

広義のリスクを用いた上水道システムの地震リスクの検討

(株)地崎工業 正会員 ○渋谷 卓
 武蔵工業大学 正会員 星谷 勝
 攻玉社工科短期大学 正会員 山本欣弥
 攻玉社工科短期大学 フェロー 大野春雄

1. 地震リスクの定義

低頻度重大事象である地震リスクに対して費用対効果から考えて、最も効率よい対策を選択する (preference) ことが、地震リスクマネジメントの目的である。まず、そのためには地震リスクを客観的に定義する必要がある。地震による被害は、さまざまな不確定な要素を含んでいるため、確率論を用いたアプローチが必要である。市東・星谷¹⁾は、地震リスクを、危険事象の発生確率とそれに伴う損失との積、つまり次式で表される損失期待値によって定義し、上水道システムのリスクマネジメントに関する研究を行った。

$$(\text{地震リスク}) = (\text{危険事象の発生確率}) \times (\text{危険事象に伴う損失}) = (\text{損失期待値}) \quad (1)$$

式(1)によって定義される地震リスクは、危険事象の発生確率が大きくなると大きくなり、また、危険事象に伴う損失が大きくなると大きくなることを示している。

しかし、図-1 a), b) に示した確率事象の例のように、期待損失が等しい場合であっても、危険事象の各発生確率の分布が異なる場合が存在する。図-1 a) の場合は、期待損失の周りの発生確率

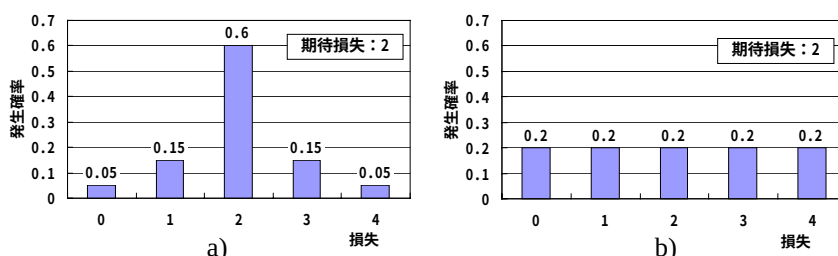


図-1 損失確率関数

が高くなっており、損失の大きい危険事象の発生確率は低くなっている。図-1 b) の場合は、発生確率が一定であり、損失の大きい危険事象の確率も損失が小さい事象の確率も同じ値をとっている。この2つのケースを比較した場合、図-1 b) の状態がより危険度は高いと考えられる。しかし、損失期待値によって定義されるリスクのみでは判断が不可能である。星谷²⁾によれば、リスクを詳細に把握するためには、損失期待値によって定義される狭義のリスクとともに、各危険事象に伴う損失とその損失の発生確率の分布状態を表す、損失確率関数あるいは損失確率密度関数によって定義される広義のリスクが有効である。

本研究では、広義のリスクを用いて、上水道システムの地震リスクの検討を行う。

2. 解析モデル

図-2 および表-1, 2 に解析用上水道システムを示す。ノード1から実線矢印で表される No.1 から 32 までのリンクによって、No.2 から 21 のノードへ水を供給し、各ノードの持つ給水地区の需要家へ給水を行う。表-2 に各ノードの持つ給水地区のデータを示す。ただし、ノード5, 8, 13, 14, 17 は、リンクの分岐点であるため、給水量および給水人口は0となっている。被害はリンクにのみ発生するものとし、当該システムの近傍に震源を設定したシナリオ地震による

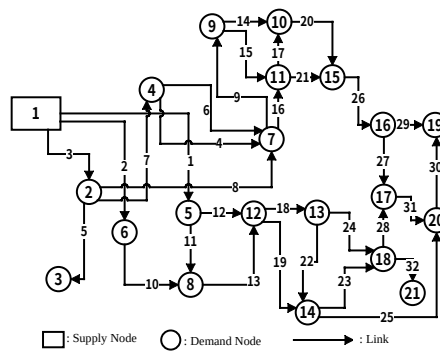


図-2 上水道システム

表-1 ノードデータ

Node No.	給水量 (m³)	給水人口
2	120400	36120
3	60200	18060
4	18200	5460
5	0	0
6	24267	7280
7	53000	15900
8	0	0
9	85200	25560
10	41800	12540
11	72833	21850
12	8333	2500
13	0	0
14	0	0
15	59533	17860
16	32667	9800
17	0	0
18	62300	18690
19	21700	6510
20	34000	10200
21	24900	7470

(キーワード) 地震リスク, 信頼性, 損失期待値, 広義のリスク, 損失確率関数, ライフライン

(連絡先) 〒141-0031 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-3703-3111(ex.3269) FAX 03-5707-2187

地表面最大加速度を用いて、表-1に示したリンクの諸要素と地盤の種類等から、条件付破壊確率 Pf を算出している。復旧は、水の供給方向に行い、被害1箇所につき1日かかるものとする。また、ノードがノード1と連結されてから、ノードから出ているリンクの復旧が開始されるものとする。

表-2 リンクデータ

Node No.	管径(mm)	延長(Km)	管種	Pf
1	1100	8.835	SP	0.603
2	1300	4.136	SP	0.225
3	1300	4.136	SPRC	0.080
4	600	3.164	SPRC	0.620
5	700	0.815	SP	0.004
6	1300	3.557	SPRC	0.199
7	600	2.807	SPRC	0.043
8	1300	5.874	SPRC	0.422
9	1300	2.948	SPRC	0.423
10	1300	0.823	SP	0.001
11	800	1.538	SPRC	0.457
12	1500	4.083	SPRC	0.564
13	1100	3.214	SP	0.620
14	1300	2.008	SPRC	0.452
15	1000	1.138	SP	0.348
16	1300	3.883	SPRC	0.212
17	1100	0.711	SPRC	0.049
18	1500	2.826	SPRC	0.411
19	1100	3.948	SP	0.735
20	1000	3.228	SPRC	0.225
21	1000	4.064	SP	0.417
22	1500	1.187	SPRC	0.072
23	1200	4.094	SPRC	0.686
24	1700	3.278	SPRC	0.641
25	1800	10.790	SLD	0.291
26	1000	2.235	SPRC	0.152
27	1200	0.535	SLD	0.043
28	1200	0.435	SPRC	0.197
29	1000	4.108	SPRC	0.393
30	1800	1.362	SLD	0.077
31	800	4.092	SP	0.986
32	1000	2.244	SPRC	0.438

3. 解析結果

図-3に、各ノードの給水量 (m³) の損失期待値を示す。狭義のリスクである損失期待値の大きい順にノードを5つ挙げると、14, 20, 9, 18, 15となっていることがわかる。これら5つのノードについて広義のリスクを検討する。

図-4に、ノード9とノード20の損失確率関数で定義される広義のリスクを示す。図-4より、ノード20は、B点で損失10,200、確率0.083となっている。ノード9は、A点で損失119,066、確率0.115となっており、ノード20より大きな損失がより大きな確率で発生する危険性を持っていることを示している。また、C点は、損失178,599が確率0.019で発生することを示している。

図-5に、ノード15とノード18の損失確率関数を示す。図-5より、ノード18は、B点で損失74,700、確率0.138となっている。ノード15は、A点で損失72,833、確率0.269となっており、ノード18とほぼ同じ損失が約2倍の確率で発生する危険性を持っていることを示している。また、C点は、損失145,666が確率0.0455で発生することを示している。

図-4および5より、期待損失量で見ると危険が少ないと考えられるノードでも、広義のリスクでは、大きな損失が発生する危険性を持っていることがわかる。

図-6に、ノード9, 14, 15の損失確率関数を示す。図-6より、ノード14は、A点で損失124,600が確率0.21で発生することを示しており、B点においても、損失186,900が確率0.045で発生することを示している。ノード14は、給水量の損失期待値で定義される狭義のリスクと、損失確率関数によって定義される広義のリスクともに大きく、危険性が大きいことがわかる。

4. まとめ

広義のリスクを用いて、上水道システムの地震リスクの検討を行った。期待損失値で定義される狭義のリスクだけでは判断できない危険性を、損失確率関数によって定義される広義のリスクを用いて検討することにより、明確に示すことが可能となった。

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, pp.201-213, 1998.1.
- 2) 星谷勝: 構造物のリスクマネジメント 第1回, 土木施工, 山海堂, Vol.42, No.3, pp.52~55.

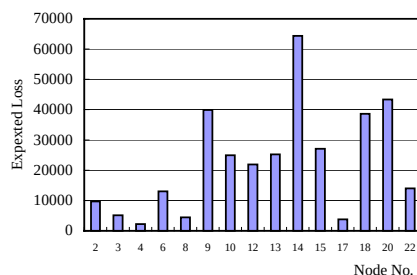


図-3 期待損失給水量

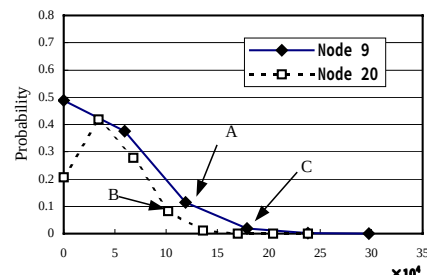


図-4 損失確率関数 1

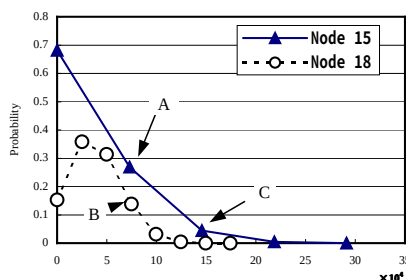


図-5 損失確率関数 2

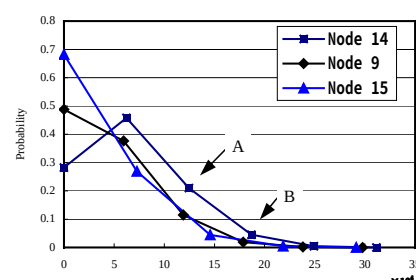


図-6 損失確率関数 3