

I - B 418

上水道システムの地震災害による機能損失の算定

武蔵工業大学 学生会員 今野将顕

武蔵工業大学 正会員 星谷 勝

1. はじめに

上水道システムは公益を目的とした施設である。このため、安定かつ継続的に水の供給が要求される。地震災害時においては、被害を最小限に抑え、機能を維持しなければならない。地震による被害予測を明確にすることは不可能に近いので、事前対策をたてる際に有用な情報を得ることは困難である。そこで、地震による被害の可能性を、事象の発生確率と損失の積で表される期待損失（地震リスク）として、現状のシステムの危険性を定量的に評価する。これより、システムのどの部分が重要かつ危険なのかを、明確に把握することができる。また、複数の地震防災対策による各々の効果を数値として表すことができ、有効な地震防災対策を選択することができる。そこで本研究では、地震リスクとして、危険性を定量的に評価する為に必要となる損失を算出する方法を提案することを目的とする。

2. 損失とは

損失とは、施設が被害を受けた場合の復旧費用や、機能低下の程度を表したもののや、機能低下がもたらす利用者の困窮の大きさ等で表すことができる。ここでは、上水道システムの機能リスク¹⁾を評価する際に必要となる、機能的な損失を算出する。能島は、地震によって低下した上水道システムの機能を、利用者がどのように受け止めるかという、心理的要因を組み入れた個人の充足度曲線を復旧曲線で加重平均することにより求められる、利用者全体の困窮度の累積値を機能障害として評価している。²⁾この累積困窮度は、利用者全体の得られている水量に対しての平均的な不満の大きさを表している。ある程度水を供給できたとしても、それが長期化すれば利用者は大きな不満を抱く。また、その逆も起こりうる。このような状態を、この累積困窮度では表現できない。また、通常得られる水の量が異なる場合は、水に対する価値観も異なるため、利用者の不満の大きさを表す累積困窮度が等価でも、利用者が失ったと感じる量は異なる。よって、不満の大きさを表すだけでなく、利用者がどれくらいの損失を感じたかを把握することが肝要となる。上水道システムの機能とは「利用者への水の供給」であるので、利用者の水に対する価値観と、供給できている量の両者を評価しなくてはならない。また、供給できる量や利用者の不満の大きさは、復旧状況により配水区域ごとで異なってくる。そこで本研究では、利用者の心理的要因を表す量として、累積困窮度と通常得ている水量から、利用者の心理的被害量を算出する。次いで、配水地区ごとに心理的被害量と供給できない量から、上水道システムの機能されていない量、すなわち損失を表す。

3. 機能損失の算定

ここで、図-1に示すような、ある被害状況に関しての機能損失を算出する。

はじめに、この被害状況における被災箇所の復旧順序を、図-2に示す復旧曲線の上部の面積である累積非復旧率の最小化により求める。³⁾これをもとに、損傷1件当たりの復旧時間を24時間とし、

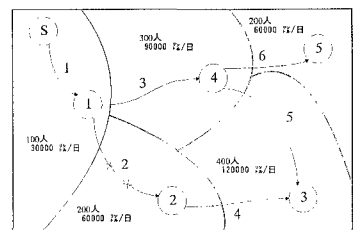


図-1 モデル（サンプル被害）

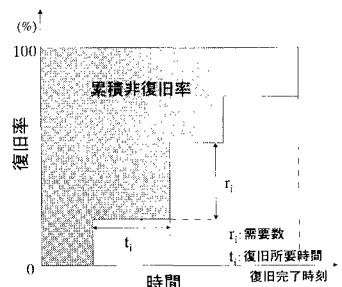


図-2 復旧曲線

キーワード：困窮度、心理的被害量、機能損失

連絡先：〒158-0087 東京都世田谷区玉堤1-28-1

TEL 03-3703-3111 (ext. 3268)

FAX 03-5707-2187

各給水地区の完全通水するまでの日数を算出する。

次に、地震発生から完全通水するまでの、各給水地区における利用者の不満を文献 1)より困窮度という形で定量化する。

$$S_i(t) = \Phi\left(\frac{t - \mu_i}{\sigma_i}\right)(1 - L_i) \quad (1)$$

Φ : 標準正規分布関数, t : 地震発生後経過日数

ここで、サービス水準・生活レベル・曲線形状パラメータを表-1に示す。平常時の水の使用量は約 200~400(リットル/人・日)とされるが、本研究では生活形態のばらつきは考慮せず 300(リットル/人・日)とする。また、 μ_i, σ_i は影響出現の遅れを表現するパラメータであり、この遅れにはライフスタイルにより個人差があるが、サービス水準が同じならばどの利用者も一定とする。生活レベル L_i は、得られる水量によって1リットルの価値を変えることが可能となる限界効用逓減の法則に基づき決定する。給水地区 2, 5 に応急復旧を地震発生から1日後に 3(リットル/人)、2日後に給水地区 5 に 18(リットル/人)行うものとする。給水地区 5 における困窮度曲線を図-3に示す。利用者の地震発生から完全通水するまでの困窮の大きさを、困窮度の累積値から求めることができる。累積困窮度とは、困窮度 1 の状態が続いた日数と同等の意味として解釈できる。給水地区 5 を例にとると、困窮度 1 というのは、300(リットル/人・日)得られないときの気持ちの大きさを表したものであるから、300(リットル/人・日)損したという気持ちが 1.128 日続いたということになる。よって、利用者の心理的な被害量 D_m は次式で表すことができる。

$$D_m = X_a \times \int_0^t S(t) dt \quad (2)$$

X_a : 通常得ている水量 (リットル/人・日)

$\int_0^t S(t) dt$: 完全復旧までの累積困窮度 (日)

次に、地震発生から完全通水するまでの、各給水地区における機能低下の程度 D_w は次式により定義する。

$$D_w = \sum_j (X_a - X_j) \quad (3)$$

X_j : 得られることの出来る水量 (リットル/人・日)

これは、日毎の供給できなくなる水量の累積値として表される。

最後に、機能損失 C_f として次式で定義する。

$$C_f = D_w + D_m \quad (4)$$

これは、機能低下の程度 D_w と利用者の心理的な被害量 D_m は、全く性質が異なるもののため、式(4)は正当化される。図-1で示されるサンプル被害に対する機能損失を式(4)より算出し、表-2に示す。

4. まとめ

本研究では、地震時における上水道システムの構成要素の損傷によって、上水道システムが供給できなくなる水量と需要者の不満を考慮した機能損失を算出した。需要者の困窮を考慮することで、復旧作業の進行状況・応急給水の量や時期により機能損失は大きく変動する。

<参考文献>

- 1) 市東哲也・星谷勝：上水道システムの地震リスクマネジメント，土木学会論文集 No.584/I-42, pp201~213, 1998.1
- 2) 能島暢呂：地震災害における都市ライフライン系のリスク評価に関する研究，京都大学学位論文，1992.9
- 3) 佐藤忠信・一井康二：遺伝的アルゴリズムを用いたライフライン網の最適復旧に関する研究，土木学会論文集 No.537/I-35, pp245~256, 1996.4

表-1 困窮度曲線のパラメータ

レベル	サービス水準		曲線形状パラメータ		生活レベル
	水量(リットル/人・日)	μ	σ	L	
1	0	1	0.2	0	
2	3	1.5	0.5	0.1	
3	18	2.3	0.8	0.25	
4	150	4.5	1.4	0.71	
5	300	-	-	1	

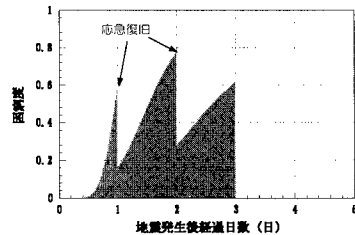


図-3 困窮度曲線（地区 5）

表-2 機能損失

地区	被害量(リットル)	累積困窮度(日)	機能損失(リットル)
1	0	0	0
2	120000	0.649	158940
3	240000	0.080	249600
4	0	0	0
5	180000	1.128	247680