

生活基盤サービス施設の整備水準の評価に関する考察

株式会社新日 ○正会員 花井俊文
鳥取大学工学部 正会員 谷本圭志
鳥取大学工学部 正会員 喜多秀行

1. はじめに

これまで生活基盤サービスはそのサービスを実現する個々のサービス提供手段の整備量で評価されてきた。しかし複数の提供手段による供給が可能となっている現在、それらの手段を最適に組み合わせることによりサービスの提供水準の向上が達成可能となりうる。また、整備対象の地域属性や個人属性によってこの組み合わせが異なると考えられる。このような認識の下、本研究では、震災時における耐震水道と応急給水による水供給サービスを対象としたサービスの提供方策について検討する。具体的には図-1に示す円状の地域を想定し、その中心（配水地点）からどこまで耐震化するかという問題について検討する。

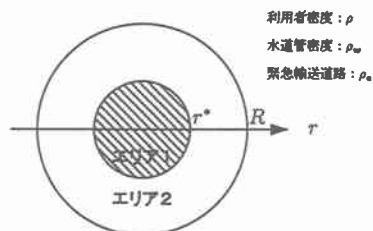


図-1：検討の対象とする地域

2. 耐震化費用

本研究で取り上げる水道管の耐震化方法として、耐震性の高い新管を既設管内に挿入する既設管内挿入工法¹⁾を想定する。挿入する新管の規模は既設管の断面積の口径が大きいほど、また延長が長いほど大きいと考えられることから、既設管の耐震化にかかる費用（以後「耐震化費用」と呼ぶ）は既設水道管の口径と長さに比例すると仮定する。以下に耐震化費用を算出する。ここで耐震化費用は既設水道管の（口径）×（長さ）に比例するとの仮定より、半径 r^* まで耐震化を実施した場合の耐震化費用 $C(r^*)$ は、次式で与えられる。

$$C(r^*) = c \int_0^{r^*} \left\{ \frac{\rho \pi q (R^2 - r^2)}{\rho_w \pi r^2} \right\}^{\frac{1}{3}} \rho_w \pi r^2 dr \quad (1)$$

ただし c は定数である。1/3乗は、口径は水量の1/3乗に比例することを示している。上式より、耐震化の範囲を拡

大（ $r \rightarrow$ 大）すると整備する既設水道管の延長が長くなるとともに $[r, R]$ 地点（ r 地点より「下流」側の地点）での水量が減少する。よって耐震化費用は定性的には、図-2に示すような変曲点をもつ曲線として得られる。

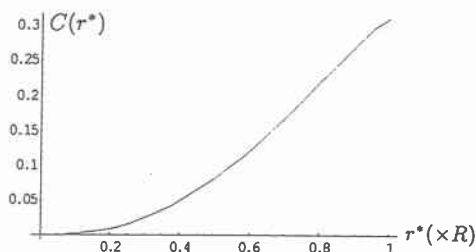


図-2：耐震化費用

3. 利用者の水入手行動

水の利用者は時間及び所得制約の下で自己の効用 $u(x_1 + x_2, Z, l)$ の最大化行動を行うと仮定する。すると、利用者の水入手行動は次のように定式化される。また、 p_1 :水道料金、 x_1 :水道からの水の手量、 x_2 :応急給水による水の手量、 Z :合成財、 I :所得、 a_2 :水1単位を応急給水で得る場合の水の運搬時間、 l :余暇時間、 T :総利用可能時間、 x は利用者にとって必要最低限の水量である。なお、 x_1 と x_2 は完全に代替可能であるとする。

$$V(p_1, a_2, I, T) = \max_{x_1, x_2, l, Z} \{u(x_1 + x_2, l, Z)\}$$

$$\text{subject to} \quad \begin{cases} p_1 x_1 + Z \leq I \\ a_2 x_2 + l \leq T \\ x_1 + x_2 \geq x \end{cases} \quad (2)$$

効用関数を用いて、耐震化によって水道から水が入手可能となることの評価を支払意志額（WTP）で求めることができる。

4. 地域属性、個人属性

水道によって水が供給されていない地点の利用者が水を手入手するためには、応急給水地点と居住地の間、水を運搬する必要がある。本研究では、地域内において指定されている緊急輸送道路にアクセスできれば応急給水が

受けられると仮定する。緊急輸送道路の整備密度（道路延長/地域面積）が高いほど応急給水によって入手した水を運搬する距離が短いことを示している。そこで、緊急輸送道路の密度を地域属性を代表する指標として取り上げる。また、奥村ら²⁾の研究をもとに $x_2^0(t) = a/t$ という関係を仮定すると、水量 x_2 を運搬するのに必要な運搬時間 $T(f(\rho_e))$ は (3) 式で表される。ここで、 $x_2^0(T)$ は運搬距離が t の場合に一往復で運搬可能な水量であり、 $f(\rho_e)$ は緊急輸送道路網の密度が ρ_e のときの運搬距離である。 a は一往復で運ぶことのできる運搬量に関するパラメータである。 a が大きいほど一往復の運搬で運べる水の量が多い。本研究では、個人の属性を代表する指標を a で代表させることとする。すると、(2) 式の a_2 は (3) 式の $2f^2/av$ に対応する。

$$T(f(\rho_e)) = \frac{2f^2(\rho_e)}{av} x_2 \quad (3)$$

5. 耐震化範囲の決定

半径 r^* まで耐震化した場合に、全ての利用者について集計した WTP の増分が耐震化の便益 $B(r^*)$ であり、純便益 $Y(r^*)$ は便益と費用の差として次式のように表される。

$$Y(r^*) = B(r^*) - C(r^*) \quad (4)$$

よって最大の $Y(r^*)$ を達成する r^* が「水量 x 」を保証するための効率的な耐震化の半径である。あるパラメータの設定の下で a と ρ_e の違った三つの地域について $Y(r^*)$ を算出した結果を図-3 に示す。

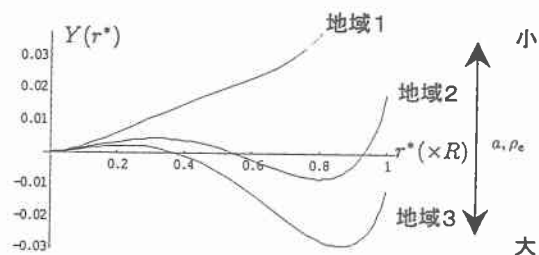


図-3：地域別の分析結果

6. 複数地域による耐震化整備の配分

耐震化整備の地域間配分を検討してみよう。検討の対象とする地域は5. で取り上げた三つの地域 $i(i = 1, 2, 3)$ を想定する。ただし、ある一定の費用 C を上限として三つの地域に耐震化費用を分配しなければならないという予算制約の下で整備範囲を決定しなければならないとする。このとき、耐震化によって最も純便益が小さい地域についてより大きな純便益が達成可能となるよう費用を配分するとの規範を想定する。この問題を定式化すると

次式で表される。

$$\begin{aligned} \max_{r_1^*, r_2^*, r_3^*} \min & [Y(r_1^*), Y(r_2^*), Y(r_3^*)] \\ \text{subject to } C &= \int_0^{r_1^*} \left(\frac{1-r^2}{r^2}\right)^{\frac{1}{2}} \pi r^2 dr \\ &+ \int_0^{r_2^*} \left(\frac{1-r^2}{r^2}\right)^{\frac{1}{2}} \pi r^2 dr + \int_0^{r_3^*} \left(\frac{1-r^2}{r^2}\right)^{\frac{1}{2}} \pi r^2 dr \quad (5) \end{aligned}$$

上式を繰り返し計算することにより、 r_i^* を決定することができる。 $C = 0.3$ の場合について検討する。結果は表-1 の通りである。

表-1 三地域における地域配分

i	ρ_{ei}	r_i^*	$B(r_i^*)$	$C(r_i^*)$	$Y(r_i^*)$
1	0.47	0.23	1.56×10^{-2}	1.35×10^{-2}	2.11×10^{-3}
2	0.45	0.32	3.39×10^{-2}	2.95×10^{-2}	4.33×10^{-3}
3	0.40	0.87	3.47×10^{-1}	3.00×10^{-1}	4.69×10^{-2}

このように、本研究でのアプローチを用いることで、地域特性を明示的に考慮した地域間での（耐震化にかかる）費用の配分についても考えることができる。

7. おわりに

本研究では、地域属性として緊急輸送道路の密度を仮定した上で、個人属性として水運搬能力を取り上げた水運搬時間や水入手行動のモデル化を行った。また、応急給水によるサービスを所与とした上でこのモデルを用いて災害時に供給する必要最低限の水量を確保し、かつこの水量を効率的に供給するための耐震水道と応急給水の整備範囲の決定についての一つの方法を提案した。これにより、耐震化の対象となる地域の属性及び利用者属性を考慮して耐震化の範囲を決定することができるようになり、水道の耐震化をどこまで整備するかという防災対策上の課題に対して本研究での方法が一つの有用な道具になると考えられる。さらに、ここで提案した方法は、災害時の水供給サービスのみならず、利用者にとって複数サービス供給手段が利用可能であるような生活基盤サービスについても応用可能と考えられる。

本研究では多くの仮定の下での検討を行っておりこれらの一般化等が今後の課題となる。また、実際に行われている耐震化整備を基に設定したパラメータの下でここで提案した方法の有効性を確認する必要がある。

参考文献

- 1) 日本水道協会, 水道施設耐震工法指針・解説, 1997.
- 2) 奥村誠, 吉田英雄: 震災時の水運搬能力と水利用, 土木計画学研究委員会版神・淡路大震災調査研究論文集, pp137-142, 1997.