

I - B 417

水供給システムに対する地震リスク評価と防災投資

関西電力（株） 正員 田中良英
 神戸大学工学部 フェロー 高田至郎
 神戸大学大学院 学生員 北田敬広

1. はじめに 大都市はライフライン施設に深く依存しているために、地震時にそれら施設が被害を受けるとその影響は広く地域住民の生活まで及ぶことになる。したがって、施設を耐震的に建設したり、耐震補強を行うといった事前対策を行うことが求められるが、非耐震的な施設が多数存在することや地震発生頻度が極めて低いことなどからすべての施設を耐震的にすることは必ずしも有効な対策となり得ない。そこで、危険事象を不確定性として捉えリスクを科学的に管理するリスクマネジメント手法が発展してきている。基本的にはそれらリスクの持つ不確定性を現在の確定的費用に置き換えることで、合理的に処理しようとする手法である。水供給システムを含む社会基盤施設をその総合的な枠組みの中でリスクを評価し、低頻度巨大災害に対する防災投資の費用対効果を定量的に分析、検討することでそれら地震防災対策の説得力を高めることができる。

2. 水供給システムへの適用 本稿では水供給システムにおける配水管ネットワークに着目し、地震リスク評価を行う。ここでは兵庫県南部地震における神戸市水道局の実被害データをもとに実証的な数値に基づき分析を進めることとする。水供給システムが抱える地震リスクは物理的な被害による損失と、水供給の公共性を考慮して供給停止による需要体の損失とを考慮する。そこで、本稿では機能的経済損失として上水道システムにおける被災住民の生活支障度を、また工業用水システムにおける受水企業の生産活動における影響度を、そして水道局における料金体系の損失を対象とする。その際、これら影響を費用に置き換えてやるための指標を定義する。

3. 地震リスク評価 (1)構造的経済損失：費用対効果の高い防災投資策を検討するには当該地域の地震リスクを評価する必要がある。そこで従来、地震リスクの処理法として検討されてきた地震リスク分析法[1]を用いて神戸地域の地震リスク評価を行う。地震リスク分析法とは事象樹木解析と同様である。図-1に本稿で用いた事象樹木モデルを示す。任意の地震動強さを事象樹木における発端事象として、任意の地震動強さによる条件付き期待損失を求める。地震動強さにはPGA（最大地盤加速度）を用いた。今回、誘因事象としては管路被害の特徴から地盤の側方流動による被害と地震動そのものによる被害の2つを考慮した。また、経済的損失に関する資料整理から管路被害の損失は口径に依存していることが知られている。したがって、管路条件は大口徑（ $\phi \geq 350\text{mm}$ ）、中口径（ $200\text{mm} \leq \phi < 350\text{mm}$ ）、小口径（ $\phi < 200\text{mm}$ ）

の3つに分類し、地盤条件は硬質地盤、段丘型地盤、沖積地盤、軟弱地盤の4つに分類した。管路被害の発生確率はボアアップ過程に、液状化被害の発生は液状化被害が顕著に見られた町単位でのPGAから対数正規分布に従うものとした。以上の条件から地盤条件、管路条件ごとの条件付き期待損失（期待値）が求められる。それに神戸地域における地震ハザード曲線[2]から地震動の発生確率を重みとした加重平均をとることにより比較的小さいな地震動から非常に稀な地震動まで考慮した地震リスクが算出される。表-1に配水管路地震リスクマトリックスを示す。このマトリックスにより当該地域の地震リスクを簡便に算出することが可能となる。

(2)機能的経済損失：機能的経済損失は供給が停止する期間に伴いその影響度が変化するため、供給停止日数から機能

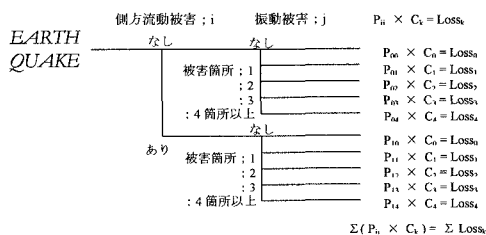


図-1 事象樹木モデル

表-1 配水管路の地震リスクマトリックス

	年間地震リスク [円/km]		
	小口径	中口径	大口徑
硬質地盤	190	254	0
段丘型地盤	2,386	2,626	5,041
沖積地盤	1,801	1,863	2,456
軟弱地盤	2,097	2,298	5,823

キーワード：水供給システム、地震リスクマネジメント、投資分析

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 Tel&Fax 078-803-1031

的損失を評価する。従って、被害箇所数を期待値として求め復旧速度[3]から停止日数を算出する。被災住民の支障度は住民が入手した水量と本来要求していた水量の比を取ることで支障度と定義する。そして、代替手段により過剰に要した金額と支障度、給水人口の積から被災住民の生活支障による経済的損失を評価する。工業用水受水企業については各工区における配水管路ネットワークをモデル化し、供給停止日数を算出する。ここで寄与率、業種補正量、業種特性値という指標を定義する。寄与率とは生産活動での水供給への依存を考慮して、固定費に占める工業用水契約金額の割合で表現する。業種補正量は固定費には表れない水供給への依存を考慮して、電気・ガス・水道の供給ライフラインそれぞれに依存している割合を表現する。業種特性値は水供給とは関係なく操業再開から通常の生産活動に戻るまでの期間を表現する。これら指標を各業種ごとに求め、1日平均売上高、供給停止日数との積を取り工業用水受水企業の生産活動における影響を評価する。さらに、水道局における料金体系の損失はそれぞれの供給停止日数より算出する。表-2に以上より算出された年間地震リスクを示す。

表-2 年間地震リスク

年間地震リスク [千円]				
構造的リスク		機能的リスク		
上水道	工業用水	住民支障度	企業影響度	水道局損失
8,284	284	2,597	21,064	410

4. 投資分析 リスクを低減させる対策代替案を5つ提案し、費用対効果を検討する。現状案は対策案0とする。上水道管路の耐震化を500mメッシュに対して行うものを対策案1とする。それに対して工業用水管路すべてに対して耐震化を行うものを対策案2とする。次に、工業用水管路の冗長性を増すため、2ルート化を行うものを対策案3とする。最後に大規模貯水槽を整備し、応急給水量の増加をはかるものを対策案4とする。また、これら耐震化施設の耐用期間は長期に及ぶことから年額原価法[4]という手法を用いて投資分析する。耐用年数を50年とした地震リスク及び便益効果、

表-3 対策案の50年間地震リスク及び便益効果

対策	年間地震リスク [千円]					合計 [千円]	便益 [千円]
	構造的リスク		機能的リスク				
	上水道	工業用水	住民支障度	企業影響度	水道局損失		
対策案0 現状	406,412	14,051	127,457	595,010	13,994	1,156,924	0
対策案1 上水道管路の耐震化	219,691	14,051	50,927	595,010	9,716	889,395	267,530
対策案2 工業用水管路の耐震化	406,412	1,199	127,457	17,547	8,799	561,414	595,510
対策案3 工業用水管路の冗長性増加	406,412	22,391	127,457	103,390	9,794	669,445	487,479
対策案4 大規模貯水槽の設備工事	406,412	14,051	64,823	595,010	13,994	1,094,291	62,634

さらに資本コストの感度分析を表-3、表-4に示す。便益効果からは対策案2が最も効果の高い対策案であるが、初期投資額を考慮して投資分析をした結果、対策案2はそれほど費用対効果の高い対策案でないといえる。今回検討した対策案の中で最も費用対効果の高い対策案は工業用水管路の冗長性を増す対策案3であることがわかった。しかし、どの対策代替案を採用しても年額原価の差額はマイナスを示さず、資本を回収できなかった。

表-4 耐用年数を50年とした資本コストの感度分析

対策案	投資前50年間地震リスク [千円]	投資前 年額原価 係数	投資前 年額原価 [千円]	投資後50年間地震リスク [千円]	年金原価 係数	導入によるコストの現在価値 [千円]	投資後 年額原価 [千円]	差額 [千円]
耐用年数:50年 資本コスト:1.5%								
対策案1	1,156,924	0.02857	33,055	39,180,000	889,395	34,997	40,069,395	1,111,795
対策案2	1,156,924	0.02857	33,055	7,750,000	561,414	34,997	8,311,414	204,416
対策案3	1,156,924	0.02857	33,055	1,170,000	669,445	34,997	1,839,445	52,556
対策案4	1,156,924	0.02857	33,055	1,400,000	1,094,291	34,997	2,494,291	71,266
耐用年数:50年 資本コスト:5%								
対策案1	1,156,924	0.05478	63,373	39,180,000	889,395	18,259	40,069,395	2,194,871
対策案2	1,156,924	0.05478	63,373	7,750,000	561,414	18,259	8,311,414	455,272
対策案3	1,156,924	0.05478	63,373	1,170,000	669,445	18,259	1,839,445	100,759
対策案4	1,156,924	0.05478	63,373	1,400,000	1,094,291	18,259	2,494,291	136,629

5. まとめ 本稿では、水供給システムに対する効果的な防災対策を推進するために、物理的な対策にとどまることなく幅広い観点から費用対効果の高い対策を採用することの必要性を述べ、それら対策を合理的に決定できるリスクマネジメント手法の適用方法を示し、具体的な数値を用いて投資分析を行った。本稿で示したリスクコントロール手法を用いることで、バランスのとれた防災投資を進めることを可能にする。今回はリスクコントロールの内のリスクコントロールに関して分析を行ったが、地震対策には初期投資が非常に大きいことと地震の発生頻度が極めて低いことなどから資本の回収が困難であることがわかった。従って、今後リスクの処理手段としてリスクファイナンスを取り込んでいくことも必要であると考え、本稿における分析は過去の地震被災における事例とデータの蓄積のもとにある。そのため今後更なる資料整理を行うことで精度の高い分析を行うことが望まれる。そして、それらが防災対策の意志決定を支援することを期待する。

参考文献 [1]篠塚研究所; Seismic Risk Management 方法論および適用例, (株) 篠塚研究所, pp.1-48, 1995.8 [2]石川裕ら; 活断層を考慮した神戸における地震危険度評価, 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp.61-68, 1996.1 [3]関西水道事業研究会; 市民の視点にたった水道地震被害予測及び震災時連絡管整備に関する一考察, 関西水道事業研究会, pp.1-102, 1996.3 [4]久保田政純; 設備投資計画の立て方, 日経文庫 451, 日本経済新聞社, pp.109-146, 1991.9