

福井市の上水道管路を対象とした耐震化指標の提案に関する基礎的研究

福井工業高等専門学校 学生会員 ○末永 英
福井工業高等専門学校 正会員 吉田雅穂

1. はじめに

現在、福井県福井市の上水道管路には、法定耐用年数を超過した老朽管や耐震性の低い管路が多数存在している。そのため、大規模地震が発生した場合には甚大な被害を受ける可能性があり、断水による社会生活への影響が懸念されている。そのため、同市では「災害に強い水づくり」を基本目標とする水道ビジョンを平成 21 年度に策定し、「老朽化した施設の更新」と「災害に備えた施設の耐震化」を早期に実現する事業として掲げている。しかし、経済的、機能的な問題から、一度に全ての管路を耐震化することは不可能であるため、優先度を設け、効率よく耐震化していく必要がある。上水道普及率が 99.6%に達した福井市では、水道が使えることが当たり前となっており、耐震化を行わないことで生じる将来のリスクに対して住民の関心は低く、耐震化に要する費用を水道料金の引き上げに求めることは困難な状況となっている。したがって、耐震化によって住民が受けるメリットを分かりやすい数値で示し、今後の施策に対して理解を求めていく必要がある。

そこで、本研究では、住民が分かりやすい耐震化指標を提案するため、福井市の上水道管路の地震被害予測を行い、耐震化によって得られる地震後の給水能力の変化について検討を行った。

2. 解析方法

本研究では、福井平野東縁断層帯主部 (M7.6, 今後 30 年以内の地震発生確率 0~0.07%) を起震断層として、福井市の地震動予測と上水道配水管路の被害予測を行った。なお、対象地区を 1km 四方のメッシュに分割し、管路、地盤、人口などの情報をメッシュデータに変換し解析を行った。

管路被害予測に用いる地震動は次式¹⁾を用いて算出した。

$$V = G \times PGV_{600} \quad (1)$$

ここで、 V ：地表最大速度(cm/s)、 G ：表層地盤の最大速度の増幅度²⁾、 PGV_{600} ：工学的基盤上の最大速度(cm/s)³⁾である。

管路被害予測は次式⁴⁾に示す日本水道協会の被害推定式を用いて計算を行った。

$$D = L \times R \quad (2)$$

$$R = C_p \cdot C_d \cdot C_l \cdot C_g \cdot R_s \quad (3)$$

$$R_s = \begin{cases} 0 & (V < 15) \\ 3.11 \times 10^{-3} \times (V - 15)^{1.30} & (V \geq 15) \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 D ：被害件数(件)、 L ：管路延長(km)、 R ：被害率(件/km)、 R_s ：標準被害率(件/km)、 C_p ：管種係数、 C_d ：管径係数、 C_l ：液状化係数、 C_g ：地形・地盤係数、 V ：地震動の最大速度(cm/s)である。

地震後の給水率は、常時の給水率 100%から地震後の供給支障率⁵⁾を減ずることで算出した。次式は地震直後の場合である。

$$\text{給水率 (\%)} = 100 - \left(\frac{1}{1 + 0.0473 \times R^{-1.61}} \right) \times 100 \quad (5)$$

地震時の給水量は、次式に示すように、平常時の給水量と上式で求めた給水率との積により算出した。なお、平常時の給水量は、メッシュ内の給水人口と福井市の 1 人 1 日平均給水量である 0.389 (m³/人・日)との積より求めた。

$$\text{地震時給水量 (m}^3/\text{日)} = \text{常時給水量} \times \text{給水率(\%)} \quad (6)$$

3. 解析結果

表-1 は対象地域内に埋設されている上水道管路約 1,880km の被害予測結果を管種・管径ごとにまとめたものである。全管路の被害件数は約 2,400 件、被害率は約 1.3 件/km となった。特に、管路延長が長く、耐震性の低い塩化ビニル管の被害が約 1,253 件、3.7 件/km と多いことがわかる。

図-1 は対象地域全体の地表最大速度の分布を示したものである。断層の西側に広がる福井平野に速度の大きい箇所が広く分布し、地盤増幅度は最小で約 0.8 倍、最大で約 2.7 倍と地盤条件によって大きく異なっていた。

図-2 は管路被害率の分布を示したものである。被害率の大きなメッシュは地表速度の大きい断層近傍に多く分布しているが、古くから耐震性の低い管路が多く埋設されている市街地中心部にも被害率の大きいメッシュが点在している。なお、最も大きな被害率は 7.9 件/km であった。

表-1 対象管路の管種・管径ごとの被害集計

	全管種						石綿セメント管					
	全管径	φ13～ φ80	φ100～ φ150	φ200～ φ450	φ500～ φ800	φ1200	全管径	φ13～ φ80	φ100～ φ150	φ200～ φ450	φ500～ φ800	φ1200
管路延長 [km]	1875.0	451.9	1186.5	230.6	7.9	0.6	7.4	2.0	5.2	0.3	-	-
被害率 [件/km]	1.3	3.5	0.6	0.5	0.5	0.6	5.0	6.7	12.4	4.4	-	-
被害件数 [件]	2425.5	1595.4	715.8	105.7	3.8	0.3	37.2	13.2	22.7	1.3	-	-
	塩化ビニル管						鋼管					
	全管径	φ13～ φ80	φ100～ φ150	φ200～ φ450	φ500～ φ800	φ1200	全管径	φ13～ φ80	φ100～ φ150	φ200～ φ450	φ500～ φ800	φ1200
管路延長 [km]	335.9	314.6	21.3	0.0	-	-	129.1	125.8	2.0	1.3	0.1	-
被害率 [件/km]	3.7	0.4	0.0	0.0	-	-	2.7	2.9	1.7	1.5	1.1	-
被害件数 [件]	1252.8	1228.7	24.0	0.1	-	-	353.6	348.4	3.2	1.9	0.1	-
	铸铁管						ダクトイル铸铁管					
	全管径	φ13～ φ80	φ100～ φ150	φ200～ φ450	φ500～ φ800	φ1200	全管径	φ13～ φ80	φ100～ φ150	φ200～ φ450	φ500～ φ800	φ1200
管路延長 [km]	93.1	0.1	67.2	23.8	2.0	-	1246.1	5.8	1070.8	166.5	3.0	-
被害率 [件/km]	1.8	1.8	1.9	1.6	1.1	-	0.5	0.8	0.5	0.4	1.9	-
被害件数 [件]	170.2	0.1	129.4	38.5	2.2	-	609.8	4.5	535.9	63.8	5.6	-
	ダクトイル铸铁管 (耐震継手)						ステンレス管					
	全管径	φ13～ φ80	φ100～ φ150	φ200～ φ450	φ500～ φ800	φ1200	全管径	φ13～ φ80	φ100～ φ150	φ200～ φ450	φ500～ φ800	φ1200
管路延長 [km]	54.9	1.1	16.6	37.2	-	-	3.3	-	1.8	1.5	-	-
被害率 [件/km]	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	0.2	-	0.2	0.1	-	-
被害件数 [件]	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	0.5	-	0.3	0.2	-	-
	ポリエチレン管						不明					
	全管径	φ13～ φ80	φ100～ φ150	φ200～ φ450	φ500～ φ800	φ1200	全管径	φ13～ φ80	φ100～ φ150	φ200～ φ450	φ500～ φ800	φ1200
管路延長 [km]	2.6	2.6	-	-	-	-	2.6	1.4	0.0	-	0.6	0.6
被害率 [件/km]	0.2	0.2	-	-	-	-	0.4	0.2	1.0	-	0.5	0.6
被害件数 [件]	0.5	0.5	-	-	-	-	0.9	0.3	0.0	-	0.3	0.3

図-3 は耐震化による給水量の変化を地震直後から2日後まで経時的に示したものであり、平常時の給水量も併記した。ここでの耐震化とは、耐震性の低い塩化ビニル管と石綿セメント管の全て約 345km を耐震継手のダクトイル铸铁管に変更することを想定したものである。その結果、給水量が約 10,000～20,000m³ (約 6～17%) 増加することが明らかとなった。なお、福井市が規定する管路の施工単価を用いて、この耐震化に要する工事費を見積もったところ約 224 億円となった。これは、福井市が平成 22 年度に管路耐震化工事に使用した費用約 13 億円の 17 年分に相当する額である。

4. おわりに

本研究では、福井平野東縁断層帯主部を想定断層とした場合、福井市の上水道管路の耐震化が地震後の給水量の変化に与える影響について解析を行った。今後、これらの結果を基に、住民が分かりやすい耐震化指標を提案する予定である。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、種々ご教示を賜った金沢大学理工研究域の宮島昌克教授と、各種資料をご提供頂いた福井市企業局の関係各位に記して謝意を表する。

参考文献 1) 翠川三郎：地震断層と地盤条件を考慮した地表面最大加速度・最大速度分布の推定，第 8 回地盤振動シンポジウム資料集，pp.59-64，1980。 2) 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 回地盤振動シンポジウム資料集，pp.23-34，1994。 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報告集，第 523 号，pp.63-70，1999。 4) 日本水道協会：地震による水道管路の被害予測，pp.54-57，2000。 5) 川上英二：道路交通システムの形状と連結確率の関係，第 1 回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集，pp.169-172，1996。

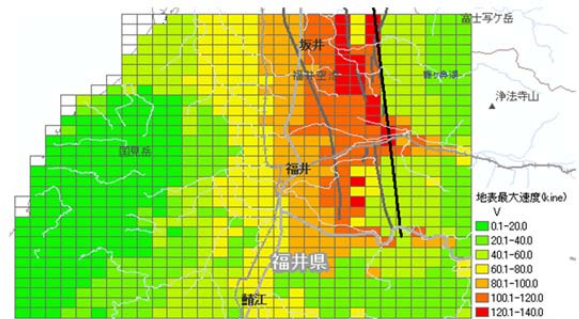


図-1 地表最大速度の分布

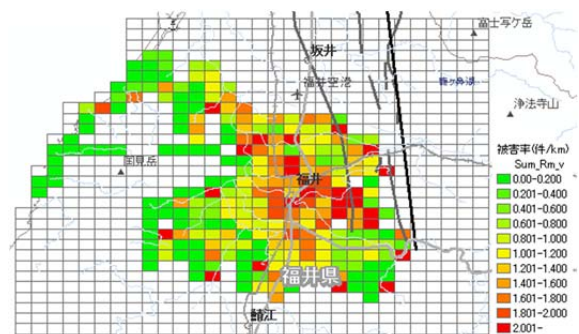


図-2 管路被害率の分布

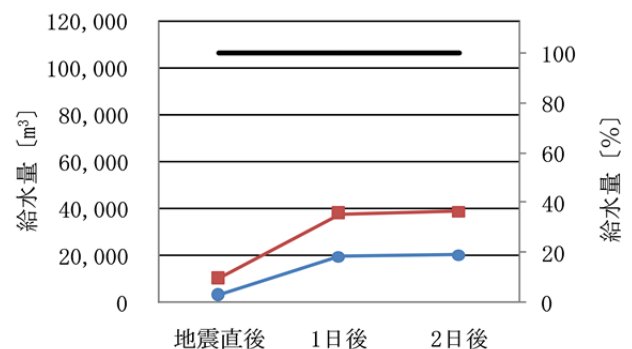


図-3 耐震化による地震後の給水量の変化