# 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－

下水道研究部　下水道研究室長

榊原　　隆

# 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－

下水道研究部下水道研究室長　榊原　隆

## １．　はじめに

明治時代の富国強兵政策等による急速な産業発展や人口集中は、大雨時の浸水被害をもたらせ、滞留汚水によるコレラなどの伝染病を流行させた。我が国の近代下水道は、それらの社会的問題の防止策として整備が開始されたのが初めである。中でも東京、横浜、名古屋、大阪などといった大都市では先進的に下水道整備が進められ、明治 14 年（1881 年）には横浜で、明治 17 年（1884 年）には図－1 に示す東京神田で下水管きょの築造が始められている。しかしながら当時の衛生環境整備面では、下水道よりも上水道の方が優先され、全国的に下水道の整備が本格化してきたのは昭和 30 年代から 40 年代に入ってからとなっている。それ以降、我が国の下水道事業は急速な整備向上によって、今や平成 19 年度末の普及率が 71.7%、管きょ延長が約 40 万 km 以上に達するようになり、生活環境の改善、浸水防除、公共用水域保全等に大きな寄与を果たす社会資本となっている。[1)]

このような状況の中、近年、社会資本の老朽化問題が顕在化している。下水道分野についても図－2 に示すような下水管に起因した道路陥没事故が年間 4,700 件も発生しており、大きな問題としてクローズアップされている。下水管起因の道路陥没事故は、管きょ破損といった大規模なものに至ると、下水の収集や排水といったシステムに支障をきたすだけでなく、場合によっては人命や道路交通等により重大な影響を及ぼすおそれが懸念される。しかしながら、その防止策の一つである管きょ内調査に関しては、構造の特性上、十分な点検や調査が実施されていないのが現状である。したがって道路陥没等の不具合被害を未然に防止するためには、地中に埋設されている下水管の状況をいかにして的確に把握し、改築や修繕計画等を策定すべきかが、将来の下水道事業にとって重要課題となっている。

図－1　レンガ積み暗きょの神田下水 [2)]

図－2　道路陥没発生状況 [3)]

本研究室では、このような問題の解決策として、管きょに関する実態を全国調査により把握し、その調査データを活用するこ

とでストックマネジメント導入に関する調査研究を平成 18 年度から実施している。

本講演では、まず我が国の下水管きょを取り巻く状況、ストックマネジメントの導入に際しての課題と下水道分野の動向を示す。次に本研究室における調査研究の取り組み事例を紹介する。取り組み事例としては、改築・修繕等の計画策定に資するマクロ的なストックマネジメント手法のうち、将来事業量の予測等に必要な劣化曲線の作成手法を紹介する。さらにミクロ的な手法としては、リスク最小化を考慮した事業優先順位の決定に関する調査研究の一端を紹介する。

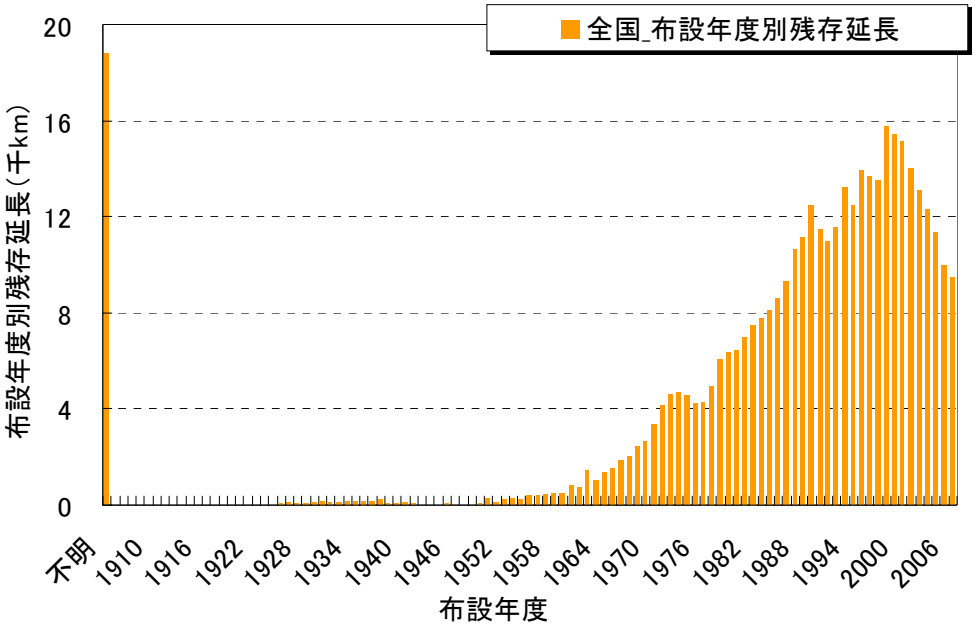
## ２．　我が国の下水管きょを取り巻く状況

ストックマネジメント導入に向けた観点から、近年の我が国における下水管きょを取り巻く現状を整理すると、以下の項目が挙げられる。

### ２．１　管きょストック量の増大と布設年度別延長の片寄り

図－3 は、平成 18 年度末時点における全国の布設年度別管きょ延長である。これは、平成 18 年度末時点で埋設されている管きょ延長を残存延長として表し、本研究室が布設年度別に整理したものである。

グラフをみると、平成 18 年度末時点で埋設されている管きょは、昭和 35 年度（1960 年度）あたりから増加傾向となり、近年では、平成 10 年度（1998 年度）をピークに減少している。また布設年度が不明な管きょを除いて、経過年数 30 年以上（1977 年度以前）と 30 年未満（1978 年度以後）の残存延長を分類すると、30 年以上が 51,332 km、30 年未満が 323,734 kmとなっており、30 年未満の管きょが全残存延長の 86.3%を占める状況となっている。

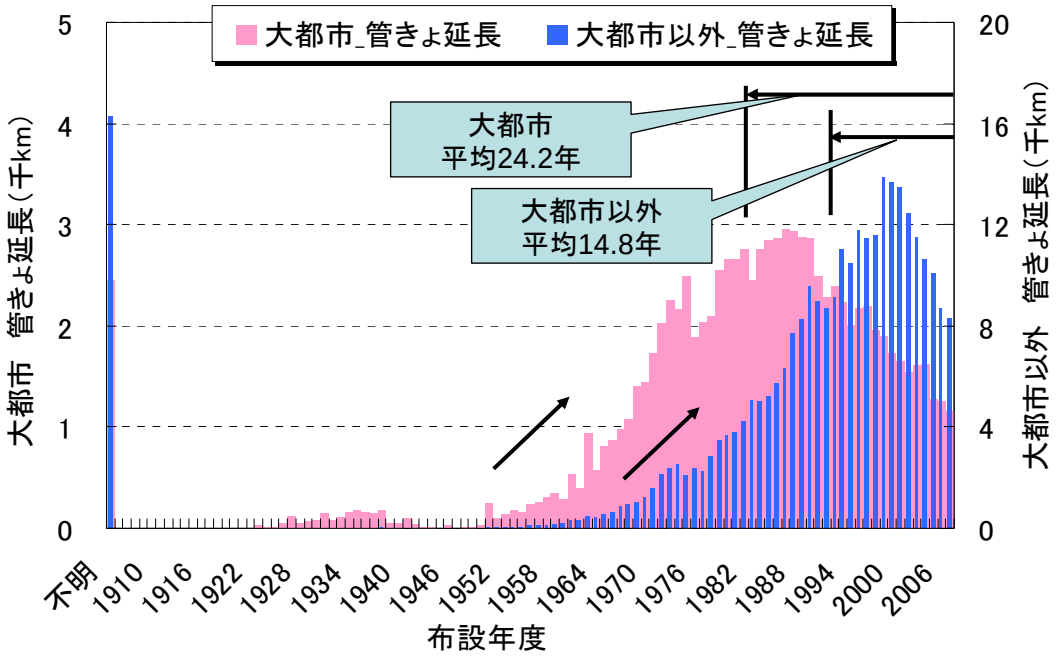



図－3　平成 18 年度末時の管きょ延長

一方、図－3のグラフを大都市と大都市以外の都市に分類すると、図－4のグラフになる。なお大都市とは、政令指定都市と東京23区を合わせた都市である。

グラフに着目すると、先進的に下水道整備を実施している大都市は、大都市以外の都市よりも年度別延長のピークが早いことがわかる。さらにそれらを平均経過年数で比較すると大都市が24.2年、大都市以外が14.8年となっており、約10年の差が生じることが明らかになる。

この結果、管きょのストック量が増大する中で布設年度別の延長に着目すると、年度によって大きく異なり、管きょ整備事業に対する片寄りが把握できる。また布設経過30年未満の管きょが30年以上よりも多く占めていることから、今後、管きょの老朽化が進むにつれて、将来の改築事業等における予算確保に大きな課題を与えることが推察される。特に大都市においては、平均経過年数が24.2年になっていることから、既に都市全体において老朽化が進みつつあり、課題解決に向けた取り組みが急務になっている。



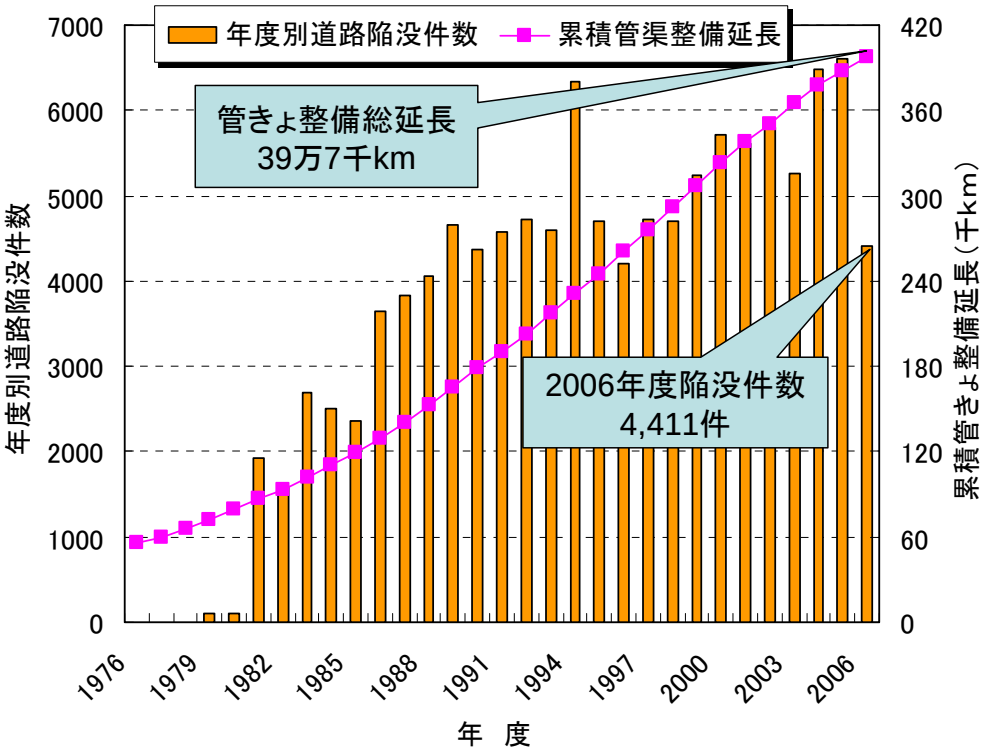

図－4　平成18年度末時の都市規模別管きょ延長

## ２．２　増加する下水管起因の道路陥没

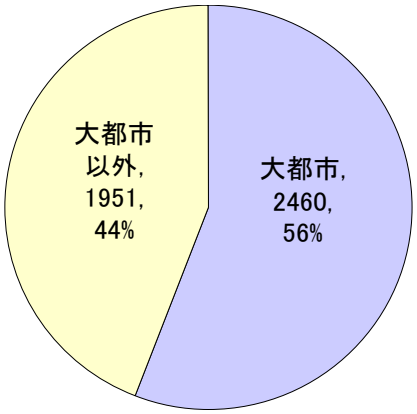
図－5 に管きょ整備延長累計と各陥没発生年度別の道路陥没件数の関係を示す。

グラフをみると、管きょ整備延長の増加に伴い道路陥没も増加する傾向を示しており、平成 18 年度（2006 年度）での発生件数は約 4,400 件になっている。さらに平成 19 年度（2007 年度）では約 4,700 件という集計結果を得ている。

この結果は、地震の被害状況によって多少の件数が異なるが、長期経過による老朽化が影響していることが考えられる。殊に大都市と大都市以外の件数を図－6 で比較すると、大都市の陥没件数は全体の 56%を占めており、前述の図－4 の平均経過年数を考慮すると、老朽化が大きく影響していることが推察される。




図－5　管きょ整備延長累計と各陥没発生年度別の道路陥没件数




図－6　平成 18 年度に発生した都市規模別の道路陥没件数

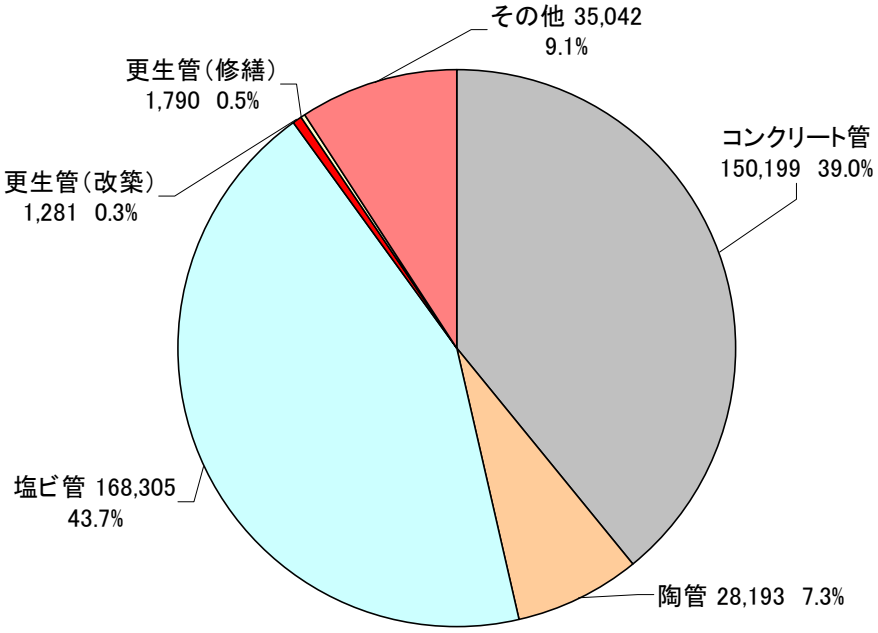
## ２．３　布設された時期によって異なる管種

図－7 に平成 17 年度末時点で埋設されている管きょの管種の割合を示す。

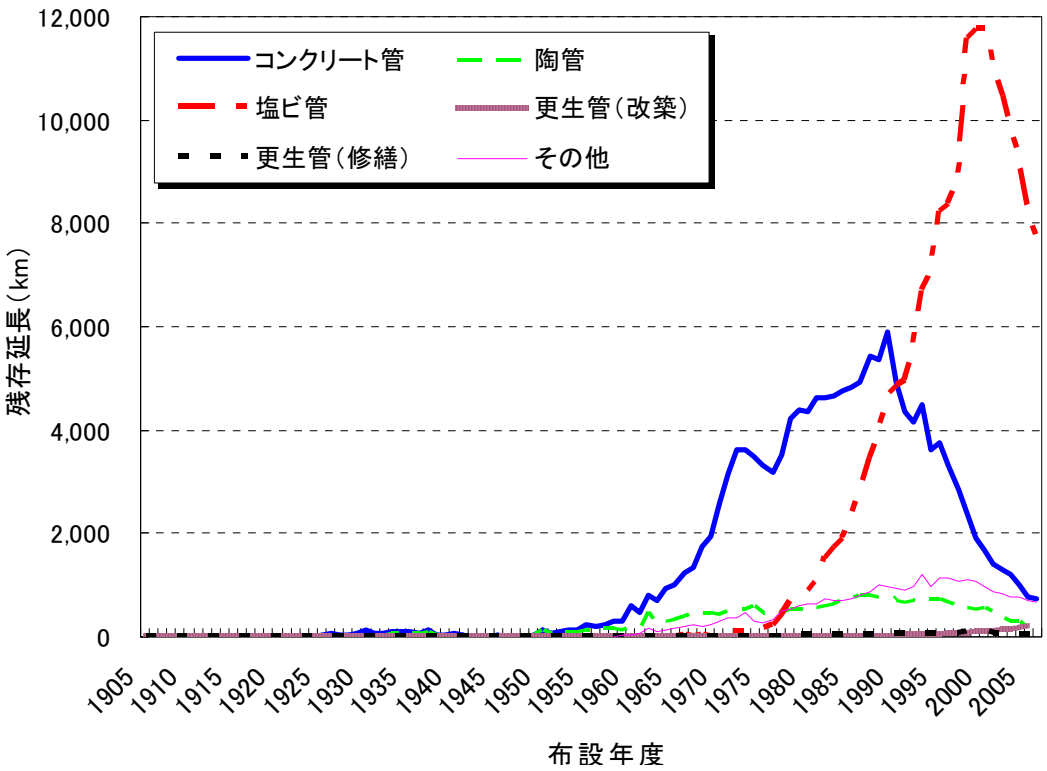
管種の割合は塩ビ管が 43.7%で最も多く、続いて鉄筋コンクリート管を含むコンクリート管の 39.0%、陶管の 7.3%となっている。これらの状況を詳しく把握するために、図－3 の残存延長を管種別に整理した結果を図－8 に示す。

管種ごとのグラフに着目すると、平成元年度（1989 年度）まではコンクリート管における単年度ごとの残存延長が多く占め、その時の延長は 5,884km になっている。それ以降になるとコンクリート管が急速に減少し、その代わりに塩ビ管の残存延長が伸びる傾向となっている。平成 2 年度（1990 年度）では、コンクリート管と塩ビ管の延長が逆転し、その時の塩ビ管の最大延長は平成 11 年度（1999 年度）で 11,762km になっている。

この結果、16 年以上経過の場合はコンクリート管が最も多く占め、16 年未満は塩ビ管が最も多く占めていることが把握できる。そのため下水管きょは、布設された時期により管種が異なり、それらを踏まえた対策や将来の事業計画が必要と考えられる。




図－7　平成 17 年度末時点の埋設管きょの管種割合




図－8　平成 18 年度末時の管種別管きょ延長

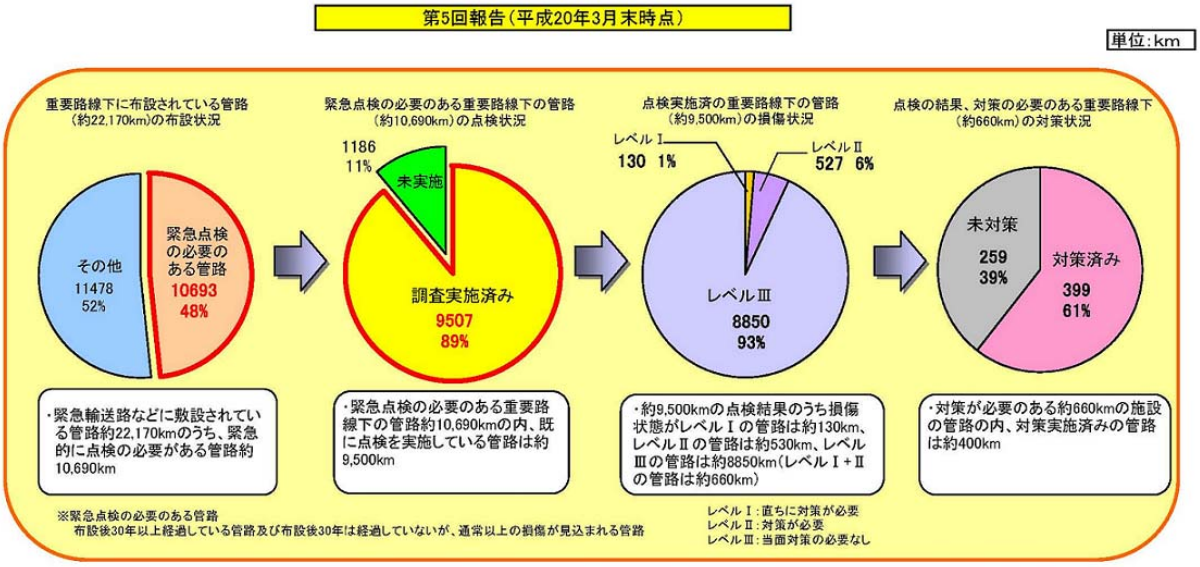
## ２．４　点検調査が進まない管きょの維持管理 [4) 5)]

本省下水道部では、平成 18 年度より重要路線下に埋設されている管きょを中心に点検調査結果を公表している。ここでいう重要路線とは、軌道、災害対策基本法及び同法に基づく地域防災計画に位置付けられた緊急輸送路（車道部）及び避難路（車道部）である。平成 20 年度の公表結果を図－9 に示す。

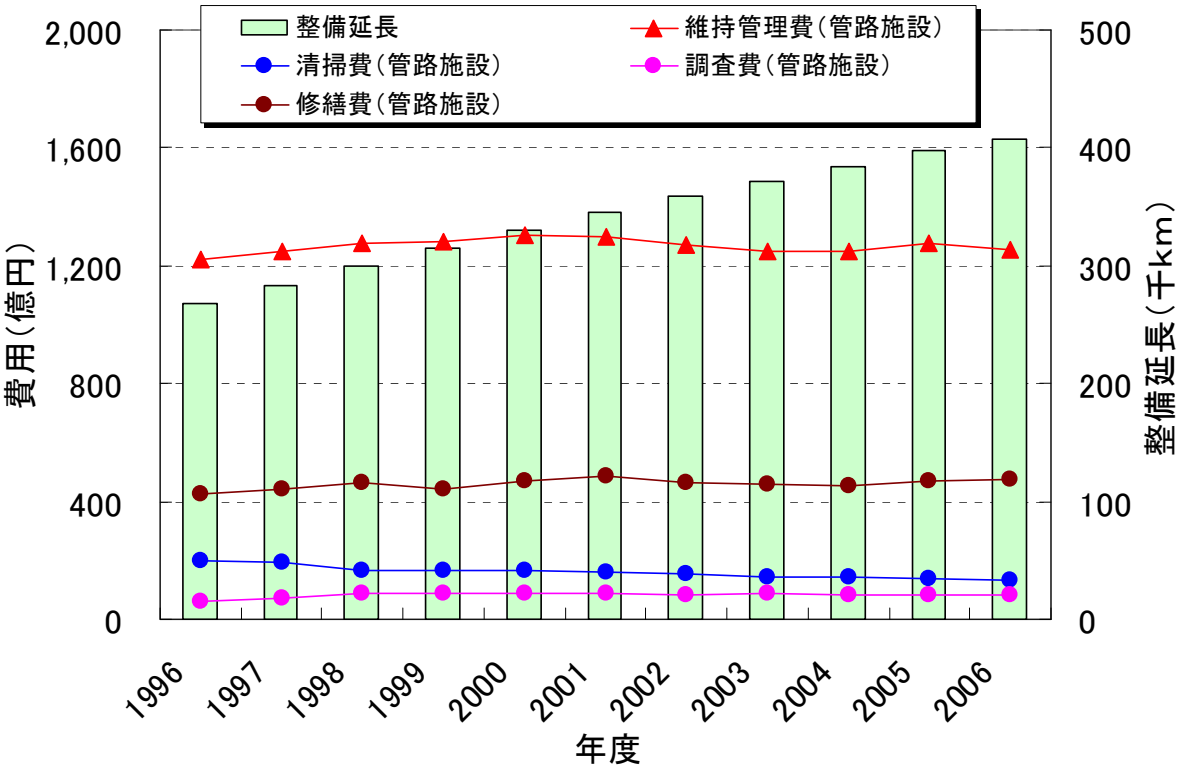
緊急輸送路などに布設されている管路の約 22,170km のうち、緊急的に点検の必要がある管路は、約 10,690km となっている。そのうち、既に点検を実施している管路は 9,507km である。また、これらの実施済み結果を緊急度で評価すると、直ちに対策が必要なレベルⅠは 130km、対策が必要なレベルⅡの管路は 527km、当面対策の必要なしのレベルⅢの管路は 8,850km となっている。このため、対策の必要のある管路の 660km に対して 260km が未対策となっており、結果として 39%が未対策になっている。したがって、重要路線に限定しても十分な調査が実施されていない状況になっている。

次に下水道統計からまとめたデータとして、近年の維持管理費用を図－10 に示す。管きょの整備延長が増加しているにも関わらず、維持管理費、調査費、修繕費は横ばい状況であり、一方、清掃費は、むしろ減少傾向になっていることがわかる。その理由として、維持管理費の財政逼迫が下水道管理者側に影響を与えていることが考えられ、結果として道路陥没の増加という悪循環が生じていることが推察される。また、このような財政逼迫は将来も続くことが懸念されるため、厳しい財政状況の中でも効率かつ効果的な維持管理により道路陥没を減少させて

いくことが必要になってきている。




図－9　重要路線下の管路点検状況（平成 20 年度 3 月）[4)]




図－10　管路施設の維持管理費の状況 [5)]

## ３．　ストックマネジメント導入に際しての課題と下水道分野の動向

### ３．１　ストックマネジメント導入に際しての課題

以上述べてきた下水管きょを取り巻く状況を踏まえて、ストックマネジメントの導入に際しての課題を考えると、以下の項目が挙げられる。

① 管きょストック量は増大傾向にあり、急速な整備により布設年度別延長には片寄りがある。また布設経過年数 30 年未満の管きょは、全残存延長の 8 割以上を占めるものの老朽化が進むにつれ、将来の改築事業等の予算確保に大きな課題を与えることから、効果的な解決策が望まれる。

② 下水管起因の道路陥没は、長期使用の老朽化により増加傾向にある。とりわけ大都市の道路陥没件数は全体の 56%を占めており、平均経過年数からも老朽化が影響していることが推察される。下水管きょにおける施設の安全性や良好な状態を維持するには、点検調査等により、あらかじめ予測を行って改築、修繕に結び付ける未然対策が必要である。

③ 埋設されている管きょの管種は、布設された時期によって異なる。そのため、老朽化に対する傾向も異なることが懸念される。それぞれの管種に応じた対策や事業計画を検討することが必要である。

④ 近年の管きょの維持管理費は、ストック量の増大や道路陥没件数の増大にも関わらず横ばい傾向にある。この傾向は、維持管理費に対する財政逼迫が要因として考えられ、将来も続くことが懸念される。効率かつ効果的な維持管理の実施には、リスク最小化を考慮した優先度を見極めた事業計画が必要である。

### ３．２　ストックマネジメント導入に対する下水道分野の動向

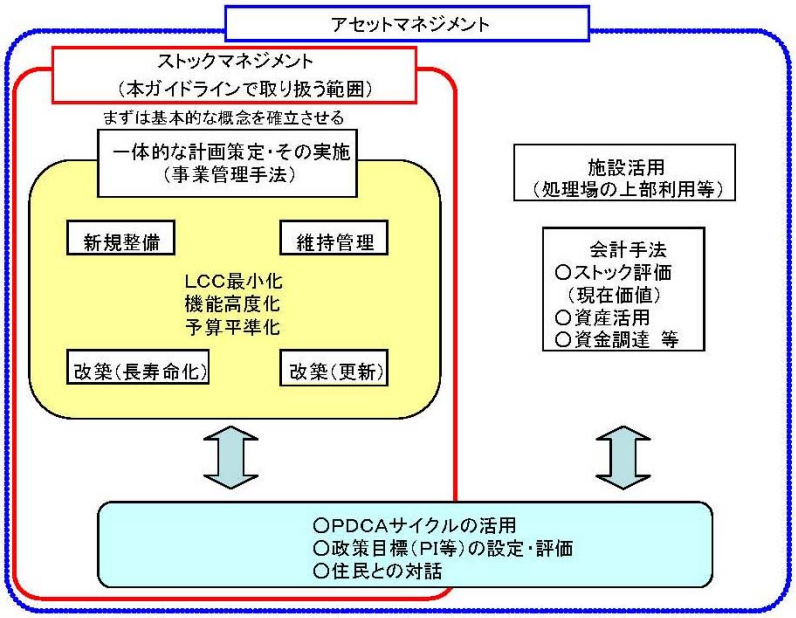
下水道分野の動向としては、本省下水道部が平成 19 年度末に「下水道事業におけるストックマネジメントの基本的な考え方（案)」を下水道事業におけるストックマネジメント検討委員会の成果として取りまとめた。さらに、「下水道長寿命化支援制度に関する手引き（案)」についても取りまとめ、平成 20 年度からは「長寿命化支援制度」を創設している。その概要を以下に紹介する。

#### ３．２．１　下水道事業におけるストックマネジメントの基本的な考え方(案)[3)]

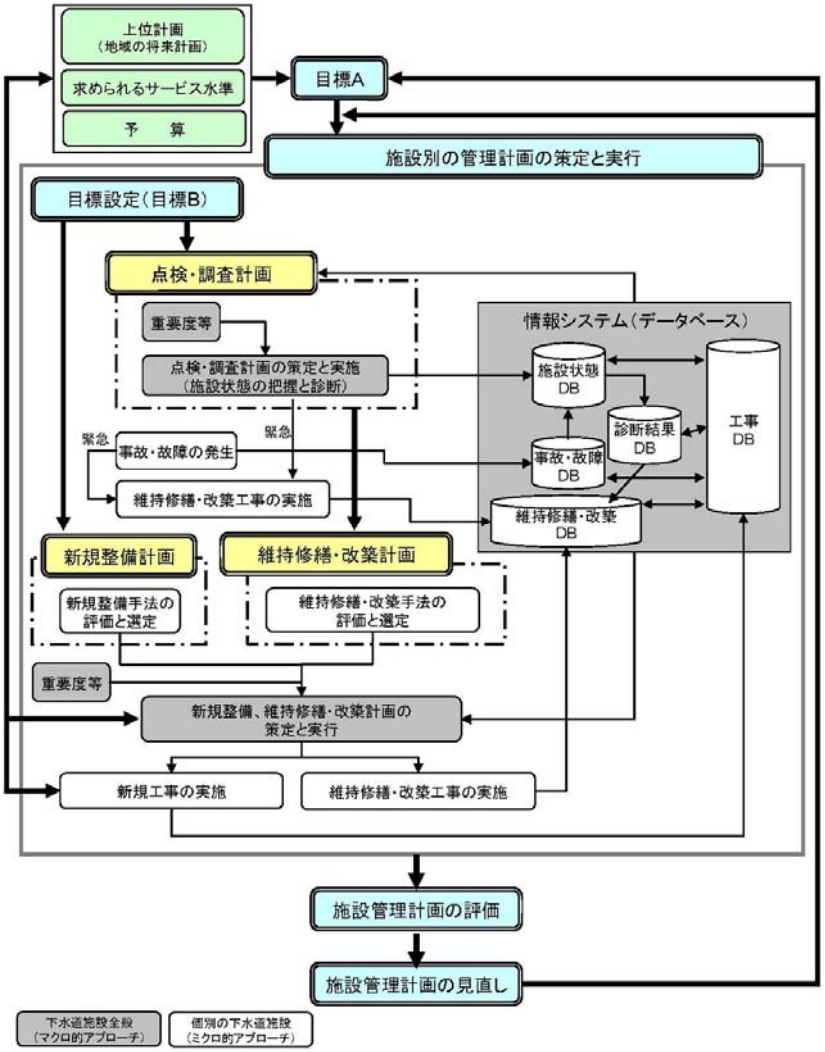
図－11 に下水道事業におけるストックマネジメントで取り扱う範囲を示す。

現時点における検討委員会の取りまとめでは、アセットマネジメントに発展させるための重要な土台部分の検討を重視している。具体的には、「膨大な施設の状況の把握」、「中長期的な施設状態の予測」、「下水道施設の計画的かつ効率的な管理」を目的とし、新規整備、維持管理、改築を一体的に捉えて、事業の平準化とライフサイクルコストの最小化を実現していくことを考えている。

図－12 に実際の作業フローを示す。実際の作業は、主に「下水道事業の目標設定」、「施設管理計画の策定と実行」、「施設管理計画の評価と見直し」等を実施することである。施設管理計画の目標期間は最長 20～30 年間程度（長期）とし、計画は原則として 5 年程度ごとに見直すことになっている。特に当初の 5 年間程度（短期）は詳細な計画を策定することにしている。




図－11　下水道事業におけるストックマネジメントで取り扱う範囲 3)




図－12　下水道事業におけるストックマネジメントの作業フロー 3)

### ３．２．２　長寿命化支援制度の創設[6)]

「下水道長寿命化支援制度」は、下水道施設の健全度に関する点検・調査結果に基づき「長寿命化対策」に係る計画を策定するとともに、当該計画に基づき長寿命化を含めた計画的な改築を行う。そして、事故の未然防止及びライフサイクルコストの最小化を図ることを目的としたものである。「長寿命化対策」とは、更生工法あるいは部品（「改築通知」に定める小分類未満の規模）取り替え等により既存ストックを活用し、耐用年数の延伸に寄与する行為である。長寿命化支援制度の申請に必要となる計画策定概要とライフサイクルコスト縮減額の考え方は以下に示す。

**(1)　長寿命化計画策定の概要**

① 補助対象；計画的な改築を行うための点検・調査に対する補助
　　「下水道長寿命化計画の策定に対する補助
　　「下水道長寿命計画」に基づく計画的改築に要する費用に対する補助

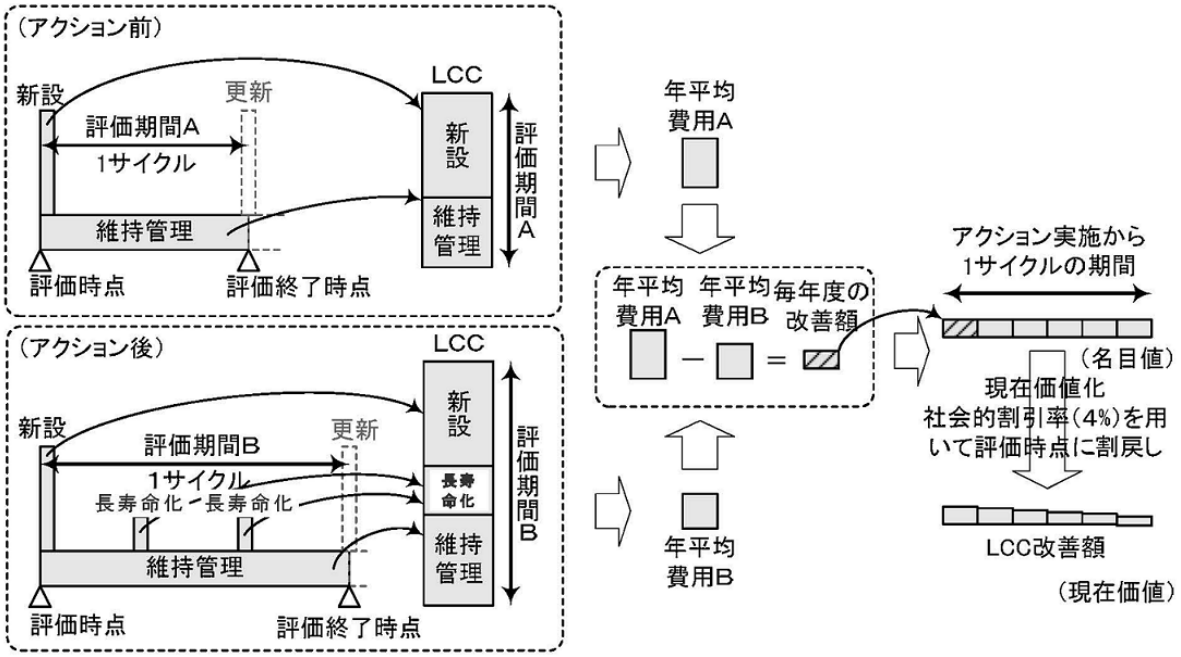
② 計画期間；概ね 5 年以内

③ 策定単位；下水道機能を確保するための一体的な範囲を対象

④ 定めるべき事項；
　　対象施設及びその選定理由
　　点検調査結果の概要及び維持管理の実施状況
　　計画期間
　　長寿命化対策を含めた計画的な改築、維持管理の概要
　　長寿命化対策の実施効果（ライフサイクルコスト縮減額）

**(2)　ライフサイクルコスト縮減額の考え方**

図－13 にライフサイクルコスト縮減額の算出方法を示し、以下に手順を述べる。




図－13　ライフサイクルコスト縮減額算出方法[6)]

① アクション前の評価期間及びアクション後の評価期間を設定する。
② 評価期間内に発生するライフサイクルコストを計算し、アクション前後の年平均費用を算出する。
③ アクション後の年平均費用からアクション前の年平均費用を差し引くことにより、毎年度の改善額を算定する。
④ 毎年度の改善額を評価時点に社会的割引率を用いて割り戻した上で累計し、ライフサイクルコストの改善額を算定する。

## ４．　下水道研究室におけるストックマネジメント研究の取組み

以上のように、下水道分野におけるストックマネジメント導入検討は、新事業制度の創設等を契機に進みつつある。しかしながら、前章で示した課題に向けての検討は、具体的に進められていないのが実情である。本研究室では、管きょ延長に関する全国調査や道路陥没に関する全国調査、管きょ劣化状況による診断調査を展開し、課題解決に視点をおいた調査研究を進めている。ここでは、本研究室におけるストックマネジメントの考え方を示し、具体的な調査研究項目等を説明する。

### ４．１　目指すべきストックマネジメントとは何か？

ストックマネジメント導入に際しての課題解決を図るために、本研究室では次の４つの項目を調査研究の目標として考えている。

① 施設状態を「健全度」として定量的に把握し、施設の安全性の確保や良好な施設状態の維持を可能にさせる。
② 良好な施設状態を維持しながら、施設全体に対するライフサイクルコストの最小化を図り、合理的な改築・修繕等の計画策定を可能にさせる。
③ 予算の平準化や優先度を考慮した事業計画を策定することで、財政制約下での下水道事業経営の健全化を実現させる。
④ 新規整備・維持管理・改築更新を一体的に捉えたストックマネジメント手法により、地域住民に対して明確な説明責任を果たすことを実現させる。

### ４．２　導入に向けて必要な検討項目は何か？

これらの目標達成のためには、次の３つの検討項目が必要である。

① 管きょ施設状況を把握するために必要な管きょデータ、道路陥没データ、TVカメラ調査データといったデータベースの構築と蓄積を図ること。
② 将来事業費の確保を念頭に置いた財政視点の中長期計画を策定すること。
③ リスク最小化による事業優先度を念頭に置いた施設維持視点の中長期計画を策定すること。

特に②においては、将来に向けた新規整備予測、管きょ健全度（劣化）予測、改築・修繕投資予測を検討することで、将来の事業費を予測する必要があると考えている。さらにライフサイクルコストの最小化、事業費の平準化を考慮した計画が策定できるような検討を進めることも重要と考えている。③に関しては、限

られた予算制約の下で重大事故や不具合を未然に防ぎ、優先度を的確に見極めた改築・修繕計画を策定できるような検討が重要と考えている。

### ４．３　導入検討に向けての問題点と解決策

このように本研究室では、３つの検討項目に向けた調査研究を進めているが、実施に当たっては以下の問題点も考えられる。

一つ目は、**「膨大な延長の管きょをどのように調査するのか？」**ということである。現在、全国に埋設されている下水管きょ延長は約 40 万 km ある。これをマンホール間延長のスパンで換算すると、約 1,300 万スパンになる。また現在の下水道管理団体は、約 1,500 団体が事業を実施している。したがって 1 団体あたりに換算すると、約 8,900 スパンを管理しているということになる。そのため、地中にある膨大な延長の管きょを定期的に調査するには困難な状況と考えられる。

二つ目は、**「スパンごとの健全度状況をどのように把握するのか？」**ということである。下水管きょが埋設されている地中では、上水道・電気・ガス・電話等の地下埋設物も競合して設置されている。そのため、他工事等の予期しない外力によって突然破壊される場合がある。一方、下水管きょの劣化進行は埋設環境によっても異なる。このような場合、仮に劣化状況を事前に把握できても、スパンごとの残寿命や健全度の予測、ライフサイクルコストの予測は困難と考えられる。

三つ目は、**「管きょ内調査における診断誤差をどのように解決するのか？」**ということである。現在、管きょ内調査のほとんどは、ＴＶカメラ調査によって実施されている。この調査に使われているＴＶカメラは、年々、技術の向上が図られている。そのため開発時期により画質の差異が生じ、これらの映像比較は劣化判断の誤解を招きやすくなっている。また画質による劣化判断は、オペレーターによっても誤差が生じやすい状況になっている。

このような状況の中、本研究室は、ストックマネジメントの導入検討に際しては、個々の管きょスパン単位での残寿命や健全度の評価や予測、ライフサイクルコストの予測は困難であると判断した。その代わりに健全度評価や予測、ライフサイクルコストの予測はマクロレベルで考え、**財政視点によるストックマネジメント**の検討に役立てることと考えた。さらに個々の管きょスパンは、**リスクの最小化を考慮した事業優先度視点のストックマネジメント**検討に役立て、ミクロレベルの考えに活用した。

### ４．４　下水道研究室における調査研究項目

以上の考えのもと、本研究室では財政視点によるストックマネジメントに役立てる調査研究項目として、将来事業費予測に活用する平均劣化曲線の検討を進めた。具体的には、

① 管きょ延長に対して改築を必要とする不具合延長は、現在、どの程度あるのか？
② 今後、どのような割合で増えていくのか？
③ 改築・修繕が必要な距離は、毎年、どのくらいなのか？

といった将来事業計画を立てるために必要な平均劣化曲線である。

また、リスク最小化を考慮した事業優先度視点のストックマネジメントに役立

てる調査研究項目としては、不具合リスク評価ツールの検討を進めた。
具体的には、
④ どこから管きょ調査や改築、修繕を進めていくのか？
⑤ どこの管きょが不具合を生じやすいのか？
⑥ 道路陥没といった不具合事故の被害規模は、どのぐらいの大きさなのか？どのくらいの被害金額なのか？
といった限られた予算枠での事業優先度計画を立てるために必要な評価ツールである。

## ５．　下水道研究室における調査研究成果の紹介

財政視点のストックマネジメントに役立てる平均劣化曲線に関しては、管きょ内調査データを用いた劣化曲線、管きょ延長データを用いた生存曲線を作成することによって調査研究を進めた。また、リスク最小化を考慮した事業優先度視点のストックマネジメントに役立てる不具合リスク評価ツールは、不具合リスク点数計算表、道路陥没によるリスク評価の検討により調査研究を進めた。その調査研究成果の一端を以下に紹介する。

### ５．１　将来事業費予測のための平均劣化曲線の検討 [7)]

#### ５．１．１　管きょ内調査データを用いた劣化曲線の作成

##### (1)　管きょ内調査データを用いた健全度の計算

管きょ内調査は、図－14 に示すＴＶカメラ本体を用いて行う。調査より得られたデータは管きょ対策に関する緊急度判定に用いられ、健全度の評価を実施した。本研究室では、面的にＴＶカメラ調査を実施している代表的都市からデータを入手して健全度評価を実施した。

図－14　TV カメラ本体と劣化判定状況

ここで面的なＴＶカメラ調査とは、一定の経過年数を過ぎた管きょのＴＶカメラ調査や一定地域内のＴＶカメラ調査のことである。

具体的な事例としては、

① 合流式下水道が存在している大都市では、古い管きょを再構築し排水能力を向上させているため、生存されている全ての管きょを調査する場合。

② 良い維持管理をしている都市で、一定経過年数が過ぎた管きょを調査する場合。

といった調査等が挙げられる。これらの調査データを用いることで検討を進めた。

**(2) 管きょ対策に関する緊急度判定**

ＴＶカメラ調査から得られたデータによる緊急度判定は、管きょスパンごとに対して緊急度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの 3 段階の分類がある。緊急度Ⅰは、速やかに措置することが必要の判定であり、緊急度Ⅱは、簡易な対応により必要な措置を 5 年未満まで延長できる判定、緊急度Ⅲは、簡易な対応により必要な措置を 5 年以上まで延長できる判定である。緊急度ⅠまたはⅡが判定された場合、実際には改築や修繕が実施されており、緊急度Ⅲの場合には対策が行われず簡易対応になる模様である。ここでは、緊急度ⅠまたはⅡを「劣化」と判定して健全度を計算した。

緊急度判定に至る調査項目としては、表－1 に示すような管きょ腐食、たるみ、破損等などが挙げられる。標準的な項目は、日本下水道協会の維持管理指針の中で決められている。しかしながら、緊急度判定に必要なそれらの調査項目のランク付け基準に関しては、各都市によって異なる場合がある。本調査研究では、これらの異なったランク付けを表－1 のように統一的なランク付け基準に置き換えて緊急度を判定した。

表－1　管きょ内調査判定基準

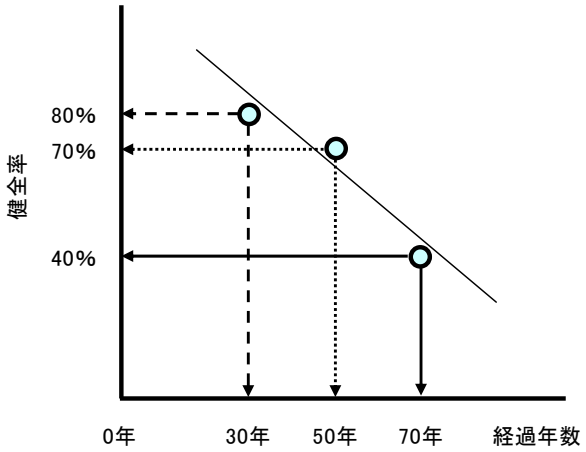
| 自治体 / 項目 | ランク | 維持管理指針 | A市 | B市<br>5段階だが、基本的に3段階 | C市 |
|---|---|---|---|---|---|
| 腐　食 | A | 鉄筋露出状態 | 鉄筋露出状態 | 鉄筋露出状態 | |
| | B | 骨材露出状態 | 骨材露出状態 | 骨材露出状態 | (その他にカウント) |
| | C | 表面が荒れた状態 | a, b以外の露出 | 表面が荒れた状態 | |
| たるみ | A | (φ700mm未満)内径以上 | 管径の3/4以上 | 管径の3/4以上 | 管径の2/3以上 |
| | B | (同上)内径の1/2以上 | 管径の1/2～3/4 | 管径の3/4～2/4 | 管径の1/2以上 |
| | C | (同上)内径の1/2未満 | 管径の1/2未満 | 管径の2/4～1/4 | 管径の1/2未満 |
| | D | | | 管径の1/4未満 | |
| 破損 | A | (HP)欠落，軸方向で幅5mm以上 | 欠落している | 欠陥（大）・陥没 | 欠落<br>全体のヒビ割れ |
| | B | (同上)軸方向で幅2mm以上 | 全体の亀裂(ヒビ) | 管の形状を保っていない全体の亀裂及び欠陥 | 管1/2以上亀裂 |
| | C | (同上)軸方向で幅2mm未満 | a, b以外の破損 | 他工事によるBランク程度のもの | 管1/2以下亀裂 |
| | D | | | 他工事によるABCランク以外のもの | |

### (3) 管きょ内調査データを用いた劣化曲線の作成と結果

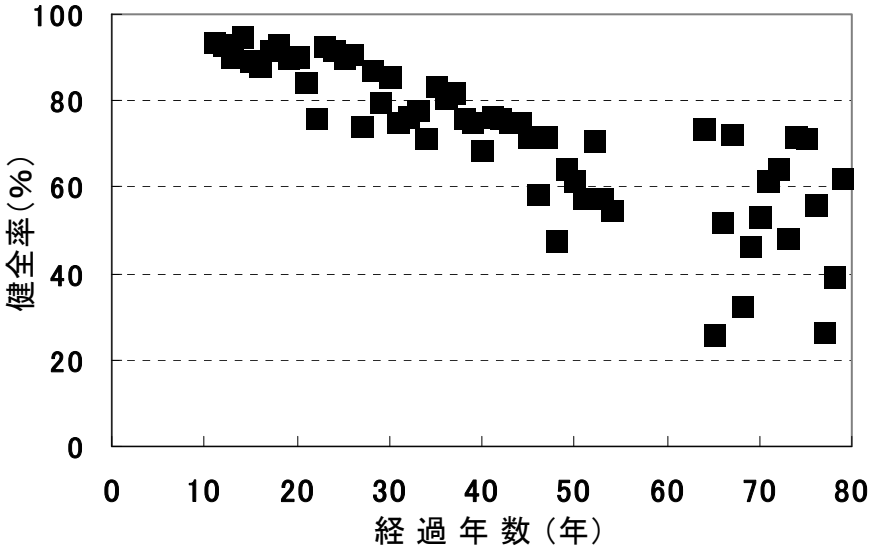
具体的な作成方法を図－15に示す。図－15の中の表は、管きょ内調査結果の例を表したもので、管きょの経過年数、調査対象スパン、緊急度Ⅰ+Ⅱのスパン数、緊急度Ⅲまたは劣化なしのスパン数、健全率を示したものである。ここで健全率とは、調査スパン数に対する緊急度Ⅲのスパン数の割合のことである。次表に示すように、例えば経過年数30年の管きょの健全率を計算すると、調査対象スパン数が30スパンで緊急度Ⅲのスパン数が24スパンの場合、健全率が80%となる。このように、経過年数ごとの健全率を計算してプロットしたものが、管きょ内調査データを用いた劣化曲線になる。図－16に最終的な計算結果を示す。

計算結果より、経過年数が多くなるにつれて健全率も減少していくことがわかる。なお、経過年数が60年以降のプロット点に着目すると、健全率のばらつきが多く発生している傾向が把握できる。これは経過年数が長いほど、すでに改築や修繕が行われていることから、調査スパン数も減少しており、その結果、健全率のばらつきが発生していることが推察される。

| 経過年数（年） | 調査スパン数（箇所） | 緊急度Ⅰ+Ⅱ（箇所） | 緊急度Ⅲ（箇所） | 健全率（%） |
|---|---|---|---|---|
| 30 | 30 | 6 | 24 | 80% |
| 50 | 50 | 15 | 35 | 70% |
| 70 | 40 | 24 | 16 | 40% |




図－15　管きょ内調査データを用いた劣化曲線作成例




図－16　管きょ内調査データを用いた劣化曲線

### ５．１．２　管きょ延長データを用いた生存曲線の作成

**(1)　管きょ延長データを用いた生存曲線とは？**

前述の管きょ内調査データを用いた劣化曲線は、調査時点で埋設されている管きょに対して健全度を判定して描いた曲線である。そのため、この劣化曲線には既に改築や修繕をされてしまった管きょが含まれていないのが現状である。そこで管きょ延長データを用いた生存曲線では、改築や修繕によって除外されてしまった管きょ延長も考慮して管きょの生存率を描いた。

生存曲線の作成に用いる管きょ延長データには、残存している管きょ延長や改築延長、修繕に関するデータが必要である。作成に際しては、それらのデータを本省下水道部と連携した全国実態調査と日本下水道協会発行の下水道統計を用いることによって作成した。

**(2)　全国実態調査の概要**

全国実態調査は平成 18 年度から実施している。ここでは、平成 19 年度調査に関する概要を説明する。調査は、下水道事業を実施中または実施済みの全国すべての都道府県、政令指定都市および市町村を対象とし、1,598 団体から回答を得た。調査内容は平成 18 年度末を基点として下記の項目を管種別にアンケート実施した。なお、ここでいう平成 18 年度末の基点とは、平成 18 年度末に全国で埋設されている管きょ延長のことである。管種は、ヒューム管、鉄筋コンクリート管を含むコンクリート管、陶管、塩ビ管、更生管、その他に分類した。主な調査内容は以下のとおりである。

① 布設年度別の管理残存延長
② 布設年度別の改築（または廃止）された延長
③ 平成 18 年度に新設した延長
④ 平成 18 年度に改築した延長

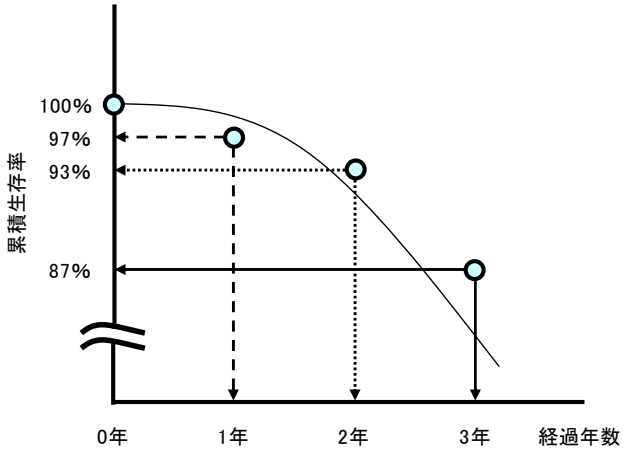
### (3) 管きょ延長データを用いた生存曲線の作成と結果

上記の全国実態調査と下水道統計から得られたデータは、まず経過年数ごとに以下の手順で計算して生存曲線を作成した。

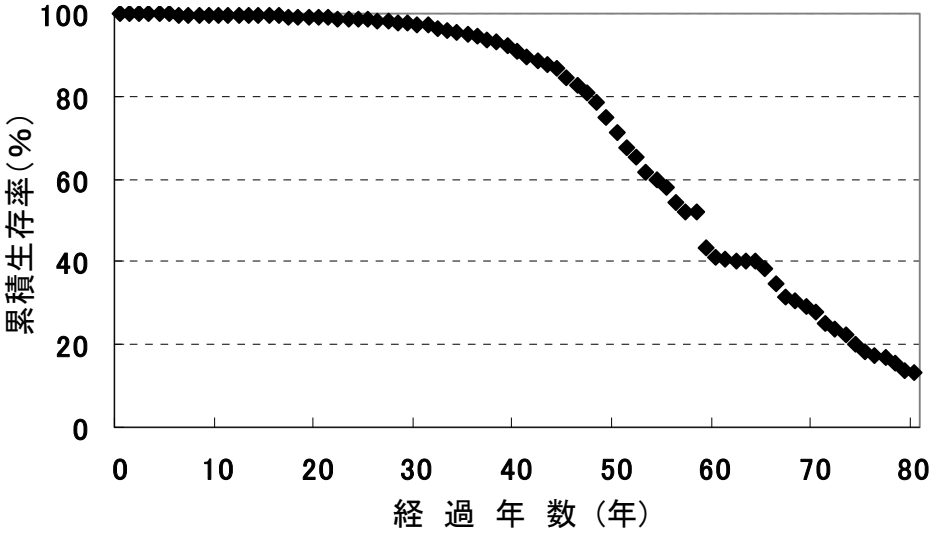
① 改築率（$R_1R_{1n}$）を計算する。
　改築率＝経過年数ごとの改築延長／経過年数ごとの残存延長
② 修繕率（$R_2R_{2n}$）を計算する。
　修繕率＝経過年数ごとの改築率×改築と修繕の延長比率
③ 改築・修繕率（$RR_n$）を計算する。
　改築・修繕率＝①改築率×②修繕率
④ 生存率（$Q_n$）を計算する。
　生存率＝1－③改築・修繕率
⑤ n 年での累積生存率を計算し、曲線を描く。
　累積生存率＝$Q_1 \times Q_2 \times Q_3 \cdot \cdot \cdot \times Q_n$

これらの具体的な例を示したものが図－17 である。図－17 の中の表は、管きょ延長調査結果の例を表したもので、管きょの経過年数、残存延長、改築延長、改築・修繕率を示したものである。表より、例えば経過年数 2 年の改築・修繕率を計算すると 4.5%となり、累積生存率は 93%となることがわかる。このように、経過年数ごとに累積生存率を計算してプロットしたものが、管きょ延長データを用いた生存曲線になる。図－18 に最終的な計算結果を示す。

| 経過年数（年） | 残存延長（m） | 改築延長（m） | 改築率（%） | 改築･修繕率（%） | 残存率（%） | 累積生存率（%） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,500 | 30 | 2 | 3 | 97 | 97 | |
| 2 | 3,000 | 90 | 3 | 4.5 | 95.5 | 93 | ＝0.97×0.955 |
| 3 | 4,000 | 160 | 4 | 6 | 94 | 87 | ＝0.97×0.955×0.94 |




図－17　管きょ延長データを用いた生存曲線作成例

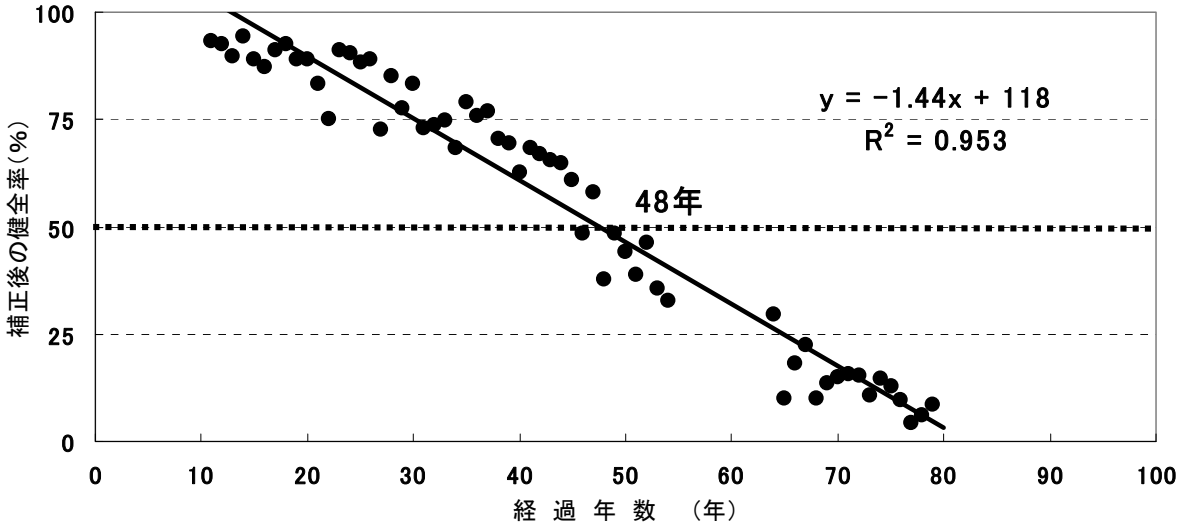



図－18　管きょ延長データを用いた生存曲線

### ５．１．３　平均劣化曲線の作成

平均劣化曲線は、前述した管きょ内調査データを用いた劣化曲線と管きょ延長データを用いた生存曲線を合わせたものである。つまり、管きょ内調査データだけを用いて健全度を評価すると、既に改築・修繕されてしまった管きょは考慮されないことになる。したがって、この平均劣化曲線は改築や修繕された管きょは既に劣化があったという仮定の下で補正計算したものになる。なお、これは個々のスパンでの劣化曲線ではなく、マクロな視点での全体平均の劣化曲線という扱いとする。図－19 に平均劣化曲線を示す。

図－19 の近似式に着目すると、補正後の健全率が 50%になる経過年数は 48 年になることが把握できる。これは経過年数 48 年経過すると、管きょ全体の半分が劣化する判定となり、改築や修繕が必要になってくることを意味している。次に近似式傾きの - 1.44 に着目する。これは、毎年、管きょが 1.44%の割合で劣化しており、逆に考えれば、毎年、1.44%の改築や修繕が必要であるということを意味している。したがってライフサイクルコストの算出に際しては、今後、このような考えを考慮して計算をしていく必要がある。




図－19　平均劣化曲線

## ５．２　事業優先度付けのための不具合リスク評価ツール検討

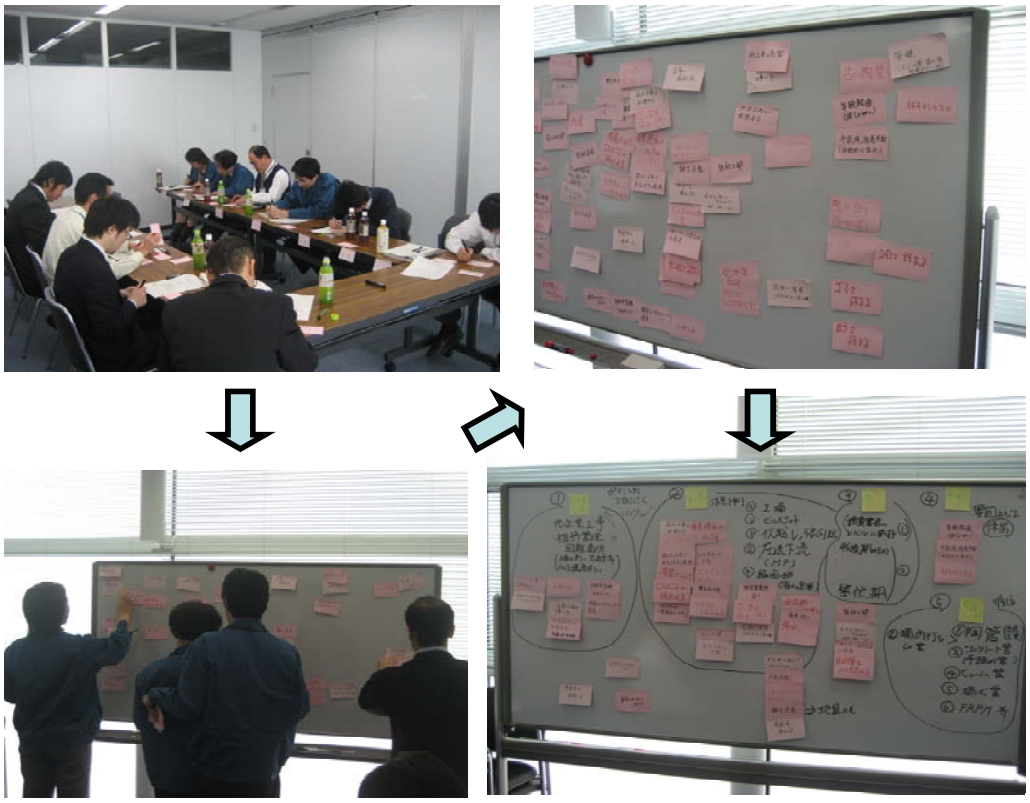
### ５．２．１　不具合リスクの点数計算表の作成[8)]

限られた予算の中で事業を進めていくためには、優先度を見極めて実施することが重要である。不具合リスク点数計算表は、管きょに関するリスクを点数で評価することによって優先度を決定する手法である。この点数計算に関しては、既にオーストラリアで検討が進められている。本研究室では、オーストラリアでの点数計算表を参考にして日本版の点数計算表を作成した。

不具合リスクの評価は、通常、以下の式で定義している。

（リスク）＝（不具合の発生確率）×（不具合による事故等の影響の大きさ）

ここでは、「不具合の発生確率」を「不具合が生じる可能性」、「不具合による事故等の影響の大きさ」を「不具合が生じた時の問題の大きさ」として捉え、それぞれの項目内容を考えた。そして、これらを掛け合わせることによって不具合リスクの評価として考えた。作成方法はワークショップ形式を採用し、各点数計算に関する影響因子をワークショップメンバーが抽出した。その後、カードによるブレーストーミングを実施した。ブレーンストーミングした各影響因子は、後日、アンケート調査によって点数を決定した。なお、ワークショップに際しては、平成 18 年度には大阪市、平成 19 年度には仙台市の協力を得て実施した。図－20 に大阪市でのワークショップ状況、表－2、3 に大阪市での作成結果を示す。点数の検証や具体的な活用方法については、平成 20 年度の研究で検討中である。



図－20　大阪市ワークショップ状況

表－2　不具合が生じる可能性

| 要因 | 影響点数 | 要因細目 | 影響点数 |
|---|---|---|---|
| 水質（コンクリート管） | 4.7 | ビルピット排水を受ける | 4.1 |
| | | 圧送管下流 | 4.6 |
| | | 伏越、不良勾配、工場排水 | 3.9 |
| 管材料 | 3.9 | 素焼き陶管 | 4.1 |
| | | コンクリート管（場所打ち） | 3.7 |
| | | コンクリート管（手詰め管） | 4.1 |
| | | 陶管（新規格） | 3.4 |
| | | ヒューム管 | 2.7 |
| | | 塩ビ管 | 1.1 |
| | | ＦＲＰＭ等 | 0.7 |
| 地盤 | 3.6 | 海面埋立て | 3.7 |
| | | ため池、水路の埋め立て地 | 3.9 |
| | | 盛土 | 3.1 |
| | | 地下水が高い | 3.1 |
| 施工時期 | 2.4 | 終戦直後or繁忙期 | 2.6 |
| 維持管理困難箇所 | 2.1 | | 2.3 |
| 他企業工事 | 2.9 | 下部掘削 | 3.6 |
| | | 離隔がない（下部掘削ではない） | 2.4 |
| 地表の状況 | 2.3 | 繁華街（油） | 3.3 |
| | | 公園、学校、グランド（砂） | 2.0 |
| | | 植樹帯 | 2.6 |
| 荷重 | 3.0 | 交通量（幹線道路下） | 3.7 |
| | | 浅埋（0.6-1.0m） | 4.0 |
| | | 盛土追加部 | 3.1 |
| 経過年数 | 3.0 | ０－１０年 | 0.6 |
| | | 10-30年 | 1.4 |
| | | 30-50年 | 2.4 |
| | | 50年－ | 3.7 |

表－3　不具合が生じた時の問題の大きさ

| 要因 | 影響点数 | 要因細目 | 影響点数 |
|---|---|---|---|
| 交通影響 | 4.7 | 軌道下 | 4.6 |
| | | 幹線道路下 | 4.3 |
| | | 歩行者の多いところ | 3.0 |
| 復旧時間 | 3.6 | 開削での復旧工事の可否 | 3.6 |
| | | 河川横断 | 4.0 |
| | | バイパスルートの有無 | 3.0 |
| 下水道サービスの継続性 | 3.4 | 人口密集地区（住宅） | 4.1 |
| | | 商店密集地区 | 3.7 |
| | | 観光地 | 2.7 |
| | | 公的機関への影響が出るところ | 2.9 |
| | | 浸水常襲地域 | 3.0 |
| | | お年寄りが多い地区 | 2.4 |
| | | ターミナル駅 | 3.6 |
| | | 幹線 | 3.7 |
| | | 送水管（圧送管） | 3.7 |
| | | 排流きょ（放流きょ） | 4.3 |
| 二次災害 | 3.4 | ガス管近接 | 3.9 |
| | | NTT管近接 | 2.9 |
| | | 電線、水道、地下鉄 | 3.0 |
| | | 鉄道高架近接 | 3.0 |
| | | 高架道路近接、河川構造物近接 | 3.1 |
| 災害時の危機管理 | 3.1 | 緊急輸送路 | 3.9 |
| | | 避難路 | 3.3 |
| | | 防災拠点と避難所を結ぶ管きょ | 3.3 |

### ５．２．２　下水管起因の道路陥没によるリスク評価の検討[9)]

#### (1)　道路陥没によるリスク評価の考え

近年、下水道の管きょでの大きな問題は、下水管に起因した道路陥没である。本研究室では、本省下水道部と連携して平成 19 年度から本格的な全国アンケート調査を実施し、詳細実態の把握に努めている。本研究室ではリスク評価のツールという視点から道路陥没に着目し、全国調査結果を用いて検討を進めている。

ここでは、上記で示したリスク式の中から「不具合の発生確率」を「道路陥没の発生頻度」、「不具合による事故等の影響の大きさ」を「道路陥没による社会的影響の大きさ」として捉え、前段の「道路陥没の発生頻度」のみを紹介する。

#### (2)　道路陥没に関する全国実態調査の概要

調査は、下水道事業に係わる全国すべての都道府県、政令指定都市及び市町村の中で、平成 18 年度内に発生した下水管起因の道路陥没を対象とした。表－4 に主な実態調査項目、表－5 に道路陥没レベルでの規模の定義を示す。

平成 18 年度内に発生した道路陥没は、全部で 4,411 件であった。結果の整理に際しては、接続部での不具合の判断が難しいと考えられるため、表－4 に示す 8 つの原因施設を本管関連、取付管関連、人孔（マンホール）関連、桝関連に分類してデータを取りまとめた。図－21 に 8 つの原因施設の位置を示し、以下に 8 つの原因施設から陥没件数を分類した式を示す。なお、この整理の仕方は原因施設によっては陥没件数を重複計上するということになる。

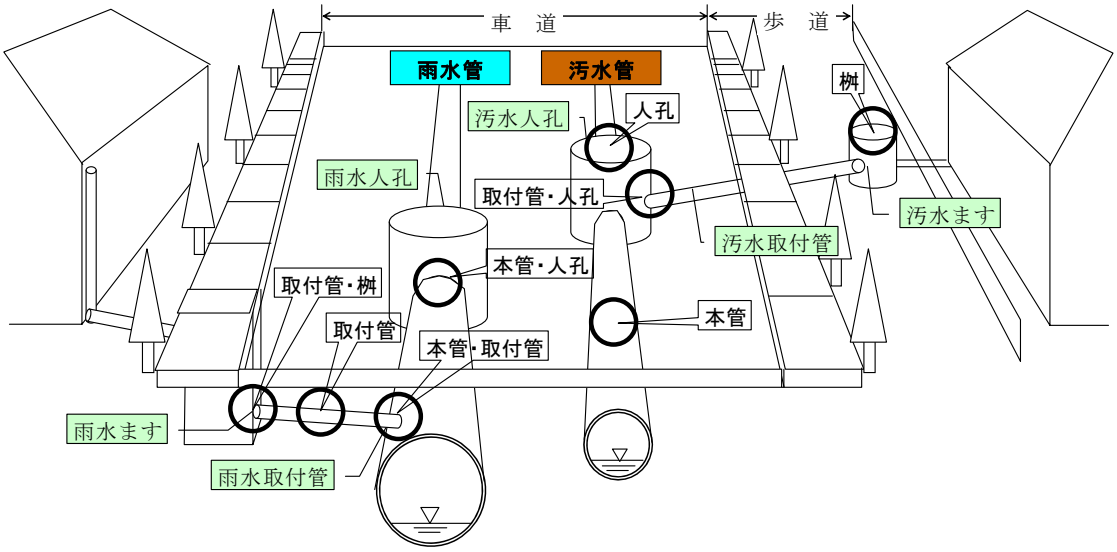
(本管関連)　＝ (本管) + (本管と人孔の接続部) + (本管と取付管の接続部)
(取付管関連) ＝ (取付管) + (本管と取付管の接続部)
　　+ (取付管と人孔の接続部) + (取付管と桝の接続部)
(人孔関連)　＝ (人孔) + (本管と人孔の接続部) + (取付管と人孔の接続部)
(桝関連)　　＝ (桝) + (取付管と桝の接続部)

表－4　道路陥没実態調査の主な項目

| 調査項目 | 記入内容または選択肢 |
|---|---|
| 発見日時 | (記入内容)当該道路陥没の発見日時(月・日・時) |
| 布設年度 | (記入内容)当該管渠の布設年度(西暦)。 |
| 原因施設 | 道路陥没の原因となった施設。<br>(選択肢)①本管、②取付管、③人孔、④桝、⑤本管と人孔の接続部、⑥本管と取付管の接続部、⑦取付管と人孔の接続部、⑧取付管と桝の接続部 |
| 陥没レベル | (選択肢)①Level Ⅰ ②Level Ⅱ ③Level Ⅲ |
| 仮埋め所要時間 | (記入内容)原因施設の調査・修理をする前に、土砂・アスファルトを入れて、通行できるようにする作業(「仮埋め」)に要した概算時間 |
| 本復旧工事所要時間 | (記入内容)埋戻し土を掘り返して、原因施設の特定とともに、原因施設を交換する作業(「復旧工事」)に要した概算時間 |
| 工事費用 | (記入内容)「仮埋め」及び「復旧工事」の概算合計工事費用(舗装工を含む)　直営工事であるときは直営と記入 |
| 通行止め状況 | 通行止めが発生した場合の対応状況<br>(選択肢)①全面、②片側 |

表－5　道路陥没レベルの定義

| Level Ⅰ | Level Ⅱ | Level Ⅲ |
|---|---|---|
| 管破損なしの場合<br>陥没幅10cm未満<br>または<br>陥没深10cm未満 | 管破損なしの場合<br>陥没幅10cm以上<br>かつ<br>陥没深10cm以上 | 管が破損している場合<br>(陥没規模は不問) |



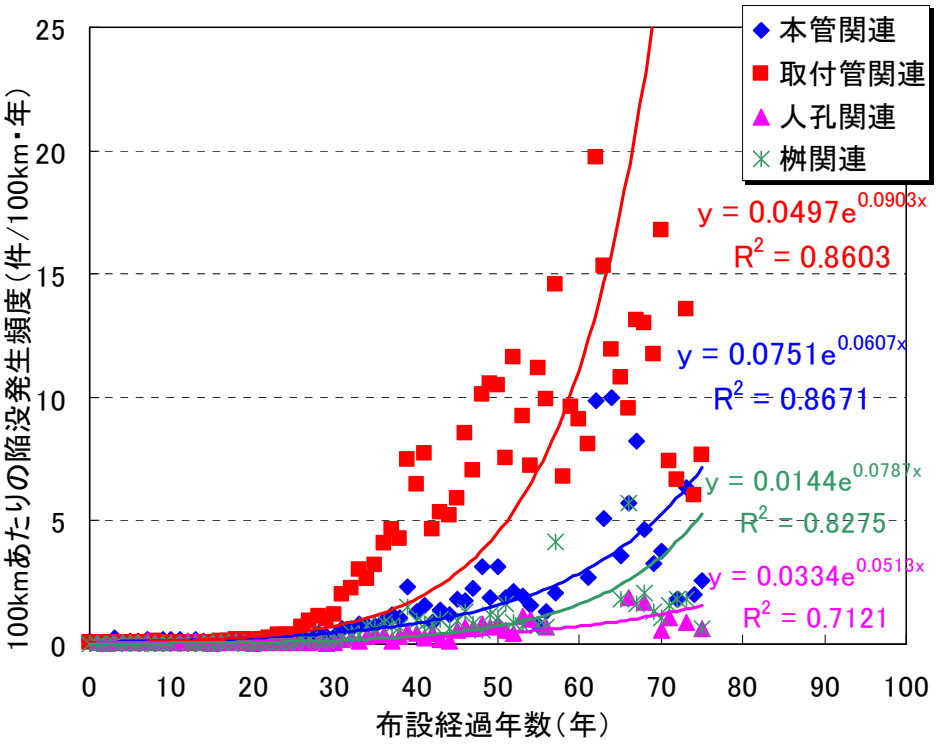

図－21　道路陥没における原因施設の位置

### (3) 道路陥没発生頻度の算出

陥没発生頻度は、本管の経過年数と布設年度に対する管きょ延長データを用い、原因施設ごとの管きょ 100 kmあたりの陥没件数を計算することで求めた。本管布設経過年数は 75 年までに限定した。原因施設ごとの陥没発生頻度を図－22 示す。

それぞれのグラフに着目すると、原因施設ごとの陥没発生頻度は本管の布設経過年数に対し、指数関数の関係にあることが把握できた。また 30 年経過後の近似曲線をみると、原因施設ごとの大きな差異が示されており、特に取付管は、他の原因施設より大きな発生頻度が高い傾向を示した。

この結果、布設経過年数により原因施設ごとの道路陥没発生頻度の予測が可能になることが示唆された。さらに、今後の課題となる「道路陥没による社会的影響の大きさ」と併せることで総合的なリスク評価が可能となり、リスク最小化を考慮した事業優先度視点のストックマネジメント手法が確立できると考えている。




図－22　原因施設ごとの管きょ 100km あたりの陥没発生頻度

## ６．おわりに

本研究室では、財政視点によるストックマネジメントとリスク最小化を考慮した事業優先度視点によるストックマネジメントの検討から調査研究を進めてきた。

その結果、財政視点での取り組みでは、マクロ的な平均劣化曲線が作成できた。事業優先度視点での取り組みでは、不具合リスク点数計算表を作成し、道路陥没の発生頻度式を明らかにした。今後は、管種別の平均劣化曲線の作成により将来事業費予測手法の確立を目指す予定である。また、道路陥没によるリスク評価に関しては、道路陥没による社会的影響の大きさを明らかにし、事業優先度手法の確立も目指す予定である。

下水道事業は、事業費の大部分を住民から徴収される使用料金と税で賄っており、事業推進に際しては一層の説明責任が求められている。また平成 19 年 6 月には、「地方財政健全化法」が制定され、各自治体は公営企業会計という面からも事業に関する一層の透明性や効率性が求められている。そのような観点からも、現在、ストックマネジメントの導入が期待されている。

本研究室では、このような実情も考慮に入れて今後の研究課題に取り組む。さらに下水道を管理する自治体とのコミュニケーションを図りながら、現場のニーズに沿った研究を継続し、将来の下水道事業に対して大きな役割を果たしていく所存である。

【参考文献】


1) 社団法人日本下水道協会：平成 20 年度下水道白書 日本の下水道－循環のみちを拓く展望－，平成 20 年 9 月
2) 水道産業新聞社：下水道から「循環のみち」へ 100 年の計 未来を拓く「下水道ビジョン 2100」，平成 18 年 8 月
3) 下水道事業におけるストックマネジメント検討委員会:下水道事業におけるストックマネジメントの基本的な考え方（案），平成 20 年 3 月
4) 国土交通省都市・地域整備局下水道部ホームページ:下水管路の損傷状況に関する点検等調査(第 5 回)，平成 20 年 7 月，http://www.mlit.go.jp/common/000019599.pdf
5) 社団法人日本下水道協会：平成 18 年度版下水道統計，平成 20 年 8 月
6) 国土交通省都市・地域整備局下水道部:下水道長寿命化支援制度に関する手引き(案)，平成 20 年 4 月
7) 松宮洋介・福田康雄他：管渠の劣化曲線に関する調査，第 45 回下水道研究発表会講演集，日本下水道協会，平成 20 年 6 月
8) 松宮洋介・岩本誠他：管きょのストックマネジメント方法に関する提案，第 44 回下水道研究発表会講演集，日本下水道協会，平成 19 年 6 月
9) 松宮洋介・福田康雄他：下水道管きょ施設に起因する道路陥没特性に関する調査，第 45 回下水道研究発表会講演集，日本下水道協会，平成 20 年 6 月