については日水協式が1.5倍、高田・宮島式及び丸山・山崎式が1.1倍、センター式が9.2倍となり、東北地方太平洋沖地震・誘発地震ともに予測結果が実績を上回る結果となった。総被害箇所数は、すべての予測式において東北地方太平洋沖地震より誘発地震の方が予測結果と実績の差が小さくなる傾向が見られたほか、仙台市と同様に最新の知見を反映したセンター式は他の予測式より予測結果が極端に過大となった。

図-3(a)に示すように管種別の被害箇所数の予測精度（予測／実績）は、管の敷設延長が長いDIP（一般継手）に関しては、独自の標準被害率予測式が設定されていることや、適切な管種補正係数が設定されていると考えられることから、他の管種に比べて1.0付近に集中しており予測精度が良好であることが確認できた。同様に敷設延長の長いVPに関しては、CIPの標準被害率に管種・口径補正係数を乗じて被害箇所数を推定していることに加え、管種・口径補正係数の設定が過大と考えられるために予測精度は1.0以上となり、他の管種に比べて過大な予測結果となった。今後は、VPの標準被害率予測式を新たに構築するか、管種・口径補正係数の修正を行う必要が有ることを確認した。図-3(b)の口径別の被害箇所数については、4種類の被害予測式ともに口径150mm以下の予測精度は1.0以上と予測結果が過大であり、総被害箇所数の予測精度を低下させている。口径150mm以

下の管種・口径補正係数の見直しが必要と考えられる。

次に、仙台市及びいわき市のPGV分布と図-3の被害箇所数の予測精度から標準被害率に関して考察を行った。仙台市の配水管敷設範囲におけるPGVは平均55cm/s、標準偏差17cm/s（2成分合成のPGVは平均62cm/s、標準偏差22cm/s）、いわき市の配水管敷設範囲の東北地方太平洋沖地震のPGVは平均51cm/s、標準偏差18cm/s（2成分合成のPGVは平均60cm/s、標準偏差20cm/s）、誘発地震のPGVは平均34cm/s、標準偏差14cm/s（2成分合成のPGVは平均37cm/s、標準偏差15cm/s）である。このことから、PGVが50～55cm/sのレンジ（東北地方太平洋沖地震の仙台市、いわき市）において日水協式、高田・宮島式、丸山・山崎式のDIPはほぼ妥当な被害率、VPはやや大きめの被害率を与える傾向があることを確認した。このPGVのレンジにおけるセンター式は、DIP、VPともに過大な被害率を与えることが明らかになった。PGVが34cm/sのレンジ（誘発地震のいわき市）においては、日水協式、高田・宮島式、丸山・山崎式のDIPの被害率は過小、VPの被害率はやや過大となることが分かった。このPGVのレンジにおけるセンター式に関しては、DIPの被害率はほぼ妥当で、VPの被害率は過大となることが明らかに

なった。今後、上記の点を踏まえて、標準被害率の見直しを行う必要が有る。

なお、再現解析に使用したPGVに関する影響を見るため、仙台市のPGV分布作成の際に空間補間法を変えた図-2(a)以外のPGV分布についても試計算を行っており、PGV分布の違いによる影響よりも被害予測式や各種補正係数の影響が強く表れることを確認している。

(3) 被害発生位置の再現

被害予測では、管種・口径別の被害箇所数とともに被害発生箇所の分布の予測精度も重要であるので、これに関しても検討を行った。

250mメッシュ*i*の配水管被害がメッシュ内の延長*L_i*においてポアソン分布に従って発生することと、250mメッシュ相互の配水管被害の発生は確率統計的に独立に発生することを仮定すると、250mメッシュ*i*の被害箇所数*x_i*の確率分布は式(13)、(14)のようになる。

$$p(X=x_i) = (R_c(v_i) \cdot L_i)^{x_i} \cdot \exp(-R_c(v_i) \cdot L_i) / x_i! \quad (x_i=0,1,2,\dots) \quad (13)$$

$$R_c(v_i) = C_{pi} \cdot C_{di} \cdot C_{gi} \cdot C_{li} \cdot R(v_i) \quad (14)$$

表-7 既往の配水管被害予測式を用いた仙台市の予測結果と被害実績の比較

(1段目：被害実績、2段目：日水協式、3段目：高田・宮島式、4段目：丸山・山崎式、5段目：センター式) (箇所)

口径 管種	75mm以下	100-150mm	200-250mm	300-450mm	500-900mm	1000mm以上	管種別合計
DIP(一般継手)	17	75	14	8	3	0	117
	7.1	70.3	11.0	7.1	1.1	0.0	96.7
	13.6	126.1	25.5	12.7	3.0	0.1	181.0
	14.0	115.3	25.2	17.0	1.6	0.0	173.2
	55.6	388.6	38.8	12.4	2.0	0.0	497.4
CIP	0	0	0	0	0	0	0
	0.2	2.7	1.3	0.6	1.1	0.0	5.8
	0.2	2.0	0.7	0.2	0.4	0.0	3.6
	0.3	2.4	0.8	0.3	0.5	0.0	4.3
	1.5	14.3	1.6	0.5	0.5	0.0	18.4
SP(溶接継手)	4	6	1	0	1	0	12
	1.9	1.7	1.4	2.3	3.8	3.3	14.5
	1.0	0.9	0.6	1.0	2.3	2.3	8.1
	1.9	1.3	0.9	1.7	3.8	3.6	13.1
	5.1	3.3	1.0	1.3	2.1	0.0	12.8
VP(TS継手)	203	57	0	0	0	0	260
	1035.3	204.3	0.1	0.3	0.0	0.0	1240.0
	390.0	114.5	0.0	0.1	0.0	0.0	504.6
	379.9	139.7	0.0	0.1	0.0	0.0	519.8
	2149.6	620.0	0.0	0.1	0.0	0.0	2769.7
VP(RR継手)	21	16	0	0	0	0	37
	35.2	20.1	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3
	12.3	10.8	0.0	0.0	0.0	0.0	23.2
	12.8	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.8
	312.7	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	501.8
その他	11	0	0	0	0	0	11
	3.4	0.6	0.3	0.2	0.1	0.0	4.6
	1.6	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	2.0
	1.6	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	2.1
	3.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	3.9
口径別合計	256	154	15	8	4	0	437
	1083.1	299.8	14.1	10.6	6.1	3.4	1417.0
	418.7	254.5	27.0	14.1	5.8	2.4	722.4
	410.5	269.9	27.0	19.3	5.9	3.7	736.3
	2527.8	1215.6	41.7	14.3	4.5	0.0	3804.0

ここで、 $R_c(v_i)$ はメッシュ*i*の標準被害率 $R(v_i)$ に各種補正係数 C_p を乗じた被害率である。

4種類の予測式を用いた配水管被害発生箇所数の面的分布を確認するため、仙台市及びいわき市の250mメッシュごとに式(13)、(14)に従うポアソン乱数を発生させ、任意の被害箇所数分布（サンプル場）に関して図4、図5に示した。

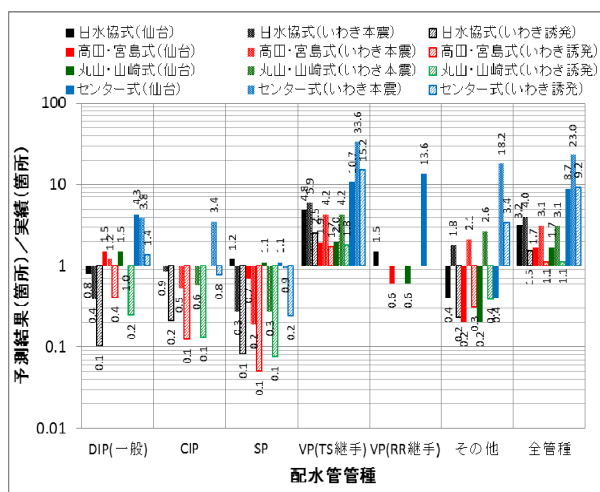
日水協式及びセンター式は、全体的に被害箇所数を過

大に評価しており、特に仙台市では日水協式は丘陵地の宅地造成地盤で、センター式は沖積平野で被害を過大評価する結果となった。一方、高田・宮島式及び丸山・山崎式は、総被害箇所数に関しては日水協式及びセンター式より実態に近いが、地形補正係数を導入していないため、仙台市及びいわき市の結果はともに被害発生位置がPGV分布と配水管延長に対応して一様に範囲に分布する傾向が強く、被害実態と乖離していることが確認できた。

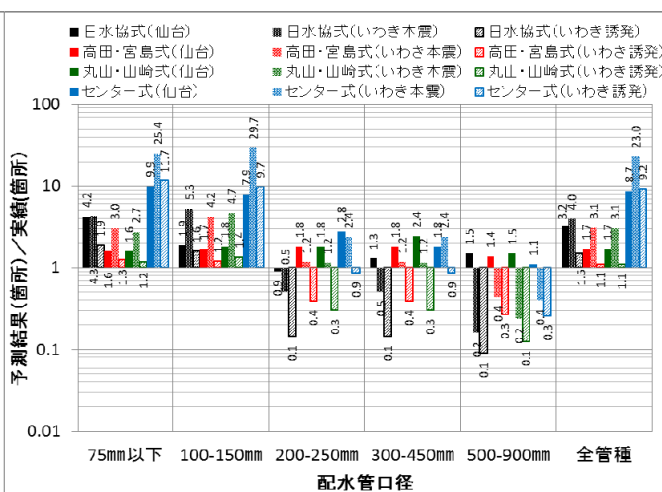
表-8 既往の配水管被害予測式を用いたいわき市の予測結果と被害実績の比較

(1段目：被害実績、2段目：日水協式、3段目：高田・宮島式、4段目：丸山・山崎式、5段目：センター式) (箇所)

口径 管種	東北地方太平洋沖地震					誘発地震					管種別 合計
	75mm以下	100-150mm	200-450mm	500mm以上	管種別 小計	75mm以下	100-150mm	200-450mm	500mm以上	管種別 小計	
DIP(一般継手)	1	22	17	11	51	5	28	24	10	67	118
	1.1	9.3	7.9	1.4	19.7	0.5	3.0	2.7	0.7	6.9	26.6
	3.7	28.8	24.2	4.6	61.3	1.9	12.0	10.6	2.6	27.0	88.3
	2.9	21.8	23.3	2.2	50.2	1.2	6.4	7.8	1.0	16.5	66.7
	16.4	129.6	45.9	4.1	196.0	8.9	58.3	22.1	2.4	91.6	287.6
CIP	3	0	2	0	5	3	5	0	0	8	13
	0.5	1.3	2.5	0.0	4.3	0.2	0.4	1.1	0.0	1.7	6.0
	0.2	0.9	1.5	0.0	2.6	0.1	0.3	0.6	0.0	1.0	3.6
	0.2	1.1	1.5	0.0	2.9	0.1	0.3	0.6	0.0	1.1	3.9
	1.1	11.0	5.1	0.0	17.2	0.5	3.7	2.0	0.0	6.2	23.4
SP(溶接継手)	9	4	4	0	17	7	17	5	0	29	46
	1.3	2.0	1.1	0.3	4.7	0.7	1.0	0.5	0.2	2.4	7.1
	0.7	1.3	0.9	0.3	3.2	0.4	0.5	0.4	0.1	1.5	4.7
	1.3	1.8	1.2	0.4	4.6	0.6	0.8	0.6	0.2	2.2	6.8
	4.3	9.5	1.7	0.3	15.8	2.0	3.8	1.0	0.2	7.0	22.7
VP(TS継手)	97	42	0	0	139	100	54	0	0	154	293
	477.6	345.3	0.0	0.0	822.9	222.2	168.4	0.0	0.0	390.6	1213.6
	336.2	254.1	0.0	0.0	590.4	146.0	118.1	0.0	0.0	264.1	854.5
	301.4	289.0	0.1	0.0	590.4	135.6	139.4	0.0	0.0	275.0	865.4
	2831.5	1839.1	0.0	0.0	4670.6	1361.7	972.4	0.0	0.0	2334.1	7004.7
その他 (ACP,PE,H P)	3	0	0	0	3	3	5	2	0	10	13
	3.3	1.8	0.3	0.0	5.4	1.2	0.9	0.2	0.0	2.3	7.7
	3.0	2.9	0.4	0.0	6.4	1.3	1.4	0.4	0.0	3.1	9.4
	4.4	3.0	0.4	0.0	7.9	2.0	1.6	0.4	0.0	3.9	11.8
	20.1	32.2	2.3	0.0	54.5	9.2	22.7	2.0	0.0	33.9	88.3
口径別 合計	113	68	23	11	215	118	109	31	10	268	483
	483.7	359.8	11.8	1.8	857.0	224.8	173.8	4.5	0.9	404.0	1261.0
	343.8	288.2	27.1	4.8	663.9	149.6	132.4	12.0	2.7	296.7	960.6
	310.2	316.8	26.6	2.6	656.1	139.4	148.5	9.4	1.3	298.6	954.8
	2873.3	2021.4	55.0	4.4	4954.1	1382.2	1061.0	27.0	2.6	2472.7	7426.8



(a)管種別の被害予測精度（予測／実績）



(b)口径別の被害予測精度（予測／実績）

図-3 既往の配水管被害予測式を用いた被害予測精度（予測結果／被害実績）

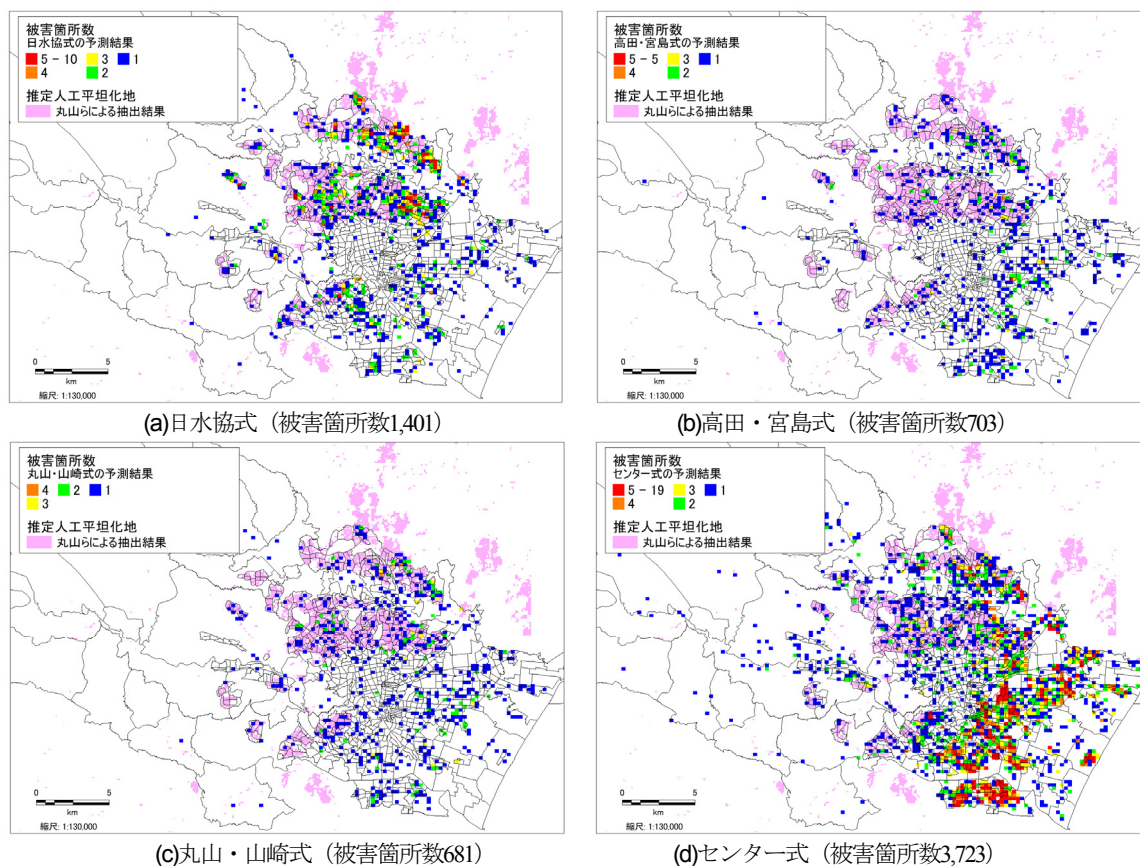


図4 4種類の被害予測式を用いた東北地方太平洋沖地震の再現PGVにおける仙台市の配水管被害箇所 (サンプル場)

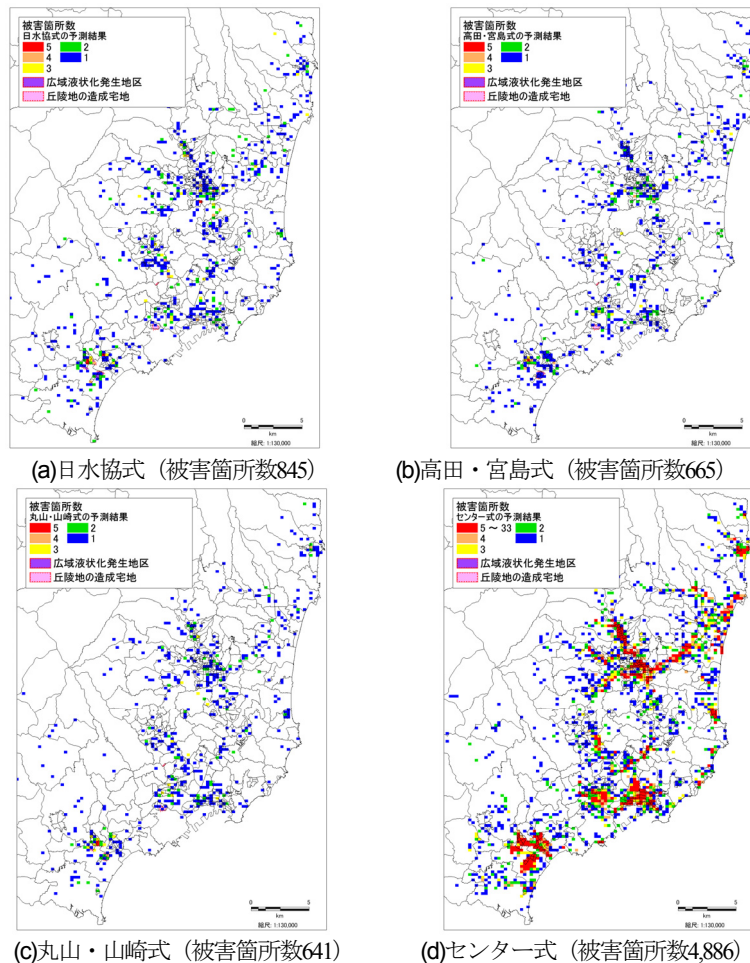


図5 4種類の被害予測式を用いた東北地方太平洋沖地震の再現PGVにおけるいわき市の配水管被害箇所 (サンプル場)

5. 配水管被害予測精度の改善に向けた事例検討

上記の既往の配水管被害予測式に関する検討結果から、250mメッシュ単位での被害箇所数や被害発生位置の予測精度を改善するための要点を以下に整理した。

- ①敷設延長の長いDIP（一般継手）、CIP、VP（TS継手）等の主要管種の被害予測では、CIPの標準被害率に管種・口径補正係数を乗じて求めるのではなく、各管種の被害特性を反映した標準被害率予測式を導入する必要がある。
- ②仙台市及びいわき市の被害の実績から見て、現在使用している管種・口径補正係数は、被害箇所数を過大に予測する傾向が強いため、見直しを行う必要がある。
- ③配水管の被害発生位置の予測精度を向上させるためには、地形補正係数は必要であるが、日水協式・センター式のように、各地形分類の中で一定の被害率で被害が発生すると仮定すると被害箇所数は過大に予測されることになる。将来的には被害が集中すると考えられる地形境界のデータを整備する必要があるが、現時点では丘陵地の宅地造成地盤、液状化による地盤変状が著しい地盤などに限定して地形・液状化補正係数を設定することにより、既存の被害評価式の利用が可能と考えられる。

上記の改善点を踏まえ、現在使用されている管種・口径補正係数を試行的に修正するとともに、丘陵地の宅地造成地区及び広域液状化発生地区に限定して地形・液状化補正係数を試行的に検討して配水管被害予測を行った。

被害予測計算では、近年の複数地震の被害データを使用してCIPとDIP（一般継手）の被害予測式を提案している丸山・山崎式（式(7)～(9)）を使用した。また、管種・口径補正係数と地形・液状化補正係数に関しては、補正係数の値をスプレッドシート上で逐次変化させることにより東北地方太平洋沖地震における仙台市及びいわき市の管種・口径別被害箇所数の予測結果と被害実績の差が小さくなるように設定した。設定した管種・口径補正係数、地形・液状化補正係数を表-9、表-10に示した。

表-9に示すように、DIP(一般継手)の口径補正係数は、75mm以下で1.5(増大)、100mm以上で0.3(低減)となり、CIPでは75mm以下で2.0(増大)、200mm以上で0.4(低減)となっている。丸山・山崎式に関する論文からは、標準被害率の

構築に使用された配水管被害データのうちDIPは口径75mm、CIPは口径100mmが多く使用されていることが読み取ることができ、得られた管種・口径補正係数は標準被害率予測式が有する特性と整合していると考えられる。

また、地形補正の対象とした丘陵地の宅地造成地区は、表-3の日水協式で使用されている「谷・旧水部」と同等な地域であり、地形補正係数は表-10に示すように、日水協式で使用されている3.2倍より若干大きな4.0倍となった。液状化補正係数は、既往の研究と同じ10倍となった。

丸山・山崎式と修正した管種・口径補正係数及び地形・液状化補正係数を使用し、仙台市及びいわき市の配水管被害箇所数の予測値と被害実績を比較した結果を表-11、表-12に示した。表-11に示すように、仙台市の総被害箇所数の実績に対する予測値は約1.1倍となり、主要な管種・口径に関して予測結果と実績はほぼ一致する結果となった。一方、表-12に示すように、いわき市の総被害箇所数の予測結果は実績の約0.8倍とやや過小評価となり（誘発地震では0.35倍）、事前地震対策検討における活用という使用目的からすると課題を残す結果となった。過小評価の原因としては、地震観測網が充実していないために、わずかな観測点の記録から求めたPGV分布を使用していること、また被害実績には当該地震の他に余震の影響によって発生した被害が含まれている可能性があり、余震の影響を含む被害を当該地震のPGV分布だけで再現していることなどが考えられる。特に、誘発地震の被害予測結果が特に過小評価になっている理由としては、誘発地震の被害実績には、それまでの余震・誘発地震による累積的な影響を含んでいるためと考えられる。

4章と同様に250mメッシュ内で配水管被害がポアソン分布に従って発生すると仮定し、250mメッシュごとにポアソン乱数を発生させて求めた被害箇所の任意のサンプル場を図-6に示した。図-4、図-5と比較して図-1の被害実績に一致する傾向を確認することができた。

表-13、表-14には、図-6に示した仙台市、いわき市の丘陵地の宅地造成地区、広域液状化地区及びそれ以外の地区の被害箇所数の集計結果を示したが、これらの比較から被害発生箇所に関しても、概ね予測精度が向上していることが確認できた。

表-9 仙台市及びいわき市の被害発生状況を考慮した管種・口径補正係数($C_p \cdot C_d$)

管種 \ 口径	50mm以下	75mm	100-150mm	200-250mm	300-450mm	500-900mm	1000mm以上
DIP (耐震継手), PE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DIP (一般継手)	1.5	1.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
CIP	2.0	2.0	1.0	0.4	0.4	0.4	0.2
VP (TS継手)	0.32	0.32	0.2	0.2	0.2	-	-
VP (RR継手)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	-	-
SP (溶接継手)	7.0	3.0	1.0	1.0	1.0	-	-
ACP	10.0	6.9	1.0	1.0	-	-	-
上記以外	1.0	1.0	0.3	0.3	0.3	0.3	-

表-10 被害発生状況を考慮した地形・液状化補正係数(C_g)

地形分類及び液状化の状況	地形・液状化補正係数 C_g
丘陵地の宅地造成地盤	40
広域に液状化が発生した地盤、液状化による地盤変状が激しい地盤	100
上記以外の地盤	1.0

表-11 丸山・山崎式及び修正した補正係数を用いた仙台市の予測結果と被害実績の比較

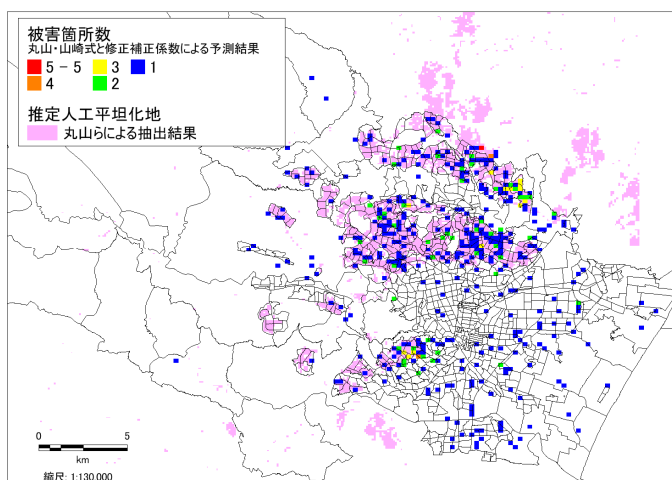
(上段：被害実績、下段：丸山・山崎式及び修正した補正係数を用いた被害箇所数) (箇所)

管種 \ 口径	50mm以下	75mm以下	100-150mm	200-250mm	300-450mm	500-900mm	1000mm以上	管種別合計
DIP(一般継手)	0 0.6	17 23.9	75 77.2	14 15.2	8 9.8	3 2.7	0 0.1	117 129.5
CIP	0 0.0	0 0.4	0 2.7	0 0.8	0 0.3	0 1.1	0 0.0	0 5.4
SP(溶接継手)	3 19.6	1 3.5	6 5.6	1 4.8	0 9.5	1 2.5	0 0.0	12 45.5
VP(TS継手)	133 164.2	70 53.6	57 40.7	0 0.0	0 0.1	0 0.0	0 0.0	260 258.5
VP(RR継手)	14 13.8	7 4.4	16 10.1	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	37 28.4
その他	11 11.9	0 0.3	0 0.6	0 0.3	0 0.3	0 0.1	0 0.0	11 13.4
口径別合計	161 210.1	95 86.1	154 136.9	15 21.1	8 20.0	4 6.4	0 0.1	437 480.7

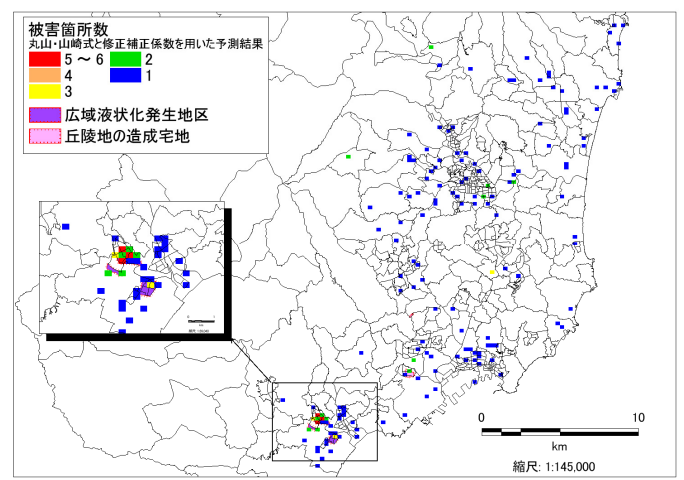
表-12 丸山・山崎式及び修正した補正係数を用いたいわき市の予測結果と被害実績の比較

(上段：被害実績、下段：丸山・山崎式及び修正した補正係数を用いた被害箇所数) (箇所)

管種 \ 口径	東北地方太平洋沖地震						誘発地震						管種別合計
	50mm以下	75mm	100-150mm	200-450mm	500mm以上	管種別小計	50mm以下	75mm	100-150mm	200-450mm	500mm以上	管種別小計	
DIP(一般継手)	0 2.3	1 7.3	22 8.1	17 2.5	11 0.0	51 20.1	5 1.0	28 2.5	24 3.4	10 1.3	67 0.0	118 8.2	118 28.4
CIP	0 0.0	3 0.2	0 1.0	2 0.8	0 0.0	5 1.9	3 0.0	5 0.1	5 0.3	0 0.3	8 0.0	13 0.7	13 2.6
SP(溶接継手)	6 5.1	3 2.3	4 4.2	4 4.7	0 0.2	17 16.5	5 2.9	2 1.0	17 1.8	5 3.0	29 0.1	46 8.8	46 25.3
VP(TS継手)	58 27.6	39 47.4	42 60.1	0 0.0	0 0.0	139 135.1	60 13.1	40 26.3	54 34.6	54 0.0	154 74.0	293 209.1	293 209.1
ACP	0 2.1	3 2.2	0 1.8	0 0.2	0 0.0	3 6.3	3 0.9	5 1.1	2 1.2	2 0.2	10 0.0	13 3.3	13 9.6
口径別合計	64 37.1	49 59.3	68 75.2	23 8.2	11 0.2	215 180.0	65 17.8	53 31.0	109 41.4	31 4.8	10 0.1	268 95.1	483 275.1



(a)仙台市(被害箇所数498)



(b)いわき市(被害箇所数188)

図-6 丸山・山崎式と修正した補正係数を用いた東北地方太平洋沖地震の配水管被害の予測箇所(サンプル場)

表-13 東北地方太平洋沖地震における仙台市の地形・液状化区分ごとの予測結果(サンプル場)と被害実績の比較

地形・液状化区分	被害実績 (箇所)	被害予測結果(箇所)	
		修正した丸山・山崎式(図-6(a))	丸山・山崎式(図-4(c))
丘陵地の宅地造成地盤	337	384	324
その他の地盤	100	114	357
総計	437	498	681

表-14 東北地方太平洋沖地震におけるいわき市の地形・液状化区分ごとの予測結果(サンプル場)と被害実績の比較

地形・液状化区分	被害実績 (箇所)	被害予測結果(箇所)	
		修正した丸山・山崎式(図-6(b))	丸山・山崎式(図-5(c))
丘陵地の宅地造成地盤	4	3	3
広域液状化地盤	39	39	49
その他の地盤	172	146	589
総計	215	188	641

6. まとめ

本研究では、これまでに提案された4種類の配水管被害予測式について、被害箇所数や被害発生位置の予測精度を確認するため、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震における仙台市及びいわき市の被害、2011年4月11日の誘発地震のいわき市の被害を対象として被害実績と予測結果の比較検討を行った。この比較検討により、①敷設延長の長いCIP・DIP(一般継手)・VP(TS継手)に関しては、それぞれに関して標準被害率予測式を導入する必要があること、②仙台市及びいわき市の被害実績から見て、現在使用している管種・口径補正係数は、被害箇所数を過大に予測する傾向が強いため見直しが必要であること、③被害発生位置の予測精度を向上させるためには地形・液状化補正係数は必要であるが、丘陵地の宅地造成地盤、液状化による地盤変状が著しい地盤など被害が集中する地形に関して設定することが望ましいことなどを示した。

さらに、丸山・山崎によって提案された配水管被害予測式を取上げ、予測結果と被害実績の差が小さくなるように管種・口径補正係数、地形補正係数を試行的に修正することにより、被害箇所数及び被害発生位置に関して良好な予測結果が得られることを確認した。

本検討では、仙台市及びいわき市の配水管を対象とした検討結果を示したが、他地域でも同様な分析とその結果を踏まえた修正を行うことにより、250mメッシュ単位での配水管被害予測精度を向上させることができると考える。

謝辞：本研究のうち、仙台市に関しては文部科学省「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト都市災害における災害対応能力の向上方策に関する調査・研究 ライフライン情報ニーズを踏まえた災害情報

提供技術の開発(研究分担者：能島暢呂岐阜大学教授)の一部として実施し、いわき市に関しては、科研費基盤研究(B)「地震津波複合災害時におけるライフラインの被害推計と応急復旧過程のモデル化(課題番号24310133)」(研究代表者：庄司学筑波大学准教授)の一部として実施した。仙台市の配水管及び配水管被害データは仙台市水道局より借用したものを使用し、いわき市の配水管及び配水管被害データは日本地震工学会東日本大震災によるライフライン被害データベース検討委員会(委員長 鉄田泰子 神戸大学准教授)が作成したものを使用した。また、2011年東北地方太平洋沖地震の強震観測記録として独立行政法人防災科学技術研究所のK-NET, KiK-net, 東北工業大学ハイテク・リサーチセンター・リアルタイム強震観測センターのSmall-Titanの強震観測記録を使用した。記して関係者各位に御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 磯山龍二, 石田栄介, 湯根清二, 白水暢：水道管路の地震被害予測に関する研究, 水道協会雑誌, Vol.67, No. 2, pp.25-40, 1998.
- 2) 高田至郎, 藤原正弘, 宮島昌克, 鈴木康博, 依田幹雄, 戸島敏雄：直下型地震災害特性に基づく管路被害予測手法の研究, 水道協会雑誌, Vol. 70, No. 3, pp. 21-37, 2001.
- 3) 丸山喜久, 山崎文雄：近年の地震被害データを加味したマクロな配水管被害予測式の改良, 土木学会地震工学論文集, Vol. 30, pp. 565-574, 2009.
- 4) (公財)水道技術研究センター：地震による管路被害予測の確立に向けた研究報告書, N0.2012-03, 2013.
- 5) 内閣府(防災担当)：首都直下地震に係る被害想定手法について, <http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/pdf/shiryou3.pdf>(2014年8月5日閲覧)。
- 6) 仙台市水道局：東日本大震災 仙台市水道復旧の記録, pp.26-32, 2012.
- 7) 丸山喜久, 伊藤智大, 若松加寿江, 永田茂：東北地方太平洋沖地震における宮城県仙台市の水道管路被害状況の分析, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学)掲載予定.
- 8) 永田茂, 西野雅夫, 鈴木清一：東日本大震災におけ

- る上水道管路施設の被害分析，土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集，pp. 415-416，2012.
- 9) 熊谷涼，則政康三：(10-8)施設更新計画策定に向けた日本地震工学会との共同研究に関する中間報告，平成 25 年度全国会議(水道研究発表会)講演集，pp.756-757，2013.
 - 10) 鉾田泰子，佐藤圭介，則政康三，熊谷涼：(10-9)東日本大震災の地震被害データに基づくいわき市の管路脆弱性評価，平成 25 年度全国会議(水道研究発表会)講演集，pp.758-759，2013.
 - 11) 若松加寿江：東日本大震災における液状化—水道施設の耐震化に向けて—，第 129 回水道技術懇話会，<http://www.jwrc-net.or.jp/kenshuu-koushuu/konwakai/pm129.pdf> (2014 年 9 月 4 日閲覧) .
 - 12) いわき市：いわき市復興交付金事業計画（造成宅地滑動崩落緊急対策事業 [D-14] ），<http://www.city.iwaki.fukushima.jp/bukyoku/gyoseikeieibu/gyoseikeiei/014683.html>，(2014 年 9 月 1 日閲覧) .
 - 13) 防災科学技術研究所：強震観測網(K-NET，KiK-net) ，<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>(2012 年 3 月 1 日閲覧) .
 - 14) 神山眞，松川忠司，穴澤正宏：2011 年東北地方太平洋沖地震における東北工業大学アレー強震観測システム Small-Titan による強震記録について(速報 Ver.1)，<http://smweb.tohtech.ac.jp/smalltitan/japanese/index.html> ，2011.
 - 15) 大野晋，三屋栄太，源栄正人：2011 年東北地方太平洋沖地震における仙台市域の地盤震動特性，日本地震工学会論文集，Vol. 12， No. 4， pp. 339-353，2012.
 - 16) 気象庁・(財)気象業務支援センター：加速度データ(95 型震度計波形データ) ，2011.
 - 17) GEO Grid プロジェクト；地震動マップ即時推定システム 2011-03-11T14:46 計測震度分布 si20110311144600.00m9.0.Tif.
 - 18) Ansary, M. A., Yamazaki, F. and Katayama, T. : Statistical Analysis of Peaks and Directivity of Earthquake Ground Motion, Earthquake Engineering And Structural Dynamics, Vol. 24, pp.1527-1539, 1995.
 - 19) 若松加寿江，松岡昌志：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，日本地震工学会誌 No.18, pp. 35-38, 2013.

A STUDY ON THE ACCURACY OF EXISTING SEISMIC DAMAGE ESTIMATION FORMULA FOR WATER SUPPLY PIPELINES

Shigeru NAGATA, Yoshihisa MARUYAMA and Gaku SHOJI

This paper points out the refinements about the seismic damage estimation formulas and various correction factors for buried water pipes through a comparative analysis between the damage to water pipelines in Sendai City and Iwaki City caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and the damage estimated by four kinds of existing damage estimation formulas.

In addition, this paper shows that an existing damage estimation formula using modified correction factors, such as pipe material, pipe diameter and soil condition, enables us to improve the damage estimation accuracy.