

I - B 420

上水道システムの地震リスク評価手法

攻玉社工科短期大学 正会員 山本欣弥
武蔵工業大学 正会員 星谷 勝
攻玉社工科短期大学 フェロー 大野春雄

1. はじめに

上水道システムは代替性に乏しく、また、水は住民生活には欠くことの出来ないものである。そのため、地震による被害の発生を最小限に押さえ、かつ、早急に機能の復旧を行わなければならない。このことから上水道システムの地震防災対策を考える上で、地震によるリスクを定量的に評価することの意義は、現状での地震リスクが地震防災対策（以後、対策）の実施によってどの程度変化するかを評価し、優れた対策を客観的に選択することができることにある。さらに、地震リスクを貨幣価値として表現できれば、対策費用やシステムの維持管理に常時必要な費用との関連からも対策の有効性を評価することが可能となる。地震リスク（ R ）には、いろいろな定義方法がある¹⁾が、本研究では、地震による被害の発生確率（ P ）と損失（ C ）との積で求められる期待損失（ $R = \sum(P \times C)$ ）として定義する。

この定義は過去多くの研究者たちが用いているが、最近では、水谷ら²⁾が Seismic Risk Management（SRM）手法として提唱している。著者の一人³⁾は、SRM手法を上水道システムに適用して、地震リスクの評価と対策案の選好（preference）に関する研究を行っている。本研究では、その成果をさらに発展させ、複雑なシステムを持つ上水道に対して、より現実に沿った地震リスク評価を行うための手法を検討する。

2. 上水道システムの地震リスク

上水道システムの地震リスクを、管路等が直接受ける構造被害の期待損失（構造リスク）と上水道システムの機能が受ける期待損失（機能リスク）に分類してとらえる。構造リスクに対しては、構造被害の発生確率を、損傷要因の組み合わせによる条件付き確率として求めるが、現実には、複雑な損傷要因の発生確率をそれぞれ算定することは困難である。そこで、被害の「有り」、「無し」の2種類のみとして、その発生確率を計算する。構造被害による損失は、被害個所の修理等にかかる費用であると考ええる。一方機能リスクは、断水戸数の期待値あるいは需要家へ供給できなくなる水の量の期待値等で表す。ただし、機能リスクの算定には、断水による社会への影響度や地震発生後の経過時間による水の価値の変化等を考慮する。また、機能被害による損失を、貨幣価値へ換算する方法も考えられるが、構造被害による損失額と同等に扱うことは現段階では難しいため、構造リスクと機能リスクをそれぞれ個別に考察して、上水道システムの地震リスクの評価を行う。

3. 地震リスクの特徴

地震リスクを被害の発生確率と損失の積である期待損失として定義したことにより、①現状の地震リスクの大きさを数値として認識すること、②発生確率と損失の大きさにより地震リスクの特徴を把握すること、が可能となる。認識されたリスクを低減するには、発生確率を小さくする「予防対策」と損失を小さくする「軽減対策」が考えられる。「予防対策」は、地盤の改良や管路を耐震性の高い鋼管に変更したり、継手をフレキシブル継手に交換するなどの構造的な耐震強化を行うことである。「軽減対策」は、いくつかの管路を並列に増設し冗長性を高める、資材補強、緊急時の人材確保等による復旧作業の早期化や応急給水の準備の徹底や効率化をはじめ、各利用者の日常の水の蓄えなどである。ここで、被害の発生確率をある程度以下にするには膨大な費用が必要となるため、地震のような低頻度重大事象の場合、「予防対策」より「軽減対

（キーワード）ライフライン、リスクマネジメント、地震リスク、上水道システム
（連絡先）〒141-0031 東京都品川区西五反田5-14-2 TEL 03-3493-5671 FAX 03-3495-4071

策」が有利な場合もあり得る。

4. 対策案選択の意志決定

現状の地震リスクを基準として、複数の対策案から最適なものを選ぶ。ここで、上水道システムの本来の目的は水の供給にあるため、対策案選択に当たっては、機能リスクの低減を第一に考える。

対策実施後の、リスク低減量の現状リスクに対する比率（低減量／現状リスク）（以後、低減率）と、対策費用に対するリスクの低減比率（低減量／対策費用）（以後、費用効率）から最適な対策の選好（preference）について考察する。例として、表1に対策案とその費用を示す。表2には、現状の地震リスクを100として、対策案実施後の上水道システムの地震リスクを示す。

構造リスク

表 1 対策案と対策費用

	対策内容	対策費用
対策案(1)	継手の一部をフレキシブル継手へ変更	20
対策案(2)	管路の一部をSP管からSRPC管へ変更	30
対策案(3)	応急給水体制の強化	30

については、

低減率の大き

い順に、対策

案(2)、対策

案(1)、対策案(3)となる。費用効果

では、代替案(1)、代替案(2)、代替

案(3)の順になる（表3）。機能リス

クの低減率では、対策案(3)がもっ

とも大きくなり、対策案(1)、対策

案(2)は、同じ値となる。費用効果

では、対策案(1)、対策案(3)が0.5

で、対策案(2)が0.33となる（表4）。

構造リスクと機能リスクの評価結

果から対策案の優先順位を考察する。

現状の機能リスクをもっとも多く低減するのは、対策案(3)である。対策案(1)は、低減率は対策案(3)より小さいが、費用効果は対策案(1)と同じである。以上より対策案の優先順位を機能リスクの低減量の大きさを第一に考えれば、対策案(3)、対策案(1)、対策案(2)の順番となる。

構造リスクは被害の復旧費用の期待値であるため、費用効果により優先順位を決めるべきである。しかし、対策を行うことにより被害発生確率は小さくなるが、材料費等が現状のものより高額になるなどの理由から、復旧費用は高くなることもある。その結果、構造リスクの減少が少ない場合も考えられる。そのため、構造リスクの評価は、常に機能リスクとの関係を念頭において行わなければならない。また、構造物を長期間使用するには施設の修繕、調査、管理等が必要であり、構造リスクに対する対策費は、これら維持管理費の他に更に必要になるものである。したがって、構造リスクの検討については、長期間にわたるリスクと維持管理費等の関連も考慮に入れなければならないと考える。

今回示した例では、現状の構造リスクが少ない、あるいは何らかの制約などにより構造リスクの低減を考慮する必要がないような場合は、対策案(3)が優れている。構造リスクの低減も必要とする場合は、費用効果で勝る代替案(1)が優れていることになる。

今後の課題として、①構造損傷発生確率の算定 ②上水道システムのモデル化 ③断水による社会への影響度や地震発生後の経過時間による水の価値の変化等を考慮した機能リスクの算出 ④システムの維持管理にかかる費用との関係などが考えられる。

<参考文献> 1)亀井利明：現代リスクマネジメント辞典、同文館出版、1998.5.

2)水谷守、中村孝明：確率論的アプローチによる地震リスクマネジメント(SRM)手法の提案、土木学会第51回年次学術講演会、I-B369、1996.9

3)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、pp.201-213、1998.1

表 2 対策後のリスク

	構造リスク	機能リスク
現状（基準）	100	100
対策案(1)	80	90
対策案(2)	75	90
対策案(3)	100	85

表 3 構造リスクの評価

	対策費用	構造リスク	構造リスク低減量	低減率	費用効果
現状（基準）	-	100	-	-	-
対策案(1)	20	80	20	0.2	1.000
対策案(2)	30	75	25	0.25	0.833
対策案(3)	30	100	0	0	0

表 4 機能リスクの評価

	対策費用	機能リスク	機能リスク低減量	低減率	費用効果
現状（基準）	-	100	-	-	-
対策案(1)	20	90	10	0.1	0.500
対策案(2)	30	90	10	0.1	0.333
対策案(3)	30	85	15	0.15	0.500