

地震リスクを考慮した LCC-GA モデルによる管路更新計画の最適化

INTRODUCTION

日本を始めとする先進諸国の多くでは、財政上の制約もあり、急速に老朽化する水道管路の更新に悩まされている。水道資産の多くを占める水道管路はその布設から、事故による損失、撤去までライフサイクル全体で費用を発生させるため、長期的な視点を持って管路更新の意思決定を行うことが持続的な経営には必須である。こうした理由から、ライフサイクルコスト (LCC) の最小化を目的とする管路更新計画モデルが数多く提案されてきた (例えば, [1])。さらに、近年は整数コーディング[1]や局所探索機能の実装[2]により計算時間も大幅に改善されてきた。

日本のような地震大国では、地震リスクも LCC の重要な一要素となる。地震発生時の被害も PDD 法とモンテカルロ法により確率的なシミュレーションが可能になってきている[3]が、これを長期的なリスクとして LCC に統合する試みは筆者らの知る限りはこれまで十分に行われていない。地震リスクを考えない既往モデルでは、本来早期に行われるべき管路更新が誤って遅く評価される可能性がある。

そこで本研究では、地震カタログに基づき金銭化された地震リスクを LCC に導入し、地震リスクを管路の更新計画に反映する手法を提案する。

METHOD AND MATERIALS

本研究で提案するモデルは、地震リスクを考慮していない著者らの LCC-GA モデル[2]に期待地震被害額 $E[Z_t]$ を追加することで新たに得られるものである。

$$E[Z_t] = \sum Prob(t, k) E[Z_{t,k}]$$

ここに、 t は経過年数、 k は想定される震源、 $Prob(t, k)$ は地震発生確率、 $E[Z_{t,k}]$ は地震 k 発生時の期待被害額であり、既往の地震時被害シミュレーション (例えば, [3]) から求めることができる。

長期的な期待地震被害額の算定には対象の管路システムに被害を及ぼしえる震源群のリスト($k \in K$)と震源毎の長期的な発生確率 $Prob(t, k)$ の予想が必要となる。日本では、長年の調査により全国の活断層やトラフがデータベースになっており、震源固有の長期的な発生確率も図 1 のように公開されている[4]。このデータベースから水道管路システム近傍の震源をリストアップし、確率分布から地震の発生確率を図 2 のように求めることができる。モデルは東京の M 市の送水システムを対象に適用した。

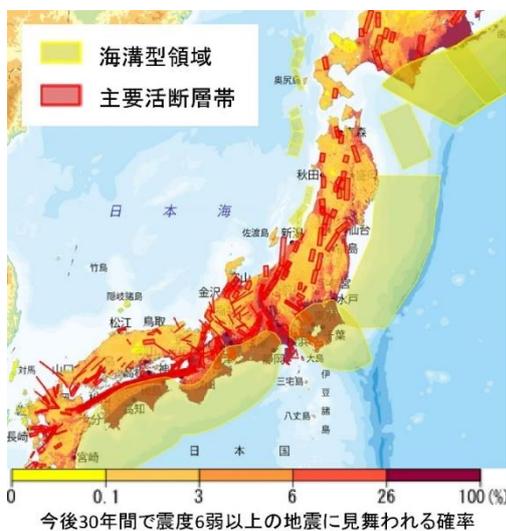


図 1 日本の震源マップ

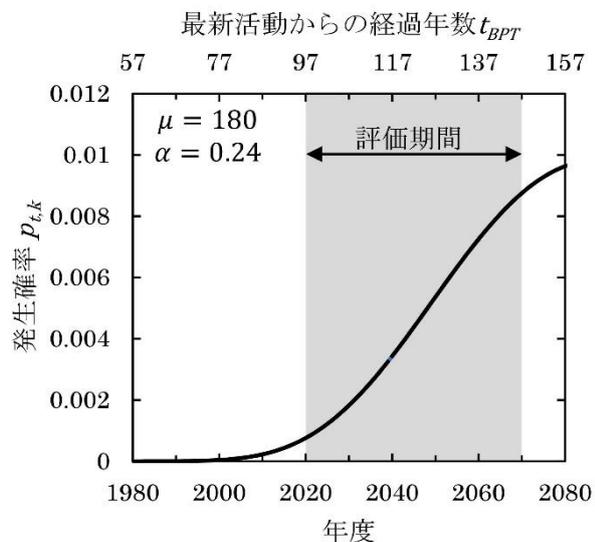


図 2 推計された地震発生確率

RESULT AND DISCUSSION

期待地震被害額 $E[Z_t]$ を導入した LCC-GA モデルを用いて最適化を行った結果、表 1 にあるように地震リスクを考慮することで考慮しない場合よりも 5 年から 15 年程度更新が早期化された。また、図 3 の年別期待地震被害額の推移を見ると、更新に伴う管路の耐震化により次第に地震リスクが低下し、最終的には地震リスクがゼロになる様子をモデルが表現できている。特に、普通铸铁管である管路 2 の更新は地震リスクを大幅に低減させており、これらの更新が LCC 削減に大きく寄与することが分かる。

表 1 割引率別の最適更新計画

(a) 地震リスクなし						
No.	4%		2%		0%	
	時期	口径	時期	口径	時期	口径
1	-	-	-	-	-	-
2	3	350	0	350	0	350
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	0	600	0	600	0	600
6	-	-	-	-	49	350
7	34	400	30	400	0	450
8	23	250	20	300	0	300
9	-	-	-	-	-	-

注) 既往研究²⁷⁾ で得られた結果に相当する。

(b) 地震リスクあり						
No.	4%		2%		0%	
	時期	口径	時期	口径	時期	口径
1	-	-	-	-	-	-
2	0	350	0	350	0	350
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	0	600	0	600	0	600
6	-	-	-	-	49	350
7	29	400	20	400	0	450
8	14	250	4	300	0	300
9	-	-	-	-	-	-

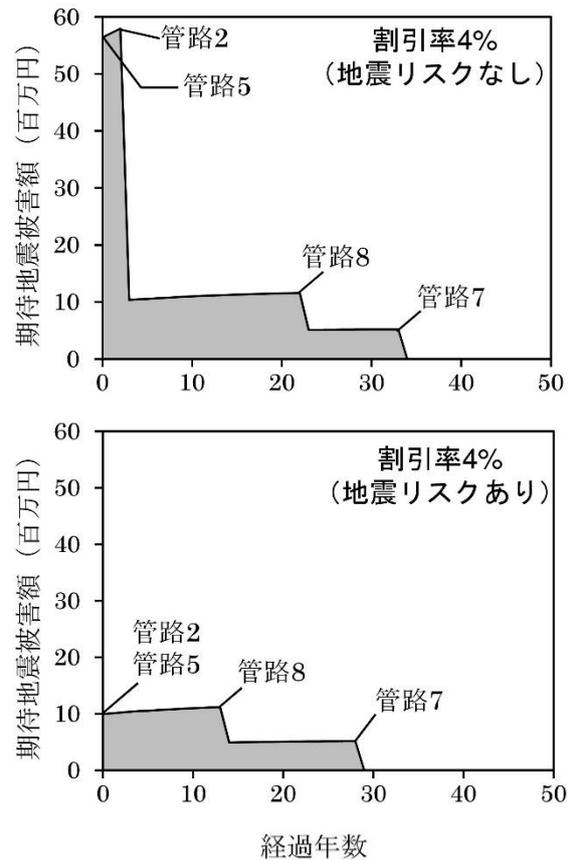


図 3 年別期待地震被害額の推移

CONCLUSION

本研究では、これ水道管路システムのLCCとして考慮されてこなかった地震リスクの定量化に着目し、地震カタログに基づく長期的な地震リスクの定量化方法を提案した。地震リスクを考慮したLCC-GAモデルをM市の送水システムに適用した結果、更新が5年から15年程度早期化されており、地震リスクを考慮しないモデルは適切な更新時期を遅く見積もることが示された。また、普通铸铁管の更新が地震リスクを大幅に低減させることがモデルから示されており、普通铸铁管の早急な更新が地震リスクだけではなく、LCC全体の削減に大きく寄与すると示唆された。

REFERENCES

- [1] E. Roshani and Y. R. Fillion, "Event-based Approach to Optimize the Timing of Water Main Rehabilitation with Asset Management Strategies," *J. Water Resour. Plan. Manag.*, vol. 140, no. 6, p. 11pages, 2013.
- [2] K. Hasegawa, Y. Arai, and A. Koizumi, "Life Cycle Cost-based Pipe Replacement Model and Application in Depopulation Scenario," in *WDSA/CCWI Joint Conference Proceedings*, 2018, vol. 1, p. 8pages.
- [3] K. A. Klise, M. Bynum, D. Moriarty, and R. Murray, "A software framework for assessing the resilience of drinking water systems to disasters with an example earthquake case study," *Environ. Model. Softw.*, vol. 95, pp. 420–431, 2017.
- [4] National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, "Japan Seismic Hazard Station." [Online]. Available: <http://www.j-shis.bosai.go.jp/en/>. [Accessed: 01-Apr-2019].