

# リスクによる概成処理区の管きよ改築計画の評価

中日本建設コンサルタント(株)○吉川仁士 中根 進

## 1. まえがき

巡視、点検、調査を実施することにより管きよの劣化状態を知り、その状態に応じて維持、修繕や改築(更新+長寿命化)の措置を講じ、施設状態を最良に維持していくことが求められている。

管きよの巡視、点検、調査の頻度については、下水道維持管理指針などに紹介されているが、自治体では、下水道施設として管きよの他に処理場、雨水ポンプ場も持ち、管理する資産が膨大なため、現実には紹介されているような頻度で管きよを点検・調査することが難しく、管きよの劣化状況を把握していないことが多いと思われる。

本文では、管きよの調査、改築にのみに焦点を当て、いくつかの調査・改築計画方法をリスクの観点から評価する。

## 2. リスクの設定

### 2.1 ワイブル分布による劣化の表現

時間に対する劣化現象や寿命を統計的に記述するためにワイブル分布が利用される。

管きよは、年数の経過に従い劣化が進むことが予想される。ある年度に整備した管きよを毎年調査・診断し続けたとすると、年数が経過するに従い徐々に劣化のある管きよが現れる。ある年度に延長 100 の管きよが建設され、年数の経過とともに劣化がすすむと、例として緊急度 I に相当する劣化度の管きよ数が図-1 の山のような現れ方をする。図-1 の例では、経過年数が 9 年で緊急度 I の延長がピークとなっている。なお、山の合計は、延長 100 となる。緊急度 I の管きよを改築が必要な管きよとすると、図-1 はある年度に建設した管きよの毎年の改築量となる。

この劣化の現れ方を、ワイブルの確率密度曲線  $f$  の (1) 式で表す。

この劣化の現れ方の形は、パラメータ  $m$ 、 $\eta$  を変えることにより表現できる。

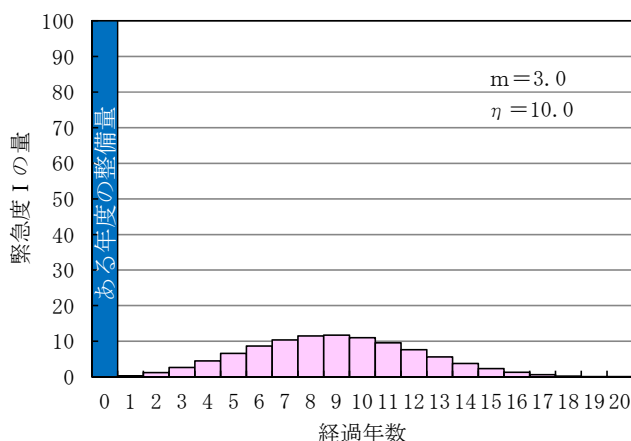


図-1 ワイブル分布に従う緊急度 I の現れ方

確率密度関数  $f$  :

$$f(t) = \frac{m}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{m-1} e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^m} \dots (1)$$

ここに、 $t$  : 時間間隔 (調査時経過年数)

$m$  : 形状パラメータ

$\eta$  : 尺度パラメータ

$\gamma$  : 位置パラメータ

## 2.2 リスクの設定とワイブル分布によるリスクの表現

管きよを目視やTVカメラで調査した場合、その調査結果を「手引き」<sup>1)</sup>の判定基準にしたがい、劣化度を3段階程度で診断している。

緊急度Ⅰについては、速やかな措置が必要な管きよである。緊急度Ⅰの劣化を修繕、改築することなく放置することによって、管きよの損壊やそれに伴う道路陥没に至る恐れが生ずる。

表－1 下水道における環境へのリスク(例)<sup>1)</sup>

項目	事象	リスク(事象発生による環境影響)
管路施設	管路の破損	・道路陥没による人身事故、交通阻害 ・下水道使用者への使用中止 ・漏水による地下水や土壌の汚染
	管路内での異常圧力の発生	・マンホール蓋の飛散による人身、物損事故 ・有害ガス(硫化水素等)の噴出
	有害ガスの発生	・悪臭物質の発散 ・有害ガスの噴出
	下水流下能力の不足	・下水のいつ水

出典：下水道維持管理指針(前編)2003年版、社団法人日本下水道協会、p6、加筆修正  
網掛け：点検・調査及び改築・修繕で主に対応するリスク

「参考資料Ⅲ 管路施設のストックマネジメント 1.2.2 リスクの特定」<sup>1)</sup>において、リスクの一例として「管路の破損」を示している。本報告ではこ

の破損から進行し、損壊や撤去に至った管路状態をリスクとする。

損壊につながる管きよ延長やスパン数は、整備された総延長に対して、その割合は小さいものである。しかしながら、損壊に起因する道路陥没は工事渋滞や社会生活に著しい影響を与えるばかりでなく、人的な被害につながる可能性がある。

このリスクをワイブル分布で表現する。藤生<sup>3)</sup>は、損壊・撤去された管きよのワイブル分布係数(パラメータ)として表－2を示している。

経過年数に対する「損壊・撤去」および「緊急度Ⅰ←Ⅲ」の割合を、ワイブル分布の係数を使った信頼度曲線で示す(図－2)。

表－2の「緊急度Ⅰ←

Ⅱ」のパラメータを使い、ある経過年数の信頼度Rを求め、不信頼度 $F = 1 - R$ とする。この不信頼度F値は、図－1の確率密度のある経過年数までの積分値である。この積分値Fが損壊分も含む改築量となる。単年度分の改築量は(確率密度値 $f \times$ ある経過年数の整備量)となる。

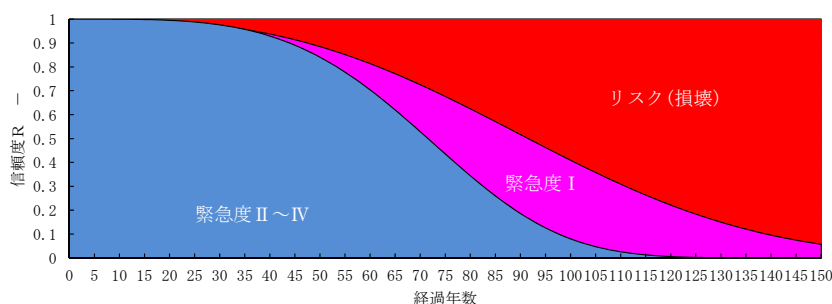
## 3. 各シナリオのリスクによる評価

図－3に示す1975年より管きよの整備をはじめ2011年に概成したある処理区を例に、

表－2 損壊のワイブル分布のパラメータ<sup>2)</sup>

ワイブル係数	損壊・撤去 ← 緊急度Ⅰ	緊急度Ⅰ←Ⅱ	緊急度Ⅱ←Ⅲ	緊急度Ⅲ←Ⅳ <sup>*2)</sup>
m(形状パラメータ)	2.87	3.861	2.010	0.5246
$\eta$ (尺度パラメータ)	104	78.68	60.03	17.13
$\gamma$ (位置パラメータ)	0	0	0	0
出典	4)	5)		

\*2)「緊急度Ⅳ」は「劣化なし」に同じ。



図－2 リスク(損壊)と緊急度Ⅰのワイブル分布

耐用年数 50 年経過した管きよから順次改築する計画や整備済みの管きよを経過年数の古い順に調査し、必要に応じて更新する 5 ヶ年計画など、4 つのシナリオの改築計画を設定する。そして各シナリオのリスクを評価する。各シナリオの改築は、2014 年度から始める設定とした。

以下、概成した処理区の毎年の整備量の合計を総整備量と言う。改築した管きよも年数(管齢)が経過すると既設管と同様劣化ははじまるが、今回の検討では、概成した管きよの 1 世代のみ改築することを考えた。

### 3.1 シナリオ 0

想定するシナリオの比較のため、改築することなく放置する場合のリスクを求めると、図-4 の通りであり、年々リスクが増加していく。

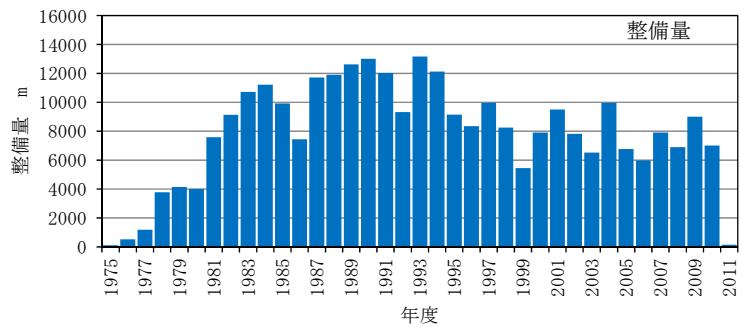


図-3 概成した処理区の整備量の例

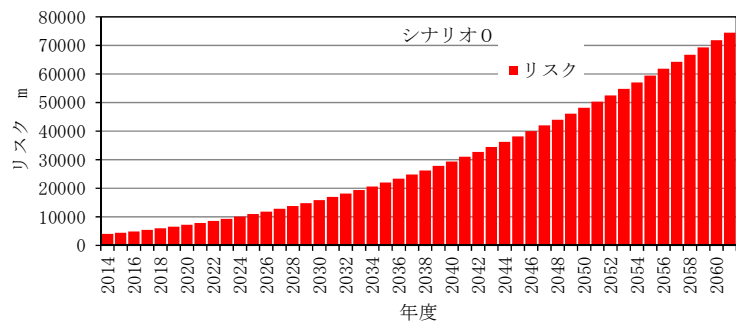


図-4 改築せずに放置した場合のリスク(シナリオ 0)

### 3.2 シナリオ 1

1975 年度から整備し始めた管きよを 50 年経過したものから劣化程度を問わず順次全量改築していく改築計画である(図-5)。このシナリオでは、整備量に応じて改築するため、整備のピーク量そのまま 50 年経過以降に改築量のピークとなる。今回の例では改築計画期間は、整備に要した概成期間と同じ 37 年となる(図-6)。

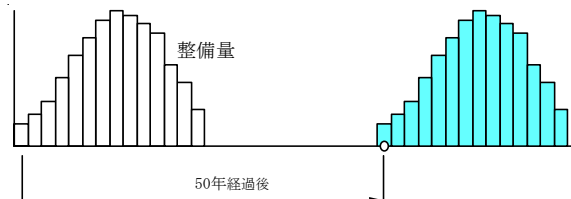


図-5 整備量とシナリオ 1 の改築計画イメージ

改築を実施しない 2024 年度までのリスクの総量は、図-6

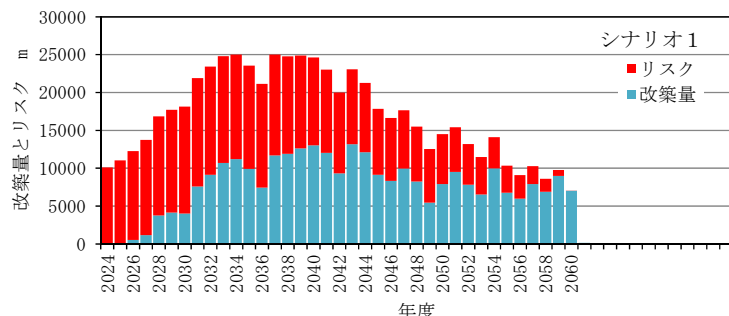


図-6 リスクと改築量(シナリオ 1)

左端となる。2025 年度以降、50 年経過した管きよの全量の改築を実施していくと、リスクの対象とした損壊レベルの管きよが毎年無くなっていくことから、図-6 のリスク量を読むと、2031 年度をピークにしてリスクは小さくなっていく。

後述する他のシナリオが改築を始める経過年数 39 年に対して、シナリオ 1 では改築を始めるまでに 50 年間放置するため、リスクが高くなる。シナリオ 1 では、50 年経過した管きよは、良い状態の管きよも改築するので、その効果は、改築の 2 世代目以降に表れると思われる。

### 3.3 シナリオ 2

毎年度、保有する管きよ全量を調査し、緊急度 I 以上(損壊含む)と判定した管きよを全量改築していくものとする。このシナリオ設定では毎年保有する管きよを調査することが必要で、経費、時間ともに現実的な手法でない。

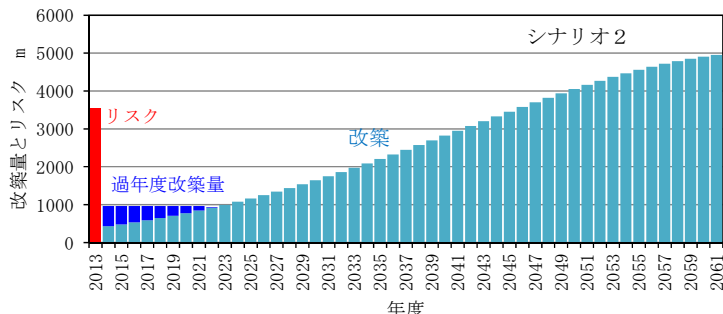


図-7 リスクと改築量(シナリオ 2)

シナリオ 2 のリスクと改築量は、図-7 となる。2014 年度の調査時に過年度分(2013 年度まで)の緊急度 I と診断した管きよについては、改築量を平準化して 8 年間で改築していくものとする。この結果、改築前のリスクは、2022 年度までに解消されてなくなる。横軸の年度は、シナリオ 1 に合わせて 2061 年まで示した。

### 3.4 シナリオ 3

5ヶ年計画を基本として建設年度の古い順から 5ヶ年毎に建設した管きよを調査し、その診断結果により更新が必要と判定された管きよを更新することを想定する(図-8)。今回の例では 5ヶ年の 8 期計画(40 年)となる。

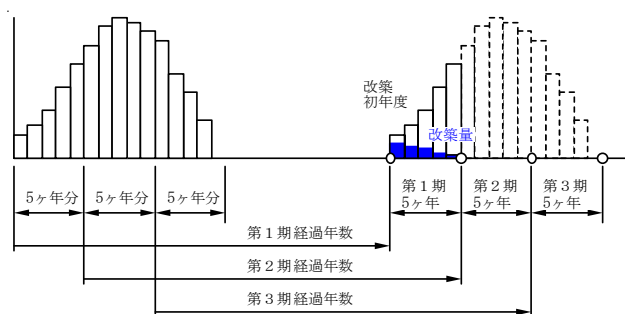


図-8 整備量とシナリオ 3 の改築計画イメージ

このシナリオでは、建設量にピークがある場合は、調査、更新量が増加する。調査は、各期の 5ヶ年計画の初年度に実施するため、残りの計画期間中にも劣化度の増加する管きよが現れるが、そのリスク量は無視する。

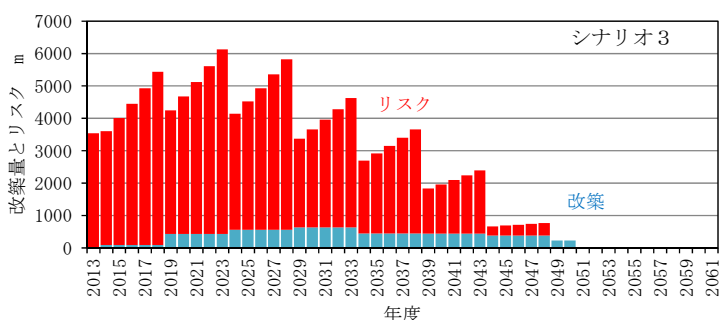


図-9 リスクと改築量(シナリオ 3)

整備の順に 5ヶ年ごと調査し、改築するため、改築量も整備と同じようにピークが生じる。改築量のピークは第 4 期目(2029~2033)の 636 m である。(図-9)

### 3.5 シナリオ 4

5ヶ年の8期計画(40年)において各期で調査量がほぼ一定になるよう計画する。今回の例では5ヶ年の8期計画(40年)となる(図-10参照)。

改築量を抽出して図-11に示すが、調査量を一定としているので調査対象とする管きよの調査時経過年数がシナリオ3と比べて一定でない。このため、計画期が後になると改築量がシナリオ

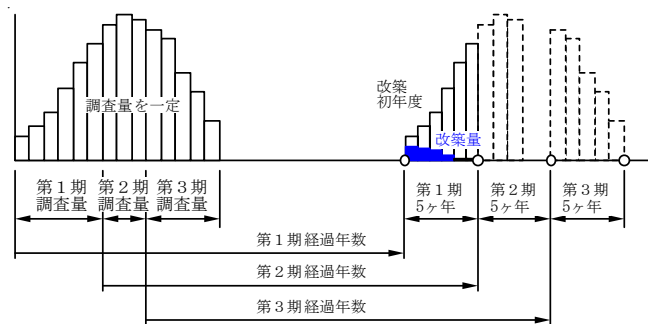


図-10 整備量と改築の計画年度(シナリオ4)

3に比べて増加し、リスクも増える傾向にある。

### 4. まとめ

シナリオ別の計画期間および改築量と計画期間内のリスク量の最小、最大値、平均値などをとりまとめ表-3に示す。

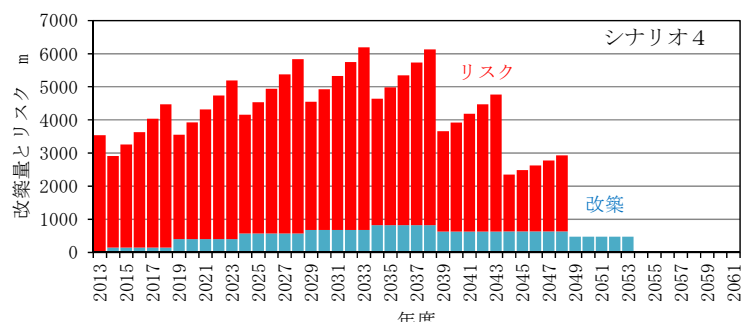


図-11 リスクと改築量(シナリオ4)

表-3 シナリオ別リスクと改築量のまとめ

①総整備量 292,157 m

設定シナリオ	計画年度と計画期間	②改築量 m	リスク					
			③着手前 リスク量 m	④計画期間 中単年度の リスク 最小量 m	⑤計画期間 中単年度の リスク 最大量 m	⑥リスク 年平均量 m	⑥リスク 平均量/ ①総整備 量	
シナリオ0	2014 ~ 2061	48	0	3,543	3,955	74,439	30,363	0.104
シナリオ1	2025 ~ 2061	37	292,157	10,097	0	14,309	8,870	0.030
シナリオ2	2014 ~ 2054	41	94,207	3,543	0	0	0	0.000
シナリオ3	2014 ~ 2050	37	15,437	3,543	0	5,692	2,696	0.009
シナリオ4	2014 ~ 2053	40	21,853	3,543	0	5,517	3,328	0.011

シナリオ別に表-3のリスクの年平均量⑥を図-12に、表-3をとりまとめたものを図-13に示す。

シナリオ1では改築を始めるまでに50年間放置することにより、他のシナリオ(改築を始める経過年数39年)と比較して、リスクが高くなる。シナリオ1の改築計画は、まだ改築の必要ない劣化管まで改築するこ

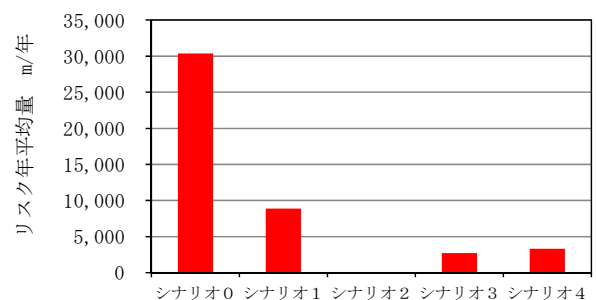


図-12 シナリオ別リスク量

とから、改築2世代目以降に先行改築した良い効果が表れると思われる。

シナリオ2が最もリスクの少ない方法であるが、自治体の保有する管きよを毎年、全量調査する必要がある。この方法は、経済的にも調査時間的にも無理であり、シナリオ3、シナリオ4で多く実施されることになる。

ただし、シナリオ3、シナリオ4では、1期5ヶ年の8期計画とすると改築に40年もかかることになり、当初に改築した管きよの再構築も視野に入ってきてしまい、調査・改築期間の短縮が望まれる。

ここで、シナリオ2に近い方法として、藤生の手法<sup>2)</sup>がある。調査診断結果を利用して管きよの劣化状態(改築が必要な状態)を経過年数、取付け管本数、管種、施工法などを説明変数とした推定式で表す。

藤生の論文では、推定式の目的変数(劣化状態)を、劣化箇所を抽出する判別得点としている。台帳ベース等のデータから説明変数を抽出し、保有する管きよに推定式をあてはめ、判別得点の大きい劣化管きよを予測し、判別得点の大きい管きよから調査を開始する方法である。

論文中で紹介されている予測式は5式あり、その的中率は65%~90%であり、すべて判別されるわけではないが、全量調査する方法に近い確率で劣化した管きよを見つけ出すことができると思われる。

調査診断を始めていない市町村では、これら紹介された自治体の式を使い、調査の進展とともに自らの調査診断結果からの推定式を作っていくことになる。劣化が予測される管きよ延長が全体の10%とすれば、本文の事例では、 $292,157\text{ m} \times 0.10 = 2,922\text{ m}$ の調査量となる。改築量としては、的中率から  $2,922\text{ m} \times \text{的中率}(65\% \sim 90\%) = 1,899 \sim 2,630\text{ m}$ となり、調査費、改築費の大きな負担もなく、効率的な改築計画を策定・実施できるものと考えられる。

### <参考文献>

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：ストックマネジメント手法を踏まえた下水道長寿命化計画策定に関する手引き(案)H25年9月
- 2) 藤生和也：管渠劣化に係る必要年間調査延長の算出及び調査箇所の選定のための統計的手法下水道協会誌 Vol.50, No.605, pp.118-125, 2013/03

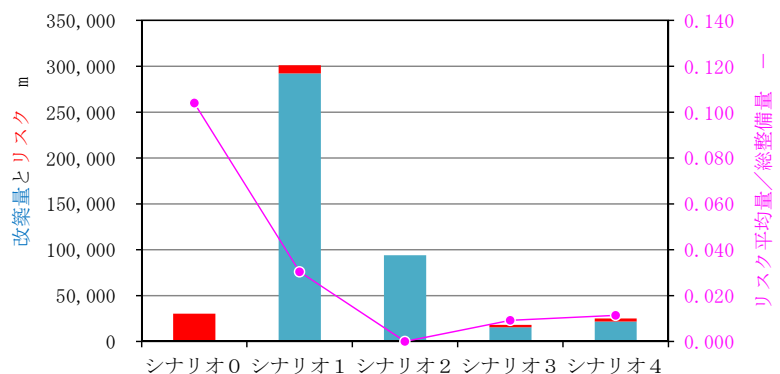


図-13 シナリオ別改築・リスク量と整備総量に対するリスクの比