

博士論文

下水道アセットマネジメントのための  
統計解析に基づく将来劣化量予測手法

Prediction of Deterioration of Sewage Facilities  
Based on Statistical Analysis for Asset Management

December 2008

藤 生 和 也

Kazuya FUJIU

# 目次

第1章 序 論.....	- 1 -
1. 1 日本のアセットマネジメント導入背景.....	- 1 -
1. 1. 1 社会資本全般.....	- 1 -
1. 1. 2 下水道.....	- 2 -
1. 2 アセットマネジメントの定義と内容.....	- 7 -
1. 2. 1 社会資本全般.....	- 7 -
1. 2. 2 下水道.....	- 14 -
1. 2. 3 ミクロマネジメントとマクロマネジメント.....	- 18 -
1. 2. 4 実用的下水道アセットマネジメントの概念.....	- 21 -
1. 3 既往のアセットマネジメント導入事例及び研究調査.....	- 23 -
1. 3. 1 社会資本全般・住宅.....	- 23 -
1. 3. 2 下水道.....	- 35 -
1. 4 研究方針と各章構成.....	- 38 -
1. 4. 1 研究方針.....	- 38 -
1. 4. 2 各章構成.....	- 39 -
第2章 ストックが財務に与える影響度.....	- 46 -
2. 1 緒言.....	- 46 -
2. 2 ストックの財務影響度指標の設定.....	- 46 -
2. 2. 1 償却資産回転期間.....	- 46 -
2. 2. 2 残存耐用年数.....	- 47 -
2. 3 算出結果と考察.....	- 49 -
2. 3. 1 公共及び特環.....	- 49 -
2. 3. 2 下水道事業以外の地方公営企業6業種.....	- 54 -
2. 3. 3 会社.....	- 55 -
2. 3. 4 公共、特環、下水道以外の地方公営企業及び会社の全体.....	- 56 -
2. 4 結言.....	- 57 -
第3章 管渠の耐用年数の推計.....	- 60 -

3. 1	緒言	- 60 -
3. 2	研究方法	- 60 -
3. 2. 1	データ収集方法	- 60 -
3. 2. 2	解析方法	- 61 -
3. 2. 3	表計算の流れ	- 63 -
3. 3	結果と考察	- 64 -
3. 3. 1	アンケート調査の集計結果	- 64 -
3. 3. 2	解析結果と考察	- 65 -
3. 4	結言	- 73 -
第4章	道路陥没発生数の推計	- 76 -
4. 1	緒言	- 76 -
4. 2	研究方法	- 77 -
4. 2. 1	データ収集方法	- 77 -
4. 2. 2	解析方法	- 77 -
4. 3	推計結果と考察	- 81 -
4. 3. 1	過去の全国陥没数の推計と再現性検討	- 81 -
4. 3. 2	将来の新築延長の推計	- 82 -
4. 3. 3	将来の陥没数の推計と考察	- 84 -
4. 3. 4	管齢別陥没発生率の経年減少の原因事象の検討	- 85 -
4. 3. 5	陥没数削減を目的とした早期改築の効率性検討手法	- 94 -
4. 4	結言	- 96 -
第5章	硫化水素腐食に対するコンクリート耐用年数の推計	- 99 -
5. 1	緒言	- 99 -
5. 2	研究方法	- 102 -
5. 2. 1	改修履歴データの処理方法	- 102 -
5. 2. 2	東京都データの将来改修施設数の予測	- 103 -
5. 2. 3	文献データ及びK流域下水道管渠データの処理方法	- 104 -
5. 2. 4	各腐食進行式による耐用年数の推計	- 104 -
5. 3	算出結果と考察	- 104 -
5. 3. 1	東京都データのワイブル分布	- 104 -

5. 3. 2	東京都データの改修施設数の将来予測	- 109 -
5. 3. 3	腐食進行式の係数 $a$ , $b$	- 111 -
5. 3. 4	東京都データの $f_w(t)$ と他データの耐用年数の比較検討	- 118 -
5. 4	結言	- 121 -
第6章	機電設備の耐用年数の推計	- 123 -
6. 1	緒言	- 123 -
6. 2	データ収集, 計算手順及び計算結果	- 125 -
6. 2. 1	過去各年度の工種別設置事業費の算出	- 125 -
6. 2. 2	試行反復計算による耐用年数確率分布の設定	- 134 -
6. 2. 3	将来各年度の設置事業費の推計	- 136 -
6. 2. 4	設定分布と別途情報から推計された分布の比較検討	- 138 -
6. 3	考察	- 141 -
6. 3. 1	ワイブル分布近似に必要なデータ	- 141 -
6. 3. 2	算出されたワイブル分布の利用法	- 141 -
6. 3. 3	推計ワイブル分布 $A$ の精度・信頼性の向上	- 141 -
6. 4	結言	- 144 -
第7章	社会的割引率及び金利の影響	- 146 -
7. 1	緒言	- 146 -
7. 2	社会的割引率の影響検討	- 146 -
7. 3	金利の影響検討	- 150 -
7. 3. 1	工事に係る許容コスト比の算出	- 150 -
7. 3. 2	管材に係る許容コスト比の算出	- 151 -
7. 3. 3	修繕工事に係る許容コスト比の算出	- 155 -
7. 4	公共事業許容量を考慮した耐用年数及び管材に係る許容コスト比の算出	- 155 -
7. 5	結言	- 159 -
第8章	事業へのアセットマネジメントの効果的適用	- 162 -
8. 1	事業への適用に向けての課題	- 162 -
8. 2	本研究成果を反映できる具体的実務	- 163 -
8. 3	マイクロマネジメントとマクロマネジメントの突合せ手法	- 164 -
8. 3. 1	マイクロマネジメント結果のマクロマネジメントへの反映手法	- 164 -

8. 3. 2	マクロマネジメント結果のミクロマネジメントへの反映手法 .....	- 166 -
8. 4	データ制約条件下での解析方法 .....	- 174 -
8. 5	アセットマネジメントの充実のためのデータ蓄積の考え方 .....	- 176 -
8. 6	アセットマネジメントの普及方策 .....	- 178 -
第9章	結論 .....	- 180 -
	謝辞 .....	- 184 -
	本研究を構成する査読原著論文 .....	- 186 -
	付録 .....	- 187 -



# 第1章 序論

## 1. 1 日本のアセットマネジメント導入背景

### 1. 1. 1 社会資本全般

日本の社会資本ストックは、2003年現在517兆円と試算され、このうち道路が最も多く、166兆円(32%)となっており、下水道は58兆円(11%)となっている<sup>1)</sup>。

日本の社会資本は戦後の高度経済成長とともに着実に整備され一定のストックを形成するに至っているが、今後は、こうしたストックのうち高齢化したものの割合が急速に増加するという課題に直面することになる。従来我が国における社会資本の維持管理は、ストックの「年齢」が全般的に若く、機能的な信頼度が直ちに大きく損なわれるような懸念が少なかったことから、損傷等が発生するたびに事後的な対処がされてきた。しかし将来、高齢化したストックの割合が増大していくと、こうした事後的な対処で万全を期すことは困難である<sup>2)</sup>。

国土交通省は、日本の社会資本が高度経済成長期を中心に大量に整備・蓄積され、それらに必要な維持管理・更新費が着実に増大している状況を客観的に示すため、同省所管の社会資本(道路、港湾、空港、公共賃貸住宅、下水道、都市公園、治水、海岸)を対象に2030年までの維持管理・更新費の推計を行った。

厳しい財政状況を考慮し、国が管理主体の社会資本については2005年度以降対前年比マイナス3%、地方が管理主体の社会資本については2005年度以降対前年比マイナス5%と設定して推計した結果、**図1.1**のとおり、投資可能総額の不足により2022年頃から社会資本の更新ができなくなり始め、2030年頃にはそれが大部分に及ぶと予測された<sup>3)</sup>。

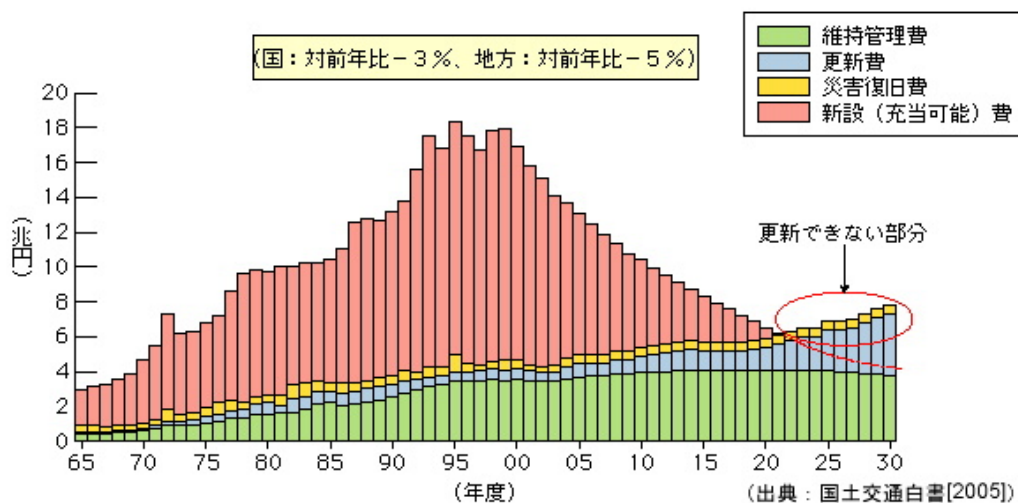
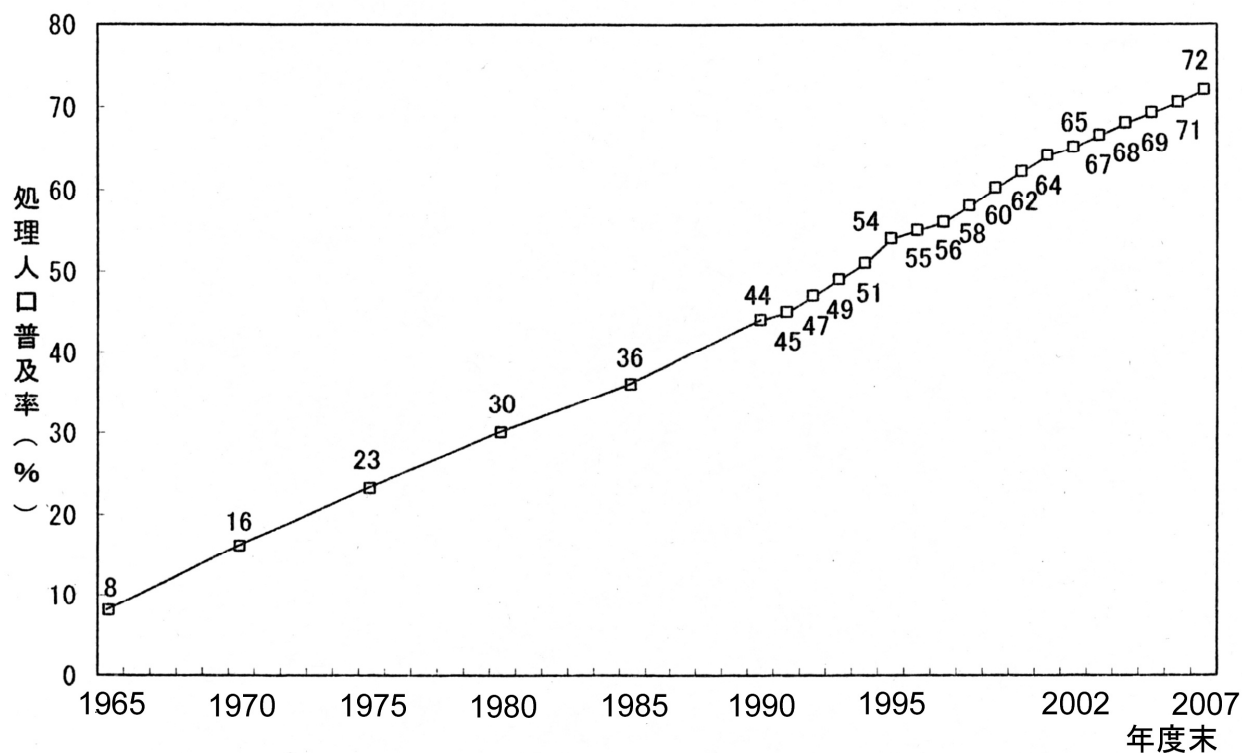


図1.1 社会資本の維持管理・更新費の推計<sup>3)</sup>

したがって、厳しい経済情勢や人口減少の中でストックの機能的な信頼度を確保していくためには、高齢化したストックも含め、これまで蓄積されたストックを効率的延命化など様々な工夫により最大限に活用していくことが不可欠となっている<sup>2)</sup>。

### 1. 1. 2 下水道

日本の近代下水道は明治 17 年(1884 年)の東京・神田下水に遡る。その後、いくつかの都市で下水道が作られたものの、全国的に普及するには至らなかった。本格的な下水道整備は、第二次世界大戦後、産業が急速に発展し、都市への人口集中が進む昭和 40 年(1965 年)代以降を待たねばならなかった。昭和 40 年度以降の下水道処理人口普及率の推移を図 1.2 に示す。

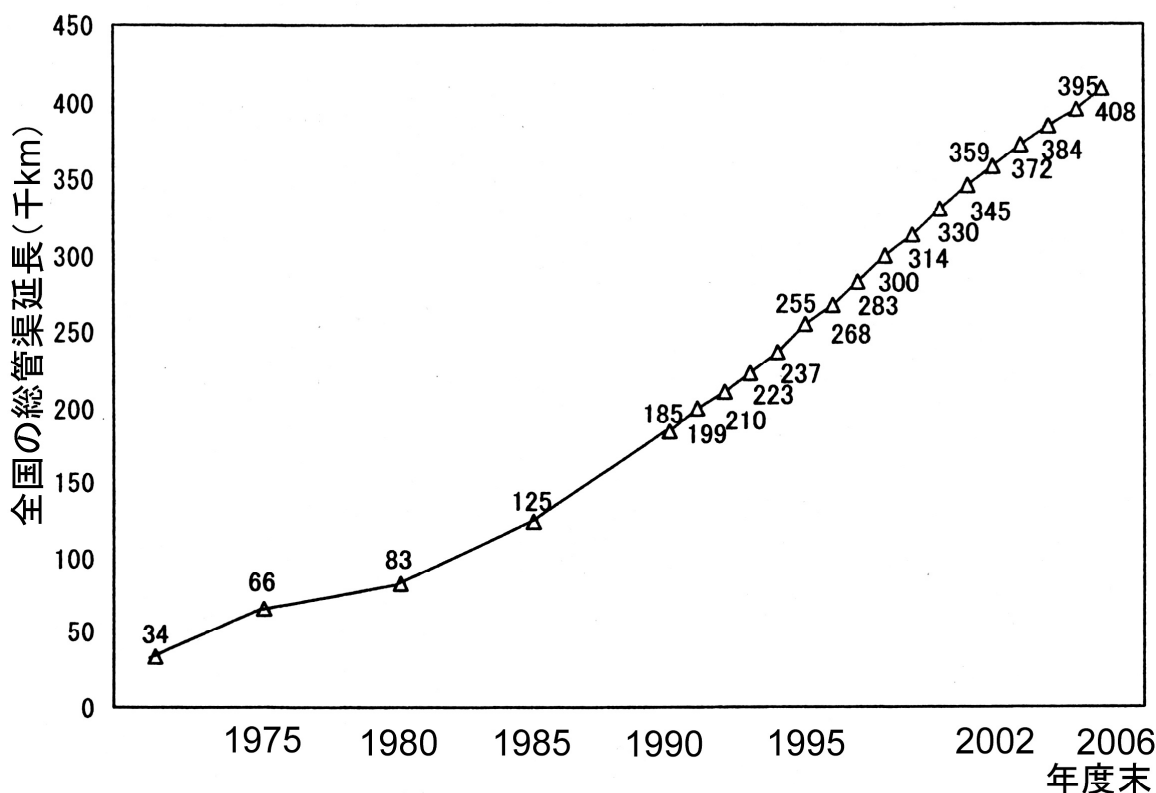


出典:国土交通省都市・地域整備局下水道部、平成21年度下水道事業予算概算要求概要、p.55、2008/08

図 1.2 下水道処理人口普及率の推移<sup>4)</sup>

下水道整備はその後着実に進み、2007 年度末には下水道普及率が 71.7%に達し、国土交通省が都道府県構想の計画値を全国集計した最終想定下水道普及率 88%<sup>5)</sup>まで残すところ 16.3 ポイントとなった。近年、下水道普及率 (%) は年度ごとに 1~2 ポイントの上昇を続けてきたことを勘案すると早ければ 10 年足らずで最終想定に到達する。全国下水道管路延長は図 1.3 のとおり 2006 年度末で 40.8 万 km となり<sup>4)</sup>、地球から月面までの距離を超えた。





出典：国土交通省都市・地域整備局下水道部、平成21年度下水道事業予算概算要求概要、p.56、2008/08

図 1.3 全国の総管渠延長の推移<sup>4)</sup>

この間、下水道ストックの蓄積は膨大な額となり、表 1.1 のとおり建設投資額は過去 50 年間の累計で 84 兆円を超えた<sup>6),7)</sup>。前述のように、内閣府資料によれば、減価償却分を差し引いて下水道ストックの現在価額は 2003 年度時点で 58 兆円分と試算され、日本の社会資本全体の試算額 517 兆円中、約 11%を占めている。社会資本全体として道路、港湾、下水道等 20 部門を合計した純資本ストック額の推移を図 1.4 に示す。下水道部門の試算条件として、耐用年数は管渠 85 年、ポンプ場・処理場の土木建築 60 年、機電 25 年を投資比率 4:6 で加重平均して 57 年、減価償却方式は定額法（残存価格=0）、劣化式はワイブル分布（形状パラメータ=8）が用いられている<sup>8)</sup>。

下水管渠は 1970 年代から急速に整備されてきたため、今後、老朽管渠が急増することが予想されており、これに伴って下水管渠の老朽化・損傷に起因する道路陥没数（以下、単に「陥没数」という。）も急増するおそれがある。図 1.5 のとおり、陥没数は 2005 年度、全国で年間約 6,600 件に達した<sup>9)</sup>。道路陥没は、人身事故や道路交通障害などを引き起こし、重大な影響を社会に与えかねない。したがって、社会活動や生活の安全確保の観点から、この膨大な延長の下水管渠を適切かつ効率的に点検・調査・修繕・更生・改築するための研究調査及び技術開発が急務となっている。

表 1.1 下水道事業の過去 50 年間の建設投資額<sup>6),7)</sup>

単位： 億円

年度	総事業費	年度	総事業費	年度	総事業費	年度	総事業費	年度	総事業費
2007	21,100	1997	34,361	1987	24,191	1977	11,630	1967	1,280
2006	21,614	1996	33,790	1986	19,860	1976	7,505	1966	1,040
2005	23,022	1995	41,331	1985	17,280	1975	6,980	1965	813
2004	24,326	1994	31,494	1984	16,007	1974	4,770	1964	614
2003	25,672	1993	39,175	1983	16,047	1973	5,460	1963	498
2002	29,207	1992	30,647	1982	17,097	1972	5,310	1962	381
2001	32,603	1991	25,572	1981	18,349	1971	3,740	1961	300
2000	34,093	1990	24,422	1980	18,052	1970	1,920	1960	224
1999	36,887	1989	24,488	1979	16,909	1969	1,600	1959	133
1998	48,781	1988	23,952	1978	14,577	1968	1,390	1958	98
								合計	840,592

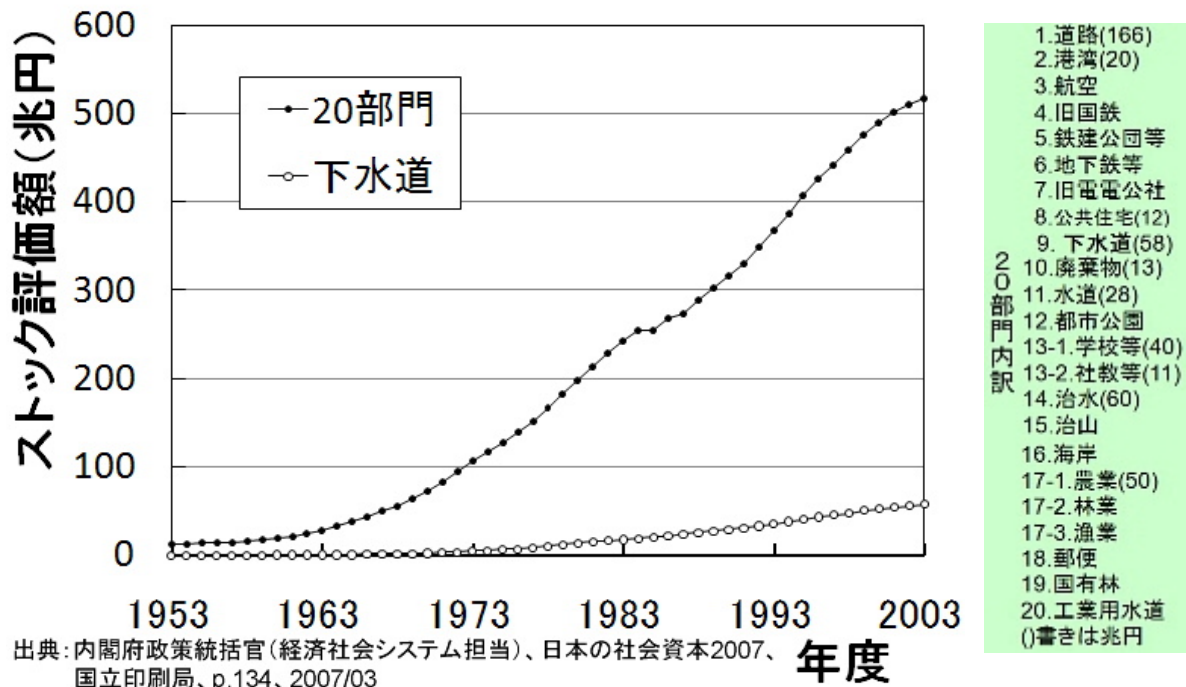
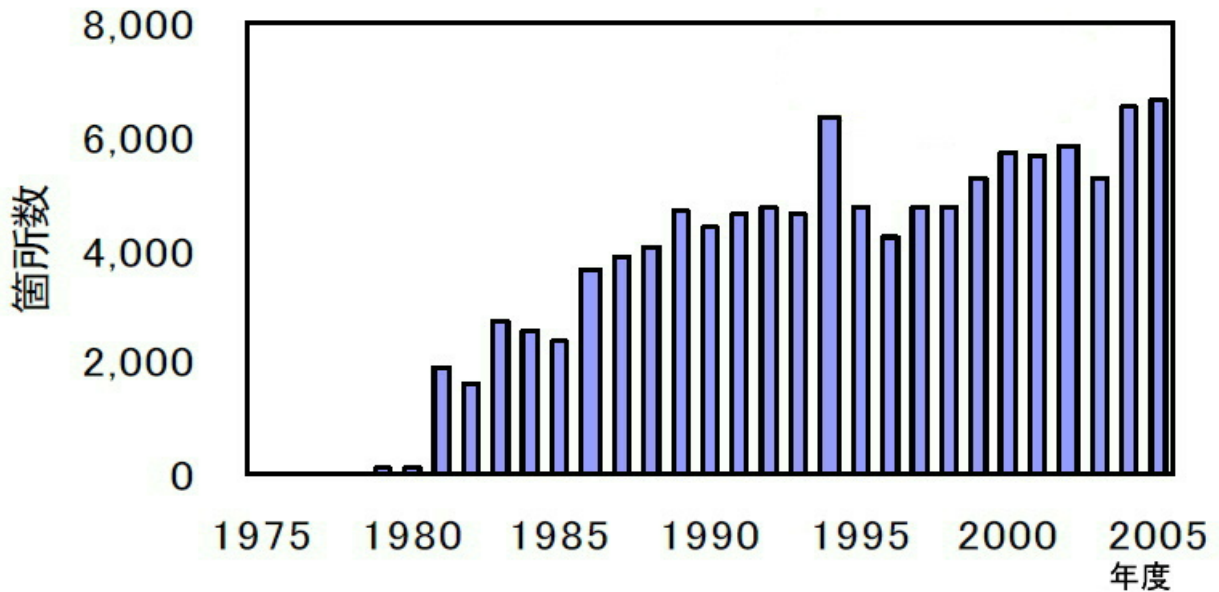


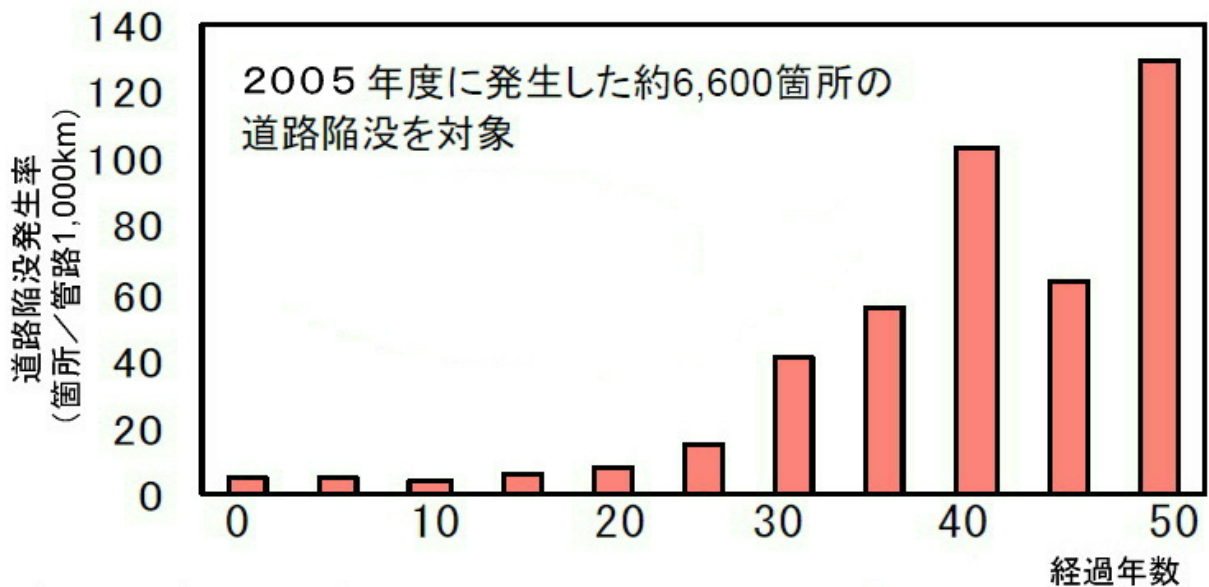
図 1.4 純資本ストック (全 20 部門合計 [下水道を加筆]) 試算⑤<sup>8)</sup>



出典：国土交通省ホームページ、[http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/gyosei/keikaku\\_matome/02.pdf](http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/gyosei/keikaku_matome/02.pdf) p.5

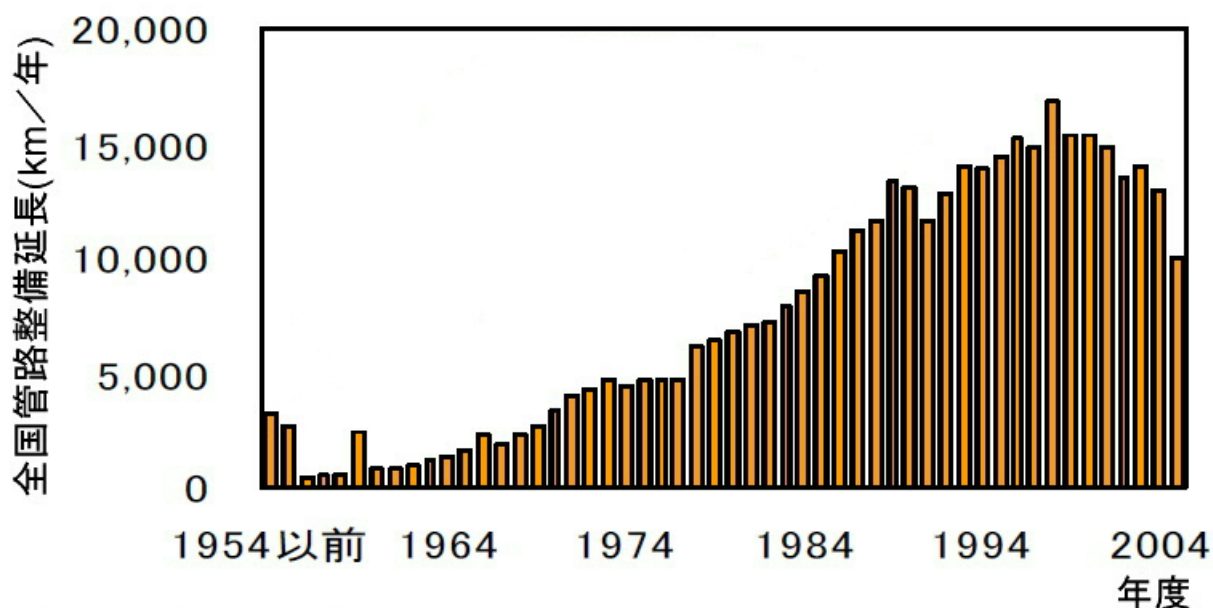
図 1.5 全国の下水道に起因する道路陥没箇所数の推移<sup>9)</sup>

このように全国的に見て、下水道事業の中心が新築から改築・維持修繕へと完全に移行する時が目前に迫っているものと考えられ、並行して、図 1.6 及び図 1.7 の示すように施設の老朽化が進み、老朽化に起因する故障・事故が急増していくものと考えられる<sup>9)</sup>。



出典：国土交通省ホームページ、[http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/gyosei/keikaku\\_matome/02.pdf](http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/gyosei/keikaku_matome/02.pdf) p.5

図 1.6 経過年数別の道路陥没発生率<sup>9)</sup>



出典:国土交通省ホームページ、[http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/gyosei/keikaku\\_matome/02.pdf](http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/gyosei/keikaku_matome/02.pdf)p.5

図 1.7 全国管路整備延長の推移<sup>9)</sup>

したがって、蓄積してきた巨額かつ膨大なストックを良好な状態に低コストで保持し続けていくことが社会基盤サービスの持続的提供の観点から極めて重要である。そして、維持修繕の方法や改築更新の工法・時期の選択如何が将来の長期間に要するコスト総額を大きく左右すると考えられるので、ストックマネジメントないしアセットマネジメントの技術開発が喫緊の課題となっている。

とりわけ、管渠や処理場土木施設は下水道ストックの大部分を占め、また、コンクリートを主体とした耐用年数が 50 年超のものであり、これまで本格的な改築時代を経験したことがないため経過年数の大きい施設のデータが少なく、その実証的研究には困難が多い。望月が算出した表 1.2 によれば、コンクリートを主体とする管渠と処理場土木建築は建設費総額で 86.5%(=73.0+13.5)、建設費年価で 59.2%(=47.0+12.2)を占める<sup>10)</sup>。したがって、これらコンクリート系施設のマネジメントが特に重要

表 1.2 全国下水道の施設種別建設事業費シェア<sup>10)</sup>

		耐用年数の仮定	建設事業費シェア (%)			
			総額		年価	
管渠 (ポンプ場含む)		72	73.0	按分比率	47.0	按分比率
処理場		23	27.0		53.0	
機電		15	13.5	50	40.8	77
土木建築		50	13.5	50	12.2	23

になると考えられる。

ここ数年、日本では下水道のみならず、各種社会資本の膨大な蓄積量を背景とし、これらを効率的に管理するため、アセットマネジメントないしストックマネジメントと呼ばれる手法の導入研究が活発化してきた。道路橋、トンネル、舗装などで先行して研究が進められ、下水道でも平成17年(2005年)頃から着手され始めた。

## 1. 2 アセットマネジメントの定義と内容

### 1. 2. 1 社会資本全般

市場では資産のマネジメントをアセットマネジメントという。預金、株式、債券等の金融資産について、リスクや収益性を勘案して適切な運用を実施する場合に用いる。近年では、土地、建築物を対象とした不動産運用においても、同様にアセットマネジメントと呼んでいる<sup>11)</sup>。

資産管理に関連する主なマネジメントの呼称として、アセットマネジメント、ファシリティマネジメント、プロパティマネジメント、ストックマネジメントがあるが、全て似ており、概ね「利用者の便益を最大にし、供給者と利用者の費用を最小にするための設計、建設、維持管理、修繕、更新等に関わる全てのプロセスを総合化する」Life Cycle Cost (LCC)の総合化プロセスを述べるのに使われている。先進の米国でも多様な呼称が存在し、必ずしもアセットマネジメントという用語が統一的に用いられているわけではない。一般に、道路分野ではアセットマネジメントと呼ぶのが多いのに対し、官庁施設分野ではファシリティマネジメントやストックマネジメントを用い、明確な定義はできていない<sup>12)</sup>。

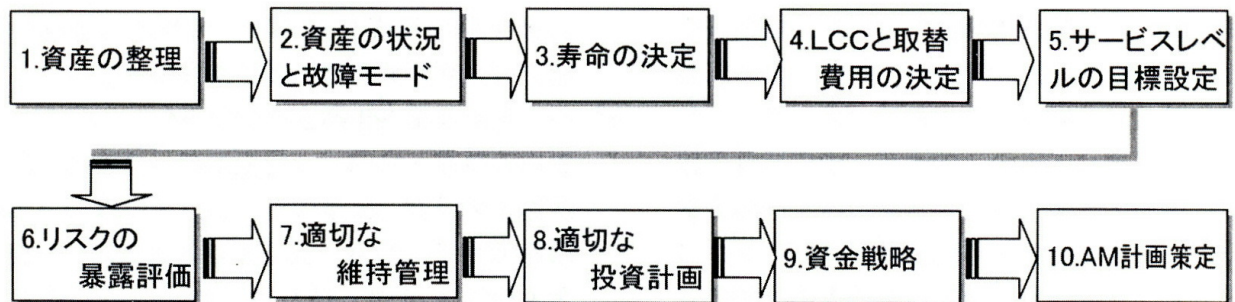
#### (1) 米国

米国連邦道路局(FHWA)は、まだ経験を積み重ねつつある段階のものであると断った上で、次のように定義した。

「アセットマネジメントは、コスト効率よく、物理的資産(physical asset)を維持し(maintaining)、機能を向上し(upgrading)、運用する(operating)、体系化したプロセスである。それは工学的な考え方を、しっかりとした実務のやり方や経済的な理論と組み合わせ、そして、意志決定に向けた組織的、論理的なアプローチを容易にするツールを提供する。このようにして、アセットマネジメントは、短期計画、長期計画の両方を取り扱うフレームワークを提供する。」<sup>13)</sup>

米国環境保護局(EPA)は、建設、運営から資産のマネジメントへ転換するため、資産の寿命を延伸させる最適な維持管理と投資を行う長期資産戦略を発展させ、長期にわたる性能の持続性を図る「拡張アセットマネジメント(AAM)」の普及を進めており、AAMの基本10ステップを図1.8のように

示した<sup>14)</sup>。



出典：石川高輝、海外におけるアセットマネジメント、下水道協会誌、Vol.45、No.547、p.37、2008/05

図 1.8 AAM の基本 10 ステップ（米国 EPA）<sup>14)</sup>

ニューヨーク市は、アセットマネジメントとは、関連資産を費用効率的に運営、維持管理、及び改修するための体系的なプロセスであり、工学的・数学的分析と最善な事業活動事例（ベスト・プラクティス）及び経済理論を組み合わせたものであると定義した<sup>12)</sup>。

## (2) 英国

英国環境・運輸・国土省(DETR)は、アセットマネジメントとは、土地及び建物の戦略的なマネジメントであり、サービス提供に伴う便益や金銭的収益のために、資産利用を最適化することであると定義した<sup>12)</sup>。

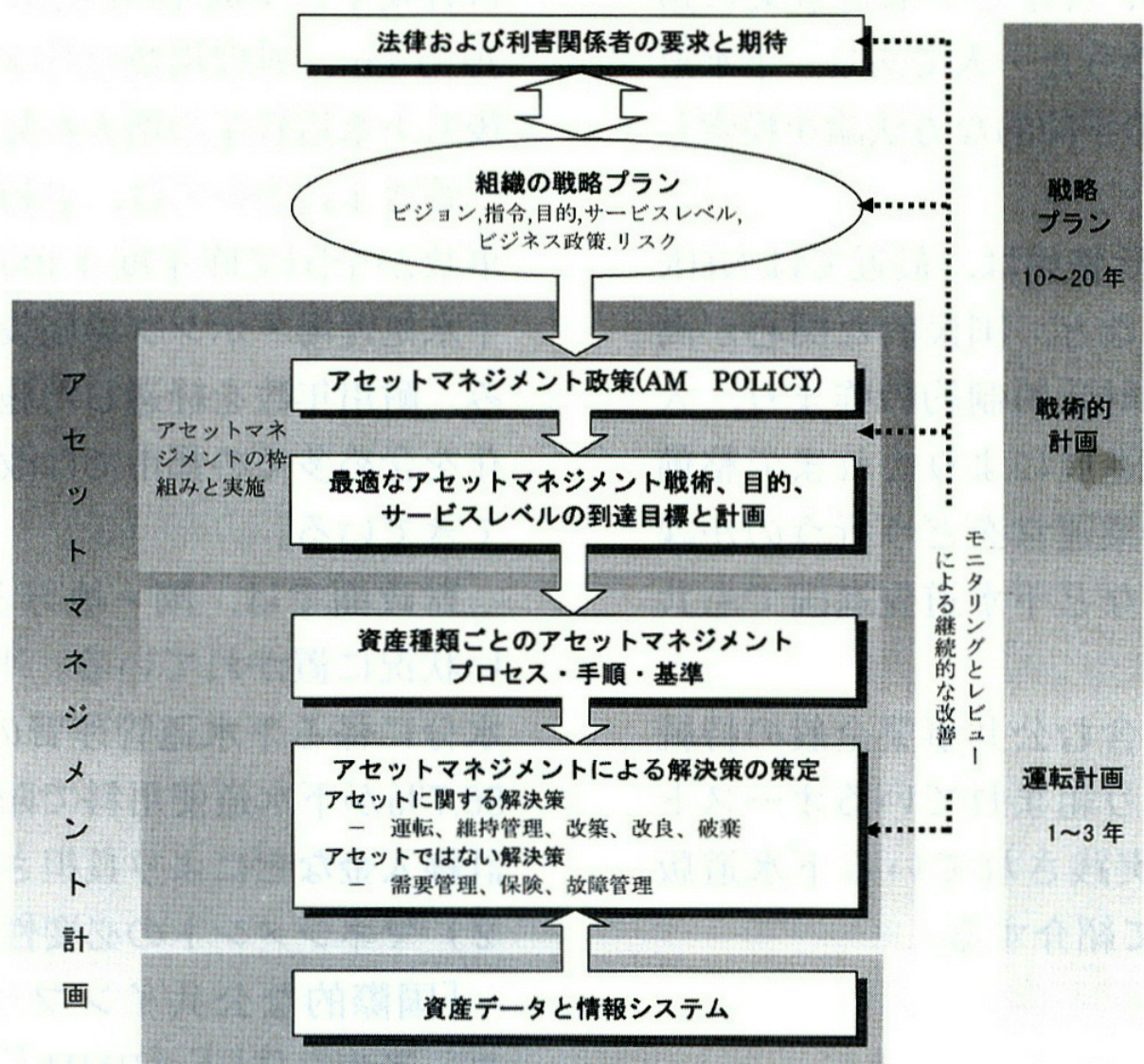
## (3) オーストラリア等

AUSTROAD（オーストラリアとニュージーランドの交通担当部局による協会）は、アセットマネジメントとは、要求されたサービス水準を最も効率的に供給するために物理的資産に対して適用するマネジメント、財務、経済その他の活動の組み合わせであり、次の2段階からなると定義した。

（基本段階）維持管理オプション及び収支計画立案のための資産登録、維持管理システム、人材・資源管理、台帳管理、資産状況調査、サービス水準決定による資産管理。

（発展段階）ライフサイクルにおける維持管理オプション及び収支計画立案のため、予測モデル、リスク管理、最適化された維持決定技術を用いた資産管理<sup>12)</sup>。

オーストラリア全国アセットマネジメント協会は、ニュージーランド、米国、英国、南アフリカと協力して「国際的な公共インフラ事業に関する管理マニュアル(IIMM: International Infrastructure Management Manual 2006 Edition)」を発行し、その中でトータルアセットマネジメントプロセスの概念を図 1.9 のように示している<sup>14)</sup>。

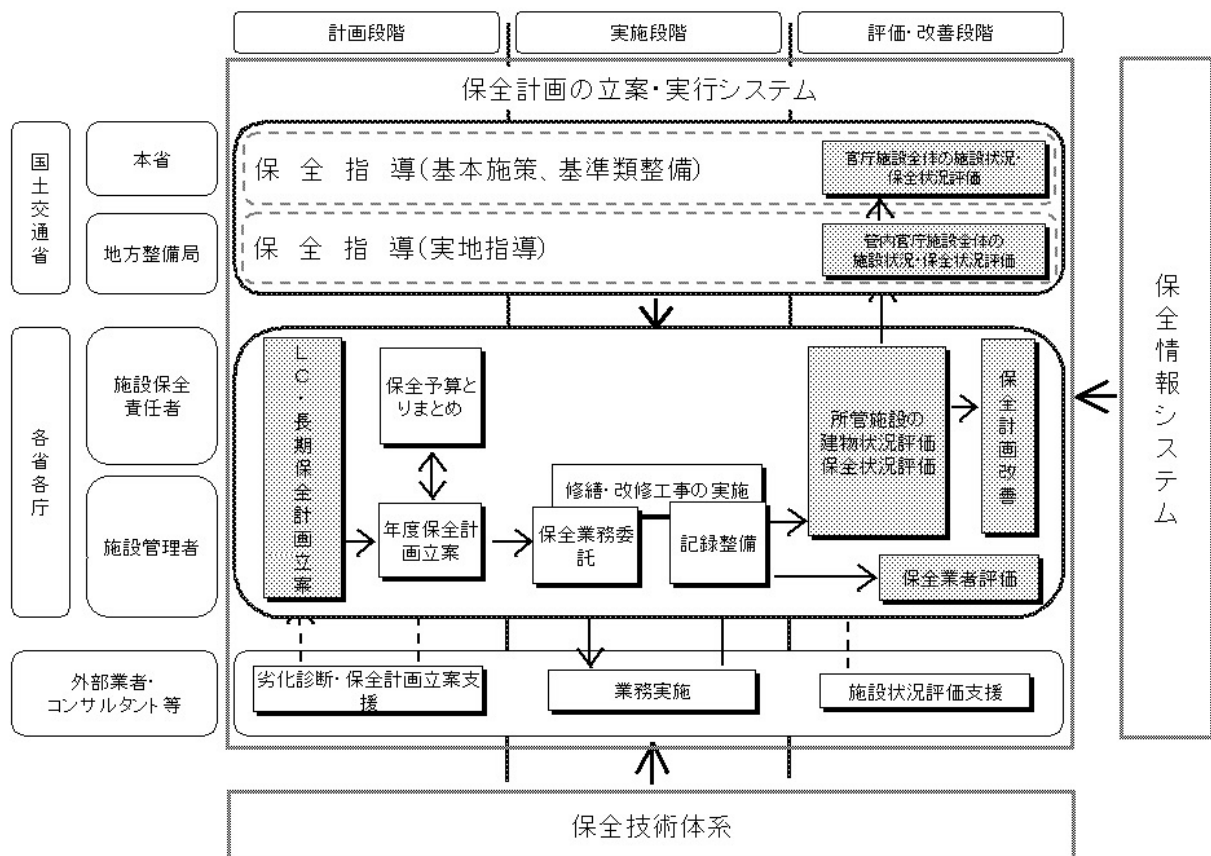


出典：石川高輝、海外におけるアセットマネジメント、下水道協会誌、Vol.45、No.547、p.36、2008/05

図 1.9 トータルアセットマネジメントの概念図(IIMM)<sup>14)</sup>

(4) 日本

2000年、旧建設省官庁営繕部は官庁施設の保全に関し、ストックマネジメント技術の体系を図 1.10 のように整理した。各機関が、計画、実施、評価・改善の各段階でどのような役割を果たすべきかが「保全計画の立案・実行システム」として示され、同時に、そのシステムを円滑に実行するために必要な「保全情報システム」と「保全技術体系」の位置づけが示され、同図中、網掛けの部分在今后充実しなければならない業務であるとされている<sup>15)</sup>。



出典：建設省官庁営繕部報告書(2000)

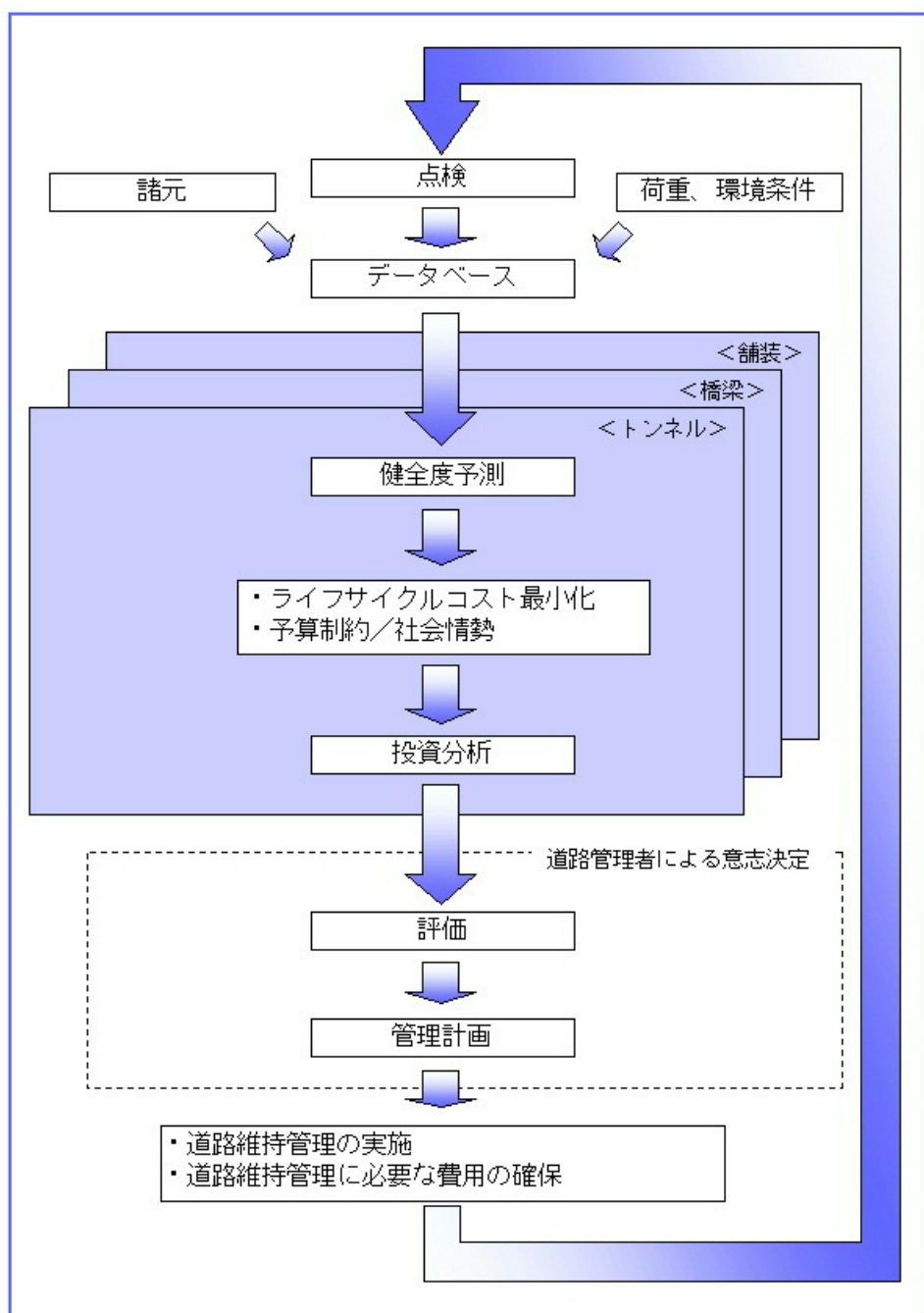
図 1.10 スtockマネジメント技術の体系<sup>15)</sup>

2003年4月、国土交通省道路局の「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会」（委員長：岡村甫高知工科大学学長）が発表した提言中には、アセットマネジメントが「道路を資産としてとらえ、道路構造物の状態を客観的に把握・評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算的制約の中でいつどのような対策をどこに行うのが最適であるかを考慮して、道路構造物を計画的かつ効率的に管理すること」と説明され、図 1.11 が掲げられている<sup>16)</sup>。

2005年11月、(社)土木学会・建設マネジメント委員会・アセットマネジメント研究小委員会（委員長：小澤一雅・東京大学大学院教授）は報告書を発刊し、その中で社会資本のアセットマネジメントを次のように定義している。

『国民の共有財産である社会資本を、国民の利益向上のために、長期的視点に立って、効率的、効果的に管理・運営する体系化された実践活動。工学、経済学、経営学などの分野における知見を総合的に用いながら、継続して（ねばりづよく）行うものである。』<sup>17)</sup>





出典:国交省ホームページ

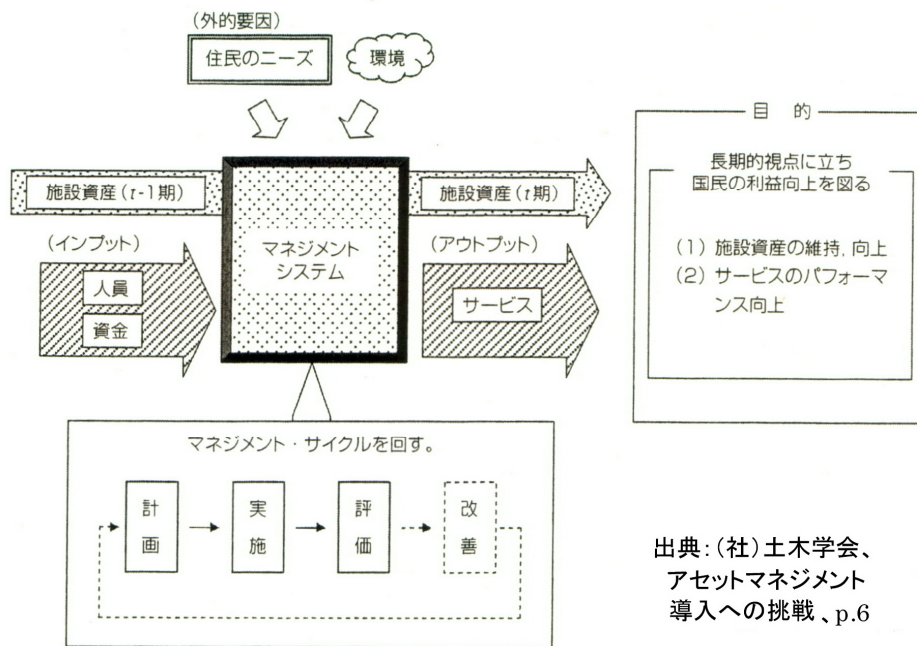
図 1.11 道路アセットマネジメントの考え方<sup>16)</sup>

また、アセットマネジメントの機能イメージを図 1.12 のように示し、導入効果を次のように要約している。

『①必要事業費確保（予算要求等）のしやすさの向上

②LCC 低減などの適正な（個々の）構造物管理の充実

③国民，住民，ユーザー等に対するアカウントビリティの向上』<sup>18)</sup>

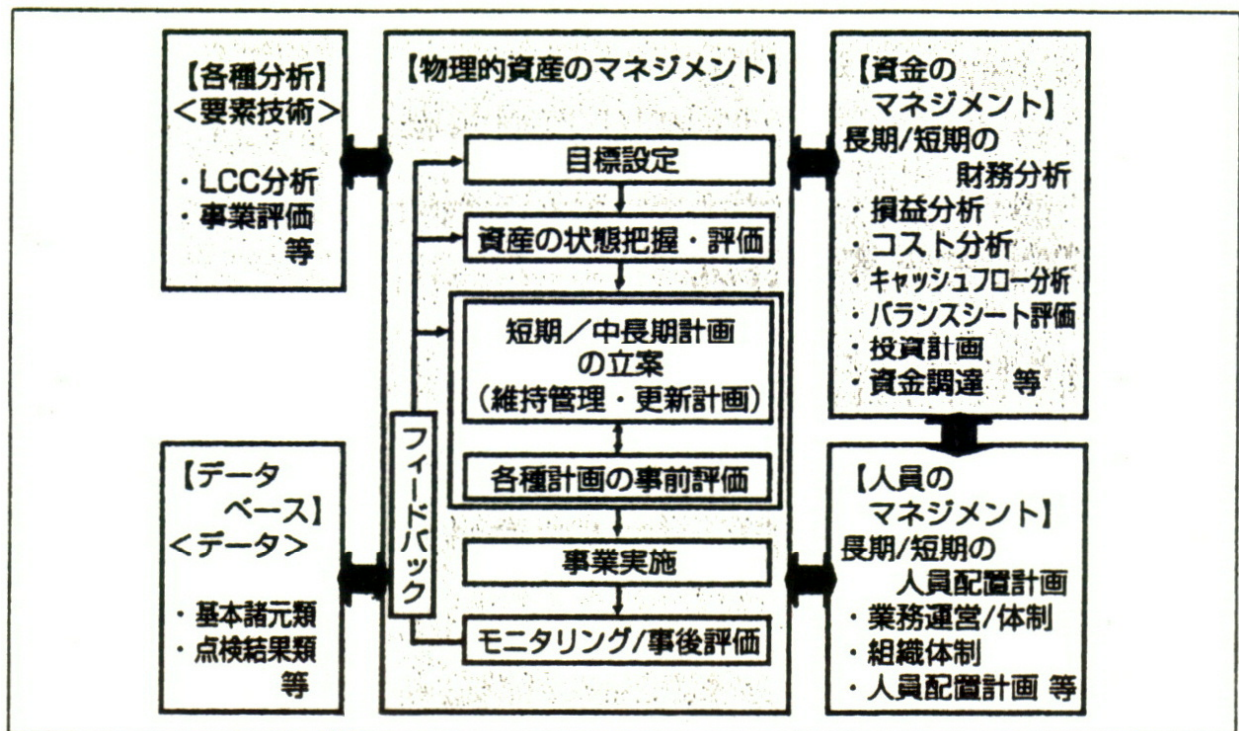


出典：(社)土木学会、  
アセットマネジメント  
導入への挑戦、p.6

図 1.12 マネジメントシステムの機能<sup>17)</sup>

さらに、物理的資産のマネジメントとそれを取り巻く各種マネジメントの関係を図 1.13 で示した

19)。



出典：小澤一雅、アセットマネジメントシステム導入の考え方、土木学会誌、Vol.89、No.8、p.11、2004/08

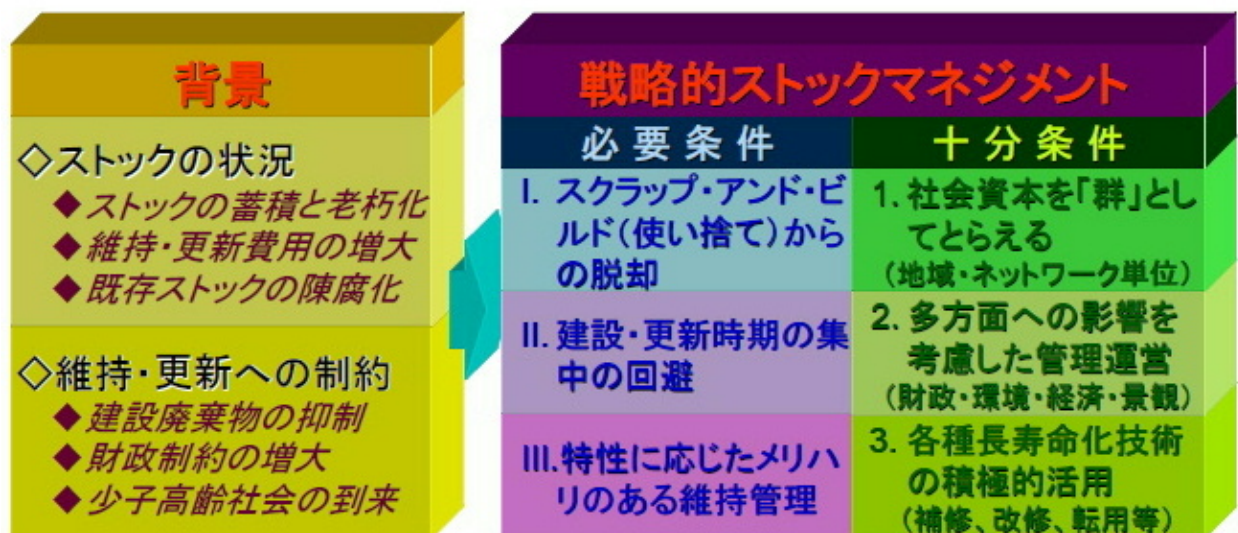
図 1.13 実施体制整備に必要な各種マネジメント<sup>19)</sup>

そして、アセットマネジメントの導入対象として、土木構造物の中でも橋梁がとりわけ注目されている要因を次のように考察した<sup>20)</sup>。

- ①ストック量が大きく、他の土木構造物に比べて、それをマネジメントすることによる効果が大きいと予想されること
- ②交通による荷重(活加重)が載荷されるため、時間依存の劣化現象だけでなく疲労劣化も加わり、経年変化が激しいこと
- ③自治体等の土木における予算の中で「舗装」と「橋梁」が占める割合が大きいこと

2005年の「水道施設機能診断の手引き」では、アセットマネジメントを「水道施設の機能の状態を客観的に評価し、中長期的な水道資産全体の状態を予測するとともに、更新等の改善措置についてコスト及び機能発揮の面から最適な方法と時期を財政計画上で位置付けし、水道施設を計画的かつ効率的に管理すること」と定義している<sup>21)</sup>。

2006年1月、国土交通省国土技術政策総合研究所(国総研)は、その報告書の中で『戦略的ストックマネジメント』を『ネットワークや地域を単位とした複数の社会資本=「群」を対象とし、延命化技術、補修技術、バージョンアップ技術、転用技術等を活用し、財政事情、資産価値、地球環境への影響や地域への波及効果、歴史性や景観といった社会性を総合的に鑑みた総合的な管理運営技術』と整理要約した。(図1.14参照)<sup>22)</sup>



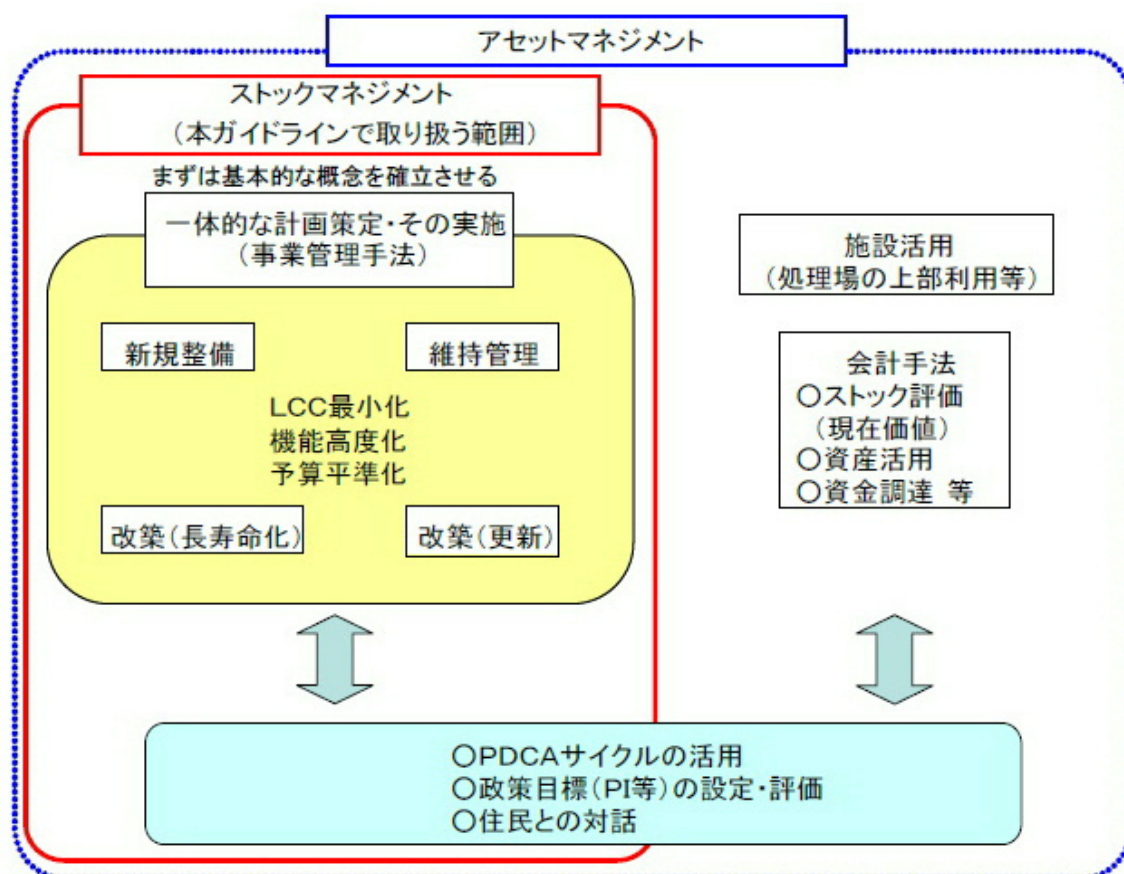
出典:国総研プロジェクト研究報告第4号、p.64

図 1.14 戦略的ストックマネジメントの必要性と考え方<sup>22)</sup>

## 1. 2. 2 下水道

ISO では、上下水道の資産マネジメント規格について議論が始まっている。2001 年、フランスから提案され 6 年間にわたって審議されてきた「飲料水及び下水サービスに関する活動」の国際規格は、2007 年 11 月、東京での第 7 回 ISO/TC224 総会において承認され、同月 29 日に ISO 中央事務局から文書として発行された。同総会では、「有形資産のマネジメント(Physical Asset Management)」と関連用語定義を 2011 年の規格見直し時までに行うこととして承認され、現在、アドホック・グループ会議で規格文書の性格、内容等について議論が進行中である<sup>23),24)</sup>。

国土交通省の「下水道事業におけるストックマネジメント検討委員会」(委員長 田中和博 日本大学理工学部土木工学科教授) は、資産マネジメントを「下水道事業の役割を踏まえ、持続可能な下水道事業の実施を図るため、明確な目標を定め、膨大な施設の状況を客観的に把握、評価し、中長期的な施設の状況を予測しながら、下水道施設を計画的かつ効率的に管理すること」と定義し、図 1.15 のように示した<sup>25)</sup>。



出典:国土交通省ホームページ <http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/info/sei/da/080418/02.pdf> p.4

図 1.15 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<sup>25)</sup>

日本下水道事業団の資産マネジメント手法導入検討委員会(委員長 花木啓祐 東京大学大学院)

教授) は、下水道事業におけるアセットマネジメントを『「下水道」を資産として捉え、下水道施設の状態を客観的に把握、評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算制約を考慮して下水道施設を計画的、かつ、効率的に管理する手法』と定義し、アセットマネジメント手法実施フローを図 1.16 のとおり示した。また、導入効果として LCC の低減、サービス水準の確保、アカウントビリティの向上、投資の平準化の 3 項目を挙げた<sup>26)</sup>。

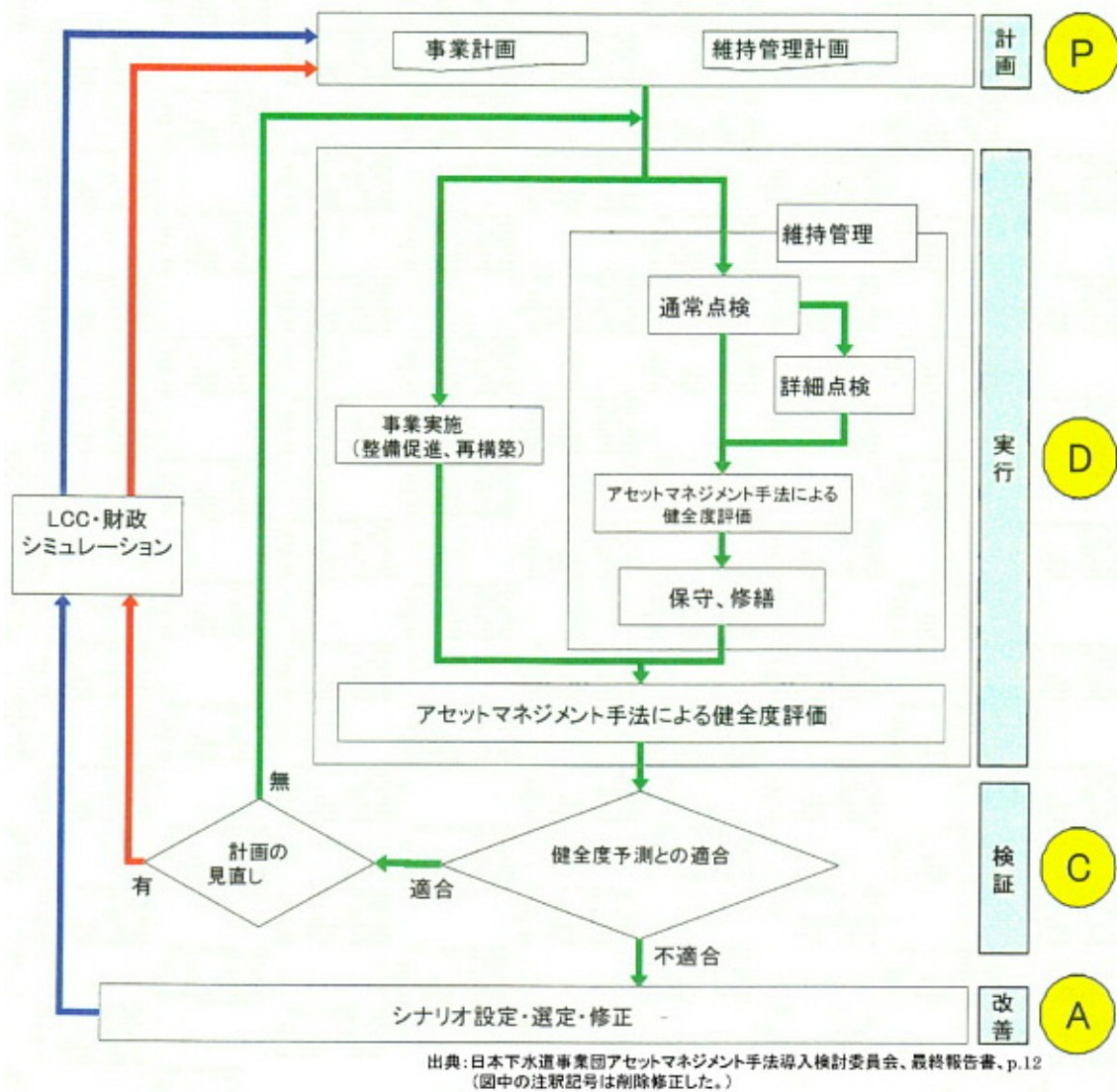


図 1.16 アセットマネジメント手法実施フロー<sup>26)</sup>

滋賀県琵琶湖流域下水道ストックマネジメント検討委員会(委員長:山田淳・立命館大学教授)は、アセットマネジメントとストックマネジメントを次のように定義している<sup>27)</sup>。

### アセットマネジメント

滋賀県民の共有財産である「流域下水道施設」を、滋賀県民の利益向上を図り、かつ、滋賀県民との対話を踏まえて設定する下水道のサービス水準を達成するため、長期的な視点にたち、施設・設備の長寿命化、施設・設備の機能診断、状態の評価、劣化予測及び対策の検討を行い、下水道資産・資源の有効活用を積極的に図る。

また、下水道事業経営の持続を目的とし企業会計方式を導入し、滋賀県民への下水道情報の公開及び下水道事業の検証・評価を行う。

### ストックマネジメント

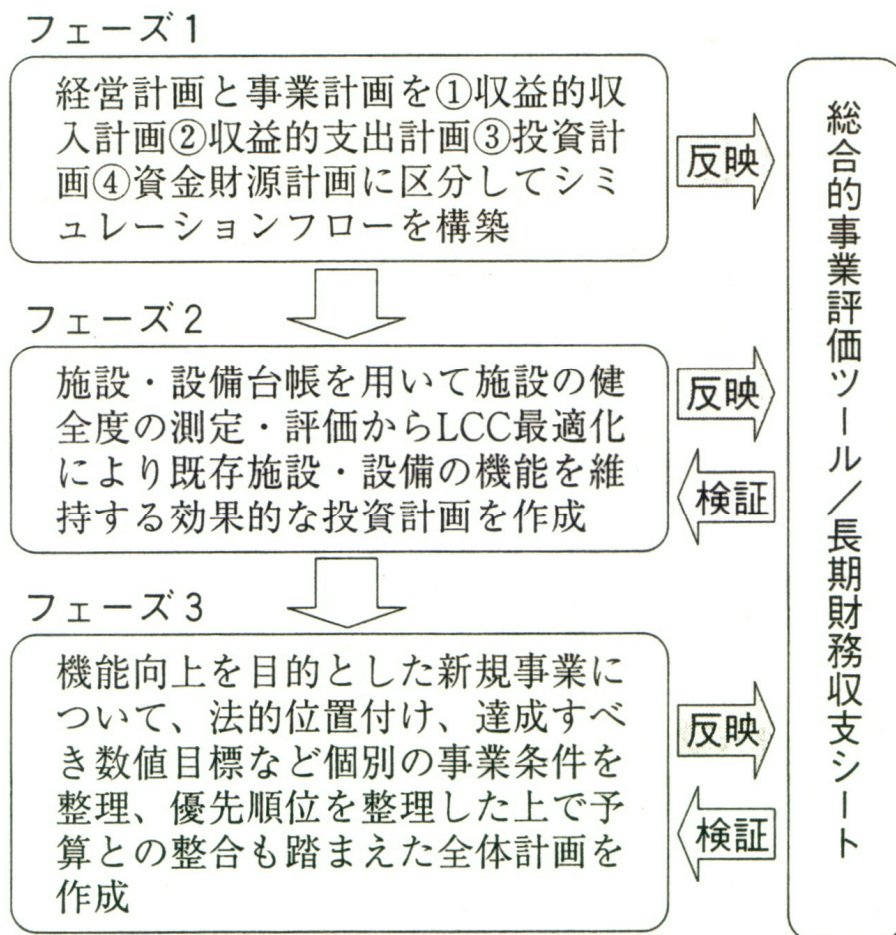
滋賀県民の共有財産である「流域下水道施設」を、滋賀県民の利益向上のため、長期的な視点にたち、施設・設備の機能診断、状態の評価、劣化予測、対策の検討及びライフサイクルコストの算定という一連の作業を行うことにより計画的かつ効率的に管理する。

京都府は「京都の流域下水道・長寿・循環再生プラン」の中で下水道のアセットマネジメントを「下水道施設・設備を多面的な視点で資産ととらえ、府民にとって最適なサービスを提供できる維持・管理・補修・更新を継続できるための仕組み」と定義している。なお、下水道のサービスを「下水道を効率的に維持し、府民との連携を図ることで、将来にわたって安定的に水域の水環境を保全すること」と定義し、「安心・安全」「経済性」「生活環境」「地球環境」という4つの視点から具体的なサービス水準を設定することとしている<sup>28)</sup>。

京都市上下水道局はアセットマネジメントを『資産を効率よく管理・運用するための手法。公共施設の場合は、施設の状態を施設機能と金銭的価値から把握・評価することにより、今後の施設機能の状態を予測し、限られた財源の中で「いつ、どの施設から」改築更新を行うことが最適であるかといった事業計画を策定するために用いる手法』と定義している<sup>29)</sup>。

同局はコスト最小化のLCC型ではなく効果最大化のNPM(New Public Management)型のアセットマネジメントを図1.17の手順で構築中であり、現在フェーズ1を実施中である。LCC最小化については、施設の延命化を目指し、LCC最小化が温室効果ガス排出削減とトレードオフの関係になるとの認識の下、フェーズ2のLCC最適化検討の後、フェーズ3においてLIME(被害算定型環境影響評価手法)により温暖化対策の外部経済効果を算定し、温暖化対策を含む新規工事の優先順位を検討す

ることとしている<sup>30)</sup>。

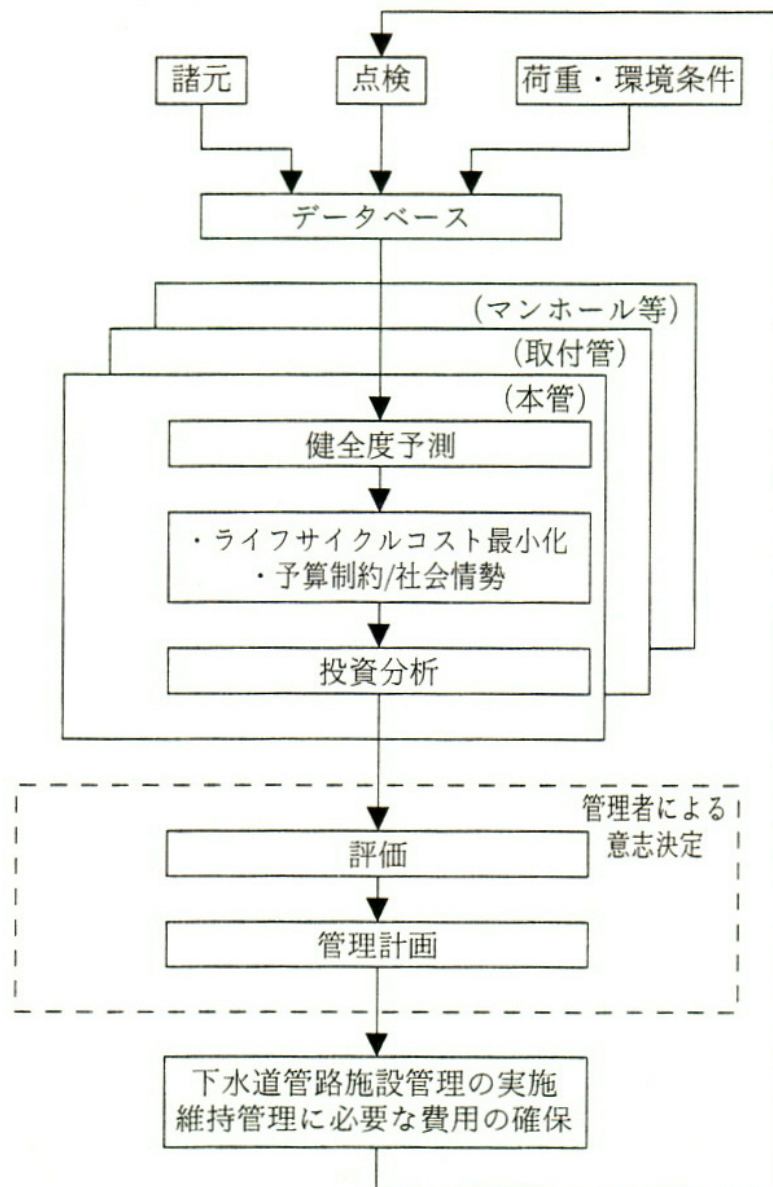


出典：中西哲也、酒井喜代治、大野均：アセットマネジメントにおける温暖化対策事業の評価について、水道公論、Vol.44、No.3、p.54、2008/03

図 1.17 NPM 型アセットマネジメントの導入フロー<sup>30)</sup>

管路診断コンサルタント協会では、道路アセットマネジメントの考え方を参考とし、下水管渠のアセットマネジメントの概念を図 1.18 のように定義している<sup>31)</sup>。

以上のように「アセットマネジメント」、「ストックマネジメント」等の意味・範囲については様々な考え方があり、両者が同じ意味で用いられることも多い。したがって、本研究では明確にそれら用語を区別することはしない。



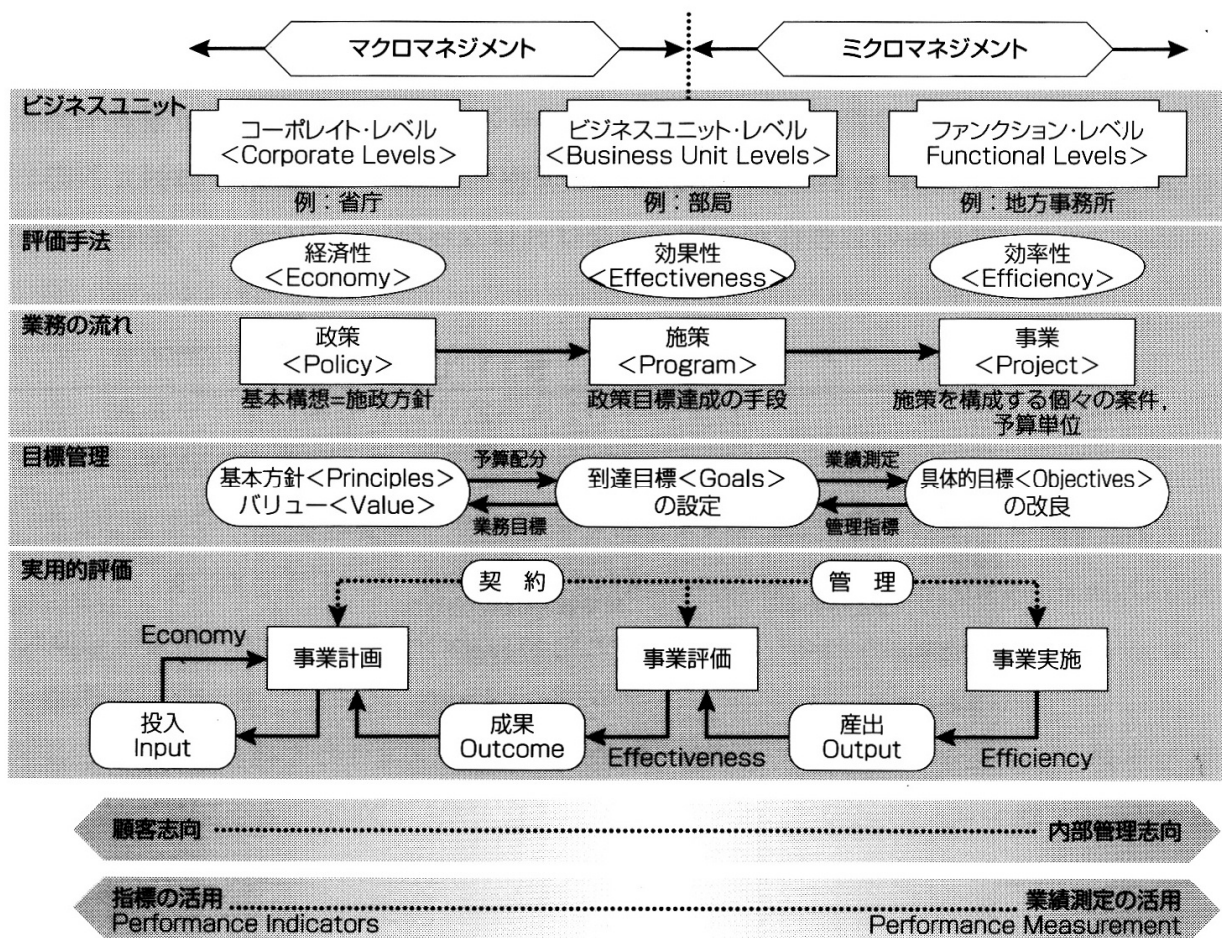
出典:下水道管きょ改築・修繕にかかる調査・診断・設計実務必携、p.30

図 1.18 アセットマネジメントの考え方<sup>31)</sup>

### 1. 2. 3 ミクロマネジメントとマクロマネジメント

(社)土木学会は、社会資本のアセットマネジメントに関するミクロマネジメントとマクロマネジメントの概念について、管理組織の階層に着目し、『ミクロとは、現場に近い部局が実施するサービス水準の設定や、事業調達のオプションにかかわるマネジメントなどに代表されるものであり、他方マクロとは、政策指針の決定や投資類型のトレードオフ分析等がその主なものである。』と解説している。(図 1.19 参照)<sup>32)</sup>





出典: 土木学会建設マネジメント委員会アセットマネジメント小委員会[委員長 小澤一雅 東京大学大学院教授]、アセットマネジメント導入への挑戦、技報堂出版、p.37、2005/11

図 1.19 ミクロマネジメントとマクロマネジメント<sup>32)</sup>

また国総研は、『ストック量（群の単位）を、全体と対象施設の状態が把握できる範囲とに階層化し...全体を取り扱う群管理をマクロマネジメント、対象施設の状態が把握できる範囲の群管理をミクロマネジメント』（図 1.20 参照）とし、国道橋を対象とした事例研究のミクロとマクロの検討範囲を次のように区別している。

『・ミクロは、「個々の橋」の性能評価，補修・予算計画および管理する施設全体を適切に維持管理する取り組みを行う。

・マクロの取り組みは，ミクロからの情報（性能と予算）からミクロ群全体の方針を検討し，ミクロにおけるマネジメントを適切に行うための予算や管理方針などを検討する。...マクロは個々の橋は扱わないものとする。』（図 1.21 参照）<sup>33)</sup>

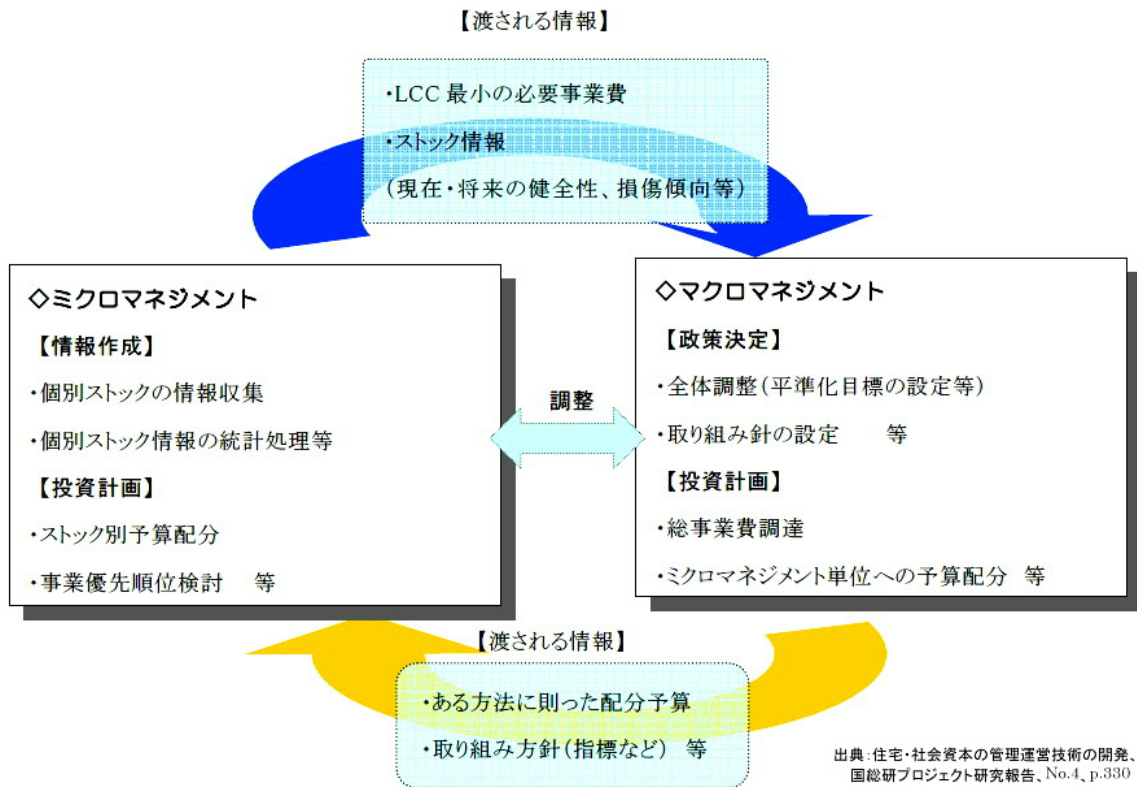
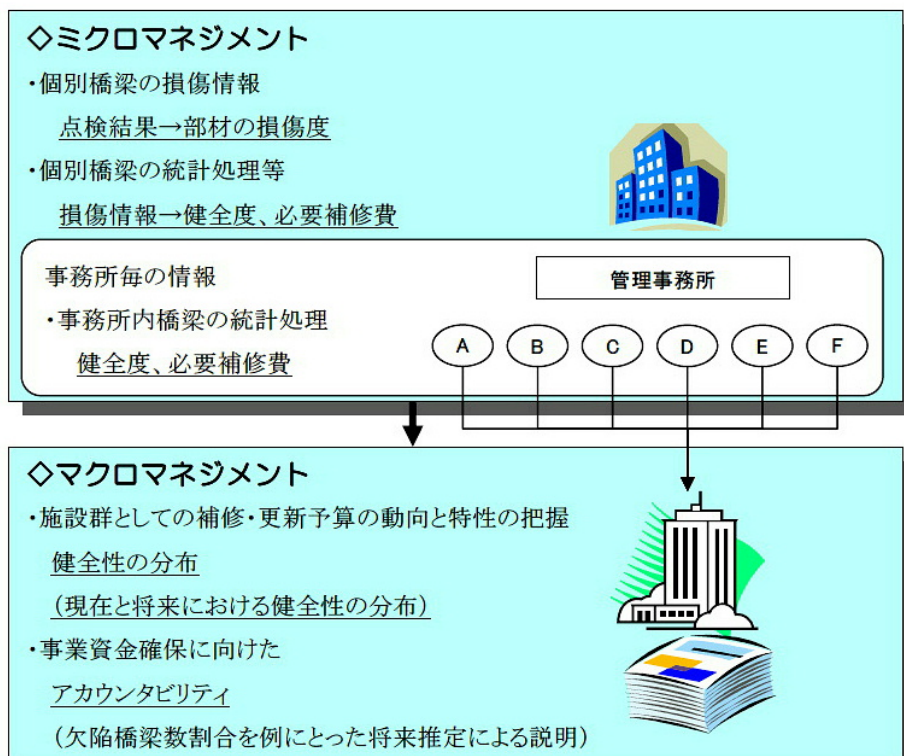


図 1.20 ミクロ、マクロマネジメントのイメージ<sup>33)</sup>



出典:住宅・社会資本の管理運営技術の開発、国総研プロジェクト研究報告、No.4、p.331

図 1.21 国道橋を対象としたミクロとマクロ<sup>33)</sup>

以上を参考としつつ、本研究では、単位として扱うことのできる個別施設を対象とした健全度測定、LCC 算定、維持修繕、改築更新等の管理をマイクロマネジメント、個別施設を集めて十分な大きさの施設群とし、統計解析、費用効果分析等により事業費、事業量、資産、効果、組織人員等を事業全体的に扱う管理をマクロマネジメントと解釈し、そのように定義する。

両マネジメントは目的も手法も異なるので、接点を見つけ出し、統合的に連携させることは容易ではないが、もしそれができたならば、相互補完や精度・信頼性の向上などが期待され、より統合的なマネジメントが可能になると考えられる。

#### 1. 2. 4 実用的下水道アセットマネジメントの概念

前節まで、過去に提案された様々なアセットマネジメントの定義と内容を紹介した。それらを参考としつつ、本節では筆者がまとめた実用的下水道アセットマネジメントの概念を図 1.22 に示し、以下に説明する。まず、アセットマネジメントを大きくマクロマネジメントとマイクロマネジメントに分類する。前者は十分な大きさの施設群を検討対象とし、後者は管理上最小単位のまとまりの施設を検討対象とする。

また、アセットマネジメントの効果を単独と相互作用に分類する。マクロマネジメントの単独効果として、予算必要性の説明根拠の提示、スクリーニングや優先順位付けによる改築修繕に係る調査・工事箇所の効果的選定、道路陥没など損害・悪影響の最小化、事業効果の最大化などが考えられる。マイクロマネジメントの単独効果としては LCC、LCA 検討によるコスト、CO<sub>2</sub>の最小化などが考えられる。

マクロマネジメントのマイクロマネジメントへの作用としては、マクロマネジメント算出値が社会的、経営的な制約・要請に十分に適合できず、個々の施設のマイクロマネジメント目標値の変更を必要とする場合が考えられる。例えば下水道起因の道路陥没件数が多すぎて社会的に耐えがたいため、改築修繕を陥没発生後のみならず最劣化分類や余命 10 年未満と判定された全管渠について陥没発生前に予防保全的に行うなどである。

マイクロマネジメントのマクロマネジメントへの作用としては、マイクロマネジメントの算出値の総和がどの程度マクロマネジメントの算出値に一致しているかの検証が考えられる。例えばマイクロマネジメントで個々の管渠について劣化曲線により残存耐用年数を推計し、これらを全管渠について集計して残存耐用年数別延長分布を算出し、これによってマクロマネジメントで統計的に推計した将来年間改築延長推移を検証するなどである。

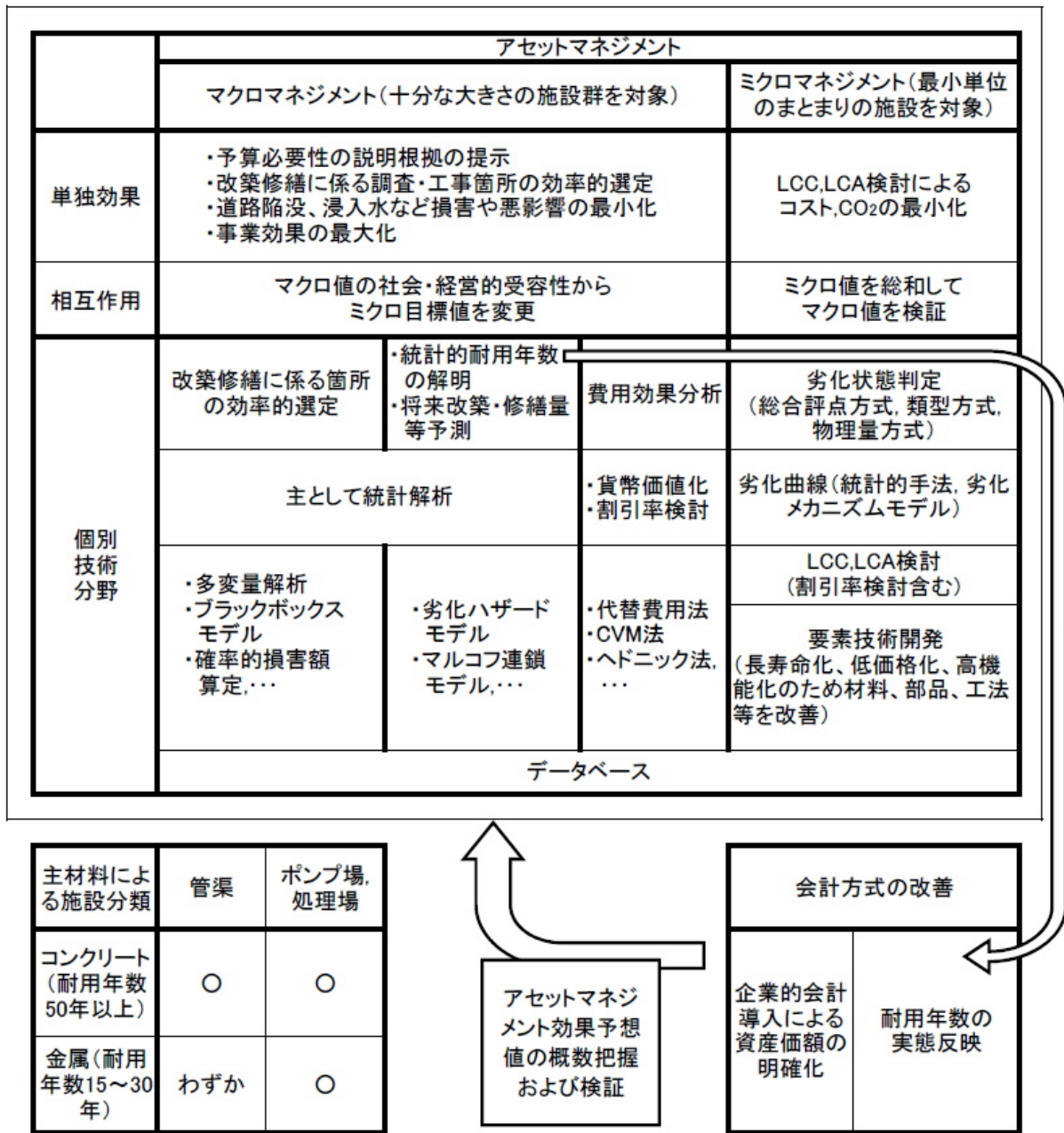


図 1.22 実用的下水道アセットマネジメントの概念図

アセットマネジメントの道具となる個別技術分野について、マクロマネジメントでは大きく改築修繕箇所選定、耐用年数説明及び将来改築修繕量予測並びに費用効果分析に3分類する。改築修繕箇所選定の分野では、改築修繕、浸入水防止等のための調査・工事箇所選定で多変量解析、ブラックボックスモデル、確率的損害額算定等の手法が研究ないし実際に利用されている。耐用年数説明及び将来改築修繕量予測の分野では劣化ハザードモデル、マルコフ連鎖モデル等の手法の適用性が研究されつつある。費用効果分析の分野では、代替費用法、CVM法、ヘドニック法などで事業効果を貨幣価値化し割引率により現在価値化する手法が実際に利用されている。

統計解析は、前二者では施設群データを扱うため有力な手法となるが、後者では事業の全体又は主要部分を一体として扱うため必ずしも有力とはならない。

マイクロマネジメントの個別技術分野については、まず劣化状態判定の分野があり、評価項目ごとの点数を合計判定する総合評点方式、調査結果を判定条件に照らして劣化度分類する類型方式、強度、損傷寸法などをそのまま利用する物理量方式の手法がある。次に劣化曲線算定の分野があり、統計的な手法と劣化メカニズムモデルを利用する手法がある。三番目に、LCCやLCAの検討によりトータルコストや温暖化ガス排出量を最小化する分野があり、現在価値化計算で割引率が影響する。最後に要素技術開発の分野があり、長寿命化、低価格化、高機能化を目指し、材料、部品、工法等を改善するものである。

マクロマネジメント、マイクロマネジメントに共通してデータが必要であり、後からでは収集できないものもあるが、少なくない費用や労力がかかるので、闇雲に収集するのではなく、データ解析方法及びその結果の有効な利用方法の見通しを付けてからデータ項目を設定し収集調査するのが適当であると筆者は考える。

ところで、下水道におけるアセットマネジメントの対象施設の種類としては、構造から管渠とポンプ場・処理場に、材料からコンクリートと金属に大別できると考えられる。特にコンクリートと金属の材料寿命は大きく異なる。金属を主材料とする管渠はわずかであるので、管渠のコンクリート、ポンプ場・処理場のコンクリート、金属に3分類しマネジメント手法を検討するのが有効であると考えられる。

最後に、上述の工学的マネジメントと会計的マネジメントの関連付けが重要であると考えられる。会計の大きな目的として金額による正確な経営状態の把握があり、経営状態の大きな部分を占める資産価額や減価償却費を算出できる企業の会計の導入がまず必要である。さらに、それら金額の適正評価のためには実態に則した平均耐用年数が必須である。これはマクロマネジメントの統計解析から算出することが可能である。逆に、会計数字からアセットマネジメント効果が金額として算出されるはずであり、会計数字はアセットマネジメント効果の予想値を概数把握し、及び検証するための材料となることが期待される。

### 1. 3 既往のアセットマネジメント導入事例及び研究調査

#### 1. 3. 1 社会資本全般・住宅

##### (1) 英国

1980年代の半ば以降、経済の停滞、少子高齢化に伴う財政悪化・公的負債増加、公共部門のサー

ビス効率低下等の問題を背景として、英国、ニュージーランド等を中心にニュー・パブリック・マネジメント（NPM）と呼ばれ、公的部門に民間企業の経営管理手法を幅広く導入して効率化や質的向上を図る行政経営手法が開発された<sup>34)</sup>。

英国の道路公団(HA: Highway Agency)では、完成後 30 から 40 年を経過し老朽化した道路構造物が大量に発生している状況を踏まえ、アセットマネジメントの導入を試みている。その内容は、個々の構造物の現況詳細データを集め、劣化予測し、補修の時期・規模に優先順位を付け、長期的コストを最小とする対策案を選択・実行するというものである。また、橋梁、トンネルなど構造物のマネジメントのため、HA と維持管理受託業者をネットワークで結び、点検結果の評価、維持作業の内容・優先順位の決定、長期計画策定などを可能とする SMIS(Structures Management Information System)が開発された<sup>35)</sup>。

## (2) 米国

米国では、1970～1980 年代の経済不況下における道路等公共投資の縮減のため、死者 46 名を出した 1967 年のシルバー橋、1983 年のマイアナス橋の落橋事故など、社会資本の荒廃が進んだ。これらを背景として連邦道路局(FHWA: Federal Highway Administration)は 1971 年、全米橋梁検査プログラム(NBIP: National Bridge Inspection Program)を策定し、2007 年度には 57 万 5,000 橋の情報が収録されることとなる全米橋梁台帳(National Bridge Inventory)を整備・公開し、1990 年代には重要部材の目視検査方法と検査結果に基づく劣化予測を含む橋梁マネジメント支援システム(PONTIS)を開発した<sup>36),37)</sup>。

サンフランシスコ湾に架かるカルキネス橋(Carquinez bridges)は、PONTIS を用いたライフサイクルコスト分析等により、旧橋廃棄・新橋建設の事業が認可・実施された<sup>38)</sup>。

PONTIS はアメリカ国内で 50 の道路管理者が利用しており、全ての橋梁点検データは情報公開法により誰でも入手でき、PONTIS という共通の健全度評価基準に基づいたデータにより劣化予測式が構築され、その更新が定期的に行われているようである<sup>39)</sup>。

1992 年に誕生したクリントン政権における「連邦政府全体をより低費用かつ効率化すること」を目標の一つとした行政改革の流れの中で、1997 年、米国行政管理予算局によって資本的資産に関する指針として「資本プログラミングガイド(Capital Programming Guide)」が策定された。1998 年には米国会計検査院は資産取得とマネジメントに関する意志決定のガイドとなる「実行／実践ガイド 資本意志決定における先進的な実践(Executive Guide Leading Practices in Capital Decision-Making)」を策定した。これらに基づいて米国省庁では資本的資産に関するマネジメントが導入されている。さらに、1999 年、道路など公共財の資本的資産価値を財務報告に反映させることを州政府や地方自治体に義務づける会計制度「州政府と地方自治体の基本的な財務報告；GASB34(Governmental Accounting

Standards Boards Statement No.34) が策定された<sup>40),41)</sup>。

米国の橋梁については、NBIP が検査員の主観的判断に依存する定性的な検査基準であるため、ウィスコンシン州 Hoan 橋(2000 年)の主桁破断、ペンシルバニア州 I-90 号線 PC 跨線橋(2005 年)落橋など、検査直後に事故が発生する例も見られたので、連邦道路局は客観的、定量的な手法を開発するため、2006 年度から 20 年間の研究プロジェクト「長期橋梁性能プログラム(LTBPP: Long Term Bridge Performance Program)」を発足させた<sup>36)</sup>。

米国では 1980 年代後半から道路投資額が回復し、1990 年代以降、欠陥橋梁の割合は次第に減少したが<sup>37)</sup>、2007 年 8 月 1 日のミネアポリス市のミシシッピ川に架かる州間高速道路 35W 号線の落橋事故は記憶に新しい。

また、米国ではアセットマネジメントを民間委託する動きもある。バージニア運輸局(VDOT: Virginia Department of Transportation)は 1996 年、ハイウェイ 402km、インターステート全長の 25%に及ぶ 1 億 3,200 万ドルの道路資産のアセットマネジメントをリッチモンドの VMS 社に委託する契約をし、それ以前に 18 億ドルであった州の年間道路管理支出を 44%、8 億ドル縮減した。同社は、高解像度ビデオカメラを 1 マイルごとに設置して舗装と側道の状況を捕捉し、レーダーを道路状況把握に使い、管理作業水準を定め、常時資産を保有せず、必要な時に必要な量だけ優れた企業に外注する方法によりこれを達成した<sup>42)</sup>。

### (3) オーストラリア、ニュージーランド等

オーストラリアとニュージーランドでは、運輸・交通行政機関で構成される Austroads が道路に係るアセットマネジメントの共通技術基準、マニュアル、ガイドラインを提示している。<sup>35)</sup> また、オーストラリアのみならず、英国、ニュージーランドでも道路など社会資本ストックを取得原価ではなく再取得価額により評価する会計制度の取り組みが行われている<sup>43)</sup>。

### (4) 日本

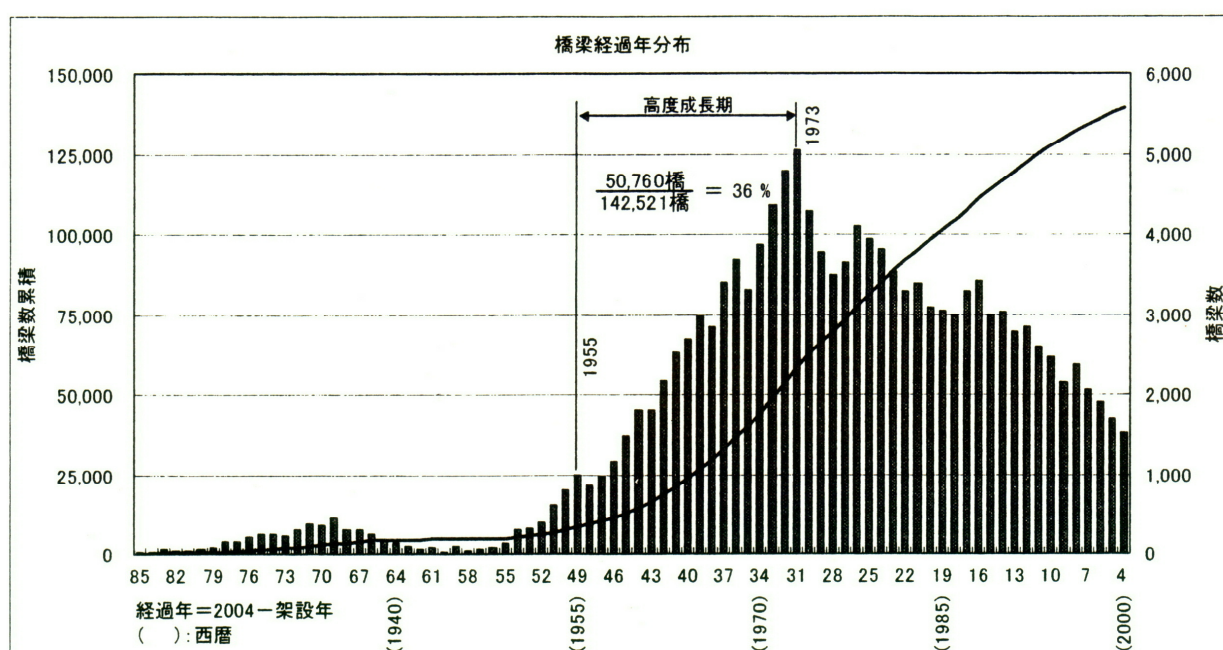
日本国内では国、自治体、公団において道路資産管理へのアセットマネジメント導入が進んでいる。

国土交通省は、2002 年度重点施策において「トータルコストの縮減などを目指して、道路管理手法にアセットマネジメントの考え方などを導入し、効率的・計画的な維持管理を行うこと」を提示し、2003 年 4 月には「道路構造物の今後の管理・更新のあり方に関する委員会」の提言を公表し、アセットマネジメント導入による管理の効率化の考え方を提示している。また、道路を効率的に管理するためには、道路の安全性や健全性を維持しつつ、道路構造物の建設と管理に必要な中期的な費用(ライフサイクルコスト)を最小化することが必要であるとしている<sup>44)</sup>。

また、国総研は、2001～2004 年度、プロジェクト研究「住宅・社会資本の管理運営技術の開発」

において「戦略的ストックマネジメント手法」の研究開発を行った。同研究は、道路、ダム、下水道、公共建築、公営住宅などの住宅・社会資本について、多方面への影響（財政・環境・経済・景観）を考慮しつつ、建設・更新時期の集中を回避するため、これらを地域・ネットワークを単位とした「群」としてとらえ、補修・改修・転用等の各種長寿命化技術を積極的に活用する管理運営技術を検討するものである<sup>45)</sup>。

日本の道路構造物は図 1.23 に示すように高度成長期に大量に建設され、その割合は橋梁では全橋梁数の約 40%、トンネルでは全トンネル数の約 25% を占めている。また、建設ピークは 1973 年であり、図 1.7 で示した下水管渠の 1997 年より 24 年早い。



出典: 玉越隆史、中州啓太、石尾真理、武田達也; 道路橋の寿命推計に関する調査研究、国土技術政策総合研究所資料第223号、p.1、2004/12

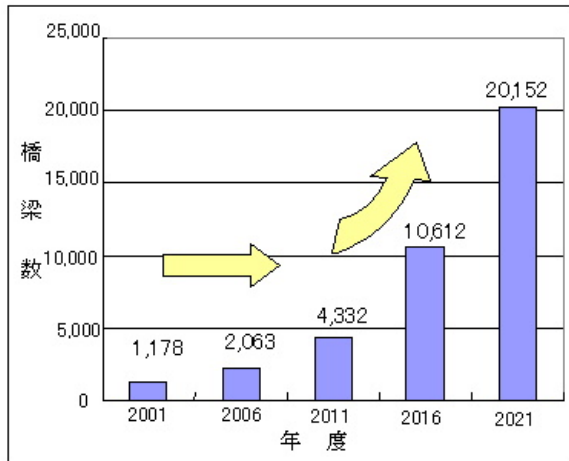
図 1.23 建設年次別橋梁数<sup>46)</sup>

図 1.24 に示すように建設後 50 年以上経過した橋梁は 10 年後には現在の約 4 倍、20 年後には約 17 倍に達し、建設後 50 年以上経過したトンネルは、10 年後には現在の約 3 倍、20 年後には約 12 倍に達するなど、道路構造物の高齢化が今後集中的に進むことになる。この状況を米国と比較すると、日本の道路構造物は、1980 年代の「荒廃するアメリカ」と呼ばれた状況に近づきつつあり、10 年後には当時の米国を上回る道路構造物の高齢化が進み、深刻な事態となることが予想されている<sup>46)</sup>。

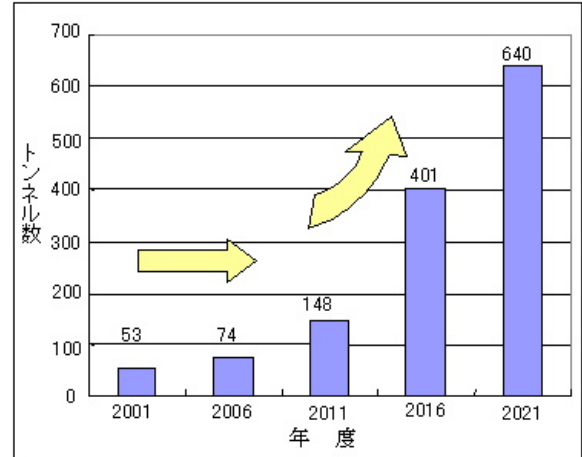


## 高齢化する道路構造物は 10 年後から 20 年後にかけて飛躍的に増加

建設後 50 年以上の橋梁の推移  
(直轄国道+4 公団)



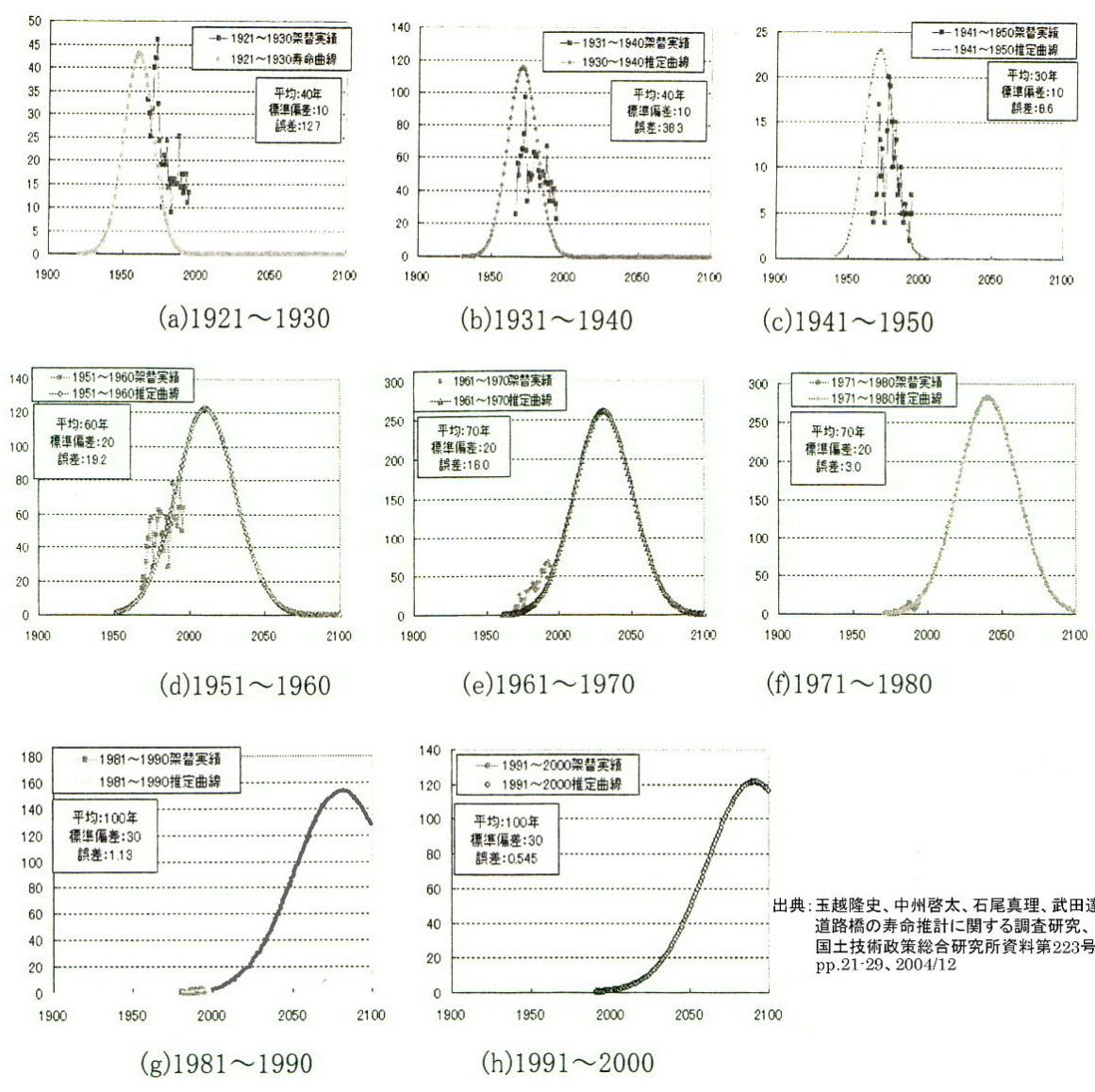
建設後 50 年以上のトンネルの推移  
(直轄国道+4 公団)



出典：国土交通省 道路構造物の今後の管理・更新等のあり方 提言(2003/04)

図 1.24 建設後 50 年以上の橋梁・トンネルの推移<sup>46)</sup>

橋梁の寿命は、「減価償却資産の耐用年数等に関する大蔵省令」等を引用して一般に 50 年程度と言われることがあるが、国土交通省が定期的実施している橋梁の架替えに関する実態調査結果から、建設年代によって違いが見られることがわかってきている。国総研は、架替総数が 4,860 となる同調査結果データに正規分布の寿命曲線を近似して当てはめ、全橋について図 1.25 及び表 1.3 の結果を算出した。物資が不足していた第二次大戦中から戦後にかけての寿命が 30~40 年程度と短く、その後徐々に長くなり、近年では 100 年程度と推定された<sup>46),48)</sup>。



出典：玉越隆史、中州啓太、石尾真理、武田達也；  
道路橋の寿命推計に関する調査研究、  
国土技術政策総合研究所資料第223号、  
pp.21-29、2004/12

図 1.25 年代別の寿命曲線の推定 <sup>46)</sup>

表 1.3 建設年代別の道路橋寿命の推定結果 <sup>48)</sup>

架設年次	平均(年)	標準偏差(年)
1921～1930	40	10
1931～1940	40	10
1941～1950	30	10
1951～1960	60	20
1961～1970	70	20
1971～1980	70	20
1981～1990	100	30
1991～2000	100	30
2000～	100	30

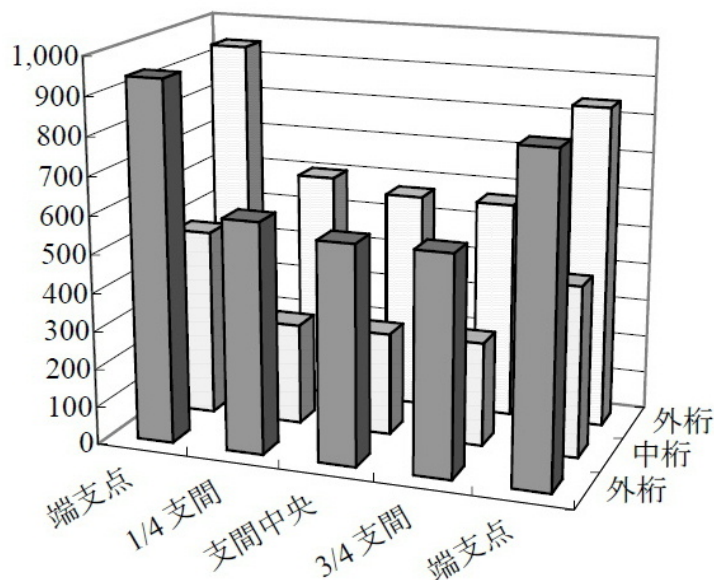
出典：国総研プロジェクト研究報告第4号、p.538

国管理の道路橋梁においては、1988年に策定された「橋梁点検要領(案)」に基づいて定期的な点検が行われ、損傷の種類・状態、損傷ランクなどが記録、収集されてきた。さらに2004年に策定された「橋梁定期点検要領(案)」により、近接点検が概ね5年毎に行われている。2007年、国総研・道路構造物管理研究室は、損傷事例や過去の点検結果から道路橋の劣化傾向等に関する分析結果をとりまとめ、道路橋の健全度の把握に最低限必要な基礎的情報を収集する手法として「道路橋に関する基礎データ収集要領(案)」を公表した。分析結果例と手法の概要を次の表1.4及び図1.26に示す49)。

表 1.4 定期点検要領(案)と道路橋の健全度に関する基礎データ収集要領(案)の比較

定期点検要領(案)	基礎データ収集要領(案)
26損傷×5段階評価 =130区分	12損傷×2~5段階評価 =33区分(25%)
橋梁全体	腐食:桁端部 等
近接目視	下部工:遠望目視 等
損傷程度の評価	約5割以上の削減
対策区分の判定	対象外

(出典:国土交通省国土技術政策総合研究所資料)



出典:玉越隆史、小林寛、武田達也、平塚慶達、道路橋の健全度に関する基礎的調査に関する研究、国土交通省国土技術政策総合研究所資料、No.381、p.40、2007/04

図 1.26 腐食の部位別損傷点数<sup>49)</sup>

(鋼橋 I 桁, H 形鋼 (非合成+合成) 単純桁)

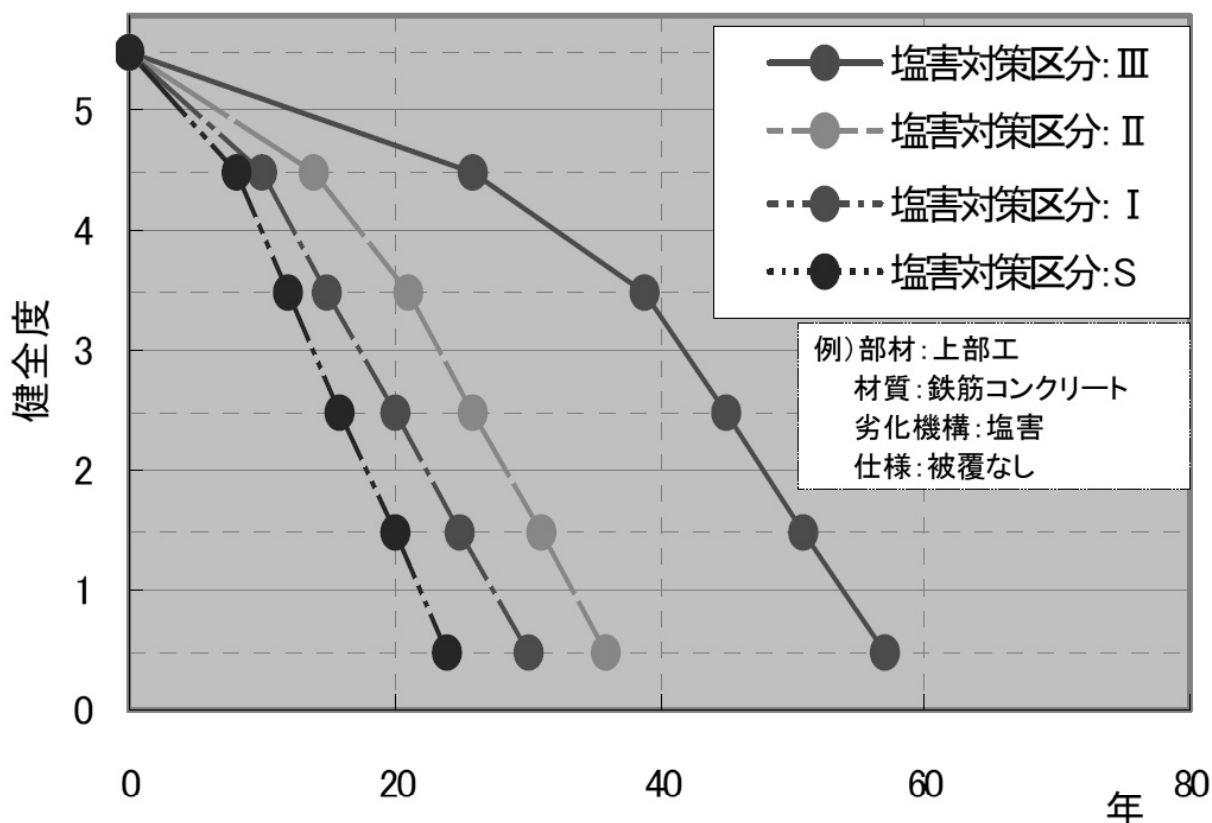
また、橋梁マネジメントシステム(BMS)として米国でNBIPやPONTISが開発されたように、日本ではPWRI BMS(国土交通省)、JH-BMS(日本道路公団)、北海道BMS(北海道開発土木研究所)が開発されている<sup>50)</sup>。しかし、目視による点検が中心であり、構造物内部や水中・土中等、目視できない部位については点検及び点検手法の確立が十分にできていない。したがって、BMSは個別橋梁の劣化予測、将来補修補強時期、必要費用をシミュレーションできるものの、橋全体の健全性に影響を及ぼすような局部的損傷を必要な精度で取り込めていないことが課題となっている<sup>51)</sup>。

舗装の健全性については、旧建設省が開発した維持管理指数MCI(Maintenance Control Index)がある。路面のひび割れ、わだち掘れ、平坦性等を測定し、3要因を組み合わせる路面損傷を評価するものである。日本の舗装マネジメントシステム(PMS)として、補修の工法、時期、規模を最適化する北海道開発土木研究所のPMS、LCCを見据えつつ保全業務の全プロセスを支援する日本道路公団のRIMSがある<sup>52)</sup>。

東京都は、高度成長期に大量に建設された道路施設の更新ピークが間近に迫っていることを背景とし、下記状況を踏まえ、2004年度から道路アセットマネジメントを実施中である。

- ① 橋梁については1987年度から5年に一度の頻度で点検し、蓄積した点検データにより施設の環境や構造別の劣化診断や予測が可能となったこと。舗装についても1991年度から東京都独自のMNI診断(Maintenance Necessity Index, 路面性状調査)を行い、その結果から大型車通行量、舗装材料・構造との関連によりある程度、劣化推移予測が可能となったこと。
- ② 2006年度から民間企業と同様な会計方式の導入を目標とする公会計制度改革が実施されたこと。
- ③ 長寿命化に関し、材料・工法データの蓄積及び疲労試験など機能確認方法の開発により、適切な判断基準を整備したこと<sup>44), 53), 54)</sup>。

日本道路公団は、供用年数の大きい路線で当初予想されていた以上に交通量が増大し、車両が大型化し、多くの部分的損傷・劣化が事後的に修繕されている実態に鑑み、2003年度から、道路構造物の延命化、維持管理費用の平準化、トータルコストの縮減を目指し、顧客満足度や費用便益分析を取り入れたマネジメントシステムの構築・実施に取り組んでいる<sup>55)</sup>。



(出典: [http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/asset\\_1/keii/chojyummyokasyuzenkekaku.pdf](http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/asset_1/keii/chojyummyokasyuzenkekaku.pdf), p.17)

図 1.27 劣化予測式 (青森県橋梁長寿命化修繕計画 10 箇年計画) <sup>56)</sup>

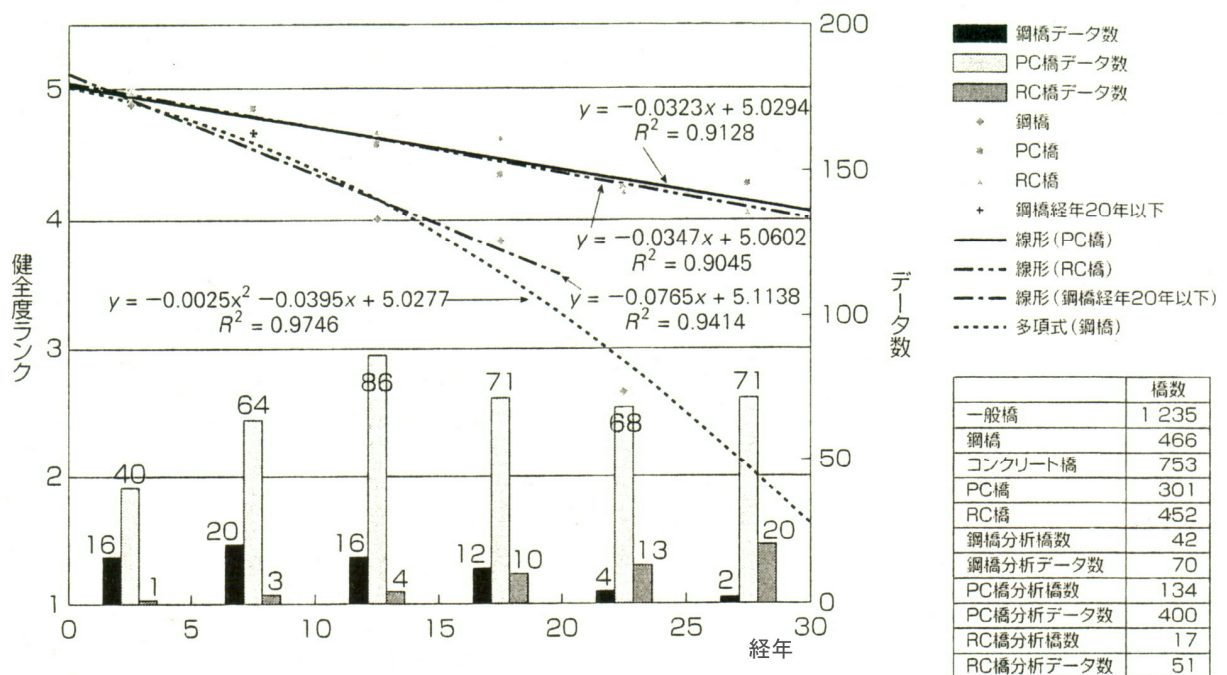
青森県は、2004-2005 年度の 2 か年で橋梁アセットマネジメントシステムを構築し、2006 年度から運用を開始した。同システムは大きく次の 5 つの STEP で構成される。

- STEP1 維持管理の基本方針「基本戦略」を策定
- STEP2 環境条件、点検結果、道路ネットワークの重要性から「個別橋梁の戦略」を選定。
- STEP3 全橋梁の LCC を集計し、予算目標などに合わせて予算を平準化。
- STEP4 前 STEP の予算に基づき、「中期事業計画」を策定・実施。
- STEP5 事後評価と見直し。

健全度の将来予測は、部材、材質、劣化機構、仕様、環境条件により細分化され、青森県で蓄積された点検データのみでは回帰式による劣化速度の設定は困難であったので、既存の研究成果、学識経験者の知見等により部材、劣化機構別に 275 種類、環境条件別に 1,022 種類の予測式が設定された。

(図 1.27 参照) <sup>56)</sup>

なお、橋梁健全度の劣化曲線については、青森県、後述の大阪府の他、主要地方道に架かる道路橋の点検結果から算出した事例がある。(図 1.28 参照) <sup>57)</sup>



(出典: (社)土木学会:アセットマネジメント導入への挑戦、技報堂出版、p.139、2005/11)

図 1.28 一般橋梁パフォーマンスグラフ<sup>57)</sup>

青森県はアセットマネジメント検討の結果、今後 50 年間について、対症的補修を行った場合、1,518 億円かかるのところ、アセットマネジメントを導入した場合、807 億円にまで縮減できると算出した。(図 1.29 参照)<sup>58)</sup>

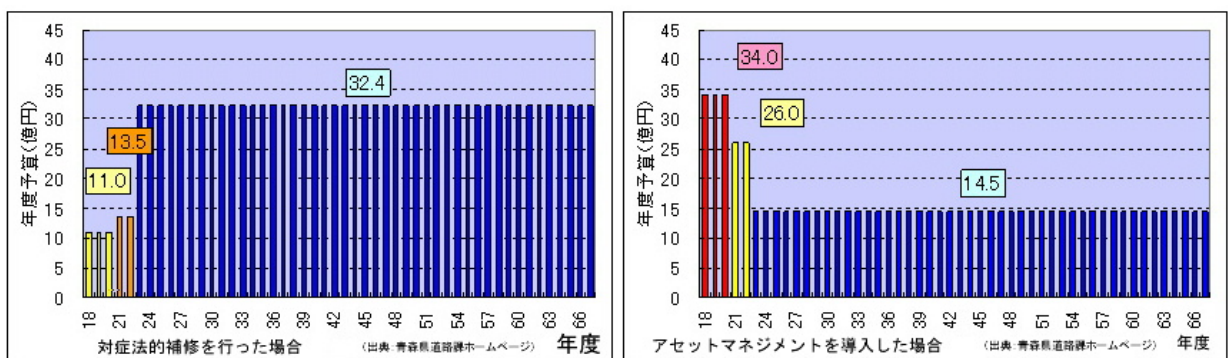
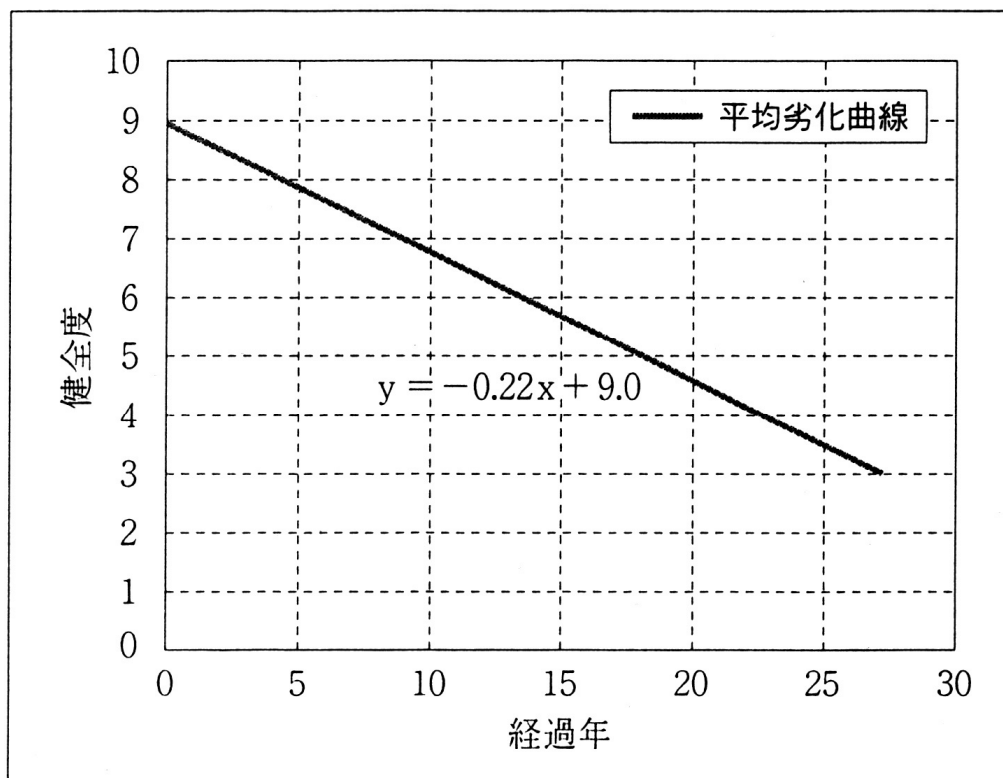


図 1.29 青森県道路橋梁のアセットマネジメント効果<sup>58)</sup>

青森県は、2006 年度、劣化曲線の精度向上のため、著しい損傷により撤去する橋梁を使用し、目視点検、コンクリート材料試験、鋼材腐食測定、各種部材強度試験及び補修履歴により、健全度評価と残存耐力を検証し、及び各健全度で適正となる補修・補強工法を検討した<sup>59), 60)</sup>。



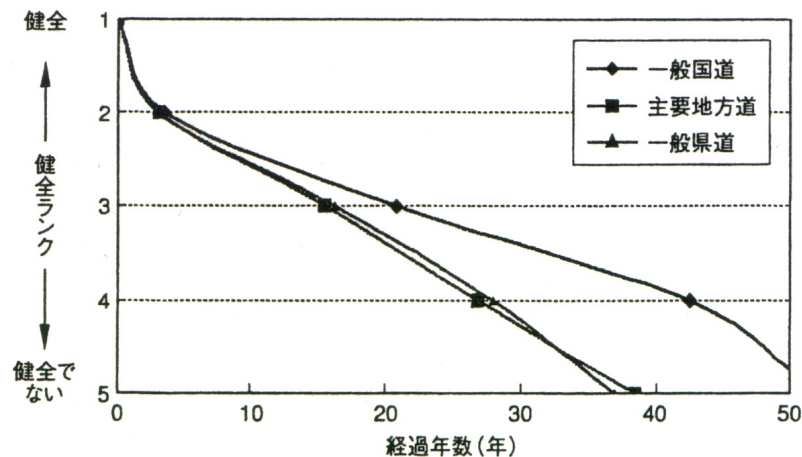
出典：竹内廣行：アセットマネジメントとは何か—大阪府の道路における取組み事例—、月刊下水道、Vol.29、No.5、p.50、2006/04

図 1.30 舗装劣化曲線の例<sup>61)</sup>

大阪府では 2001 年、構造物管理について厳しい財政状況の中での大量更新時代に備えて従来型からの脱却を目指し、「土木部維持管理計画（案）」を策定した。その具体的保全計画として、2002 年度に道路施設へのアセットマネジメント手法の導入検討をした。舗装及び 15m 以上の橋梁を将来予測の対象施設とし、点検調査データを数値化して健全度を算出した。データから得られた舗装劣化曲線の例が図 1.30 に示されている。

補修により健全度は供用時レベルに回復すると仮定し、施設劣化による利便損失や工事中の交通規制の損失をコストに加算し、通常各年度の予算制約を考慮しつつ、50 年間を期間として LCC が最適となる補修期間を選定した。試算の結果、将来予算を 2002 年度の 76 億円に固定した場合、約 15 年後から健全度が保たれず供用制限・供用停止に至る施設が急増すること、健全度を保つためには予算を段階的に約 110 億円まで増加させる必要があることが示された<sup>61)</sup>。

なお、舗装の劣化曲線について小林は図 1.31 を事例として示し、「ライフサイクル費用評価のために必要となるマクロなレベルでの劣化予測モデルに関しては、実用的には十分な水準にまで発達したといってもいいだろう。」とコメントしている<sup>62)</sup>。



舗装のパフォーマンスカーブ(劣化曲線)の例(わだち掘れの平均的進展速度を表している。健全度ランクは、5mm刻みで定義している。わだち掘れが進展するほど健全度ランクが大きくなる。健全度5は、わだち掘れが20mm以上であることを示している)

(出典:小林潔司:社会インフラのリニューアル時代の本格的到来、土木学会誌、Vol.92、No.12、p.15、2007/12)

図 1.31 一般国道等の舗装の劣化曲線<sup>62)</sup>

水道事業は地方公営企業法が適用され、独立採算の企業会計が古くから行われてきた。「水道施設更新指針(社)日本水道協会、2005/05」や「水道維持管理指針(社)日本水道協会、2006」にはアセットマネジメント的施設管理方法が詳述されている。健全度が法定耐用年数で新築時の半分に低下するとした劣化曲線の考え方や、LCCを最小化する経済的耐用年数の考え方や、受電設備、ポンプなど機械電気設備及び流量計、監視制御設備など61設備・機器について種類ごとの実績更新年数の平均値及び標準偏差が示されている。

港湾構造物については、目視を主体とする一次点検及び必要に応じてこれを補完するため潜水土、機器等により目視困難な部位を点検する二次点検を実施し、A、B、C、Dの4段階で健全性を総合評価することが行われており、日本の係留施設のサンプル調査では、最も劣化の進んだA判定が10%超とされている。また、劣化曲線については、マルコフ連鎖モデルを用いた研究が進められている<sup>63)</sup>。

公共建築については、「建築物のライフサイクルコスト((財)建築保全センター・経済調査会)」等により標準的とされる画一的な修繕・更新周期からストック単体の全ての部位・設備のLCCを積み上げる方法による中長期修繕計画が多く、膨大な労力を要しているとともに、個別の立地条件や使用状況等が反映されていない。そこで国総研は、部位・設備等の劣化を庁舎全体の安全性、執務等に及ぼす影響の大小により、「危機管理方式」、「対症療法方式」、「適宜措置方式」に3分類し、「危機管



理方式」では機能損失が見つからなくても定期的に行う修繕・更新で、「対症療法方式」では劣化兆候に応じて早めに行う修繕・更新で、「適宜措置方式」では劣化・機能停止の発生後の更新・修繕で管理する考え方を提案している<sup>64)</sup>。

定式化を主体とする理論的研究としては、以下のものがある。

青木・山本・小林は、トンネル照明ランプの修繕データを事例として不完全なモニタリング情報にワイブルハザードモデルを適用する方法を提案した<sup>65)</sup>。

また、青木・山本・津田・小林は、トンネル照明灯具の目視点検データを事例とし、多段階ワイブル劣化ハザードモデルがマルコフ連鎖モデルよりも良好に健全度推移を表現できるとした<sup>66)</sup>。

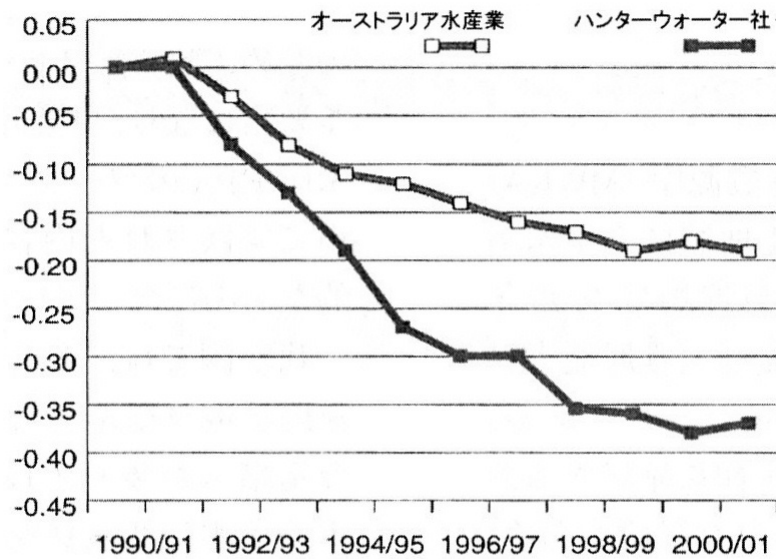
さらに、津田・貝戸・山本・小林は、劣化点検データが少なく劣化予測モデルの推計精度が十分でない場合、将来に得られるデータでモデル推計精度を逐次改良するためベイズ推計を用いる方法を論じている<sup>67)</sup>。

### 1. 3. 2 下水道

#### (1) 諸外国

オーストラリアでは 1990 年代、上下水道事業は収益事業とされ、地方自治法と競争法の管轄下に置かれ、フルコスト・リカバリー（料金で工事費や維持管理費などを全て賄うこと）が義務づけられた。1993 年、連邦政府により新会計基準 AAS27 が導入されて資産の再評価が義務づけられ、取得原価ではなく再取得価格を用い、及び画一的でなく事業者ごとに決定する耐用年数を用いて減価償却費を算出し、情報公開することが義務づけられた。また、アセットマネジメント計画を策定し、認可された上下水道事業に対してのみ新規又は再構築の事業費に対して 40%の補助金が交付されることとなり、自治体へのアセットマネジメントの導入が進んだ<sup>14), 68)</sup>。

オーストラリア東海岸で 50 万人以上に上下水道サービスを提供するハンターウォーター社は、アセットマネジメント導入により顧客サービスレベルを向上させつつ LCC とリスク被害を低減させ、同社の試算では 1990～2001 年の間に対象施設の運転経費を約 40%削減し、計画資本費支出の 4 年分を削減し、実経費を 34%削減したとのことである。また、この期間のオーストラリア水産業全体の運転経費削減率は約 19%と示されている。（図 1. 32 参照）これらの削減率はアセットマネジメント導入効果の目安として参考になるものと考えられる<sup>14)</sup>。



出典：石川高輝、海外におけるアセットマネジメント、  
下水道協会誌、Vol.45、No.547、p.37、2008/05

図 1.32 運転経費の削減率<sup>14)</sup>

## (2) 日本

日本では、アセットマネジメント関連として、まず、(社)日本下水道協会から各種指針、ガイドライン、マニュアル類が多数発行されており、以下に例示する。

- ①管きょ更生工法における設計・施工管理の手引き (案) (2008)
- ②下水道維持管理サービス向上のためのガイドライン(2007)
- ③下水道維持管理指針(2003)
- ④下水管きょ改築等の工法選定手引き (案) (2002)
- ⑤下水道台帳管理システム標準仕様 (案)・導入の手引き(2002)
- ⑥下水道管路施設腐食対策の手引き (案) (2002)
- ⑦下水道管路施設テレビカメラ調査マニュアル(案)(2000)

日本下水道事業団から「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル」(2007)が発行されている。

コンクリートの硫化水素又は硫酸による腐食については、上述の手引き、マニュアルの他、土木学会・コンクリート委員会・化学的侵食・溶脱研究小委員会が報告書を取りまとめ、腐食深さは腐食層が離脱しない場合、時間の平方根に比例し、腐食層が残らない場合、時間に比例すると結論づけている<sup>69)</sup>。

また、森田らは、硫化水素の挙動について、下水液相中での硫化物の生成、硫化水素ガスの下水液相から下水管内気相への放散、気相中での移動・拡散、気相中から管壁コンクリート表面への吸着・

酸化，硫酸のコンクリート内部への侵入という非常に複雑かつ多くの段階を詳細に追跡する Wastewater Aerobic/anaerobic Transformations in Sewers (WATS)モデルの日本の下水道への適用性を検討している<sup>70), 71), 72)</sup>。

全管渠中の劣化箇所を推定するため，容易にデータ収集できる管種，管径，供用年数など箇所ごとの間接指標を説明変数とし，これを線形結合した劣化予測式の係数を多変量解析（数量化理論Ⅱ類）により決定する手法が研究されており，劣化予測式により健全度を箇所別に順位付けすることができる。スクリーニング（screening，篩い分け）手法とも言うべきものであり，劣化予測式は的中率により精度を検証することができる。小泉ら<sup>73)</sup>，保坂ら<sup>74)</sup>，松宮ら<sup>75)</sup>，濱本ら<sup>76)</sup>，柳川ら<sup>77)</sup>が劣化予測式を発表している。松川らは数量化理論Ⅱ類ではなくクラスタ分析及びニューラルネットワークを使う手法を発表している<sup>78)</sup>。

下水道のアセットマネジメントの導入事例及び研究については，日本下水道事業団が静岡市と共同研究し，同市下水道事業のアセットマネジメント計画を立案し，その概要が公表されている。同事業団はデータベース・システムを含め，アセットマネジメントに関連する一連の取り組みをビジネス方法特許として出願している<sup>10), 79), 80)</sup>。

大阪市の藤澤らは，現場実績データから施工後経過年数と道路陥没発生率の関係を算出し，併せて道路陥没による各種損害額をいくつかの仮定・設定を基に算出し，改築事業費と改築による損害軽減額の関係を導き出している<sup>81)</sup>。

管渠の耐用年数については，行方らが実態調査の統計値として平均年間改築率 0.5～0.6%を報告した。また，Breyseらがフランスの下水管約 8,240km について質問調査により 0.5%と報告した。Breyseらは調査データにワイブル分布を適用している。その報告中で最も劣化の進んだ State4 に至るワイブル係数として記された数値から筆者が平均，標準偏差を算出したところ，本研究第3章の日本全国についての算出値の 93 年，35 年よりもやや小さい 80 年，29 年となった<sup>82)</sup>。

下水道での LCC 及び経済的耐用年数の検討事例としては東京都の神山<sup>83)</sup>，川崎市の大川<sup>84)</sup>，京都市の渡辺ら<sup>85)</sup>，広島市の伊澤<sup>86)</sup>の報告がある。また，1998 年 3 月，2006 年 10 月及び 2008 年 4 月（追補版）に国土交通省（日本下水道協会刊行）から「下水道事業における費用効果分析マニュアル（案）」が公表され，LCC 検討と同様の現在価値化の計算手順が示されている<sup>87)</sup>。

LCC 検討の大きな課題は将来各年度の維持修繕費の設定精度であり，経済的耐用年数の値がこれによって大きく変化する。にもかかわらず使用条件や環境条件に応じた十分な過去実績値を収集することは容易でなく，しかも技術革新された新製品には実績値がない。

定式化を主体とする理論的研究としては，堀らが下水処理場の水処理施設の躯体コンクリートにマ

ルコフ劣化ハザードモデルを適用する定式化を行っている<sup>88)</sup>。また、マルコフモデルについては、これを下水管渠の現場データに適用し、劣化区分ごとの割合の経年推移を算出した中根の研究例がある<sup>89)</sup>。

以上のように、下水道については現在までのところ、アセットマネジメントのパーツとなりうる知見の導入事例や研究成果は存在するものの、アセットマネジメントを意識し、事業への導入の実現性や実用性を踏まえたものは少数である。

## 1. 4 研究方針と各章構成

### 1. 4. 1 研究方針

蓄積され、老朽化が進む膨大な社会基盤施設を有効に機能させ効率的に管理するため、アセットマネジメントの導入が必要となっていること並びにこれまでにどのようなアセットマネジメントの事業導入及び研究調査が行われてきたかは前節までに述べてきたところである。

アセットマネジメントの導入は、橋梁と舗装で先行しており、それら分野では劣化曲線がともかく設定され、実績データの蓄積により検証されつつある。劣化曲線は資産状態の将来予測の基礎であり、アセットマネジメントにおいて中核となるものと考えられる。しかし、劣化曲線は材料・種別、施工方法、使用環境、維持修繕方法等により異なると考えられるので、信頼性の高い劣化曲線を得るには多数の実績データ、とりわけ経過年数の大きな健全度データを必要とする。また、点検後ほどなく落橋する事例が幾つか生じた米国の PONTIS のように、健全度として用いた測定項目が危機的劣化を的確に反映できているかどうか議論となることもある。その意味で、青森県が廃橋部材を利用して健全度評価値及び補修履歴と物理的各種強度との関係を調査しているが、検証方法として注目される。

下水道へのアセットマネジメントの導入は始まったばかりであり、理念・イメージは多数示されているものの、事業現場で実際に使用できるデータや知見は非常に少ない。マイクロマネジメント手法については、下水道の各施設の健全度として何が適当であるかも明確ではなく、また、過去のデータ蓄積がないので当面の大胆な割り切りとして直線や二次曲線が劣化曲線として使われている。下水道施設の各種分類ごとに精確な劣化曲線を得るには長い時間と多大な労力を要するものと考えられる。近年、日本下水道事業団が劣化曲線作成や LCC 分析のため全国データベースの整備等、取組みを精力的に進めている。

マクロマネジメント手法についても、下水道では言うまでもなく、社会基盤全般でも導入はわずかである。データ蓄積以前に手法が確立しておらず、したがっていかなるデータが必要であるかも十分に明かとなっていない。

そこで本研究は、統計解析に適する程度の大きさの施設群について関与・管理する国又は大規模事業体統括部局が、施設、財務（予算を含む。）、組織等の管理計画策定などに利用できるマクロマネジメント手法の開発を主たる研究方針としつつ、個別施設の管理を直接担う現場事務所や小規模事業体でも利用できるようマイクロマネジメントへの応用も考慮することとする。

#### 1. 4. 2 各章構成

第2章以下の構成について概説する。

第2章でアセットマネジメントが他事業に比べて下水道事業で特段に必要である状況、つまり下水道事業の固定資産は耐用年数が長く収入・支出に対する回転期間が長いという著しく“重い”状況を財務諸表上から明らかにする。

第3章では、施設管理上の経済効率性の比較検討や将来改築必要量の予測値算出のため、耐用年数の算出が土木施設のアセットマネジメントの中核として必須である。このため、ワイブル分布を全国統計データに適用して下水管渠の耐用年数分布を具体的に算出する。

第4章では、下水管渠の損傷・劣化が社会に与える損失損害問題として喫緊の課題となっている道路陥没事故について、前章で得られた下水管渠の耐用年数分布を基に、陥没発生率の統計データを用い、過去の陥没数を再現し、将来の陥没数を予測推計し、もって施設の健全性保持の必要度や効率性を検討するための推計手法や検討手法を提案する。

第5章では、第3章の算出手法を用いて東京都下水道局の改修工事データから処理場コンクリートの耐用年数分布を腐食環境ごとにマクロ的に算出し、参考事例として示す。また、既往文献に示された個々の現場での硫化水素腐食速度のデータを基に劣化メカニズムを考察し、少ない回数の現場調査データで当該現場の耐用年数をマイクロに算出できる方法を提案する。さらに、マクロとマイクロの算出方法を突き合わせることによる防食対象の効率的選定方法を提案する。

第6章では、下水道施設のうち品目数の膨大な機械電気設備について、金額に着目してマクロに設備群として捉え、全国及び個別事業体に係る過去の投資額及び各種改築データにワイブル分布を適用して耐用年数分布及び将来改築事業費を推計し、その手法を示す。

第7章では、LCC分析や費用対効果分析で用いられる割引率が耐用年数の長い下水道施設については経済効率性の判定に大きな影響を及ぼすことを明らかにし、割引率の適正値を検討する。併せて、割引率を考慮しつつ、経済効率性で有利となる下水管材の価格について検討する。

第8章では、事業へのアセットマネジメントの効果的適用のため、課題、適用対象実務、マイクロマネジメントとマクロマネジメントの突合せ方法、各手法に必要なデータ項目、普及方策を検討・提示

する。

以上の各章の内容と下水道施設区分及びマイクロ・マクロマネジメント区分の対応を表 1.5 に示す。本研究は、ほぼ全ての欄について何らかの検討を行った。残された機電設備・マイクロマネジメントの欄については、設備の種類数が非常に多く、技術進歩も比較的速いため、各種設備の劣化曲線及び将来維持修繕費を網羅的、精確かつ機敏に調査・設定し、LCC を算出するなどの研究が別に必要である。

表 1.5 本研究の各章と下水道施設区分及びマイクロ・マクロマネジメント区分の対応

下水道施設区分	全般	管渠	処理場コンクリート施設	機電設備
マイクロマネジメント	⑦⑧	⑤	⑤	
マクロマネジメント	②⑦⑧	③④⑤	⑤	⑥

丸数字は章番号を指す。

<参 考 文 献>

- 1) 内閣府政策統括官(経済社会システム担当):日本の社会資本 2007, 国立印刷局, p.168, p.176, p.191, 試算 5, 2007/03
- 2) 平成 19 年度国土交通白書, p.81, 2007
- 3) 平成 17 年度国土交通白書, p.79, 2005
- 4) 国土交通省都市・地域整備局下水道部, 平成 21 年度下水道事業予算概算要求概要, p.55, p.56, 2008/08
- 5) 国土交通省ホームページ, 汚水処理の普及,  
[http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/yakuwari/osui\\_fukyu.html](http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/yakuwari/osui_fukyu.html)
- 6) 平成 17 年版下水道統計, (社)日本下水道協会, p.111, p.115
- 7) 下水道行政研究会:平成 9 年日本の下水道, (社)日本下水道協会, p.297, 1997
- 8) 1)に同じ。p.111, p.133
- 9) 国土交通省ホームページ, p.5,  
[http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/gyosei/keikaku\\_matome/02.pdf](http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/gyosei/keikaku_matome/02.pdf)
- 10) 望月茂:静岡市の下水道再構築事業におけるアセットマネジメント手法の導入, 地質と調査, No.1, pp.25-29, 2008/03
- 11) 土木学会建設マネジメント委員会アセットマネジメント小委員会(委員長 小澤一雅 東京大学大学院教授):アセットマネジメント導入への挑戦, 技報堂出版, p.33, 2005.11
- 12) 大堀勝正, 中村裕司:社会資本におけるアセットマネジメントの定義と実用化に向けた課題について, 土木学会誌, Vol.89, No.8, pp.14-15, 2004/08
- 13) 11)に同じ。p.5
- 14) 石川高輝:海外におけるアセットマネジメント, 下水道協会誌, Vol.45, No.547, pp.35-38, 2008/05
- 15) 建設省官庁営繕部:官庁施設のストックマネジメント技術検討委員会(委員長 沖塩荘一郎 宮城大学デザイン情報学科教授) 報告書, 2000/12  
<http://www.mlit.go.jp/gobuild/press/m010117/honbun.html#2-1>
- 16) 国土交通省ホームページ, <http://www.mlit.go.jp/road/current/kouzou/3-2.html>
- 17) 11)に同じ。p.4, p.6
- 18) 11)に同じ。pp.43-44
- 19) 小澤一雅:アセットマネジメントシステム導入の考え方, 土木学会誌, Vol.89, No.8, p.11, 2004/08

- 20) 11)に同じ。p.52
- 21) (社) 水道協会：水道施設更新指針，日本水道協会，2005
- 22) 国土交通省国土技術政策総合研究所：住宅・社会資本の管理運営技術の開発，プロジェクト研究報告第4号，pp.64-65，2006/01
- 23) 田中修司：フィジカル・アセット・マネージメント／ISO規格の行方—ISO/TC224WG6アドホック・ワーキング・グループ会議出席報告—，下水道協会誌，Vol.45，No.548，pp.40-42，2008/06
- 24) 佐伯謹吾：ISO24511 飲料水及び下水サービスに関する活動—下水事業のマネジメント及び下水サービスの評価のためのガイドラインの概要—下水道協会誌，Vol.45，No.545，pp.58-61，2008/03
- 25) 下水道事業におけるストックマネジメント検討委員会（委員長 田中和博 日本大学理工学部土木工学科教授）：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），p.4，2008/03，  
<http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewage/info/seido/080418/02.pdf>
- 26) 日本下水道事業団アセットマネジメント手法導入検討委員会（委員長 花木啓祐 東京大学大学院教授）：最終報告書，p.6，p.12，p.50，2007/03
- 27) 滋賀県琵琶湖環境部下水道課資料
- 28) 京都府ホームページ：<http://www.pref.kyoto.jp/shido-plan/1165896806391.html>
- 29) 京都市ホームページ：中期経営プラン(2008－2012)，p.63，2007/12  
<http://www.city.kyoto.lg.jp/suido/cmsfiles/contents/0000029/29951/chukikeieiplan.pdf>
- 30) 中西哲也，酒井喜代治，大野均：アセットマネジメントにおける温暖化対策事業の評価について，水道公論，Vol.44，No.3，pp.47-56，2008/03
- 31) 管路診断コンサルタント協会：下水道管きよ改築・修繕にかかる調査・診断・設計実務必携，経済調査会，p.30，2005/11
- 32) 11)に同じ。p.37
- 33) 22)に同じ。pp.330-332
- 34) 11)に同じ。p.8
- 35) 11)に同じ。p.162
- 36) 藤野陽三，阿部雅人：橋梁マネジメントにおけるアメリカでの新たな挑戦，土木学会誌，Vol.92，No.6，p.71，2007
- 37) 牛島栄：社会資本の維持管理に求められるアセットマネジメント，セメント・コンクリート，No.719，p.40，2007/01
- 38) 11)に同じ。p.47



- 39) 11)に同じ。p.79
- 40) 11)に同じ。pp.12-13
- 41) 横山正樹：諸外国における取組みの現状（加速する公共資産の効率的な管理への動き），土木学会誌，Vol.89，No.8，pp.32-34，2004/08
- 42) 11)に同じ。pp.165-166
- 43) 益山高幸，竹内恭一：社会資本の管理に会計的視点を取り込んだインフラ会計，土木学会誌，Vol.89，No.8，p.21，2004
- 44) 11)に同じ。p.159
- 45) 22)に同じ，p.iii 又は国土技術政策総合研究所ホームページ，  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoku/kpr/prn0004pdf/kp0004003.pdf>
- 46) 玉越隆史，中州啓太，石尾真理，武田達也：道路橋の寿命推計に関する調査研究，国土技術政策総合研究所資料第 223 号，p.1, p.5, p.7, pp.21-29，2004/12
- 47) 国土交通省ホームページ，<http://www.mlit.go.jp/road/current/kouzou/1-2.html>
- 48) 22)に同じ。pp.538-539
- 49) 玉越隆史，小林寛，武田達也，平塚慶達：道路橋の健全度に関する基礎的調査に関する研究，国土交通省国土技術政策総合研究所資料，No.381，2007/04
- 50) 22)に同じ。pp.31-32
- 51) 玉越隆史，七澤利明：道路橋の維持管理に関する研究開発，地質と調査，No.115，pp.7-12，2008/03
- 52) 22)に同じ。pp.28-29
- 53) 高木千太郎：東京都の道路現況と道路アセットマネジメント，Vol.89，No.8，pp.30-31，2004/08
- 54) 国土交通省ホームページ，<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/maintenance/2pdf/1.pdf> p.3
- 55) 11)に同じ。pp.160-161
- 56) 青森県ホームページ，[http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/asset\\_1/system/system.html](http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/asset_1/system/system.html)，  
[http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/asset\\_1/keii/chojyummyokasyuzenkekaku.pdf](http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/asset_1/keii/chojyummyokasyuzenkekaku.pdf) p.17
- 57) 11)に同じ。pp.138-139
- 58) 青森県ホームページ，[http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/asset\\_1/keii/keii.html](http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/asset_1/keii/keii.html)
- 59) 川村宏行：青森県橋梁アセットマネジメントの取組み，地質と調査，No.115，pp.37-42，2008/03
- 60) 青森県ホームページ，[https://www.pref.aomori.jp/douro/asset\\_1/keii/chijihoukoku.pdf](https://www.pref.aomori.jp/douro/asset_1/keii/chijihoukoku.pdf)
- 61) 竹内廣行：アセットマネジメントとは何か—大阪府の道路における取組み事例—，月刊下水道，Vol.29，No.5，pp.49-52，2006/04

- 62) 小林潔司：社会インフラのリニューアル時代の本格的到来，土木学会誌，Vol.92，No.12，p.15，2007/12
- 63) 22)に同じ。p.44
- 64) 22)に同じ。pp.204-217
- 65) 青木一也，山本浩司，小林潔司：劣化予測のためのハザードモデルの推計，土木学会論文集，No.791／VI-67，pp.111-124，2005/06
- 66) 青木一也，山本浩司，津田尚胤，小林潔司：多段階ワイブル劣化ハザードモデル，土木学会論文集，No.798／VI-68，pp.125-136，2005/09
- 67) 津田尚胤，貝戸清之，山本浩司，小林潔司：ワイブル劣化ハザードモデルのベイズ推計法，土木学会誌，Vol.62，No.3，pp.473-491，2006/07
- 68) 水谷哲也：オーストラリアにおけるアセットマネジメントの調査報告（第一部），下水道協会誌，Vol.44，No.534，pp.56-61，2007/04
- 69) 土木学会コンクリート委員会化学的侵食・溶脱研究小委員会（323委員会）：コンクリートの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状，pp.76-77，2003/06
- 70) 森田弘昭，森一夫，越智孝敏，行方馨：下水管渠における硫化物の挙動再現に関する WATS モデルの適用性について，下水道協会誌，Vol.41，No.497，pp.73-85，2004/03
- 71) 越智孝敏，吉田綾子，森一夫，森田弘昭，行方馨：下水管渠における硫化物酸化に関する研究，下水道協会誌，Vol.41，No.506，pp.129-140，2004/12
- 72) 越智孝敏，森田弘昭，吉田綾子：下水管渠段差部での硫化水素放散および再曝気に関する研究，下水道協会誌，Vol.42，No.517，pp.128-138，2005/11
- 73) 小泉明，何璿，孫躍平：数量化理論による下水道管渠の損傷判別分析，土木学会環境工学研究論文集，Vol.38，pp.257-264，2001
- 74) 保坂成司，梶ヶ谷勝，大木宜章，高橋岩仁：既設下水道管腐食の実態調査結果に基づく多変量解析による下水道管の腐食予測の検討，下水道協会誌，Vol.42，No.517，pp.115-127，2005/11
- 75) 松宮洋介，深谷渉，福田康雄，榊原隆：下水道管きよのアセットマネジメント研究，下水道協会誌，Vol.44，No.538，pp.13-19，2007/08
- 76) 濱本淳平，和田安彦：下水道管きよの更新優先度評価手法の構築，第45回下水道研究発表会講演集(CD-ROM)，II-1-2-6，pp.359-361，2008/07
- 77) 柳川喜代光，遠藤孝彦，矢口繁顕：予測診断手法を活用した効率的な管路内調査の実施，第45回下水道研究発表会講演集(CD-ROM)，II-5-3-7，pp.647-649，2008/07

- 78) 松川努, 中村秀明, 宮本文穂: 下水管網に起因する道路陥没の位置推定と危険度及び原因の予測に関する手法の提案, 下水道協会誌, Vol.45, No.554, pp.109-121, 2008/12
- 79) 日本下水道事業団: アセットマネジメント手法導入検討委員会最終報告書, 2007/03
- 80) 日本下水道事業団ホームページ:  
<http://www.jswa.go.jp/oshirase/kisyahapyo/h19/200212kisyas.pdf>
- 81) 藤澤寿則, 大杉朗隆, 山口波奈江: 大阪市における管渠再構築事業の効率的実施手法の検討, 日本下水道新聞, pp.2-3, 2007/01/01
- 82) Breysse Denys, Vasconcelos Elisio, Le Gauffre Pascal : Decision making in sewer maintenance strategies:simulation as a practical tool, International Forum on Engineering Decision Making (IFED) ホームページ, First Forum(2004/12)  
[http://www.ifed.ethz.ch/events/Forum04/Breysse\\_paper.pdf](http://www.ifed.ethz.ch/events/Forum04/Breysse_paper.pdf)
- 83) 神山守: ライフサイクルコスト分析に基づく計画的な再構築, 月刊下水道, Vol.21, No.3, pp.26-28, 1998/03
- 84) 大川昌俊: 川崎市の改築・更新計画, 月刊下水道, Vol.21, No.3, pp.29-33, 1998/03
- 85) 渡辺尚之, 鈴木秀男, 山内智: 京都市における LCC を考慮した改築・更新事業について, 月刊下水道, Vol.21, No.3, pp.43-47, 1998/03
- 86) 伊澤眞昭: トータルコストを考え, 改築更新は計画的に, 月刊下水道, Vol.21, No.3, pp.55-58, 1998/03
- 87) (社) 日本下水道協会: 下水道事業における費用効果分析マニュアル(案), pp.29-31,70-72, 2006/11
- 88) 堀倫裕, 小濱健吾, 貝戸清之, 小林潔司: 下水処理施設の最適点検・補修モデル, 第 36 回土木計画学研究講演集, 土木学会, IV-10, 2007/11,  
[http://psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp/joomlaJP/images/stories/users/obama/papers/sewage\\_system.pdf](http://psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp/joomlaJP/images/stories/users/obama/papers/sewage_system.pdf)
- 89) 中根進: テレビカメラ調査診断結果による下水管きよの劣化予測, 下水道協会誌, Vol.44, No.539, 2007/09

## 第2章 ストックが財務に与える影響度

### 2. 1 緒言

アセットマネジメントの必要性は、今までのところ、全国管渠延長約 40 万キロメートル、処理場約 2,000 箇所、50 年経過の老朽管の急増、全国年間道路陥没 4,700 箇所(2007 年度)といった整備済み資産(ストック)の膨大さ及び老朽化度を掲げて説明されるに止まっている。これらの状況は確かに看過しえないものであるが、いわゆる重厚長大産業でも同様であり、下水道事業に限ったことではない。

そこで、本章では、公表されている財務諸表の全国統計情報である平成 17 年度の財務省・法人企業統計年報<sup>1)</sup>(以下、「年報」という。)及び総務省・地方公営企業年鑑<sup>2)</sup>(以下「年鑑」という。)並びに減価償却費に係る独自アンケート調査結果を用い、下水道事業を他の地方公営企業及び会社と比較し、下水道事業ではいかに強く量的よりも質的にストックが財務に影響しているかを数値で示す指標を考案する。

さらに、下水道事業全体の指標値分布及びその中における個々事業体の指標値の位置によりアセットマネジメントの必要性の程度を把握できるよう、当該分布をより詳しく示すこととする。

なお、上述のアセットマネジメントとして本章の想定するものは、ライフサイクルコストの最小化を目的とする LCC 型であり、限られた予算内で事業目的達成度の最大化を図る NPM 型ではない。

### 2. 2 ストックの財務影響度指標の設定

大きな人口・産業や広域をカバーする下水道事業ではストックの絶対量が大きくなるのは当然である。したがって、下水道事業の相互間及び他事業との比較検討をするには、相対的、質的に行う必要がある。

水谷はトヨタ自動車、仙台市役所全体及び仙台市下水道事業について「有形固定資産／年間収入の比」、いわゆる有形固定資産回転期間をそれぞれ 0.34, 3.15, 17.00 と算出し、比較した<sup>3)</sup>。そこで、これを参考にストックを相対的、質的に測るため、ストック、各年度収入支出(以下、「フロー」という。)、減価償却費の相互間に係る次の二つをストックの財務影響度指標(以下、単に「指標」という。)として考案した。

#### 2. 2. 1 償却資産回転期間

財務上、いくら巨大なストックを保有していてもフローが大きければ事業継続財源を確保することが可能である。そこで次式によりストックとフローの比である償却資産回転期間を指標として定義し、

これを取り上げる。

$$\text{償却資産回転期間} = \frac{\text{償却資産帳簿価額}}{\text{年間の総収益と総費用のうち大きい額}} \\ \text{【地方公営企業の場合】} \quad (2.1)$$

$$= \frac{\text{減価償却資産}}{\text{年間売上高}} \\ \text{【一般の会社の場合】} \quad (2.2)$$

分子のストック規模としては、事業継続の観点及び次節で残存耐用年数の算出に減価償却費を用いることとの整合から、全資産でなく償却資産の帳簿価額（会社では減価償却資産）、即ち有形固定資産及び無形固定資産から土地及び建設仮勘定を控除した額を採用する。

分母のフロー規模としては、地方公営企業会計については総収益と総費用の大きい方を、会社会計については売上高を採用する。前者がやや複雑なのは、地方公営企業の場合、利益目的の会社と異なり総収益に比べて総費用がはるかに大きく、一般会計等からの繰り入れで赤字補填している例が少なくないからである。

## 2. 2. 2 残存耐用年数

資産取得時の耐用年数（以下「原耐用年数」という。）から供用年数を差し引いたものを残存耐用年数と定義する。いくらフローに比してストックが大きくとも残存耐用年数が小さければ短期のマネジメントで財務改善が可能である。逆にストックが小さくとも残存耐用年数が大きければ長期にわたるマネジメントが必要となる。

よって、指標の一つとして残存耐用年数が適当であると考えられるので、これを取り上げる。

### (1) 公共及び特環の場合

表題及び以下、公共下水道事業を「公共」、特定環境保全公共下水道事業を「特環」という。地方公営企業法施行規則（以下、「規則」という）第8条第4項及び第9条第3項により、資産の帳簿原価（会社では取得価額）から国庫補助金等を控除した額を基に減価償却費を算出できるとされている。これをみなし償却（会社では圧縮記帳）と言い、みなし償却の適用・不適用は事業体の判断に任されている。この「国庫補助金等」の「等」に少なからぬ都道府県補助金や寄付が含まれている場合もある。

したがって、二分の一などの大きな率で国庫補助を受けている下水道事業会計を、ほとんど国庫補助を受けていないと考えられる他の地方公営企業会計や会社会計と比較する場合、単純に償却資産の帳簿価額を減価償却費で除すなどして残存耐用年数を求めることはできない。

そこで、残存耐用年数を次式のとおり定義する方法を考案した。

残存耐用年数＝原耐用年数－供用年数

$$= \frac{\text{償却資産帳簿原価} \times 0.9}{\text{非みなし減価償却費}} - \frac{\text{減価償却累計額}}{\text{みなし減価償却費}} \quad (2.3)$$

(2.3)式は年鑑に掲載されたみなし償却の減価償却費データのみならず非みなし償却の減価償却費データを別途必要とする。このため、筆者は地方公営企業法適用（以下、「法適」という。）の事業体に非みなし減価償却費をアンケート調査した。アンケート調査の様式自体は、当該事業体の公共及び特環に係る年鑑掲載の減価償却費の額を示し、これに対応する非みなし減価償却費の額の回答を求めるという極めて簡単なものである。

なお、(2.3)式中の0.9は減価償却の残存価額率である規則第8条第1項の「百分の十」に基づく。

### (2) 下水道事業以外の地方公営企業の場合

下水道事業以外の地方公営企業については、前節のアンケート調査の実施は困難であるため、非みなし減価償却費が不明であるので、みなし減価償却費、即ち年鑑に掲載された減価償却費だけを用い、次式により残存耐用年数を算出する。

$$\text{残存耐用年数} = \frac{(\text{償却資産帳簿原価} - \text{国・都道府県の補助金}) \times 0.9 - \text{減価償却累計額}}{\text{減価償却費}} \quad (2.4)$$

分子のカッコ内の控除項として、国及び都道府県の補助金以外のものは助成の目的・性格が特定されないと考え、算入しないこととする。

### (3) 会社の場合

国庫補助金等はないものとみなす。また、減価償却資産について、年報に帳簿価額を算出できるデータはあるものの、取得価額又は減価償却累計額を算出できるデータがなく(2.4)式が使えないので、以下のとおり式の誘導を行う。

まず、

$$\begin{aligned} \text{帳簿価額} &= (0.1 \sim 1.0) \times \text{取得価額} \\ &\simeq 0.55 (\text{中間値}) \times \text{取得価額} \end{aligned} \quad (2.5)$$

となる。0.1は、固定資産の耐用年数等に関する省令（財務省令）別表第十一の残存割合「百分の十」に基づく。1.0は新品・新築の場合である。なお、この残存割合の控除は、同省令改正により平成19年4月1日以後の取得資産には不適用となっている。

次に、

$$\text{残存耐用年数} = \frac{\text{帳簿価額} - \text{取得価額} \times 0.1}{\text{減価償却費}} \quad (2.6)$$

となる。(2.5),(2.6)式から取得価額を消去すると(2.7)式が得られ、これにより残存耐用年数を算出する。

$$\text{残存耐用年数} = 0.818 \times \frac{\text{帳簿価額}}{\text{減価償却費}} \quad (2.7)$$

## 2. 3 算出結果と考察

### 2. 3. 1 公共及び特環

農業集落排水施設などを含む全下水道事業体数 3,699 のうち、法適事業は 213、さらにこのうち公共は 116、特環は 56 となっている。<sup>2)</sup> このうちアンケート調査の有効回答数は公共が 69、特環が 25 である。未供用、あるいは法適して日が浅いなどによるとみられる空欄の多い財務諸表の事業体は調査対象とせず、また、市町村合併で官庁会計と企業会計が合算されて不連続となっている場合などの回答も除外する。

アンケート調査結果による（非みなし減価償却費／みなし減価償却費）の分布を図 2.1 に示す。横軸（非みなし減価償却費／みなし減価償却費）は、みなし償却をしている場合、 $\{1 / (1 - \text{実質補助率})\}$  と表され、その値が大きい場合は償却資産に対する国庫補助金等の割合が大きいと考えられる。ここで言う実質補助率とは、そのままの補助率ではなく、累計建設事業費中に含まれる国庫補助金等の割合であり、国庫補助金は補助率も補助対象となる「主要な管渠」の範囲も時代変遷及び地域差があるのでこれを用いる。

したがって、(2.3)式でなく(2.4)式を用いた場合、算出値が真値と大きく乖離するおそれがある。図 2.1 の横軸最小値 1 は、みなし償却を全くしていない事業体のデータである。

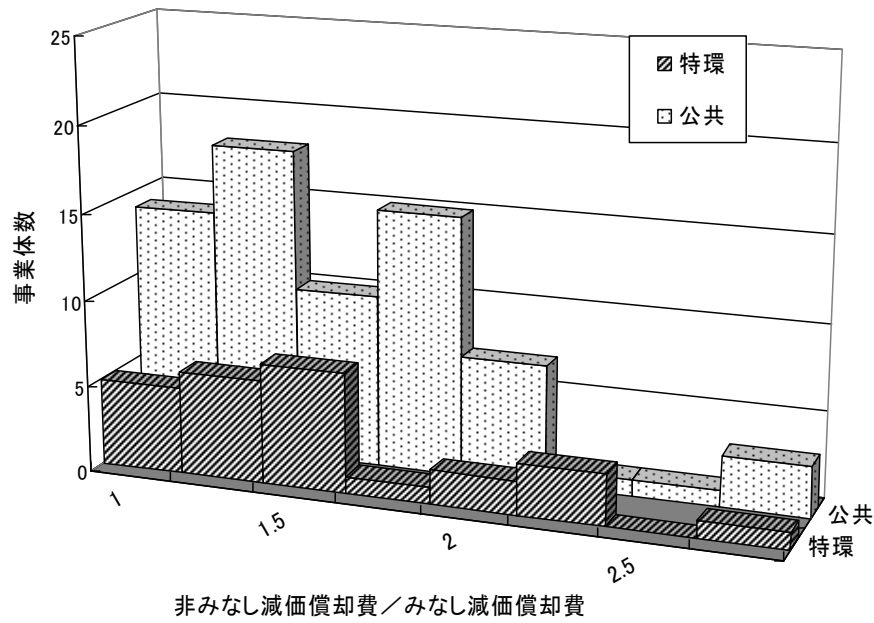


図 2.1 (非みなし減価償却費/みなし減価償却費) 別の事業体数分布

(2.1),(2.3)式による指標の算出結果を図 2.2~2.7 に示す。公共の分布は概ね償却資産回転期間で 10~30 年, 残存耐用年数で 20~40 年の範囲にあり, 特環の分布は概ね償却資産回転期間で 15~35 年, 残存耐用年数で 25~45 年の範囲にあり, 特環は公共に比べてやや原点から遠い範囲に分布する。

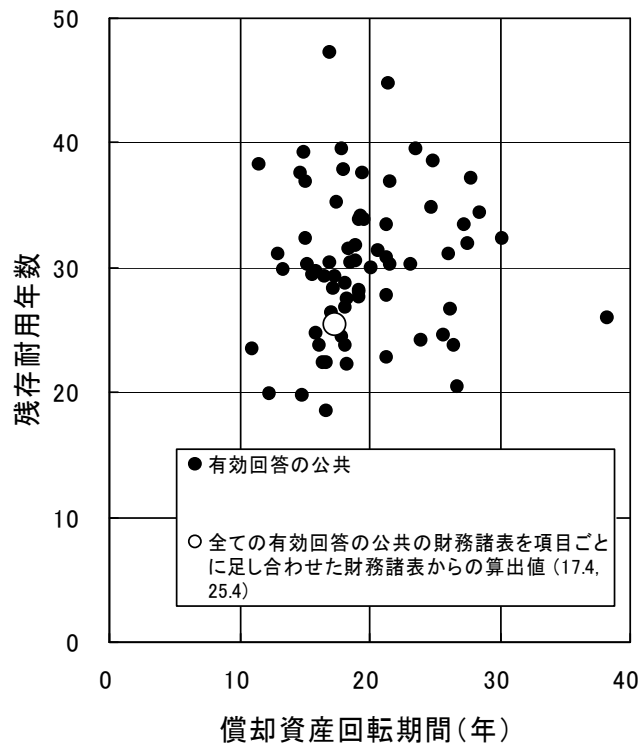


図 2.2 公共の指標値分布



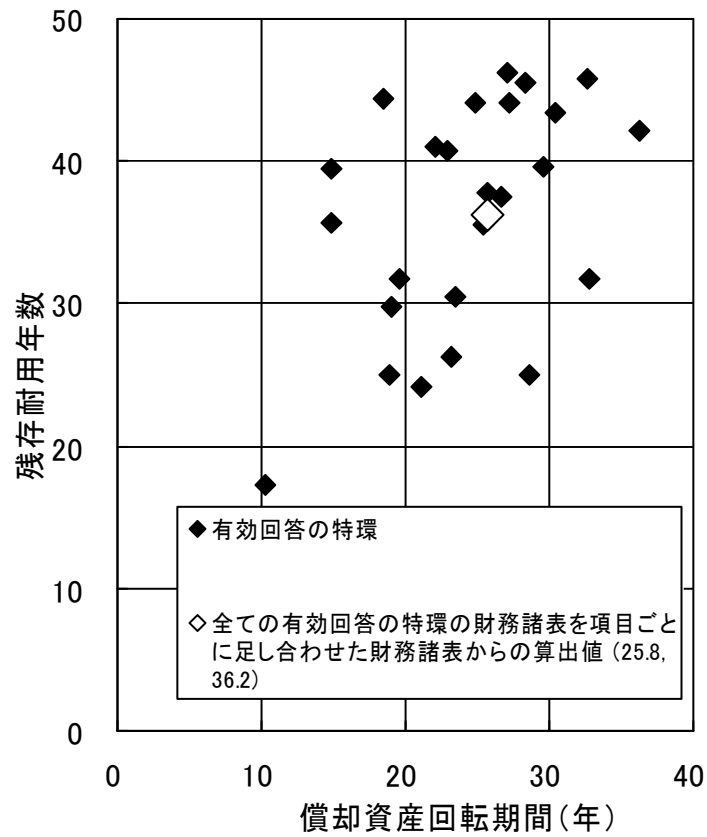


図 2.3 特環の指標値分布

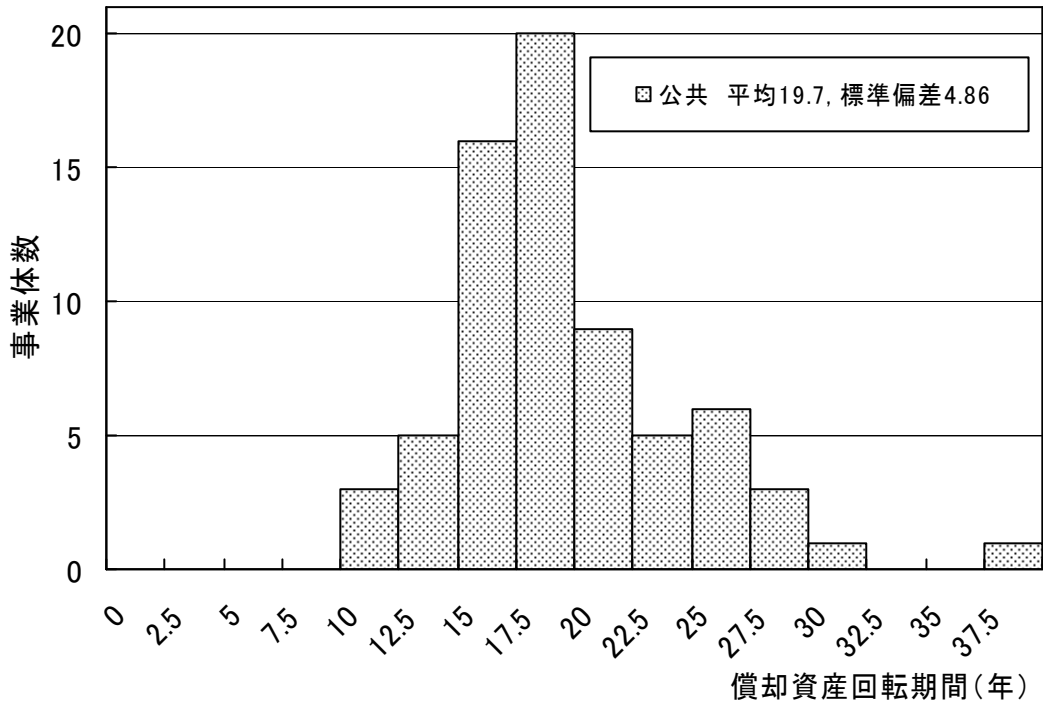


図 2.4 公共の償却資産回転期間別の事業体数分布

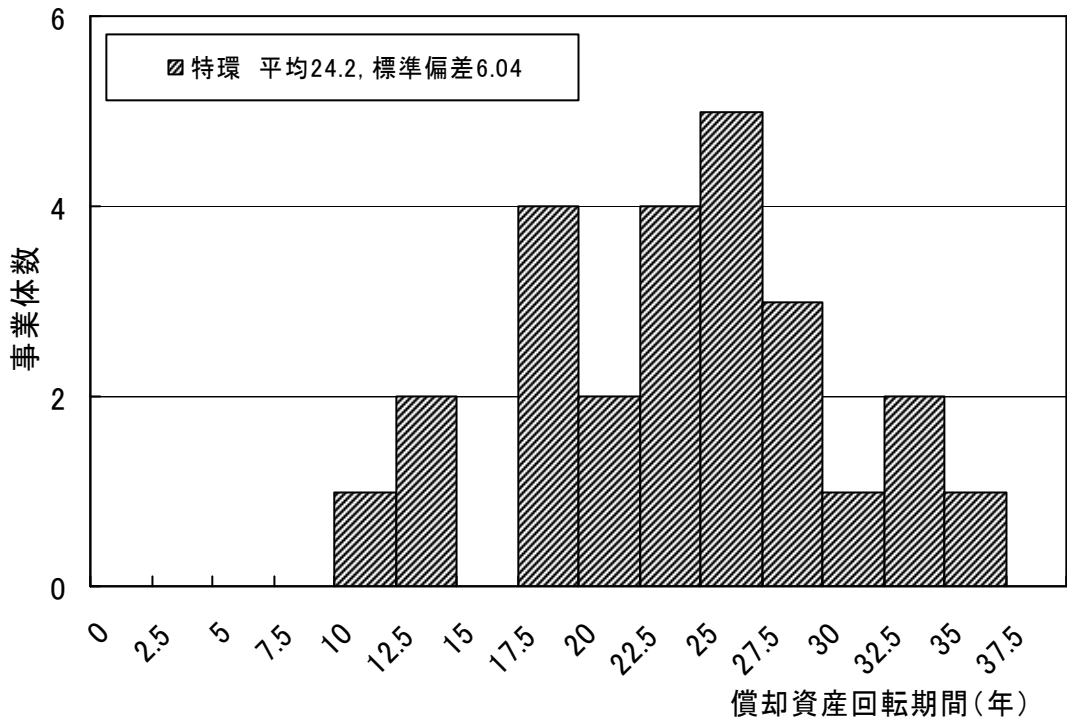


図 2.5 特環の償却資産回転期間別の事業体数分布

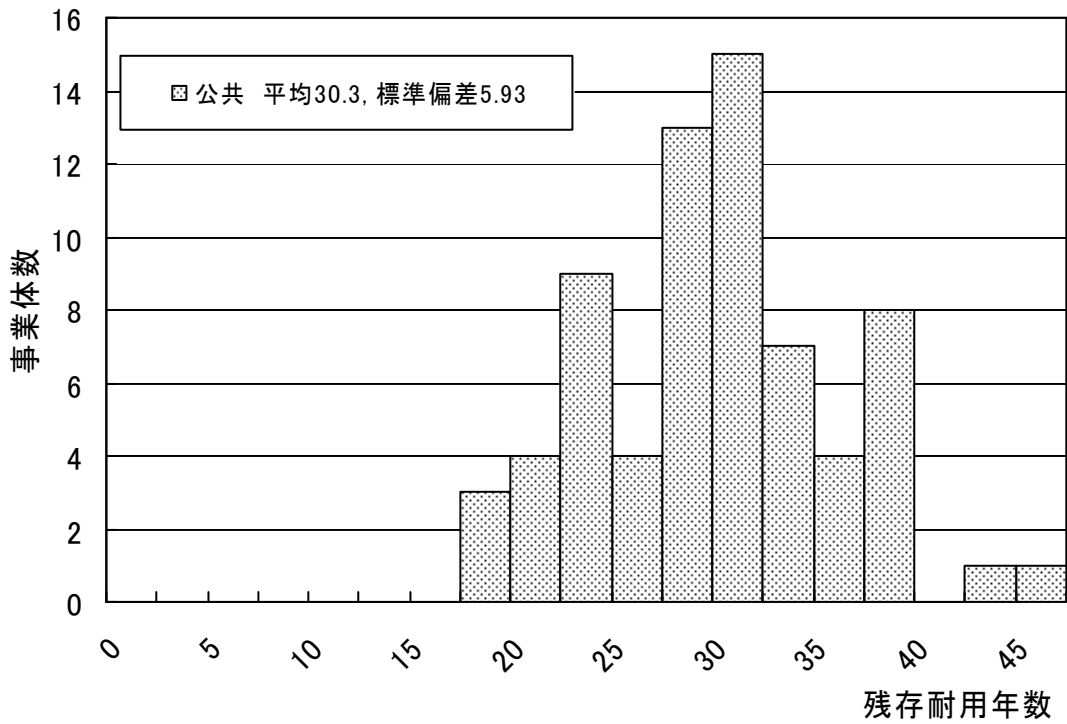


図 2.6 公共の残存耐用年数別の事業体数分布

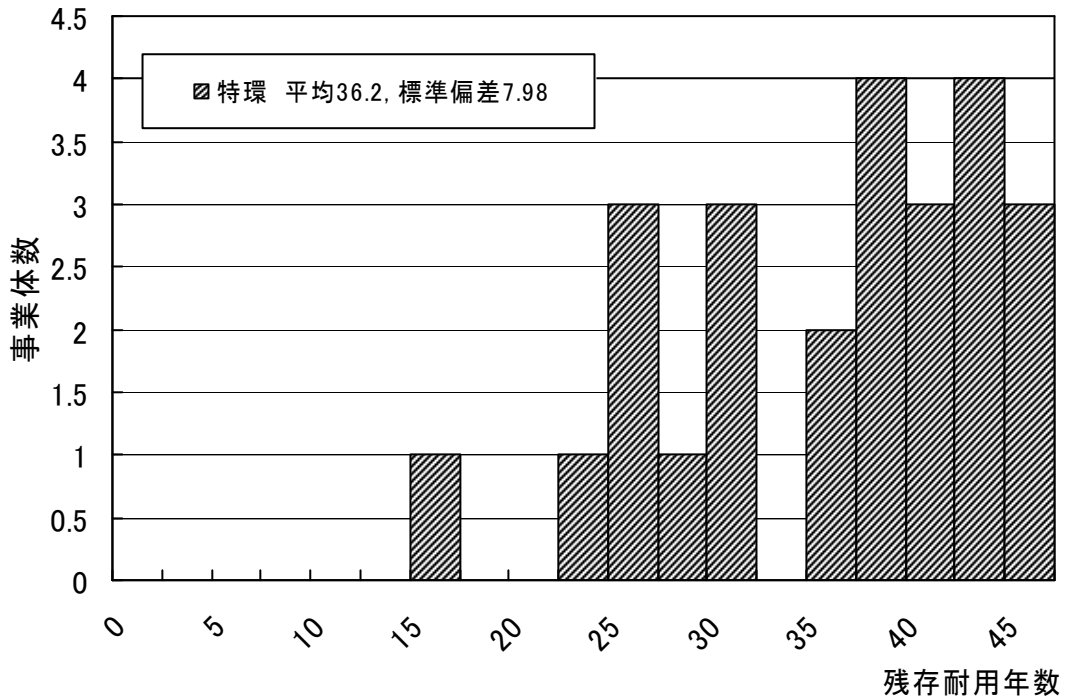
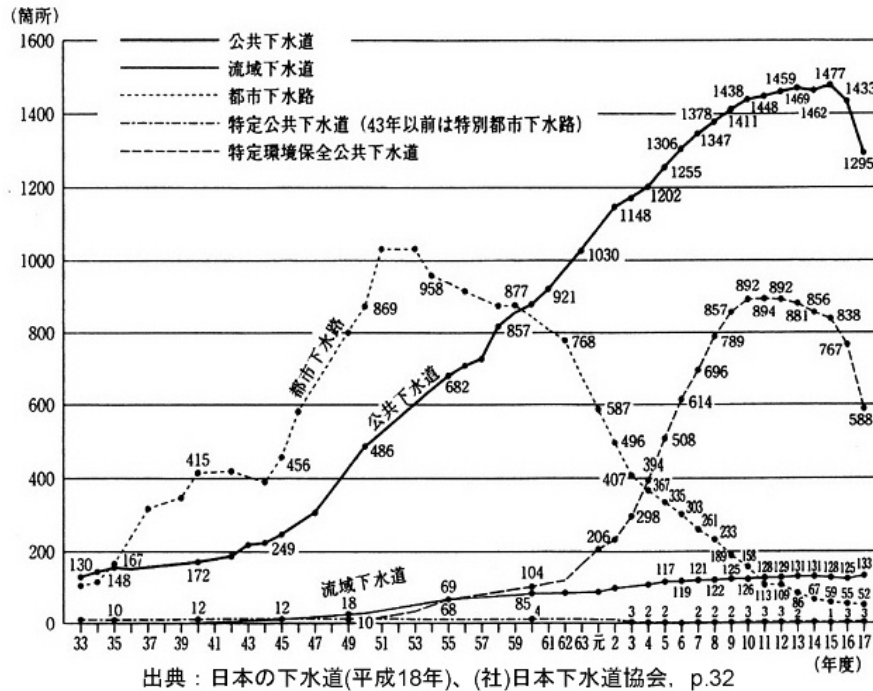


図 2.7 特環の残存耐用年数別の事業体数分布

この傾向は、一つには特環が公共よりも市街地中心部から離れた、人口密度の小さい区域を対象としているため、ストック、とりわけ原耐用年数の大きい管渠資産の割合が大きくなり、原耐用年数が大きくなっている状況を反映しているものと考えられる。



もう一つには、公共は事業着手の歴史が浅く昭和四十年代（1970年代）以降に事業体数が急速に増加し、特環はさらに歴史が浅く平成に入った頃（1990年代）から事業体数が急速に増加した。公共、特環の事業体数の推移を図2.8に示す。

したがって、両者とも歴史の古い事業体の順に残存耐用年数が減少していく過程にあると考えられ、そのことも図2.2～2.3に反映されていると考えられる。

### 2.3.2 下水道事業以外の地方公営企業6業種

次に下水道事業以外の地方公営企業6業種についての指標値の算出結果を図2.9に示す。

概ね償却資産回転期間で0～10年、残存耐用年数で10～20年の範囲に分布する。公共及び特環の分布範囲に比べてかなり原点に近く、いずれの指標値も小さい。ガス、病院、電気、交通は同業の会社が存在し、競争性・収益性を比較し、事業の実施や継続が検討される。下水道に比べて格段に会社分布範囲に近いことが背景として考えられる。

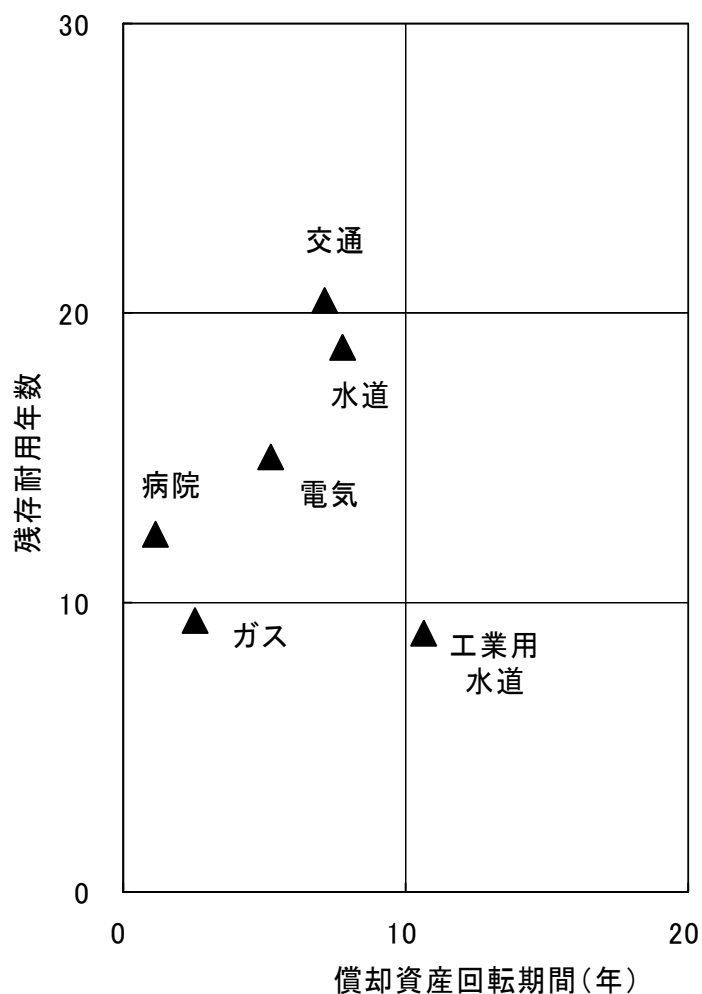


図 2.9 地方公営企業の指標値分布

### 2. 3. 3 会社

年報から会社についての指標値を算出した結果を図 2.10 に示す。図中の白抜き丸印の全産業，製造業は大分類，中分類の業種であって，その他プロットは小分類 43 業種であり，白抜きプロットは明記された名称と対応するものである。年報は母集団 2,718,777 社から抽出した 25,738 社の回答を集計したものである。

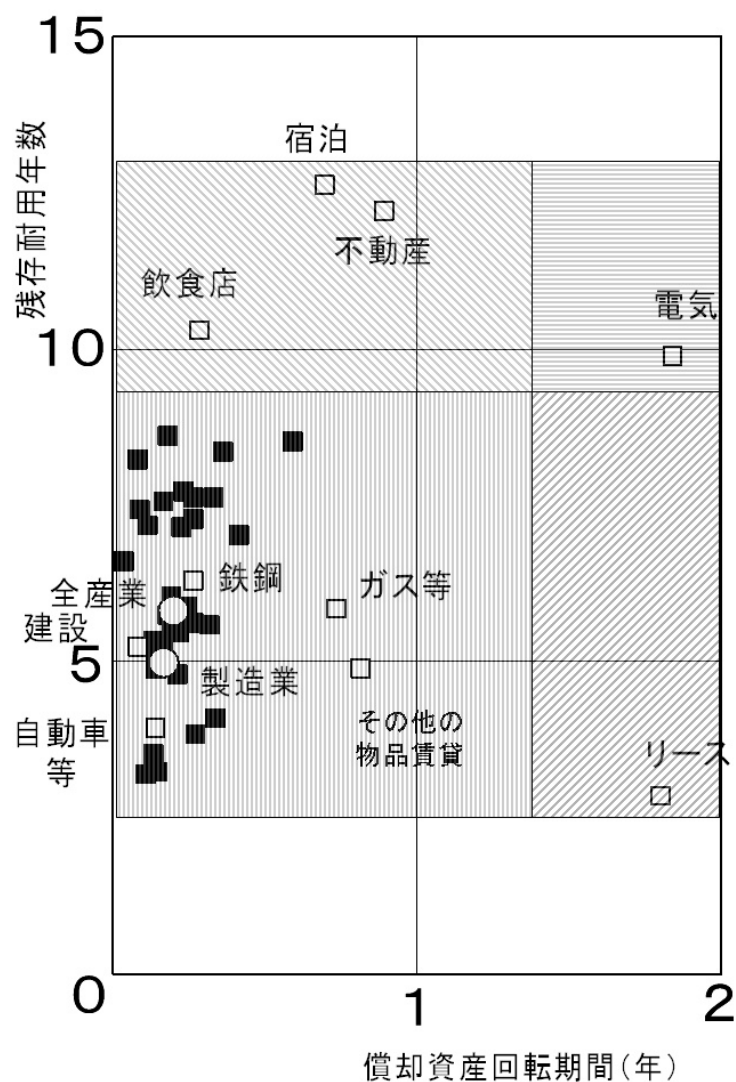


図 2.10 会社の指標値分布

概ね償却資産回転期間で 0~1 年，残存耐用年数で 3~10 年の範囲に分布し，償却資産回転期間が 1 年を超える業種として電気，リース，残存耐用年数が 10 年を超える業種として宿泊，不動産，飲食店がある。

図中左上，宿泊，不動産，飲食店は耐用年数の長い建築物がストック中に多く，かつ，宿泊と飲食店は人件費や材燃料など短期消費物資の購入費が，不動産は土地購入借入金利息や地代が減価償却費

ではない費用支出として大きいことが推察される。右下，リースは減価償却費そのものを商品とするのに近く，かつ，自動車，重機等耐用年数の短いストックが多いことが推察される。左下，鉄鋼，自動車は巨大な設備投資を必要とするにもかかわらず比較的原点に近いことは，機械など耐用年数の短いストックが多く，かつ，人件費や材燃料など減価償却費以外の費用支出が大きいことが推察される。

右上，電気は電力会社である。縦軸からは耐用年数の長いストックが多いことが推察される。横軸の数值は会社の中ではリースと並んで大きく，すなわち減価償却費以外の費用支出が会社業種の中では小さく，地方公営企業の程度に近い。いずれのことからも諸般の情勢変化に応じ機敏にストックを変更することは他の会社業種と比べ難しいと推察される。

### 2. 3. 4 公共，特環，下水道以外の地方公営企業及び会社の全体

公共，特環，下水道以外の地方公営企業及び会社の指標値の算出結果を一つの図にまとめ，図 2.11 に示す。

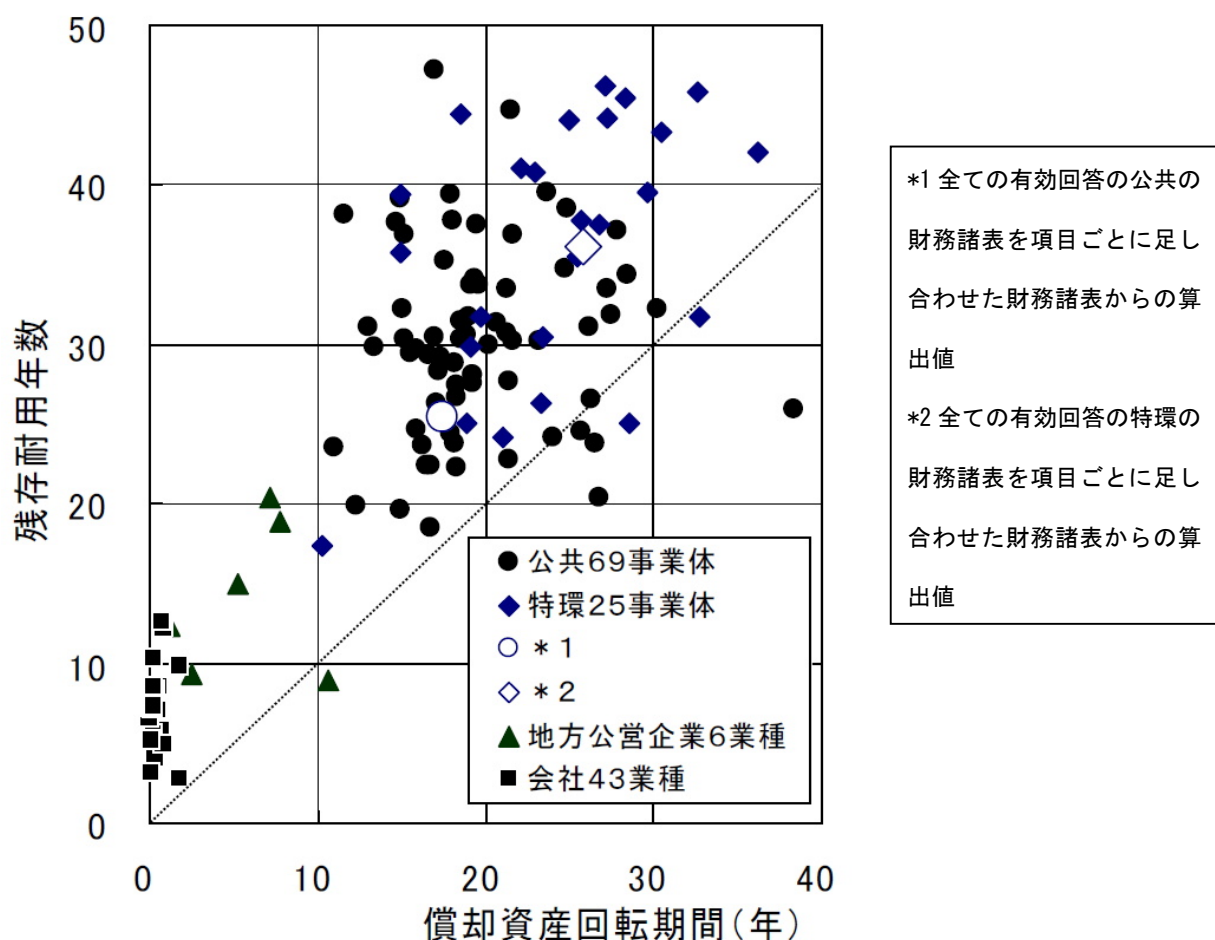


図 2.11 各種事業体の指標値分布

公共，特環が右上に広く分布し，原点付近に会社が密集して分布し，下水道以外の地方公営企業が

それらの中間に分布している。即ち公共及び特環は会社及び下水道以外の地方公営企業と比べ、大きな残存耐用年数のストックを大きな対フロー倍率で保有しており、ストックの財務への影響度が大きいことが推察される。

下水道事業は両指標の数値とも格段に大きい、すなわち他業種と比較してストックの長期性が強く、かつ、その額が収入に比べて非常に大きい。したがって、万ースtockが長い耐用年数の途中で毀損すると、収入増・支出減では取り返せないおそれがあるので、慎重な管理保全を継続する必要性が大きい。

なお、同図中、原点から45度の傾きで引いた点線よりも下側に少数のプロットがあるのは、減価償却費が非みなしに換算されていることによる。減価償却費は実際の損益計算書ではみなし償却で計上されているので、総支出及び総費用を超えることはない。

## 2. 4 結言

下水道事業全体及び個々の事業体がアセットマネジメントに取り組むべき必要度を判断するための情報として指標を考案し、財務諸表の公表統計データ等を用いて現行の下水道事業及び様々な他業種に係る指標値の分布を算出し、考察した。具体的には以下のとおり。

- (1) 指標として、(2.1)、(2.2)式で算出される償却資産回転期間及び(2.3)、(2.4)、(2.7)式で算出される残存耐用年数を考案した。
- (2) 財務諸表の公表統計データ等から指標値の分布を算出した。
  - ①公共について有効回答の財務諸表を項目ごとに足し合わせた財務諸表から算出した償却資産回転期間、残存耐用年数は17.4年、25.4年、特環についてのそれらの値は25.8年、36.2年となった。
  - ②公共についての償却期間回転期間別の事業体数の平均、標準偏差は19.7年、4.86年、特環についてのそれらは24.2年、6.04年と算出された。
  - ③公共についての残存耐用年数別の事業体数の平均、標準偏差は30.3年、5.93年、特環についてのそれらは36.2年、7.98年と算出された。
  - ④一般の会社、下水道事業以外の地方公営企業、公共、特環のデータは、償却資産回転期間と残存耐用年数を両軸とするグラフ上でこの順に原点の近傍から遠方へ向かって、両軸の値がそれぞれ40年、50年までの範囲内に分布した。
- (3) 前項の各分布から、公共及び特環は会社及び下水道以外の地方公営企業6業種と比べ、償却資産回転期間も残存耐用年数も格段に大きな、いわば経営的に非常に重い償却性固定資産を有していると考えられる。つまり、ストックは機敏な変更ができず、毀損されればフローでの努力では挽

回不能である。このことから、下水道事業では償却性固定資産の効率的管理の成否が、すなわちアセットマネジメントの巧拙が経営に重大な影響を与えるものと推察される。



〈参 考 文 献〉

- 1) 財務省ホームページ：財政金融統計月報第 653 号，法人企業統計年報特集（平成 17 年度），  
<http://www.mof.go.jp/kankou/hyou/g653/653.htm>
- 2) 総務省ホームページ：平成 17 年度地方公営企業年鑑，<http://www.soumu.go.jp/c-zaisei/kouei17/html/mokuji.html>
- 3) 水谷哲也：オーストラリアにおけるアセットマネジメントの調査報告（第一部），下水道協会誌，  
Vol.44, No.534, pp.60-61, 2007/04
- 4) 日本の下水道（平成 18 年）：（社）日本下水道協会， p.32

## 第3章 管渠の耐用年数の推計

### 3.1 緒言

管渠の経済的耐用年数は、米国では、管の材質、土壌、建設施工、接続部の材質、その他の多くの要因の影響を受け、およそ75年から150年の幅を持つと言われている<sup>1)</sup>。日本では東京都で72年<sup>2)</sup>とされている。また、本章のアンケート調査に先行して行方らが行った1999年度調査結果では、コンクリート管渠について設置時延長に対する改修延長の割合として平均的には年間0.5～0.6%程度と示されており<sup>3)</sup>、この逆数を取れば全数が改築となる概略の年数となり、さらに二分の一を乗ずれば概略の平均耐用年数として83～100年という数字が得られる。しかしながら、実際はどれくらいの設置後経過年数（以下、管渠について「管齢」という。単位は年とする。）で改築または再構築（表題及び以下、両者に廃止も含めて「改築」という。）が行われているのか実態が不明であった。

アセットマネジメントにおいてライフサイクルコスト検討及び将来改築必要量予測は非常に重要な柱である。徴税上及び会計処理上の耐用年数は、減価償却資産の耐用年数等に関する省令（昭和40年大蔵省令第15号）や地方公営企業法施行規則（昭和27年9月29日総理府令第73号）に具体的数字が定められている。しかし、アセットマネジメントの検討予測作業では、便宜上のものではなく現場実績に即した耐用年数ないし耐用年数確率分布が強く必要とされている。

他方、下水道の資産量は1960年頃から急速に増加してきたため、それ以前に整備された設置後経過年数の大きい（以下、「高齢」という）資産量及びその改築データが僅少である。そのことは実際に現場で管渠が設置されてから改築されるまでの耐用年数の確率分布の全貌を直接把握することを難しくしている。

そこで第3章では、国土交通省が行った全国の地方公共団体を対象とした2005年度改築実態調査結果をもとに、この確率分布を統計的に近似推定する。また、その結果を用いて管渠の全国単位での将来改築必要量を予測する。

なお、本章で論ずる耐用年数は現場実態的なものである。つまり老朽化の場合だけでなく、下水道計画の変更の場合や、道路改良や区画整理など他事業からの要請の場合の改築データも計算に使われており、また、維持修繕実行スタンスの積極・消極度や予算事情などによる改築の前倒し・先送りの影響も包含していると考えられ、必ずしも管材性能、設置技術だけで定まってははいない。

### 3.2 研究方法

#### 3.2.1 データ収集方法

下水道事業を実施している全ての地方公共団体に対して2006年7～8月にアンケート調査を実施

し、1,554 団体から回答を得た。アンケート項目は次の項目である。回答欄の最大管齢は 100 年とした。

- ① 管齢別・管種別の 2005 年度末時点での供用延長 ( $P_{2005}(t)$ ) ( $t=0,1,2,\dots,100$ )
- ② 管齢別・管種別の 2005 年度工事での改築延長 ( $Q_{2005}(t)$ ) (注:改築後は  $t=0$  になる。つまり  $P_{2005}(0)$  には  $\sum Q_{2005}(t)$ が含まれている。また  $Q_{2005}(0)=0$  とした。)

ここで区別した管種は、コンクリート管(CP)、陶管 (TP)、塩化ビニール管 (VP)、更生管、その他の 5 区分とした。下水道台帳上、管種が不明な管は「その他」に区分した。CP は、ヒューム管、鉄筋コンクリート管、レジン管、現場打ちコンクリート管、コンクリートセグメントによるシールド管などからなる。ただし、内側に FRP 等別材料を使用しているものは「その他」に区分した。

### 3. 2. 2 解析方法

アンケート調査結果から得られる  $P_{2005}(t)$ ,  $Q_{2005}(t)$ を使って、2005 年度における管齢  $t$  のものについての供用延長に対する改築延長の割合( $\lambda_{2005}(t)$ )を次式で算出する。

$$\lambda_{2005}(t) = \frac{Q_{2005}(t)}{P_{2005}(t) + Q_{2005}(t)} \quad (3.1)$$

2005 年度における管齢  $t$  の管渠について設置時すなわち(2005- $t$ )年度から 2005 年度まで改築されずに供用し続ける割合 ( $R(t)$ ) は次式とおりととなる。

$$R(t) = (1 - \lambda_{2005-t}(0)) \cdot (1 - \lambda_{2005-t+1}(1)) \cdots (1 - \lambda_{2004}(t-1)) \cdot (1 - \lambda_{2005}(t)) \quad (3.2)$$

ここで、

$\lambda_{2005-i}(t-i)$  : (2005- $i$ )年度における管齢( $t-i$ )の管について供用延長に対する改築延長の割合

日本の人口の簡易生命表では、「死亡状況が今後変化しないと仮定」<sup>4)</sup>、すなわち将来各年各齢の死亡率を現在と同じと仮定して平均寿命などを算出する。これにならい、上式の  $\lambda$  の項を今回アンケート調査から算出される 2005 年度値の  $\lambda$  の項で全て代用し、次式で算出する。この方法では時代とともに進む管材品質や施工技術の向上による長寿命化を織り込めないのが過小推定側となると考えられる。

$$R(t) = (1 - \lambda_{2005}(0)) \cdot (1 - \lambda_{2005}(1)) \cdots (1 - \lambda_{2005}(t-1)) \cdot (1 - \lambda_{2005}(t)) \quad (3.3)$$

全管種合計及び各管種について、これらデータから算出される  $R(t)$ プロット群に  $\gamma=0$  と置いた (3.4)式のワイブル(Weibull)分布<sup>5)</sup>信頼度関数  $Rw(t)$ を最小二乗法により近似して、その係数  $m$ ,  $\eta$  を定める。さらに、(3.5)式、(3.6)式に従って、確率密度関数と呼ばれる

f w(t) , ハザード関数と呼ばれる  $\lambda w(t)$  , が求まる。

$$Rw(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m} \quad (3.4)$$

$$fw(t) = \frac{d(1-Rw(t))}{dt} = \frac{m}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m} \quad (3.5)$$

$$\lambda w(t) = \frac{fw(t)}{Rw(t)} = \frac{m}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{m-1} \quad (3.6)$$

参考に、(3.4)式で表されるワイブル信頼度関数の一般的性質について解説をする。1939年、スウェーデンの科学者 W.Weibull はセラミックスの破壊に関する経験式に基づき統計的に生存確率を取り扱う方法を開発した<sup>6)</sup>。ワイブル分布は物体の脆弱破壊に対する確率を統計的に記述する際に広く用いられる。また、ワイブル分布は風速の出現率分布を近似できるとされており、日本では形状パラメータが 0.8~2.2 程度である<sup>7)</sup>。

形状パラメータ  $m$  , 尺度パラメータ  $\eta$  , 位置パラメータ  $\gamma$  の値により  $Rw(t)$  は図 3.1 のような曲線になる。普通のセラミックスでは  $m$  は 10~20 を示す。 $\eta$  と  $\gamma$  一定のもと  $m$  を変化させると、曲線の凹凸が変化する。 $m$  ,  $\gamma$  一定のもと  $\eta$  を変化させると、曲線が左右

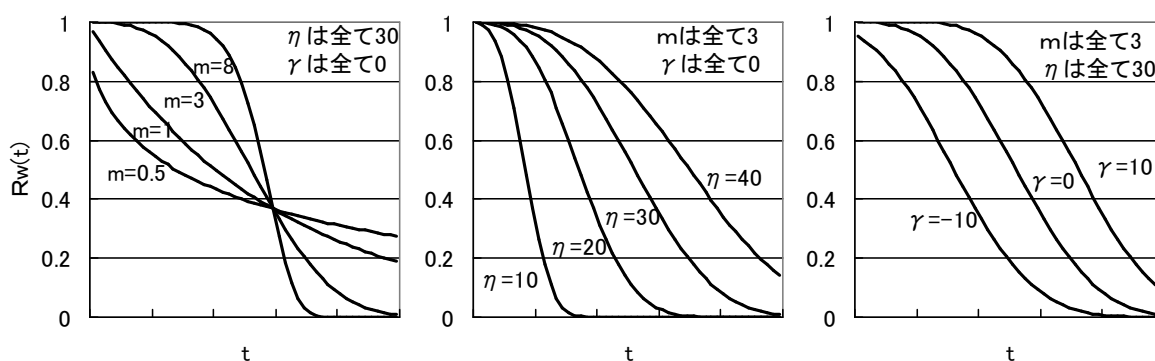


図 3.1 ワイブル信頼度関数の各係数の性質

方向に伸縮する。 $m$  ,  $\eta$  一定のもと  $\gamma$  を変化させると、曲線が左右方向へ平行移動する。 $\gamma$  は残留応力や故障の無い期間等を評価するパラメータとされるため、本研究の近似では全て  $\gamma = 0$  としている。平均耐用年数、すなわち設置から改築までの平均経過年数  $\mu$  及び分散  $\sigma^2$  は次式で算出される。

$$\mu = \eta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{m} \right) \quad (3.7)$$

$$\sigma^2 = \eta^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{m}\right) \right] \quad (3.8)$$

ここで、 $\Gamma(\cdot)$ は、ガンマ関数である。算出には Microsoft Excel のガンマ関数の自然対数の値を返す GAMMALN(x) という関数を用いる。

最後に、 $P(t)$ と  $Rw(t)$ から全国の将来改築必要量予測を行う。近似で得られた全管種合計の  $Rw(t)$ を用いて全国の将来改築必要量の予測を 2005 年度の 200 年後の 2205 年度まで行う。

予測計算手順は次のとおり。

(1) 近似的な過年度設置延長  $P_{2005-t}(0)$  ( $t=1,2,\dots,100$ ) を次式により算出する。

$$P_{2005-t}(0) = P_{2005}(t) / Rw(t) \quad (3.9)$$

(2) (10)式により 2005+i 年度における改築延長  $Y_{2005+i}$  を算出し、これを用いて(3.11)式により 2005+i 年度末時点での前年度継続以外の供用延長  $P_{2005+i}(0)$  を算出する。さらにこれを用いれば、 $i$ を繰り上げた(3.10)式が計算可能となる。同様にして、 $i$ を 1 から 200 まで順次繰り上げながら  $Y_{2005+i}$  ,  $P_{2005+i}(0)$  を算出する。

$$Y_{2005+i} = \sum_{j=1}^{i+100} P_{2005+i-j}(0) \cdot (Rw(j-1) - Rw(j)) \quad (3.10)$$

$$P_{2005+i}(0) = X_{2005+i} + Y_{2005+i} - Z_{2005+i} \quad (3.11)$$

ここで、

$X_{2005+i}$  : 2005+i 年度における新規設置延長

$Z_{2005+i}$  : 2005+i 年度における廃止延長

以上より、将来改築必要量  $Y_{2005+i}$  ( $i=1,2,\dots,200$ ) が予測される。

なお、本章の予測では  $X_{2005+i}$  ,  $Z_{2005+i}$  とも見込んでおらず、零としたが、予定値を設定することも可能である。また、アンケート調査で設置年度が不明だった供用延長（判明している延長に対して 6.81%）は各設置年度の供用延長割合で按分し加算した。

### 3. 2. 3 表計算の流れ

信頼度関数  $Rw(t)$ 、確率密度関数  $fw(t)$ 、ハザード関数  $\lambda w(t)$ を、現在の施設年齢別供用量 (①) 若しくは損壊量 (②) 又は過去の年度別設置量 (③) から算出し、将来の年度別、施設年齢別供用量又

は損壊量を算出していく表計算の流れを図 3.2 に示す。①, ②, ③のデータセットのうち二つが得られれば,  $Rw(t)$ ,  $fw(t)$ ,  $\lambda w(t)$ のいずれかで最小二乗法等の近似によりワイブル係数が決定でき, 決定された  $Rw(t)$ ,  $fw(t)$ 及び設定した将来の年度別設置量を用いて, 将来の年度別, 施設年齢別供用量又は損壊量を算出することができる。この計算の流れは, 本章の他, 第4章, 第5章の東京都データ処理及び第6章でも使用する。なお, ③の将来年度部分は, 新築予定量に累次分を含む改築量を加えて算出する。

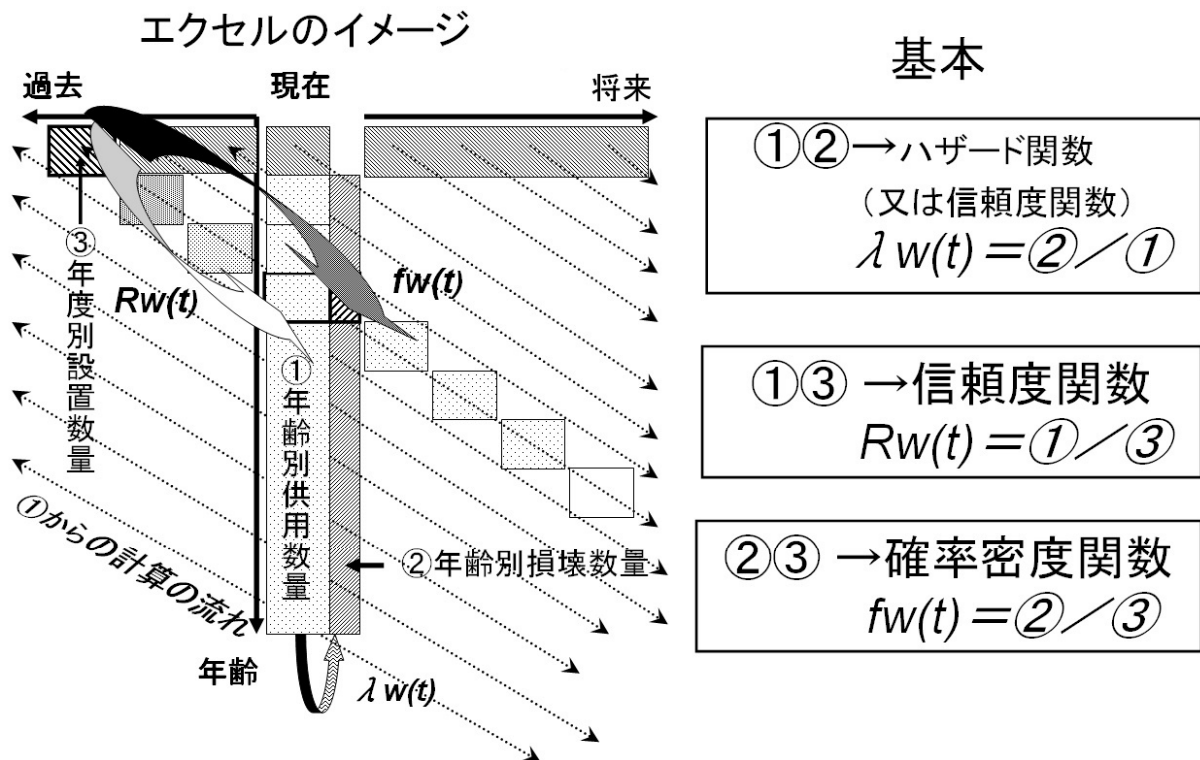


図 3.2 ワイブル係数の決定方法と表計算の基本的流れ

### 3. 3 結果と考察

#### 3. 3. 1 アンケート調査の集計結果

2005年度における3管種(CP, TP, VP)と全管種合計の設置年度別, すなわち管齢別の供用延長分布及び改築延長プロットを図 3.3 に示す。また, 全管種合計のデータを巻末の付録1に添付する。2004年度末時点の管路延長合計は372,940kmと算出され, 下水道統計<sup>8)</sup>に記載されている全国供用延長383,833kmの97%にあたり, アンケート調査の回収率は非常に高い。回答団体数は1,554であり, 2006年3月31日時点での下水道に着手済みの市町村1,821並びに都道府県及び一部事務組合226の合計2,047に対し, 75.9%である。

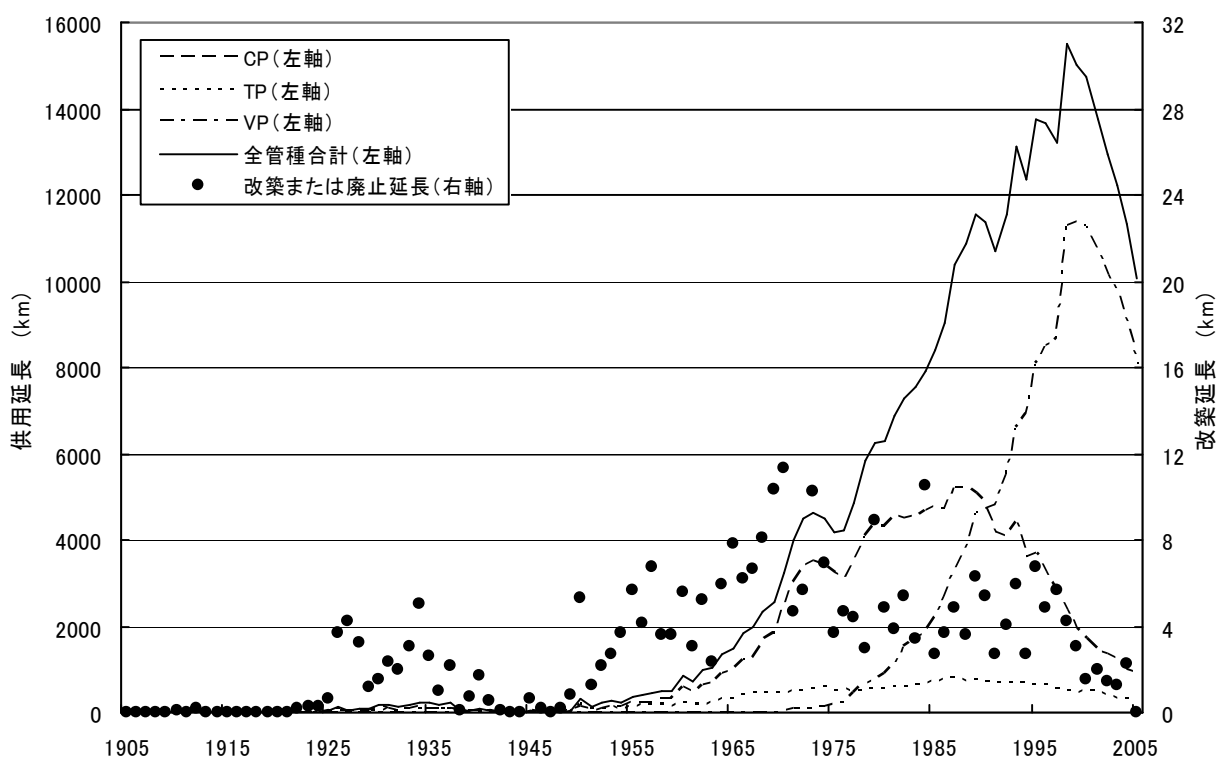


図 3.3 2005 年度における設置年度別の供用延長と改築延長

設置年度別にみた VP の供用延長は 1970 年代より急激に伸びており、1999 年度の 11,349km をピークとして、その後、減少傾向となり、2005 年度は 8,082km であった。

設置年度別にみた CP の供用延長は 1960 年代より伸びており、1987 年度の 5,230km をピークとして、その後、減少傾向となり、2005 年度は 894km であった。

設置年度別にみた TP の供用延長は 1960 年代よりなだらかに伸び、1987 年度の 803km をピークとして、その後、減少傾向となり、2005 年度は 259km であった。

改築延長は、第二次世界大戦前に 1934 年度 5km をピークとし、戦後に 1970 年度 11km をピークとして以後、減少傾向となっている。管齢が会計上の耐用年数として用いられる 50 年に達する前にも一定の改築が実施されていることが判る。地方公共団体をヒアリングした結果、これら早めの改築の老朽化・損傷以外の理由として、道路改良、区画整理などに時期を合わせた移設や、流下能力増強のための再構築があることが判った。

### 3. 3. 2 解析結果と考察

#### (1) 全管種合計での解析と考察

管齢 98 年の供用延長、改築延長のデータがないため、R(97) までを解析対象とした。使用データ

により表 3.1 の上半分のようにケース分けした。同表下半分には近似ワイブル係数等を示す。

表 3.1 ケースごとの設定条件及び近似ワイブル係数等

ケース	1	2	3	4	5
使用データ範囲 の最高管齡	97	97	—	—	83
特別に加えたデ ータ	—	右記 2 下 水の中点	神田下水	神戸下水	—
ワイブル係数 $m$	2.87	3.34	2.95	3.10	3.24
ワイブル係数 $\eta$	104	99.4	97.0	94.4	98.4
平均 $\mu$ (年)	92.8	89.2	86.6	84.4	88.2
標準偏差 $\sigma$ (年)	35.1	29.5	32.0	29.8	29.9

1 から 4 までのケース分けは、アンケート調査のデータ範囲に対し近似式の外挿となる管齡 98 年以上の区間に留意し、神田下水<sup>9)</sup>、<sup>10)</sup>と神戸外国人居留地下水<sup>11)</sup>のデータを使用するか否かの観点から行っている。ケース 1 ではアンケート調査データをそのまま最小二乗法近似した曲線を、ケース 2 では両下水のプロットの中点を通りアンケート調査データを最小二乗法近似した曲線を、ケース 3、4 ではそれぞれ神田下水、神戸外国人居留地下水のプロットを通りアンケート調査データを下側から包絡する曲線を算出している。

ケース 5 では、改築延長の確率的な発生が観測されるために供用延長が十分な長さであるか否かの観点から、改築延長にゼロが見られる管齡 84 年以上のデータを除外し最小二乗法近似した曲線を算出している。ケースごとの係数 $m$ 、 $\eta$ は一定ばらつくものの近い範囲にあると考えられるので、以下、代表的ケースとして地方公共団体ごとのデータの解析に応用できるケース 1 及び両下水のデータを使用したケース 2 について解析・考察を進める。



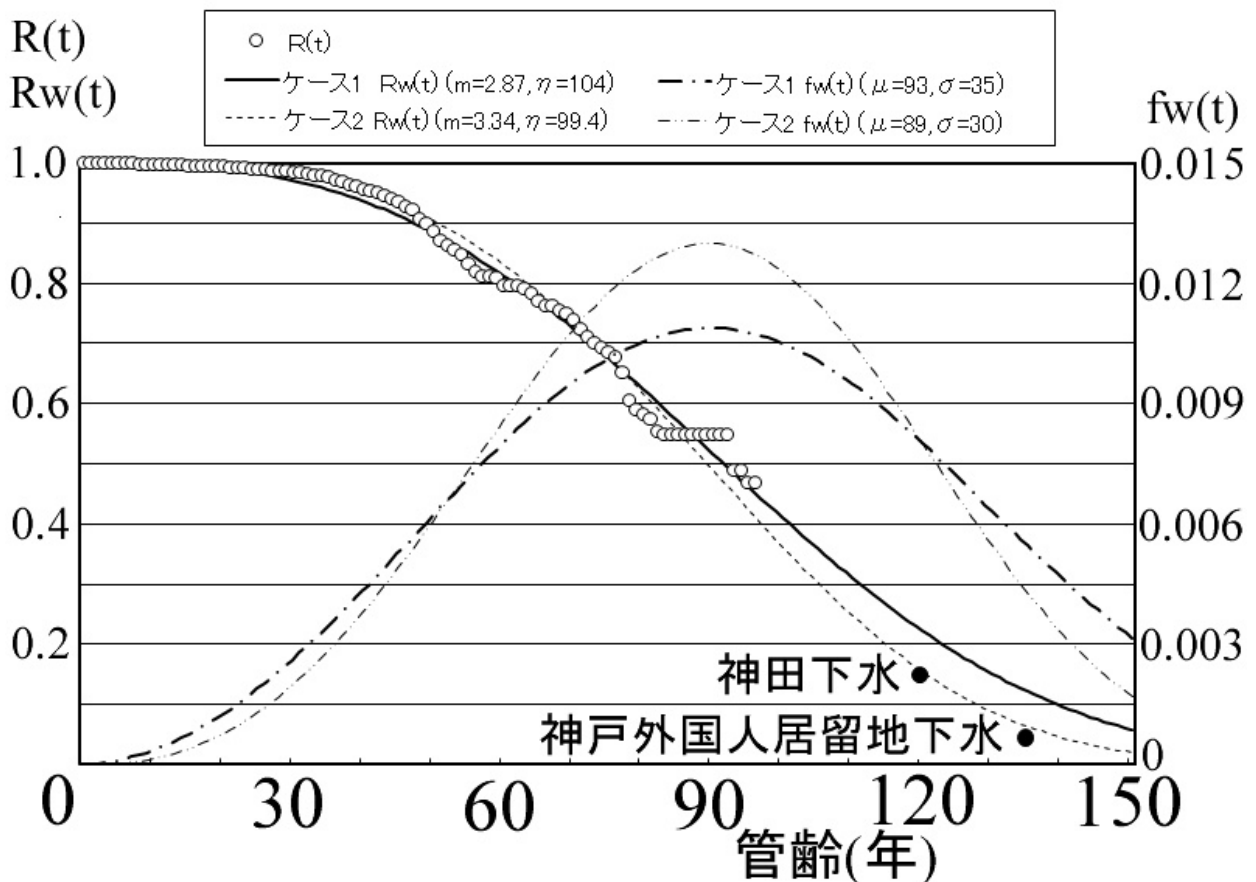


図 3.4 全管種合計の  $R(t)$ ,  $R_w(t)$ ,  $f_w(t)$

ケース 1 について管齡 97 年までの全管種合計の  $R(t)$  プロット，これに最小二乗近似して係数  $m$ ， $\eta$  を定めた  $R_w(t)$  曲線，その係数  $m$ ， $\eta$  を使用した  $f_w(t)$  曲線を図 3.4 に示す（図 3.4 中の神田下水等に係るプロット及びケース 2 の曲線については後述）。また， $R(t)$  プロットを算出する過程で算出された  $\lambda(t)$  プロット，近似式  $R_w(t)$  の係数  $m$ ， $\eta$  を使用した  $\lambda_w(t)$  曲線を参考に図 3.5 に示す。

$R(t)$  に係るアンケート調査結果以外の貴重な高齢管参考データとして神田下水と神戸外国人居留地下水がある。図 3.4 に示すとおり，神田下水は管齡 120 年で 15.4%，神戸外国人居留地下水では管齡 135 年で 4.8% が現存供用中であり，いずれもレンガ製である。1880 年～1887 年に設置された横浜外国人居留地下水は実際に供用しているものが既になく，プロットできなかつた。同図中，近似曲線  $R_w(t)$  は両データより約 5% 高いだけであるので，良好な精度で耐用年数を予測できると示唆される。神田下水，神戸外国人居留地下水の両データの中点を通る  $R_w(t)$  及びその係数を使ったケース 2 の  $f_w(t)$  も同図中に示す。

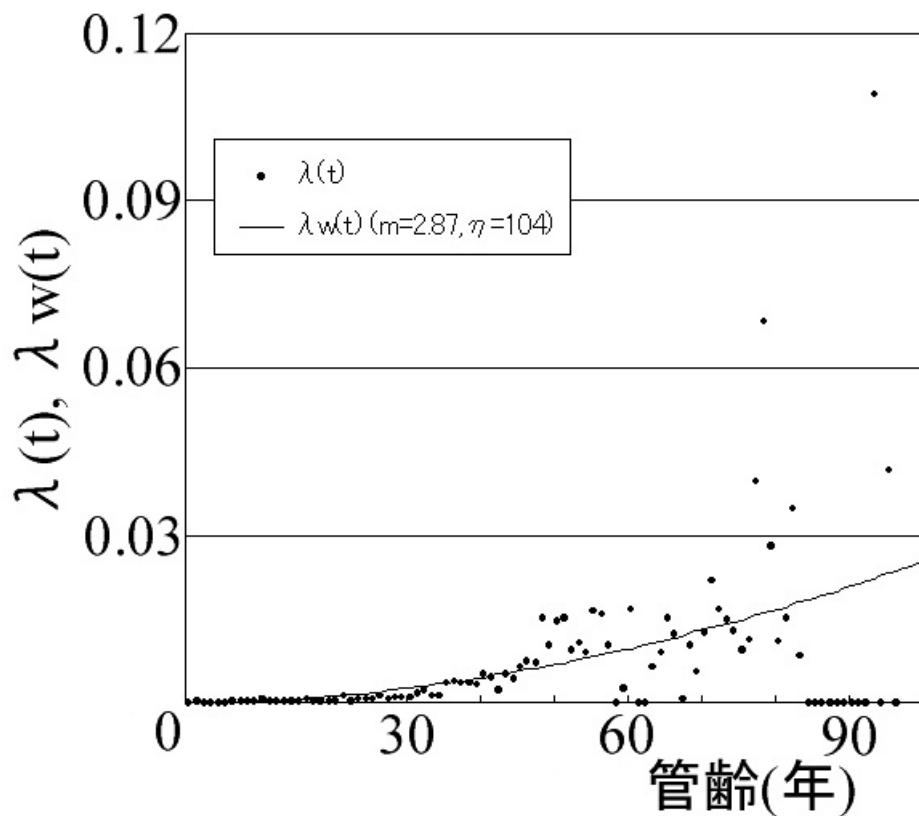


図 3.5 全管種合計の  $\lambda(t)$  と  $\lambda_w(t)$

標本データ  $R(t)$  が分布関数  $R_w(t)$  に従うか否かの検定は、これらがゼロ以上の整数を値とする度数分布ではなく  $0 \sim 1$  の間の小数を値とする確率密度関数であるので、度数分布に適用する検定方法がそのまま適用できない。そこで、度数分布を累積分布関数に変換する過程のあるコルモゴロフ検定を利用する。

コルモゴロフ検定では、後述の図 8.1 と同様の手順で標本データから累積分布関数を作成し、これと特定分布の累積分布関数とを比べて差を算出し、差の最大値が臨界値を超えないならば母集団が特定分布に従うと判定する。同様の方法で二つの母集団の同一性を判定する方法にコルモゴロフ・スミルノフ検定がある<sup>12)</sup>。

算出した母集団の確率密度関数  $f_w(t)$  の標本データへの適合性を検証しようとする場合、累積分布関数は 1 から信頼度関数  $R_w(t)$  又は残存率データ  $R(t)$  を差し引いたものであるため、上述の差は  $R_w(t)$  と  $R(t)$  の差に等しい。したがって、 $R_w(t)$  と  $R(t)$  の差の最大値をコルモゴロフ検定の臨界値と比較すればよい。ただし、 $R(t)$  は十分に大きな年齢  $t$  におけるデータが通常得られないため、0 に近い値に達していないので補正が必要である。そこで、 $|R_w(t) - R(t)|$  を  $1 - \text{Min}(R(t))$  で除した後にその最大値を  $\text{Max}|R_w(t) - R(t)|$  として選定することとし、以後の検定でも同様の補正計算を行う。検定結果を表 3.2 に示す。

表 3.2 ケース 1 のコルモゴロフ検定結果

有意水準	定数 k	標本数 n	臨界値( $k/\sqrt{n}$ )	Max Rw(t)-R(t)	判定
10%	1.22	97	0.124	0.104	受容
5%	1.36		0.138		受容
1%	1.63		0.166		受容

(2) 管種別解析と考察

アンケート調査のデータ不存在のため解析可能な管齡上限は、CP89年、TP86年、VP49年である。管種別の  $R(t)$  プロットと近似曲線  $R_w(t)$  を図 3.6 に示す。なお、VP の近似曲線  $R_w(t)$  についてはデータが CP、TP の半分程度しかなく、補外の程度が著しく信頼性が低いと考えて省略し、補間部分についてのみ示した。耐用年数は CP93年、TP83年と算出された。

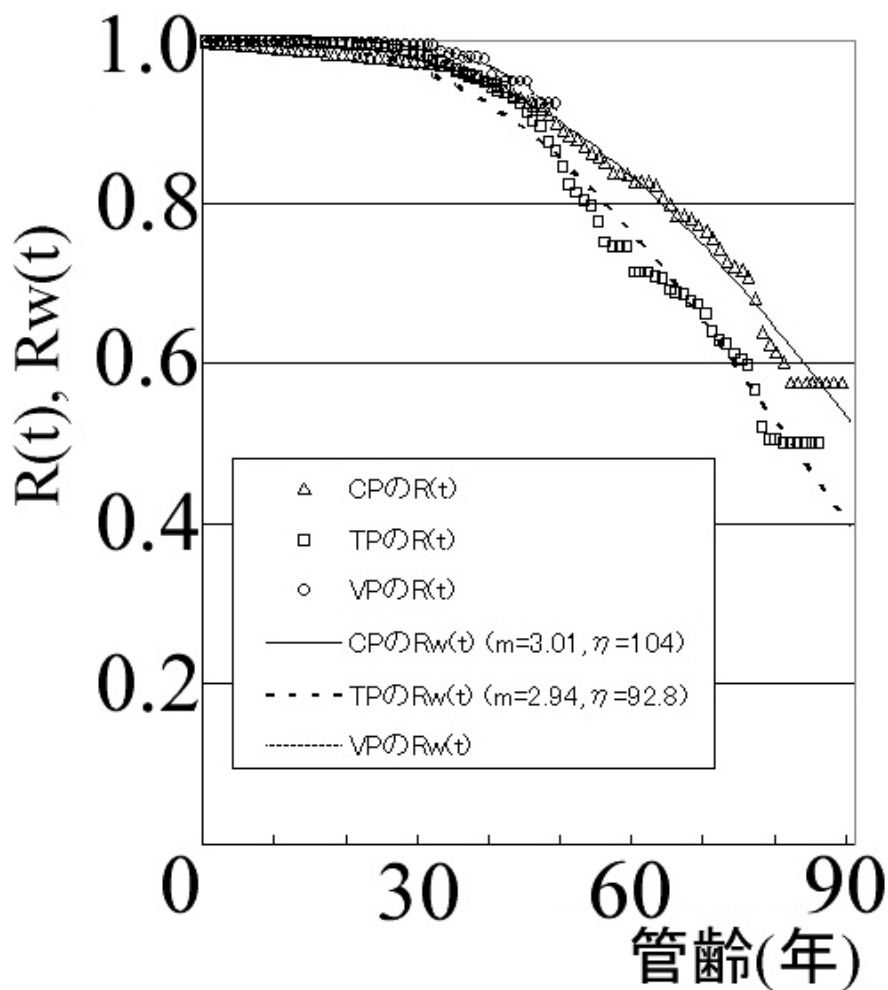


図 3.6 管種別の  $R(t)$  と  $R_w(t)$

CP と TP の  $R(t)$  と  $R_w(t)$  についてコルモゴロフ検定を行い、結果を表 3.3 及び表 3.4 に示す。

表 3.3 CP のコルモゴロフ検定結果

有意水準	定数 k	標本数 n	臨界値(k/√n)	Max Rw(t)-R(t)	判定
10%	1.22	89	0.129	0.0997	受容
5%	1.36		0.144		受容
1%	1.63		0.173		受容

表 3.4 TP のコルモゴロフ検定結果

有意水準	定数 k	標本数 n	臨界値(k/√n)	Max Rw(t)-R(t)	判定
10%	1.22	86	0.132	0.0990	受容
5%	1.36		0.147		受容
1%	1.63		0.176		受容

また、CP と TP の確率密度関数に有意差があるかどうかをコルモゴロフ・スミルノフ検定で検証し、結果を表 3.5 に示す。Rc(t), Rt(t)はそれぞれ CP, TP の R(t)を示し、自由度 2 のカイ二乗分布の片側確率は Microsoft Excel の CHIDIST 関数を使用する。

表 3.5 CP と TP の有意差のコルモゴロフ・スミルノフ検定

$D = \text{Max} Rc(t) - Rt(t) $	0.522
標本数 n	86
$\chi^2_0 = 2n \cdot D^2$	46.8
$P = 2 \cdot \text{Pr}\{\chi^2 \geq \chi^2_0\}$	$1.37 \times 10^{-10}$
判定( $P < 0.01$ )	水準 1% で有意差あり

CP は TP と比べ、約 45 年前以後に設置された若齢のものについては差が小さいが、約 50 年前以前に設置された高齢のものについては差が開き、統計的に耐用年数が長いと考えられる。

### (3) 全国の将来改築必要量予測結果

神田下水及び神戸外国人居留地下水は、過年度設置延長が 4km 及び 1.9km と極めて短く、またレンガ製であり、後年代に主として使用されるコンクリート製とは材質が相当異なるなど時代による技術の違いの影響を最も強く受けていると考えられる。したがって、両下水のデータは近似曲線が大きく逸脱しないかどうかの検討に用いるに止め、本節の予測にはケース 2 でなくケース 1 を採用する。

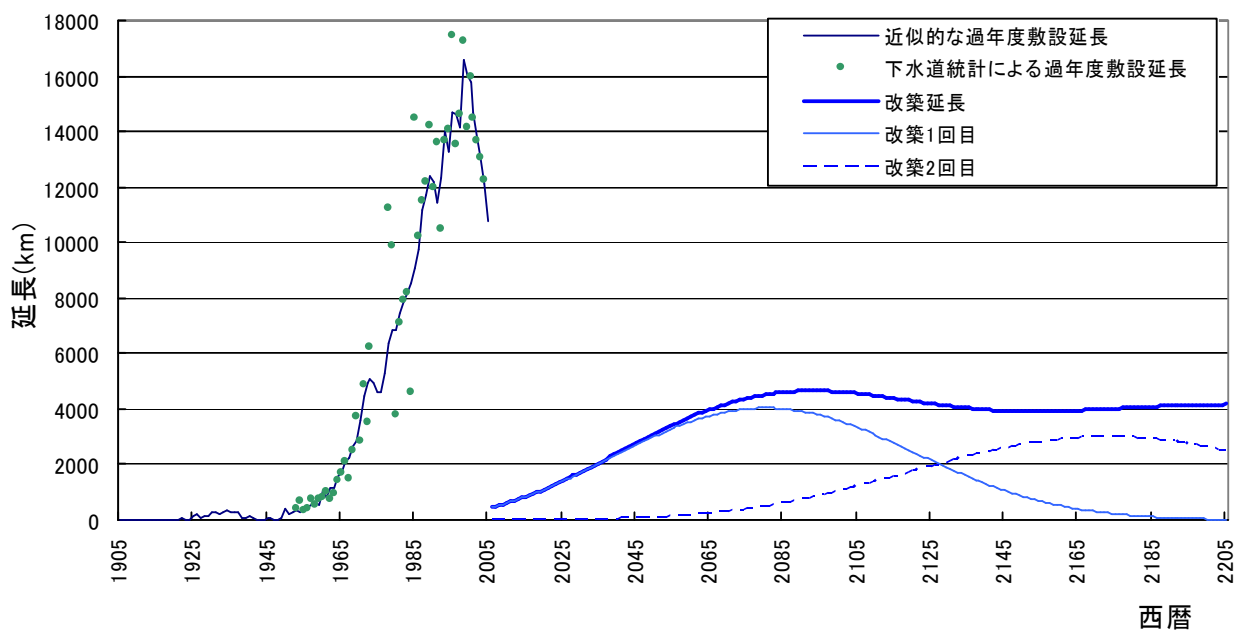


図 3.7 将来改築必要量の予測(km)

ケース 1 を使った予測結果を図 3.7 に示す。参考に毎年度の下水道統計<sup>13)</sup>の全国供用延長の差分より過年度設置延長を算出してプロットで示す。また、按分加算された  $P_{2005}(t)$  を  $Rw(t)$  で除して得られる近似的な過年度設置延長も図中に折れ線で示す。このプロットのばらつきは下水道統計自体のデータの捕捉範囲や収集集計の仕方のためであると考えられるが、概ね折れ線を包み込んでおり、近似的な過年度設置延長の算出は適当であると考えられる。予測の結果、将来改築必要量のピークは 2093 年で約 4,650km となった。過去の設置延長曲線での鋭いピークに比べ、将来改築必要量曲線では極めてなだらかな起伏となっている。

#### (4) 延長当たり改築事業費の算出

将来改築必要量が算出されたので将来改築必要事業費を算出するため、延長当たり平均改築事業費を算出する。

まず、2006 年度版下水道統計では全国既設延長が口径 600mm 未満、600mm 以上 1,200mm 未満、1,200mm 以上の 3 分類で集計されており、年度別の全国設置延長がさらに細かい口径別 8 分類で集計されているので<sup>14)</sup>、後者 8 分類集計を使って前者 3 分類の代表口径を決定する。次に、それらの代表口径ごとに積算により更生工法の m 当たり改築工事費を算出する。最後に、これらを 3 分類の延長シェアで加重平均し、m 当たり平均改築工事費を算出する。

計算結果を表 3.6 及び表 3.7 に、積算条件を表 3.8 に示す。m 当たり平均改築工事費は約 138,000 円/m と算出されたので、事業費が工事費に等しいとみなせば、2093 年度に予測される 4,650km の

改築延長は事業費約 6,400 億円と算出される。

表 3.6 口径別 3 分類の代表口径の決定

口径(mm)		-200	250- 300	350- 450	500- 900	1000- 1850	2000- 2800	3000- 4800	5000-
年度別設置延長 (km) 14)	2002	11,830	777	414	428	230	73	38	5
	2003	10,817	701	354	364	190	56	26	2
	2004	10,173	633	323	289	144	61	37	10
	2005	9,302	618	295	275	173	61	27	3
	2006	8,853	570	357	265	155	55	20	8
	平均	10,195	660	349	324	178	61	30	5
設定口径		200	250	400	700	1,500	2,400	4,000	5,000
口径加重 平均シェア		0.652	0.053	0.045	0.073	0.085	0.047	0.038	0.009
代表口径決定		200mm			1,000mm		3,000mm		

表 3.7 更生工法の延長当たり加重平均改築工事費の算出

口径(mm)	600 未満	600 以上 1,200 未満	1,200 以上
総延長の口径別シェア (%) <sup>14)</sup>	86.1	11.9	2.0
代表口径 (表 3.6 から)	200mm	1,000mm	3,000mm
改築工事費 (円/m)	73,500	477,750	868,980
使用積算資料	歩掛り・単価(2008)組込みの積算ソフト (オールライナー工法) <sup>15)</sup>		同左 (ダンビー工法) <sup>16)</sup>
加重平均工事費 (円/m)	137,515		

表 3.8 改築工事費の積算条件

φ 200mm の条件		φ 1,000mm		φ 3,000mm	
土被り	1.8m	土被り	4.0m	土被り	設定なし
人孔深	2.0m	人孔深	5.0m	人孔深	7.0m
平均延長	30m	平均延長	80m	平均延長	100m
水替工	1 日	水替工	1 日	水替工	なし
前処理	なし	前処理	なし	既設管調査工	なし

### 3. 4 結言

- (1) 全国地方公共団体に対してアンケート調査を行い、2005 年度における管齢ごとの供用延長及び改築延長をデータ収集した。
- (2) そのデータにワイブル分布を近似させ、耐用年数確率分布を推定し、平均耐用年数を 83～93 年と算出した。
- (3) その確率分布を用い全国の将来改築必要量予測を行った結果、将来改築必要量は 2006 年度 457km から年々増加し、2066 年度以降は年間 4,000km の水準を推移し、ピークは 2093 年、4,650km、約 6,400 億円と算出される。

出生中位・死亡中位の全国将来推計人口<sup>17)</sup>によれば、2007 年から 2055 年にかけて総人口が 30% 減少、15 歳から 64 歳までの生産年齢人口が 45% 減少するので、この期間、下水量の減少と費用負担力のかなりの減少が予想される。

したがって、通常のコスト縮減は勿論、下水量減少管渠の改築において断面縮小の代わりに大幅なコスト縮減が得られる工法や、改築事業量の上昇を遅らせる延命修繕などの開発・積極採用が必要となることが考えられる。

なお、過去の設置延長曲線での鋭いピークは将来改築必要量曲線ではなだらかな起伏にまで均されると判明した。管渠の年間 4,000km 台の超長期にわたる改築必要量が下水道事業の財政構造に及ぼす影響については、処理場の改築必要量とも合わせて検討する必要がある、今後の課題である。

また、下水道の個々の機電設備の劣化にワイブル分布を適用した研究例や、第 1 章で述べたようにワイブル分布を下水管渠の劣化データに近似させた外国の研究例はあった。しかし、近似分布の確率密度関数から耐用年数と標準偏差を算出し、さらに同分布を使って過去及び将来の年度別及び管齢別の供用及び新改築延長の推計を行い、加えて過去の二種類のデータ、すなわち下水道統計の各年度全

国供用延長並びに神田下水及び神戸外国人居留地下水の残存率データで検証したことは新たな解析である。



## 〈参考文献〉

- 1) Association of Metropolitan Sewerage Agencies : MANAGING PUBLIC INFRASTRUCTURE ASSETS, p.15
- 2) 東京都下水道局 : 下水道構想 2001, p.13
- 3) 行方馨・藤生和也・森田弘昭・吉田綾子・高橋正宏 : 下水道管渠の布設及び改修状況に関する実態調査, 下水道協会誌, 518(42), pp.115-125,2005
- 4) 厚生労働省 <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/life05/00.html>
- 5) 真壁 肇 (1996) : [改訂版]信頼性工学入門,財団法人日本規格協会, p.97
- 6) 松尾陽太郎 (訳) : [JME 材料科学] セラミックスの寿命と破壊, 内田老鶴圃, pp.24-28, 1989
- 7) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) ホームページ : <http://app2.infoc.nedo.go.jp/nedo/Weibull.pdf>
- 8) 日本下水道協会 : 平成 16 年度版下水道統計要覧, p.80, 2006
- 9) 日本下水道協会下水道史編さん委員会 編 : 日本下水道史-行財政編, pp.116-123
- 10) 東京都 [http://www.gesui.metro.tokyo.jp/kanko/newst/195/n195\\_4.htm](http://www.gesui.metro.tokyo.jp/kanko/newst/195/n195_4.htm)
- 11) 神戸市 <http://www.city.kobe.jp/cityoffice/30/031/cont02.html>
- 12) 加納悟, 浅子和美 : 入門/経済のための統計学, 日本評論社, pp.264-269, 1992
- 13) 日本下水道協会 : 昭和 27~平成 16 年度版下水道統計, 1952~2004
- 14) 日本下水道協会 : 平成 18 年度版下水道統計, p.64, p.146, 2008
- 15) オールライナー協会 : 積算参考資料, pp.1-63, 2008/03
- 16) EX・ダンビー協会 : ダンビー工法積算資料, 第 6 版, 2006/06/20
- 17) 国立社会保障・人口問題研究所 : 日本の将来推計人口 (平成 18 年 12 月推計), p.9, 2006  
<http://www.ipss.go.jp/pp-newest/j/newest03/newest03.pdf>

## 第4章 道路陥没発生数の推計

### 4.1 緒言

下水道管路は1970年代から急速に整備されてきたため、今後、老朽管路が急増することが予想されており、これに伴って下水道管路の老朽化・損傷に起因する道路陥没数（以下、単に「陥没数」という。）も急増するおそれがある。陥没数は2005年度、全国で年間約6,600件に達した<sup>1)</sup>。道路陥没は、人身事故や道路交通障害などを引き起こし、社会的に重大な影響を与えかねない。したがって、社会活動や生活の安全確保の観点から、この膨大な延長の下水道管路を適切かつ効率的に点検・調査・修繕・更生・改築するための研究調査及び技術開発が急務となっている。大規模な道路陥没の事例として1980年7月2日夜、名古屋市西区菊之尾通で発生した事故状況を写真4.1に示す。



写真4.1 下水管渠に起因する道路陥没事故（名古屋市上下水道局提供）

国土交通省は2006年9月、下水道の事業主体である地方公共団体に対し、軌道、緊急輸送路、避難路など重要路線下に設置してある下水道管路について、設置後の経過年数等を踏まえ、施設の老朽化・損傷状況を把握するために、緊急的に点検を実施し、その結果を踏まえて早急に対策を実施するよう、地方公共団体に要請した<sup>2)</sup>。

同省はその後も点検及び対策結果について地方公共団体に定期的に報告を求め、2007年11月までに計4回の報告要請と結果公表を行った。その公表情報によると、緊急点検の必要のある重要路線下の管路のうち、点検未実施が11%にまで減じたものの、直ちに対策の必要なレベルIについて未対策が48%にとどまるなど、点検に基づいた対策が未だ十分に行われていないとされている<sup>3)</sup>。

そこで第4章では、下水道管路の改築延長にワイブル分布を適用した第3章を基礎とし、管路の設置後経過年数（以下、「管齢」という。単位は年とする。）別の2005年度の管路供用延長及び改築延長並びに2006年度の陥没数及び管路供用延長についての国土交通省の全国実態調査データ（以下「実態データ」という。）を用いて陥没数の過去再現と将来予測を行い、道路陥没対策の必要度を明らか

にする。

そのためにまず、過去及び新改築を見込んだ将来の各年度管齢別供用延長を推計する。次に、管齢別陥没発生率について実態データ及び東京都の公表データを参考としつつ幾つかのケースを設定し、各ケースの過去陥没数を推計し、再現性の良否を検討する。最後に、各ケースの将来陥没数を推計し、考察を加える。

以上により、将来陥没数の予測手法の提案及び予測値の提示を行い、もって陥没防止の観点からの技術開発、改築修繕計画策定、損害リスク算定などストックマネジメントに資することを目指す。

## 4. 2 研究方法

### 4. 2. 1 データ収集方法

#### ① 2006 年度実態調査

3. 2. 1 ①に同じ。

#### ② 2007 年度実態調査

2007 年 8 月、国土交通省は 2006 年度における下水道に起因する陥没数及び管路供用延長を管齢別にアンケートによる全国実態調査をし、両者の比である陥没発生率を管齢別に算出した。<sup>4)</sup> 同調査は 1,598 団体から回答が得られたものである。

### 4. 2. 2 解析方法

#### (1) 前章のワイブル分布係数の利用

2005 年度における管齢  $t$  の管渠について設置時すなわち(2005- $t$ )年度から 2005 年度まで改築されずに供用し続ける割合  $R(t)$  は前章(3.2)式となる。

$$R(t) = (1 - \lambda_{2005-t}(0)) \cdot (1 - \lambda_{2005-t+1}(1)) \cdots (1 - \lambda_{2004}(t-1)) \cdot (1 - \lambda_{2005}(t))$$

前章(3.2)式再掲

上式の  $\lambda$  の項を 2006 年度実態調査から算出される 2005 年度値の  $\lambda$  の項で全て代用した前章(3.3)式で  $R(t)$  を算出する。

$$R(t) = (1 - \lambda_{2005}(0)) \cdot (1 - \lambda_{2005}(1)) \cdots (1 - \lambda_{2005}(t-1)) \cdot (1 - \lambda_{2005}(t)) \quad \text{前章(3.3)式再掲}$$

前章の(3.4)式で  $\gamma = 0$  とおいた次式の  $R_w(t)$  を  $P_{2005}(t)$ ,  $Q_{2005}(t)$  のデータから算出される  $R(t)$  プロット群に最小二乗法により近似し、その係数  $m$ ,  $\eta$  を算定する。

$$Rw(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m} \quad (4.1)$$

前章で2006年度実態調査の実態データから全国下水道管路改築に関するワイブル係数を( $m=2.87$ ,  $\eta=104$ )と近似・算定しており,本章ではこれら係数値を次節(2)の推計に利用する。

## (2) 管齢別供用延長の推計

まず,下水道普及率が最終想定値に達するまでの将来各年度の新築延長を推計する。次に2007年度実態調査における2006年度の管齢0年の供用延長,すなわち新改築延長について推計値を実態データ値に一致させる修正を行う。最後に,1979~2004年度の過去26年間及び2006~2205年度までの将来200年間の計226年間について管齢別供用延長を推計する。推計手順は次のとおり。

### ① 設置年度不明延長の按分加算

前章と同様,2006年度実態調査で設置年度が不明であった2005年度供用延長(判明している延長に対して6.81%)を各設置年度の供用延長割合で按分し加算する。

### ② 将来の新築延長の推計

将来,すなわち2006~2205年度の新築延長を推計する。過去の全国下水道普及率推移データ<sup>5)</sup>及び全国供用延長推移データ<sup>1),6)</sup>を年度ごとに対応させ,全国下水道普及率 vs 全国供用延長のグラフ上で最小二乗法により二次関数曲線で近似し,外挿曲線を描く。

下水道普及率は,最終想定値として国土交通省が都道府県構想の計画値を全国集計した88%<sup>7)</sup>を用い,2006年度末70.5%から毎年度1.2ポイントずつ増加していくものと仮定する。将来各年度の全国供用延長を下水道普及率から相関式によって推計し,各年度の差分を各年度の新築延長とする。

### ③ 過去の管齢別供用延長の推計

過去の年度,すなわち1979~2004年度の近似的な供用延長 $P_{2005-t+s}(s)$  ( $t=1, 2, \dots, 26$ ;  $s=0, 1, \dots, t-1$ )を(4.2)式により算出する。

$$P_{2005-t+s}(s) = \frac{P_{2005}(t) \cdot Rw(s)}{Rw(t)} \quad (4.2)$$

1978年度以前について算出しないのは,唯一利用可能な参考文献4)に1979年度以後の分しか全国年間陥没数データが示されておらず,それより前について算出しても過去データと比較検討できないためである。

### ④ 将来の改築延長の推計

将来,すなわち2006~2205年度の改築延長を推計する。(4.3)式により2005+i年度における改築延長 $Y_{2005+i}$ を算出し,これを用いて(4.4)式により2005+i年度末時点での新改築延長 $P_{2005+i}(0)$ を算出す

る。さらにこれを用いれば、 $i$  を繰り上げた(4.3)式が計算可能となる。同様にして、 $i$  を 1 から 200 まで順次繰り上げながら  $Y_{2005+i}$  ,  $P_{2005+i}(0)$  を算出する。

$$Y_{2005+i} = \sum_{j=1}^{i+100} P_{2005+i-j}(0) \cdot (Rw(j-1) - Rw(j)) \quad (4.3)$$

$$P_{2005+i}(0) = X_{2005+i} + Y_{2005+i} \quad (4.4)$$

ここで、 $X_{2005+i}$  : 2005+i 年度における新築延長

以上により、 $Y_{2005+i}$  及び  $P_{2005+i}(0)$  ( $i=1,2,\dots,200$ ) が算出される。

なお、 $X_{2005+i}$  は、下水道普及率が最終想定値 88% に達すると推計される 2021 年度までについては②の推計手順で見込み、2022 年度以後については零とする。

#### ⑤ 将来の管齢別供用延長の推計

将来、すなわち 2006~2205 年度の管齢別供用延長  $P_{2005+i}(t)$  ( $i=1, 2, \dots, 200; t=1, 2, \dots$ ) を(4.5)式により推計する。

$$P_{2005+i}(t) = P_{2005+i-t}(0) \cdot Rw(t) \quad (4.5)$$

### (3) 過去及び将来の陥没数の推計

管齢別陥没発生率のケースを幾つか設定し、過去及び将来各年度の陥没数を推計し、過去データ<sup>4)</sup>と比較検討し、将来については考察を行う。

管齢別陥没発生率についての 2006 年度の実態データ<sup>4)</sup> (以下「全国データ」という。) 及び東京都下水道局による 1998 年度、23 区ごとの公表データ<sup>8)</sup> (以下「東京都データ」という。) 並びにこれらを参照しつつ設定した管齢別陥没発生率の CASE-1~5 を図 4.1 に示し、及び以下に説明する。なお、同図中、管齢 70 年で陥没発生率 87.9 の全国データプロットは、管齢 50 年以上について平均値 87.9 というデータを便宜的に管齢 70 年の位置にプロットしたものである。

#### ① CASE-1

陥没率は、管齢 10 年までは零、10 年超では 1 年当たり 7.81 件/千 km・年ずつ増加する傾きの直線とする。東京都データの上側を概ね包絡する折れ線となる。

#### ② CASE-2

陥没率は、管齢 15 年までは零、15 年超では 1 年当たり 5 件/千 km・年ずつ増加する傾きの直線とする。CASE-1 と CASE-3 の概ね中間となる。

#### ③ CASE-3

陥没率は、管齢 24.4 年までは 1 年当たり 0.175 件/千 km・年ずつ増加する傾きの直線、24.4 年超

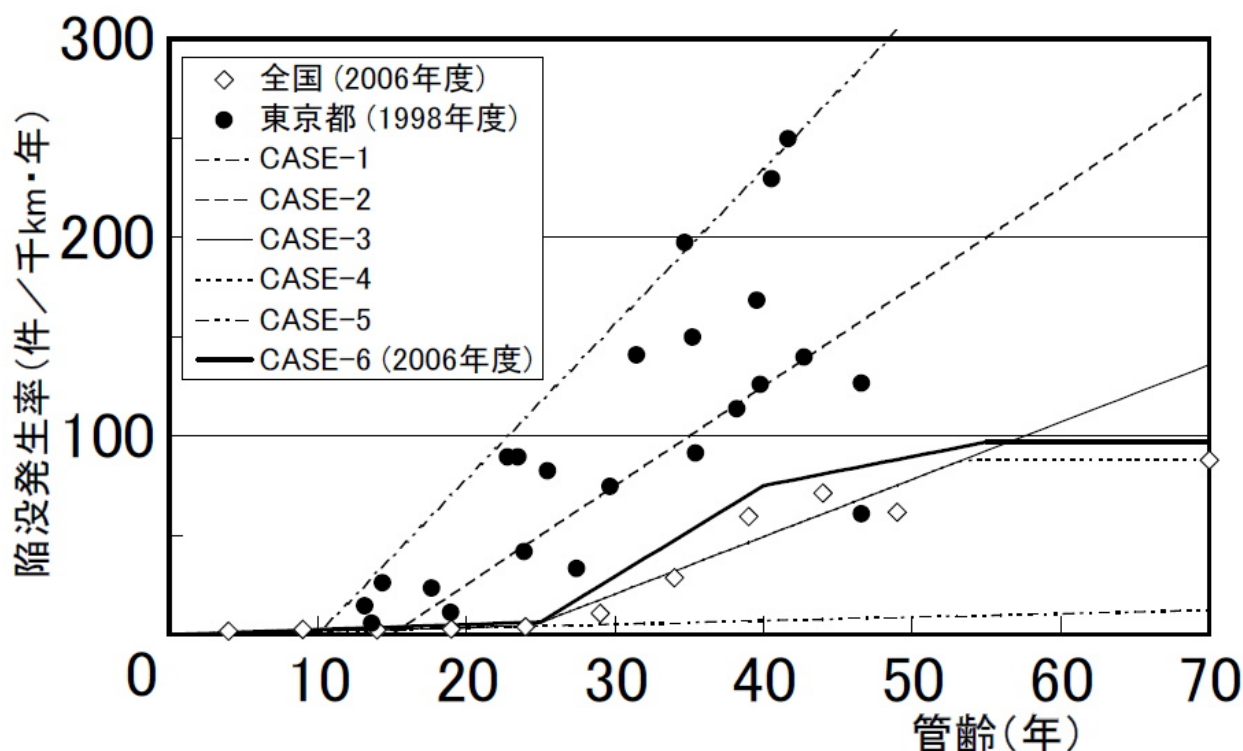


図 4.1 管齢別陥没発生率の全国・東京都データとケース設定

では年当たり 2.89 件/千 km・年ずつ増加する傾きの直線とする。管齢 50 年未満の全国データプロットを近似し、全管齢に適用した折れ線となる。

④ CASE-4

陥没率は、管齢 55 年までは CASE-3 と同じ、管齢 55 年超では一定値 87.9 の直線とする。全ての全国データプロットを近似した折れ線となる。

⑤ CASE-5

陥没率は、1 年当たり 0.167 件/千 km・年ずつ増加する傾きの直線とする。管齢 25 年未満の全国データプロットを近似し、全管齢に適用した直線となる。

⑥ CASE-6

陥没率は、各管齢において CASE-1 から CASE-4 近傍へと 1979 年度から 2006 年度にかけて毎年度等差で減少していき、以後変わらないとする。

ただし、CASE-4 に丁度一致させるのではなく、2006 年度陥没数の推計値が実態データ 4,400 件とほぼ同じになるよう探索的に推計し、管齢 25, 40, 55 年 に対し陥没発生率が 6.35, 75, 97 件/千 km・年となる折れ線に一致させる。経年推移について、全ての年度を記入すると見づらくなるため 9 年おきの 1979, 1988, 1997, 2006 年度の管齢別陥没発生率を図 4.2 に示す。2006 年度以降は 2006 年度値のまま固定とする。

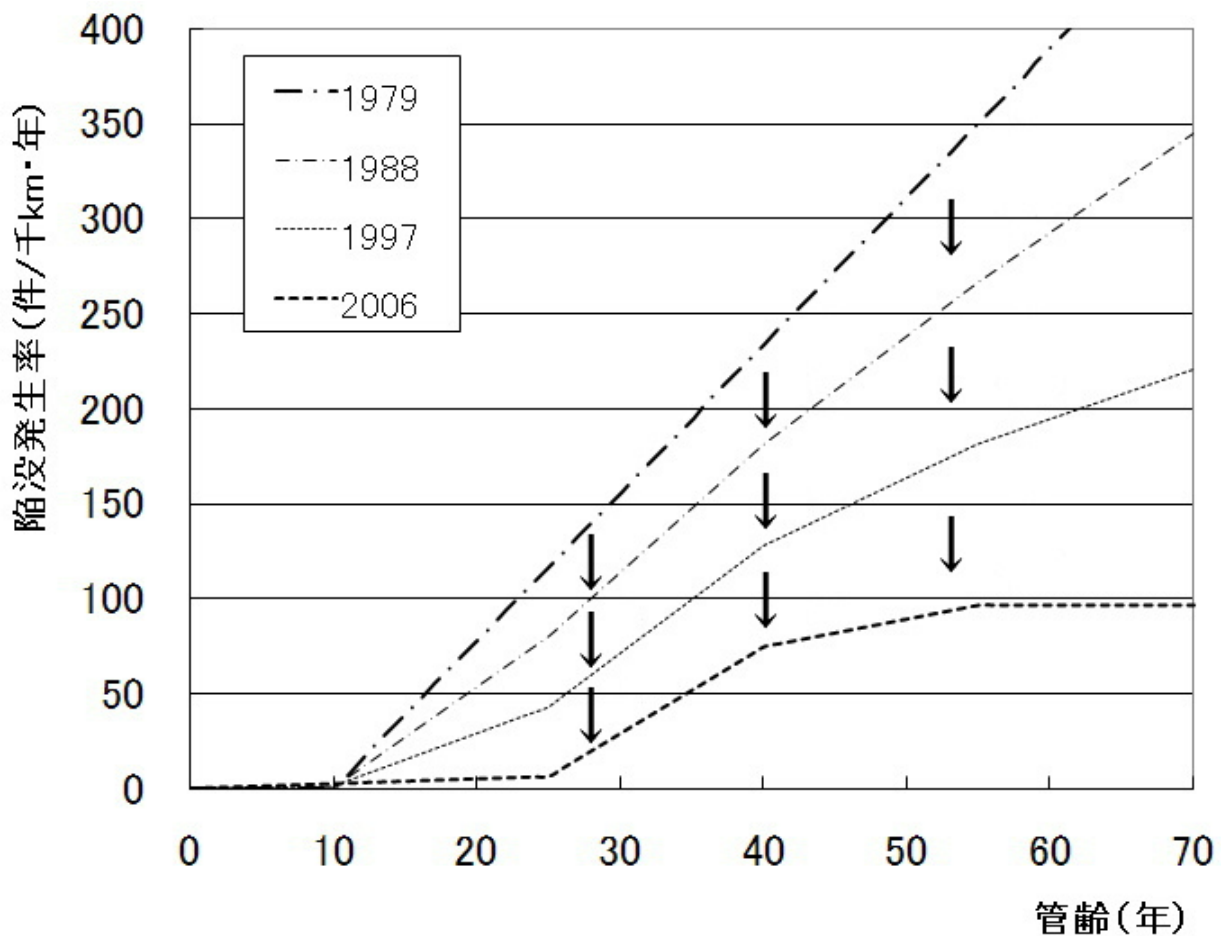


図 4.2 CASE-6 の設定

#### 4. 3 推計結果と考察

##### 4. 3. 1 過去の全国陥没数の推計と再現性検討

過去から現在、すなわち 1979～2006 年度の全国陥没数の推計値と過去データ<sup>4)</sup> の関係を図 4.3 に示す。過去データの再現性については、CASE-6 が近接度も線形も最良であり、CASE-2 はこれに次ぐがあまり良好でなく、その他のケースは悪い。

過去データを良好に再現する管齢別陥没発生率は一意的に定まるものではないが、施工・修繕・管理技術や材料品質の向上、特に中高齢域では修繕・管理技術の向上により、又は全管齢における劣化の進んだ管渠の選択的かつ予防保全的な改築により、管齢別陥没発生率が CASE-6 の設定条件のように徐々に経年減少し、現在の CASE-4 近傍に至っていることが仮説として推察される。

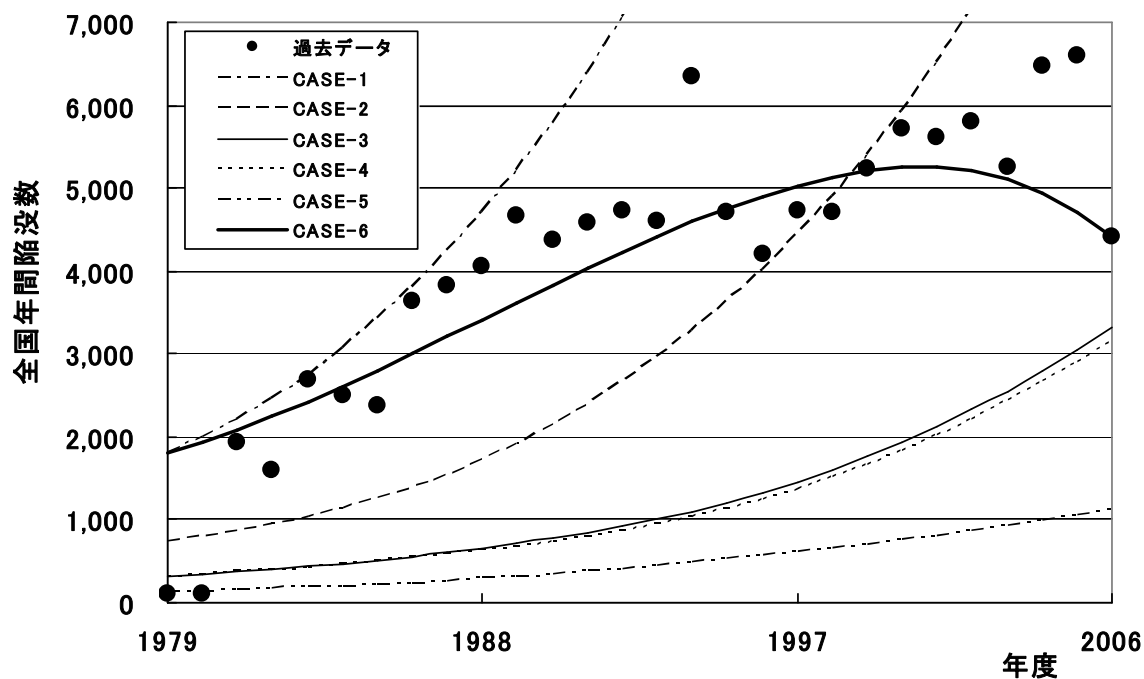


図 4.3 陥没数の過去データと再現曲線

#### 4. 3. 2 将来の新築延長の推計

全国の下水道普及率と管路延長の関係を図 4.4 に示す。非常に高い相関性が示された。なお、下水

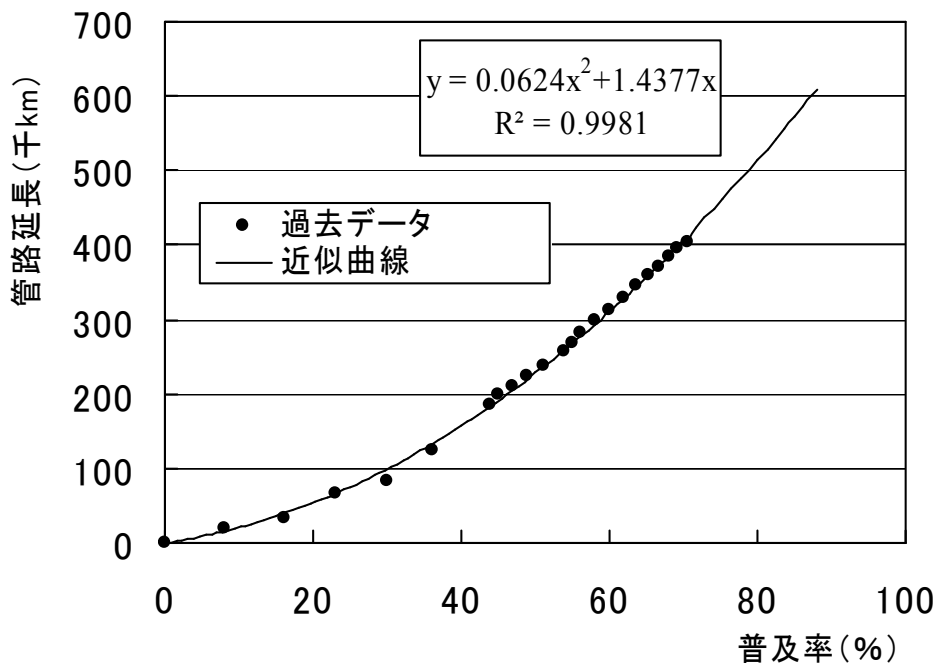


図 4.4 全国下水道の普及率と管路延長

道整備は初期に大都市が着手して後期に中小市町村が着手し、管渠整備は初期に中心市街地で行われ、後期に郊外で行われるというように効率性の観点から人口密度の高い地域が優先される傾向がある



ので、相関式は下に凸の関数として二次関数を選択した。将来の下水道普及率（％）の増加を年 1.2 ポイントと仮定した場合の推計下水道普及率、推計供用延長及び推計新築延長を表 4.1 に示す。

2007 年度実態調査における管齢 0 年の供用延長、すなわち 2006 年度新改築延長は 9,152km であるので、図 4.4 の相関式にかかわらず、(4.3)式で算出される改築延長 457km を差し引いて修正した 8,695km を 2006 年度新築延長として設定する。このため、2007 年度新築延長は 20,000km と設定して調整する。また、最終想定普及率に達する 2021 年度の新築延長は残延長のため端数の付いた 9,305km とする。

表 4.1 将来新築延長の推計と修正

[ ]書きは推計値以外のもの。

年度	推計下水道普及率（％）	推計供用延長（千 km）	推計新築延長（千 km）
2005	[69.3]	[395]	—
2006	[70.5]	[404]	[8.695]
2007	71.7	424	[20]
2008	72.9	436	13
2009	74.1	449	13
2010	75.3	462	13
2011	76.5	475	13
2012	77.7	488	13
2013	78.9	502	13
2014	80.1	516	14
2015	81.3	529	14
2016	82.5	543	14
2017	83.7	557	14
2018	84.9	572	14
2019	86.1	586	15
2020	87.3	601	15
2021	88.0	610	9.305
2022～	88.0	610	0

2006年度管齡別供用延長について、2006年度実態調査における2005年度末の管齡別供用延長から(4.5)式で算出し、さらに上述の修正をした推計値と2007年度実態調査における実態データ値を図4.5に示す。両者の差はわずかであると考えられるので、他の年度との連続性を優先し、実態データ値ではなく修正推計値を以後の計算で使用する。

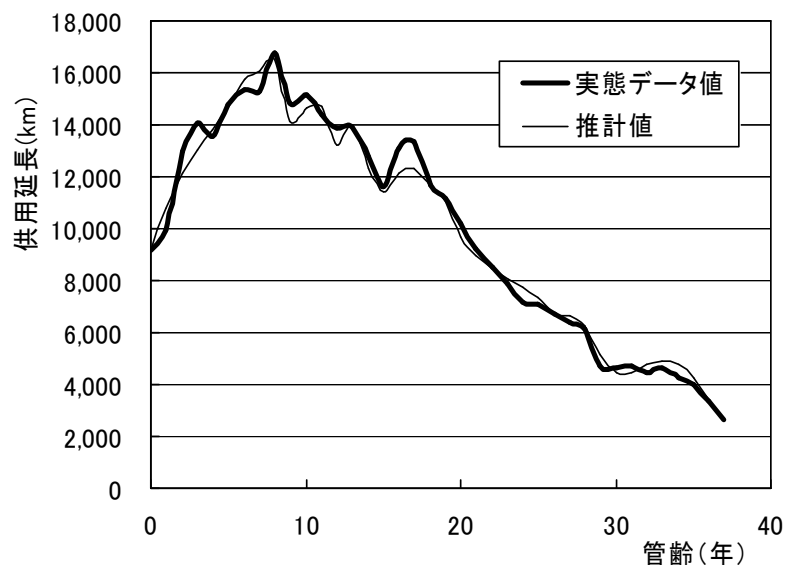


図 4.5 2006 年度の実態データ値と推計値

#### 4. 3. 3 将来の陥没数の推計と考察

各ケースについて将来陥没数推計を表4.2及び図4.6に示す。CASE-1,2では陥没数が著しく大きくなり、それぞれ最大で約223,000件、約130,000件に達する。次いでCASE-3,6,4でそれぞれ約65,000件、45,000件、40,000件となり、2006年度の実態データ約4,400件と比べそれぞれ約15倍、10倍、9倍である。陥没数の最小のものがCASE-5の約6,000件であり、2005年度データ約6,600件に近い。

表 4.2 陥没数の将来予測

管齡別陥没発生率	陥没数 最大値	左の年度	陥没数 極小値	左の年度	2205年度の陥没数
CASE-1	223,016	2090	196,222	2151	204,936
CASE-2	129,933	2090	112,659	2152	118,267
CASE-3	64,549	2092	54,506	2153	57,741
CASE-4	39,652	2066	29,598	2125	31,927
CASE-5	5,992	2090	5,395	2151	5,590
CASE-6	45,222	2061	34,528	2124	36,930

CASE-5 は管齢 25 年未満の若齢管の陥没発生率を高齢管へも準用したものであり、陥没発生率の下限と考えられるので、推計値約 6,000 件は陥没対策を最大限に講ずる場合の目標値と考えられる。

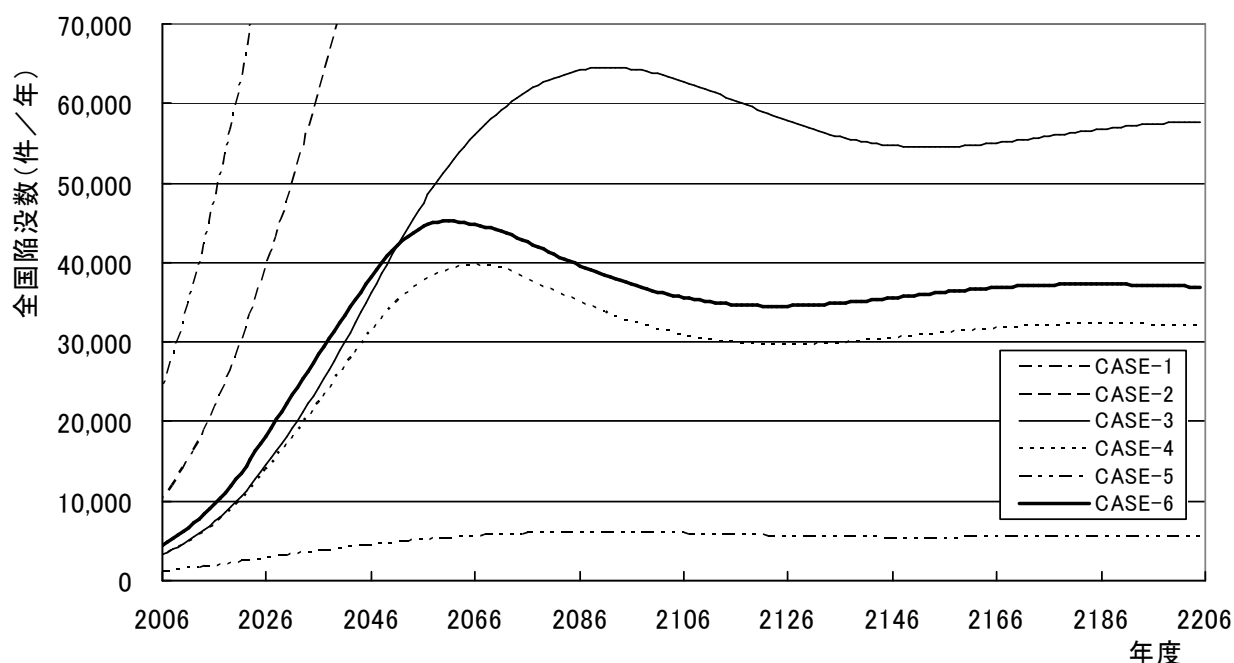


図 4.6 将来陥没数推計

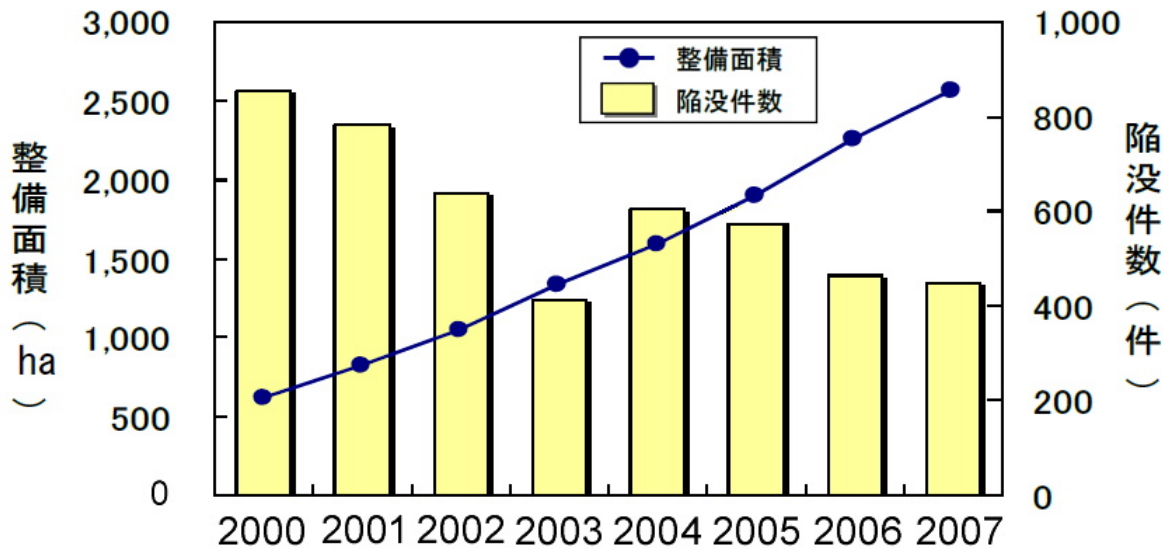
また、将来陥没数は、管齢別陥没発生率が 6 ケース中では全国データに近い CASE-3,4,6 の場合であっても長期的に著しい増加が見込まれるので、今後、陥没数及び管齢別陥没発生率の推移をよく調査・監視しつつ、適宜陥没対策を強化していく必要があると考えられる。

なお、管齢別陥没発生率は毎年度新しいデータを集計して更新することが可能であるので、ある程度の年数分を蓄積すれば経年変化の傾向を検討することができる。また、更新された管齢別陥没発生率によって本章手法の同じ手順により将来陥没数推計値を更新することができる。第 3 章の耐用年数分布も毎年度更新可能であるので、管齢別陥没発生率及び耐用年数分布の両方とも更新するならばより精確な推計が期待される。

#### 4. 3. 4 管齢別陥没発生率の経年減少の原因事象の検討

##### (1) 改築・更生の積極的推進

陥没対策としては、例えば東京都区部の下水道では、管齢 50 年超の管路約 2,000km について順次、改築・更生など再構築を進め、図 4.7 のように陥没数を大幅に低減させた<sup>9)</sup>。改築・更生の積極的推進が管齢別陥没発生率の経年減少の原因事象の一つとして考えられる。



出典：東京都下水道局，経営・環境レポート2008  
<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/jigyou/kei-kan2008/kei-kan2008/03keiei.pdf> p.3

図 4.7 再構築の整備面積と陥没数の推移(4 処理区)<sup>9)</sup>

(2) 管渠の総合的な耐久性の向上改善

① 管齢別陥没発生率の地域別分布及び経年減少からの検討

図 4.1 の全国データは非常にデータ数の大きなものであるので、都道府県別に分割した分布を図 4.8 に示す。これにより管齢別陥没発生率の平均値だけでなく分布状況を見ることができる。

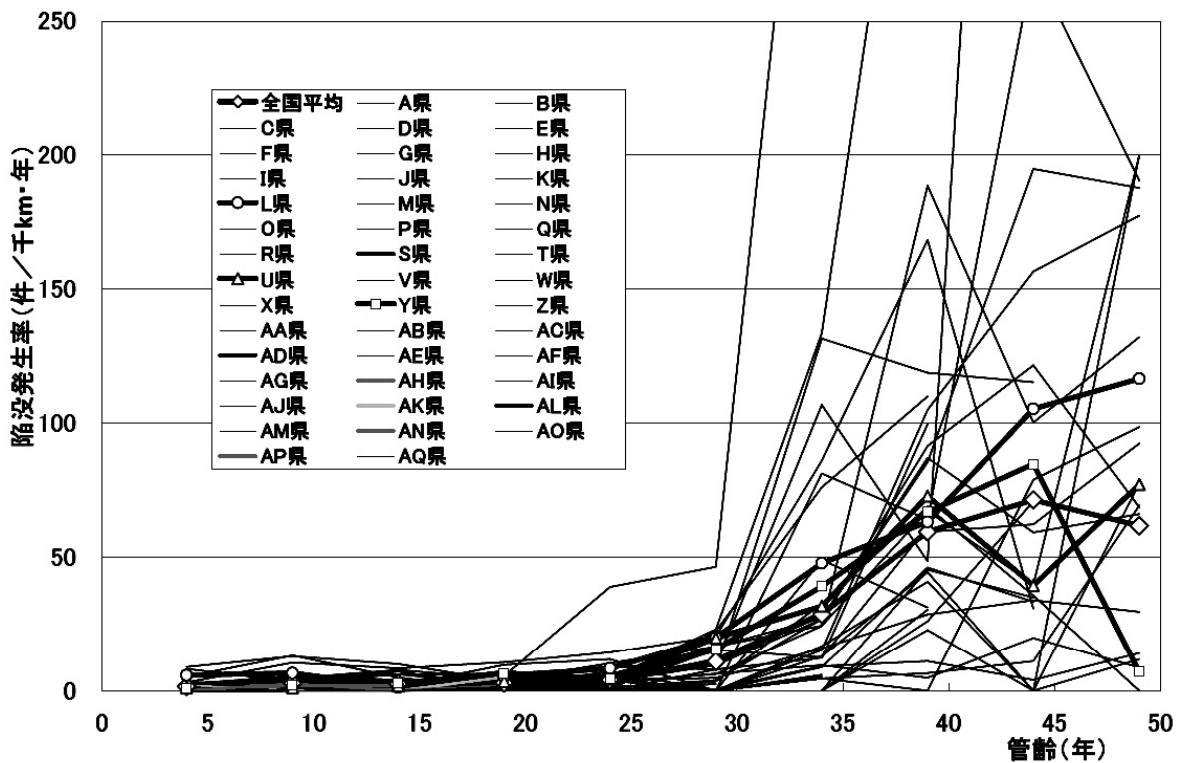


図 4.8 都道府県別，管齢別の陥没発生率

白抜きプロットが記入されているものは全国平均及び大人口の3県である。大部分の県は、管齢30～50歳で陥没発生率0～200件/千km・年の範囲に分布しており、特に0～120件/千km・年の範囲に大人口3県も含めて密集混在している。

図4.1中の東京都データは1998年度のものであり、2006年度にはその位置から上述の密集混在域の中へと右にシフトしている。その理由として、(1)で示した改築更生の積極的推進の外、区部以外のデータの算入、材料施工品質の向上した若齢管の高齢化などが考えられる。

また、各都道府県の陥没発生率は管齢25～30歳以下において、図4.3の30歳超の分布状況と同様、1998年度には図4.1で東京都データを含んだ幅広い分布をしていたと仮定すると、2006年度には図4.3のようにほとんど横軸に貼り付くほどの分布に変わってきていることになる。この場合、2006年度に約27歳であった管渠が設置された年度である1979年度頃以後に設置された管渠は、それ以前に設置されたものに比べ耐久性が大きく向上改善した可能性が考えられる。

## ② 静岡市調査結果からの検討

図4.2のとおり管齢別陥没発生率が経年推移して減少すると設定すると図4.4のとおり陥没数の過去データを良好に再現できる。前節で陥没発生率の経年減少の原因事象として東京都区部での高齢管渠の積極的改築・更生を挙げた。本節では他の原因事象として、陶管延長シェアの経年減少を検討する。ただし、管種別陥没発生率のデータが見当たらないので、他の劣化データで間接的に行う。

図3.6に示すように、2005年の約50年前、すなわち1955年頃以前に設置された管渠については、陶管の信頼度関数はコンクリート管のそれを下回る、すなわち陶管はコンクリート管よりも高齢域で劣化損壊が速い。このことについては、静岡市の下水管渠に関し、井川・望月が図4.9を掲げ、以下のように述べている。

「約130kmある50年経年管のうち、約59%が陶管で約77kmあります。残りはコンクリート管が約34%で44km、それ以外の管種が約7%で9kmです。…管渠の維持管理データを基に劣化の傾向を解析した結果、全体的には、経過年数の増加とともに異常発生箇所が増加する傾向があり、概ね70年を経過すると経年劣化が顕著となることが分かりました。また、陶管の方がコンクリート管よりも異常発生箇所が多い傾向となっていました。」<sup>10)</sup>

「異常」とは、テレビカメラ等の調査による破損、腐食、クラック等の程度を同市の異常判定基準に照らし重症の順にA,B,Cとランク付けしたものである。また、比較対象となるコンクリート管に係る図は掲載されていない。

同図のデータプロット分布状況から、管齢と50m当たり異常発生箇所数の関係は図中の劣化曲線のような下に凸の曲線であると考えられる。「異常」と陥没はいずれも劣化現象であり、増減が同傾

向と考えられるので、陥没数削減のため異常発生箇所が多い傾向とされた高齢陶管を早期に改築修繕することの必要性が示唆される。

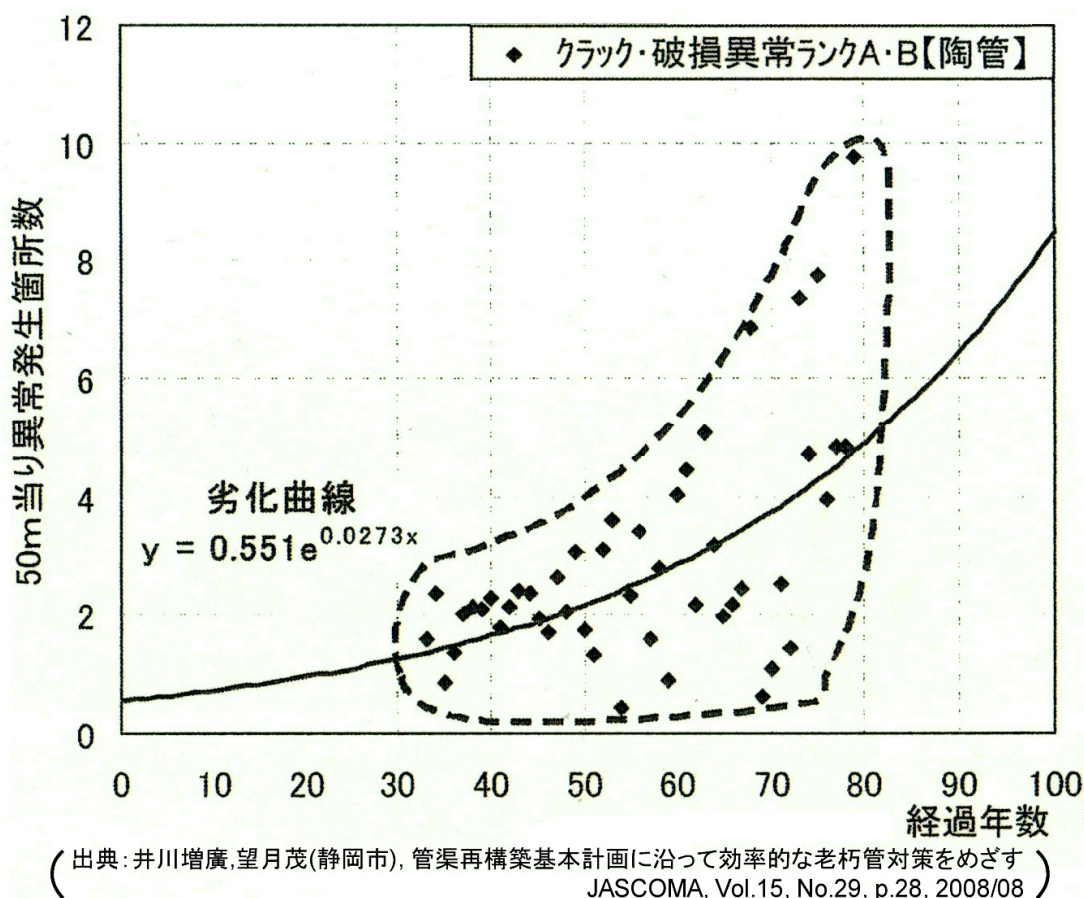


図 4.9 静岡市の陶管の年齢別 50m 当たり異常発生箇所数<sup>10)</sup>

### ③ 6 政令指定都市データからの検討

濱本・和田は 2007 年度の 6 政令指定都市（東京都，横浜市，名古屋市，京都市，大阪市，神戸市）の下水管渠起因の道路陥没データ 490 件を数量化理論第Ⅱ類で統計分析した。<sup>1)</sup> まず陥没数を目的変数として管種，管齢等の各説明変数の重みであるレンジを算出し，次に説明変数の値となる各区分について該当陥没数を供用量シェアで除した値を説明変数内の重みとして算出し，両算出値を乗じて陥没発生度という指標値を算出した。その上位を表 4.3 のとおり示し，「陥没発生度の上位を占めるのは，供用年数 50 年以上，陶管であった。このことから，これらの管きよの早期更新を行う必要性が高いことが明かとなった。」と指摘し，結論している。<sup>11)</sup> このことから高齢陶管が道路陥没の要因となっており，その早期改築修繕が必要であることが推察される。

<sup>1)</sup> 8. 3. 2 (1)④に関連記載。

表 4.3 陥没発生度の優先順位<sup>11)</sup>

順位	供用年数	管種	管径 (mm)	陥没発生度 (pt)
1	50 年以上	陶管	$\phi 300 < D < \phi 600$	3.180
2	50 年以上	陶管	$\phi 300$ 以下	2.888
3	50 年以上	ビューム管	$\phi 300 < D < \phi 600$	2.007
4	$40 \text{ 年} \leq X < 50$	陶管	$\phi 300 < D < \phi 600$	1.917
5	50 年以上	塩ビ管	$\phi 300 < D < \phi 600$	1.853

④ ある 2 都市データからの検討

宮内・酒井<sup>12)</sup>が 2003 年度、合流式下水管渠について鉄筋コンクリート管(HP)及び陶管(TP)の管齢別劣化発見率を調査した結果を図 4.10 に示す。

調査対象は 2 都市であり、HP 3,135km, 102,779 スパン, TP 1,988km, 73,085 スパンである。縦軸の劣化発見率は、管種及び管齢に該当するスパン数を分母とし、破損、クラック、継手ズレ、腐食等のいずれかで要緊急措置 A と判定されたスパン数を分子とした率である<sup>12)</sup>。

図中の折れ線の近似線は筆者が記入したものであり、HP34 歳以上の実線部分は傾きをゼロとして、TP10 歳以上の一点鎖線部分は座標(10, 0.06)を起点として最小二乗法により係数を設定した。高齢域において TP の劣化発見率が HP のそれを大きく上回る傾向が見られる。なお、分流式は日本では 1970 年頃から始まったので高齢管がない。

劣化発見率は「異常」や陥没と同様、劣化現象であり、増減が連動するであろうと考えられる。同図の一点鎖線及び実線の近似線は図 4.1 の CASE-1 又は CASE-2 及び CASE-4 又は CASE-6(2006 年度)と形状が似ており、強い連動が推察される。

管種を TP とそれ以外とに分け、後者の管齢別劣化発見率を HP の近似線で代表する。各管齢において TP と TP 以外の延長シェアで両近似線を加重平均すれば全管種の近似線が算出され、それは HP, TP 両近似線の間で当然位置することとなる。参考として、両近似線間の具体的な位置を以下に試算する。

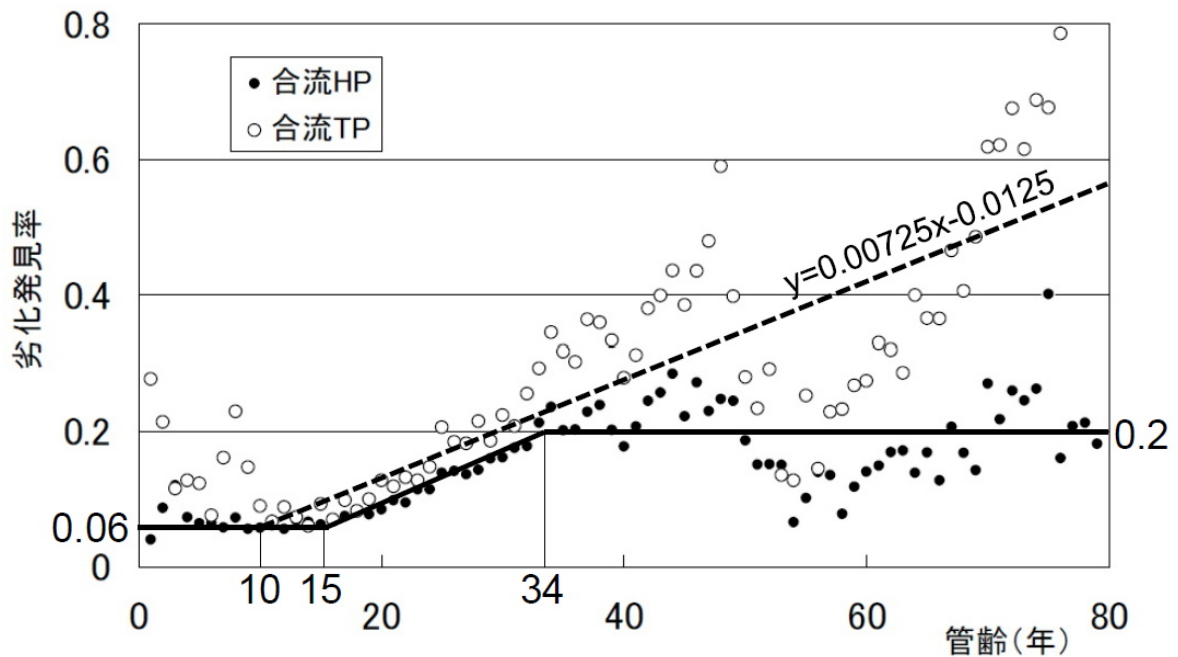
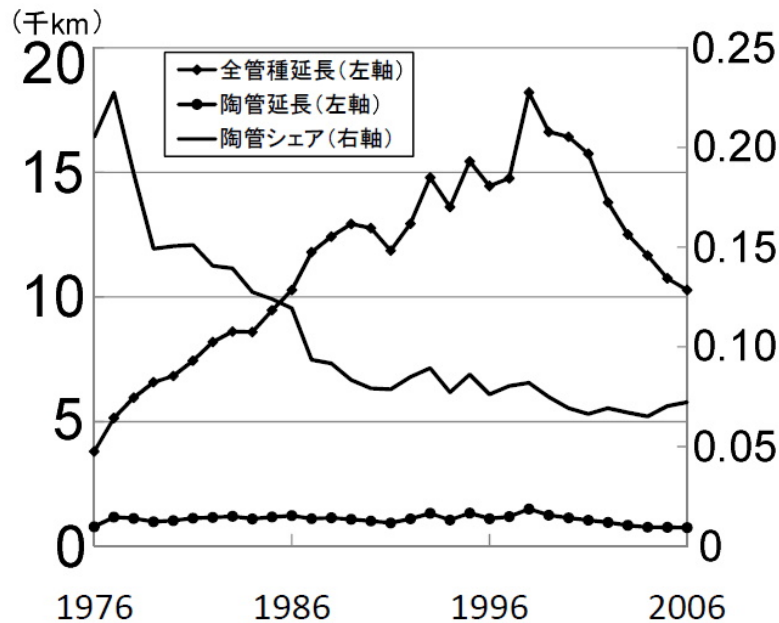


図 4.10 管種別、管齢別の劣化発見率<sup>12)</sup>

(合流 HP と合流 TP の図から A のプロットを筆者が抜粋して作図。)

2008 年度版日本の下水道<sup>13)</sup>によれば、全国における TP の発注延長シェアの推移は図 4.11 のとおり年度が進むにつれ減少する。同図より過去の管種別の全国データは見当たらないので、1976 年より前の管種別延長シェアを以下の方法で推計する。



(出典：(社)日本下水道協会、平成20年度下水道白書 日本の下水道、CD-ROM、3-5、p.22、2008/09)

図 4.11 全国 TP 発注延長シェアの推移<sup>13)</sup>

(全既製管と TP の記載データから筆者が作図)



下水道統計の最古の部類に属する 1962 年度版<sup>14)</sup>に事業者ごとの管種別保有延長が大括りの管種で掲載されており，同統計中で明確に TP 延長が分けて記載されている政令指定都市データを抽出し，表 4.4 に示す。

表 4.4 1962 年度の TP 延長シェア<sup>14)</sup>

都市名	TP 延長(km)	全管種延長(km)TP	TP 延長シェア
東京都	1,695	2,876	0.59
横浜市	403	936	0.43
名古屋市	1,265	1,920	0.66
合計	3,363	5,732	0.59

TP 延長シェアが 3 都市のうち最大であり，かつ，TP の主要生産地であった愛知県内に位置する名古屋市の 66% を十分に古い過去の上限值とし，近年の約 6% を下限値とし，それぞれに遠い過去，将来で漸近する曲線として，正規累積分布を縦軸に対して反転させたものを選び，これを最小二乗法により図 4.11 の TP シェアデータである○印のプロットに近似させたものを図 4.12 に示す。近似曲線の元となる正規分布の平均，標準偏差は 1954 年，25 年と算出される。正規累積分布の数値算出には Microsoft Excel の NORMSDIST 関数を使用している。

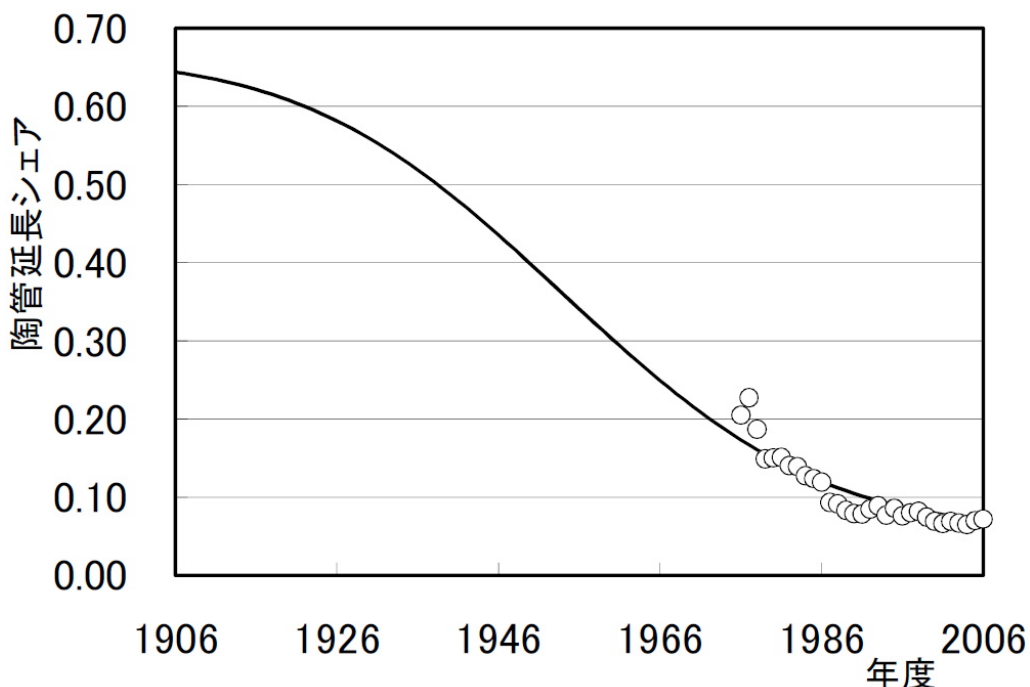


図 4.12 正規累積分布曲線による設置年度別 TP 延長シェアの推計

TP，TP 以外のそれぞれについて，まず，図 4.12 を用いて各年度時点における管齢別設置時延長シ

シェアを算出する。次に、それぞれの管齢別残存率として図 3.6 の TP, CP の信頼度関数を用いる。さらに、両者、すなわち設置時延長シェアと残存率とを乗じた積を管齢別に算出する。最後に、この積を重みとして図 4.10 の HP, TP 両近似線を管齢ごとに加重平均すれば全管種の管齢別劣化発見率の推移が算出される。算出結果を図 4.13 に示す。

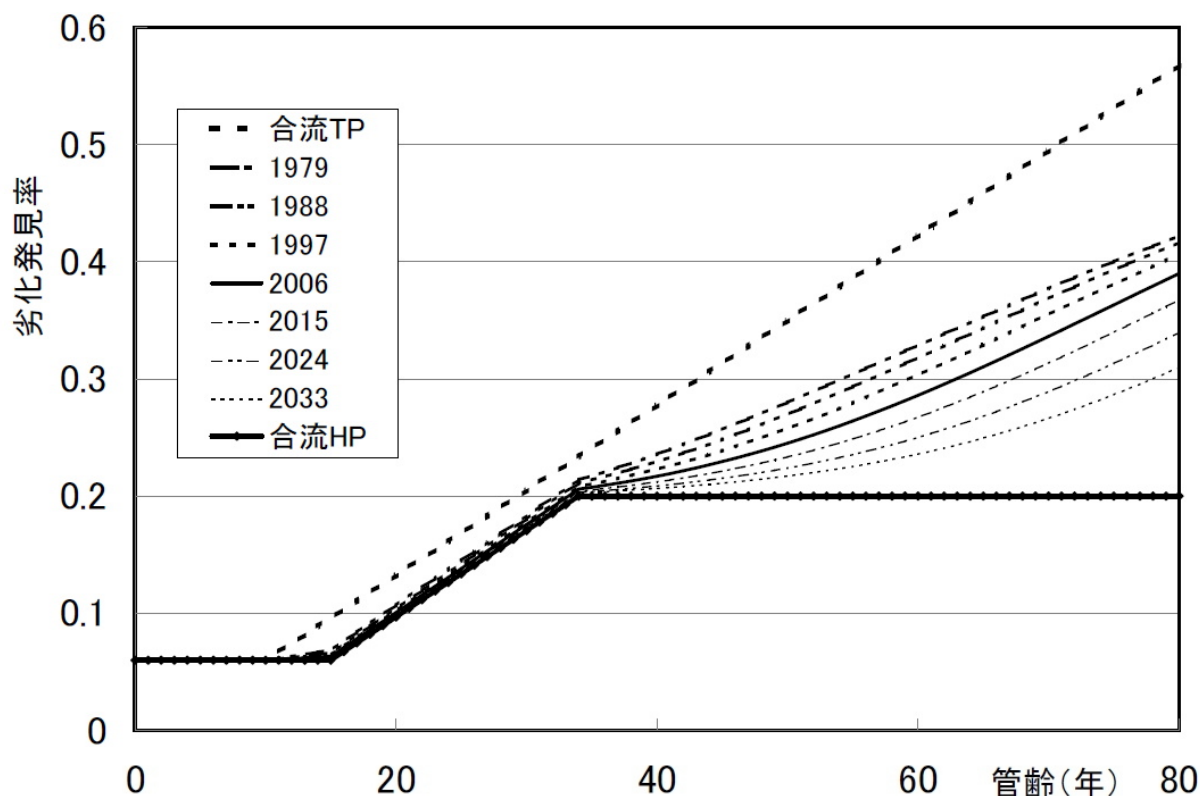


図 4.13 全管種の管齢別劣化発見率の推移

同図の経年推移状況は傾向が図 4.2 の CASE-6 の陥没発生率の経年推移状況に類似する。ただし、劣化発見率と陥没発生率とは同じでなく、類似程度も 2006 年度に CASE-6 の陥没発生率が全国平均値に概ね一致するように 2006 年度の劣化発見率が合流 HP に概ね一致するというほどではない。

ところで、TP の劣化発見率が HP のそれを上回るのは図 4.10 では約 34 歳以上、即ち 1969 年度以前に設置されたものである。そこで、同年度以後、TP の耐久性が格段に改善されて HP と同様に 34 歳以上で劣化発見率が増加せずに一定となったと仮定すると、管齢別劣化発見率は図 4.14 のとおり斜面を切り取るように経年減少する。これに図 4.12 の設置年度別陶管延長シェアを算入した全管種の劣化発見率を図 4.15 に示す。図 4.15 の全管種の劣化発見率は図 4.13 のそれよりも一層早く合流 HP に接近する。なお、上述の仮定が成り立つには、今後、統計的又は実験的なデータにより TP の信頼度関数、陥没発生率、延長当たり異常発生箇所数、劣化発見率など劣化指標の改善が高齢域で確認される必要がある。

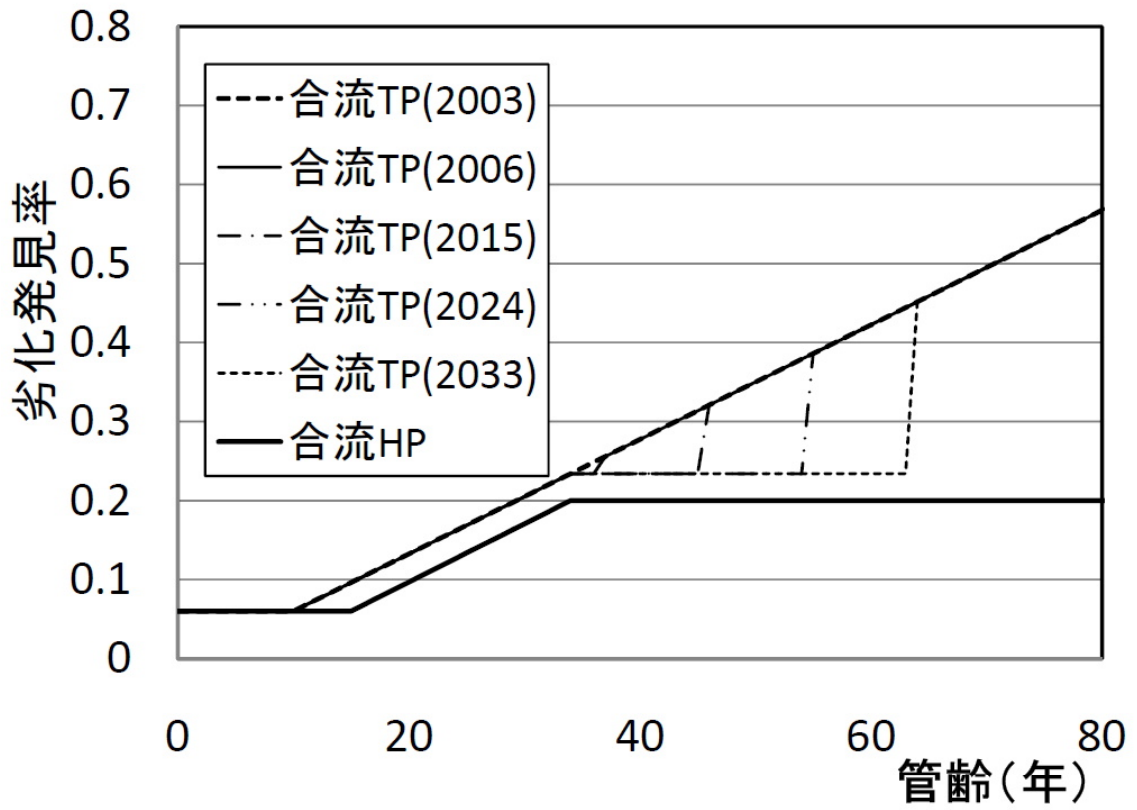


図 4.14 TP 耐久性改善の場合の劣化発見率推移

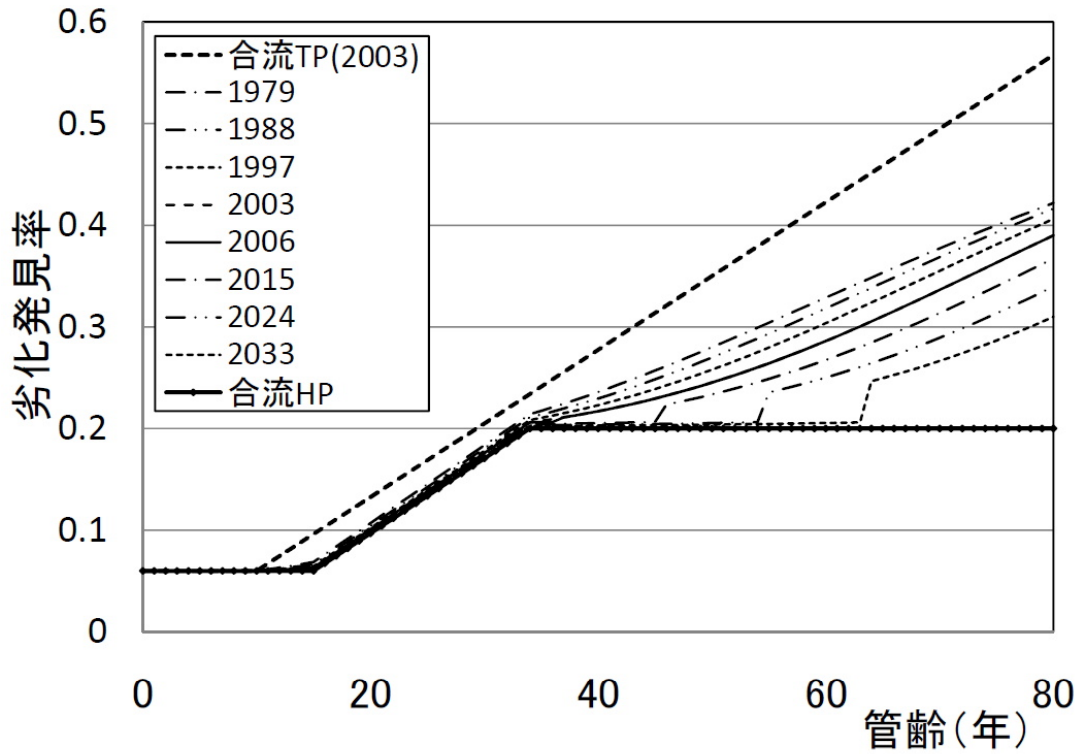


図 4.15 TP 耐久性改善の場合の全管種の管齢別劣化発見率の推移

以上により, TP 延長シェアの経年減少により陥没発生率が経年減少するであろうこと及び CASE-6

の陥没発生率は限りなく経年減少するのでなく、TP 以外ないし HP の陥没発生率を下限としてこれに漸近するであろうことが推察される。したがって、陥没発生率が経年減少後に止まるとする CASE-6 の設定及び同設定から導かれる図 4.6 の将来陥没数推計は妥当性のあるものと考えられる。

#### 4. 3. 5 陥没数削減を目的とした早期改築の効率性検討手法

陥没発生率は図 4.1 のように加齢とともに増加する傾向にあると考えられるので、高齢化前の早期改築が陥没対策として効率的となる条件を検討する。

早期改築は陥没数削減効果が期待されるが、他方支出の前倒しであるので、前倒し年数に応じた利息分の費用増加が生じ、その額は改築、再改築、再々改築等、全ての累次改築の前倒し利息分の現在価値合計額となる。(以下、この合計額の改築事業費に対する割合を「利息乗数」と言う。) 再々改築以後の前倒し利息分は現在価値が小さいとして無視すると、利息乗数は金利に応じて表 4.5 のとおり算出される。

表 4.5 金利に応じた利息乗数の算出

平均耐用年数 93 年		金利 r	0.01	0.02	0.04
改築事業費に	改築 1 年前倒し $[1-1/(1+r)]$		0.0099	0.0196	0.0385
対する利息分	再改築 1 年前倒し $[\{1-1/(1+r)\}/(1+r)^{93}]$		0.0039	0.0031	0.0010
の現在価値額	再々改築 1 年前倒し $[\{1-1/(1+r)\}/(1+r)^{186}]$		0.0016	0.0005	0.0000
の割合	合計 (利息乗数)		0.0154	0.0232	0.0395

次に、3. 3. 2(4)で算出した延長当たり加重平均改築工事費を利用し、これを条件として早期改築が陥没対策として経済効率的となりうる陥没 1 件当たり損失額下限値を以下に算出する。なお、ここで言う損失額は、道路交通阻害等の社会経済損失額のみならず、事故のため通常改築よりも加算される工事費も含む。

下水道原因の道路交通阻害による損失額算定の例として、濱本・和田らは開削工法による改築工事により交通量 24,000 台/日の道路 50m 区間が昼間 28 日間片側交互通行となる場合、社会経済損失額を 625 万円と算定した<sup>15)</sup>。直接的な対人、対物賠償については、(社)日本下水道協会が下水道賠償責任保険を実施しており、保険料率が 2009 年度、340~440 円/km となっている<sup>16)</sup>。2006 年度全国の管渠総延長が約 40 万 km、道路陥没数が 4,700 件であることから計算すると<sup>17)</sup>、払込保険料が全て陥没に係る支払保険金になると仮定しても直接賠償額は約 3.3 万円/件であり、極めて小さい。

最も効率的な早期改築方法は、t 年度前に設置された管渠、すなわち現在 t 歳の管渠のうち、来年度 t+1 歳で損壊するはずの管渠を早期改築することであると考えられ、この場合、Benefit である陥没損失削減額は(4.6)式で示される。

$$\begin{aligned} \text{陥没損失削減額 [万円/設置時延長千 km]} &= \text{陥没 1 件当たり損失額 [万円/件]} \\ &\cdot \text{fw}(t+1) \cdot \text{h}(t+1) \text{ [件/供用延長千 km]} / (1+r_b) \end{aligned} \quad (4.6)$$

ここで、h(t) : 管齡 t 歳の陥没発生率 [件/千 km・年]

$r_b$  : Benefit についての社会的割引率

また、Cost である改築前倒し費用は(4.7)式で示される。

$$\begin{aligned} \text{改築前倒し費用 [万円/設置時延長千 km]} \\ = \text{延長当たり平均改築工事費 [万円/改築延長千 km]} \cdot \text{fw}(t+1) \cdot \text{利息乗数} \end{aligned} \quad (4.7)$$

したがって、Benefit と Cost が等しい、すなわち陥没損失削減額と改築前倒し費用とが等しいとき、上二式から

$$\begin{aligned} \text{陥没 1 件当たり損失額下限値} \\ = \text{延長当たり平均改築工事費} \times \text{利息乗数} \times (1+r_b) / \text{h}(t+1) \end{aligned} \quad (4.8)$$

となる。

(4.8)式を用い、延長当たり平均改築工事費を 3. 3. 2(4)で算出した延長当たり加重平均改築工事費 137,515 円/m とし、 $r_b=0$  とし、金利を 0.01, 0.02, 0.04 の 3 通りとし、h(t)を図 4.1 の CASE-2, CASE-3, CASE-6(2006 年度)の 3 ケースとして算出した管齡別の陥没 1 件当たり損失額下限値を図 4.16 に示す。CASE-6(2006 年度)を基本とし、その陥没発生率に上限値がないケースとして CASE-3 を比較のため選定し、積極的な改築・更生で陥没数を大幅削減した東京都のケースとして CASE-2 を選定した。

図 4.1 のとおり、陥没発生率は CASE-2 が CASE-3, 6 よりも大きく、CASE-3 が高齢域でも増加し続けるのに対して CASE-6 が頭打ちとなる。これを反映し、陥没 1 件当たり損失額下限値は CASE-2 が最も低く、CASE-3 がこれに次ぎ、CASE-6 が高止まりとなる。また、いずれの CASE でも金利の小さい方が低くなる。

CASE-2 は東京都の 1998 年度データの概ね中央値であり、陥没 1 件当たり損失額下限値が比較的小さく、金利 1 及び 2% の場合、現実的に見られる高齢管の程度である管齡 60~80 歳以上で 1,000 万円/件以下となっており、当時、東京都では改築が陥没数削減対策として経済性でも効率的であった可能性が高いと考えられる。これに対し、CASE-4 及び 6 の場合、陥没 1 件当たり損失額下限値が

大きいので陥没数削減の観点からは経済効率的となりにくいと考えられる。

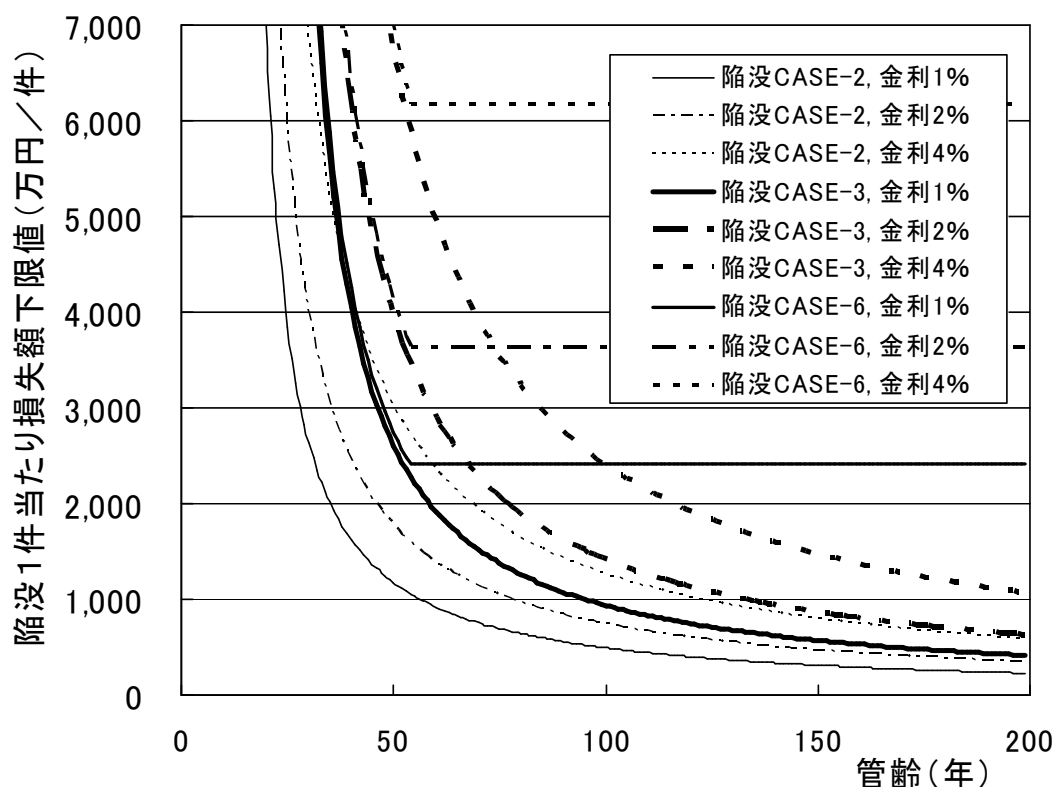


図 4.16 管齢別の陥没 1 件当たり損失額下限値

村岡は下水管渠の改築工事について開削工法と更生工法の経済性比較をした。管径 400mm，延長 100m，土被り 2m の 1 スパンの工区について建設コストのみならず，社会経済損失額として交通渋滞，騒音及び大気汚染の環境コストを算出し，トータルコストを開削工法で約 2,250 万円，更生工法で約 750 万円と算出した<sup>18)</sup>。1 スパンを陥没前なら更生工法で改築できるが陥没後には開削工法で改築しなければならないと仮定すると，陥没による加算費用は差額約 1,500 万円となる。図 4.9 において縦軸の値が 1,500 万円である横軸平行線は CASE-2,3 の各金利の曲線と交わるので，経済効率的な早期改築管齢の解が得られる。

今後の研究の進展により条件に応じた陥没 1 件当たり社会経済損失額及び加算工事費が明かとなれば，上述の経済効率性の判定手法及びスクリーニング手法により，陥没数削減対策として早期改築を行うべき箇所を効率的に選定できることが期待される。

#### 4. 4 結言

(1) 下水道管路について，管齢別の供用延長，改築延長及び陥没発生率の実態データを用い，過去の各年度陥没数を再現し，将来のそれを予測する統計的手法を提案した。

- (2) 管齡別陥没発生率 CASE-6 は過去の全国陥没数実態データを概ね再現できた。したがって、管齡別陥没発生率は過去から現在まで経年的に徐々に減少してきたことが仮説として推察される。
- (3) 将来陥没数は CASE-6 の場合、ピークで約 45,000 件と予測され、2006 年度実態データ約 4,400 件の約 10 倍となり、著しい増加が予想される。したがって、今後の陥没数及び管齡別陥没発生率の推移をよく調査・監視しつつ、適宜陥没対策を強化していく必要があると考えられる。
- (4) 管齡別陥没発生率の経年減少について都道府県別管齡別陥没発生率並びに東京都、静岡市及びある 2 都市の調査結果から検討したところ、原因事象として早期改築更生の積極的推進、管渠の総合的な耐久性の向上改善が考えられる。
- (5) 陥没数削減を目的とした早期改築について、陥没 1 件当たり損失額、管齡別陥没発生率及び金利に応じ、効率的となる改築対象の下限管齡を算出する手法を提案した。この手法及びスクリーニング手法により、早期改築を行うべき箇所を効率的に選定できると考えられる。

## 〈参考文献〉

- 1) 下水道行政研究会：平成 19 年日本の下水道，日本下水道協会，p.281，2007
- 2) 国土交通省ホームページ，下水管路の損傷状況に関する点検等調査の結果について，  
[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/04/041207\\_3\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/04/041207_3_.html)
- 3) 国土交通省ホームページ，下水管路の損傷状況に関する点検等調査（第 4 回）の結果，  
[http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/info/kanro\\_kousei/20071130.html](http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/info/kanro_kousei/20071130.html)
- 4) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成 19 年度全国下水道主管課長会議（第 2 回）資料，  
p.71，2007/9/18
- 5) 下水道行政研究会：平成 19 年日本の下水道，日本下水道協会，p.280，2007
- 6) 日本下水道協会：公共下水道統計（第 22 号），p.59，1967
- 7) 第 1 章，5)に同じ。
- 8) 東京都下水道局ホームページ，経営計画 2004，[I]下水道事業の現状と課題 p.3，  
<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/jigyoku/keieikeikaku/kubu/kubu1.pdf>
- 9) 東京都下水道局ホームページ，東京都下水道事業経営・環境レポート 2008，[1]経営編 p.3，  
<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/jigyoku/kei-kan2008/kei-kan2008/03keiei.pdf>
- 10) 井川増廣，望月茂：管渠再構築基本計画に沿って効率的な老朽管対策をめざす，JASCOMA，Vol.15，  
No.29，pp.24-29，2008/08
- 11) 濱本淳平，和田安彦：下水道管きよの更新優先度評価手法の構築，第 45 回下水道研究発表会講演集(CD-ROM)，II-1-2-6，pp.359-361，2008/07
- 12) 宮内千里，酒井憲司，下水道管渠の診断結果から見た劣化発見率と劣化原因率，（社）日本下水道協会，第 43 回下水道研究発表会講演集，II-5-1，pp.638-640，2006/07
- 13) （社）日本下水道協会，平成 20 年度下水道白書 日本の下水道，CD-ROM，3-5，p.22，2008/09
- 14) （社）日本下水道協会，公共下水道統計（第 19 号），pp.41-49，1964
- 15) 濱本淳平，和田安彦，尾崎平，村岡基：下水道管きよ改築工事における交通量と社会費用の関係，土木学会第 62 回年次学術講演会(CD-ROM, No.2)，7-084，p.167-168，2007/09
- 16) （社）日本下水道協会ホームページ，平成 21 年度下水道賠償責任保険料率のご案内(2008/09/30)，  
[http://www.jswa.jp/03\\_news/pdf/21\\_baisyoku.pdf](http://www.jswa.jp/03_news/pdf/21_baisyoku.pdf)
- 17) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成 21 年度下水道事業予算概算要求概要，p.24，2008/08
- 18) 村岡基：下水管きよの改築工事に伴う更生工法の社会経済評価，下水道協会誌，Vol.45，No.550，  
pp.154-161，2008/08



## 第5章 硫化水素腐食に対するコンクリート耐用年数の推計

### 5.1 緒言

下水から発生する硫化水素ガスを元とし、それが酸化されて生成する硫酸により、下水道の管渠、処理場のいずれにおいてもコンクリートが腐食されて糠みそ状となり、あるいはそれが剥離し、改修工事を必要とすることが少なくない。管渠コンクリートの腐食状況を写真 5.1 に、腐食概念図を図 5.1 に示す。管渠において腐食はある日突然、道路陥没事故を生じさせ、道路交通に支障を与え、下水道使用者に一時使用中止の不便をもたらし、時には下水の噴出により周辺に衛生上の問題を生じさせるなど、大きな事業課題となっている<sup>1)</sup>。国土交通省資料によれば下水管渠に関する道路陥没事故は 2007 年度、全国で約 4,700 件発生した<sup>2)</sup>。

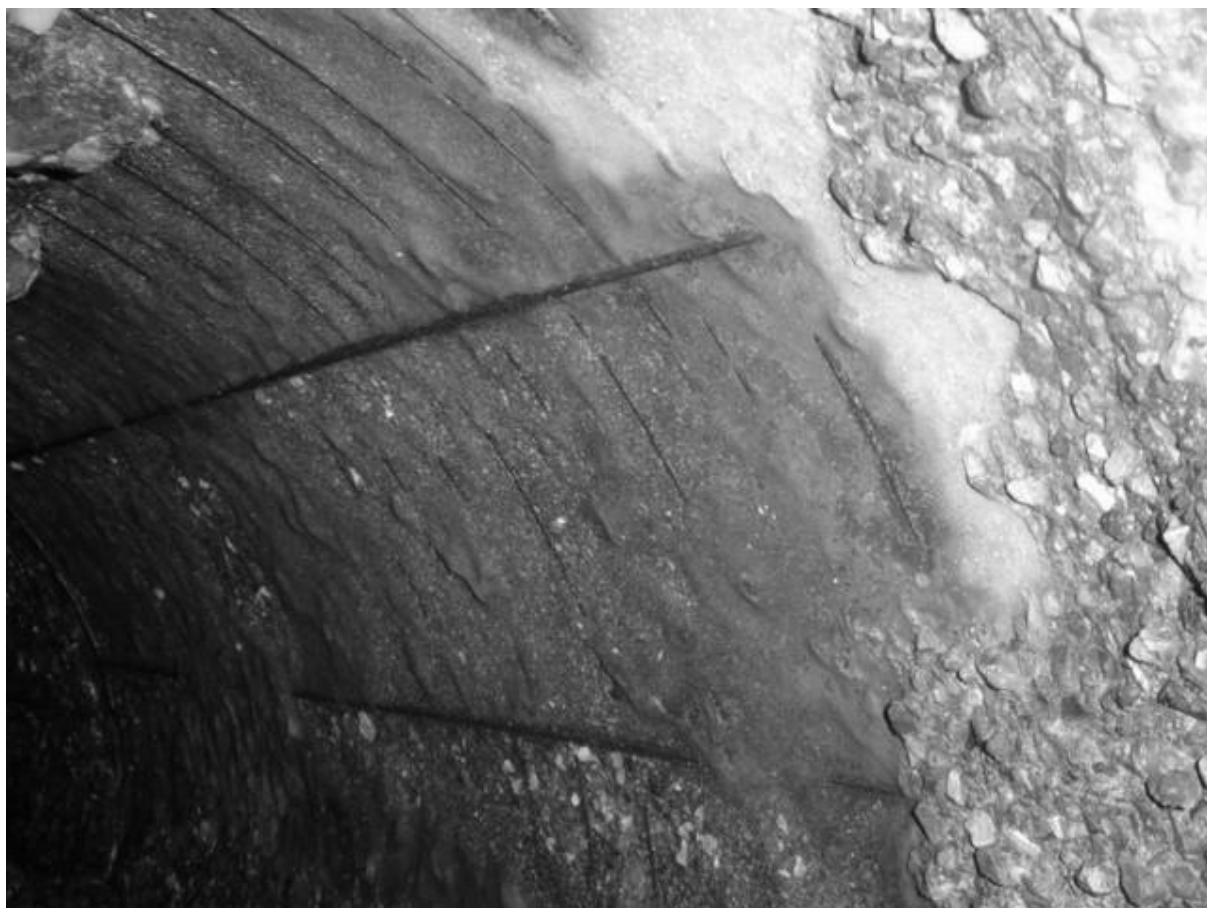
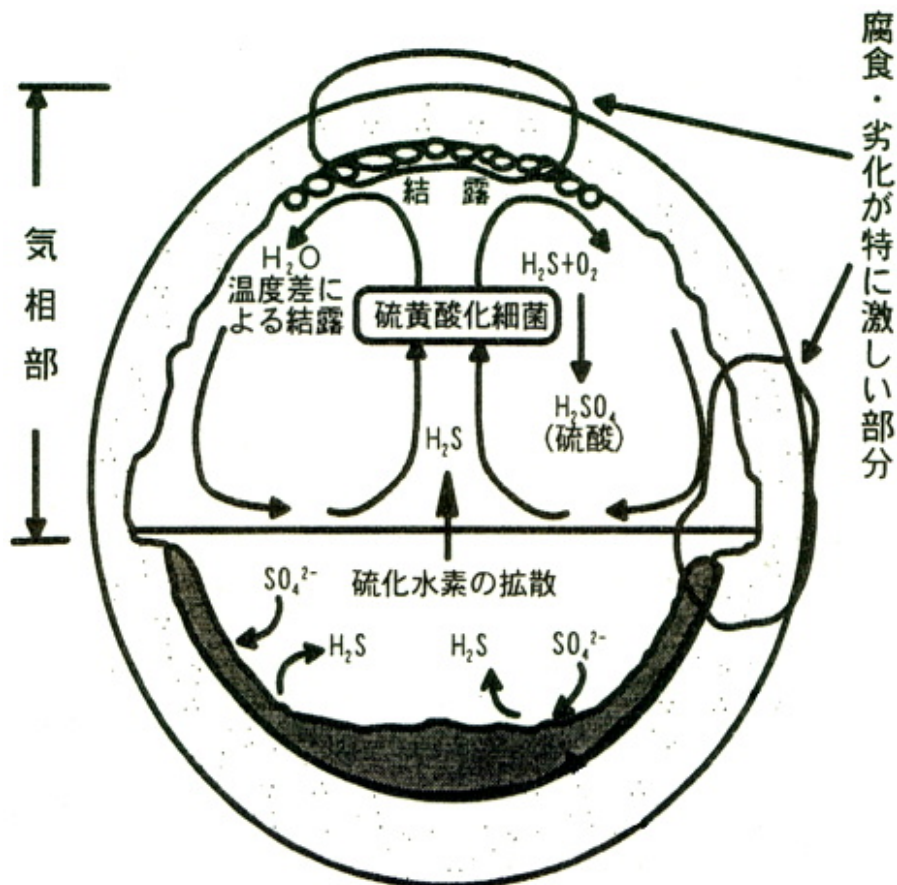


写真 5.1 硫化水素腐食による下水管渠の鉄筋露出状況  
(露出した鉄筋には赤錆腐食が進行。)



(出典) 日本下水道事業団 技術評価委員会：下水道構造物に対するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術の評価に関する報告書、別添資料p.1、2001/3/21

図 5.1 管渠コンクリートの腐食概念図<sup>3)</sup>

硫化水素ないし硫酸によるコンクリート腐食を研究調査した文献は多い。しかし、下水道における硫化水素腐食現象は、例えば下水管渠では、硫化物の下水液相中での生成、硫化水素ガスの下水液相から下水管内気相への放散、気相中での移動・拡散、気相中から管壁コンクリート表面への吸着・酸化、硫酸のコンクリート内部への侵入という非常に複雑かつ多くの段階を時間的・空間的に経て起こる。管渠マンホールでの硫化水素ガス濃度の連続測定事例を図 5.2 に示す。

したがって、劣化環境条件を一定に保った室内実験で一部段階の知見を得ても、実際の現場に適用することが難しい。現場では下水水質、温度、湿度、流速、落差・段差、空気の流れ・換気、腐食部への下水の接触状況、コンクリート品質、鉄筋の被り厚さ、応力・歪などが多様であり、かつ、それらの時間、日間、年間変動又は空間的ばらつきが少なくないからである。

なお、腐食部への下水の接触状況について、大雨時に合流式管渠において満管流となり天井の腐食部が洗掘されうることが勿論であるが、分流式においても図 5.3 のように浸入雨水により時間最大水量が実態調査データの中央値で晴天日最大水量の 3.46 倍にも達すると報告されており、その倍率は幅広く分布する。<sup>4)</sup> したがって、分流式汚水管渠でも天井の腐食部の洗掘は様々な頻度でありうる。

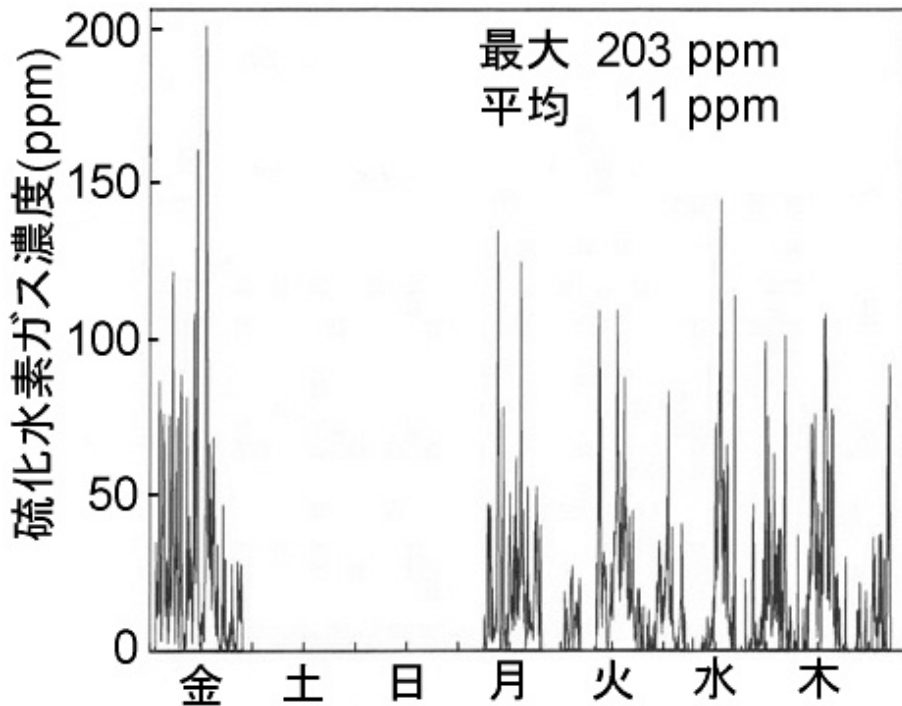
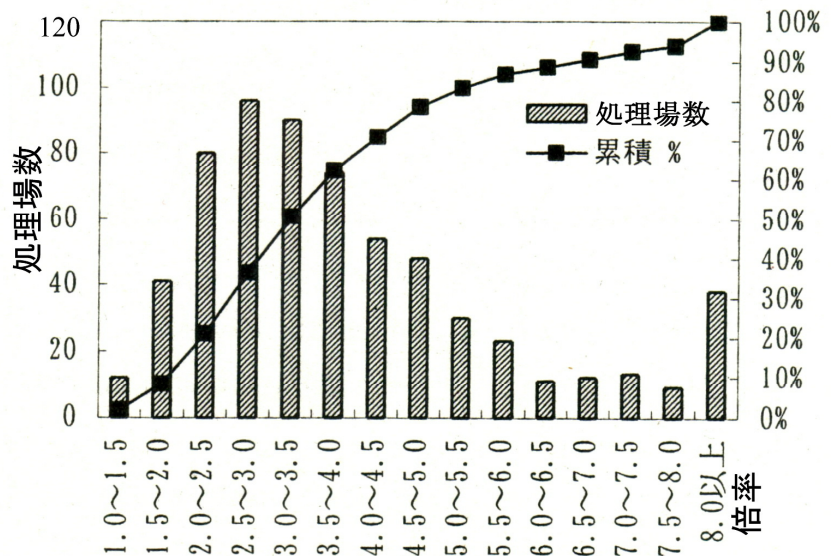
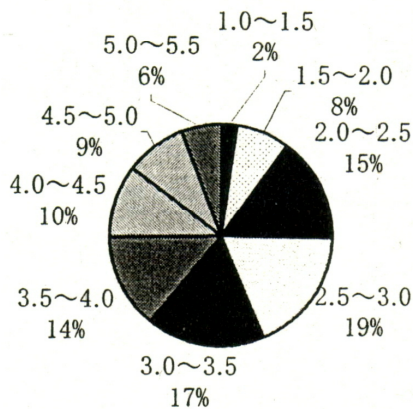


図 5.2 管渠マンホールでの硫化水素ガス濃度の連続測定事例

標本数 631 箇所  
 最大値 24.00 倍  
 平均値 4.13 倍  
 中央値 3.46 倍



出典：檜物良一、森一夫、豊田忠宏、井上弥九郎、森田弘昭、污水管きよへの雨天時浸入水に関する調査報告書、国土技術政策総合研究所資料、No.26、p.55、2002/01

図 5.3 分流式污水管渠における雨天時間最大水量／晴天日最大水量の倍率<sup>4)</sup>

また、室内実験ではコンクリートは硫酸水溶液中で腐食させるが、下水道現場では液相中ではなく気相中で腐食する。さらに、硫化水素腐食は年単位ないし十年単位で進行する長期現象であるにもかかわらず、研究調査を維持継続する負担が大きいため、室内実験では期間が半年程度までであり、現場調査でも経年継続されたものは稀である。硫化水素ガスは致死性有毒ガスであり、調査現場では立入

りに先立って圧送ポンプの停止，送風換気など準備作業が伴うという段取りも必要となる。

そこで第5章では，経過年数又は施設年齢と，劣化環境条件の総合値・積分値としての腐食深さ（以下，本稿では質量減少率換算による「侵食深さ」，フェノールフタレインの着色判定による「中性化深さ」，硫黄カルシウム成分分析による「硫黄侵入深さ」を総称して「腐食深さ」という。）の関係に強く着目する。

そして，アセットマネジメントの手法・事例として利活用できることを目的とし，まず，多数の現場コンクリート施設の改修工事（以下，単に「改修」という。）データから統計解析により設置から改修までの年数（以下，本稿では「耐用年数」という。）の確率分布をマクロ的に算出し，さらに将来改修施設数を算出する。

次に，実験及び現場調査のデータから腐食進行式を算出し，式係数と平均腐食速度等の関係から，ミクロ的な個別現場での将来腐食深さ予測に使用可能な知見を探る。

さらに，統計解析で算出された耐用年数確率分布と腐食進行式から算出された耐用年数を比較し，経済効率的な防食計画の立案方法を検討する。

## 5. 2 研究方法

### 5. 2. 1 改修履歴データの処理方法

東京都下水道局から提供を受けた下水処理場コンクリート施設の硫化水素腐食改修履歴データ（以下，「東京都データ」という。）は，同局の保有する1,105施設について名称，設置年度，改修年度，指針<sup>3)</sup>による腐食環境分類で構成されている。1988年度～2004年度までの17年度分の改修データが記載されており，各年度の改修施設数は4～23，総計106施設がこの間に改修工事を経験している。

管渠耐用年数について第3章では，2005年度に工事が行われた改築延長のみを統計解析した。しかし，東京都データは改修年度が17年度にまたがっており，年度あたり6.2件の改修施設数では少なすぎて同じ方法で統計解析するのは不適當であるので，ランダム打ち切りデータの処理法<sup>5)</sup>に従い，次のデータ処理を行った。

設置年度の違いを無視し， $t$  ( $t=1, 2, \dots$ ) について，

① 改修時施設年齢が $t$ 歳に一致する施設数

② 改修時施設年齢が $t$ 歳以上である施設及び2006年度現在，未改修で $t$ 歳以上の施設の合計数

をそれぞれ集計する。①の集計値を②の集計値で除した商を， $\lambda w(t)$ に対応するデータ値 $\lambda(t)$ とする。集計方法のイメージを図5.4に示す。

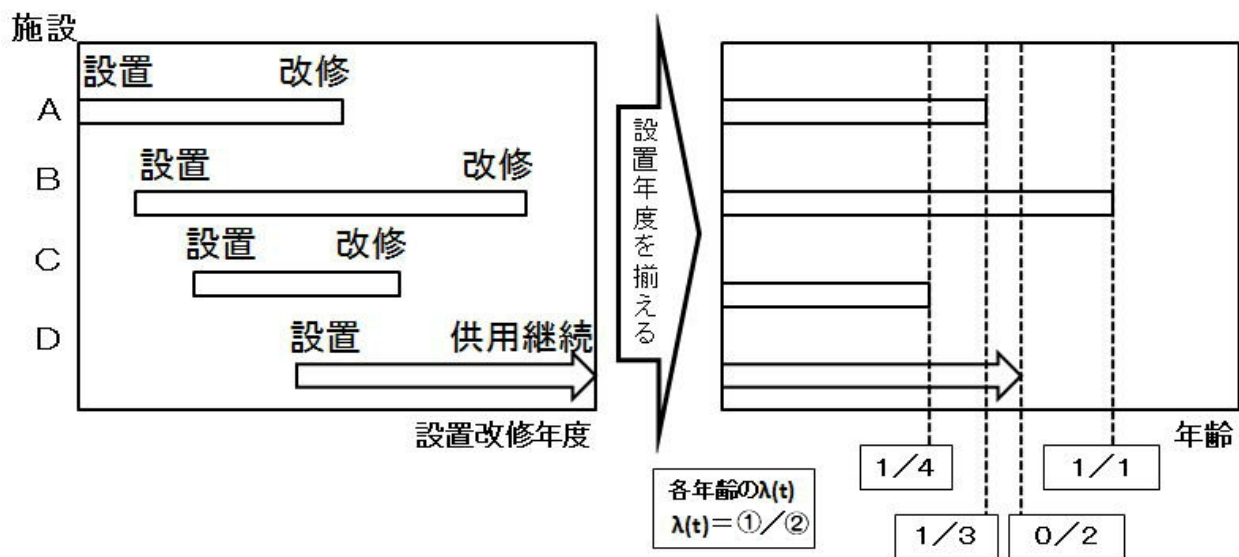


図5.4 未改修データを含むデータの処理方法

設置時に対する施設年齢 $t$ 歳の時の残存率のデータ値 $R(t)$ は、第3章(3.2)式にならない、 $\lambda(t)$ を用いた(5.1)式で算出する。

$$R(t) = (1 - \lambda(1)) \cdots (1 - \lambda(t-1)) \cdot (1 - \lambda(t)) \quad (5.1)$$

$R(t)$ を(4.1)式の $Rw(t)$ で最小二乗近似し、係数 $m$ 、 $\eta$ を算出すれば、 $f w(t)$ 及びその平均、分散は、 $\gamma=0$ とおいた(3.5)式及び(3.7)、(3.8)式で算出される。

東京都データを全体、腐食環境分類のⅠ類（硫化水素ガス濃度50ppm以上）、Ⅱ類（同10ppm以上50ppm未満）、Ⅲ類（同10ppm未満）、類外のグループに整理し<sup>3)</sup>、グループごとの係数 $m$ 、 $\eta$ 、平均 $\mu$ 、標準偏差 $\sigma$ の算出を試みる。

## 5. 2. 2 東京都データの将来改修施設数の予測

改修された施設は十分な耐久性を有し、再度改修はないと仮定し、2006年度の年齢 $t_1$  ( $t_1=0,1,\dots$ )の未改修施設数 $P(t_1)$ の分布を基礎として2006+ $t_2$ 年度( $t_2=1,2,\dots$ )の改修施設数 $Q(t_2)$ を予測する。

$Q(t_2)$ は、まず $P(t_1)$ を $Rw(t_1)$ で除して近似的な設置時施設数を求め、次に $f w(t_1+t_2)$ を乗じて2006+ $t_2$ 年度の年齢( $t_1+t_2$ )の改修施設数を求め、さらに全年齢について総和を求める(5.2)式で算出する。

$$Q(t_2) = \sum_{t_1=0} \frac{P(t_1) \cdot fw(t_1 + t_2)}{Rw(t_1)} \quad (5.2)$$

参考に、同式は2007年度以後に新規設置される施設の将来改修は含まないが、2006+ $s$ 年度( $s=1,2,\dots,t_2$ )の新規設置施設数 $X(s)$ を考慮しようとする場合、(5.3)式のように表される。

$$Q(t_2) = \sum_{t_1=1}^{t_2} \frac{P(t_1) \cdot fw(t_1+t_2)}{Rw(t_1)} + \sum_{s=1}^{t_2} X(s) \cdot fw(t_2-s) \quad (5.3)$$

### 5. 2. 3 文献データ及びK流域下水道管渠データの処理方法

コンクリートの硫酸又は硫化水素ガスによる腐食深さの時間推移を記載した既往文献<sup>6~11)</sup>の図表及びK流域下水道管渠の現場調査データを収集し、データ処理を行う。土木学会の報告では、腐食深さは、腐食部分が保護層となる場合、経過時間の平方根 ( $\sqrt{t}$ 則)、保護層とならない場合、経過時間 ( $t$ 則) に比例するとされている<sup>6)</sup>。腐食対策を検討する場合、弱い腐食よりも強い腐食の方が改修施設数への影響が大きいため、 $\sqrt{t}$ 則よりも $t$ 則に従っていると考えられる文献図表データを選び、経過年数又は施設年齢と腐食深さを読み取り、次の腐食進行式で最小二乗法近似し、係数 $a$ ,  $b$ を算出する。係数 $a$ は環境の腐食性の強さを、係数 $b$ は腐食劣化のメカニズムを表すことを想定している。

$$d = at^b \quad (5.4)$$

ここで

$d$ : 腐食深さ (mm),       $t$ : 経過年数又は施設年齢 (年)

K流域下水道管渠のデータは、現場腐食環境を落差及び圧送管吐出部からの位置で5分類し、各分類に属する人孔について施設年齢及び腐食部の中性化深さの現場測定値を取りまとめたものである。本稿で用いるデータは腐食性の強い順に3番目(K流域L3)と4番目(K流域L4)の分類である。他の分類については、データ数がわずか、ばらつきが著しい、中性化深さが全て約1mm以下の理由により用いなかった。

### 5. 2. 4 各腐食進行式による耐用年数の推計

東京都及び日本下水道事業団の設計管理基準を参考に鉄筋のコンクリート被り厚さを代表的に60mmと仮定し、(5.4)式に基づく各腐食進行式から耐用年数を算出する。

## 5. 3 算出結果と考察

### 5. 3. 1 東京都データのワイブル分布

算出結果を図5.5~5.10、表5.1に示す。図5.6、5.8、5.10のとおり、各グループとも $\lambda(t)$ のばらつきは大きい、 $R(t)$ のばらつきは小さくなる。

腐食環境分類のⅢ類、類外については、改修施設総数が3、4と極めて少なく統計解析に不相当であ

り、改修を要する腐食はほとんどないと考えられるので、データ概要のみ表5.1に掲げた。

全体、Ⅰ類、Ⅱ類の耐用年数の平均は67年、38年、60年、標準偏差は28年、13年、33年と算出された。

ただし、図5.5、5.7、5.9のとおり、 $f_w(t)$ のピークが改修データの存在する施設年齢範囲内、すなわち図中で出現するのはⅠ類だけであり、他のグループでは外挿推計精度がより低いと考えられる。

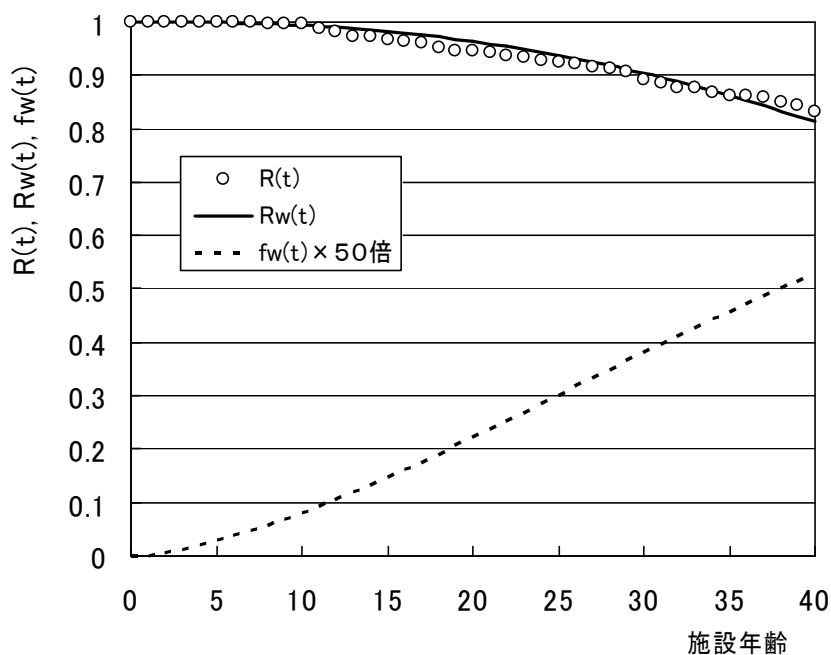


図 5.5 全体の  $R(t)$ ,  $R_w(t)$ ,  $f_w(t)$

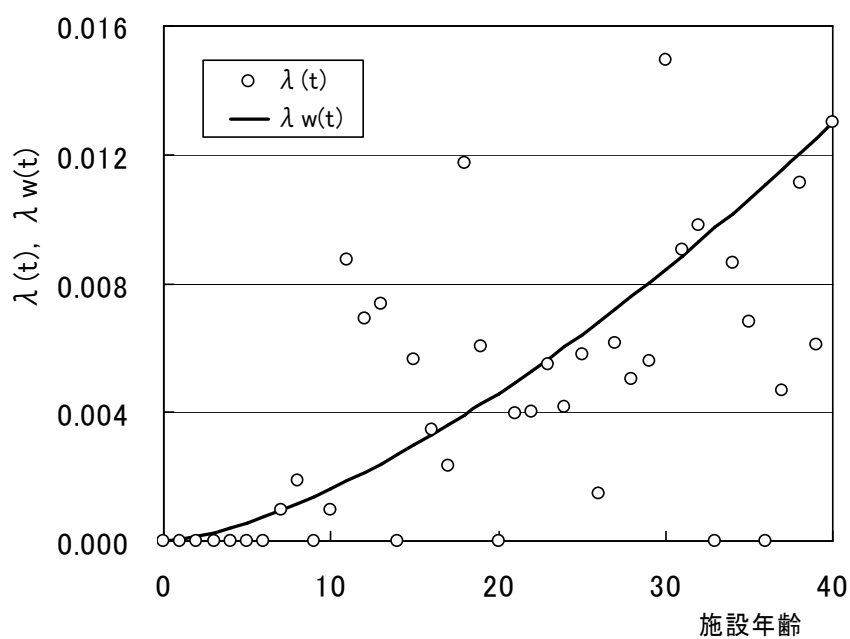


図 5.6 全体の  $\lambda(t)$ ,  $\lambda_w(t)$

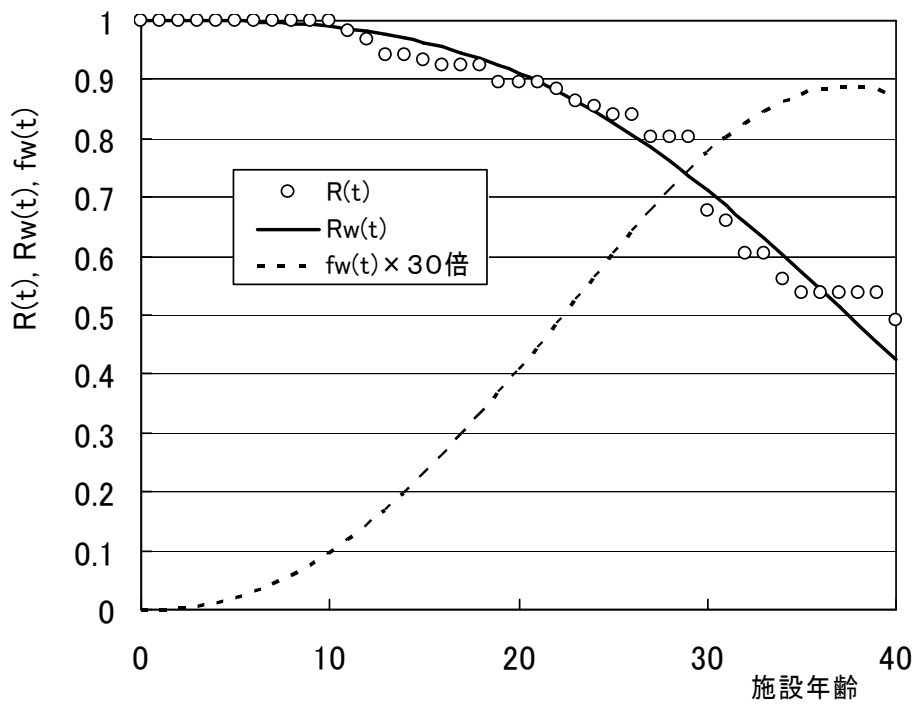


図 5.7 I 類の  $R(t)$ ,  $Rw(t)$ ,  $fw(t)$

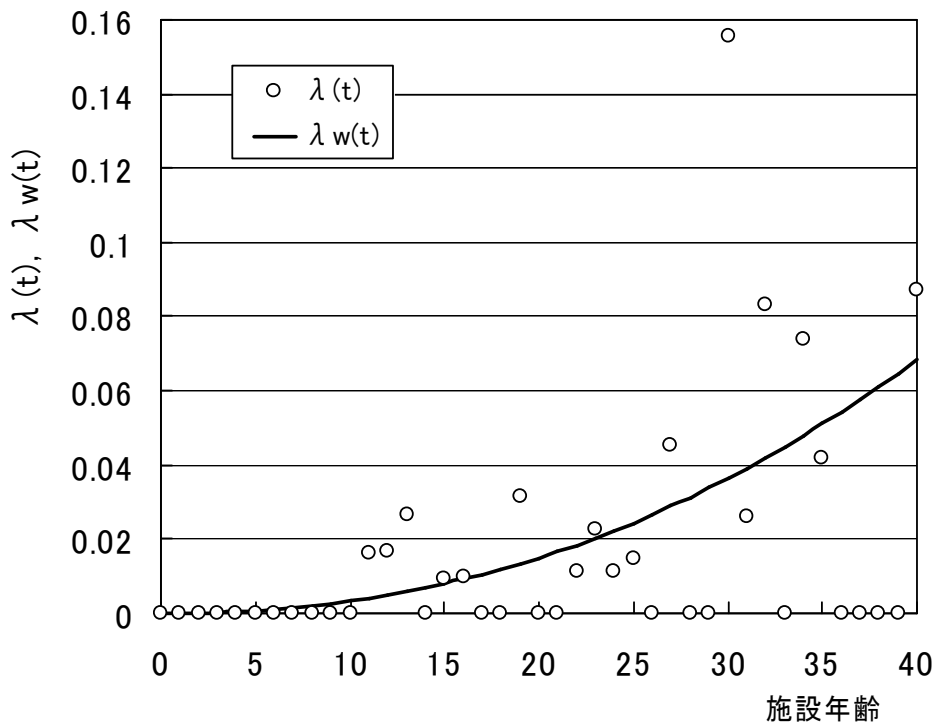


図 5.8 I 類の  $\lambda(t)$ ,  $\lambda w(t)$



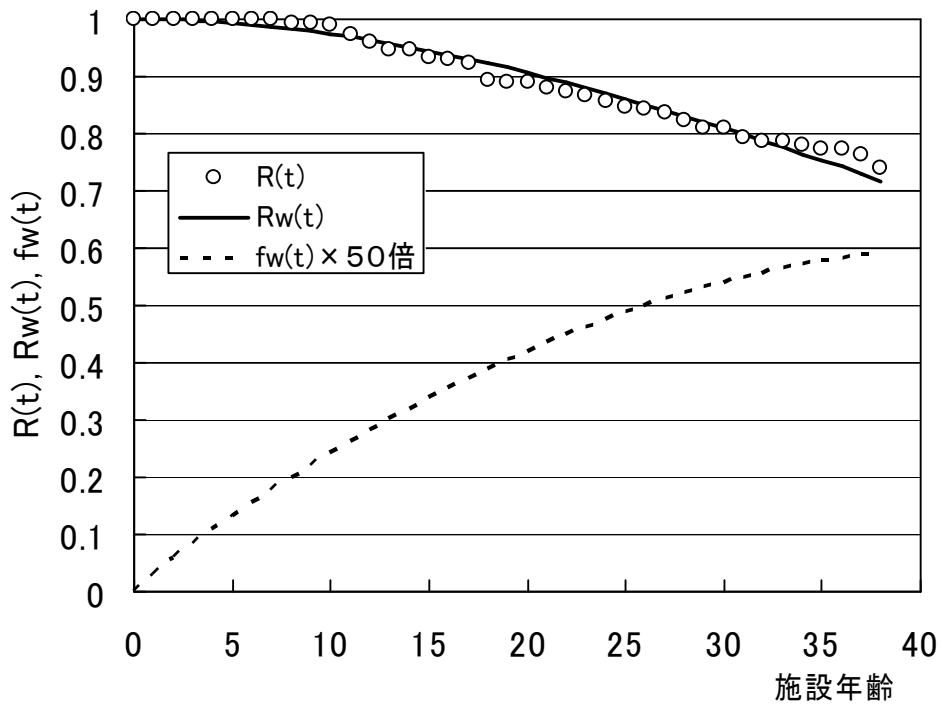


図 5.9 II類の  $R(t)$ ,  $Rw(t)$ ,  $fw(t)$

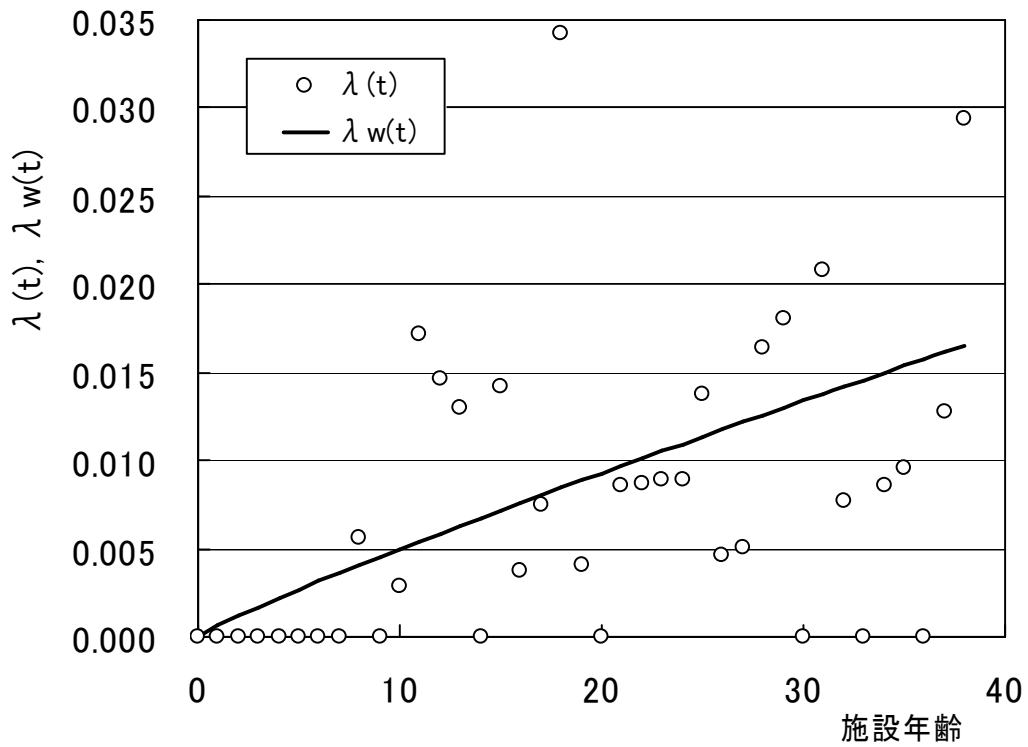


図 5.10 II類の  $\lambda(t)$ ,  $\lambda w(t)$

表 5.1 東京都データ及びその統計解析値の概要

	全体	I 類	II 類	III 類	類 外
施設数	1,105	140	377	112	476
改修施設数	106	36	63	3	4
最大施設年齢	86	45	86	45	54
改修時施設 年齢の最大値	40	40	38	39	21
ワイブル係数 $m$	2.5	3.2	1.9	—	—
ワイブル係数 $\eta$	75	42	68	—	—
平均耐用年数 $\mu$	67	38	60	—	—
標準偏差 $\sigma$ (年)	28	13	33	—	—

全体, I 類及び II 類の  $R(t)$  及び  $R_w(t)$  についてコルモゴロフ検定を行った結果を表 5. 2~5. 4 に示す。

表 5.2 全体のコルモゴロフ検定

有意水準	定数 $k$	標本数 $n$	臨界値( $k/\sqrt{n}$ )	$\text{Max} R_w(t)-R(t) $	判定
10%	1.22	40	0.193	0.137	受容
5%	1.36		0.215		受容
1%	1.63		0.258		受容

表 5.3 I 類のコルモゴロフ検定

有意水準	定数 $k$	標本数 $n$	臨界値( $k/\sqrt{n}$ )	$\text{Max} R_w(t)-R(t) $	判定
10%	1.22	40	0.193	0.163	受容
5%	1.36		0.215		受容
1%	1.63		0.258		受容

表 5.4 II類のコルモゴロフ検定

有意水準	定数 k	標本数 n	臨界値( $k/\sqrt{n}$ )	Max Rw(t)-R(t)	判定
10%	1.22	38	0.198	0.124	受容
5%	1.36		0.221		受容
1%	1.63		0.264		受容

### 5. 3. 2 東京都データの改修施設数の将来予測

東京データの I 類, II 類の  $P(t_1)$  を図 5.11, 5.12 に示す。また, それらの図から式(5.2)で算出された I 類, II 類, 両類合計の  $Q(t_2)$  及び改修施設数の過去実績を図 5.13 に示す。

I 類, II 類, 両類合計はそれぞれ 4 年後, 19 年後, 10 年後にピークが現れ, 年あたり約 3.4 施設, 4.5 施設, 7.6 施設の改修が発生するが, 以後, 改修数は漸減して 50 年後には年あたり約 0.2 施設, 3.3 施設, 3.5 施設となる。

過去実績値が将来予測値と比べて大きい, 強腐食性環境の施設が先行して既に改修されたと考えられる。東京都データから得られたワイブル係数をまだ改修数の少ない初期段階の事業体に応用すればピーク時を含む将来の改修数推移予測ができると考えられる。

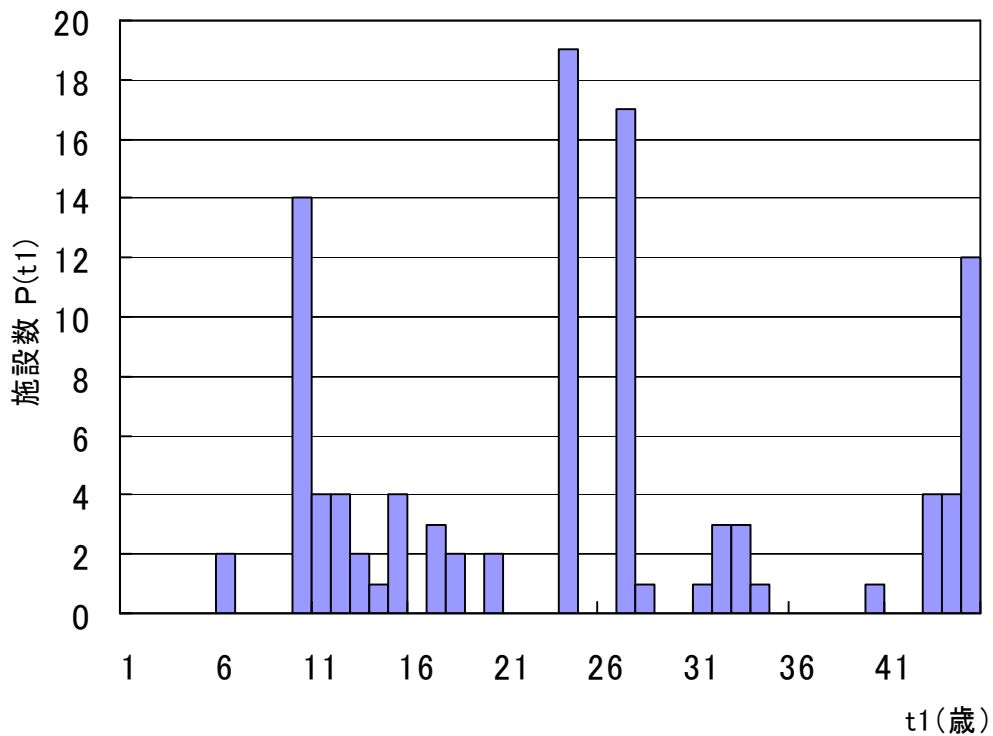


図 5.11 2006 年度 I 類未改修

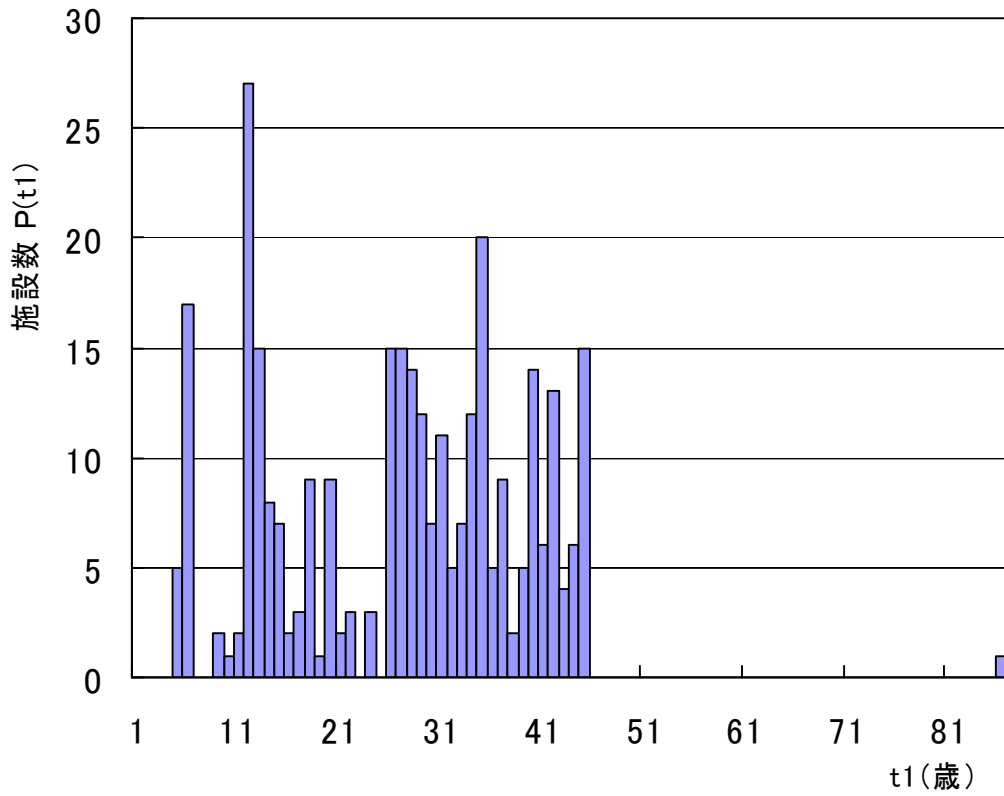


図 5.12 2006 年度Ⅱ類未改修 314 施設の年齢分布

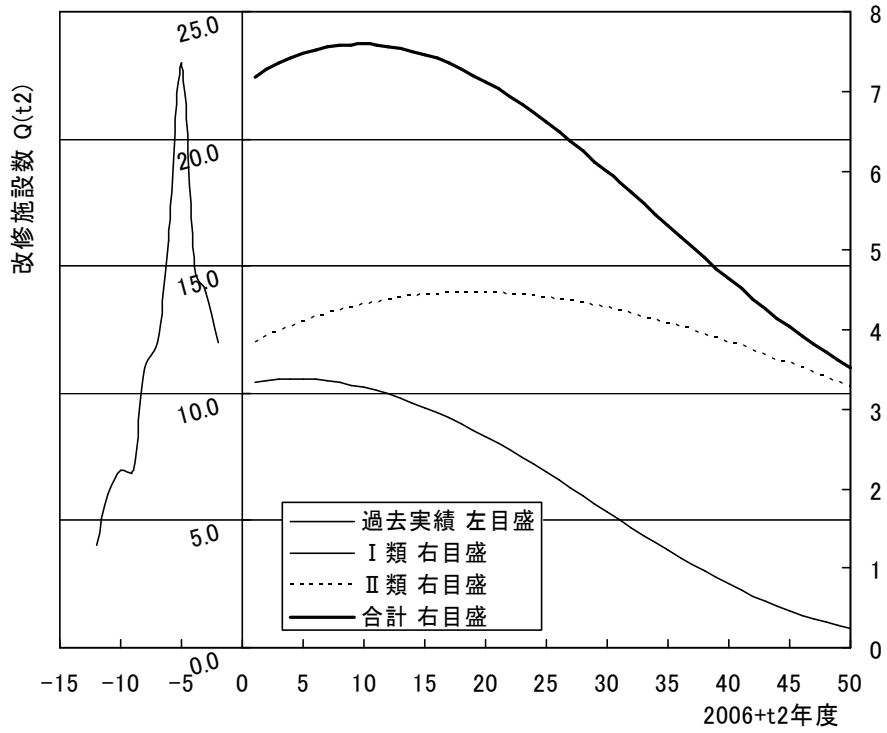


図 5.13 将来改修施設数予測

### 5. 3. 3 腐食進行式の係数 a, b

近似式の曲線とデータプロットの近接状況を図5.14~5.20に、 $\ln(a)$ と $b$ の関係を図5.21に、実験又は現場の条件、算出の結果等をまとめて表5.5に示す。なお、図5.14~5.17中の小文字のローマ数字は表5.2中の記載との対応を示す。

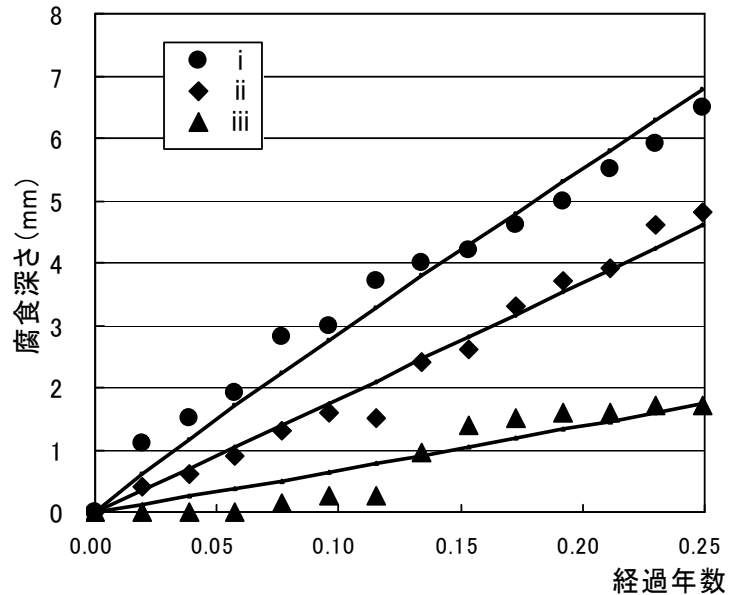


図5.14 腐食深さの時間推移 (蔵重・魚本)<sup>7)</sup>

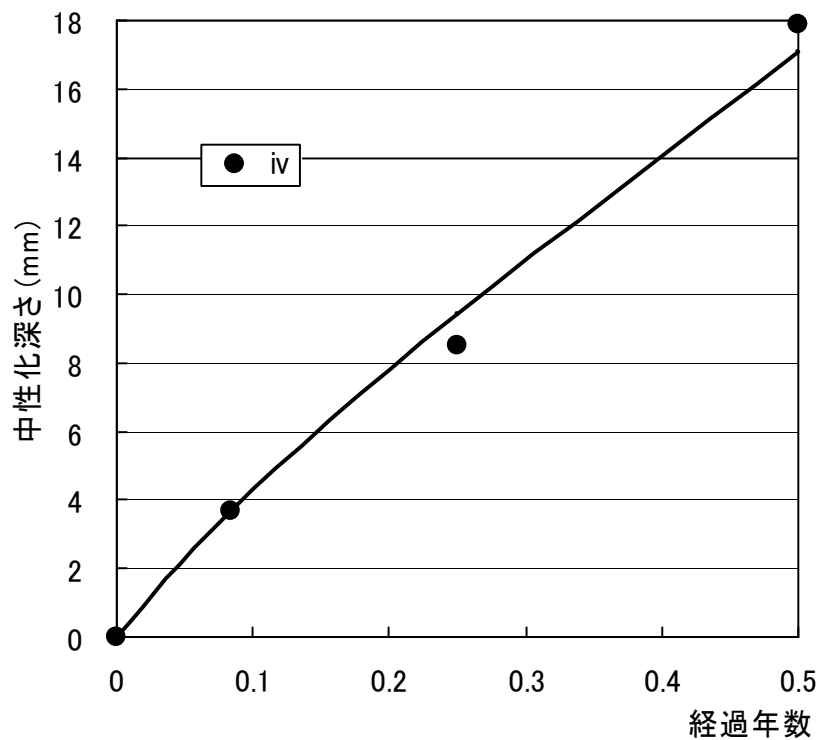


図5.15 腐食深さの時間推移 (大西・澤邊ら)<sup>8)</sup>

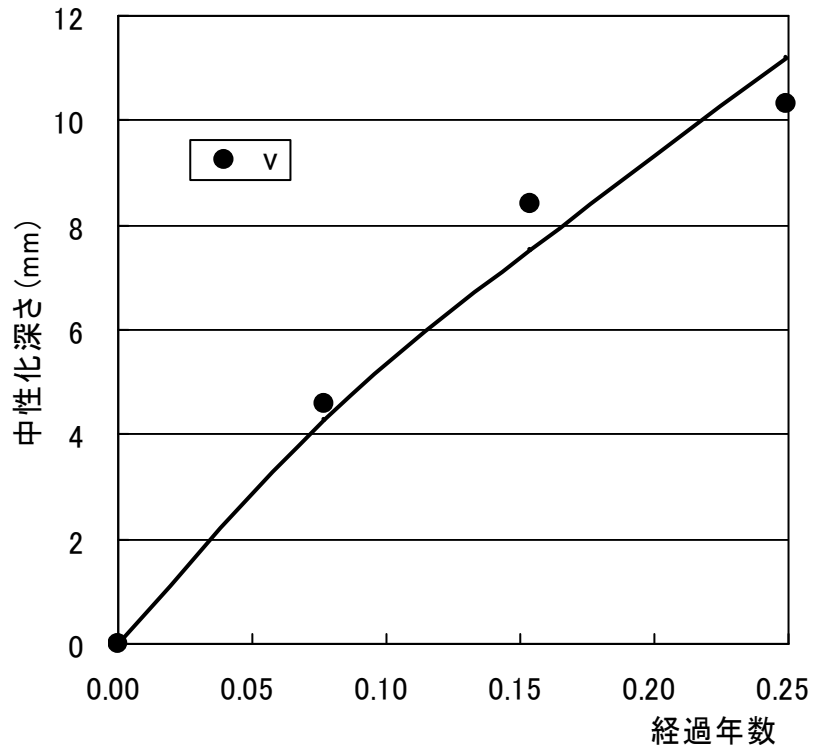


図 5.16 腐食深さの時間推移 (高橋・新藤ら)<sup>9)</sup>

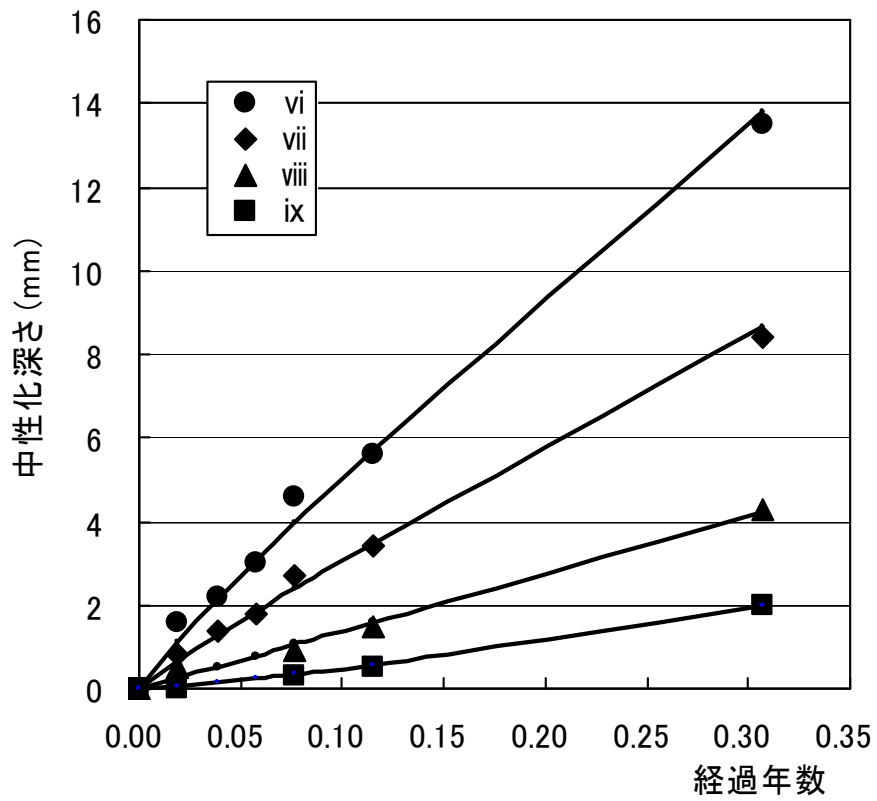


図 5.17 腐食深さの時間推移 (青柳・吉田ら)<sup>10)</sup>

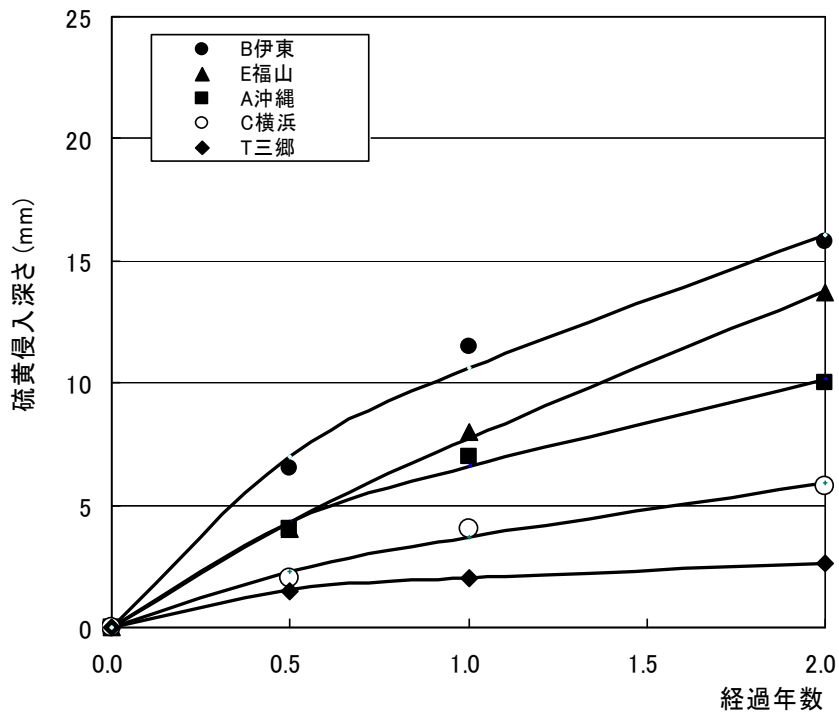


図 5.18 腐食深さの時間推移 (日本下水道事業団)<sup>11)</sup>

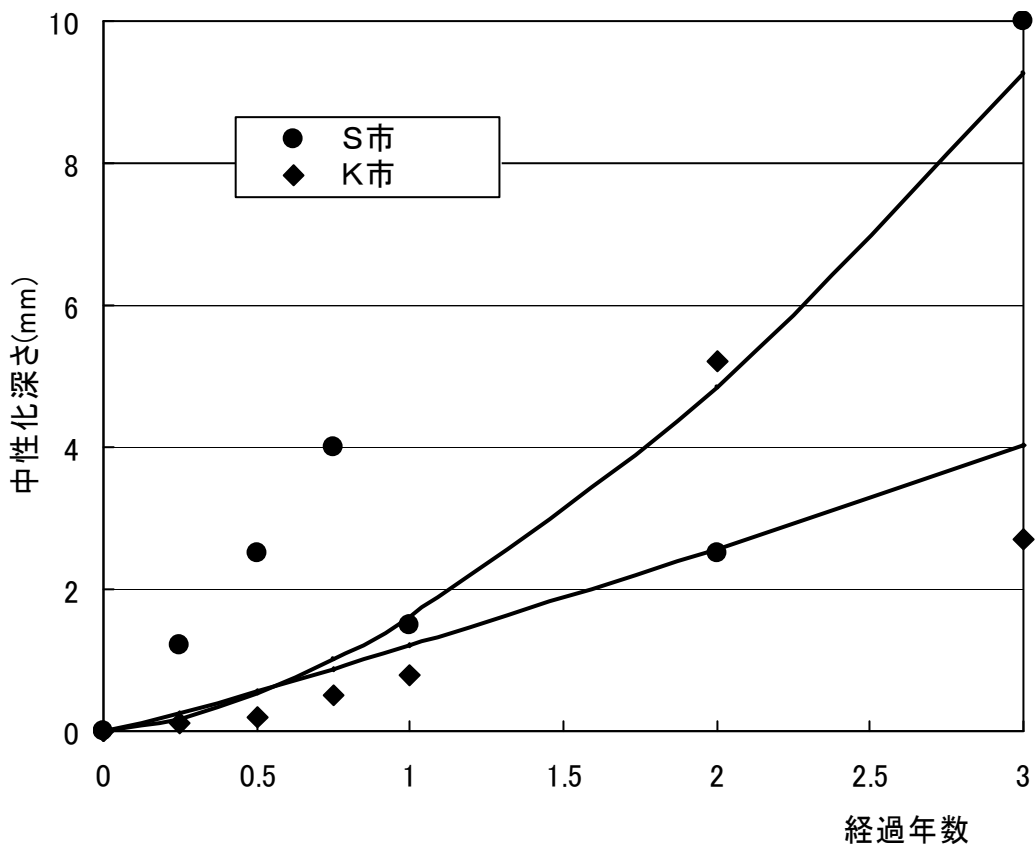


図 5.19 腐食深さの時間推移 (渡邊・平野ら)<sup>12)</sup>

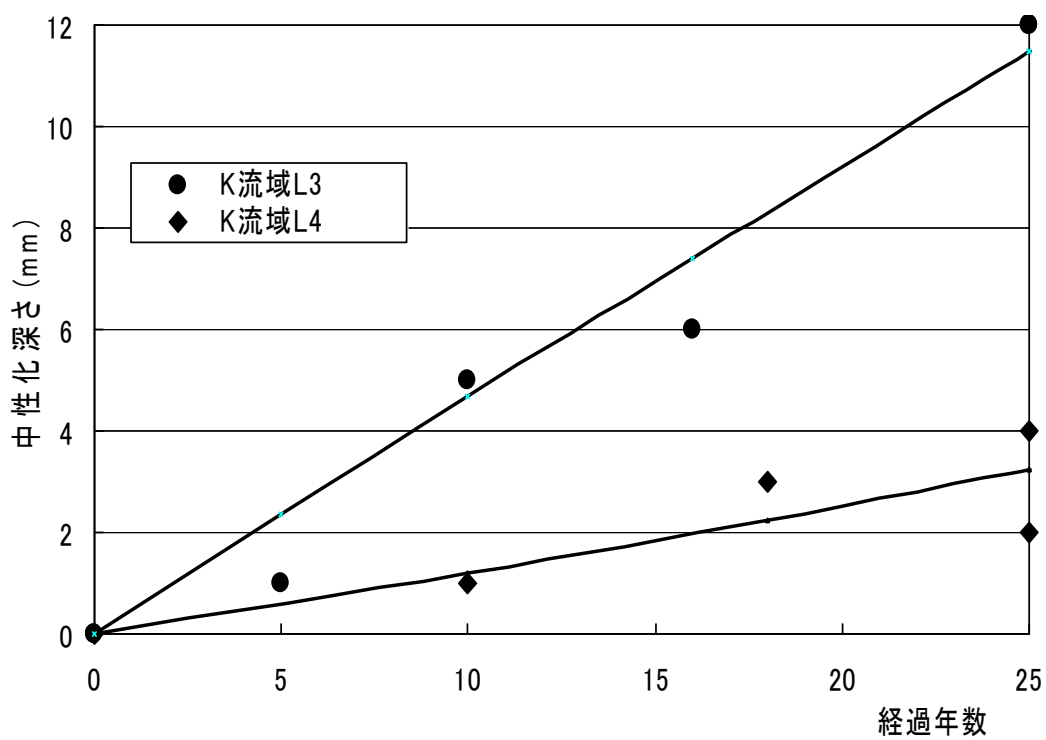


図 5.20 腐食深さの時間推移 (K 流域下水道)



表 5.5 実験及び現場調査のデータ並びにそのデータ処理結果の概要

時系列 の番号 又は名 称	環 境	a	ln(a)	b	最大 腐食 深さ (mm)	最 大 年 数	平均 腐食 速度 (mm/ 年)	左 の 降 順	60mm 腐食 年数	pH, 硫酸 濃度(%), 硫化水素 ガス濃度 (ppm)	温度 (°C)	参考 文献 番号
i	実 験 室 ・ 液 相 中	25	3.22	0.94	6.5	0.25	26.1	⑤	2.5	0.5	20	7)
ii		19	2.94	1.02	4.8	0.25	19.3	⑥	3.1	0.5	20	7)
iii		7.6	2.03	1.06	1.7	0.25	6.8	⑨	7.0	1	20	7)
iv		31	3.43	0.86	17.9	0.5	35.8	③	2.2	5%	-	8)
v		35	3.56	0.82	10.3	0.25	41.3	②	1.9	5%	-	9)
vi		40	3.69	0.9	13.5	0.31	44.0	①	1.6	5%	-	10)
vii		26	3.26	0.93	8.4	0.31	27.4	④	2.5	3%	-	10)
viii		14	2.64	1.01	4.3	0.31	14.0	⑦	4.2	1.5%	-	10)
ix		8.8	2.17	1.27	2	0.31	6.5	⑩	4.5	0.5%	-	10)
B 伊東	現 場 ・ 気 相 中	10.6	2.36	0.6	14.5	2	7.25	⑧	18.0	42 ppm	28	11)
E 福山		7.7	2.04	0.84	9	2	4.5	⑪	11.5	8.6 ppm	21	11)
A 沖縄		6.6	1.89	0.62	2.4	2	1.2	⑬	35.2	81 ppm	27	11)
C 横浜		3.7	1.31	0.68	1.3	2	0.65	⑮	60.2	28 ppm	24	11)
T 三郷		2	0.69	0.39	1.3	2	0.65	⑯	6130	3.6 ppm	23	11)
K 市		1.2	0.18	1.1	2.7	3	0.9	⑭	35.0	315 ppm	-	12)
S 市		1.6	0.47	1.6	10	3	3.3	⑫	9.6	625 ppm	-	12)
K 流域 L3		0.49	-0.71	0.98	12	25	0.48	⑰	135	60 ppm	-	-
K 流域 L4		0.094	-2.36	1.1	4	25	0.16	⑱	355	-	-	-

図5.21のとおり、室内実験のデータプロット群、現場のデータプロット群とも、平均腐食速度の概ね大きい順に図の右下から左上へと直線的に並ぶ傾向が見られる。また、両群の位置が大きく分かれており、その理由として表5.5のとおり室内実験のデータプロット群は液相中、半年以下の短い実

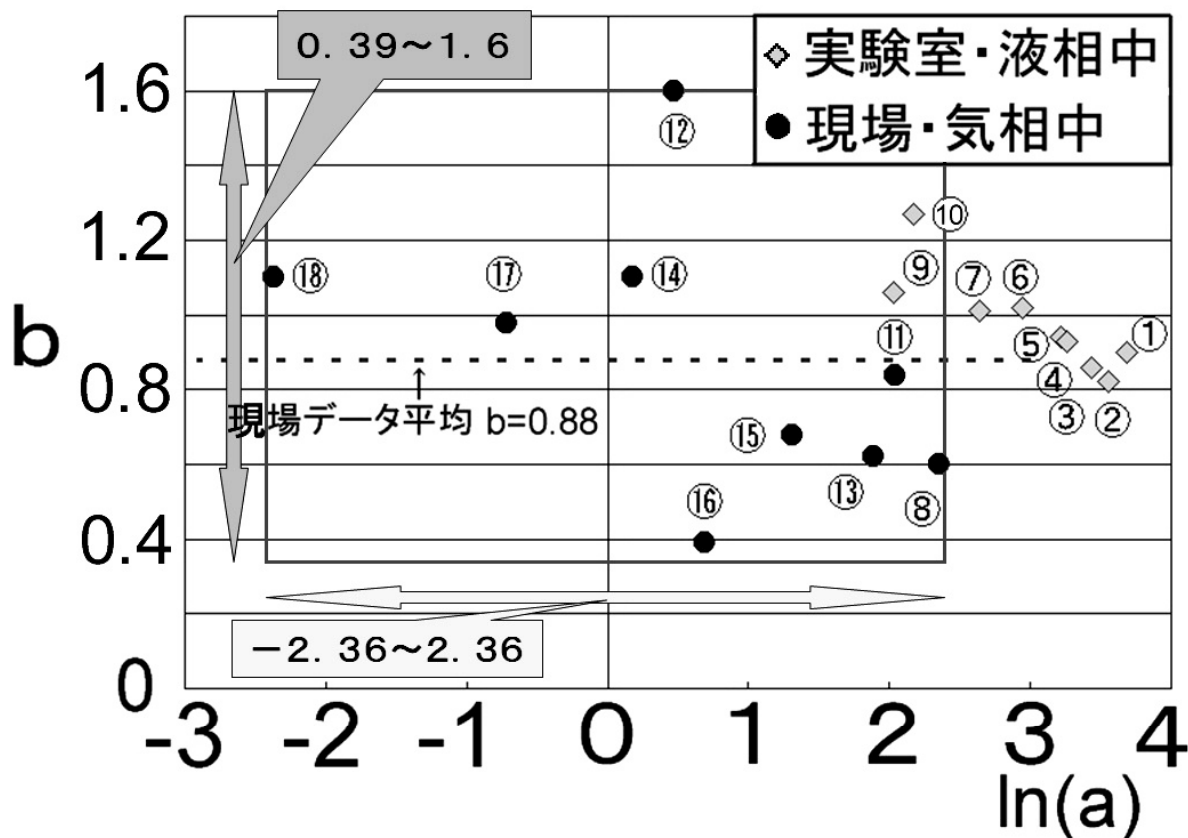


図5.21 係数a, bの関係

験期間、6.5～44mm/年の大きな腐食速度、現場のデータプロット群は気相中、2年以上の長い曝露年数、0.2～7.3mm/年の小さな腐食速度という劣化環境条件の違いが考えられる。

室内実験のデータプロット群では、 $b$ は1近くに集まっており、このことはデータ収集において $\sqrt{t}$ 則よりも $t$ 則に従っていると考えられるデータを選んだためと考えられる。しかし、現場のデータプロット群では、 $b$ は平均値を0.88とし、広く0.4～1.6の範囲に分布していて必ずしも $t$ 則に従ってはおらず、⑫を除けば概ね0.5～1.0の範囲に分布している。したがって、 $b$ は下水による腐食層の洗掘の程度・頻度などをも含む現場条件に応じて $t$ 則と $\sqrt{t}$ 則の中間に位置すると考えられる。なお、現場のデータプロット群では、 $\ln(a)$ も広く-2.4～2.4の範囲に広く分布している。

(5.4)式の係数  $b$  に 0.88 を用い、原点以外に一組の施設年齢及び腐食深さのデータプロットがあれば係数  $a$  も定まり、その現場施設での将来腐食深さの予測式ができるが、図 5.21 の当該データ群のばらつきも大きく、予測値は目安に止めるのが適当と考えられる。

仮に、腐食は $\sqrt{t}$ 則に従い、施設年齢 0 から最大測定年齢  $T$  までの間に洗掘が等間隔で  $n-1$  回あり、洗掘の度に腐食層は完全剥離し、施設年齢 0 から  $T$  までにおいて測定される(5.4)の腐食進行式  $d=at^b$  の積分値  $S_1$  と実際の腐食進行曲線の積分値  $S_2$  とが等しいとした場合の  $S_1, S_2$  等の関係を図 5.22

に及び関係式を以下に示す。

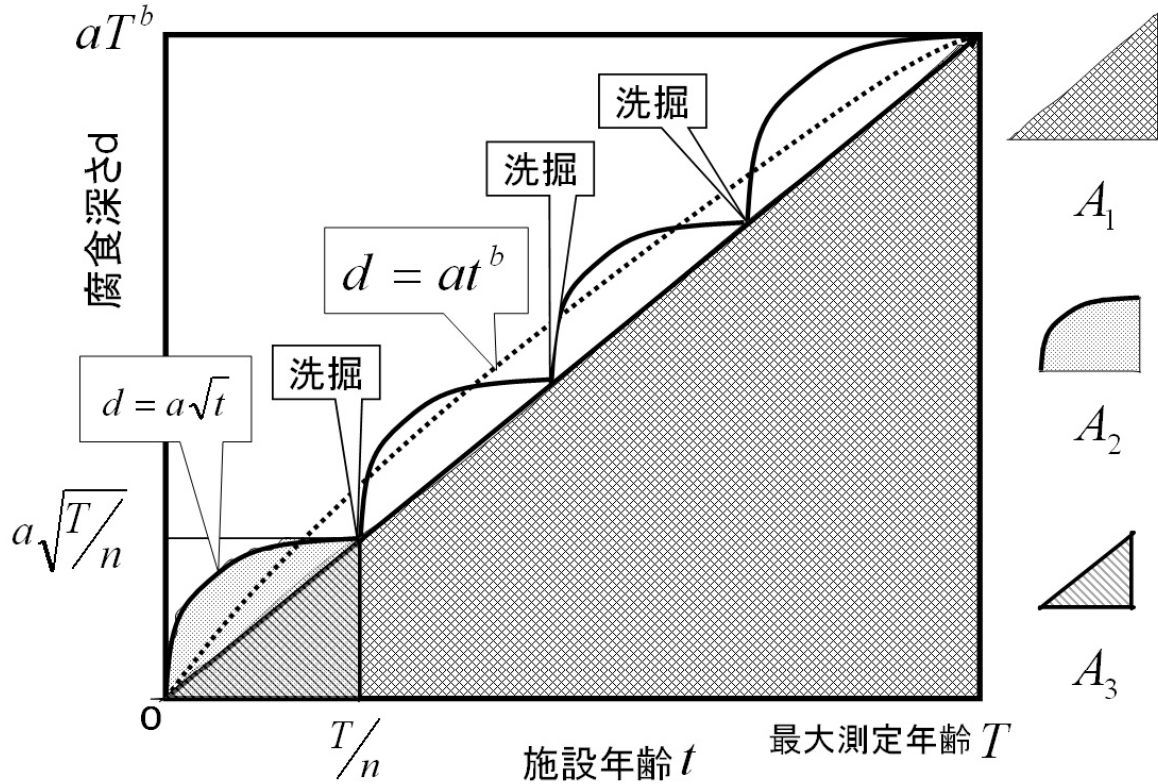


図 5.22  $\sqrt{t}$  則及び周期的洗掘の場合に測定される腐食進行式

$$S_1 = \int_0^T at^b dt = \frac{a}{b+1} \cdot T^{b+1} \quad (5.5)$$

$$S_1 = S_2 = A_1 + n \cdot (A_2 - A_3) = \frac{T}{2} \cdot a\sqrt{nT} + n \cdot \left\{ \frac{2}{3} a \left( \frac{T}{n} \right)^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{2} a \left( \frac{T}{n} \right)^{\frac{3}{2}} \right\}$$

$$= \frac{3n+1}{6} \cdot \frac{aT\sqrt{T}}{\sqrt{n}} \quad (5.6)$$

$A_1$  と  $A_3$  の斜辺傾きが等しいことから次式が得られる。

$$\frac{a\sqrt{T/n}}{T/n} = \frac{aT^b}{T} \quad (5.7)$$

上 3 式から  $a$ ,  $T$  を消去すると次式が導かれる。

$$b = \frac{3n-1}{3n+1} \quad (5.8)$$

$n=1, 2, 3, \dots, \infty$  のとき  $b=0.5, 0.714, 0.8, \dots, 1$  であり,  $b$  は洗掘回数  $(n-1)$  を劣化メカニズムとす

る係数として説明できる可能性がある。しかしながら、データ現場の洗掘状況はほとんど不明であるので実証的な考察・検討は困難であり、今後の調査研究の発展を待つ必要がある。表 5.5 中の現場データについて文献中等に記された暴露位置及び洗掘状況を表 5.6 に示す。

表 5.6 現場データの暴露位置と洗掘状況

番号	名称	暴露位置	洗掘状況
⑧	B 伊東	最初沈殿池越流トラフ気中部。	不明
⑪	E 福山	着水井開口部から吊り下げ。	壁面・天井部への下水飛散があり，腐食部分を剥離。
⑫	S 市	汚泥貯留槽。開口部蓋に近い気中部。	不明
⑬	A 沖縄	分配槽気中部。	不明
⑭	K 市	濃縮汚泥貯留槽。開口部蓋に近い気中部。	不明
⑮	C 横浜	汚泥貯留槽開口部から吊り下げ。	不明
⑯	T 三郷	前ばっ気槽から取水後のヒューム管。	不明
⑰	K 流域 L3	管渠	不明
⑱	K 流域 L4	管渠	不明

#### 5. 3. 4 東京都データの $f_w(t)$ と他データの耐用年数の比較検討

東京都データの I 類，II 類の  $f_w(t)$  と，文献データ及び K 流域下水道データから算出した 60mm 腐食の耐用年数の関係を図 5.23 に示す。

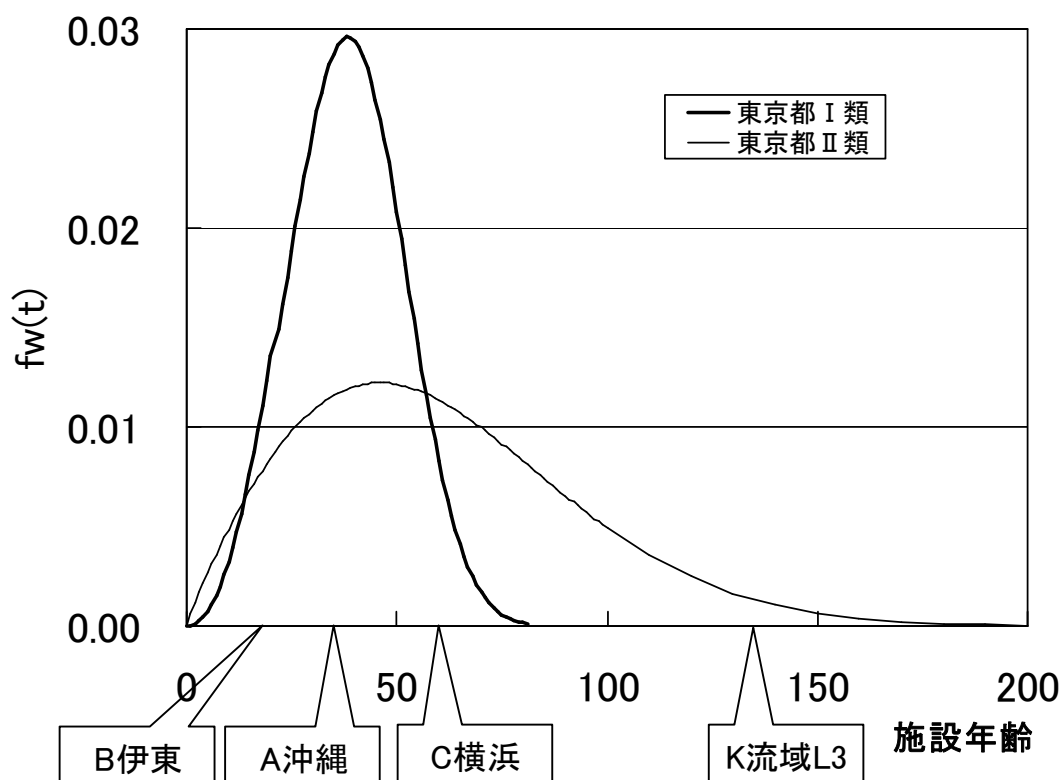


図5.23 東京都 I 類， II 類の $f_w(t)$ と各現場の60mm腐食年数

同図で I 類の横軸分布範囲は概ねC横浜データよりも左側， II 類の横軸分布範囲は概ねK流域L3データよりも左側となった。これを参考に設定した防食対策範囲例とそれに対応する防食施設率の試算例について表5.7に，同表の各CASEと $R_w(t)$ ， $f_w(t)$ の対応を表5.8に示す。

表 5.7 防食対策範囲例と防食施設率

CASE	防食対策範囲の下限劣化環境	最小耐用年数(t)	I 類防食施設率 (=1- $R_w(t)$ )	II 類防食施設率 (=1- $R_w(t)$ )
1	C 横浜	60	96%	55%
2	I 類のほぼ全て (99%以上) の環境がそれより強い腐食性となる環境	68	99%	63%
3	K 流域 L3	135	100%	97%
4	I・II 類のほぼ全て (99%以上) の環境がそれより強い腐食性となる環境	150	100%	99%

C 横浜より強い腐食環境の施設を防食対策する表 5.7, CASE-1 では, 表 5.8 により 60mm 腐食年数は 60.2 年以上, つまり最小耐用年数が約 60 年となる。表 5.8 により, 防食されない施設数割合 (=Rw(60)) は I 類, II 類それぞれ 4%, 45% となり, 防食施設率 (=1- Rw(60)) は 96%, 55% となる。

表 5.8 防食対策範囲例の各 CASE と Rw(t), fw(t)

t (年)	東京都 I 類		東京都 II 類		対応 する CASE 番号
	m = 3.2		m = 1.9		
	$\eta = 42$		$\eta = 68$		
	Rw(t)	fw(t) $\times 10^{-3}$	Rw(t)	fw(t) $\times 10^{-3}$	
0	1.000	0.0	1.00	0.0	
1	1.000	0.0	1.00	0.6	
2	1.000	0.1	1.00	1.2	
3	1.000	0.2	1.00	1.7	
4	0.999	0.4	1.00	2.2	
5	0.999	0.7	0.99	2.6	
6	0.998	1.1	0.99	3.1	
7	0.997	1.5	0.99	3.6	
8	0.995	2.0	0.98	4.0	
9	0.993	2.6	0.98	4.4	
10	0.990	3.2	0.97	4.8	
20	0.911	13.6	0.91	8.4	
30	0.711	25.8	0.81	10.8	
40	0.425	29.1	0.69	12.0	
50	0.174	19.5	0.57	12.1	
60	0.044	7.3	0.45	11.3	1
68	0.009	2.1	0.37	10.3	2
70	0.006	1.4	0.35	10.0	
80	0.000	0.1	0.26	8.3	
90	0.000	0.0	0.18	6.5	
100	0.000	0.0	0.12	4.9	
135	0.000	0.0	0.03	1.3	3
150	0.000	0.0	0.01	0.6	4

I 類施設のほぼ全て (99%以上) の環境がそれより強い腐食性となる環境を防食対象の下限とする CASE-2では,  $Rw(t)=0.01$ となるtは表5.8より I 類で68年であり, このとき II 類でRw(68)が0.37となるので, II 類の腐食施設率は63%となる。

同様に, K流域L3より強い腐食環境の施設を防食対策するCASE-3では最小耐用年数が135年となり, 防食されない施設数割合 (=Rw(135)) は I 類, II 類それぞれ0%, 3%となり, 防食施設率は100%,

97%となる。

Ⅱ類の施設のほぼ全て(99%以上)の環境がそれより強い腐食性となる環境を防食対象の下限とするCASE-4では、 $R_w(t)=0.01$ となる $t$ はⅡ類で150年であり、それが最小耐用年数となる。

各CASE、各類の  $f_w(t)$  の値は選択的防食対策の後、最小耐用年数未満の $t$ について零にまで削減される。防食対策範囲を劣化曲線やスクリーニング手法により箇所特定し、削減となる将来改修費を算出できるならば、これを現在価格に換算し、現在時点で行おうとする防食対策費用と比較して経済的優劣を判定できるので、効率的な防食対策計画を策定できるものと考えられる。

#### 5. 4 結言

- (1) 東京都下水道局の処理場コンクリートの硫化水素腐食改修工事データをワイブル分布を用いた統計処理をすることにより、全体、腐食環境分類Ⅰ類、同Ⅱ類について表5.1のとおり耐用年数確率分布  $f_w(t)$  の係数  $m$ ,  $\eta$ , 平均耐用年数  $\mu$  及びその標準偏差  $\sigma$  が算出された。これらのワイブル係数をまだ改修数の少ない初期段階の事業体に応用すればピーク時を含む将来の改修数推移予測ができると考えられる。
- (2) 東京都データの将来改修施設数予測を(5.2)式で行った結果、図5.13のとおりとなった。10年後にピークが現れ、年あたり7.6施設の改修が発生するが、以後漸減して50年後には年あたり3.5施設となると算出された。
- (3) 経過年数又は施設年齢と腐食深さの関係に関する文献及びK流域下水道の室内実験及び現場調査のデータ群を解析した結果、図5.21のとおり、室内実験データと現場データが分かれて分布した。
- (4) 前項の現場データ群について(5.4)式のべき乗数の係数  $b$  の平均値は0.88と算出された。1時点の腐食深さデータしかない場合の将来腐食深さ予測の目安にできる可能性がある。
- (5) 東京都データのⅠ類及びⅡ類の経年劣化確率分布  $R_w(t)$  と表5.5の60mm腐食年数を比較することにより、防食対策範囲例と防食施設率の関係が表5.7のとおり算出された。防食対策範囲を劣化曲線やスクリーニング手法により箇所特定し、その将来改修費を算出できるならば、これを現在価格に換算し、現在時点で行おうとする防食対策費用と比較して経済的優劣を判定できるので、効率的な防食対策計画を策定できるものと考えられる。

## 〈参 考 文 献〉

- 1) 国土交通省下水道事業課：管路施設の硫化水素対策の実施および点検状況に関する調査の結果について，国土交通省ホームページ，  
[http://www.mlit.go.jp/crd/city/seweraage/info/kanro\\_kousei/20071122.html](http://www.mlit.go.jp/crd/city/seweraage/info/kanro_kousei/20071122.html)
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成21年度下水道事業予算概算要求概要， p.24， 2008/08
- 3) 日本下水道事業団：下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針，日本下水道事業団， p.12， 2002/11
- 4) 檜物良一，森一夫，豊田忠宏，井上弥九郎，森田弘昭：汚水管きょへの雨天時浸入水に関する調査報告書，国土技術政策総合研究所資料， No.26， p.55， 2002/01
- 5) 真壁肇：[改訂版] 信頼性工学入門，財団法人日本規格協会， pp.112-113， 1996
- 6) 土木学会コンクリート委員会化学的侵食・溶脱研究小委員会（第323委員会）：コンクリートの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状，（社）土木学会， pp.76-77 ， 2003/6
- 7) 蔵重勲，魚本健人：硫酸腐食によるセメント硬化体の侵食メカニズム，セメント・コンクリート論文集，（社）セメント協会， No.55， pp.459-460， 2001
- 8) 大西宏二，澤邊則彦，稲毛克俊：湿潤接着性が向上した耐硫酸モルタルの開発について，第43回下水道研究発表会講演集，（社）日本下水道協会， p.87， 2006/6
- 9) 高橋俊之，新藤竹文，稲毛克俊：従来コンクリートの10倍以上の耐硫酸性を有する材料の開発，第43回下水道研究発表会講演集，（社）日本下水道協会， p.80， 2006/6
- 10) 青柳直樹，吉田祐介，渡邊秀光，三浦尚：硫酸環境下におけるコンクリートの劣化性状と内部強度分布に関する研究，コンクリート工学論文集，（社）日本コンクリート工学協会， Vol.15， No.1， p.39， 2004/1
- 11) 日本下水道事業団 技術評価委員会：下水道構造物に対するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術の評価に関する報告書，日本下水道事業団， pp.72-75 ， 2001/3/21
- 12) 澤邊則彦，平野義信，大西宏二，佐田国康彦，稲毛克俊，須賀雄一：下水道腐食環境下に3年間暴露した耐硫酸性補修モルタルの性状，第42回下水道研究発表会講演集，（社）日本下水道協会， p.105， 2005/6



## 第6章 機電設備の耐用年数の推計

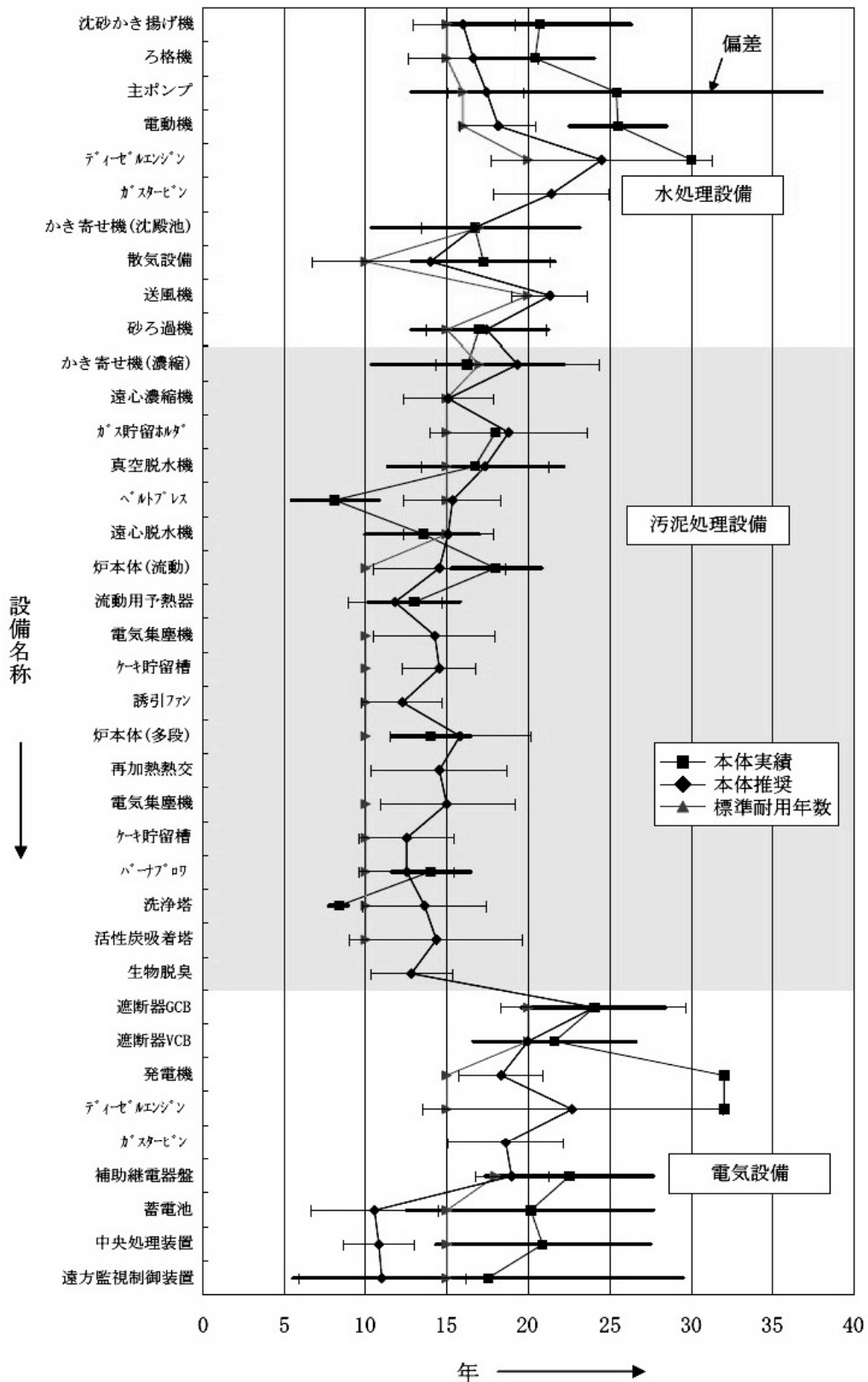
### 6.1 緒言

アセットマネジメントでは耐用年数（設置から老朽化，陳腐化など何らかの理由で廃止・除却されるまでの年数を言う。以下同じ。）が基本的情報として重要である。下水道施設は耐用年数の観点から大きく管渠，処理場の土木建築施設及び機械電気設備（以下「機電」と言う。また，土木建築施設，機械設備，電気設備は単に「土木建築」，「機械」，「電気」と言う。）の3つに分類される。前二者がコンクリートを主材料としているのに対し，機電は金属を主材料としているため，前二者は耐用年数が40ないし50年以上，機電は耐用年数が10年から30年程度とされてきた。3者のうち機電は極めて多種多様であり，図6.1のように用途や性質により細かく分類され，耐用年数も異なる<sup>1)</sup>。しかも，機電を構成する部品は交換を前提とした消耗性のものから耐久性のものまで幅広い。

アセットマネジメントではマイクロマネジメントとマクロマネジメントの両面から検討し，突合することが精度・信頼性向上に有効であると考えられる。しかし，機電のマネジメントは今までのところ，分類の大，中，小に応じた個々の設備ごとに耐用年数やライフサイクルコストを算定し，それらを積み上げるマイクロマネジメント手法が専ら行われている。そして，全国，1事業体又は1処理区の機電を総体として捉え，事業財政計画の立案に必要な，総体としての耐用年数や将来改築事業量（「量」には物質的数量の他，金額も含む。以下同じ。）を数値で推計するマクロマネジメント手法が見られない。

そこで本章ではマクロマネジメント手法として，以下のように機電総体を事業費で，即ち金額で数値化し，これにワイブル分布の確率密度関数を耐用年数確率分布として適用し，将来改築事業費を推計する統計的手法を考案し，現実の事業データを使用して手順と算出結果を提示する。

ワイブル分布は本来，物質的数量に適用されるが，本研究のように金額に適用した事例としては，下水道を含む日本全体の社会資本について過去の名目投資額から現時点での純資本ストック額を推計した内閣府調査報告がある<sup>2)</sup>。また，ワイブル分布と他分布の比較に関し，安野・保田は橋梁部材，舗装路面の寿命予測の事例において，ワイブル，指数，ゴンペルツ，対数ロジスティックの各分布の適用性を検討し，ワイブル分布が常に2番目に最適であり，シンプルで数値計算が比較的容易であるなど汎用的であることを指摘している<sup>3)</sup>。



[出典] (社)東京下水道設備協会:LCCを考慮した設計・施工について、p.84、2006/03  
[http://setubikyo.or.jp/main/technical/pdf/lcc\\_sekkei\\_siryō.pdf](http://setubikyo.or.jp/main/technical/pdf/lcc_sekkei_siryō.pdf)

図 6.1 メーカー情報による機電の分類別耐用年数分布<sup>1)</sup>

本研究の手順の概要は次のとおり。まず下水道統計等の事業データの全国集計値から過去各年度の機電等の設置（新築と改築の両方を含む。以下同じ。）事業費を算出する。次にそれらを用いてアンケート調査結果の年齢（設備の設置時点からの経過年数を言う。以下同じ。）層別改築工事件数分布を再現できるワイブル型確率密度関数を耐用年数確率分布として試行反復計算し、設定する。続いて、この設定分布（後述の「推計ワイブル分布 A」を指す。）を用いて改築事業費を過去及び将来各年度について推計する。最後に、同分布と断片的な別途情報から推計された分布（後述の「推計ワイブル分布 B」を指す。）とを比較検討する。

## 6. 2 データ収集、計算手順及び計算結果

### 6. 2. 1 過去各年度の工種別設置事業費の算出

#### (1) PT 別設置事業費と PT シェアの算出

下水道統計の 1967 年度版<sup>4)</sup>、1993 年度版<sup>5)</sup>、1999 年度版<sup>6)</sup>、2005 年度版<sup>7)</sup>から、1967～2005 年度の公共下水道、特定環境保全公共下水道、特定公共下水道、流域下水道の管渠・処理場別（以下、「PT 別」と言う。また、管渠を「P」、処理場を「T」と略記する。）総事業費データを取り出し、年度別、PT 別に 4 種下水道の総事業費を集計し、設置事業費として PT 別に経年推移（以下単に「推移」と言う。）を算出し、さらに PT 別シェア（以下「PT シェア」と言う。）推移を算出する。PT シェア推移を図 6.2 に示す。

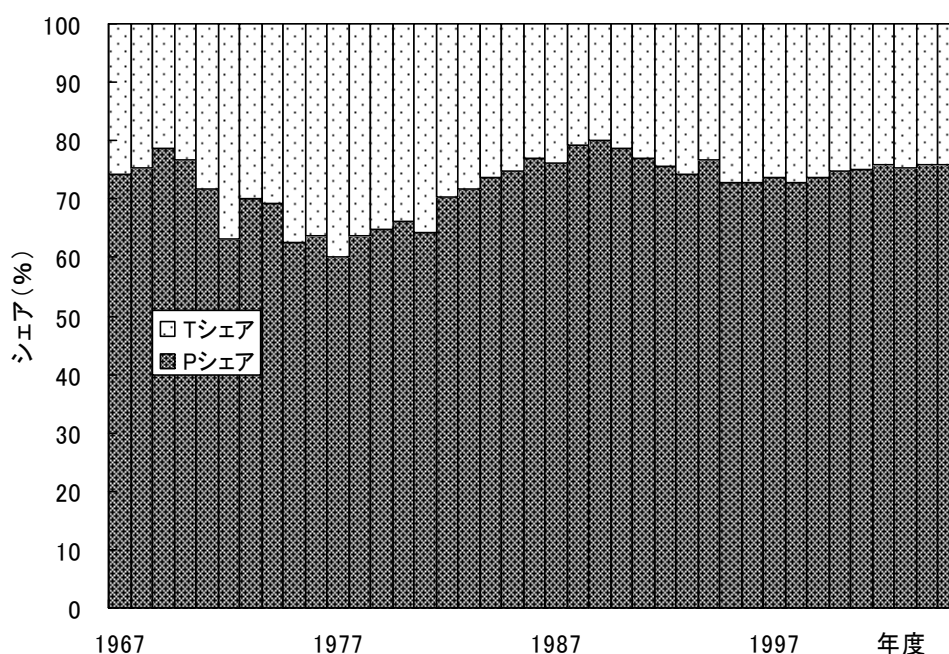


図 6.2 PT シェアの推移(1967～2005)

Pシェアは60～80%，全期間平均で72.5%，最近20年間平均で75.6%と算出される。

## (2) 工種別工事費シェアの算出

下水道統計要覧の1986～1999年度版<sup>8)</sup>から全国のPT別，土木，建築，機械，電気別（以下「工種別」という。）工事費を取り出し，PT別，工種別の工事費シェア推移を算出する。ただし，算出対象の工種は機械，電気及び機械と電気を合算した機電とし，シェアはP，Tそれぞれ4工種合計で100%となるよう算出する。また，ポンプ場はPに含める。

設置事業費は工事費に測量試験費，用地補償費，事務費等を加えたものであるが，設置事業費シェアは工事費シェアと同じとみなして以下，計算を進める。なお，工種別工事費データは上記年度版以外では見つからなかった。

PT別，工種別の工事費シェアの推移を図6.3～6.5に，最小二乗法近似による図中の線形式及び回帰分析結果並びに単純平均の定数式を表6.1に示す。

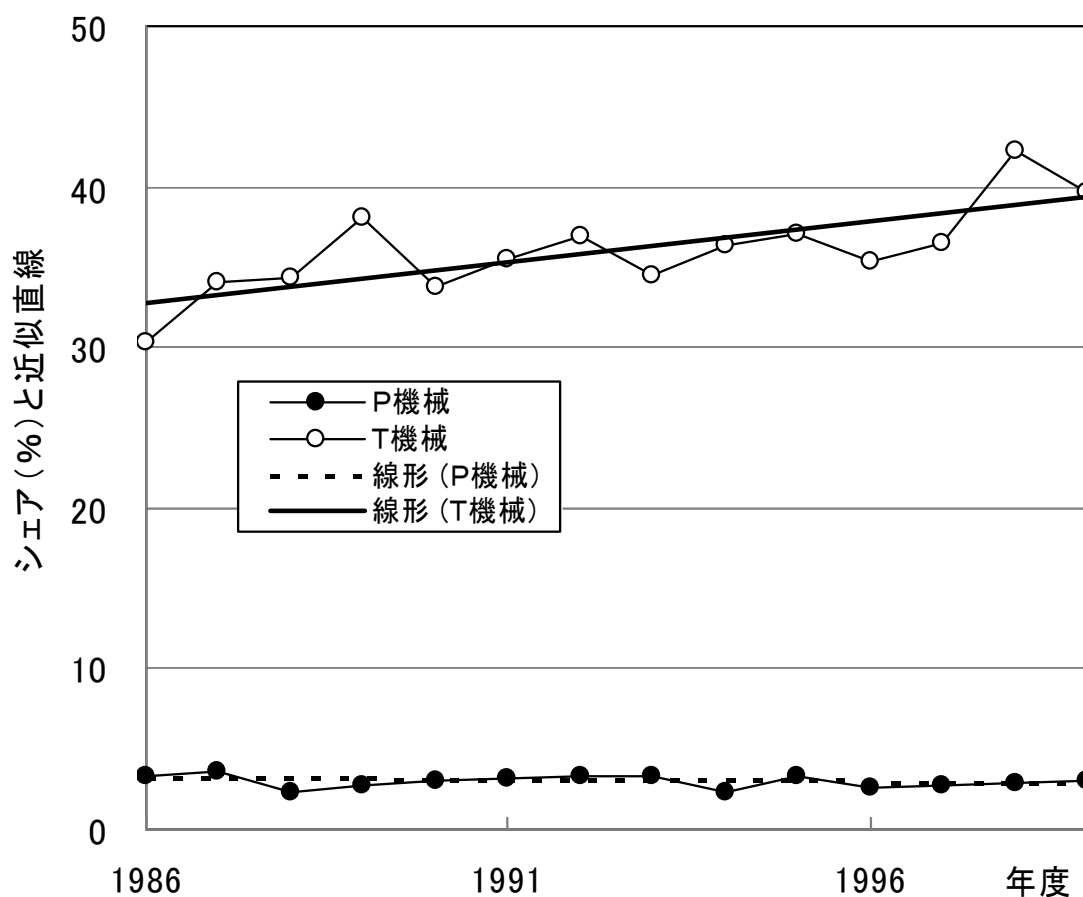


図 6.3 機械工事費シェアの推移

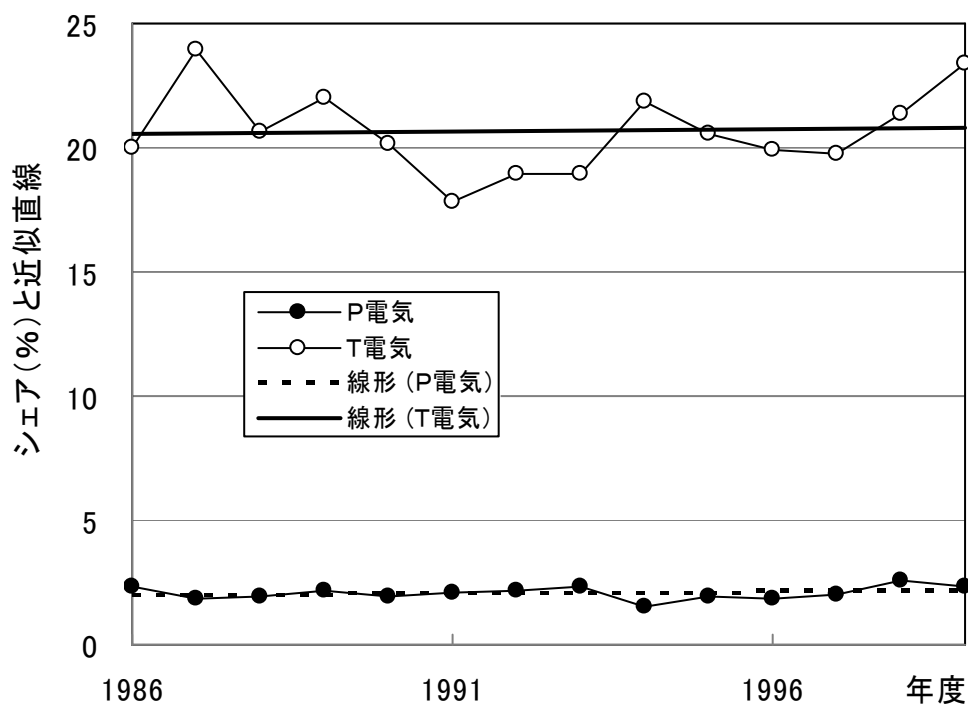


図 6.4 電気工事費シェアの推移

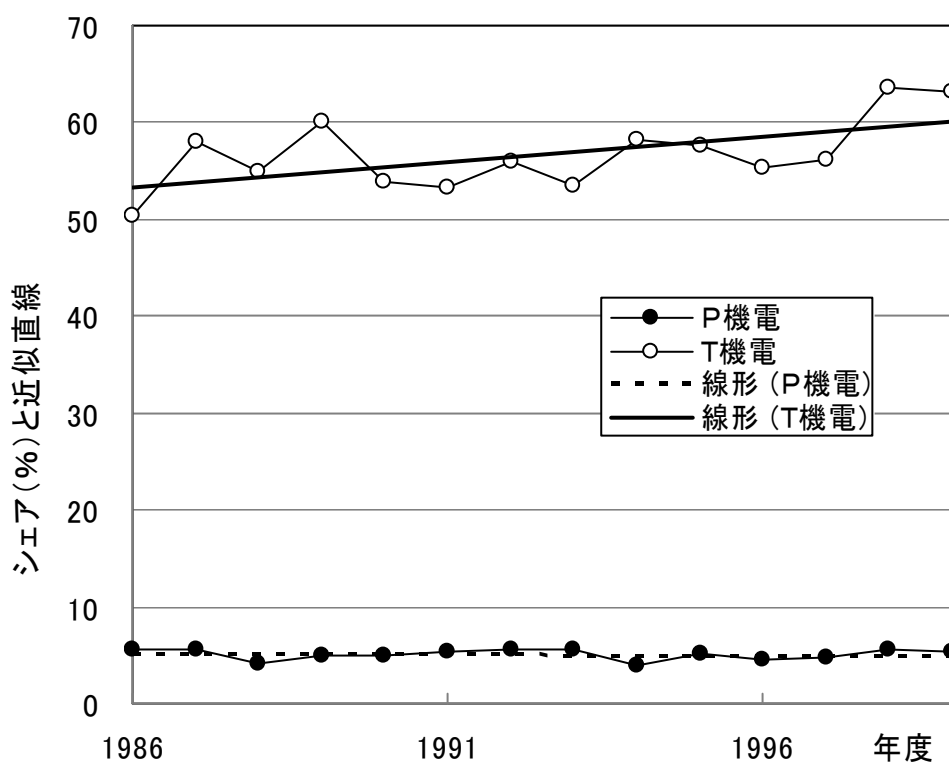


図 6.5 機電工事費シェアの推移

表 6.1 工種別工事費シェア推移の近似直線式

工種	線形（一次関数）式 $y = a \cdot (x - 1986) + b$ （ $y$ ：西暦 $x$ 年度のシェア $a, b$ ：係数）										定数式（平均値）
		a				b				決定係数	
		係数值	t 値	p 値	検定	係数值	t 値	p 値	検定		
機械	P 機械	-0.0181	-0.39	0.702	採択	3.10	12.46	0.000	棄却	0.01	2.98
	T 機械	0.505	2.89	0.015	*	32.78	29.77	0.000	棄却	0.43	36.06
電気	P 電気	0.0126	1.29	0.222	採択	1.99	12.58	0.000	棄却	0.13	2.07
	T 電気	0.0160	-0.05	0.964	採択	20.57	19.07	0.000	棄却	0.00	20.67
機電	P 機電	-0.00553	0.29	0.774	採択	5.09	14.78	0.000	棄却	0.01	5.06
	T 機電	0.521	1.75	0.109	採択	53.35	29.50	0.000	棄却	0.22	56.73

注) t 値, p 値は Microsoft Excel の回帰分析を使用。「係数值がゼロである」帰無仮説の検定に用いる。

p 値<0.01, 0.05, 0.1 で仮説棄却。\*印は水準により採択・棄却が分かれる。

統計検定により傾きを表す全ての係数  $a$  がゼロであるとする仮説がほぼ採択となったので、以下、定数式で計算を進める。T 機械だけに時間依存の可能性がある理由として、図 6.1 よりポンプ及び動力機を除いて T 機械の耐用年数が比較的短く、改築事業費の増加推移が比較的強く現れていることが考えられる。

### (3) 工種別、年齢別改築件数シェア分布の算出

中尾・黒田・大森は 1992 年度末時点で供用開始 5 年以上経過した処理場を有する事業体にアンケート調査し、546 処理場の回答を得て、改築件数を図 6.6 のように機械、電気別、かつ、5 年度ごとの年齢層別に集計した<sup>9)</sup>。(同調査報告を以下「中尾報告」と言う。) 年齢 45 歳以上の件数データが少数あるが、35~44 歳の件数がゼロであり、かつ、大多数である 34 歳以下のデータへの近似性が重要であると考えられるので、図 6.6 及び以下の計算では無視する。

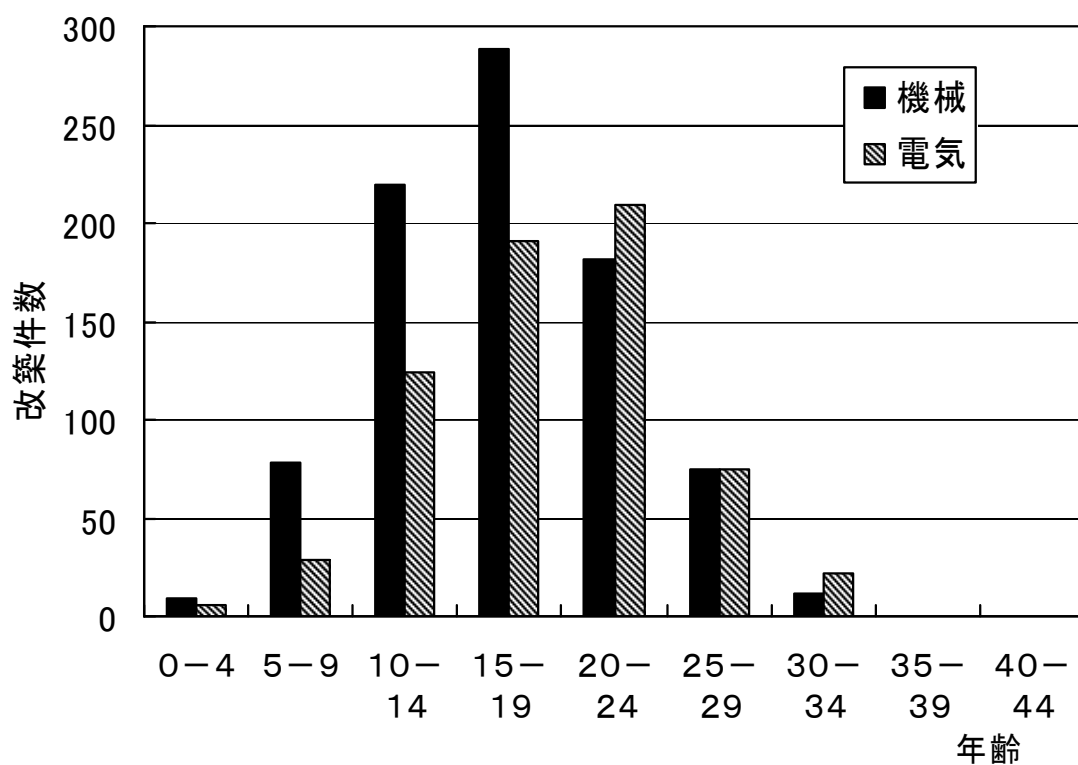


図 6.6 改築年齢実態調査結果 (中尾報告<sup>9)</sup>)

この年齢層別改築件数を総件数で除し、年齢層別改築件数シェア分布を算出する。算出結果を図 6.7~6.8 に示す。

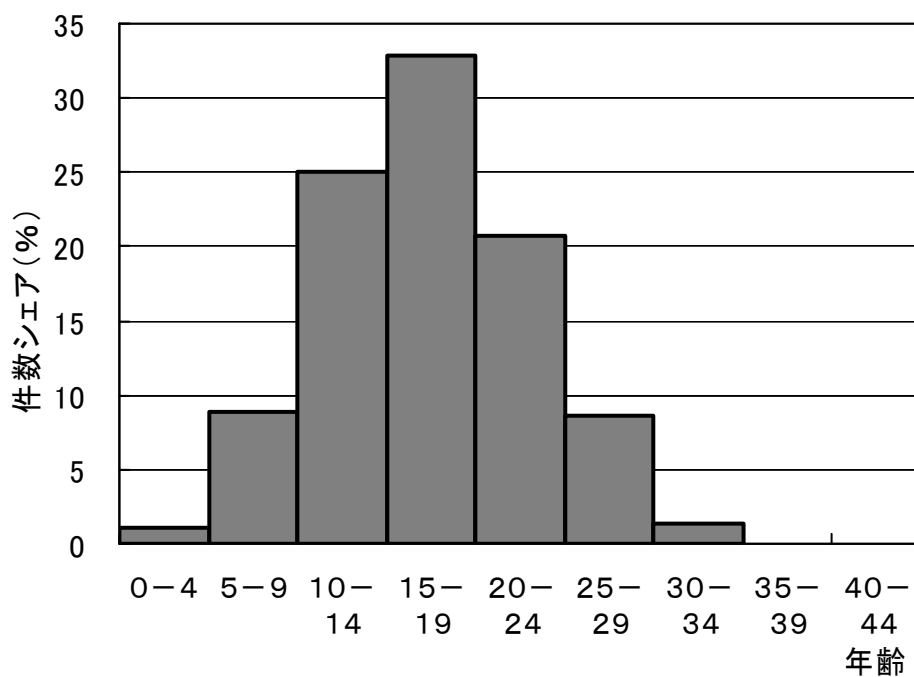


図 6.7 機械改築件数シェア分布

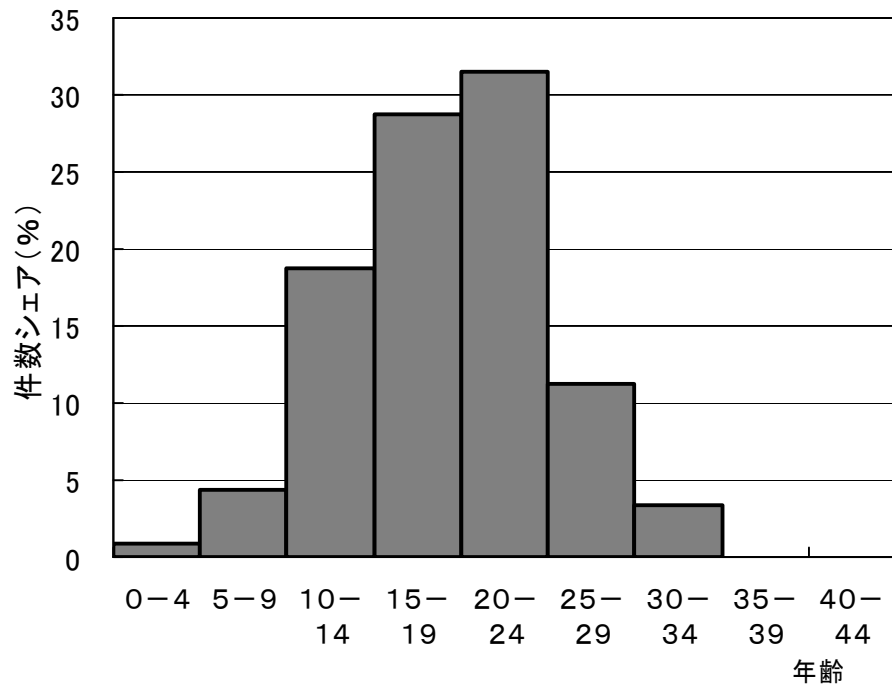


図 6.8 電気改築件数シェア分布

1986～1999 年度版下水道統計要覧<sup>8)</sup>から全国合計の機械、電気工事費を取り出し、両者の比の 14 年間の平均値を算出すると 62.5 : 37.5 となる。この比で図 6.7, 6.8 のシェア分布を加重平均し機電改築件数シェア分布を算出する。算出結果を図 6.9 に示す。

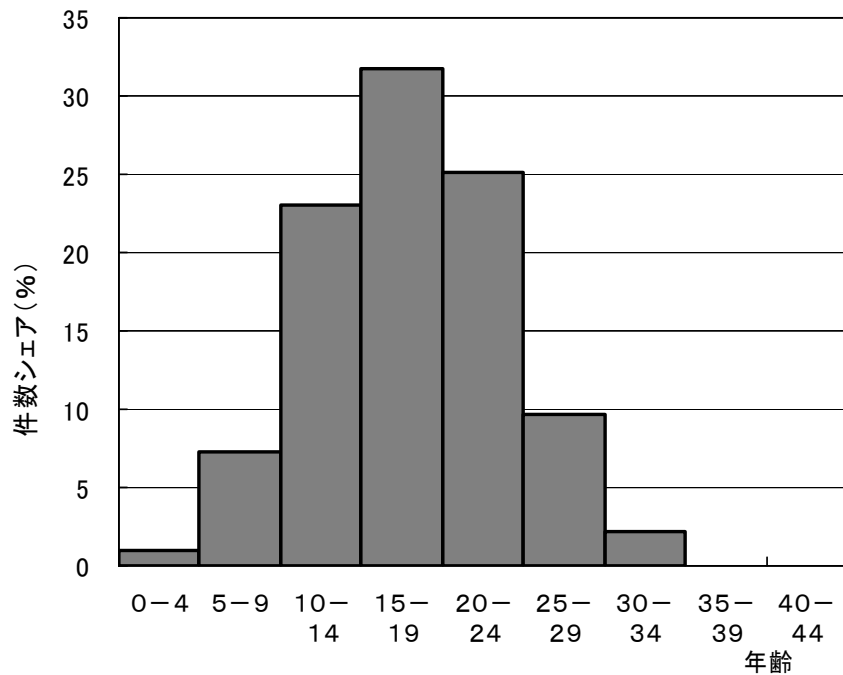


図 6.9 機電改築件数シェア分布

同図の分布は合計値が 100%となり、図 6.7, 6.8 と同様、確率密度関数である。図 6.7～6.9 の平均、



標準偏差を表 6.2 に示す。

表 6.2 改築件数シェア分布の平均, 標準偏差

	機械	電気	機電
平均 (年)	16.8	18.7	17.5
標準偏差 (年)	5.90	5.93	5.98

(4) 過去各年度の PT 別設置事業費の算出

1976～2007 年度については国土交通省資料<sup>10)</sup>から全国の総事業費を, 1958～1975 年度については日本の下水道(1997)<sup>11)</sup> から下水道投資の金額を取り出し, 1958～2007 年度の設置事業費とする。これを表にまとめたものは表 1.1 であり, 次に再掲する。

再掲 表 1.1 全国下水道事業の過去 50 年の設置事業費 (単位: 億円)

年度	金額	年度	金額	年度	金額
2007	21,100	1990	24,422	1973	5,460
2006	21,614	1989	24,488	1972	5,310
2005	23,022	1988	23,952	1971	3,740
2004	24,326	1987	24,191	1970	1,920
2003	25,672	1986	19,860	1969	1,600
2002	29,207	1985	17,280	1968	1,390
2001	32,603	1984	16,007	1967	1,280
2000	34,093	1983	16,047	1966	1,040
1999	36,887	1982	17,097	1965	813
1998	48,781	1981	18,349	1964	614
1997	34,361	1980	18,052	1963	498
1996	33,790	1979	16,909	1962	381
1995	41,331	1978	14,577	1961	300
1994	31,494	1977	11,630	1960	224
1993	39,175	1976	7,505	1959	133
1992	30,647	1975	6,980	1958	98
1991	25,572	1974	4,770	合計	840,592

PT シェアとして 1967～2005 年度については図 6.2 の数値を、それ以前の 1958～1966 年度については同図中の平均値 72.5 : 27.5 を、2006, 2007 年度については同図の最近 20 年間、すなわち 1986～2005 年度の平均値 75.6 : 24.4 を用いる。なお、下水道統計にも総事業費は掲載されているが、上記の国土交通省資料<sup>10)</sup>等のものを選択する。

過去各年度の設置事業費にそれぞれの年度に対応する P シェア, T シェアを乗じ、下水道工事費デフレーター<sup>12)</sup>で除して 2000 年度基準の P 設置事業費, T 設置事業費を算出する。算出結果を図 6.10 に示す。

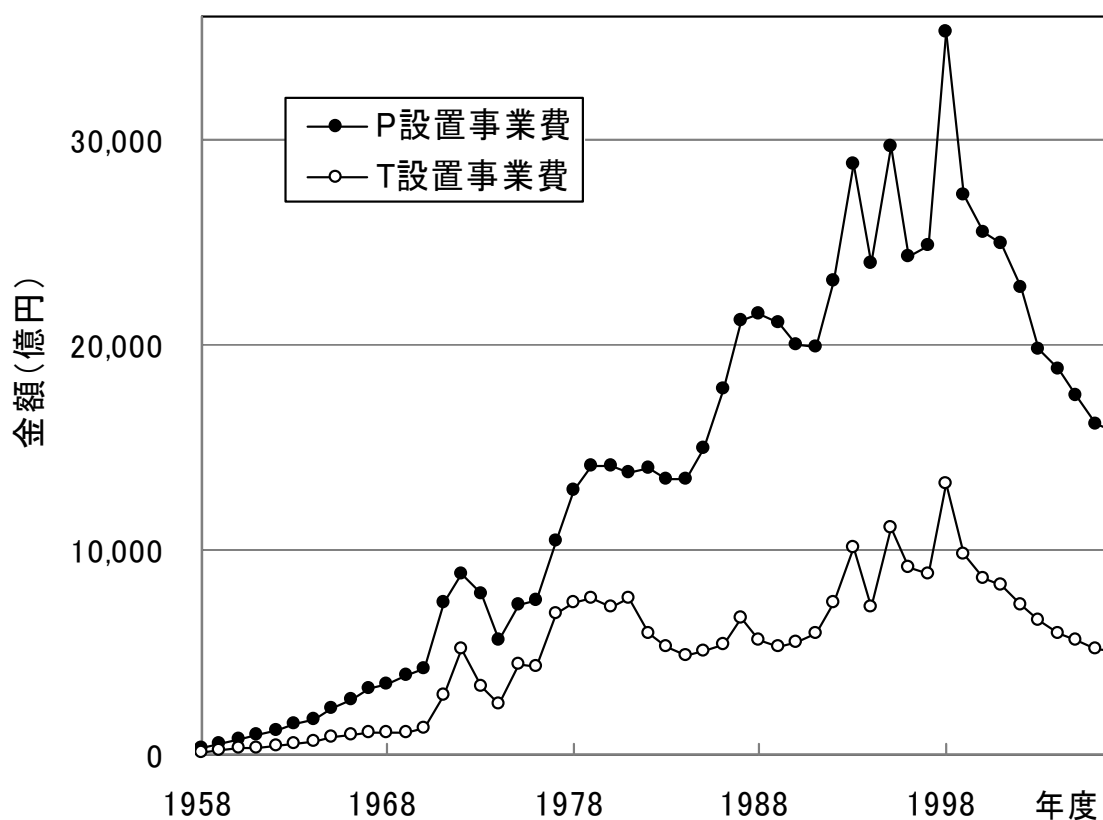


図 6.10 デフレーター補正後の過去各年度 PT 別設置事業費

(5) 過去各年度の工種別設置事業費の算出

過去各年度について図 6.10 の P 設置事業費, T 設置事業費にそれぞれ表 6.1 の近似直線で算出される工種別 P シェア, T シェアを乗じ, PT 合計して工種別設置事業費を算出する。算出結果を図 6.11～6.13 に示す。

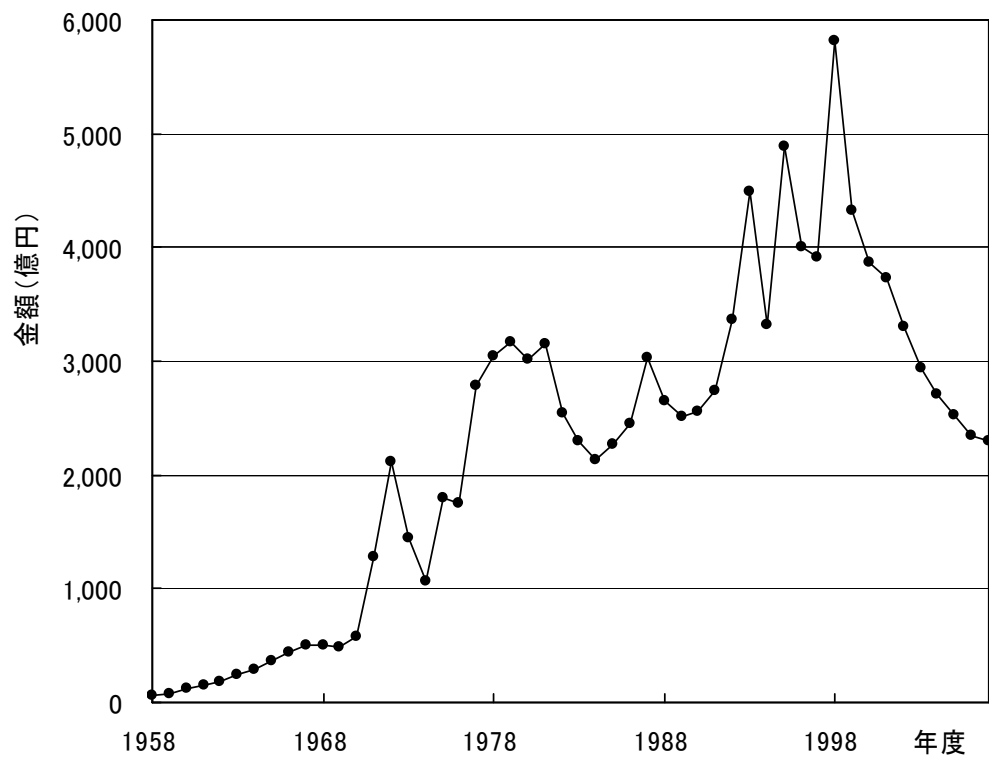


図 6.11 過去各年度の機械設置事業費の推移

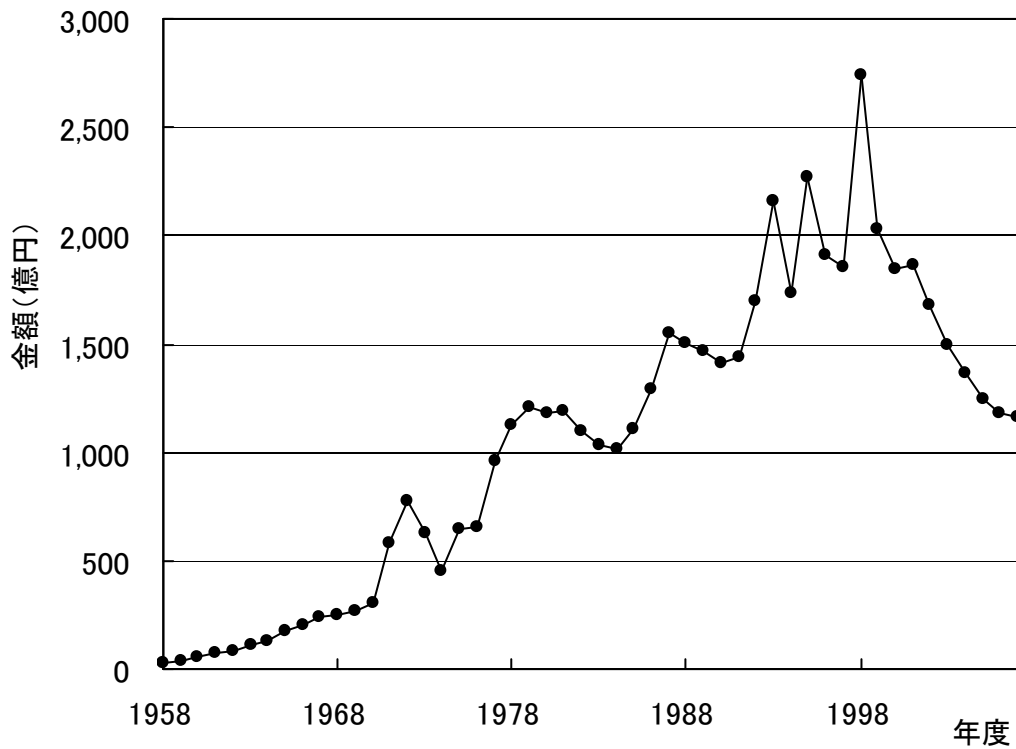


図 6.12 過去各年度の電気設置事業費の推計

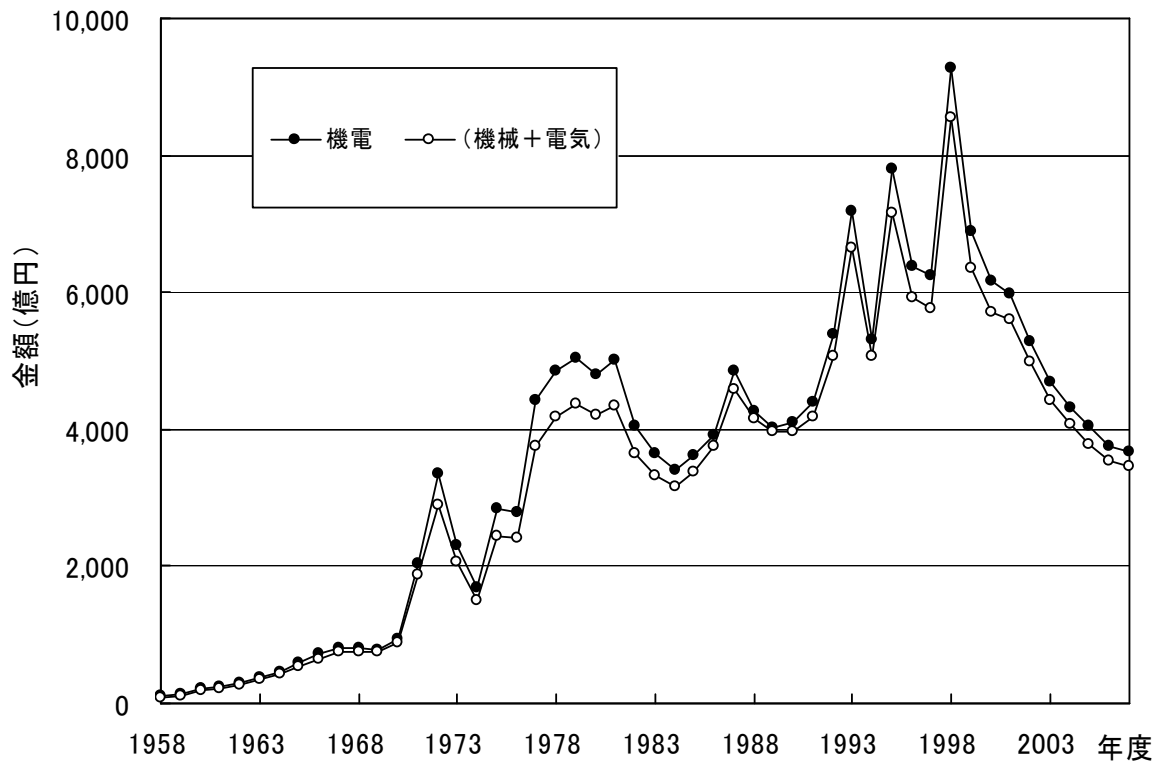


図 6.13 過去各年度の機電及び（機械+電気）の設置事業費の推移

図 6.13 に示すように、機電と図 6.11, 6.12 の数値を合計した（機械+電気）とは差が小さい。図 6.13 の各年度の機電設置事業費を巻末の付録 2 に添付し、以下の計算ではこちらの方を用いる。

## 6. 2. 2 試行反復計算による耐用年数確率分布の設定

### (1) 工種別、設置年度別、年齢別改築事業費の仮算出

過去各年度( $i=1958, 1959, \dots, 1991$ )に設置された年齢  $j$  ( $j=1, 2, \dots, (1992-i)$ )時点の設備について、ワイブル分布の  $m, \eta$  に適当な初期数値を設定した確率密度関数  $fw(j)$ を仮の耐用年数確率分布として用い、前節 6. 2. 1 (5)で算出した工種別設置事業費  $FS(i)$ を用い、(6.1)式により設置年度別、年齢別の仮の改築事業費  $s(i, j)$ を算出する。

$$s(i, j) = fw(j) \cdot FS(i - j) \quad (6.1)$$

### (2) 年齢層別改築事業費シェア分布の仮算出

過去各年度( $i=1958, 1959, \dots, 1991$ )に設置された年齢  $j$  ( $j=1, 2, \dots, (1992-i)$ )時点の設備について、仮算出された改築事業費  $s(i, j)$ を  $j$  に関し図 6.6 の横軸と同じ 5 年ごとの年齢層別に区切って集計し、シェアを仮算出する。

この集計にあたり、設置年度ごとに最大年齢の設備の改築事業費  $s(i, 1992-i)$ のみを集計する場合をケース 1、年齢の最も大きい 5 年分 ( $= s(i, 1992-i-4) + s(i, 1992-i-3) + \dots + s(i, 1992-i)$ ) の改築事業費を集計する場合をケース 2、年齢制限なく改築事業費を集計する場合をケース 3 とする。

中尾報告のアンケート調査では調査基準年度（1992 年度）から過去何年度まで遡って調査対象とするかが不明である。そこで、遡及年度数を 1 年、5 年、無制限とする上記のケース 1、2、3 に分けて比較検討する。

### (3) 最良近似のワイブル分布の推計

仮算出された年齢層別シェア分布を、中尾報告から算出された図 6.7～6.9 の対応工種のものと比較し、最小二乗法により最良に近似するよう  $m$ 、 $\eta$  を少しずつ変えて前々節(1)及び前節(2)の仮算出の試行を繰り返す。最良近似のワイブル分布を表 6.3 に示す。

表 6.3 工種別、ケース別最良近似ワイブル分布

工種	ケース	$m$	$\eta$	$\mu$ (年)	$\sigma$ (年)
機械	1	3.40	26.0	23.4	7.6
	2	3.66	27.7	25.0	7.6
	3	4.09	27.8	25.2	6.9
電気	1	4.31	25.8	23.5	6.2
	2	4.47	27.4	25.0	6.3
	3	4.84	28.8	26.4	6.2
機電	1	3.69	27.0	24.4	7.4
	2	3.97	28.5	25.8	7.3
	3	4.34	29.2	26.6	6.9

なお、平均耐用年数  $\mu$  及び標準偏差  $\sigma$  は次の二式によりワイブル係数  $m$  及び  $\eta$  から解析的に算出される。

$$\mu = \eta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{m} \right) \quad (3.7)\text{式再掲}$$

$$\sigma^2 = \eta^2 \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{2}{m} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{m} \right) \right] \quad (3.8)\text{式再掲}$$

機械、電気、機電について平均耐用年数  $\mu$  の工種間の差は最大で 1.0、0.8、1.4 年、率にして 3～6%

であり、工種及びケース間の差も最大 3.2 年、率にして 12～14% であり、比較的小さいと考えられる。そこで 3 工種の代表的なものとして機電を選択する。さらに、次節 6. 2. 3(3)の計算の結果、2007 年度の推計で改築事業費が設置事業費を上回る額の最も少なかったケース 3（以下、「推計ワイブル分布 A」という。）を代表的なものとして採用し、以下に計算過程を述べる。

### 6. 2. 3 将来各年度の設置事業費の推計

#### (1) 普及率と累計新築事業費の相関

P や T 土木建築に比べ、機電はより細かく下水量の増加に応じて増築されていくと考えられる。そこで、将来各年度の新築事業費を算出する方法として、下水道処理人口普及率（以下単に「普及率」と言う。）と累計機電新築事業費との相関の利用を検討する。

西暦  $i$  年度 ( $i=1959, 1960, \dots, 2007$ ) における新築事業費を  $F(i)$ 、改築事業費を  $S(i)$ 、設置事業費を  $FS(i)$ 、年齢  $j$  ( $j=1, \dots, i-1958$ ) の設備の改築事業費を  $s(i, j)$  とすれば、 $F(i)$  は(6.2)式で算出される。

$$\begin{aligned} F(i) &= FS(i) - S(i) \\ &= FS(i) - \sum_{j=1} s(i, j) \\ &= FS(i) - \sum_{j=1} fw(j) \cdot FS(i - j) \end{aligned} \quad (6.2)$$

過去各年度の普及率データは日本の下水道(2007)<sup>13)</sup> から取り出し、過去各年度の累計機電新築事業費データは、図 6.13 の機電の設置事業費推移を(6.2)式の  $FS(i)$ 、 $FS(i-j)$  に代入し、算出される新築事業費  $F(i)$  を順次累計して算出する。

普及率と累計機電新築事業費の関係及び換算式を図 6.14 に示す。累計計算は左端プロットの 1965 年度から開始している。

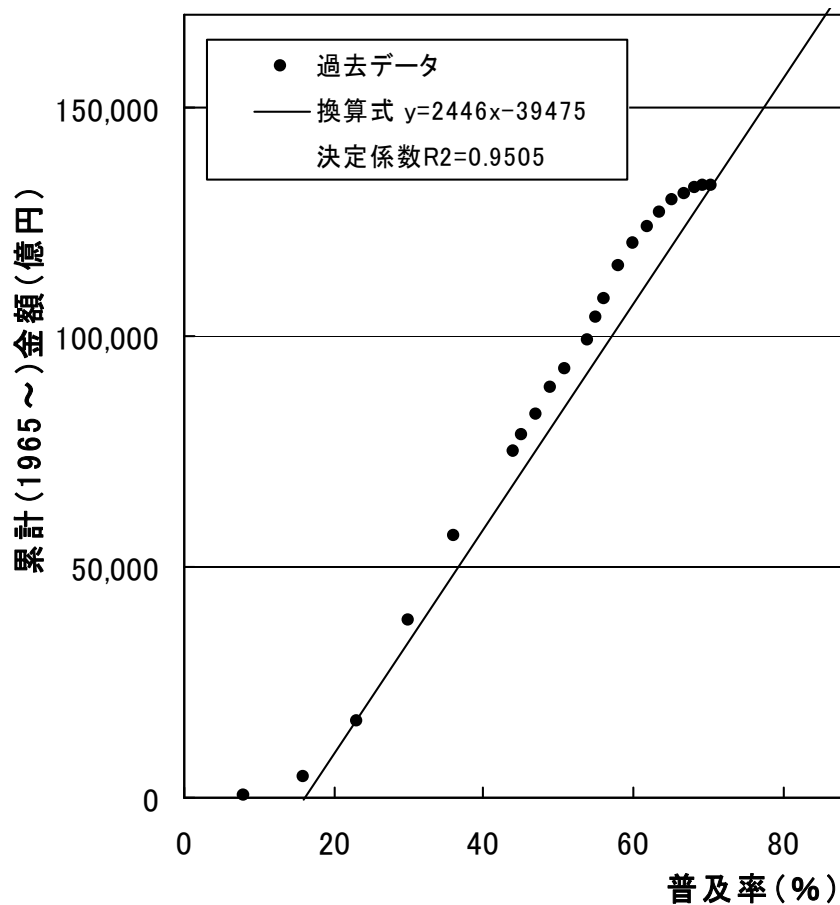


図 6.14 普及率と機電新築累計事業費

普及率から累計機電新築事業費への換算式は、左端のやや外れたプロットを除き、かつ右端プロットの右側である将来領域への連続性を考慮するため、左から3番目及び右端の2プロットを結ぶ直線を選定した。決定係数から概ね良好な当てはまりと認められる。

左端プロットは1965年8%であり、傾きが小さいことから、この年代は以後と比べて普及率1ポイント当たり機電新築事業費が安かったことが推察される。

### (2) 将来各年度の新築事業費の算出

将来各年度の普及率はその増分を近年の実績から年1.2ポイントに設定する。また、普及率の上限は、国土交通省が都道府県構想の計画値を全国集計した最終想定普及率88%<sup>14)</sup>に設定する。将来各年度の新築事業費は換算式の傾き2,446に1.2を乗じた2,935億円となり、2021年度に普及率88%に到達する。2022年度以降は新築事業費をゼロと置く。

### (3) 将来各年度の改築、設置事業費の推計

西暦*i*年度 ( $i=2008, 2009, \dots, 2080$ ) における年齢 *j* ( $j=1, \dots, i-1958$ ) の設備の改築事業費を  $s(i, j)$  とし、 $S(i)$ 、 $FS(i)$ を(6.3)、(6.4)式で算出する。将来の  $F(i)$ は前項(2)で算出されている。

$$S(i) = \sum_{j=1} s(i, j)$$

$$= \sum_{j=1} fw(j) \cdot FS(i - j) \quad (6.3)$$

$$FS(i) = F(i) + S(i) \quad (6.4)$$

計算結果を図 6.15 に示す。機電の設置事業費ないし改築事業費は長期的には年間約 6,800 億円でほぼ一定に推移するものと予測される。なお、過去の F(i), S(i)は前々項(1)で算出されている。

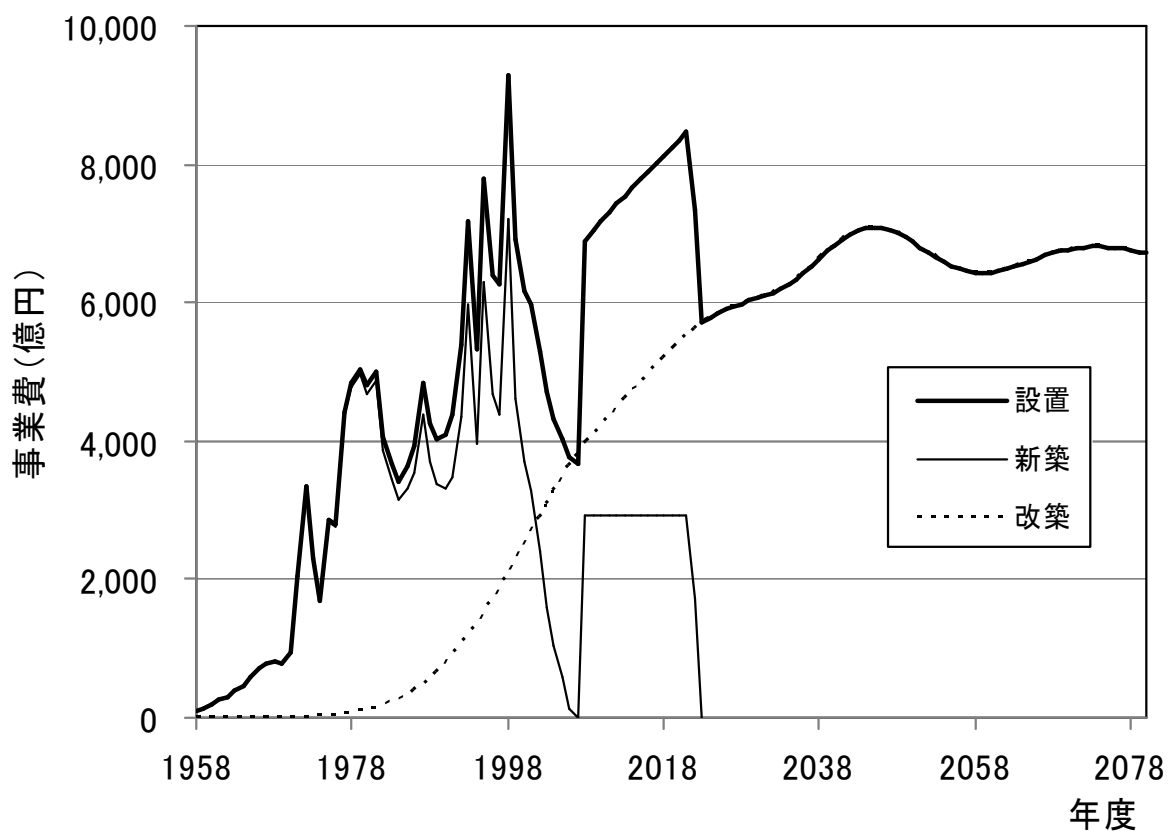


図 6.15 機電の各事業費推移の推計（中尾報告使用）

#### 6. 2. 4 設定分布と別途情報から推計された分布の比較検討

##### (1) 近年の改築工事割合データの検討

機電メーカー団体の公表調査結果によれば、改築工事の金額割合の推移は表 6.4 のとおりである<sup>15)</sup>。



表 6.4 改築工事の金額割合の推移

年度	1999	2000	2001	2002
改築工事の金額割合 (%)	16	17	20	24
年度	2003	2004	2005	2006
改築工事の金額割合 (%)	25	32	33	41

図 6.13 の過去各年度の機電設置事業費に同表の割合を乗じて算出される改築事業費を最小二乗法で最良近似するワイブル分布（以下、「推計ワイブル分布 B」という。）は、試行反復計算により表 6.5 のとおり推計される。同分布を用いた近似状況を図 6.16 に、設置事業費等推移を図 6.17 に示す。

表 6.5 推計ワイブル分布 B

ワイブル係数		平均	標準偏差
m	$\eta$	$\mu$ (年)	$\sigma$ (年)
2.18	52.8	46.8	22.6

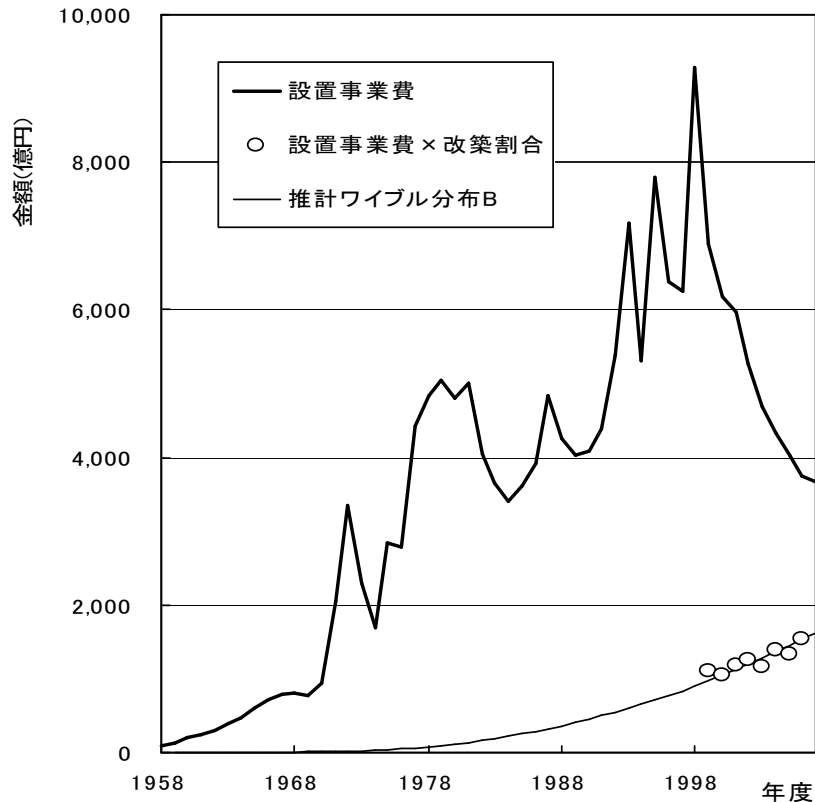


図 6.16 機電設置事業費×改築割合の近似状況

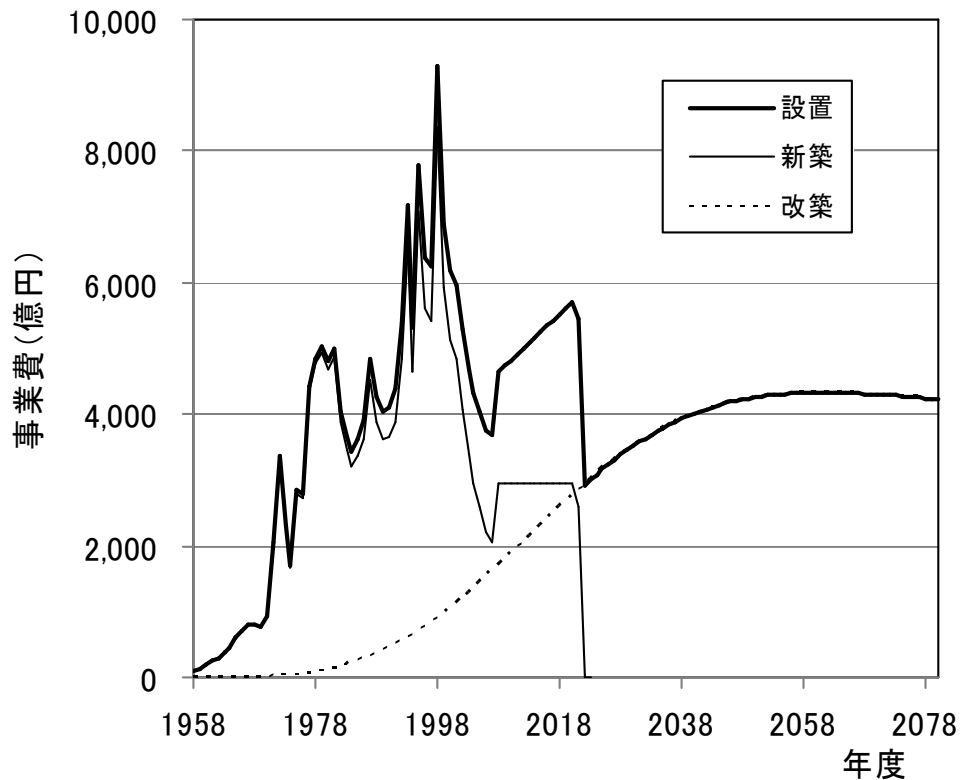


図 6.17 機電の各事業費推移の推計（別途情報使用）

同分布を用いれば 2007 年度は事業費 3,676 億円(100%)中、新築事業費 2,050 億円(56%)、改築事業費 1,626 億円(44%)と推計される。また、平均耐用年数が 46.8 年と長いことを反映し、機電の設置事業費ないし改築事業費は長期的には年間約 4,300 億円ではほぼ一定に推移するものと予測される。

#### (2) 国土交通省資料の改築事業費関連データ

国土交通省の公表資料によれば、2005～2007 年度の改築事業費の国庫補助金は約 700～1,000 億円である<sup>16)</sup>。機電改築事業費は、国庫補助率を低率 1/2 とし、土木建築はなく機電が改築の全てを占めると仮定する大きめの算出値で 1,400～2,000 億円となる。この金額範囲は、前項(1)において 2005、2006 年度について機電事業費に改築割合データ 33%、41%を乗じた 1,333 億円、1,540 億円及び 2007 年度について最良近似ワイブル分布から算出される 1,626 億円を概ねその中に収める。

なお、機電が改築の全てを占めるとする仮定は、下水道整備が本格的に始まったのが 1970 年代であったことから、近年の改築事業費については耐用年数の短い機電が大部分を占め、耐用年数の長い土木建築が少ないと考えられることによる。

## 6. 3 考察

### 6. 3. 1 ワイブル分布近似に必要なデータ

ワイブル分布適用の基本的方法は、3. 2. 3で示したように、まず

- ①同一年度における年齢別改築量分布
- ②同一年度における年齢別供用量分布
- ③年度別設置量分布

の3つのうちいずれか2つの分布データを収集することであり、①②からならハザード関数、①③からなら確率密度関数、②③からなら信頼度関数を近似すればワイブル係数を算出することができる。

しかしながら、いずれの組み合わせについても十分なデータが得られない場合、別の方法でワイブル分布を決定することが必要となる。第5章ではランダム打ち切りデータの処理法を用いた。本章では③の分布データが収集できたが①②の分布データが収集できなかった。

そこで、①に代替できそうなものとして中尾報告の年齢別改築件数分布に注目し、試行反復計算により表6.3の結果を算出した。そして、推計ワイブル分布Aを耐用年数確率分布として用い、過去及び将来各年度の改築事業費推計を行った。

### 6. 3. 2 算出されたワイブル分布の利用法

全国、1事業体、1処理場など設備群の改築量データにワイブル分布を良好に近似できた場合、まずその設備群についての将来改築量予測ができ、財政計画の立案に資することができる。さらに、算出された係数値をまだデータの少ない他の類似設備群へ援用することや、係数値の異なる設備群と比較し、異なる原因を究明して効率改善を図ることも期待される。

なお、管渠や土木建築のように単一材料のコンクリートが耐用年数を強く決定していると考えられる場合であれば統計的に算出されたワイブル分布の平均及び標準偏差を個々の施設の耐用年数に類推適用することができると考えられるが、多種多様な設備が混在した機電総体の場合にはできない。

また、高額設備が改築になると当該年度に改築事業費を突出させることとなり、当該年度以外では改築事業費推計額を嵩上げして改築事業費推計精度を下げることとなる。したがって、十分な大きさの設備数を有する群を対象とするか、高額設備の改築事業費推計額は別途マイクロマネジメントで積み上げるのが適当であると考えられる。

### 6. 3. 3 推計ワイブル分布Aの精度・信頼性の向上

#### (1) 課題とその改善方法

中尾報告からの分布を代替的にデータ使用したことによる精度・信頼性低下を補うため、6.2.4で断片的な別途情報により耐用年数確率分布を推計したところ、平均、標準偏差が設定分布の26.6年、6.9年の推計ワイブル分布Aを大きく上回る46.8年、22.6年の推計ワイブル分布Bとなった。

推計ワイブル分布Aでは2007年度の設置事業費がほぼ改築事業費と等しくなり、新築事業費がないことになるので、実態の平均耐用年数は推計ワイブル分布Aの26.6年よりも大きい可能性がある。

他方、推計ワイブル分布Bに関しては、情報源の機電メーカー団体の会員は大手企業であるので、同団体のデータは中小企業の受注分を含めた機電工事全体のデータとは大きく異なる可能性がある。また、国土交通省の改築事業費補助金は、年齢、規模、適正維持管理記録等の条件があるので、中小企業受注分が多いであろう非国庫補助事業費をも含んだ改築事業費全体とは対応していない可能性もある。

さらに、本研究では下水道工事デフレータを用いたが、下水道工事では土木建築の比率が大きく、機電の設置事業費の比率は下水道統計要覧1986～1999年度版<sup>8)</sup>から算出すると、平均で17.1%と小さい。機電の価格水準の補正に下水道工事デフレータを用いることが適切でない、すなわち、機電は土木建築に比べ、性能価格比に格段の向上があり、それが影響している可能性もある。

したがって、算出されるワイブル分布の精度・信頼性の向上のためには、まず、6.3.1①又は②そのもののデータ収集が最も有効であり、次に、統計処理が可能な程度に設備数の大きい事業体(群)のデータ収集が有効であると考えられる。また、機電の性能価格比の推移に手掛かりがあることも考えられる。今後、これらのデータ収集・解析が課題である。

## (2) 別データによる検証

耐用年数確率分布について、推計ワイブル分布A、Bの二つが生じたので、いずれが妥当であるかの検証を可能な方法で試みる。年間平均の処理水量が約5万、15万 $\text{m}^3$ /日である二つの別地方の処理場 $T_1$ 、 $T_2$ の機電に関し、それぞれ1977～2007年度、1980～2007年度の設置事業費及び最近数年度の改築事業費のデータ提供を事業体に要請し、これを解析する。2000年度基準のデフレータ補正後の累計設置事業費はそれぞれ約217億円、429億円である。過去各年度の設置事業費に推計ワイブル分布A又はBの耐用年数確率分布 $fw(t)$ を乗じ、年度ごとに合計した推計額の曲線と最近数年度の改築事業費の実績額のプロットの位置関係を図6.18、6.19に示す。

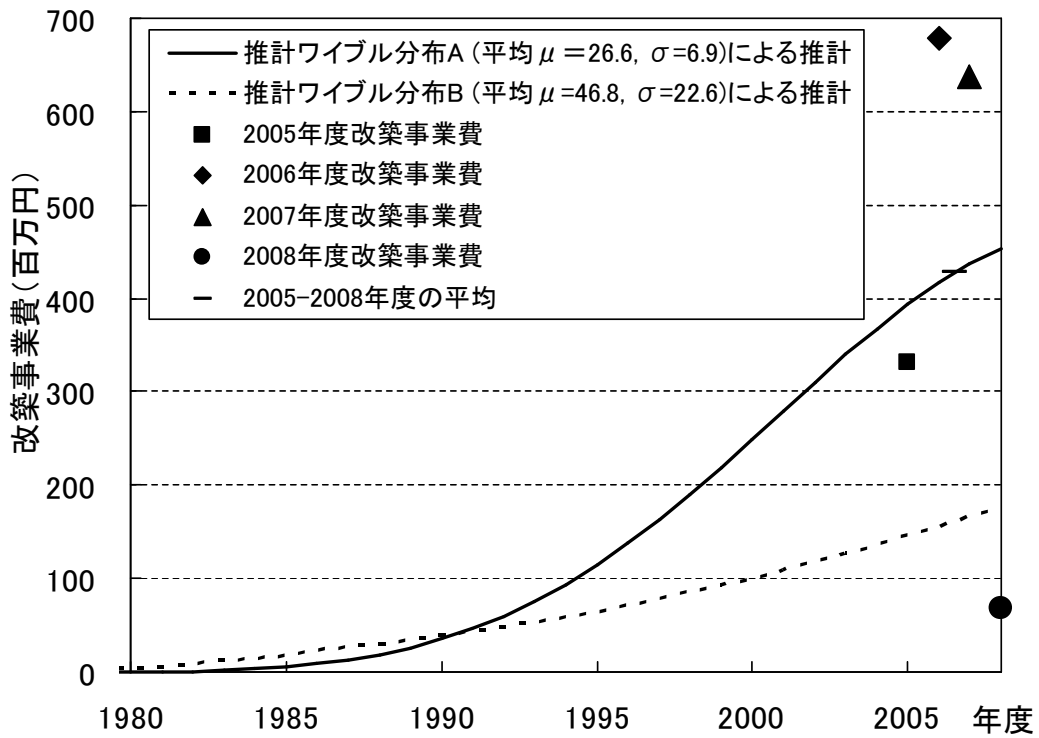


図 6.18 処理場 T<sub>1</sub> の改築事業費の推計額と実績額

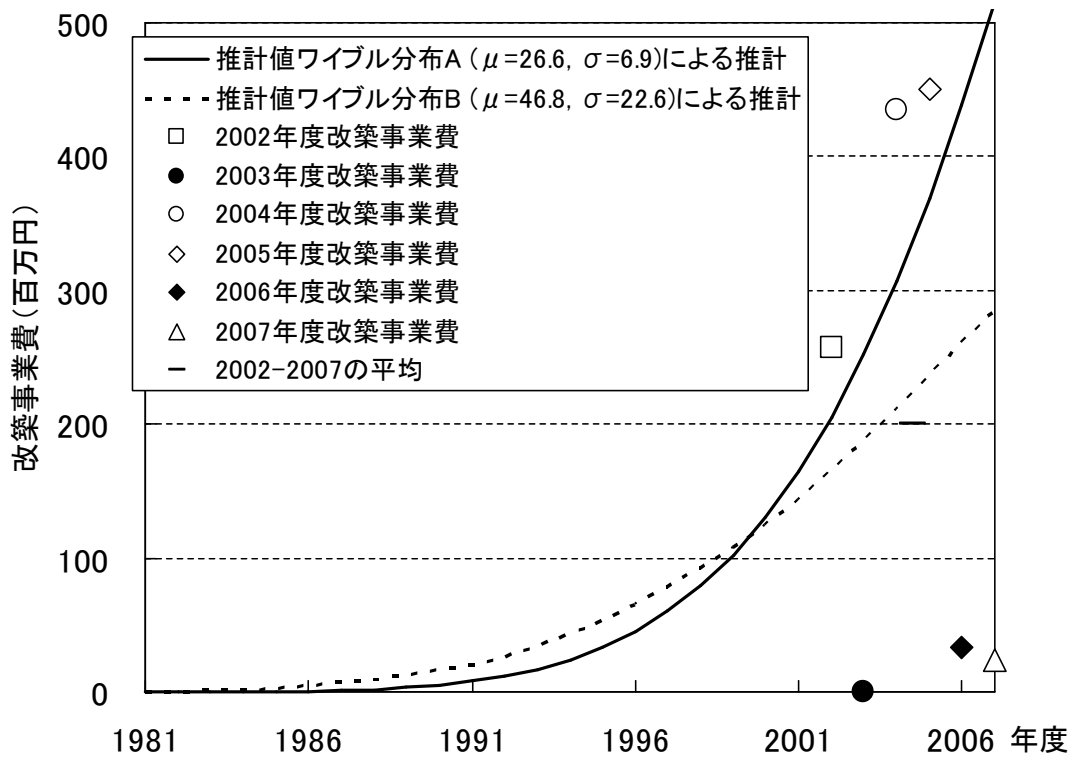


図 6.19 処理場 T<sub>2</sub> の改築事業費の推計額と実績額

実績額の平均は、処理場 T<sub>1</sub> では推計ワイブル分布 A による推計曲線に良く近接しており、処理場 T<sub>2</sub> では推計ワイブル分布 B による推計曲線に比較的良く近接している。いずれにせよ、個々の実績額プロットは大きくばらつき、推計ワイブル分布 A, B のいずれか一つに絞り込むことはできないと考えられる。

そこで当面は、「効率的な汚水処理施設整備のための都道府県構想策定マニュアル（案）」<sup>17)</sup>に掲げられた 25 年に近く、耐用年数を小さめに見積もる安全側であり、かつ、図 6.1 の耐用年数範囲内にある推計ワイブル分布 A の方を採用し、当該現場の過去及び新規データへの適合性を十分に検討しつつ推計に利用するのが適当であると考えられる。

なお、本章の耐用年数は、第 3 章と同様、技術的に望ましい状態保持の観点からではなく、いわゆる「だましだまし」使っている劣化の著しく進んだ状態をも含んだ実態反映の観点から推計されていることを付言しておく。

#### 6. 4 結言

- (1) マクロマネジメントにおいて用途、性質等が多種多様であるため統一的に数値解析することが困難である機電について設置事業費、すなわち金額で統一的に数値化し、耐用年数確率分布や将来改築事業費を推計する手法を考案し、現実の事業データを適用して計算手順を示した。
- (2) 機電設置事業費の全国データにワイブル分布を適用し、耐用年数確率分布として最良近似したワイブル分布（推計ワイブル分布 A）を係数  $m=4.34$ 、係数  $\eta=29.2$ 、平均  $\mu=26.6$  年、標準偏差  $\sigma=6.9$  年と算出した。ただし、平均、標準偏差のより大きな分布を示唆する別途情報もあり、算出値のとおりと断定できるには至っていない。したがって、推計ワイブル分布 A により将来改築事業費推計をする場合、当該現場の過去及び新規データへの適合性を十分に検討する必要がある。
- (3) 推計ワイブル分布 A を用いた将来改築事業費予測では、全国の機電改築事業費は超長期的には年間約 6,800 億円で推移するものと予測される。

#### 〈参考文献〉

- 1) (社) 東京下水道設備協会：LCC を考慮した設計・施工について， p.84， 2006/03，  
[http://setubikyo.or.jp/main/technical/pdf/lcc\\_sekkei\\_siryō.pdf](http://setubikyo.or.jp/main/technical/pdf/lcc_sekkei_siryō.pdf)
- 2) 内閣府政策統括官（経済社会システム担当）：日本の社会資本 2007， 国立印刷局， 2007/03
- 3) 安野貴人， 保田敬一：土木構造物の維持管理と劣化進行のハザード形状， 土木学会， 応用力学論文集， Vol.10， pp.1019-1026， 2007/08
- 4) (社) 日本下水道協会：昭和 42 年度版下水道統計， p.366， 1969
- 5) (社) 日本下水道協会：平成 5 年度版下水道統計， pp.87-89， 1995
- 6) (社) 日本下水道協会：平成 11 年度版下水道統計， pp.118-119， 2001
- 7) (社) 日本下水道協会：平成 17 年度版下水道統計， pp.115-116， 2007
- 8) 例えば (社) 日本下水道協会：昭和 61 年度版下水道統計要覧， p.72， 1988
- 9) 中尾正和， 黒田秀男， 大森栄二：改築の実態・需要に関する調査， (財) 下水道新技術推進機構， p.5， 1993，  
<http://www.jiwet.jp/result/annual/maintenancemanage/pdf/1993d1m.pdf>
- 10) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成 20 年度下水道事業予算概算要求概要， p.97， 2007/08
- 11) 下水道行政研究会：平成 9 年日本の下水道， 日本下水道協会， p.297， 1997
- 12) 国土交通省ホームページ， 建設工事費デフレーター（2000 年度基準），  
<http://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/chojou/ex/deflnendo.xls>
- 13) 下水道行政研究会：平成 19 年日本の下水道， 日本下水道協会， p.280， 2007
- 14) 第 1 章の 5)に同じ。
- 15) 小林一朗：LCC を考慮した下水道施設コストの考え方， 下水道協会誌， Vol.44， No.542， p.28， 2007/12
- 16) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成 20 年度下水道事業関係予算概要， p.58， 2008/01
- 17) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：効率的な汚水処理施設整備のための都道府県構想策定マニュアル（案）， p.20， 2008/09  
<http://www.mlit.go.jp/common/000023893.pdf>

## 第7章 社会的割引率及び金利の影響

### 7. 1 緒言

社会資本整備事業では、事業採択にあたって通例費用便益分析の検討を行う<sup>1)</sup>。すなわち、将来各年に得られるはずの便益を社会的割引率<sup>2)</sup>で割り引いて現在価値化してその合計額を分子(Benefit)とし、将来各年の建設費用と維持管理費用も同様に社会的割引率で割り引いて現在価値化してその合計額を分母(Cost)とし、両者の比(Benefit/Cost)を評価する。また、ライフサイクルコストの検討においても同様な割引手法が用いられることがある。

事業採択では分子、分母とも同じ4%の社会的割引率が用いられる<sup>3)</sup>。この4%を使用する場合、50年後、80年後の将来価値は現在価値化するとわずか14%、4%に過ぎなくなる。コンクリート構造物は耐用年数として50年が使われることが多く、72年が示されている例<sup>4)</sup>もあり、管渠などにコンクリートを多用する下水道事業では、コンクリートなどの管材の長寿命化に見合うコストの増分は限られることになる。同様のことがライフサイクルコストの検討でも起こり、長持ちするが高価な部材や製品が、感覚的な判断に相違して、非効率的と判定されることとなる。

そこで、4%の妥当性について若干の考察を加えるとともに、耐用年数と管材コストについて「短命だが安価なもの」と「長持ちするが高価なもの」のどちらが効率的かを利率によって算出される年当たり費用で比較評価する方法を提示し、さらに将来の人口減少と高齢化の影響によるマクロ経済的な制約を考慮した場合に必要な管材の耐用年数と許容コストの関係について検討する。

### 7. 2 社会的割引率の影響検討

旧建設省は平成11年3月、指針<sup>5)</sup>を策定し、その中で社会的割引率として4%を用いることを定めた。その率は国土交通省の指針<sup>3)</sup>に引き継がれている。また、平成18年11月に改訂された「下水道事業における費用効果分析マニュアル(案)」<sup>6)</sup>でも4%と定められている。

同指針の検討部会資料では、日本の社会的割引率を算出した既存事例における社会的割引率の値が「様々な値をとっており、こうした考え方に基づき統一的な社会的割引率を設定することは困難である」とされ、昭和58年(1983)～平成14年(2002)の10年もの長期国債実質利回り平均が3.52%である

---

<sup>2)</sup> 社会的割引率は『理論的には、消費者の社会的な「時間選好率」、すなわち、世代間の公平性等も考慮した社会的な立場で、ある量の消費を現時点であきらめたときに、その量と将来見返りを要求する量との比と、「資本機会費用率」、すなわち現在手に入る財が投資に回されることによって増加する量との比が等しいときに、現在手に入る財と将来手に入る財との交換市場が均衡すると考えられ、その均衡点において社会的割引率が得られる。』<sup>2)</sup>と定義される。



こと、欧州等の海外の費用効果分析では3~12%（ドイツ3%，その他欧州3.5~8%）が設定されていることなどが示されている<sup>7)</sup>。しかし阪田・林山の論文<sup>8)</sup>から上記既存事例の社会的割引率の値の一覧が引用されているものの、同論文自体が重複世代モデルを用いて政府が効率的な公共投資を行う場合の社会的割引率を近年では約2%と算出したことについては触れられていない。

また、地方公共団体からは道路事業に関し4%は高すぎるとする意見が出されている<sup>9)</sup>。

長期利子率は図7.1に示されるように過去約30年を見渡せば平均的には4%程度とみられる。しかし、今後の社会資本整備の投資効果や資金調達は今後の長期利子率に基づくべきであるので、過去がどうであったかだけでなく今後の日本の社会経済情勢がどのようになるかの観点が重要である。長期金利は1980年頃の11%をピークに2003年の約1%にまで下がり続けた。2008年12月1日現在、長期国債代表銘柄の金利は1.390%となっている。

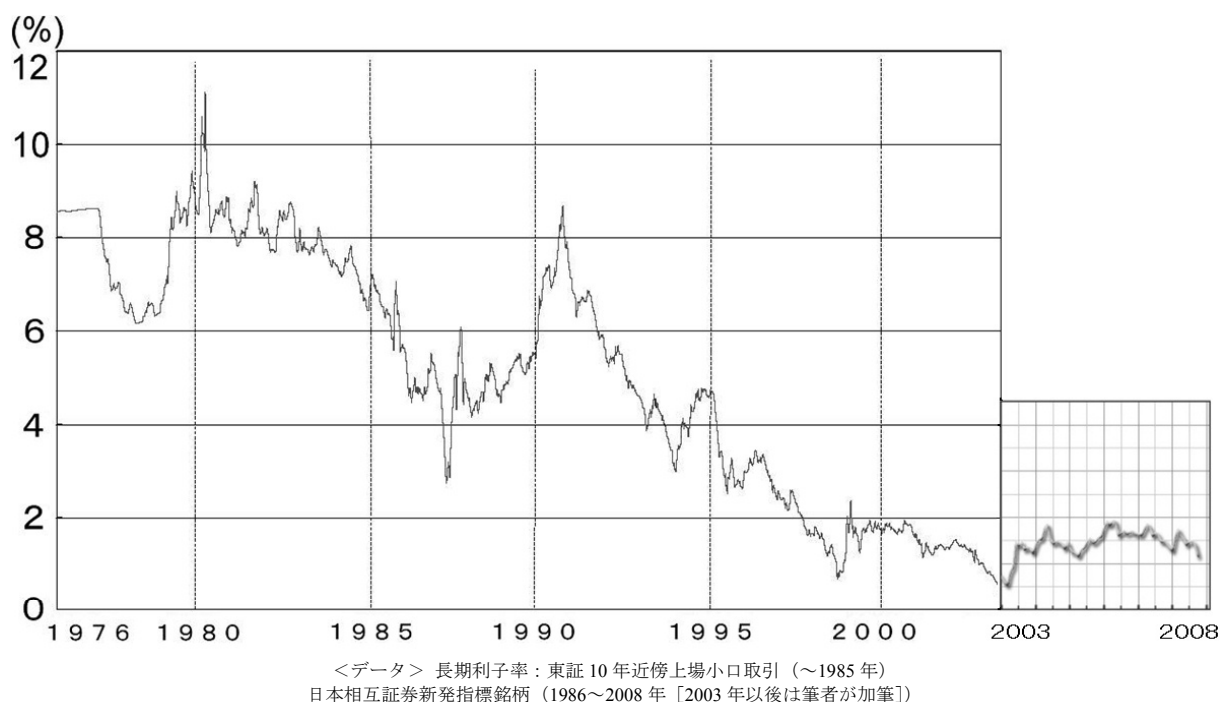


図7.1 日本の長期金利の推移（1976～2008年）<sup>10)</sup>

クーは、景気回復及びゼロ金利解除後にもかかわらず最近の長期金利が2%前後であることについて、バブル崩壊による資産価格の大幅下落が企業を債務超過に陥らせ、バランスシート健全化のため債務返済を続けてきた経営者の多くが返済後も借入れをしようとしなくなったことが原因であると、類例として大恐慌後のアメリカで長期金利が低迷し続け、恐慌前の水準に戻るのに約30年かかったことを掲げている<sup>11)</sup>。

将来の長期金利の動向については、エコノミストの間でも様々な見方があり<sup>12)</sup>、今後さらに低いレベルにとどまるという見通しとなれば、4%の割引率を見なおすという動きが出てくる可能性もあ

ろう。

費用便益分析では、投資の便益は投資しなかった場合に予測される被害や代替手段の費用の削減分として計測される場合が多く、分子の便益と分母の費用に同じ社会的割引率が適用される。

しかし、実際には金利は景気や物価に応じ、政策誘導され、また、時間選好率<sup>2</sup>は長期間大幅に下がりが続けてきた長期金利とは異なり後述のように 0%近くを横ばいしているとの算定値も見られる。そこで、金利と時間選好率が等しいという仮定を置かず両者を別々とし、費用、便益を割り引く社会的割引率としてそれぞれ長期金利、時間選好率を用いる考え方もありうる。

費用を割り引く社会的割引率については、小林が「アセットマネジメントにおいては、稀少な資源を用いるのであり、財源の効率的な執行を議論するためには割引率を用いた経済評価を避けることができない。」<sup>13)</sup>と指摘し、また阪田・林山が「世代間の公平性を重視するという倫理的観点から、社会的割引率が低く設定される傾向がある。その結果として、低い社会的割引率に基づく費用便益分析によって、便益の低い長期事業が実施されることになれば、社会全体の利益が損なわれてしまう恐れがある。さらに、社会的割引率の値が、倫理的観点という計測者の主観に基づくものに左右されること自体にも、問題があるとも言えよう。」<sup>14)</sup>と指摘するように、合理的、客観的な理由なく利子率以外の指標を適用したり、ゼロと置く又は考慮しないこととしたりするのは慎重を要すると考えられる。社会資本整備を遅らせて手元に残る資金を実際に金融投資に廻せば確かに利子率だけの利子が得られるという現実性も考慮されねばならない。

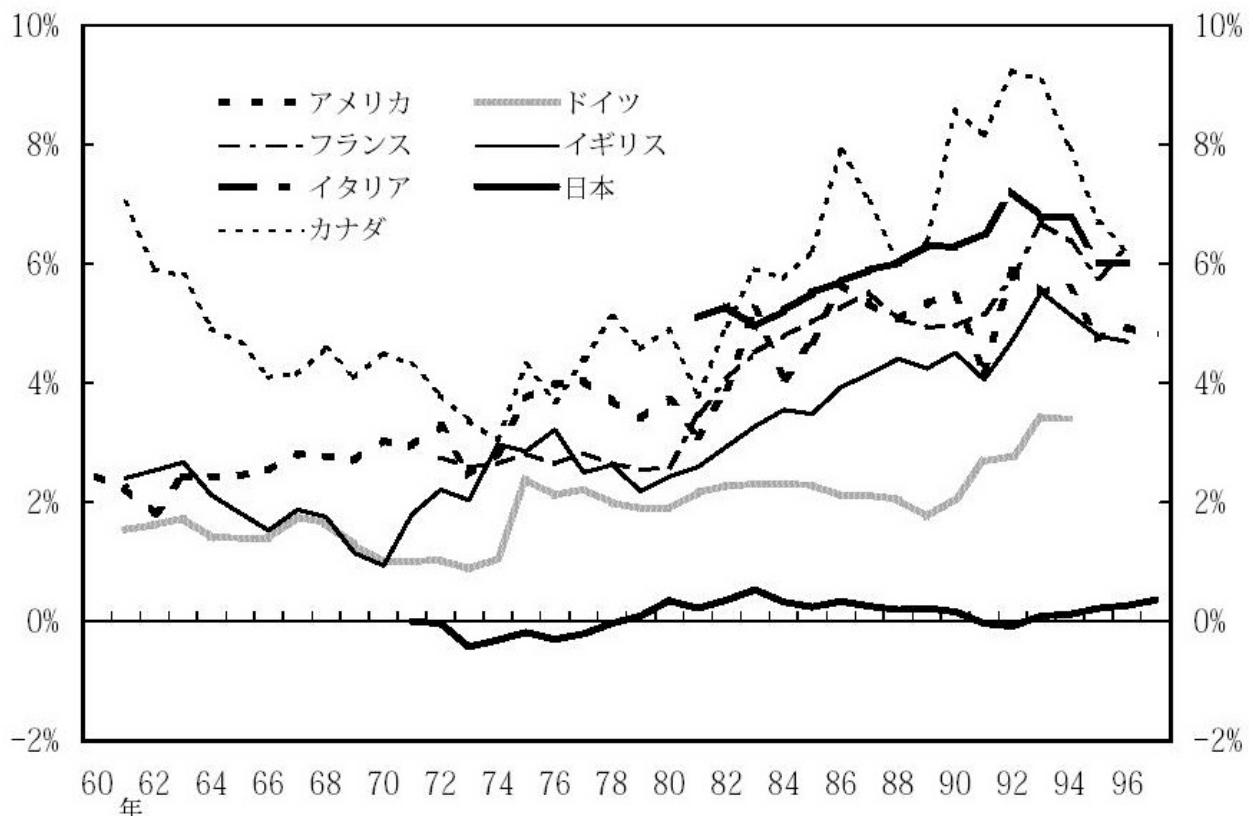
しかし、便益を割り引く社会的割引率については「社会全体が現在の消費を将来に先延ばしすることをどれほど苦痛に感じるかの程度」<sup>15)</sup>という時間選好率の概念が相応しく、日本でその率が低いことは「米百俵」の故事や 1986 年全国下水道促進デーの特選標語「子に贈る大きな遺産下水道」のような日本人的価値観ないし国民性向を示すと考えられる。

大山・吉田の各国間の貯蓄率の比較研究によると、事後的な時間選好率の推移は図 7.2 に示される。ドイツを除く欧米が約 2%から上昇して 5~7%に達しているのに対し、ドイツは約 2%、日本はほぼ 0%のまま横ばいである。

また、浜田は個人貯蓄率の研究において消費、賃金などの全国統計データを用いて時間選好率を最小二乗法で推定し、1956~1979 年度について-3.8%、1980~1994 年度について 1.2%としている<sup>17)</sup>。

さらに、下水道が水質環境保全を主たる目的とした社会基盤であることに着目すれば、「環境関連ではより低い割引率を使うべきだという意見があり、アメリカの環境保護庁は 0%を提唱している。」

<sup>18)</sup>のように環境関連での社会的割引率を意図的にゼロないし低い値とすべきとの主張も注目される。



(出典) 大山剛, 吉田孝太郎: 日本の貯蓄は過剰なのか:あるいは欧米主要国の貯蓄が過少なのか, 日本銀行調査統計局 Working Paper Series 99-5, 付録, 図表6(1), 1999/12

※ 実際の投資率が最適なケースの時間選好率

図 7.2 事後的な時間選好率の推移<sup>16)</sup>

また、ライフサイクルアセスメントでは温室効果ガスや消費エネルギーの量を割り引かずに足し算合計して評価する。近年、地球温暖化被害に関する割引率については、Stem Review<sup>19)</sup> が著名であり、社会的割引率を極めて小さな値に設定したことから様々な議論が起こった。

割引率は費用支出額の決定に関与する者が真に便益を欲する程度であり、確証ある数字を得るには何らかの方法で試す必要がある。温暖化対策便益の金銭価値評価は、従来、仮想的な方法で行われてきたが、近年急速に排出量取引制度創設の動きが活発化し、市場を通じた客観的金額が明らかとなる可能性が出てきた。

排出量取引についても米国政府ゼロクーポン債のような長期の先物買いが可能となるならば、現先価格差から割引率が数字として現れるはずである。先物価格は勿論市場での需給で決まるが、基本的には将来予想価格から金利分を差し引いた価格として決まると考えられる。したがって、現先価格差から決まる割引率は価格変動予想と金利とが複合されたものである。それゆえ、値上がり予想が強ければ割引率がマイナスの値となることもありうる。

地球環境保全を支援したい各国の政府や団体・個人は、もし世代間公平の観点などから割引率を低

目へ誘導したいと願う場合、現物を売って先物を買えば現物価格が下落し先物価格が上昇して実現するはずである。売る現物がなければ先物を買うだけという方法もある。投機資金から先物を売り浴びせられた場合、これを抑止する制度設計はもちろんであるが、長期投資・非営利という支援者資金の性格を生かし、先物限月（年）が期近となるまで辛抱強く反対売買決済を控えるという対抗策がある。

社会資本整備と貯蓄では、資金の流動性や将来リスクに大きな差があり、貯蓄率に基づいて計算された時間選考率をそのまま便益を割り引く社会的割引率に採用していいかどうかの議論はあろう。しかし、日本の下水道事業の特に環境保全に係る便益に関して、社会的割引率を例えば 0～2%程度とすることについては、選択の可能性があると考えられる。

### 7. 3 金利の影響検討

#### 7. 3. 1 工事に係る許容コスト比の算出

利子率 $r$ を考慮して、耐用年数 $n$ 年の施設の建設にかかる工事費 $P$ と年当たり費用 $S$ の関係式は式(7.1)となる。

$$S = \frac{(1+r)^n \times r}{(1+r)^n - 1} \times P \quad (7.1)$$

下水管渠工事において、耐用年数 $n_1$ 、工事費 $P_1$ の基本管材1と耐用年数 $n_2$ 、工事費 $P_2$ の比較管材2とが利子率 $r$ を考慮してライフサイクルコストの観点から同等である場合、両者の元利均等払いの年当たり費用が等しいと置いて(7.2)式が導かれる。

$$S = \frac{(1+r)^{n_1} \times r}{(1+r)^{n_1} - 1} \times P_1 = \frac{(1+r)^{n_2} \times r}{(1+r)^{n_2} - 1} \times P_2$$

$$\frac{P_2}{P_1} = (1+r)^{(n_1-n_2)} \times \frac{(1+r)^{n_2} - 1}{(1+r)^{n_1} - 1} \quad (7.2)$$

式(7.2)を用いて、利子率については 4%、2%及び 1%の 3 ケース、耐用年数については、 $n_1$ を 50 年と設定し、 $n_2$ のいくつかの値について工事に係る許容コスト比 ( $P_2/P_1$ )、すなわち、工事に関し、年あたり費用を変えずにより大きな（小さな）耐用年数を得ようとする場合に許容されるコスト比を算出する。なお、 $n_1$ を 50 年と設定したのは、プラスチック管材について JIS K 7035, 7039, 7116, JSWAS K-2, 16 では 1,000 時間(42 日)又は 10,000 時間(1 年 52 日)後の弾性係数や歪から 50 年後を推定して耐久性能を判定するなど、管材の耐久性を論じる場合の通例に倣ったものである。

算出結果を表 7.1 に示す。許容コスト比が 1 より小である場合、「短命だが安価な」比較管材 2 の

工事においてそれ以下とすることを求められるコスト比を意味する。

表 7.1 工事費に係る許容コスト比

利子率	基本管材1 の耐用年数	比較管材2 の耐用年数	許容コスト比 ( $P_2/P_1$ )
4%	50年	20年	0.63
		45年	0.97
		65年	1.07
		80年	1.11
		100年	1.14
		1000年	1.16
2%	50年	20年	0.52
		45年	0.94
		65年	1.15
		80年	1.26
		100年	1.37
		1000年	1.56
1%	50年	20年	0.46
		45年	0.94
		65年	1.22
		80年	1.40
		100年	1.98
		1000年	2.20

### 7. 3. 2 管材に係る許容コスト比の算出

前節で算出した工事に係る許容コスト比を用いて管材に係る許容コスト比，すなわち管材に関し，工事費の年当たり費用を変えずにより大きな（小さな）耐用年数を得ようとする場合に許容されるコスト比を算出する。まず具体的工事費を算出するため，概略積算を行った。概略積算は，表 7.2 に示すような条件で行い，管材コスト以外の直接工事費を  $B$ ，諸経費率を  $C_m$  と置く。

下水管渠工事において耐用年数を増加させるものは管材のみであり， $B$ （例えば開削工法の場合，設置手間，土工，舗装工）及び  $C_m$  は同じであると仮定する。各ケースにおける管材コストの直接工事費に占める割合（以下，「管材コストシェア」という。）について，概略積算条件とあわせて表 7.2 に示す。

表 7.2 概略積算条件及び管材コストシェア

工法	種 別	管 径 (mm)	対象延長 (m)	土被り (m)	基本管材 コスト：A <sub>1</sub> (千円)	管材料費以外の 直接工事費：B (千円)	管 材 コスト シェア
開削工法	剛性管 (鉄筋コンクリート管)	150	30	1.0	50	650	7%
	可とう性管 (硬質塩化ビニル管)				28	614	4%
小口径 推進工法	高耐荷力：泥水方式	150	75	/	555	5,632	9%
	低耐荷力：圧入方式	250			547	2,764	17%
中大口徑 推進工法	刃口工法	800	20	/	578	2,459	19%
管更生 工法	自立管	250	30	2.0	624	490	56%

基本管材 1, 比較管材 2 のそれぞれのコストを  $A_1$ ,  $A_2$  とすると工事費  $P_1$ ,  $P_2$  は(7.3), (7.4)式となり, 両式から  $(1+C_m)$  を消去して(7.5)式が導かれる。前節でケースごとに得られた  $P_2/P_1$  の値を(7.5)式の右辺に代入すれば, 基本管材コスト  $A_1$  に対して利子率  $r$ , 比較管材 2 の耐用年数  $n_2$  に応じてライフサイクルコストの同等な比較管材コスト  $A_2$  の額, さらには管材に係る許容コスト比  $A_2/A_1$  が算出される。各ケースにおける  $A_2/A_1$  を図 7.3~7.5 に示す。なお, 維持費は算入していない。

$$P_1 = (A_1 + B) \times (1 + C_m) \quad (7.3)$$

$$P_2 = (A_2 + B) \times (1 + C_m) \quad (7.4)$$

$$A_2 = \frac{P_2}{P_1} \times (A_1 + B) - B \quad (7.5)$$

基本管材 1 の耐用年数を 50 年と設定する。この場合, 耐用年数の異なる比較管材 2 について, 下水道管理者が比較管材 2 の採否のために経済効率性を検討するとき, あるいは管材メーカーが競争力のある新製品 (比較管材 2) を開発しようとするとき, 比較管材 2 はその耐用年数及び管材コストが図 7.3~7.5 の曲線上にあればライフサイクルコストの観点から基本管材 1 と同等となると考えられ, 曲線より下方であれば基本管材よりも経済的であると判定される。

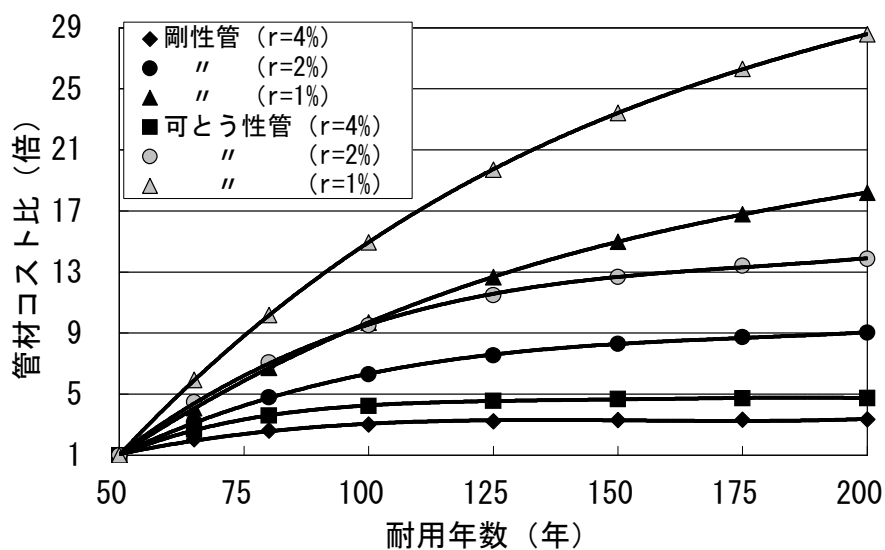


図 7.3 管材に係る許容コスト比 (開削工法)

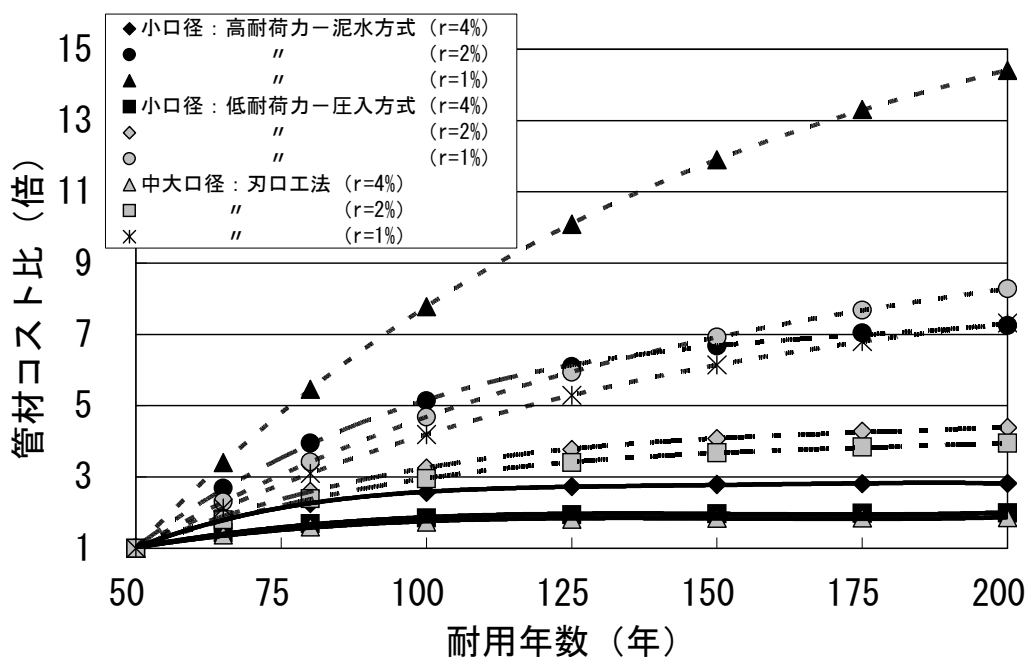


図 7.4 管材に係る許容コスト比 (推進工法)

例えば図 7.3 より、利子率  $r=4\%$ 、開削工法について、耐用年数 50 年のものをさらに 50 年増加させ、耐用年数 100 年となるよう新製品の開発を行う場合、管種が剛性管のときは基本管材コストの 3.0 倍、可とう性管のときは 4.2 倍までコストアップしても経済効率的と判定される。

利子率が小さいほど、管材コストシェアが小さいものほど曲線は上方へシフトし、許容コスト比は大きくなり、長寿命化で経済効率的となりうる可能性は高くなる。

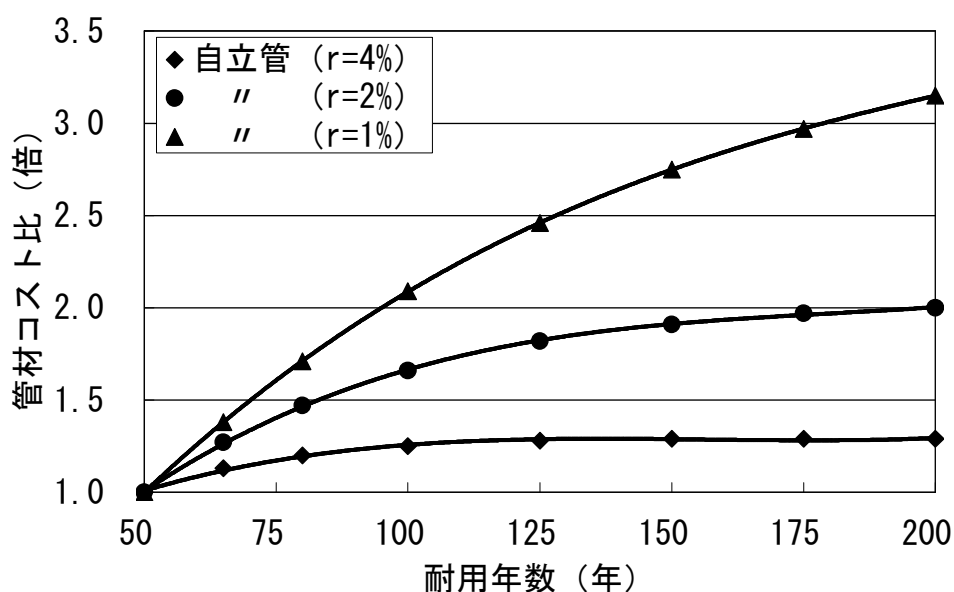


図 7.5 管材に係る許容コスト比 (管更生工法)

逆に、比較管材 2 の耐用年数を減少させる場合、すなわち「短命だが安価な」管材を採用または開発しようとする場合、「短命」に対応するコストダウンが必要であるが、管材コストは 0 円以下とはならず、耐用年数の減少には限界がある。参考として、各ケースにおいて管材コストが 0 円となる耐用年数 (以下「最短耐用年数」という) を表 7.3 に示す。

表 7.3 管材コストシェア，利子率から算出される最短耐用年数

工 法	種別等	利子率	最 短 耐用年数
開削工法	剛性管 (7%)	4%	41年
		2%	45年
		1%	46年
	可とう性管 (4%)	4%	44年
		2%	47年
		1%	48年
小口径 推進工法	高耐荷力 泥水方式 (9%)	4%	39年
		2%	43年
		1%	45年
	低耐荷力 圧入方式 (17%)	4%	33年
		2%	38年
		1%	40年
中大口径 推進工法	刃口工法 (19%)	4%	31年
		2%	36年
		1%	39年

※「種別等」欄の ( ) 内は管材コストシェアを示す。



### 7. 3. 3 修繕工事に係る許容コスト比の算出

改築工事費を  $P_1$ 、修繕工事費を  $P_2$  とし、修繕が本体構造の耐用年数  $n_1$  を増加させず、修繕部分の耐用年数が  $n_2$  であると仮定すると、(7.2)式により、利率  $r=4\%$ 、 $2\%$ 、 $1\%$ 、 $n_1=50$  年について、 $n_2$  と修繕工事に係る許容コスト比  $P_2/P_1$  の関係は図 7.6 のように算出される。

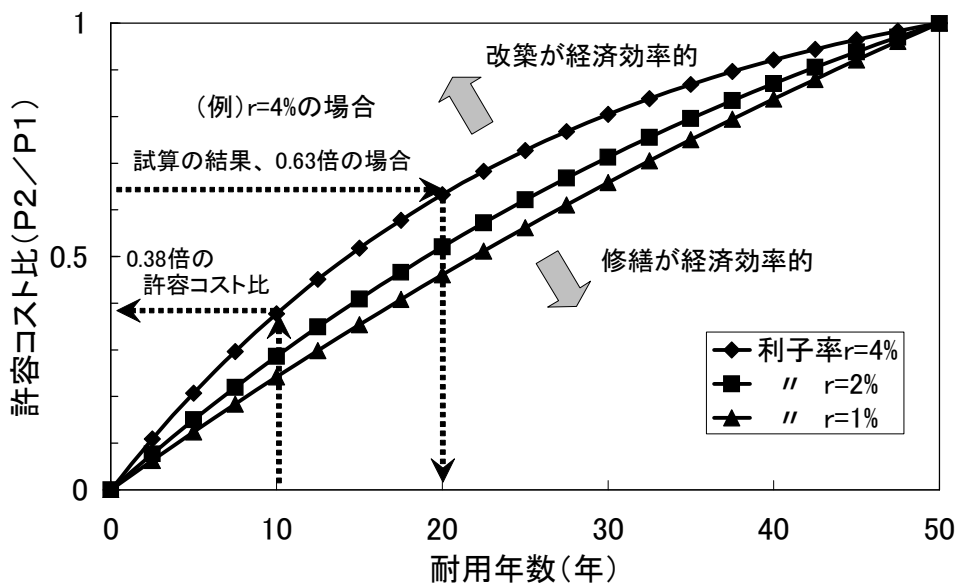


図 7.6 修繕工事に係る許容コスト比

例えば、 $r=4\%$ 、 $n_2=10$  年の場合、 $P_2/P_1=0.38$  と算出され、改築工事費の 0.38 倍以下の工事費の修繕ならば、10 年ごとに修繕を繰り返すことになるが、それでも改築と同等またはそれよりも経済効率的と判定される。0.38 は耐用年数  $n_2$ 、 $n_1$  の比 0.2 (=10 年/50 年) よりもかなり大きな値であるので、従前は割高感のあったであろうこのような耐用年数及び工事費の修繕でも改築と同等以上に経済効率的であると判定される。

また、例えば修繕工事費と改築工事費の比  $P_2/P_1=0.63$  が先に算出されている場合、 $r=4\%$  とすると修繕部分の耐用年数  $n_2$  は 20 年と算出されるので、この修繕は再修繕までに 20 年以上耐用できるならば経済効率的と判定される。

なお、上述の改築工事に対する修繕工事の許容コスト比の算出方法は、基本的な新改築工事に対する「短命だが安価な」新改築工事の許容コスト比の算出にも適用できる。

### 7. 4 公共事業許容量を考慮した耐用年数及び管材に係る許容コスト比の算出

松谷は日本の将来の人口減少と高齢化の影響について国民貯蓄の予測額から民間設備投資、住宅投資、純輸出を差し引いた額を「公共事業許容量」と定義し、社会資本の「更新投資・維持改良費」、

すなわち改築・維持費と併せて、2030年までの推計を行っている<sup>20)</sup>。松谷の推計によると、図7.7に示すように、今後公共事業許容量が次第に減少するのに対して、改築・維持費は次第に増加し、2022年には両者がほぼ同額となり、2030年には公共事業許容量は必要となる改築・維持費の78.8%<sup>21)</sup>まで減少し、十分な改築・維持ができない状態となる。すなわち、改築したくともマクロ経済的に国内に資金がなく、改築できない事態となる。

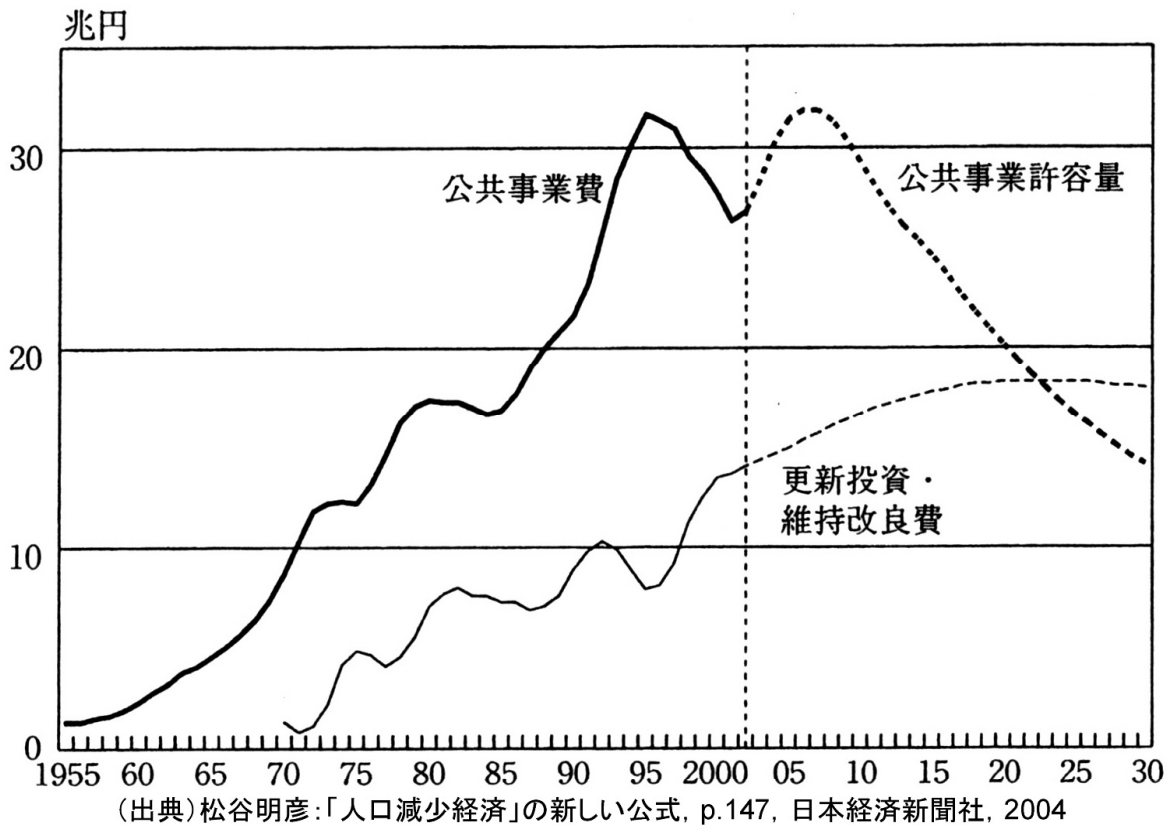


図 7.7 公共事業許容量と更新・維持改良費の推計<sup>22)</sup>

こうした事態に備え、一定の改築コスト増を許容しつつ耐用年数を大幅に増加させて年当たり改築費を減少させ、社会資本事業費を公共事業許容量以下に抑制するという方策が考えられる。この方策の実現のため、必要な耐用年数増加及び管材に係る許容コスト比を算出する。算出にあたり、下水道事業を始め各社会資本事業は改築・維持費を同率で圧縮すること、及び例えば平成16年度管渠等の建設費の全国総額が1兆8,254億円<sup>23)</sup>であるのに対し、維持費の全国総額が1,250億円<sup>24)</sup>とわずかであるので、2030年の改築・維持費は維持費なしの改築費だけと仮定する。

基本管材1及び新管材2に係る(7.1)式の両辺それぞれの比を取り、整理して(7.6)式が導かれる。

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{(1+r)^{n_2} \times r}{(1+r)^{n_2} - 1} \times P_2 \times \frac{(1+r)^{n_1} - 1}{(1+r)^{n_1} \times r} \times \frac{1}{P_1}$$

$$\frac{S_2}{S_1} = (1+r)^{(n_2-n_1)} \times \frac{(1+r)^{n_1} - 1}{(1+r)^{n_2} - 1} \times \frac{P_2}{P_1} \quad (7.6)$$

$$\frac{S_2}{S_1} = (1+r)^{(n_2-n_1)} \times \frac{(1+r)^{n_1} - 1}{(1+r)^{n_2} - 1} \times \frac{A_2 + B}{A_1 + B}$$

$$A_2 = \frac{S_2}{S_1} \times (A_1 + B) \times (1+r)^{(n_1-n_2)} \times \frac{(1+r)^{n_2} - 1}{(1+r)^{n_1} - 1} - B \quad (7.7)$$

(7.5)式を用いて(7.6)式の  $P_2/P_1$  を消去し、整理して(7.7)式が導かれる。(7.7)式において年当たり費用の比  $S_2/S_1=0.788$ 、利率  $r=4\%$ 、 $2\%$ 、 $1\%$ 、 $n_1=50$ 年とし、 $A_1$ に基本管材1の市場価格、 $B$ に管材費以外の直接工事費積算額、 $n_2$ にいくつかの新管材2の目標耐用年数を入れて新管材2の目標コスト  $A_2$ を算出した。各ケースにおける管材に係る許容コスト比  $A_2/A_1$ を図7.8~7.10に示す。

例えば図7.8において、開削工法、利率  $r=2\%$ について、基本管材1の耐用年数が50年であるところ、新管材2では50年増加させ、耐用年数が100年となるよう長寿命の新管材開発を行うとした場合、年当たり費用を0.788倍にコストダウンする目標を達成するためには、剛性管の場合は基本管材1のコストの2.1倍以下、可とう性管の場合は2.8倍以下に新管材2のコストを抑制する必要があることが示される。これらの倍率は、上記目標を課さない場合の6.3倍、9.5倍(図7.3)に比べると大幅に小さくなり、耐用年数増加とコストダウンについて管材メーカーのより多くの努力が必要となる。

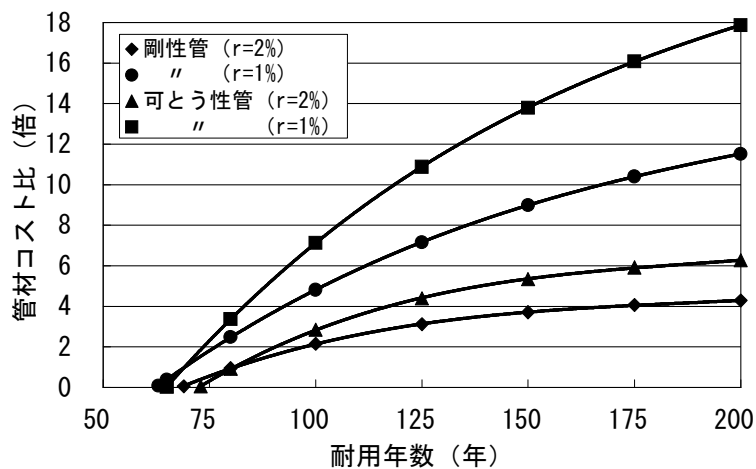


図 7.8 公共事業許容量を考慮した場合の耐用年数と管材コスト比の関係 (開削工法)

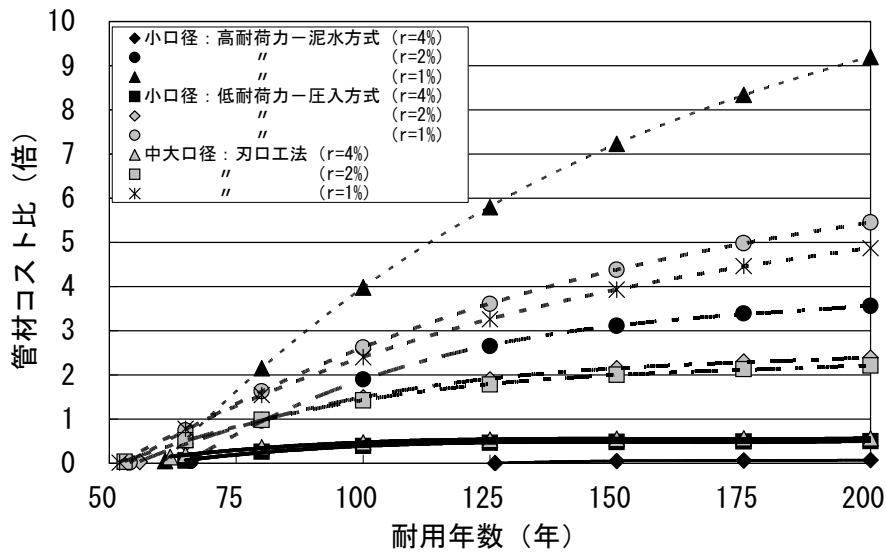


図 7.9 公共事業許容量を考慮した場合の耐用年数と管材コスト比の関係（推進工法）

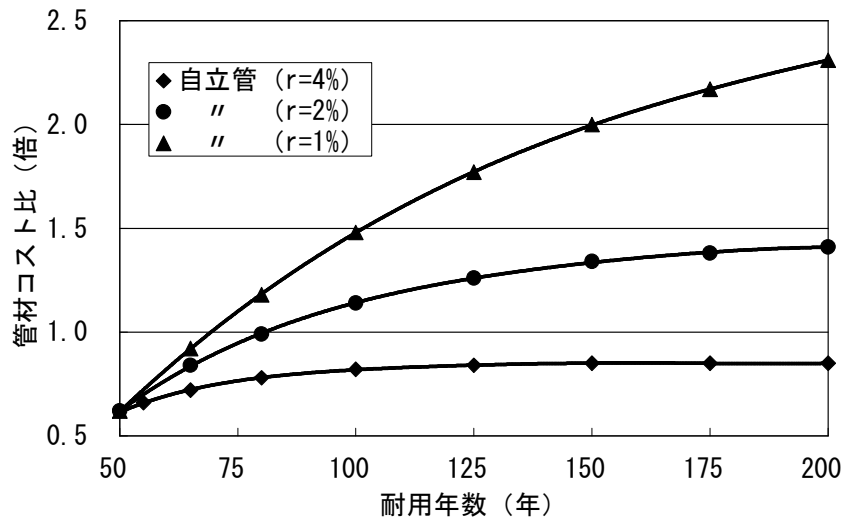


図 7.10 公共事業許容量を考慮した場合の耐用年数と管材コスト比の関係（管更生工法）

なお、利子率  $r=4\%$  については、開削工法では耐用年数にかかわらず  $A_2$  が 0 円未満となり解が得られず、開削工法よりも管材コストシェアが大きい推進工法、管更生工法（自立管）では耐用年数にかかわらず管材に係る許容コスト比が 1 未満での新管材開発が必要であること、すなわち基本管材 1 よりも耐用年数を増加させ、かつ、価格低下させるという厳しい新管材 2 の開発が求められることとなった。管材に係る許容コスト比が 1 未満となる場合があるのは、管材費以外の人件費、機械損料等工事費に係るコスト縮減分をも管材の耐用年数増加及び価格低下で捻出しようとするためである。

$r=4\%$  では管材技術開発だけによる公共事業許容量の問題解決は極めて困難と考えられるが、 $r=2\%$  以下であれば資材メーカーの努力による解決の可能性があるのでないかと考えられる。

## 7. 5 結言

- (1) 管渠工事において、ライフサイクルコストの検討により利子率ごとに耐用年数の増加または減少に見合った管材に係る許容コスト比が算出された。その比は、下水道管理者が各種管材を比較検討する場合、あるいは管材メーカーが耐用年数を増加または減少させる新管材開発をしようとする場合、経済効率性の判定基準となると考えられる。
- (2) 管材は、利子率が小さいほど長寿命化で経済効率的となりやすくなり、利子率が大きいほど短命化で経済効率的となりやすくなる。
- (3) 特に、本体構造の耐用年数を増加させない修繕について、改築と同等以上に経済効率的となるために必要な修繕部分の耐用年数及び改築工事費に対する修繕工事費の比を算出した。
- (4) 人口減少と高齢化により 2030 年に公共事業許容量が必要な改築・維持費の 78.8%まで減少した場合、利子率等に応じ年当たり改築費用を当該%まで引き下げることのできる新管材の耐用年数及び許容コスト比を算出した。その結果から、利子率 4%では難しいが、2%でなら、ある程度価格が上がるが従来よりも耐用年数を大幅に増加させる管材を開発することにより、減少した財源でも必要な改築を行える可能性があると考えられる。

## 〈参 考 文 献〉

- 1) 国土交通省：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針， p. 4， 2004/02  
(<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/13/130206/04.pdf>)
- 2) 国土交通省：第5回事業評価手法検討部会，資料2， p. 34， 2003/05/16  
(<http://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/hyokakento5/2.pdf>)
- 3) 文献1)に同じ， p.5
- 4) 東京都下水道局：下水道構想2001， p.13
- 5) 建設省：社会資本整備に係る費用対効果分析に関する統一的運用指針， 1999/03  
(<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/policy/bbyc/shishin.htm>， <http://www.archive.org/>で表示可能)
- 6) 日本下水道協会：下水道事業における費用効果分析マニュアル（案）， p.12， 2006/11
- 7) 文献2)に同じ， pp.34-38
- 8) 阪田和哉・林山泰久：社会資本ストックの社会的割引率に関する実証的研究，応用地域学研究，  
No.7 pp.99-109， 2002
- 9) 国土交通省：第4回道路事業評価手法検討委員会，参考資料3-2 費用便益分析マニュアル（案）  
についての地方公共団体意見， pp.1-2， 2003/05/01  
(<http://www.mlit.go.jp/road/ir/iinkai/4pdf/s4-32.pdf>， <http://www.archive.org/>で表示可能)
- 10) 財務省理財局：財政投融资分科会資料， p.21， 2003/10/10  
(<http://www.mof.go.jp/singikai/zaiseseido/siryuu/zaitoa151010b/21.pdf>)
- 11) リチャード・クー：「陰」と「陽」の経済学，東洋経済新報社， pp.90-93， 2007
- 12) 内閣府：今後の金利動向，物価，成長率に関するアンケート調査結果，2006/04/28  
(<http://www5.cao.go.jp/keizai2/2006/0501kinri.pdf>)
- 13) 小林潔司：分権的ライフサイクル費用評価と集計的効率性，土木学会論文集，No.793/IV-68，  
p.60， 2005/07
- 14) 文献8)に同じ。p.100
- 15) 大山剛，吉田孝太郎：日本の貯蓄は過剰なのか：あるいは欧米主要国の貯蓄が過少なのか，  
日本銀行調査統計局 Working Paper Series 99-5， p.1， 1999/12  
(<http://www.boj.or.jp/type/ronbun/ron/wps/kako/data/cwp99j05.pdf>)
- 16) 文献15)に同じ。付録，図表6(1)
- 17) 浜田浩児：公的年金と老後用貯蓄-公的年金は今後の個人貯蓄率の低下を緩和する-，郵政研究所  
ディスカッションペーパー， No. 1997-04， 1997/05

(<http://www.soumu.go.jp/iicp/chousakenkyu/data/research/discus/telecom/1997/04.html>)

18) 井堀利宏・福島隆司：費用便益分析に係わる経済学的基本問題，第3章 費用便益分析における割引率，p.40，1999/11

(<http://www.e.u-tokyo.ac.jp/~kanemoto/bc/SEC3.PDF>)

19) Stern, N. : The Stern Review on the Economics of Climate Change, 2006/10

<http://www.occ.gov.uk/activities/stern.htm>

20) 松谷明彦：「人口減少経済」の新しい公式， pp. 146-147， 日本経済新聞社， 2004

21) 文献 20)に同じ， p.148

22) 文献 20)に同じ， p.147

23) 日本下水道協会：平成16年度版下水道統計－要覧－， pp. 128- 129， 2006

24) 文献23)に同じ， p.139

## 第8章 事業へのアセットマネジメントの効果的適用

### 8.1 事業への適用に向けての課題

前章までで主にマクロマネジメント手法について研究を行った。1. 2. 3で述べたように本研究では、単位として扱うことのできる個別施設を対象とした健全度測定、LCC算定、維持修繕、改築更新等の管理をマイクロマネジメント、個別施設を集めて群として全体的に扱う管理をマクロマネジメントと解釈・定義している。

マイクロマネジメントの主な成果は劣化曲線であり、これに基づき個別施設について改築修繕等の最適な時期・内容が計画され、管理コストの最小化すなわちコスト縮減が直接的に行われる。

しかし、マクロマネジメントの主な成果である推計耐用年数分布及び将来改築修繕推計量は、会計処理の適正化や改築修繕予算のアカウントビリティ向上の効果を有するが、直接コスト縮減をするものではない。それら推計に基づき対策・改善の立案をし、対象となる個別具体施設の選定をし、対策・改善の実行をする、すなわちマイクロマネジメントを行って初めてコスト縮減ができる。

例えば今後10年間の各年度管渠改築延長の算出はマクロマネジメント手法で可能である。しかし、予防保全策として早期改築をしようとする場合、マクロマネジメント手法では的確な工事箇所選定ができず、そのためにはマイクロマネジメント手法の劣化状態判定や劣化曲線が必要となる。

このようにマクロマネジメント手法は国や大規模事業体の統括部局など、大きな施設数の群全体について関与・監督する者が経営、財政、組織体制等の大局的な見地から管理するためのツールとして有用であると考えられるので、同手法をどのような具体的実務に反映できるかについて次節で述べることにする。これに対し、マイクロマネジメント手法は大規模事業体の現場事務所や小規模事業体など、個別施設を直接担当する者が工事や維持作業の管理を行うためのツールとして有用であると考えられる。

そして、後者組織単独では管理対象となる施設数が少ないためマクロマネジメントの統計的な処理や推計が適さないと考えられるので、前者組織がこれを担う必要がある。ただし、マクロマネジメント手法は、管渠のように1処理区であっても長大な延長があって統計処理が可能である場合には適用可能であり、機電のように大規模事業体であっても分類ごとの施設数が少ない場合には適さない。また、両マネジメントは長期、短期で区別されるのではなく、適用対象が施設群か個別施設かで区別される。例えば施設群の来年度の必要改築数量や道路陥没数はマクロマネジメント手法に基づいて予測でき、個別施設の長期計画はマイクロマネジメント手法の劣化曲線に基づいて策定できる。

このようにマイクロマネジメントとマクロマネジメントは役割分担してそれぞれの効果を発揮する



が、単に分担するだけでなく両者が有機的に結合すれば、データや計算結果について一方での不足や誤差を他方で補足・修正し、限られたデータを有効活用できる可能性があり、その手法の開発が強く望まれる。特に下水道事業については、アセットマネジメントの本格的な取組みがごく最近のことであるので、データ蓄積の乏しい大多数の事業体が国の全国データ及び先行事業体の大規模データ並びにそれらの計算結果を適切に利用できる手法開発及びデータ公開が政策として望まれる。これについて8. 3節で試案を提示する。

また、今後のデータ収集蓄積にあたっては、どの手法を利用するかや、限られた予算、人員でどこまで継続的にデータ収集できるかを慎重に検討した上で必要な収集項目を設定する必要があると考えられる。そこで8. 3節で本研究の手法に係る必要データ項目を整理して示すこととする。

## 8. 2 本研究成果を反映できる具体的実務

本研究では主にマクロマネジメント手法を開発した。したがって、これを反映できる対象は国又は大規模事業体統括部局の行政上又は事業経営上の作業事項であり、分野としては短期の予算要求、中長期の事業計画、財政計画、組織人員計画であり、具体例として次のものが考えられる。なお、短期のものについては個別具体の対象施設の明示が必要とされるので、ミクロマネジメントが主、マクロマネジメントが従となる連携が必要であると考えられる。

### 【国】

- ・翌年度下水道事業予算概算要求（短期）
- ・翌年度下水道事業債計画（短期）
- ・社会資本整備重点計画（5年，中期）
- ・社会資本整備審議会下水道小委員会報告（中長期）
- ・下水道政策研究委員会・下水道中長期ビジョン小委員会報告（長期）

### 【大規模事業体統括部局】

- ・翌年度の国庫補助金，地方単独費，交付税，起債許可等の予算関連要望（短期）
- ・社会資本整備重点計画（5年，中期）に合わせて作成した当該事業体の計画
- ・下水道法の認可事業計画（7年，中期）
- ・下水道法の認可事業計画を包含する全体計画（20年，長期）
- ・事業体独自策定の業務計画，財政計画，組織人員計画（5～10年，中期）

また、各事業体における本研究成果の当面の利用方法として次のものが考えられる。

- ・財務諸表又はこれに相当するものが作成されている場合，第2章の手法による，ストックが財

務に与える影響度の検討。

- ・自己データ又は全国若しくは東京都のワイブル係数値を使用した，第3章，第5章及び第6章の手法による管渠，処理場コンクリート施設及び機電の将来各年度の改築必要量並びにこれらに対応する事業費及び人員体制の計画策定。
- ・第3章，第5章及び第6章の手法により算出される耐用年数確率分布を考慮した会計上の耐用年数の見直し検討。
- ・自己データ又は図4.1，CASE-6（2006年度）の管齢別陥没発生率を使用した，第4章の手法による将来陥没数予測。
- ・耐用年数，価格及び金利に応じた，第7章の手法による従来管材に対する新管材又は改築工事に対する修繕工事の経済効率性判定。

### 8.3 ミクロマネジメントとマクロマネジメントの突合せ手法

ミクロマネジメントとマクロマネジメントの突合せ手法の主に理論的な試案を以下に述べる。適用対象となるべき実際のデータは十分に得られていないので，その適用性の実証が今後の課題である。

#### 8.3.1 ミクロマネジメント結果のマクロマネジメントへの反映手法

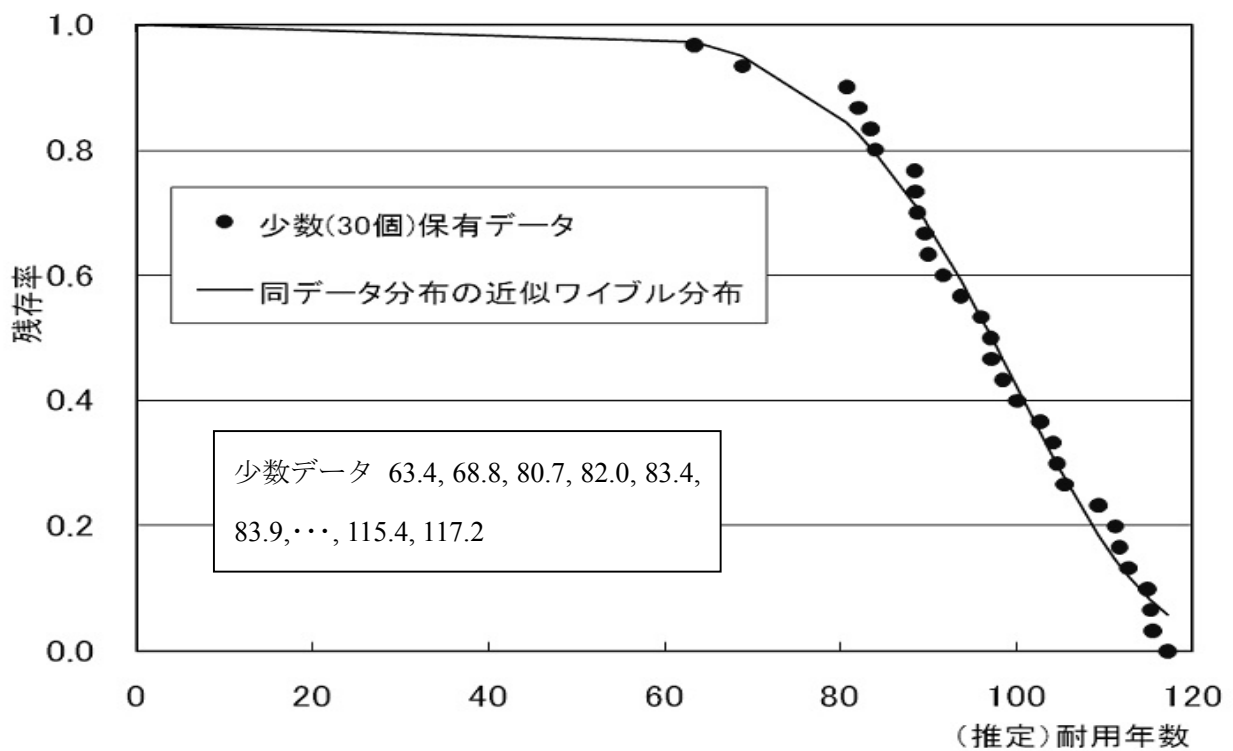


図8.1 尤度関数の作成方法

例えばある事業体が腐食環境Ⅰ類に属する処理場コンクリート施設について30個の実績耐用年数

データを保有し、東京都の I 類耐用年数分布に保有データを反映したいと考える場合のように、ベースとなる確率密度関数に少数の標本データを反映させる方法としてベイズ推定がある。ただし、標本データには偏りが無いことが必要であるので、当該施設の平均耐用年数に比べて事業継続年数が短い事業体では高齢施設データが存在しないため、用いることができない。高齢施設データとして実績データではなくマイクロマネジメントの劣化曲線による推計値で代用できる場合もあるが、データに偏りがある場合の推定については 8.4 で述べる。

上述の例では、まず保有データから尤度関数を作成する。図 8.1 のように横軸に耐用年数、縦軸に残存率を取り、座標(0, 1)をスタートとして耐用年数の小さいデータから順に横軸位置を当該データの耐用年数とし、縦軸位置を  $1/30$  ずつ下げた座標にプロットしていく。最後のデータは横軸上にプロットされる。累積分布関数の作成において原点をスタートとして縦軸位置を等間隔に上げていくのと同じ手順である<sup>1)</sup>。

このようにして各データに均等に確率を分担させた信頼度関数プロットが作成される。これにワイブル分布を近似させて係数を決定すれば、その係数を用いた確率密度関数  $f_{w2}(t)$  が尤度関数となる。

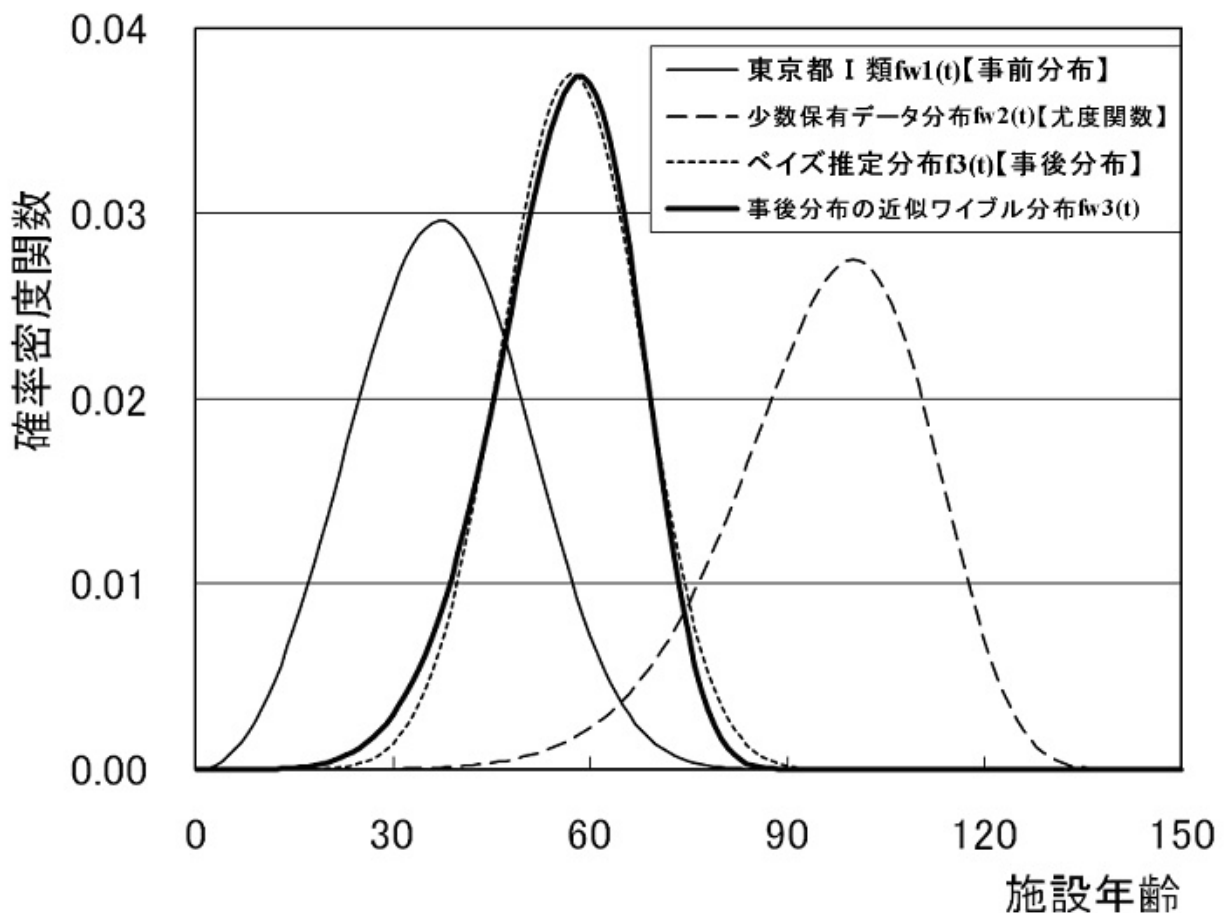


図 8.2 ベイズ推定手法

表 8.1 ベイズ推定例における分布及び関数の概要

	事前分布（東京都 I 類） $f_{w1}(t)$	尤度関数 $f_{w2}(t)$	事後分布の近似分布 $f_{w3}(t)$
ワイブル係数 $m$	3.2	7.6	6.0
ワイブル係数 $\eta$	42	102	60
平均 $\mu$	38	96	56
標準偏差 $\sigma$	13	15	11

東京都の I 類耐用年数分布  $f_{w1}(t)$  を事前分布とすれば、求める事後分布  $f_3(t)$  はベイズの定理から導かれた次式で算出され、これをワイブル分布で近似したものが  $f_{w3}(t)$  である。これらの分布及び関数の形状・数値を図 8.2 及び表 8.1 に示す。近似ワイブル分布が得られれば本研究で関係する手法が適用可能となる。

$$f_3(t) = \frac{f_{w1}(t) \cdot f_{w2}(t)}{\int_0^{\infty} f_{w1}(t) \cdot f_{w2}(t) dt} \quad (8.1)$$

ベイズ推定では新たなデータセットがサンプリングされるたびに前回の事後分布を今回の事前分布として上式を連続的に適用し、事後分布を算出できるとされている。

### 8. 3. 2 マクロマネジメント結果のミクロマネジメントへの反映手法

#### (1) スクリーニング手法

図 1.22 のマクロマネジメントの欄にある「改築修繕に係る箇所効率の選定」は、スクリーニング（篩い分け）手法とも言うべき箇所選別手法であり、統計解析を用いつつも個別箇所を探索するというミクロマネジメントの性格を有し、マクロマネジメント手法としては例外的に調査費の縮減ができる。そして、ミクロマネジメントとマクロマネジメントをつなぐ有力なツールとなると考えられる。

具体には、全管渠中の劣化箇所を推定するため、容易にデータ収集できる管種、管径、供用年数など箇所ごとの間接指標を説明変数とし、これを線形結合した劣化予測式の係数を多変量解析（数量化理論第 II 類）により決定する手法である。劣化予測式は的中率により精度を検証することができる。

現在、次の 5 つの式が発表されている。劣化予測式により健全度を箇所別に順位付けすることができるので、例えば第 3 章の手法により来年度改築予測量が算出され、それを今年度に早期改築しようとする場合、その予測量が満たされるまで劣化予測の上位箇所から順に早期改築箇所として選定すれ

ば効率的な予防保全ができると考えられる。特に④は、劣化大小の二分判定ではなく、更新優先度という連続量で優先順位付けできる。ただし、これら劣化予測式は間接指標による推定であるので、多数の箇所を扱える利点がある反面、その確実性がミクロマネジメント手法の直接調査の推定に及ばないと考えられることに留意する必要がある。また、同式が地域依存しているであろうことは言うまでもない。

① 都立大(2001)の式<sup>2)</sup>

対象：東京都中野区、新宿区、千代田区の4,793 スパン

(全損傷) 的中率 65%

$$\begin{aligned}
 Y = & -0.33A_1 - 0.11A_2 + 0.49A_3 + 0.74A_4 + 0.34B_1 - 0.02B_2 - 0.12B_3 - 0.19B_4 \\
 & + 0.31C_1 - 0.01C_2 - 0.10C_3 + 0.05D_1 - 0.06D_2 - 0.07D_3 \\
 & - 0.06E_1 - 0.03E_2 - 0.02E_3 + 0.16E_4 + 0.002F_1 + 0.03F_2 - 0.09F_3
 \end{aligned} \tag{8.2}$$

(腐食) 的中率 80%

$$\begin{aligned}
 Y = & 0.09A_1 + 0.01A_2 + 0.003A_3 - 0.06A_4 + 0.03B_1 + 0.47B_2 - 0.29B_3 - 0.42B_4 \\
 & + 0.14C_1 + 0.24C_2 - 0.27C_3 - 0.03D_1 + 0.27D_2 - 0.22D_3 \\
 & - 0.11E_1 + 0.09E_2 - 0.21E_3 + 0.16E_4 - 0.08F_1 + 0.12F_2 - 0.27F_3
 \end{aligned} \tag{8.3}$$

(クラック) 的中率 71%

$$\begin{aligned}
 Y = & -0.77A_1 - 0.18A_2 + 1.23A_3 + 1.59A_4 + 0.28B_1 - 0.19B_2 + 0.34B_3 + 0.20B_4 \\
 & + 0.05C_1 - 0.07C_2 + 0.08C_3 + 0.14D_1 - 0.20D_2 - 0.06D_3 \\
 & + 0.01E_1 - 0.20E_2 + 0.09E_3 + 0.28E_4 + 0.32F_1 + 0.02F_2 - 0.30F_3
 \end{aligned} \tag{8.4}$$

(破損) 的中率 67%

$$\begin{aligned}
 Y = & -0.13A_1 + 0.005A_2 + 0.09A_3 + 0.11A_4 + 0.35B_1 + 0.05B_2 - 0.17B_3 - 0.33B_4 \\
 & + 0.13C_1 - 0.06C_2 + 0.03C_3 - 0.01D_1 - 0.05D_2 + 0.14D_3 \\
 & - 0.04E_1 - 0.08E_2 + 0.01E_3 + 0.18E_4 + 0.15F_1 - 0.03F_2 - 0.05F_3
 \end{aligned} \tag{8.5}$$

ここで、Y：判別得点、A：管径(1:300mm以下, 2:350~600mm, 3:700~800mm, 4:900mm以上)、B：供用年数(1:0~20, 2:21~40, 3:41~60, 4:61年以上)、C：道路種別(1:国道, 2:都道, 3:区道)、D：基礎種別(1:簡易, 2:梯子及び杭等, 3:なし)、E：土被り(1:1.2m以下, 2:1.2m超 1.7m以下, 3:1.7m超 2.2m以下, 4:2.2m超)、L：幅員(1:歩道, 2:0m超 3m未満, 3:3m以上 6m未満, 4:6m以上 12m未満, 5:12m以上)、F：勾配(1:3%以下, 2:3%超 10%未満, 3:10%以上)。

② 日大(2005)の式<sup>3)</sup>

対象：東京都文京区、台東区、豊島区、荒川区の397路線

$$Y = 0.0103X_1 + 0.0411X_2 + 0.100X_3 + 0.0658X_4 - 8.6362 \quad (8.6)$$

ここで、Y：判別得点、X<sub>1</sub>：管径(mm)、X<sub>2</sub>：勾配(%), X<sub>3</sub>：路線延長(m)、X<sub>4</sub>：供用年数(年)、Y>0：腐食大、Y<0：腐食小、Y=0：どちらとも言えない、的中率 84%

③ 国総研(2007)の式<sup>4)</sup>

対象：中小都市 4 市及び比較的小規模な政令市 1 市の計 5 市の 7,518 スパン  
(全損傷) 的中率 76%

$$Y = -0.17A_1 - 0.41A_2 + 2.58A_3 - 0.24B_1 + 0.57B_2 + 1.87B_3 - 0.18C_1 + 0.25C_2 + 0.19C_3 - 0.60C_4 + 0.51C_5 - 0.13C_6 + 0.51C_7 - 0.68C_8 \quad (8.7)$$

(腐食) 的中率 65%

$$Y = -0.32A_1 + 1.44A_2 + 1.30A_3 - 0.21B_1 + 0.66B_2 + 1.11B_3 - 0.20C_1 + 0.04C_2 + 0.71C_3 - 0.65C_4 + 0.38C_5 - 0.01C_6 + 0.96C_7 - 2.20C_8 \quad (8.8)$$

(破損・クラック) 的中率 67%

$$Y = -0.13A_1 - 0.70A_2 + 2.62A_3 - 0.24B_1 + 0.66B_2 + 1.60B_3 - 0.23C_1 + 0.20C_2 + 0.16C_3 - 0.58C_4 + 0.48C_5 + 0.18C_6 + 0.91C_7 - 0.71C_8 \quad (8.9)$$

(継手ズレ) 的中率 68%

$$Y = -0.16A_1 + 0.07A_2 + 1.75A_3 - 0.21B_1 + 0.47B_2 + 1.83B_3 + 0.12C_1 + 0.46C_2 + 0.69C_3 - 0.99C_4 + 0.44C_5 - 0.66C_6 - 0.01C_7 - 0.90C_8 \quad (8.10)$$

ここで、Y：判別得点、A：管種(1:ヒューム管, 2:陶管, 3:塩ビ管)、B：管径(1:350mm 以下, 2:350mm 超 800mm 未満, 3:800mm 以上)、C：供用年数(1:0~9, 2:10~19, 3:20~29, 4:30~34, 5:35~39, 6:40~44, 7:45~49, 8:50 以上)；Y<0 ならば損傷ありの判定。

④ 関西大(2008)の式<sup>5)</sup> 的中率 80%

対象：東京都、横浜市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市の 490 サンプル

$$Y = (0.004X_1 + 0.054X_2 + 0.190X_3 + 1.453X_4 + 1.334X_5 + 0.161X_6 + 0.007X_7 + 0.101X_8 + 0.393X_9) \cdot (C_1 + C_2) \quad (8.11)$$

ここで、Y：更新優先度、X<sub>1-4</sub>：供用年数(1:30 未満, 2:30 以上 40 未満, 3:40 以上 50 未満, 4:50 以上)、X<sub>5-7</sub>：管種(5:陶管, 6:ヒューム管, 7:塩ビ管)、X<sub>8-9</sub>：管径(8:300mm 以下, 9:300mm 超 600mm 未満)、C<sub>1</sub>：建設コスト、C<sub>2</sub>：社会コスト

⑤ さいたま市(2008)の式<sup>6)</sup>

(腐食)

$$\begin{aligned}
Y = & 0.019D_1 + 0.063D_2 - 0.401D_3 + 1.411i_1 - 0.375i_2 + 0.480i_3 - 0.306i_4 \\
& + 0.147T_1 + 0.111T_2 - 0.519T_3 + 0.445T_4 - 0.809N_1 + 0.485N_2 - 0.362N_3 + 0.342N_4 \quad (8.12) \\
& - 0.794F_1 + 0.466F_2 + 0.249F_3 - 1.604F_4 - 0.330F_5 - 0.318
\end{aligned}$$

(クラック)

$$\begin{aligned}
Y = & -0.314D_1 + 0.226D_2 + 1.135D_3 + 0.172H_1 - 0.054H_2 + 0.003H_3 \\
& + 0.222L_1 + 1.012L_2 - 0.199L_3 - 0.086L_4 + 0.851L_5 \quad (8.13) \\
& - 0.012T_1 + 0.167T_2 - 0.401T_3 + 0.367T_4 - 0.924N_1 - 0.026N_2 + 0.289N_3 + 0.859N_4 \\
& + 0.174F_1 - 0.223F_2 - 0.425F_3 + 1.447F_4 + 0.362F_5 - 0.224
\end{aligned}$$

ここで、Y：判別得点，D：管径(1:350mm 以下，2:350mm 超 800mm 未満，3:800mm 以上)，i：勾配(1:0%以下，2:0 超 2 以下，3:2 超 3.5 以下，4:3.5 超)，H：平均土被り(1:1m 以下，2:1m 超 1.5m 以下，3:1.5m 超)，L：幅員(1:歩道，2:0m 超 3m 未満，3:3m 以上 6m 未満，4:6m 以上 12m 未満，5:12m 以上)，T：取付管割合[=取付管本数／本管数] (1:0 以上 0.25 未満，2:0.25 以上 0.50 未満，3:0.50 以上 0.75 未満，4:0.75 以上 1.00 以下)，N：残存年数(1:10 年未満，2:10 年以上 20 年未満，3:20 年以上 30 年未満，4:30 年以上)，F：容積率(1:100，2:200，3:300，4:400，5:600)；Y<0 ならば損傷ありの判定。

以上の外，松川らは数量化理論第Ⅱ類ではなくクラスタ分析及びニューラルネットワークを使う手法を発表している<sup>7)</sup>。

## (2) 確率密度関数による劣化予測手法

劣化曲線は主に横軸に施設年齢，縦軸に健全度を取る。健全度として多くの場合，レベル，ランク，クラスなど順位付けされた分類を用いる。コンクリートの腐食深さや道路舗装の擦り減り厚さなど連続量を用いることもあるが少ない。縦軸に順位付け分類を取り，しかもデータのある分類から直線ないし上に凸の放物線を仮定してデータのない分類へと劣化曲線を描く事例が少なくない。

これについて安野・保田は次のように強く警告している。

「土木構造物の維持管理対策において，劣化曲線の概念図としては，上に凸の形状で時間の経過に伴い，性能低下していく曲線をよく目にする。土木学会によるコンクリート標準示方書の維持管理編<sup>8)</sup>においても，上に凸の形状で性能低下する曲線が暗黙の前提となっている。…しかし実際に土木構造物の維持管理を考えようとする場合に，現場で得られた点検データから劣化進行の原則が適用できるのかどうかを確認する必要がある。暗黙の前提として，慣習的に性能低下のハザードが逡増型となることを採用しようとしても実際の土木構造物のハザード形状にミスマッチとなる可能性がある。ライフサイクル全体として，性能低下のハザードが逡増する傾向にある場合においてさえも，途中にハザードのピークを迎え，それ以降は逡減する可能性がある可能性を排除できない。さらに，土木構造物

の供用開始後から当分の期間は性能低下のハザードは皆無に等しく、ある時期から後発的にハザードが増加する場合がないとは言い切れない。」<sup>9)</sup>

同示方書維持管理編で劣化曲線に該当するものを基本概念図以外に探すと、横軸に凍結融解回数、縦軸に長さ変化率及び相対動弾性係数を取った凍結融解試験結果の概念図、横軸に繰返し回数、縦軸に亀裂長を取った補強鋼材の疲労亀裂進展のモデル図が見つかり、いずれも縦軸に連続量を取っている<sup>8)</sup>。

したがって、連続量を縦軸に取る場合でさえ劣化曲線形状を無造作に上に凸とすることなどには問題があり、まして各分類が等間隔である保証の全くない順位付け分類を縦軸に取る場合、データのある分類からデータのない分類へと直線ないし曲線を仮定して劣化曲線を描く推定手法は粗雑に過ぎるので、技術的合理性を備えた推定手法の開発が必要となっている。

LCC 分析において建設費用は確定的であるものの、各年齢の維持修繕費用として発散速度の非常に大きい指数関数を用い、実績データのない高齢域を補外推定して年当たり費用の最小値を算出する場合、必ずしも改築決定権者の確信や納得を得られていないことにも留意すべきである。

図 8.3 は施設の劣化曲線であり、横軸が施設年齢、縦軸が健全度レベルである。健全度はレベル 3 を新品同様、レベル 2 を初期劣化のある状態、レベル 1 をさらに劣化の進んだ中期劣化の状態、レベル 0 を要改築状態としている。

劣化曲線の考え方は個別施設の健全度レベルが年数経過とともに 3 から 2, 1, 0 へと順次移行して改築に至るとするものであり、当該施設が年齢  $t$  でレベル 0 から改築へと移行する確率は、第 3 章で算出されたワイブル分布の確率密度関数  $fw(t)$  となる。同様にレベル 3 から 2 へ、2 から 1 へ、1 から 0 へと移行する確率が第 3 章のマクロマネジメント手法などを用いて統計的に算出されるならば同図のように各レベルに対応する確率密度関数が得られる。

レベル  $i$  の確率密度関数の平均を  $\mu_i$ 、標準偏差を  $\sigma_i$  とする。( $i=0, 1, 2, 3$ ) ここで、図中の●印のように、ある施設が現在レベル 2 にあって、以前にレベル 3 から移行してきた時の年齢を  $\mu_3 + \alpha \sigma_3$  とする。同施設の偏差値あるいは平均から標準偏差の何倍離れた位置にあるかの倍率が劣化過程で変わらないと仮定すると、同施設の劣化曲線はレベル  $i$  では年齢  $\mu_i + \alpha \sigma_i$  の位置でレベル  $i-1$  へと移行することとなるので、同図中で、曲線で表現するなら一点鎖線又は太破線の曲線、折れ線で表現するなら階段状の破線又は実線の矢印線となる。

なお、各レベルの確率密度関数は、使用できるデータ数が少ない場合、図 8.1 尤度関数の作成方法を用いて作成できよう。



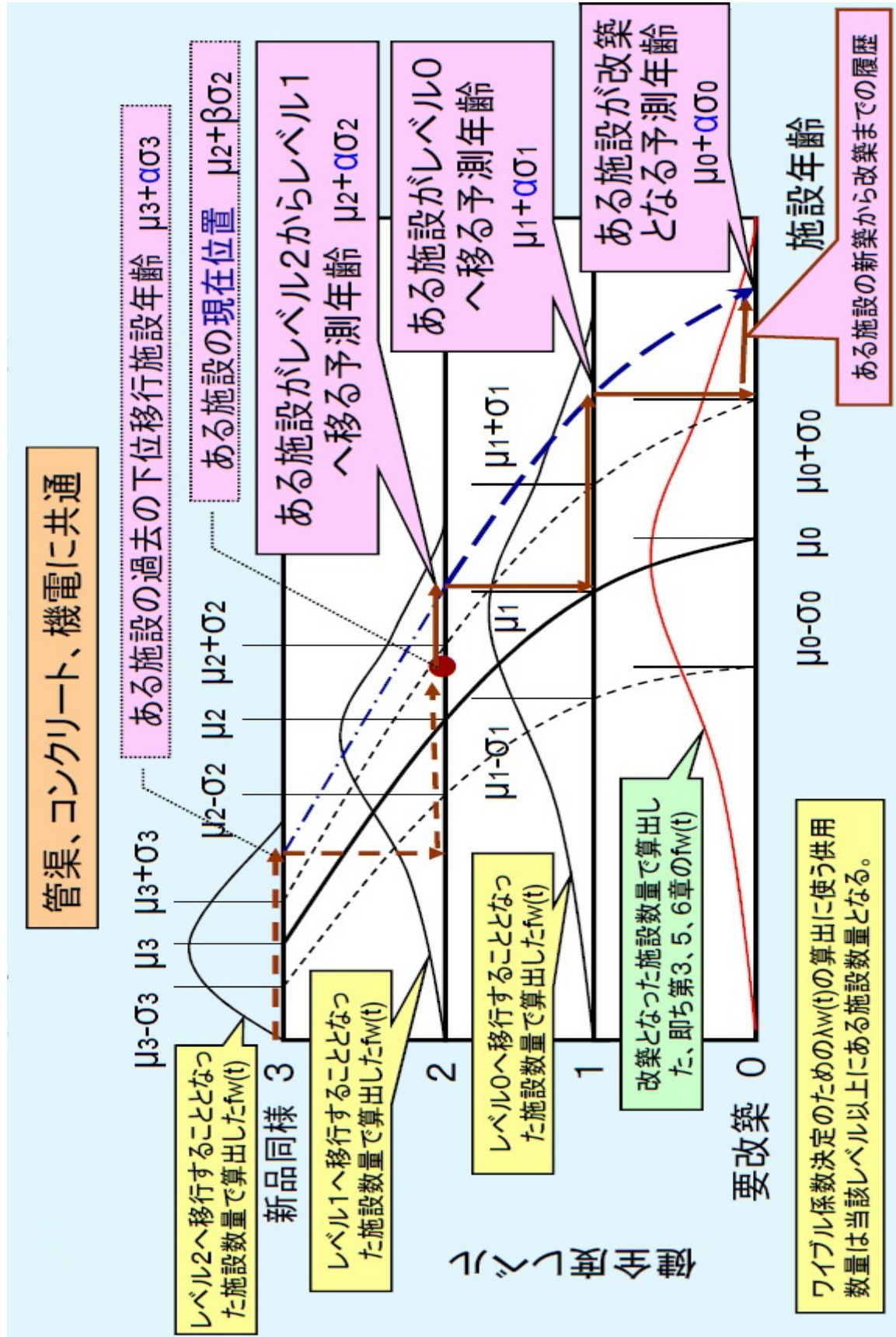


図 8.3 確率密度関数による劣化予測手法

(3) 信頼度関数による劣化予測手法

同様のことが信頼度関数  $Rw(t)$  の推移図においても行える。図 8.4 は各レベルの確率密度関数と同じ係数の信頼度関数を描いたものである。同様の図がマルコフ連鎖モデルの解析結果として示されることも多い。各関数曲線で仕切られた領域を縦軸方向に切断した長さは当該年齢の施設中、改築済み又はそれぞれのレベルに属する施設数の割合を示す。各施設が同年齢の施設中における健全度順位を劣化過程で変えないと仮定すると、そのデータプロットは同図中で加齢とともに真横に平行移動し、各レベルの領域を通過後、改築済み領域に至る。これがすなわち推定劣化曲線となる。各レベルの領域を通過する始点と終点の年齢が各レベルに属する年齢の始めと終りの推定値である。各レベルの確率密度関数又は同じ係数値の信頼度関数が判明しているなら、図 8.3, 図 8.4 のいずれにおいても、調査で得られた 1 つの移行年齢から当該施設の全劣化曲線が推定できる。

また、図 8.4 において、施設年齢以外の要因を総合して箇所ごとの耐久順位を決定できれば、例えば施設年齢に係る項を除いたスクリーニング式により耐久順位を決定すれば、その耐久順位を縦軸位置として同図を真横にたどり、当該施設の全劣化曲線を推定することができると考えられる。

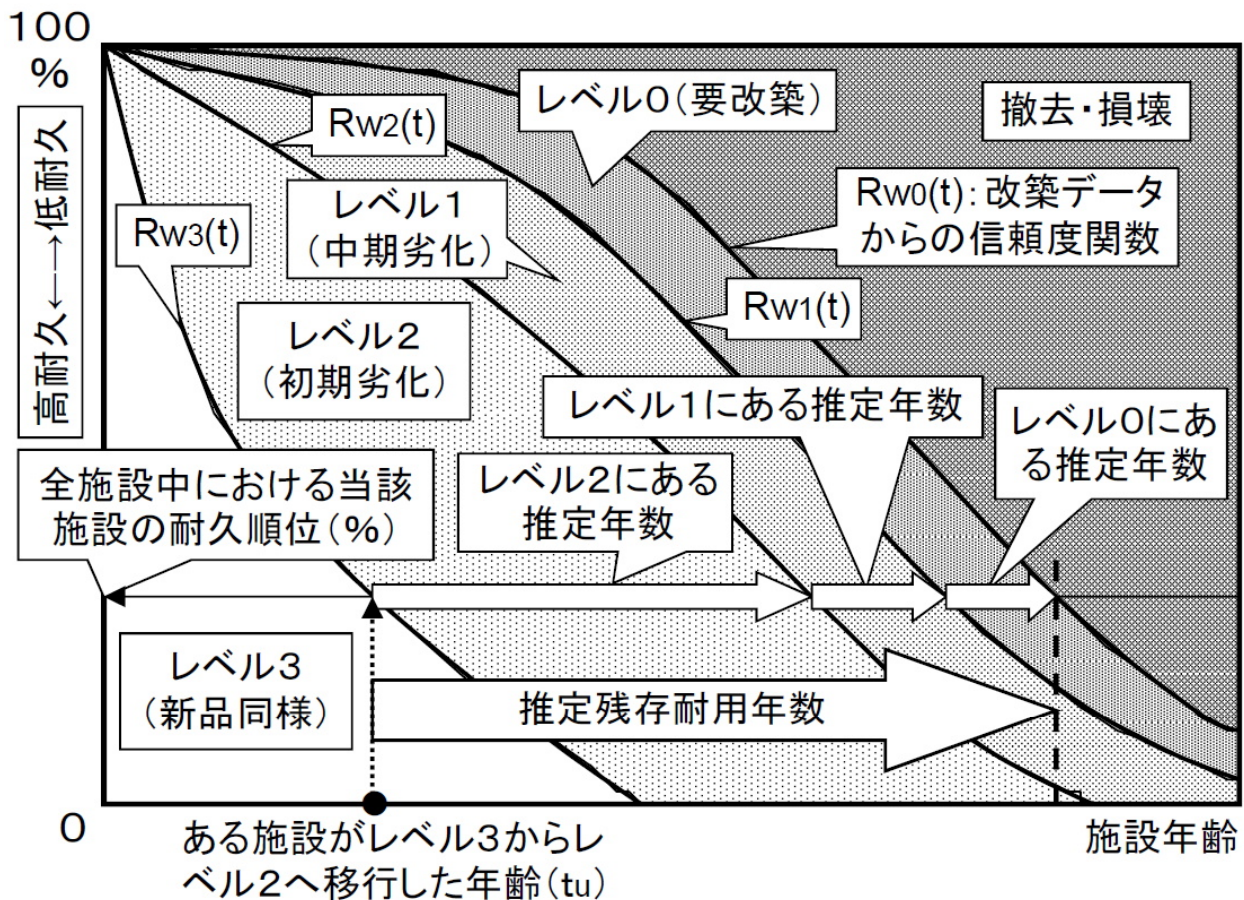


図 8.4 信頼度関数による劣化予測手法

道路陥没対策の緊急度ⅢからⅡ又はⅠへの移行について7都市（大都市3，中小都市4）を対象とした調査結果の信頼度関数が公表されており<sup>10)</sup>，これをレベル2から1への移行の残存率とみなし，図8.5に一点鎖線として示す。表3.1のケース1の全国管渠のワイブル分布の信頼度関数をレベル0から改築済みへの移行を表す残存率として同図に実線として示す。

今後，レベル3から2及び1から0への移行に係る信頼度関数の調査結果が得られれば，より詳細かつ正確に個別管渠の劣化曲線を算出できる基礎図が完成する。

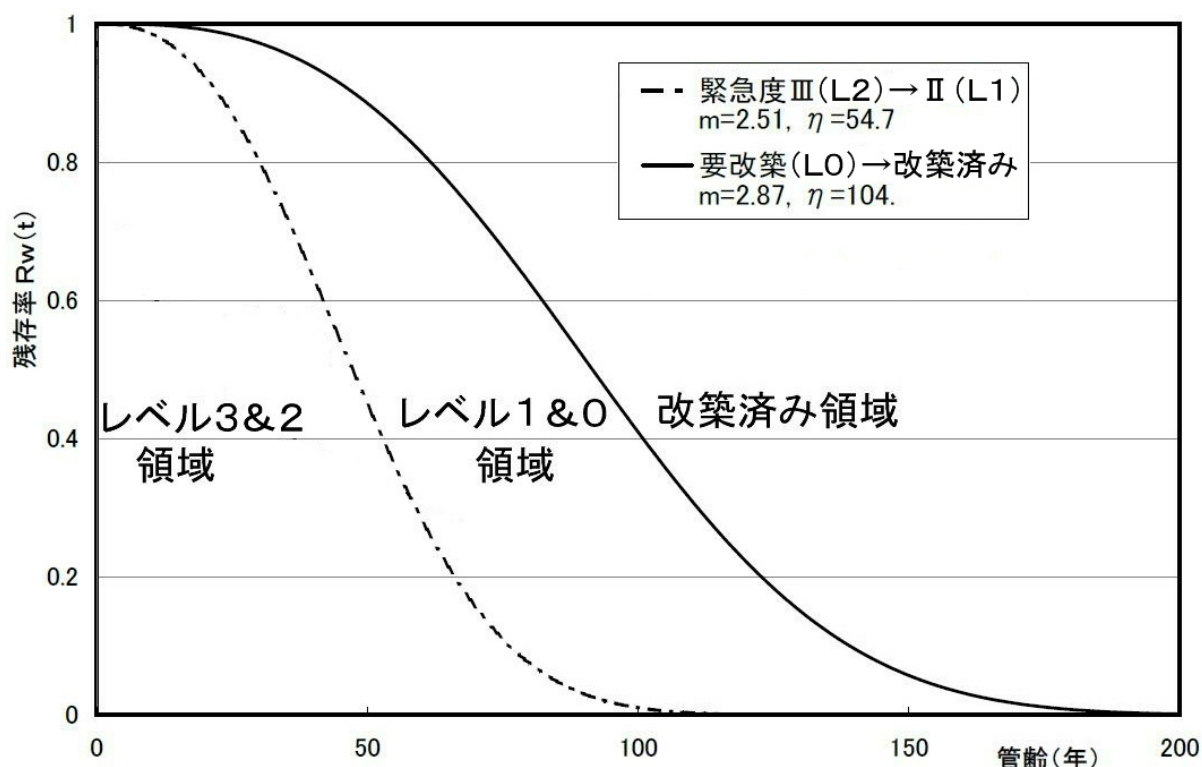


図 8.5 健全度レベルと管齢別残存率

なお，図 8.3 の確率密度関数が正規分布の場合には平均値と中央値が等しいので  $\mu_0, \mu_1, \mu_2, \mu_3$  は図 8.4 において(0, 50%)の位置から横軸に平行に引いた直線と  $Rw_0(t), Rw_1(t), Rw_2(t), Rw_3(t)$  の曲線との交点の施設年齢  $t$  と等しい。しかし，図 8.3 の確率密度関数がワイブル分布の場合には平均値  $\mu$  と中央値  $t_{\text{median}}$  が一致せず，例えば図 8.5 の実線 ( $m=2.87, \eta=104$ ) の場合，平均値  $\mu=92.8$  であるが，中央値は(3.4)式で左辺  $Rw(t)$  を  $1/2$  と置いて次式のとおり  $91.5$  と算出され，平均値と等しくない。

$$t_{\text{median}} = \eta \cdot \sqrt[m]{\ln(2)} = 104 \cdot \sqrt[2.87]{\ln(2)} = 91.5 \quad (8.14)$$

#### 8. 4 データ制約条件下での解析方法

塩化ビニール管(VP)はその製造の歴史が浅いため、3. 3. 1のアンケート調査データにおいて49歳までであり、同様に分流式管渠も1970年頃から採用され始めたため、38歳程度までである。したがって、VP、分流式等の場合、高齢管データはどのようにサンプリングしても得られないので、他の種別と合算したデータからの推定値では不十分な場合、何らかの手法で高齢域を推定する必要がある。

そこで全国についてVPを例とし、全管種合計の高齢域データから推定する手法を以下に示し、これを提案する。なお、分流式については、それを区別した全国データがないので、今後の調査結果を待つこととなる。

まず、図8.6のように、管齢を $t$ としVP及び全管種合計の信頼度関数データを近似するワイブル分布 $Rwv(t)$ 及び $Rwa(t)$ を算出する。VPデータの最高齢を $t_u$ とし、 $t \geq t_u$ の区間の $Rwa(t)$ に $Rwv(t_u)/Rwa(t_u)$ を乗じれば、 $t = t_u$ で $Rwv(t)$ に接続する。接続した両者を近似するワイブル分布を算出し、これを求める推定分布とする。

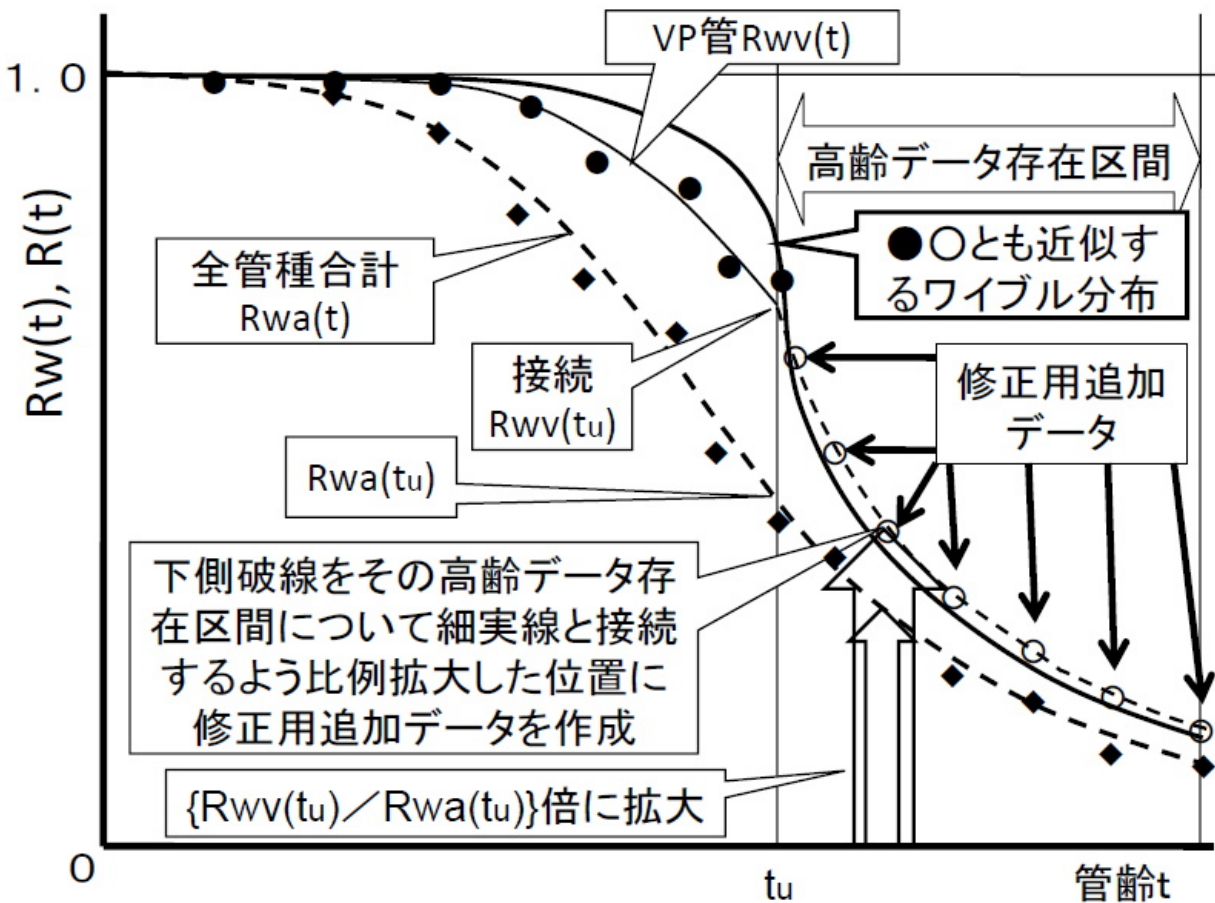


図 8.6 高齢域修正手法の概念図

この推定分布は、以下の特長を持つ。

- ① VP データ区間右端の残存率  $R_{wv}(t_0)$  を継承する。
- ②  $t \geq t_0$  の区間で  $R_{wa}(t)$  の形状を反映する。
- ③  $t = t_0$  の接続点の尖りを平滑化する。

VP データについてこの操作を行った結果を図 8.7 に示す。また、コルモゴロフ検定結果を表 8.2 に示す。

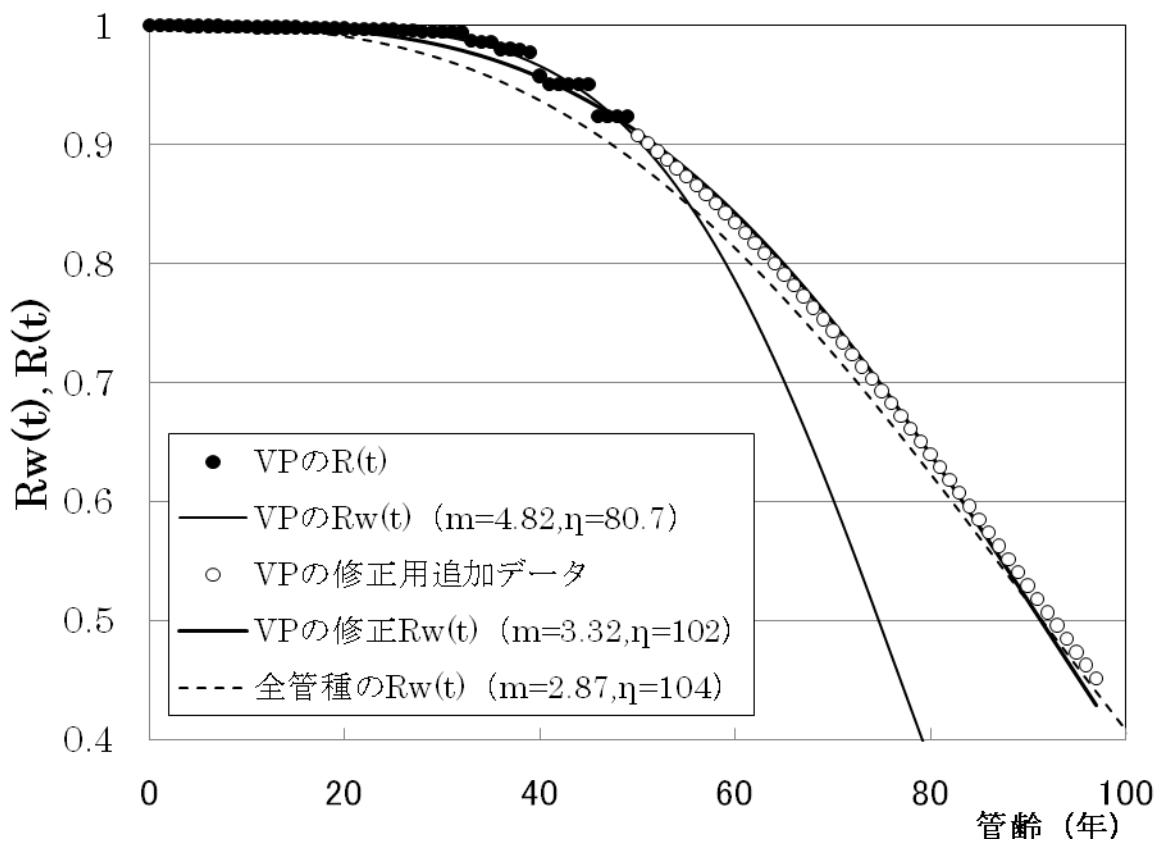


図 8.7 VP データへの高年齢修正手法適用

表 8.2 高年齢修正 VP のコルモゴロフ検定結果

有意水準	定数 k	標本数 n	臨界値( $k/\sqrt{n}$ )	$\text{Max} R_w(t)-R(t) $	判定
10%	1.22	97	0.124	0.0406	受容
5%	1.36		0.138		受容
1%	1.63		0.166		受容

## 8. 5 アセットマネジメントの充実のためのデータ蓄積の考え方

アセットマネジメントの各種手法を行うにはデータが必要であり、精度を上げるためにはより正確かつ多数のデータが必要である。また、耐用年数が長い施設ほどより長期間のデータが必要となる。しかし、データ収集には手間と費用と時間がかかり、かつ、過去に遡って収集できないものも多い。

したがって、データが全くない又は少数ある事業者の場合、解析できる程度に自己データが蓄積されるまで、全国など数の大きい施設群又は類似性のある事業者の調査結果をそのまま又はこれに自己データを反映させて利用することが必要となる。

自己データを有効に蓄積するためには、利用する手法を予め十分に検討した上で選定し、これに必要なデータ項目をリストアップすることが必要であり、また、長期にわたり継続するため収集の難易も考慮される必要がある。多変量解析などの場合、的中率への寄与度が小さいデータ項目は捨てた方が簡明かつ適切である場合もあろう。

本研究の各種手法に必要なデータ、検証又は精度向上のためのデータ及び手法の効用拡大のため今後全国調査数値の公表が望まれるデータを表 8.3 に示す。

なお、改築撤去される施設は、破壊試験のできる貴重な対象であるので、例えば青森県が廃橋部材の強度試験を行っているように<sup>11)</sup>、健全度やその内訳項目など定性的判定結果と強度など定量的性能の関係解明調査に利用することが望まれる。

表 8.3 各手法の必要データ項目

①:年齢別供用数量、②:年齢別損壊数量、③:年度別設置数量、④:耐用年数分布(ワイブル係数)

N O.	算出項目	章	必要なデータ	検証又は精度向上のためのデータ	手法の効用拡大のため今後全国調査数値の公表が望まれるデータ
1	償却資産 回転期間※	2	償却資産帳簿価額、年間総収益、年間総費用		
2	残存耐用 年数※	2	償却資産帳簿原価、減価償却累計額、みなし減価償却費、非みなし減価償却費		非みなし減価償却費
3	④ (管渠)	3	①、②、③のうちいずれか2つのデータセット	(1)残る1つのデータセット (2)別年度の④ (3)④算出に未使用の非常に古い管渠群の残存率	左記2つのデータセットの管径別や合分流別の内訳データ。ただし、分流式は塩ビ管と同様、歴史が浅く高齢管データがないので推定が必要。
4	“(処理場 コンクリート)	5	過去にあった又は現存の各施設の設置及び改築の年度		
5	“(機電)	6	①、②、③を事業費で表示したもののうち、いずれか2つのデータセット(片方は不完全でもよい)	過去年度の改築事業費	全国機電の①及び②の事業費表示データ
6	“(ベイズ 推定)	8	全国平均又は東京都など代表的事業体の④及び当該事業体の少数の耐用年数データ	当該事業体のより多くの耐用年数データ	個別事業体がより適した事前分布を選択できるため事業体規模別、都道府県別等の④
7	過去及び将来各年度の 推計陥没数	4	①、④、管齢別陥没数	過去年度の陥没数	(1)管齢別陥没数について本管原因(この場合は管径別や管種別)、取付管原因(この場合は取付管密度(本/本管延長)別)など原因別内訳並びに区分に対応する①及び④ (2)交通量別等の陥没1件当たり損失額※2並びに交通量別等の①及び④ (3)別年度の管齢別陥没発生率
8	早期改築による陥没数 削減	4	①、④、管齢別陥没数、陥没1件当たり損失額※2		
9	コンクリート施設の硫化水素に対する耐用年数	5	当該地点について施設年齢及び腐食深さの1組のデータ	同2組以上のデータ	全国各地の現場における腐食深さの経年推移データ
10	高耐久管の効率性判定	7	高耐久品及び従来品の耐用年数及び管材価格、金利、工法(管材コストシェア)		
11	改築箇所選定	8	④で設定する早期改築量及びスクリーニング式の変数に代入する管種、管径、管齢などのデータ		
12	個別箇所の劣化曲線	8	各健全度レベルの④並びに当該箇所のレベル遷移履歴		健全度レベル1及び3の管渠の④

※事業着手から完了までの整備段階によっても変動するので個別事業体では参考にする。

※2 陥没の場合の工事費加算分及び外部経済損失額を計上できる。

## 8. 6 アセットマネジメントの普及方策

本来、アセットマネジメントは効果・効用があるので自発的に行われるはずのものであるが、以下に普及方策の政策的、工学的ないし経営的な試案を示す。

- ① アセットマネジメント計画策定を国庫補助金交付の要件とすること。既にオーストラリアで実施され、効果を上げている。また、大きな費用のかかるデータ計測は国庫補助対象とすること。例えば、総合評価判定による健全度を破壊強度など直接的物理量で検証するため、廃棄予定施設のデータ計測費用を国庫補助対象とする。
- ② 下水道法，地方公営企業法等を改正し，技術基準，公営企業会計の強制適用など法的措置を行うこと。
- ③ 全国から必要なデータを収集し，集計解析して各事業者へ情報還元する統計を整備すること。例えば，機電は多分類少施設数であるため1事業者では十分なデータ数が得られないので，全国からデータ収集し，集計解析する。国が直接行う他，日本下水道事業団が構築開始したデータベースを利用することや，下水道統計を拡張することが候補として考えられる。
- ④ アセットマネジメントの理論や手法は，事業者技術者が理解した上で関係者に説明できる程度に簡明にされていること。事業者技術者は技術者相互のみならず財政当局，議会，住民など非専門家に説明するための幅広い知識・能力を有するが，先端的研究成果を理解するための狭く深い知識・能力を有することは少ない。事業者技術者のため，高度な知識を噛み砕いた解り易い説明が必要とされている。<sup>3</sup>
- ⑤ アセットマネジメントの効果・効用は，金額など具体的数値で示すこと。そして，それが仮想的なものではなく，実績に基づく高い信頼性のあるものであること。公金の巨額投資の決定には客観性，確実性の高い根拠が重要であり，実績値の説得力は仮想値のそれを数段上回る。<sup>3</sup>
- ⑥ アセットマネジメント導入でコスト縮減等を達成した場合，担当者に褒賞を与え又は利益の一部を還元すること。成果が処遇や報酬に明確に反映されない現状ではインセンティブが働きにくい。

---

<sup>3</sup> 川崎（国総研）は費用効果分析など公共経済学の現状について「机上の理論が多く現場のニーズや事業の実態を十分に反映できてない。このため，公共事業不要論に対して根拠ある説明が出来ていない。…人口減少期の公共投資像や如何なる公共事業が有益なのか理論的に提示できていない。…公共事業への応用が進んでいない。…応用学的な展開が遅れている。」と指摘している。<sup>12)</sup> アセットマネジメントについても同様の指摘に耐えうる研究発展の仕方が必要であろうと考えられる。



#### 〈参 考 文 献〉

- 1) 加納悟, 浅子和美: 入門/経済のための統計学, 日本評論社, p.265, 1992
- 2) 小泉明, 何璿, 孫躍平: 数量化理論による下水道管渠の損傷判別分析, 土木学会環境工学研究論文集, Vol.38, pp. 257-264, 2001
- 3) 保坂成司, 梶ヶ谷勝, 大木宜章, 高橋岩仁: 既設下水道管腐食の実態調査結果に基づく多変量解析による下水道管の腐食予測の検討, 下水道協会誌, Vol.42, No.517, pp.115-127, 2005/11
- 4) 松宮洋介, 深谷渉, 福田康雄, 榊原隆: 下水道管きよのアセットマネジメント研究, 下水道協会誌, Vol.44, No.538, pp.13-19, 2007/08
- 5) 濱本淳平, 和田安彦: 下水道管きよの更新優先度評価手法の構築, 第45回下水道研究発表会講演集(CD-ROM), II-1-2-6, pp.359-361, 2008/07
- 6) 柳川喜代光, 遠藤孝彦, 矢口繁頭: 予測診断手法を活用した効率的な管路内調査の実施, 第45回下水道研究発表会講演集(CD-ROM), II-5-3-7, pp.647-649, 2008/07
- 7) 松川努, 中村秀明, 宮本文穂: 下水管網に起因する道路陥没の位置推定と危険度及び原因の予測に関する手法の提案, 下水道協会誌, Vol.45, No.554, pp.109-121, 2008/12
- 8) 土木学会コンクリート委員会: コンクリート標準示方書[維持管理編], 土木学会・丸善, p.5,117,172, 2001
- 9) 安野貴人, 保田敬一: 土木構造物の維持管理と劣化進行のハザード形状, 土木学会応用力学論文集, Vol.10, pp.1019-1026, 2007/08
- 10) 松宮洋介, 福田康雄, 西村秀士: 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(CD-ROM), I-10-7, pp.247-249, 2008/07
- 11) 川村宏行: 青森県橋梁アセットマネジメントの取組み, 地質と調査, No.115, pp.37-42, 2008/03
- 12) 川崎秀明: 社会基盤経済論(第1回) 公共経済学の視点から, 土木技術資料, Vol.51, No.1, p.61

## 第9章 結論

近年、下水道ストックの増大並びに国庫補助金を支出する国及び下水道事業者である地方公共団体の財政難を背景として、下水道に期待されるサービスを限られた財源で効率的かつ持続的に提供するための手段・方法としてアセットマネジメントが注目され始めた。しかしながら、普及拡大が下水道事業の最優先課題として先行し、アセットマネジメント手法の研究開発は遅れ、ようやくここ二、三年、関係機関がほぼ一斉に着手し、重点的に取り組んでいる最中である。したがって、同手法に入力されるべきデータも、既にあるもので好適なものは少ない。

このように未開拓である下水道アセットマネジメント全般について、本研究は表 1.5 に示したようにマクロマネジメント手法に重点を置きつつ、ほぼ全区分で検討を行い、各種実用手法の提案を行った。

また、本研究は、統計解析に適する程度の大きさの施設群について関与・管理する国又は大規模事業者統括部局が施設、財務（予算を含む。）、組織等の管理計画策定などに利用できるマクロマネジメント手法の開発を主たる研究方針とし、個別施設の管理を直接担う現場事務所や小規模事業者でも利用できるようマイクロマネジメントへの応用にも配慮しつつ行った。

本研究の成果をまとめると以下のようなになる。

- (1) 第2章において、下水道事業が会社や他の地方公営企業に比べ残存耐用年数も償却資産回転期間も格段に大きな、いわば経営的に非常に重い償却性固定資産を有していることを明らかにした。このことから、下水道事業では償却性固定資産の効率的管理の成否が、すなわちアセットマネジメントの巧拙が経営に重大な影響を与えるものと推察される。
- (2) 第3章において、管渠の同一年度の管齢別の供用延長及び改築延長のデータにワイブル分布を適用して耐用年数確率分布を算出し、得られた分布を基に年間改築延長等の将来予測を行う手順を考案し、これをマクロマネジメント手法として提案した。同手法を全国データに適用した結果、耐用年数確率分布をワイブル係数  $m=2.87$ 、 $\eta=104$ 、平均 $\mu=93$ 年、標準偏差 $\sigma=35$ と、将来の年間改築延長のピークを2093年、年間約4,650km、6,400億円と推計した。
- (3) 第4章において、下水道起因の道路陥没について前章で得られた管齢別供用延長分布を基に年間陥没数の過去データを良好に再現できる管齢別陥没発生率を推計し、さらに将来年間陥没数を推計する手順を考案し、これをマクロマネジメント手法として提案した。同手法を全国データに適用した結果、将来年間陥没数のピークを2061年、約45,000件と算出した。また、陥没による損失額が得られる場合に陥没数削減を目的とする早期改築の効率性を検討する手法を提案した。

- (4) 第5章において、処理場コンクリートの腐食改修履歴データにワイブル分布を適用し、腐食環境分類に応じた耐用年数確率分布を算出する手法を考案し、これをマクロマネジメント手法として提案した。同手法を東京都データに適用し、耐用年数確率分布をⅠ類：ワイブル係数  $m=3.2$ ,  $\eta=42$ , 平均  $\mu=38$  年, 標準偏差  $\sigma=13$  年, Ⅱ類：ワイブル係数  $m=1.9$ ,  $\eta=68$ , 平均  $\mu=60$  年, 標準偏差  $\sigma=33$  年と算出した。また、硫化水素ないし硫酸によるコンクリート腐食進行の研究調査文献データを整理・解析した結果、下水道現場での腐食深さは平均的に時間の 0.88 乗で進行すると考えられ、これをミクロマネジメント手法として提案した。
- (5) 第6章において、機電設置事業費の過去データにワイブル分布を適用し、耐用年数確率分布を算出する手法を考案し、これをマクロマネジメント手法として提案した。同手法を全国データに適用し、耐用年数確率分布をワイブル係数  $m=4.34$ ,  $\eta=29.2$ , 平均  $\mu=26.6$  年, 標準偏差  $\sigma=6.9$  年と算出した。ただし別分布もありうるので、上記分布による将来改築事業費推計にあたっては、当該現場の過去及び新規データへの適合性を十分に検討する必要がある。同分布を用いて全国の将来年間機電改築事業費を推計し、長期的には約 6,800 億円で推移すると算出した。
- (6) 第7章において、費用効果分析や LCC, LCA 検討に大きな影響を与える割引率について適正値を検討した。併せて管渠工事を例とし、割引率のうち利率について、その値に応じて経済効率的となる耐用年数と管材コスト比の関係を試算した。また、人口減少と高齢化による財源難に備え、耐用年数増加及び管材コスト比抑制となる管材開発により 2030 年に管渠工事の年当たり費用を 78.8%に低減させることは、利率 4%では難しいが、2%でなら管材企業努力による実現の可能性があると考えられる。
- (7) 第8章において、事業へのアセットマネジメントの効果的適用方法について検討した。まず、ミクロマネジメント結果のマクロマネジメントへの反映手法としてベイズ推定の利用可能性を指摘した。次に、マクロマネジメント結果のミクロマネジメントへの反映手法として、既報のスクリーニング手法の利用可能性を指摘し、新たに確率密度関数又は信頼度関数による劣化予測手法を提案した。さらに、全国や類似施設のデータを利用してデータのない高齢域を補外する手法を提案した。最後に本研究の各種手法の効果的適用に必要なデータ項目一覧を示した。

本研究で扱った分野及び手法で残された課題として以下の項目が考えられる。

- ・第2章に関連し、残存耐用年数と償却資産回転期間の目標値の設定。資産と経営の健全性確保の観点から目標値設定ができる可能性がある。
- ・第3章及び第4章に関連し、耐用年数確率分布及び管齢別陥没発生率の経年推移。その解明のため

には毎年度ないし数年おきに統計調査し、当該年度のワイブル係数を算出する必要がある。耐用年数確率分布及び管齢別陥没発生率は施設の材料・構造等の品質・性能，維持修繕の技術レベル・実施量，下水の質・量等に応じて徐々に変化すると考えられる。さらに，アセットマネジメントの実施自身が耐用年数の変化をもたらす効果がある。例えば，アセットマネジメントの結果、管渠について劣化度の大きい箇所の早期改築を行うと，耐用年数確率分布は左へ，管齢別陥没発生率は下へと移動するはずであり，両者を固定とした予測値よりも将来改築量は大きくなり，将来陥没数は著しく小さくなるはずである。

- ・第3章に関連し，修繕後の耐用年数確率分布の推定。修繕効果の定量化については，マクロマネジメントのみならずミクロマネジメントの既往研究調査においても劣化曲線のイメージ図が掲げられているだけであり，実績・実測データに基づく修繕後劣化曲線，すなわち健全度回復量，延命量等の具体的数値が見当たらない。
- ・第4章に関連し，陥没損失額の算定。陥没対策にどの程度費用を投入すべきかの検討に必要となる。
- ・第5章に関連し，全国管渠に適用した第3章の統計手法による処理場現場コンクリートの耐用年数分布の算出。データ数不足のため同手法を東京都データに適用できなかったが，全国データが得られるならばデータ数が足りて適用できる可能性がある。また，調査方法も含め，コンクリート腐食進行式のべき乗係数  $b$  と洗掘状況の関係解明。
- ・第6章に関連し，全国を対象としたマクロマネジメントによる機電の耐用年数確率分布の確定。6.3.1で記述した全国に係る「①同一年度における年齢別改築量分布」若しくは「②同一年度における年齢別供用量分布」又は個数の十分に大きな施設群に係る過去各年度設置事業費及び幾つかの年度の改築事業費のデータ収集が必要である。
- ・第8章で提案した各種手法について計算に入れる実際のデータが十分に得られていないので，そのデータ入手及び適用性検討。

本研究で扱わなかったが今後取り組まれるべき重要課題として以下の項目が考えられる。

- ・民間企業の工場機電のアセットマネジメント手法を下水道機電に応用する研究調査。厳しいコスト管理の下で研究開発・実施されているはずの当該手法は大きな効果を生む可能性がある。
- ・新材料の現場耐久性予測手法の研究調査。下水道施設の平均耐用年数はコンクリートで数十年，機電でも20年を越えて非常に長い。したがって，新材料の耐久性の測定は統計的に判断できる年齢・数量の現場実績データが得られるまでは劣化加速試験結果に依存することとなる。しかし，現場の劣化メカニズムは必ずしも明らかではなく，当該試験方法に的確に反映されていないおそれもある。

そこで、劣化加速試験結果と限られた現場実績データから後年度に明らかとなる現場耐久性を予測する手法が必要である。

- ・健全度に用いられる総合指標値を改善する研究調査。健全度として合計得点やレベルなどの総合指標値を用いる場合、検査直後に落橋事故が発生するように決定的な不具合や事故に対して健全度が十分に整合していないおそれがある。不具合や事故と強く関係し客観的、定量的に測定できる品質・性能を総合指標値に的確に反映させる必要がある。
- ・事業費平準化コストの評価方法の研究調査。行政予算が多くの場合、対前年度伸率主義であることから各年度事業費のばらつきをならすことをアセットマネジメントの目標に掲げる場合が少なくない。必要な年度に必要な事業費を確保することが最も経済的となるはずであり、4.3.5節で論じたように改築事業費を前倒しする場合は累次改築の前倒し利息分の現在価値合計額がコストとなり、後送りする場合はその間に発生するおそれのある道路陥没、処理施設の運転停止等の事故による直接・間接損失額の期待値がコストとなる。厳密には前倒し・後送りの期間について利息に係る支払・受取額、事故損失に係る期待値の増減額及び維持修繕費に係る増減額の合計がコストとなろう。予算配分の適正な政策判断のためには平準化コストの金額明示が必要である。

本研究は下水道アセットマネジメントのほぼ全区分で検討を行い、一つずつ以上の道筋を示した。そして、算出数値は日本の固有性があるものの、計算手法は日本固有ではないので海外でも利用できるものと考えられる。

## 謝辞

本研究全体の集成にあたり、終始懇切なるご指導を賜りました主査の 花木 啓祐 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻教授に深甚なる感謝の意を表します。そして、有益なご助言、ご示唆を賜りました副査の同研究科社会基盤学専攻 小澤 一雅 教授、同研究科附属水環境制御研究センター 古米 弘明 教授、同研究科都市工学専攻 滝沢 智 教授及び同大学先端科学技術研究センター物質・環境・生産クラスター 栗栖 聖 講師に厚く御礼申し上げます。

第2章については、データの収集方法及び処理方法を考案するにあたり、下水道事業の公営企業会計実務について懇切なアドバイスをいただいた前仙台市建設局経営企画課の氏家宏氏及び横浜市環境創造局水再生施設整備課長の片桐晃氏に感謝申し上げます。また、非常に手間のかかるアンケート調査に有効なご回答をいただいた全国の法適事業体の関係職員の皆様に感謝申し上げます。

第3章については、まず共著者である日本下水道事業団鹿児島事務所の宮内千里氏（前国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室研究官）に深く感謝申し上げます。次に管渠更生工法の工事費積算にご協力をいただいた同研究室の西尾称英交流研究員及び派遣元の管清工業株式会社に感謝申し上げます。また、アンケート調査実施にあたり多大なご協力をいただいた下水道事業者の地方公共団体のご担当者に感謝申し上げます。

第4章については、陥没数データの解釈について示唆を与えてくれた同研究室の福田康雄研究官に感謝申し上げます。また、陥没写真のご提供をいただいた名古屋市上下水道局技術本部計画部技術管理課技術支援係の服部紀博係長に感謝申し上げます。

第5章については、解析した大量の処理場コンクリート腐食改修データをご提供いただいた東京都下水道局及び同局施設管理部NS氏並びにK流域下水道管渠の現場腐食調査データをご提供いただいた管理者の県当局及び同県流域下水道事務所のCY氏に感謝申し上げます。また、経年劣化データを引用した各文献の著者に敬意を表します。さらに、日本下水道事業団の硫化水素腐食研究報告書のご提供をいただいた同事業団技術開発研修本部元教授の荒井俊博氏及び同本部前技術開発課長の藤本裕之氏並びに現場管渠の腐食状況写真のご提供をいただいた某県下水道課のご担当者に感謝申し上げます。

第6章については、照会に快くご回答いただいた、中尾報告著者で現在株式会社東京設計事務所にご所属の中尾正和氏、及び図の転載をご許諾いただいた社団法人東京下水道設備協会技術部長の馬場勝美氏に感謝申し上げます。

第7章については、まず共著者である株式会社荒谷建設コンサルタントの岩元誠氏（元国土交通省

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室交流研究員)に感謝申し上げます。さらに、快く図の転載をご承諾いただいた政策研究大学院大学の松谷明彦教授,及び日本銀行調査統計局の大山剛氏に感謝申し上げます。

本研究では家族にも大きな負担を強いた。団らん・行楽,子供たちの各種行事等,家族で過ごすべき貴重な時間を研究の都合で大幅に圧縮することとなり,申し訳なく思う。筆者を支援し続けてくれた妻・直子と幼い子供たち,有喜(ゆき),和允(かずよし),麗南(れな)に心から感謝したい。

最後に,研究中の長い苦境にあって深く心に響いた言葉,『凡(すべ)て汝(なんじ)の手に堪(たふ)ることは力を尽くしてこれを為せ。』(旧約聖書,伝道の書9.10),『夕暮れの頃に明るくなるべし。』(同ゼカリヤ書14.7),『それでも地球は動く。』(Galileo)を記し,やがて新たな研究者が筆者の拓いた幽かな道をたどって実用的アセットマネジメントの秘奥を極めんことを願いつつ,稿を終える。

## 本研究を構成する査読原著論文

(第2章関連)

藤生和也：下水道事業においてストックが財務に与える影響度の指標，下水道協会誌，Vol.45，No.549，pp.92－98，2008/07

(第3章関連)

藤生和也，宮内千里：統計的手法による下水管渠の耐用年数確率分布推定及び将来改築必要量予測，建設マネジメント研究論文集，(社)土木学会，Vol.14，pp.65－72，2007/11

[http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/fujiu\\_2007nov.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/fujiu_2007nov.pdf)

(第4章関連)

藤生和也：下水道に起因する道路陥没数の推計，下水道協会誌，Vol.45，No.551，pp.109－117，2008/09

(第5章関連)

藤生和也：下水道現場コンクリートの硫化水素腐食に対する耐用年数，下水道協会誌，Vol.45，No.547，pp.104－113，2008/05

(第6章関連)

藤生和也，花木啓祐：下水道機電設備のマクロマネジメント手法，建設マネジメント研究論文集，(社)土木学会，Vol.15，pp.169－179，2008/12

(第7章関連)

藤生和也，岩元誠：割引率を用いた下水管渠に係る耐用年数と許容コストの関係の考察，下水道協会誌，Vol.44，No.542，pp.115－123，2007/12

## 無査読の発表資料

(第1章関連)

藤生和也：諸外国と日本のアセットマネジメントの導入事例及び既往研究，日本下水道協会主催第45回下水道研究発表会，韓国セッション基調講演配布資料，2008/07/23

[http://www.gesuikyoku.jp/kokusai/list/pdf/45\\_kankoku.pdf](http://www.gesuikyoku.jp/kokusai/list/pdf/45_kankoku.pdf)



## 付録

### 付録 1 (図 3.3 関係)

全管種合計のアンケート集計結果：設置年度別の供用延長と改築延長 (2005 年度末時点)

年度	供用延長	改築延長	年度	供用延長	改築延長	年度	供用延長	改築延長	年度	供用延長	改築延長
	(m)	(m)		(m)	(m)		(m)	(m)		(m)	(m)
2005	10,075,096	0	1979	6,253,419	8,856	1953	278,574	2,667	1927	57,499	4,214
2004	11,333,789	2,223	1978	5,848,319	2,928	1952	204,950	2,191	1926	128,904	3,720
2003	12,228,459	1,251	1977	4,843,638	4,432	1951	141,705	1,280	1925	60,182	670
2002	12,943,744	1,395	1976	4,203,449	4,653	1950	316,134	5,329	1924	17,938	279
2001	13,738,258	2,001	1975	4,172,888	3,687	1949	48,316	773	1923	7,953	287
2000	14,751,027	1,529	1974	4,490,881	6,884	1948	14,569	153	1922	20,656	172
1999	15,027,268	3,100	1973	4,621,265	10,212	1947	10,978	0	1921	487	0
1998	15,488,809	4,246	1972	4,474,513	5,618	1946	63,163	158	1920	178	0
1997	13,218,444	5,640	1971	3,999,604	4,694	1945	39,654	674	1919	1,511	0
1996	13,685,378	4,810	1970	3,227,142	11,306	1944	6,634	0	1918	144	0
1995	13,750,580	6,761	1969	2,564,828	10,367	1943	10,109	0	1917	140	0
1994	12,370,039	2,654	1968	2,326,882	8,126	1942	19,876	127	1916	84	0
1993	13,113,040	5,958	1967	1,969,815	6,696	1941	58,956	537	1915	26	0
1992	11,530,292	4,020	1966	1,842,188	6,209	1940	110,245	1,699	1914	6,677	0
1991	10,695,698	2,699	1965	1,489,829	7,823	1939	57,407	704	1913	711	0
1990	11,354,119	5,351	1964	1,350,402	5,961	1938	62,562	47	1912	1,562	191
1989	11,559,027	6,303	1963	1,019,836	2,334	1937	210,860	2,177	1911	1,529	0
1988	10,878,481	3,551	1962	995,790	5,173	1936	174,342	975	1910	2,428	105
1987	10,363,021	4,814	1961	727,697	3,034	1935	204,896	2,595	1909	892	0
1986	9,051,656	3,642	1960	848,054	5,616	1934	226,009	5,077	1908	307	0
1985	8,387,027	2,660	1959	481,983	3,558	1933	179,112	3,081	1907	0	0
1984	7,906,198	10,497	1958	511,988	3,614	1932	133,348	1,996	1906	340	0
1983	7,562,127	3,421	1957	438,829	6,710	1931	177,141	2,308	1905	0	0
1982	7,263,816	5,385	1956	397,095	4,098	1930	162,721	1,527	小計	358,586,946	304,734
1981	6,888,805	3,831	1955	379,982	5,637	1929	105,444	1,213	不明	24,426,201	117,057
1980	6,292,325	4,882	1954	243,801	3,719	1928	78,453	3,239	合計	383,013,147	421,791

付録2 (図 6.13 関係)

機電設置事業費の推計額 (億円) [2000 年度基準デフレーター補正]

年度	事業費	年度	事業費	年度	事業費
1958	97	1975	2,844	1992	5,381
1959	129	1976	2,791	1993	7,174
1960	205	1977	4,428	1994	5,318
1961	247	1978	4,846	1995	7,804
1962	303	1979	5,043	1996	6,384
1963	388	1980	4,795	1997	6,257
1964	462	1981	5,007	1998	9,283
1965	594	1982	4,045	1999	6,901
1966	713	1983	3,659	2000	6,175
1967	795	1984	3,414	2001	5,970
1968	808	1985	3,623	2002	5,281
1969	781	1986	3,922	2003	4,692
1970	932	1987	4,847	2004	4,326
1971	2,049	1988	4,258	2005	4,038
1972	3,354	1989	4,028	2006	3,757
1973	2,304	1990	4,096	2007	3,676
1974	1,694	1991	4,385	合計	178,303