

ライフライン系の地震防災対策策定のためのリスク評価の枠組み

通商産業省 正員 ○吉川 徹志
 京都大学防災研究所 正員 亀田 弘行
 京都大学大学院 学生員 能島 暢呂

1. はじめに ライフライン系の地震対策では、様々な地震被害形態に対する多様な対策と、その組み合わせを考える必要がある¹⁾。そのため、対策の種類、対策を施す位置・程度が将来の地震被害の軽減にどの程度貢献するのかを知ることが重要であり、個々の対策に対する防災効果を評価する手法の開発が必要となる。そこで、個別要素の耐震性強化対策の1つである埋設管の布設替えを取り上げ、地震防災対策として既存システムの埋設管の布設替えを行う場合、最も経済的に有利な布設替え位置と布設替え長さを総期待損失額最小基準から求める手法の開発を行った。Isoyamaら²⁾は、埋設管の最適布設替え長さを求める指標として、地震時に水道システムが受ける被害を、埋設管破壊箇所数の関数として与えた修理費・緊急供給費を用いている。本研究ではライフライン系の特性を対策策定に取り入れるため、埋設管被害を地盤条件を考慮して与え、供給停止による利用者の生活被害を緊急供給費によって費用換算して与えた。対策決定のフローチャートを図1に示す。

2. 定式化 水道システムをリンクとサブシステムからなる直列ネットワークとして考える(図2)。年間総期待損失額TACを次のように考える。

$$TAC = \delta \cdot IC - B + DEC + DIEC \quad \delta = \frac{i(1+i)^T}{\{(1+i)^T - 1\}}$$

IC: 布設替えを行う初期投資費 B: 布設替えを行うことによって生じる便益 DEC: 1年あたりの直接損失費の期待値 DIEC: 1年あたりの間接被害費の期待値
 δ : 布設替え費用を1年あたりの額に換算するための係数(i : 利子率、 T : 計画対象期間)

(a) 初期投資費 $IC = \sum_{j=2}^N C_j(l_j) \quad l_j = \sum_{k=1}^{j-1} S_{k,j}^k$

k : リンク及びサブシステム j : 管または継手種類

l_j : j の管に布設替えを行う長さ

l_j^k : 布設替え以前の k での j 種の管長

$S_{j,1,2}^k$: k に布設されている j_1 種の管

を j_2 の管に交換する長さ

$C_j(l)$: ある管種から j 種の管に l km

布設替えを行う費用

(b) 直接損失費

$$DEC = \sum_i P(A) \sum_k \sum_j RC_j(DN_j^k(A), L_j^k)$$

$P(A)$: 地震動強度 A の発生確率 $RC_j(N, l)$: j 種の管の修理費(破壊率と長さに依存)

$DN_j^k(A)$: 地震動強度が A の時の k での j 種の管の破壊率 L_j^k : 布設替え後の埋設管長さ

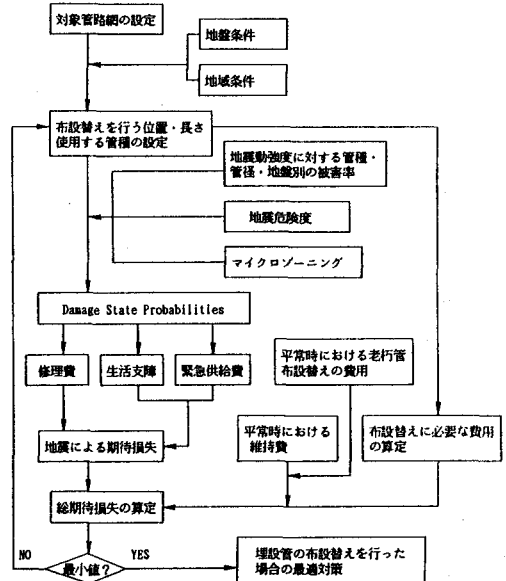


図1 埋設管布設替え対策決定のフローチャート

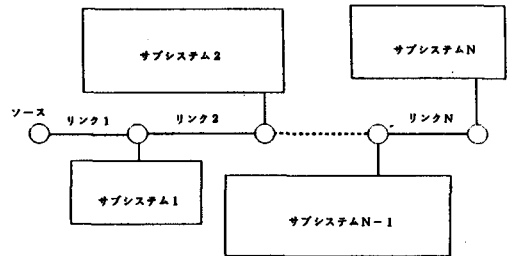


図2 モデル化したシステム

表1 解析に用いたシステムの概要

リンク	リンクの長さ(km)	サブシステム	布設距離(km)	給水戸数(戸)
1	2.0	1	0.0	0
2	4.0	2	20.0	15000
3	3.0	3	30.0	25000

地盤種類	1	2	3
$\sigma_{v, \max}$ mm	5.0	7.0	9.0

表2 埋設管の諸元

	リンク		サブシステム	
	普通継手	耐震継手	普通継手	耐震継手
管径	1000mm	1000mm	300mm	300mm
引張強さ	30tonf	30tonf	10tonf	10tonf
基本長さ	6.0m	6.0m	6.0m	6.0m
許容継手変位	38mm	75mm	72mm	78.5mm
布設替え費用(yen/km)	—	7.7×10^5	—	1.6×10^5

地震発生確率はCornellの手法³⁾を用いて東京湾中央部における危険度解析を行い、得られたハザード曲線から求めた。アテニュエーション式は亀田によって提案された式⁴⁾を使用した。被害確率は、地盤の卓越周期から得られる地震時の地表面変位のばらつき値 σ を用いる西尾の方法⁵⁾により求めた。地盤の分類は σ_{275} (最大地表面加速度が275galの時の σ の値)によって行った。被害額RCは、1箇所の破壊によって埋設管を1本(6 m)交換するとし、(破壊率) $\times$ (布設延長) $\times$ (6 mの布設替えに必要な費用)から求めた。

$$(c) \text{間接損失費} \quad DIEC = \sum p(A) EEC(N^s(A), ST)$$

ST:事業者のとり復旧戦略 EEC(N, ST):破壊形態Nと復旧戦略STが与えられたときの間接被害額
EECは、供給停止によって生じた利用者の生活困難を考えた。生活困難は、自治体等の緊急給水によって通常の使用水量が供給されれば解消されるものと考え、EECを(1人1日の水の使用量(0.25m³)) $\times$ (1m³あたりの緊急供給費) $\times$ (累積供給停止人口)とした。累積供給停止人口は、埋設管の被害の発生数をポアソン分布、復旧時間を復旧率一定の指数分布として与え、星谷の順次復旧の方法⁶⁾を用いて得られる復旧曲線から求めた。

3. 計算例 表1に示した簡単なシステムに対して費用リスク分析を行った。埋設管の諸元は表2に示す。布設替え前のシステムは、全て普通継ぎ手を有するダクタイル鉄管の埋設管網からなり、入力される地震動強度はシステム内で一定とした。布設替えは、普通継ぎ手を有する管から耐震継ぎ手を有する管へ行くとし、給水人口-埋設管布設延長比が大きく、ソースに近いサブシステムの順に行った。この結果、地盤のよいシステムでは、布設替えを行う有効性はみられず、地盤の悪いシステムについては、総期待損失を最小にする布設替え長さが存在することが示された(図3)。

4. むすび この研究で求めた最適布設替え距離は、いくつかの仮定の上で求められたものであり実際のシステムに適用するためには細部にわたる検討が必要である。また、ライフラインの地震対策は地震対策のみで行われることは少なく、通常の作業に耐震要素の付加という形で行われることが多い。このため地震対策と通常の事業者の業務との関係を考えていくことが必要となろう。

謝辞 本研究を行うにあたり、大阪市水道局の河谷幸夫氏に有益な御助言と貴重な資料の提供を頂きました。記して感謝の意を表します。

参考文献: 1)吉川徹志・能島陽昌・亀田弘行:都市ライフライン系における地震防災システムの基本構造の分析,都市防災センター研究報告 別冊第2号,1989.4. 2)Isayama, R. and Shah, H.C., "Seismic Risk-Investment Analysis for Water Supply Systems", Proceeding of the 6th Japan Earthquake Engineering Symposium, pp. 2033-2040, 1982. 3)Cornell, C.A., "Engineering Seismic Risk Analysis," Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 58, No. 5, pp. 1583-1606, 1968. 4)(社)防災研究協会 日本原子力研究所:地震動予測式に関する検討(1), 1990. 5)西尾宣明:埋設管の地震時被害率予測法に関する一提案 土木学会論文報告集, 第316号 pp. 1-9, 1981. 6)星谷勝・宮崎正敏:下水道システムの地震災害復旧の戦略と予想 土木学会論文集, 第331号, pp. 45-54 1983.

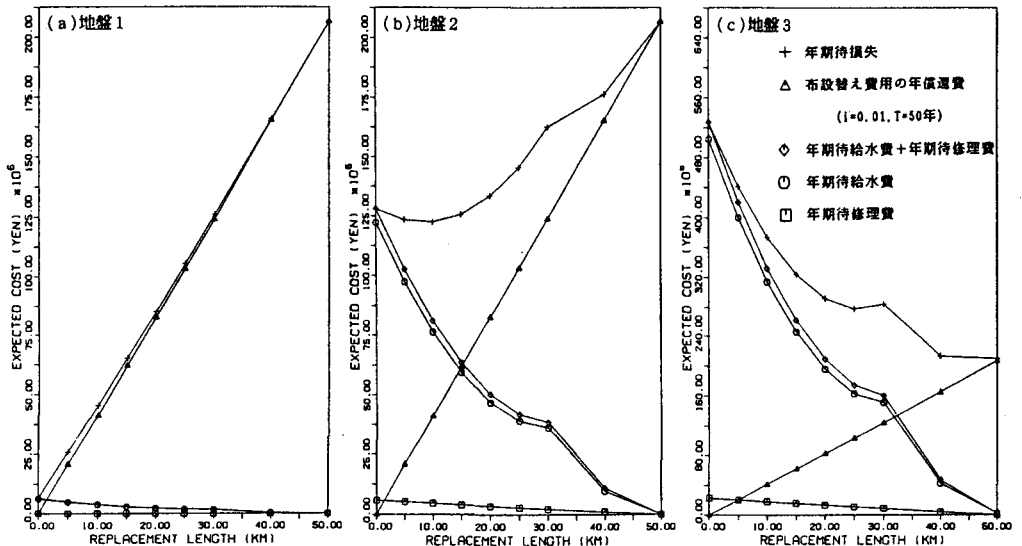


図3 サブシステムの布設替え距離による年期待損失の変化