

老朽化と地震による被害想定を一体的に考慮した ストックマネジメントの評価手法に関する一事例

(株)日水コン 下水道事業部 西部事業マネジメント部 ○安藤 哲也
事業統括本部 環境・資源部 川口 智也

管路施設を対象として老朽化と地震による被害（リスク）を一体的に評価した上で、最適な改築更新シナリオや点検調査方法を設定した。老朽化、地震ともに被害の大きさや発生確率を考慮して総合的に評価した結果、コストキャップの視点を導入することで、低コストで当面のリスク上昇を抑制するとともに、段階的な投資額の増加により、老朽化の進行に伴う将来の急激なリスク上昇も抑制できることが分かった。また、点検調査や計画見直しのサイクルについて、リスク評価結果を用いた定量的な検討を実施した。

Key Words : スtockマネジメント、リスク、定量化、コストキャップ

1. はじめに

全国の下水道管路施設は約 46 万 km(H27 末)に達し、今後は既存下水道施設（ストック）の計画的な老朽化対策が課題である。また、東日本大震災や熊本地震では下水道施設が甚大な被害を受けた。南海トラフ巨大地震の発生確率も上昇しており、地震への備えも早急の課題である。

現在の老朽化対策は、ストックマネジメント計画として施設の中長期的な緊急度（健全度）や事業量を勘案して、計画的な改築・更新が行われている。一方、地震対策は、総合地震対策計画として被災時の影響の大きさ等より設定した重要施設より優先的に耐震化が進められている。これら老朽化対策と地震対策は、各々で優先順位を設定して対策を実施している場合が多い。

管路施設に対する対策は、布設替えや管更生のように老朽化対策と耐震対策とで共通しているため、改築・更新と耐震化を総合的に勘案して、対策の優先順位を設定することが望ましい。本稿では、K市を対象として、管路施設について老朽化と地震による被害（リスク）を一体的に評価した上で、最適な改築更新シナリオや点検調査方法を設定した事例を示す。

2. リスクの定義

管路施設の対策優先順位を設定する指標として、老朽化対策では「ガイドライン」¹⁾で発生確率と影響度のマトリクスによる「優先度」が示されている(図1参照)。一方、地震対策では緊急輸送路下や防災拠点・広域避難所の排水先、被害率の高い路線を「重要度」で区分している。これら「優先度」や「重要度」は、リスクの一側面を示すものであり、定性的・相対的な指標といえる。

ここではリスクを被害の大きさと被害発生確率を乗じた延長あたりの被害額原単位で表現した上で合成して定量化する(図2参照)。

- 総合リスク=老朽化リスク+地震リスク
- 老朽化リスク=被害の大きさ(道路陥没時の被害額)
×発生確率(老朽化による道路陥没の発生確率)
- 地震リスク =被害の大きさ(被災時の被害額)
×発生確率(地震自体の発生確率×地震時の被害発生確率)

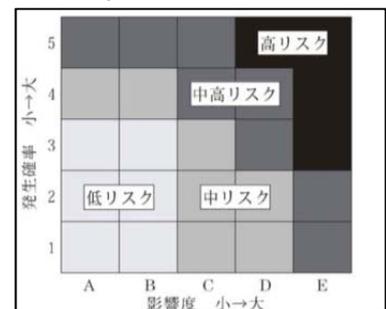


図1. リスクマトリクスのイメージ(定性評価)¹⁾

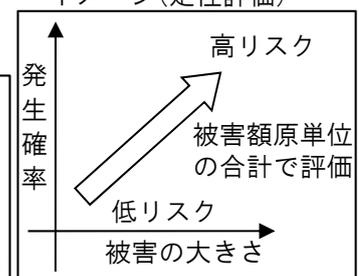


図2. リスク評価のイメージ(定量評価)

3. リスクの定量化方法

(1)被害の大きさ(老朽化、地震)

老朽化の被害の大きさは、老朽化による不具合や損傷が原因で道路陥没が発生した結果、①復旧に必要な費用、②復旧するまでの交通途絶に伴う費用、③周辺での営業損害費用を想定した。地震発生時の被害の大きさは、老朽化と同様に①②③を見込むが、③は下水道BCPでの応急復旧に要する期間が最大30日に及ぶことを考慮した(表1参照)。

表 1. 被害の大きさの算定結果

被害額算定項目	被害の大きさ	備 考
①復旧工事に必要な費用	■30万円/件	国土技術政策総合研究所資料 ²⁾ より
②交通途絶に伴う費用	■国・県道：1,132万円/件 ■市道：32.3万円/件	影響を受ける交通量、迂回による時間価値分、走行経費の増加分より1件あたり費用を算定。
③営業損害費用 (流下機能障害分)	■0.13万円/ha(老朽化) ■4.0万円/ha(地震) ※口径別の平均影響面積を基にスパン毎の値に換算。	治水経済調査マニュアル ³⁾ を参考に事業所の営業停止被害を計上。営業停止日数は老朽化1日、地震30日を想定。

(2)発生確率(老朽化)

管渠の老朽化に伴う道路陥没の発生確率は、経過年数と健全度・道路陥没の発生件数の関係より設定した。具体的な考え方を以下に示す。

■**健全度**:樹脂管とヒューム管に分けてマルコフ推移確率モデルによって推定した。樹脂管はK市実績を用い、実績がないヒューム管は「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 H25.9」⁴⁾の全国の調査事例を用いた。なお、スパン毎の健全度はマルコフ推移確率モデルで推定した構成比率を加重平均した平均健全度を採用した(図3参照)。

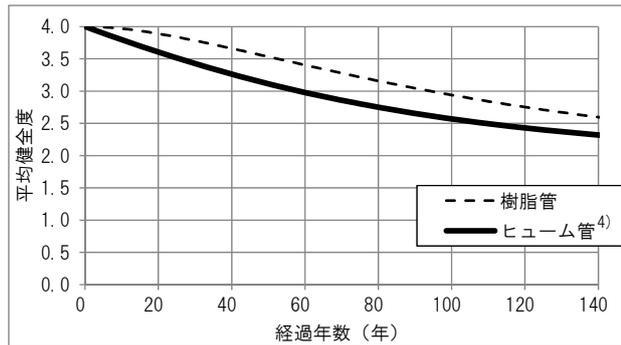


図 3. ヒューム管と樹脂管の平均健全度 (マルコフ推移確率モデルより)

■**道路陥没の発生件数**:国土技術政策総合研究所(以下、国総研という)において管路施設の経過年数と道路陥没発生頻度の関係式が作成されている(図5参照)⁵⁾。ただし管種別には分析されていない。このため、K市における経過年数と健全度の関係をもとに、国総研の関係式を「健全度と陥没発生頻度」の関数へ置換した(図4参照)。

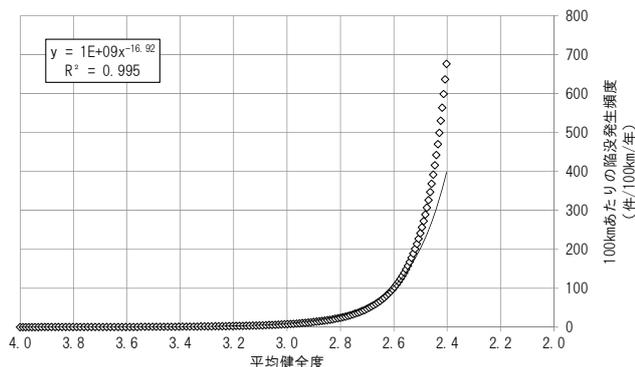


図 4. 平均健全度と道路陥没発生頻度 (図3、5を合成して作成)

ヒューム管、樹脂管の健全度をこの式に代入し、それぞれ経過年数と陥没発生頻度の関係を確認した結果、概ね国総研の作成式の基となる全国実測値の分布の範囲に入っているため、今回作成した関係式は概ね妥当と考えられる(図6参照)。作成した関係式での道路陥没の発生頻度は、健全度3.4で100kmあたり年間1件、健全度3.0で8件程度見込まれる結果となった。

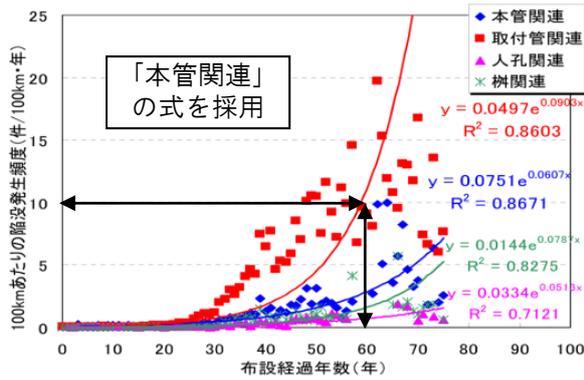


図 5. 経過年数と道路陥没発生頻度の関係 (国総研作成)⁵⁾

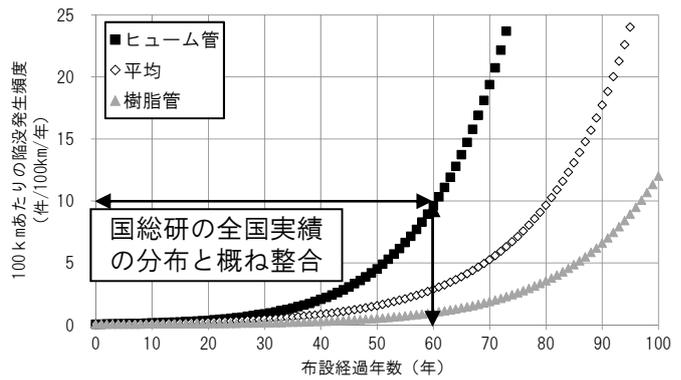


図 6. 経過年数と道路陥没発生頻度の関係 (図 4 より作成)

(3)発生確率(地震)

前述のように地震の発生確率は、地震自体の発生確率に地震時の被害発生確率を乗じることで算定する。具体的な考え方を以下に示す。

■地震自体の発生確率:K 市に影響を及ぼす活断層は複数あるが南海トラフ巨大地震の発生確率が際立って高く、震度も 6 強と大きい。このため南海トラフ巨大地震を想定して発生確率を設定した。南海トラフ巨大地震が今後 30 年間に発生する確率は「地震調査研究推進本部地震調査委員会」⁶⁾が提言しており、昭和地震からの経過年数が長ければ徐々に高くなるとされている(図 7 参照)。このグラフより今後 30 年間の地震が発生する確率から、当該年の発生確率を設定した(図 8 参照)。現状の地震発生確率は年 2.2%程度であるが、100 年後には概ね年 3%にまで上昇することが分かる。

■地震時の被害発生確率:地震が発生した際に管路施設の被害が発生する確率は、「平成 18 年度近畿圏における大規模地震による下水道被害とその影響に関する共同研究(以下、共同研究という)」⁷⁾で作成されている地盤・管種・震度・液状化の状況と被害率の関係式(図 9 参照)を用いた。

(4)リスクの定量化例

(1)~(3)の考えに基づき、K 市の平均健全度 3.9 のφ250 の樹脂管で、震度 6 弱の液状化地盤、県道下埋設を想定した場合のリスク定量化例を示す。

健全度が高い場合は、地震リスクの方が相対的にかなり高くなる傾向がわかる。

■総合リスク(2.06 万円/100m/年)=老朽化リスク(0.11)+地震リスク(1.95)

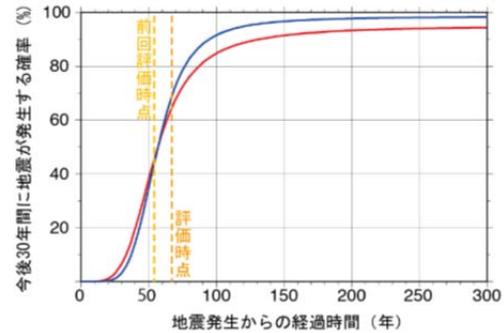


図 4-4 時間予測モデルによる今後 30 年以内に南海トラフで大地震が発生する確率の時間推移 橙色の破線は評価時点(2013 年 1 月 1 日)、山吹色の破線は前回評価時点(2001 年 1 月 1 日)を示す。確率分布として BPT 分布を使用し、ばらつきを表すパラメータ α の値が 0.24 と 0.20 の時の確率値の時間推移を各々赤線、青線で示す。

図 7. 南海トラフ巨大地震の発生確率 (地震調査研究推進本部地震調査委員会)⁶⁾

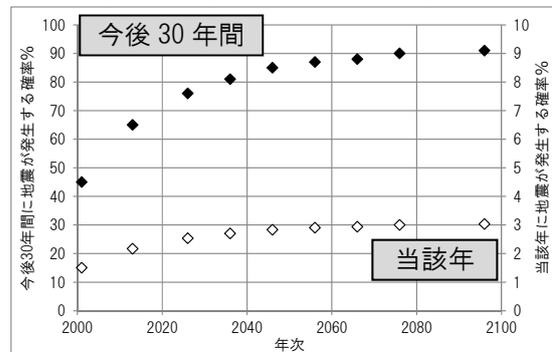


図 8. 南海トラフ巨大地震の発生確率 (図 7 から作成)

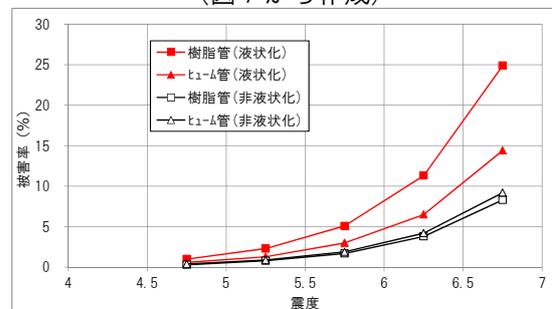


図 9. 管種・震度・液状化別の被害率 (共同研究より)⁷⁾

4. 現状のリスク評価結果

1 スパン毎の管渠諸元を用いて、K市の現状リスク(万円/100m/年)を評価した。K市は全管渠の約1割がヒューム管で残りが樹脂管であり、平均経過年数は約20年で管種による差は小さい。従来の改築更新の指標に近い老朽化リスクに地震リスクを加えたことで、以下の傾向が確認できた。

- ◇全管渠の平均リスクは、老朽化リスク 0.0004、地震リスク 0.0015 であり、地震リスクが高い。
- ◇管種別にはヒューム管 0.0078、樹脂管 0.0013 であり、ヒューム管の方が約6倍高い。
- ◇総合リスク 1.0以上は全体の8.6%が該当し、その殆どが地震リスクによるものである。
- ◇上記より、現状は老朽化対策よりも地震対策を優先することが望ましいことが確認できた。

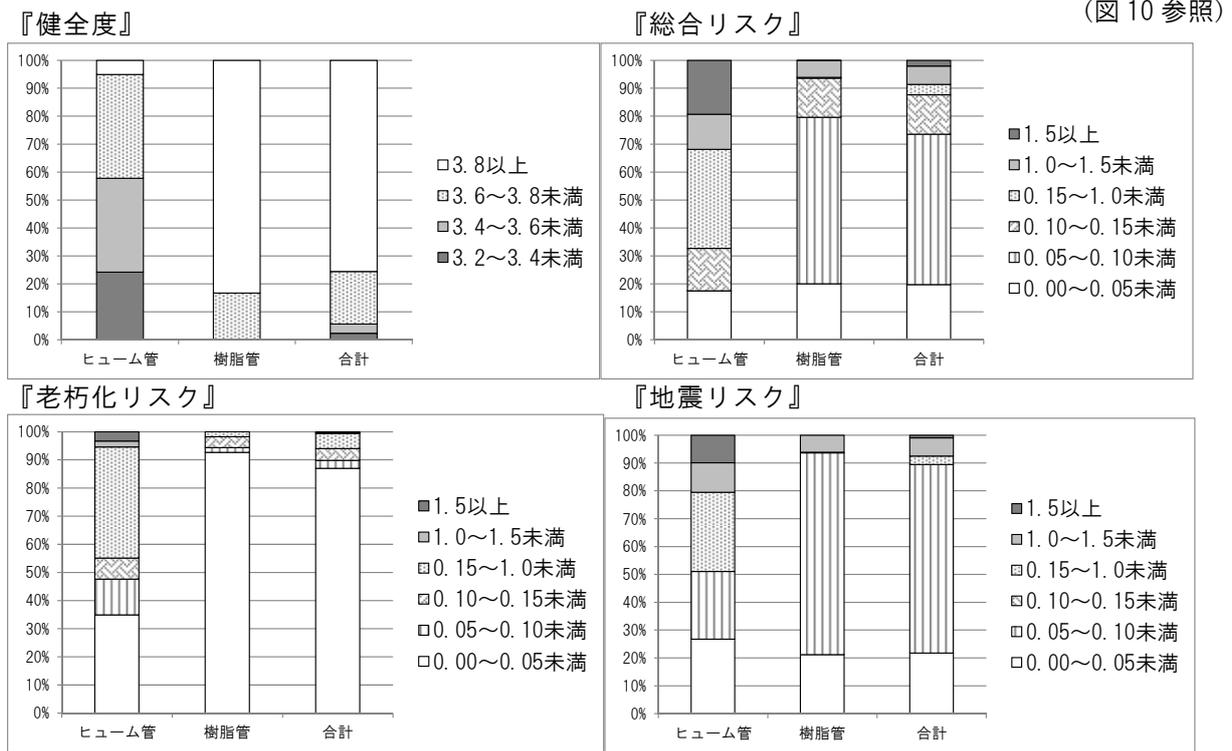


図10. K市における現状の健全度、各リスク評価結果(リスク単位:万円/100m/年)

5. 最適な改築更新シナリオの検討

管渠の改築更新は、総合リスクの上昇を抑制すると同時に、経営面より投資費用の抑制(コストキャップ)が必要である。このため無対策時、従来の長寿命化の観点である経過年数での更新シナリオ(50年、72年更新)に加えて、投資額を固定し、高リスクのスパンより対策を実施するシナリオ(年1億、1.5億、2億、5億円投資)を想定し、将来の健全度や総合リスクの推移を評価

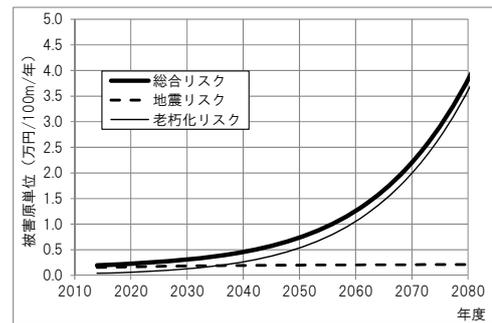


図11. 無対策時のリスクの推移

した。この結果、健全度だけの評価では判断できない以下のような傾向を確認することができた。

- ◇無対策の場合、2035年までは地震リスクが高く、その後老朽化リスクが高くなる(図11参照)。
- ◇経過年数での更新は、長期的に健全度は改善するが当面の総合リスクの上昇を抑制できない。
- ◇投資額を固定した場合は、健全度は低下し続けるものの年1.5億円程度の投資で当面の総合リスクの上昇を抑制することができる。ただし老朽化の進行する約30年後よりリスクが急激に上昇する。(図12,13参照)

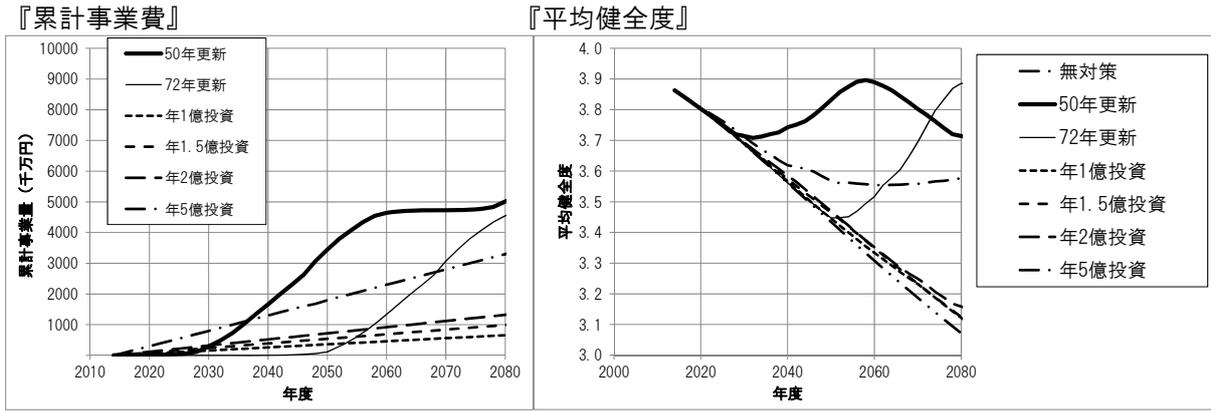


図 12. 各シナリオの累計事業費と平均健全度の推移

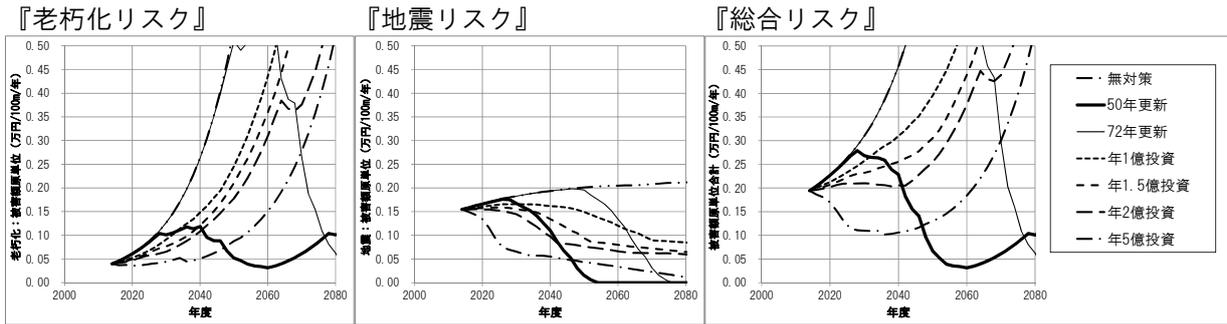


図 13. 各シナリオのリスクの推移

上記検討結果に加え、段階的投資の有効性と B/C 順での対策の有効性を確認した上で、最適な改築更新シナリオを次のように設定した。

『改築更新の採用シナリオ』

経営面へ配慮した上で当面のリスク上昇を抑制するために、年間 1.5 億円の事業費を上限とする(コストキャップ)。ただし 2051 年からは老朽化による急激なリスク上昇を約 20 年遅らせるために年間 5.0 億円へ上限を変更する。また、当面のリスク上昇をさらに抑制するために、高リスク順ではなく、費用対効果(B/C)の高い路線より優先的に対策を実施する(図 14 参照)。

※B/C：(無対策時の累計被害額－各対策時の累計被害額)／各対策時の累計費用

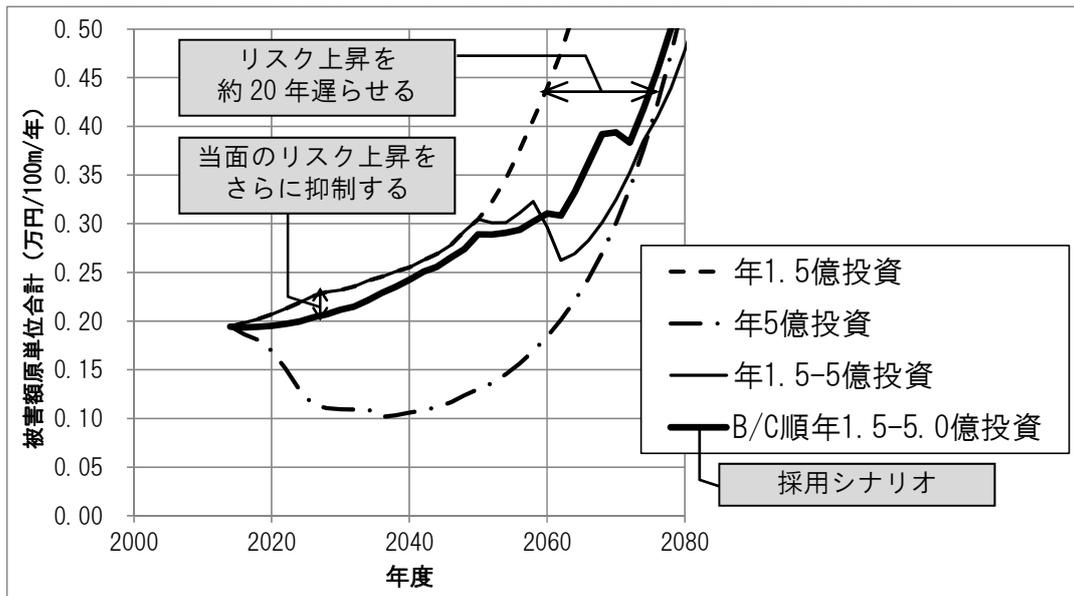


図 14. 各シナリオと採用案の総合リスクの推移

6. リスクに基づく点検調査計画の策定

K市の総管渠延長は約500kmにも及ぶため、点検調査として全ての管渠に対してTVカメラ調査を実施することは時間と費用の両面で困難である。このため、本検討で評価した総合リスクの高い管渠から優先的かつ詳細に点検調査を実施する方針とした。具体的には、全体リスクの6割を占める高リスク管は10年に1回のTVカメラ調査を、全体リスクの2割を占める中リスク管は20年に1回の管口カメラ調査を実施する方針とした。残りの低リスク管は事後保全とした(図15参照)。なお、TVカメラや管口カメラの実施頻度の設定には、点検調査費用や健全度が低い管渠を調査で発見できる確率も考慮している。

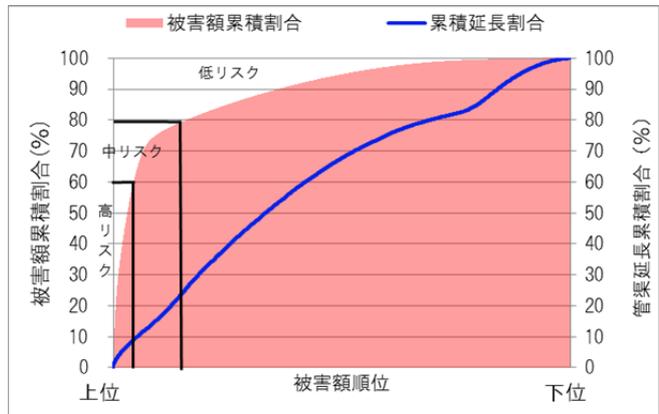


図15. 総合リスク(被害額)順の累積管渠延長割合

7. 適正な計画見直しサイクルの評価

総合リスクは、ストックマネジメント計画における点検調査、改築更新の優先順位設定の根幹となるものであり、定期的な見直しが必要である。ただし、総合リスクや対策優先順位の見直しを行うには、ある程度の実績調査データの蓄積が必要となる。本検討では、対策優先順位を見直ししない場合と、20年後に見直しを行った場合の総合リスクの推移を比較した結果、短期の対策実施順位には殆ど影響しないが、長期的には最低でも20年に1回の見直しが必要であることを定量的に確認し、定期的な計画見直しを位置付けた。

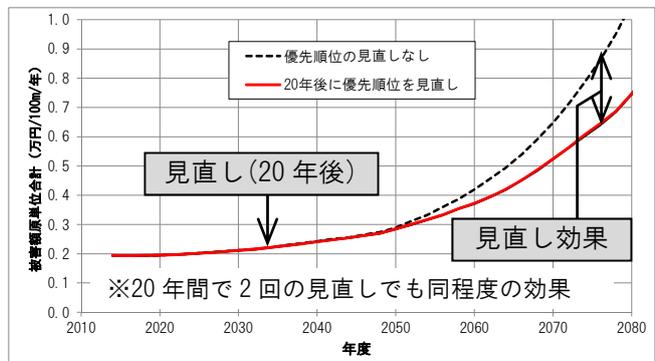


図16. 見直しの有無と総合リスクの推移 (B/C順で年1.5億円投資シナリオを想定)

総合リスクの推移を比較した結果、短期の対策実施順位には殆ど影響しないが、長期的には最低でも20年に1回の見直しが必要であることを定量的に確認し、定期的な計画見直しを位置付けた。(図16参照)

8. おわりに

老朽化と地震による被害想定を一体的に評価して、効率的な改築更新方法や点検調査方法、計画見直しサイクルの検討手法を構築するとともに、以下のような知見を得ることができた。

◇従来の経過年数や健全度を基準とする更新方法ではなく、コストキャップの視点を導入することで、低コストで当面のリスク上昇を抑制することができる。

◇段階的な投資額の増加により、老朽化の進行に伴う将来の急激なリスク上昇も抑制できる。

◇点検調査や計画見直しのサイクルについてリスク評価結果を用いることで定量的に検討できる。

今後は、リスク評価の精度を自治体の特性を踏まえて向上させるため、TVカメラや道路陥没実績を蓄積するとともに、被害額の算定方法の妥当性やリスク評価結果に与える感度を確認し、定期的に被害予測モデルを更新することが重要である。

<参考文献>

- 1) 下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015年版-/平成27年11月/国交省、国総研
- 2) 国土技術政策総合研究所資料/下水道管路施設に起因する道路陥没の現状(2006-2009年度)/平成24年2月
- 3) 治水経済調査マニュアル/平成17年4月/国交省
- 4) スtock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 H25.9
- 5) 下水管きょのストックマネジメント-劣化曲線とリスク管理-/国総研 榊原隆
- 6) 南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)/平成25年5月/地震調査研究推進本部地震調査委員会
- 7) 平成18年度近畿圏における大規模地震による下水道被害とその影響に関する共同研究/平成19年3月/下水道新技術推進機構