

# 1. 下水道管路の持続可能なストックマネジメントに関する調査

下水道研究室 室長 横田 敏宏  
主任研究官 深谷 渉  
研究官 宮本 豊尚  
交流研究員 竹内 大輔

## 1. はじめに

我が国の下水道管路の総延長は、2015年度末で約47万kmに達し、うち約1万kmは布設後の経過年数が50年を超過している。また、平成27年度に発生した下水道管路起因の道路陥没件数は約3,300件/年を数え、将来的に下水道管路施設の老朽化等に起因する重大事故の発生リスクが高まることが危惧されている。今後、下水道施設を管理する地方公共団体は、平成27年度の改正下水道法施行による管路の点検義務化を踏まえ、陥没事故等の発生を抑制するため、予防保全を中心とした戦略的な維持管理や改築更新により下水道の機能を持続的に確保するとともに、これらにかかわるトータルコストを抑制していく必要がある。

しかしながら、中小の地方公共団体においては、財政難による厳しい予算的制約、団塊世代の退職と新規採用職員の減少による技術者不足などの問題を抱えており、限られた予算や職員数で、膨大な管路施設を管理するのは困難な状況にある。このため、下水道管路施設の効率的な整備・維持管理手法の導入による持続的な下水道事業運営を目指すストックマネジメントが実践されつつある。

国総研では、これまでにストックマネジメントの導入に当たり必要となる管きよの健全率予測式の作成<sup>1)</sup>や、信頼性重視保全の考え方に基づく調査頻度の考え方の提案<sup>2)</sup>を行ってきた。本研究では、道路陥没及び管内TVカメラ調査に関する最新データを基に、健全率予測式の更新及び改良、道路陥没等の事故防止に有効なスクリーニング手法に関する検討を行う。

## 2. 平成28年度研究内容

国総研では、全国から入手したTVカメラ調査データ(約15万スパン)を用いて健全率予測式を作成し、平成22年度に公表した。ここで健全率とは、全管路施設に対する健全な管きよの割合の推移を示し、その健全率と経過年数の関数式に基づき描いた曲線を「健全率曲線」、その近似式を「健全率予測式」という。健全率を表す指標は、施設の劣化度合いによる措置の緊急性を表す緊急度(措置の緊急性が高い順にⅠ・Ⅱ・Ⅲ・劣化なしの4段階)であり、健全率曲線は各緊急度の経過年数ごとの時系列推移を示している。将来の改築事業量及び点検調査量の算出に活用でき、ストックマネジメント計画の策定等に広く活用されている。

平成28年度においては、従前の健全率予測式の公開から5年が経過したことから、TVカメラ調査データの充実化を図り、最新データに基づく健全率予測式の更新を行った。また、健全率予測式は全国平均的な近似線であることから、都市の地域特性に応じた健全率予測式を作成するため、道路陥没の発生に与える影響因子を加味した条件付き健全率予測式について検討した。以下に、①下水道起因道路陥没と発生要因分析結果、②健全率予測式の検討結果を示す。

### 3. 下水道起因道路陥没と発生要因分析

#### 3.1. 発生要因の抽出

道路陥没の発生に与える影響因子として、地下水の変動や地震といった下水道施設以外で影響する外的要因、下水道の整備時期や管きょ条件等の下水道の整備状況に関連する内的要因、さらに、地盤の状態を示す微地形区分や土地利用区分等の地域的要因が考えられる。これらの大別される3つの要因のうち、外的要因と内的要因について関連する属性データを取得し、都市単位での下水道に起因する道路陥没に影響する因子の傾向の分析を行った。

##### (1) 外的要因

道路陥没を誘発する外的要因の一つとして【地下水】があげられる。地下水と道路陥没の関係性については、『地下水位の上下動により地盤の状態が不安定となる』、『ゲリラ豪雨のような大雨により、損傷部から周囲へ溢水することで地盤の状態が不安定となる』<sup>3)</sup>、「第1段階として『管の継手や取付管の接合不良により、浸入水が発生する。』、第2段階として『地下水浸入、満管時の下水の浸出、浸入により周辺地盤材料が管内に吸い込まれる。』」<sup>4)</sup>といった、地下水位と道路陥没発生メカニズムが報告されている。よって、ここでは、外的要因として地下水に着目する。なお、地中における地下水位の状況把握は非常に困難であり、同一都市内でも地下水の状況は大きく異なることから、陥没データと地下水の突合せは非常に困難である。地下水浸入水量は不明水量に含まれるため、今回は、地下水の代替指標として【不明水率】を用いて分析するものとする。

##### (2) 内的要因

内的要因として、【排除区分】、【布設年度】、【管種】、【管径】、【土被り】および【取付管本数】等の因子が考えられる。本検討では都市単位での道路陥没の傾向分析であることから、【排除区分】と【布設年度】、【管種】に着目し分析するものとする。なお、分析に用いる各因子のデータの詳細は下記の通りである。

##### ① 排除区分

分流と合流の【排除区分】を因子として用いた。

##### ② 布設年度（整備開始年代）

布設年度の古い管きょほど延長当たりの陥没件数が多くなる傾向<sup>5)</sup>が報告されていることから【布設年度】は重要な因子である。しかし、都市単位においては、処理区・スパン単位で整備時期が異なることもあるため、ここでは、最初に下水道事業に着手した処理区の整備開始年代を用いた。

##### ③ 管種（剛性管延長率）

【管種】は陥没原因管種別の割合で、鉄筋コンクリート管や陶管の剛性管の占める割合が高い<sup>6)</sup>ことが報告されている。このため、管種の代替指標として【剛性管延長率】を用いた。

#### 3.2. 発生要因の傾向分析

下水道管路施設起因の道路陥没と上記で抽出した各因子の関係を明らかにするため、各因子を細分化した上で、2007～2016年度に実施した「下水管路施設起因の道路陥没における全国調査」の調査結果データを基に分析を行った。分析結果を下記に示す。

##### (1) 不明水率

不明水率は、2006年度～2013年度の各年度の下水道統計<sup>7)</sup>記載の処理水量（晴天時汚水量）と有収水量の値から、式-3.1により各年度の不明水率を算出し、年間平均値を用いた。

$$\text{不明水率} = \frac{\text{処理水量} - \text{有収水量}}{\text{処理水量}} \times 100$$

… 式-3.1

下水道実施済みの全都市のうち、2007～2016年度の期間中に1件以上陥没が発生した都市の割合（陥没発生都市割合）を不明水率で整理した。不明水率を10%刻みで細分化したところ、図-3.1に示す通り、不明水率が高くなるに従い陥没発生都市割合が高い傾向を示した。特に不明水10%未満では、陥没発生都市割合が極めて低い傾向を示した。

### (2) 排除区分

下水道実施済みの全都市のうち、2007～2016年度の期間中に1件以上陥没が発生した都市の割合（陥没発生都市割合）を排除区分で整理した。図-3.2に示す通り、分流に比べ合流の陥没発生都市割合が高く、約5倍の差があった。

### (3) 整備開始年度

下水道実施済みの全都市のうち、2007～2016年度の期間中に1件以上陥没が発生した都市の割合（陥没発生都市割合）を整備開始年度で整理した。図-3.3に示す通り、整備開始年度が古いほど陥没発生都市割合が高くなり、特に1974年以降は陥没発生都市割合が極めて低い。

### (4) 剛性管延長率

下水道実施済みの全都市のうち、2007～2016年度の期間中に1件以上陥没が発生した都市の割合（陥没発生都市割合）を剛性管延長率で整理した。図-3.4に示す通り、コンクリート管、陶管といった剛性管の延長率が高いほど陥没発生都市の割合が高く、陥没との関連性が伺える。

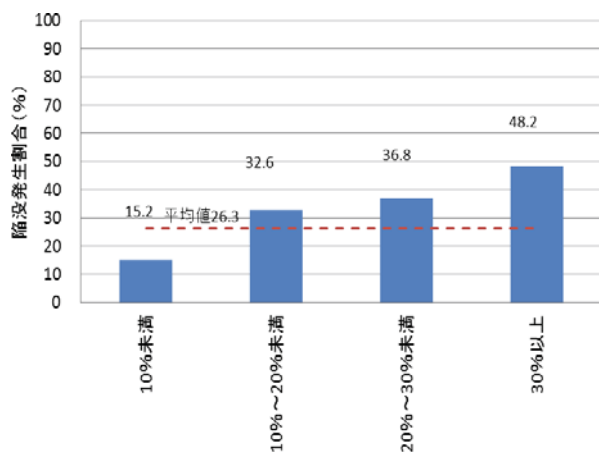


図-3.1 不明水率と陥没発生都市割合

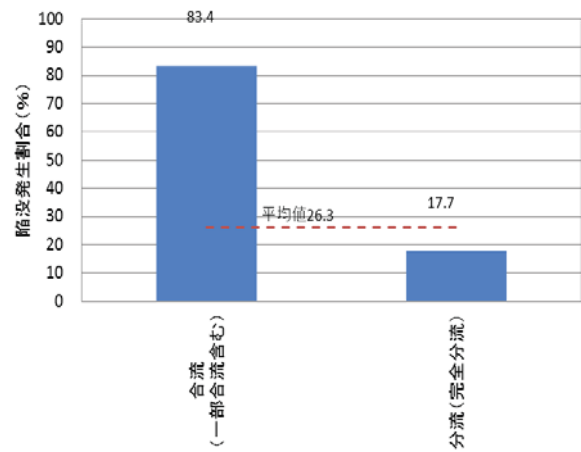


図-3.2 排除区分と陥没発生都市割合

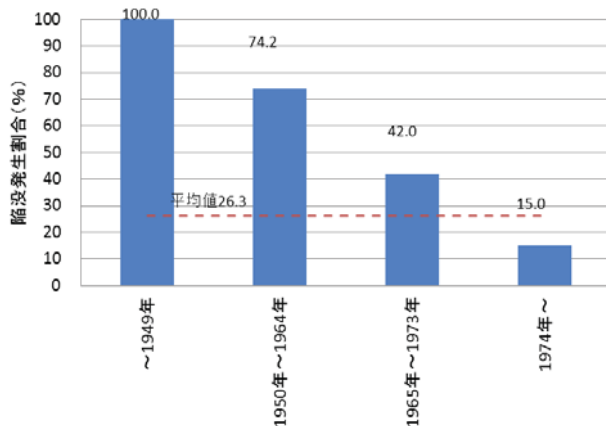


図-3.3 整備開始年代と陥没発生都市割合

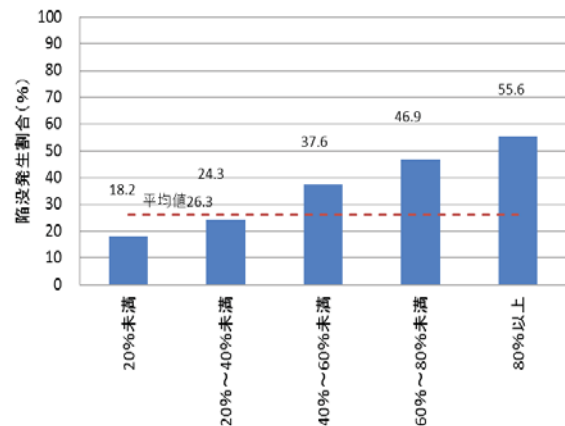


図-3.4 剛性管延長率と陥没発生都市割合

### 3.3 決定木分析による影響因子の分類化

前述の通り、影響因子の細分化による整理により、影響因子と道路陥没の間には関係性が認められる。ここでは、影響因子の細分化による整理データを用いて、異なる影響因子間の影響度合いを分析し、陥没有無を決定づける最も有効な因子（条件）の抽出を行う。

分析手法として、データマイニングの一種でありデータの中から注目したい領域を発見し物事を判別する手法で、物事の多様性を整理し判別予測を行うために広く用いられている「決定木」を分析方法とし、「下水道管路起因の道路陥没における全国調査」の調査結果を活用し、前述で列挙した都市単位で表現できる4因子と道路陥没発生の有無との関係について検討した。

#### 3.3.1 決定木分析<sup>8)</sup>

決定木分析とは、多様なデータ集合から結果（目的変数）を判別するために無数の層の分析を自動で行う方法である（図-3.5）。決定木分析の最大の特徴は、データを分類する質問をノード（節）、分類結果をリーフ（葉）としたツリー構造で表現することで、結果に至る過程や分類点のカテゴリーが視覚的に判断しやすいものとする。

決定木分析は、「特徴集合の中で、その特徴を使った分類を行うことによって、データがきれいに正例と負例に分類を行う」ことにより作成される。きれいに正例と負例に分けることは、情報の乱雑さが少なくなるように分類することであり、

乱雑さの尺度として情報理論で定義されたエントロピーを用いる。学習データ集合  $D$  の乱雑さを計算するために、まず正例の割合  $P_+$ 、負例の割合  $P_-$  を計算し、それを基に式-3.2によってその集合の乱雑さ（エントロピー）  $Entropy(D)$  を求める。

$$Entropy(D) = -P_+ \log_2 P_+ - P_- \log_2 P_- \quad \dots \text{式-3.2}$$

このエントロピーの値が小さいほど、集合が乱雑でない、すなわち整っていることとなる。エントロピーは集合に対して定義されるものであり、分類前は一つの集合で、分類後は各特徴種類数だけ集合ができ、分類後の集合の要素数の割合で重みづけして計算したものを情報獲得量と定義される。情報獲得量は、ある特徴を用いた分類後のエントロピーの減少量とし、特徴  $a$  がとれる値の集合  $Values(a)$  の中から、値  $v \in Values(a)$  をとる学習データの集合を  $D_v$ 、集合  $D_v$  の要素数を  $|D_v|$  と表現したとき、情報獲得量  $Gain(D, a)$  は式-3.3 で定義される。

$$Gain(D, a) \equiv Entropy(D) - \sum_{v \in Values(a)} \frac{|D_v|}{|D|} Entropy(D_v) \quad \dots \text{式-3.3}$$

決定木は、各分岐点において最適な分類（情報獲得量が最大の特徴）で分岐し、それを繰り返すことで結果（目的変数）を判別する方法である。

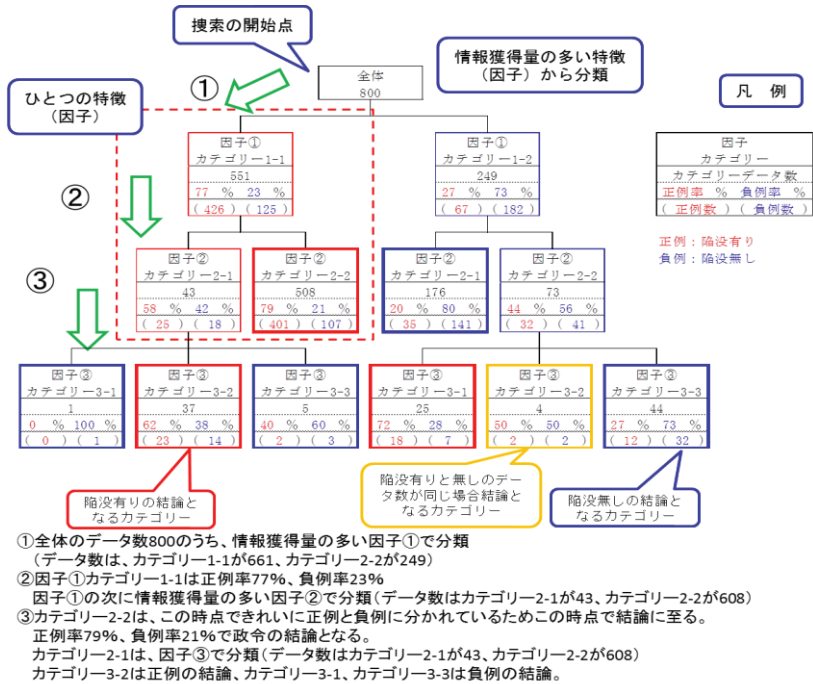


図-3.5 決定木概念図

### 3.3.2 分析結果

決定木分析の結果を図-3.6、図-3.7に示す。

ケース1では、1番目に排除区分で分岐し、2番目に整備開始年代で分岐している。排除区分の傾向は、1番目に分岐しているため排除区分単独での傾向、割合と同じである。整備開始年代は、合流、分流ともに整備開始年代が古いほど陥没有の割合が高くなっている。また、分流については陥没無の割合が82%と高いが、1949年以前のみ陥没有に分類されている。

ケース2は、排除区分における陥没有と陥没無のデータの偏りが多いことや、排除区分に関係ない場合のケースとして、排除区分を除いた3因子にて決定木分析を行った。分析の結果、1番目に整備開始年代で分岐している。

都市単位の陥没傾向として、整備開始年代が古いほど陥没が発生しやすい傾向にあるといえる。特に、1949年以前は、排除区分を入れたケースとそうでないケースのどちらにおいても、[陥没有]の傾向になっている。

整備開始年代、不明水率の各ケースにおける分岐・結論時の陥没有の割合をそれぞれ表-3.1、表-3.2に示す。整備開始年代については、概ね、整備開始年代が古いほど陥没有の割合が高くなっており、分岐している順番が早いいため、単独での傾向と概ね一致する。

また、不明水率について単独での傾向では、不明水率が高いほど陥没発生都市の割合が多くなっているが、決定木分析では、必ずしもそうではない。しかしながら、不明水率10%未満については、ケース2において分岐結果として5箇所抽出しているが、表-3.3に示すようにどの結果についても、1番目の分岐の陥没無の割合よりも不明水率10%未満における陥没無の割合が高くなっている。これは、条件を組み合わせることによって、より陥没しにくいと判別されたことを表している。

表-3.1 分岐・結論における陥没有割合一覧（整備開始年代）

ケース	分岐・結論条件	陥没有割合
ケース1	排水区分:合流 整備開始年代:1949年以前	100%
	排水区分:合流 整備開始年代:1950年～1964年	88%
	排水区分:合流 整備開始年代:1965年～1973年	67%
	排水区分:合流 整備開始年代:1974年以降	75%
	排水区分:分流 整備開始年代:1949年以前	100%
	排水区分:分流 整備開始年代:1950年～1964年	45%
	排水区分:分流 整備開始年代:1965年～1973年	34%
	排水区分:分流 整備開始年代:1974年以降	14%
ケース2	整備開始年代:1949年以前	100%
	整備開始年代:1950年～1964年	74%
	整備開始年代:1965年～1973年	42%
	整備開始年代:1974年以降	15%



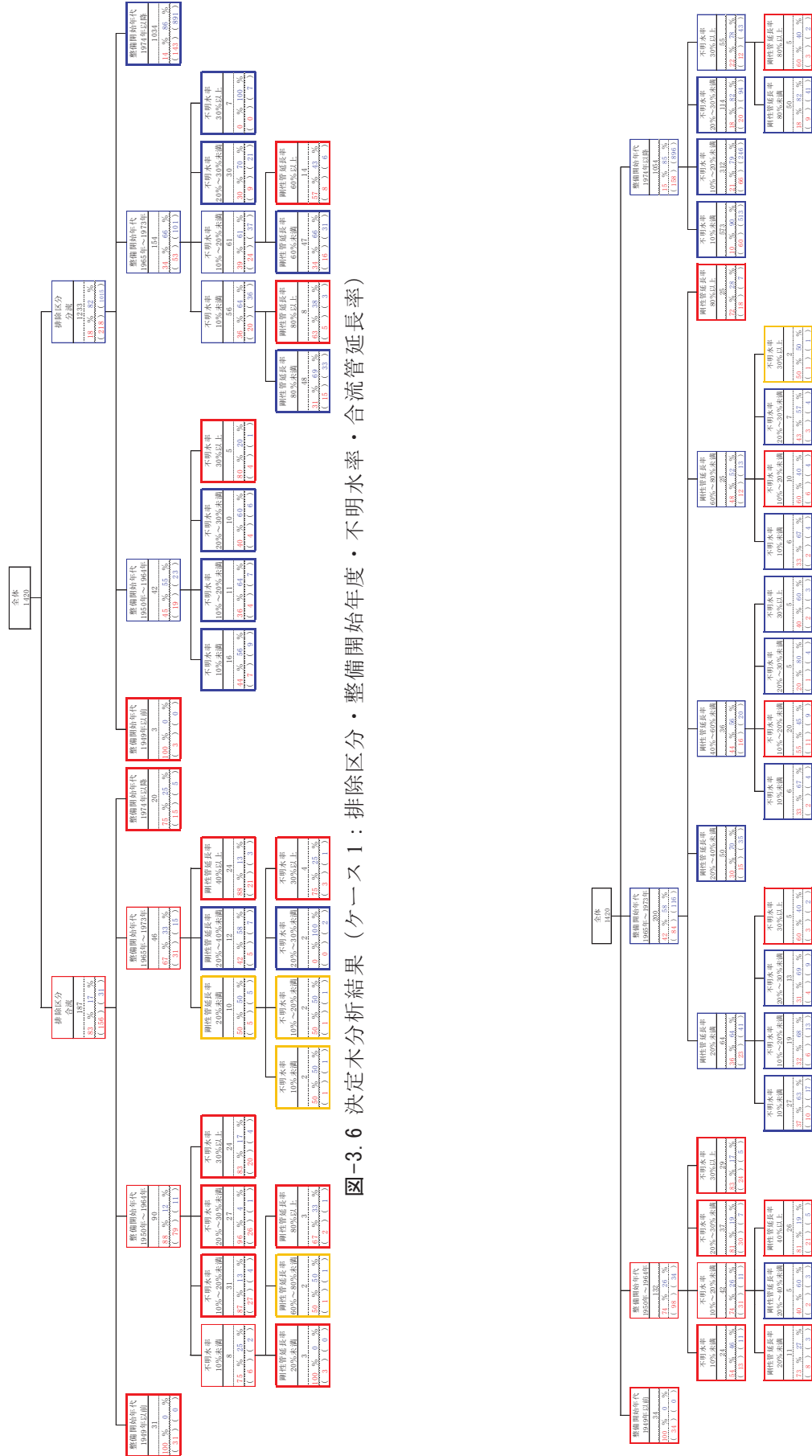


図-3.6 決定木分析結果（ケース1：排除区分・整備開始年度・不明水率・合流管延長率）

図-3.7 決定木分析結果（ケース2：整備開始年度・不明水率・合流管延長率）

表-3.2 分岐・結論における陥没有割合一覧（不明水率）

ケース	分岐・結論条件			陥没有割合	
ケース1	排水区分: 合流	整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 10%未満	75%	
	排水区分: 合流	整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 10%～20%未満	87%	
	排水区分: 合流	整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 20%～30%未満	96%	
	排水区分: 合流	整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 30%以上	83%	
	排水区分: 合流	整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 20%未満	不明水率: 10%未満	50%
	排水区分: 合流	整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 20%未満	不明水率: 10%～20%未満	50%
	排水区分: 合流	整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 20%未満	不明水率: 20%～30%未満	100%
	排水区分: 合流	整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 20%未満	不明水率: 30%以上	75%
	排水区分: 分流	整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 10%未満		44%
	排水区分: 分流	整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 10%～20%未満		36%
	排水区分: 分流	整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 20%～30%未満		40%
	排水区分: 分流	整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 30%以上		80%
	排水区分: 分流	整備開始年代: 1965年～1973年	不明水率: 10%未満		36%
	排水区分: 分流	整備開始年代: 1965年～1973年	不明水率: 10%～20%未満		39%
	排水区分: 分流	整備開始年代: 1965年～1973年	不明水率: 20%～30%未満		30%
	排水区分: 分流	整備開始年代: 1965年～1973年	不明水率: 30%以上		0%
ケース2		整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 10%未満	54%	
		整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 10%～20%未満	74%	
		整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 20%～30%未満	81%	
		整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 30%以上	83%	
		整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 20%未満	不明水率: 10%未満	37%
		整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 20%未満	不明水率: 10%～20%未満	32%
		整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 20%未満	不明水率: 20%～30%未満	31%
		整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 20%未満	不明水率: 30%以上	60%
		整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 40%～60%未満	不明水率: 10%未満	33%
		整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 40%～60%未満	不明水率: 10%～20%未満	55%
		整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 40%～60%未満	不明水率: 20%～30%未満	20%
		整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 40%～60%未満	不明水率: 30%以上	40%
		整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 60%～80%未満	不明水率: 10%未満	33%
		整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 60%～80%未満	不明水率: 10%～20%未満	60%
		整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 60%～80%未満	不明水率: 20%～30%未満	43%
		整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 60%～80%未満	不明水率: 30%以上	50%
	整備開始年代: 1974年以降	不明水率: 10%未満		10%	
	整備開始年代: 1974年以降	不明水率: 10%～20%未満		21%	
	整備開始年代: 1974年以降	不明水率: 20%～30%未満		18%	
	整備開始年代: 1974年以降	不明水率: 30%以上		22%	

表-3.3 初期分岐と最終結論における陥没無割合一覧（不明水率 10%未満）

初期分岐結果		最終結論結果			
分岐条件	陥没無割合	結論条件		陥没無割合	
整備開始年代: 1950年～1964年	26%	整備開始年代: 1950年～1964年	不明水率: 10%未満	46%	
整備開始年代: 1965年～1973年	58%	整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 20%未満	不明水率: 10%未満	63%
整備開始年代: 1965年～1973年	58%	整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 40%～60%未満	不明水率: 10%未満	67%
整備開始年代: 1965年～1973年	58%	整備開始年代: 1965年～1973年	剛性管延長率: 60%～80%未満	不明水率: 10%未満	67%
整備開始年代: 1974年以降	85%	整備開始年代: 1974年以降	不明水率: 10%未満		90%

#### 4. 健全率予測式の作成

##### 4.1. 健全率予測式の更新

健全率予測式の作成に用いたデータは、既報において作成したデータ（約 15 万スパン）に加え、新たに収集したデータを追加したもの（計約 32 万スパン）を使用した。健全率予測式に使用したデータの都市名、都市規模、データ数を表-4.1 に示す。なお、都市名の「その他」は、1 都市当たりのデータ数が 1 万データ程度以下の都市を合わせたものである。

健全率予測式は、既報において「ワイブル分布式による近似が最も適合していると考えられる」とあることから、ワイブル分布式により作成した。

従来の健全率予測式（標準形）との緊急度の割合 50%時経過年数比較表を表-4.2、更新した健全率予測式（健全率予測式 2017）を表-4.3、健全率曲線を図-4.1～図-4.3に示す。

表-4.2より、「緊急度Ⅱ～劣化無し」の50%時経過年数は、従来に比べ2～3年長くなっている。点検調査・修繕等の維持管理が実施されてきたことにより管の寿命が伸びているものと考えられる。また、「緊急度Ⅲ～劣化無し」の50%時経過年数が従来に比べ5年～8年短くなっているが、点検調査が進んだことで、不具合のある管が多く発見されているためと考えられる。

#### 4.2 健全率予測式の精度検証

健全率予測式の精度について、決定係数  $R^2$  値だけでなく、データのばらつきを表す標準偏差、プロット値が信頼区間に含まれる割合（以下、適合率）で検証した。図-4.1～図-4.3には、信頼水準 95%の信頼区間を示した。

また、各曲線の決定係数  $R^2$ 、データ数  $n$ 、標準偏差  $\sigma$ 、信頼区間および適合率を表-4.4に示す。適合率は、劣化無し～Ⅱは99%～100%、劣化無し～Ⅲ及び劣化無しは、コンクリート管の劣化無しが29.5%と低い、それ以外は49.4%～76.5%程度となった。また、決定係数と適合率の相関係数は0.97と高く、決定係数が高いと適合率が高い傾向が見られる。また、標準偏差と適合率については、図-4.4に標準偏差と適合率の関係を示している。標準偏差と適合率の相関係数は0.1598と相関は低く、標準偏差が大きいと適合率が高い傾向が見られる。

表-4.1 健全率予測式作成使用データ一覧

都市名	都市規模	データ数			
		全体	コンクリート管	陶管	塩ビ管
A市	政令指定都市	62,457	39,312	23,145	0
B市	政令指定都市	85,032	49,785	34,863	330
C市	政令指定都市	37,134	20,706	14,711	477
D市	政令指定都市	9,456	3,491	5,799	80
E市	政令指定都市	51,179	49,500	222	1,336
その他	政令指定都市	3,334	1,064	575	1,694
その他	30万人以上	13,206	11,119	908	1,091
その他	10万人以上	14,689	10,304	856	3,376
その他	5万人以上	2,660	1,590	2	1,068
その他	1万人以上	424	0	0	424
その他	合計	34,313	24,077	2,341	7,653
政令指定都市合計		248,592	163,858	79,315	3,917
30万人以上都市合計		13,206	11,119	908	1,091
10万人以上都市合計		14,689	10,304	856	3,376
5万人以上都市合計		2,660	1,590	2	1,068
1万人以上都市合計		424	0	0	424
合計		279,571	186,871	81,081	9,876

表-4.2 50%時経過年数比較表

項目		50%時経過年数	
		更新後	従来
全管種	緊急度Ⅱ～劣化無し	78年 (+6年)	72年
	緊急度Ⅲ～劣化無し	42年 (-8年)	50年
	劣化無し	9年 (0年)	9年
コンクリート管	緊急度Ⅱ～劣化無し	80年 (+8年)	72年
	緊急度Ⅲ～劣化無し	46年 (-5年)	51年
	劣化無し	6年 (+4年)	2年
陶管	緊急度Ⅱ～劣化無し	70年 (+3年)	67年
	緊急度Ⅲ～劣化無し	38年 (-4年)	42年
	劣化無し	5年 (-1年)	6年

経過年数：管路布設年度からの経過年数

表-4.3 健全率予測式 2017

項目		健全率予測式	$R^2$
全管種	緊急度Ⅱ～劣化無し	$Y = \exp\{-(t/85.81)^{4.040}\}$	0.9929
	緊急度Ⅲ～劣化無し	$Y = \exp\{-(t/51.58)^{1.863}\}$	0.92222
	劣化無し	$Y = \exp\{-(t/15.82)^{0.625}\}$	0.8356
コンクリート管	緊急度Ⅱ～劣化無し	$Y = \exp\{-(t/87.26)^{4.051}\}$	0.9943
	緊急度Ⅲ～劣化無し	$Y = \exp\{-(t/58.16)^{1.606}\}$	0.8893
	劣化無し	$Y = \exp\{-(t/12.72)^{0.464}\}$	0.7149
陶管	緊急度Ⅱ～劣化無し	$Y = \exp\{-(t/77.23)^{3.753}\}$	0.9863
	緊急度Ⅲ～劣化無し	$Y = \exp\{-(t/43.63)^{2.508}\}$	0.9362
	劣化無し	$Y = \exp\{-(t/9.73)^{0.583}\}$	0.7770



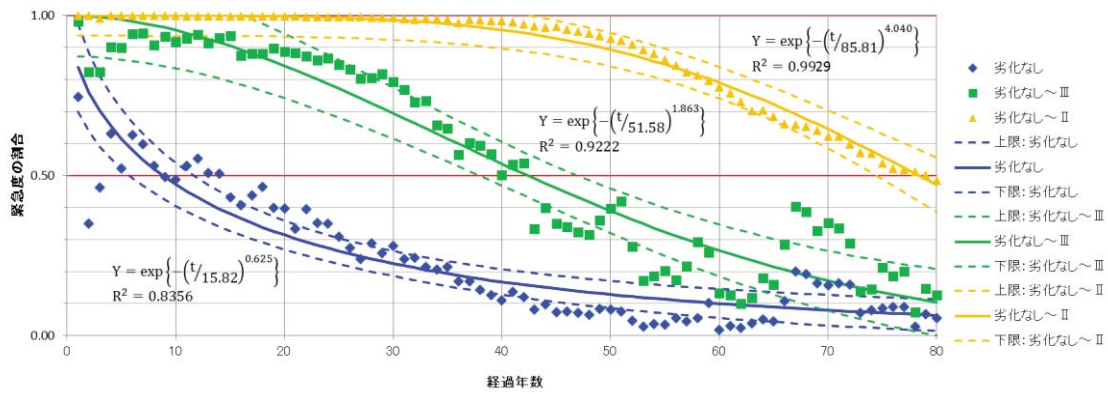


図-4.1 健全率曲線（全管種）

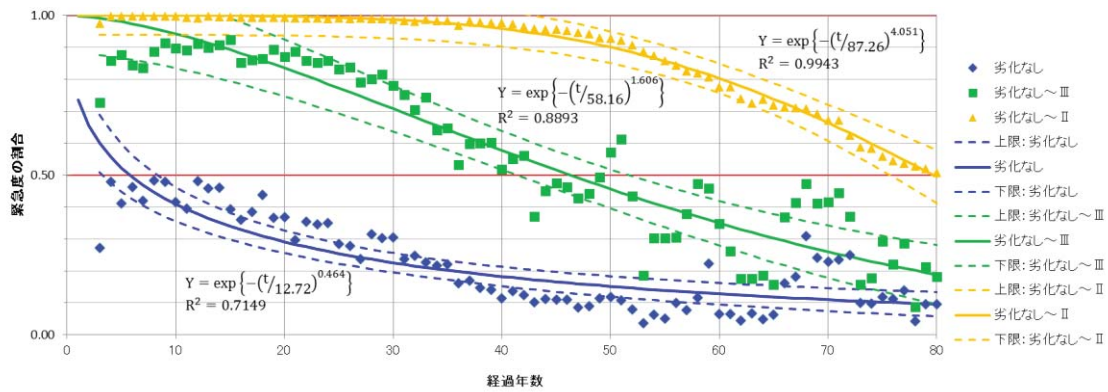


図-4.2 健全率曲線（コンクリート管）

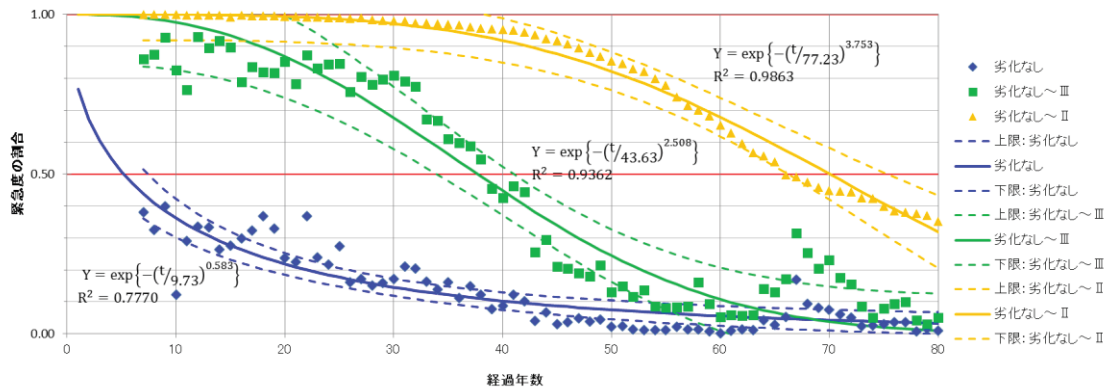


図-4.3 健全率曲線（陶管）

表-4.4 決定係数・標準偏差・信頼区間・適合率

管種	曲線	決定係数	データ数	標準偏差	信頼区間	適合率
全管種	劣化なし〜II	0.9929	92	0.233	0.097	100%
全管種	劣化なし〜III	0.9222	92	0.320	0.132	66.3%
全管種	劣化なし	0.8356	92	0.186	0.077	52.2%
コンクリート管	劣化なし〜II	0.9943	89	0.218	0.092	100%
コンクリート管	劣化なし〜III	0.8893	89	0.279	0.118	58.4%
コンクリート管	劣化なし	0.7149	88	0.140	0.060	29.5%
陶管	劣化なし〜II	0.9863	81	0.259	0.115	99%
陶管	劣化なし〜III	0.9362	81	0.336	0.148	76.5%
陶管	劣化なし	0.7770	77	0.117	0.053	49.4%

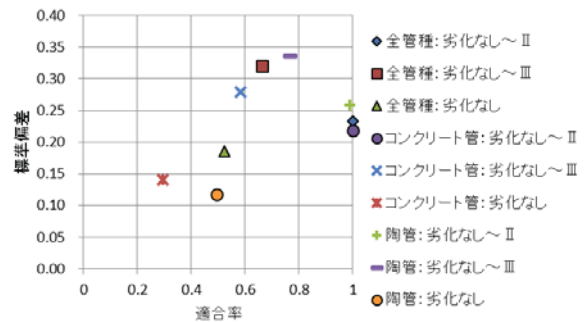


図-4.4 標準偏差・適合率関係図

### 4.3 条件付き健全率予測式

陥没の発生傾向と管きよの劣化傾向との関連性について不明水率や整備開始年代の条件で都市の分類を行い、それぞれの健全率曲線の作成と信頼区間を算出し、全国平均の健全率曲線との比較と、信頼区間に対する各都市のプロットの適合率を算出した。

分類の条件は、前述の決定木分析に用いた因子の不明水率と整備開始年代とした。分類は前述の決定木分析における都市別の陥没傾向を考慮し以下の通りとした。

不明水率は、10%未満については陥没が発生しにくい傾向が見られたことから、「10%未満」と「10%以上」で分類した。また、整備開始年代は、1949年以前で陥没が発生しやすい傾向が見られたことから、「1949年以前」、と「1950年以降」で分類した。なお、比較検討を行うための条件付き健全率予測式は、改築更新の目安となる緊急度Ⅱ以上、すなわち、「劣化なし～Ⅲ」の予測式とした。

#### (1) 不明水率

全管種、コンクリート管、陶管における不明水率10%未満と10%以上の健全率曲線に信頼区間95%の信頼区間と経過年数ごとの各都市の健全度の割合をプロットした図を図-4.6～図-4.11に示す。また、各曲線の健全度50%時経過年数を表-4.5に、決定係数 $R^2$ 、データ数 $n$ 、標準偏差 $\sigma$ 、信頼区間および、適合率を表-4.6に、条件付健全率曲線が標準形の健全率曲線の信頼区間に含まれる率（以下、重複率）を表-4.7に示す。なお、決定係数、データ数、標準偏差および信頼区間は、各都市の平均値で健全率予測式を作成した時のデータによる算出結果であり、適合率は各都市のデータによる算出結果である。

不明水率10%未満は、各管種ともに全国平均の健全率曲線よりも健全度の割合は高い傾向が見られる。一方、10%以上は、各管種ともに全国平均の健全率曲線よりも健全度の割合が低い傾向が見られる。表-4.5より、各管種とも健全度50%における経過年数は標準形に対し、10%未満が長

表-4.5 健全度50%時経過年数（不明水）

管種	条件	50%時経過年数	
		条件付	基本形
全管種	10%未満	55年(+13年)	42年
全管種	10%以上	37年(-5年)	42年
コンクリート管	10%未満	62年(+16年)	46年
コンクリート管	10%以上	38年(-8年)	46年
陶管	10%未満	45年(+7年)	38年
陶管	10%以上	37年(-1年)	38年

表-4.6 決定係数・標準偏差・信頼区間・適合率（不明水）

管種	条件	決定係数	データ数	標準偏差	信頼区間	適合率
全管種	10%未満	0.9618	71	0.230	0.109	69.7%
全管種	10%以上	0.9609	91	0.336	0.140	33.3%
コンクリート管	10%未満	0.9171	68	0.190	0.092	58.5%
コンクリート管	10%以上	0.9154	87	0.291	0.124	23.9%
陶管	10%未満	0.9229	57	0.244	0.130	70.0%
陶管	10%以上	0.9688	81	0.356	0.158	38.8%

表-4.7 標準形と条件付（不明水）の重複率

管種	条件	重複率
全管種	10%未満	29.3%
全管種	10%以上	71.7%
コンクリート管	10%未満	27.0%
コンクリート管	10%以上	59.6%
陶管	10%未満	38.3%
陶管	10%以上	82.7%

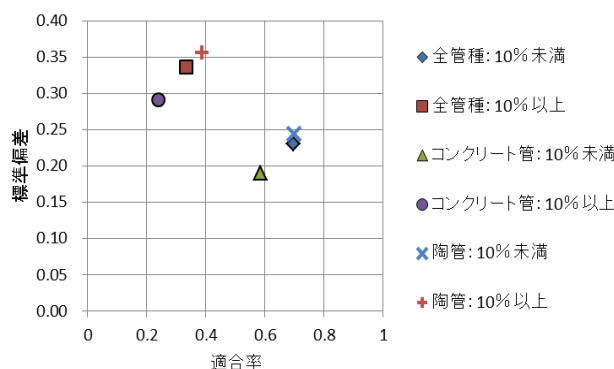


図-4.5 標準偏差・適合率関係図（不明水）

く、10%以上が短くなっている。不明水率の条件ごとの差は、全管種が18年、コンクリート管が24年、陶管が8年となっている。

また、適合率は、不明水率10%未満が58.5%~70.0%と比較的高い割合を示しているのに対し、不明水率10%以上は23.9%~38.8%と低い。さらに、プロットの傾向を見ると不明水率10%以上について、B市のみが健全率曲線よりも健全度の割合が低く、それ以外の都市は健全度の割合が高い。不明水率10%以上において都市ごとのばらつきが多いのは、破損や継手ズレ等の管きよの異常が原因の不明水が多い都市、雨水管の誤接が原因の不明水が多い都市で傾向が異なり、必ずしも不明水が多いことと管きよの健全度が低いことが一致しないためと考えられる。

決定係数と適合率の相関係数は-0.0531と低い。また、標準偏差と適合率（図-4.5）の相関係数は-0.7211とやや高く、標準偏差（ばらつき）が大きいと適合率が低い傾向が見られる。

重複率（表-4.7）は、有意差検定として用いる場合、重複率33%未満で有意差があると認められる。標準形健全率予測式と条件付健全率曲線間に明確な有意差（違い）があると判断できるのは、不明水10%未満の全管種及びコンクリート管であり、10%未満の陶管、10%以上の全管種及びコンクリート管、陶管は有意差が認められない。また、10%未満と10%以上の重複率では、全管種及びコンクリート管で有意差が認められた。

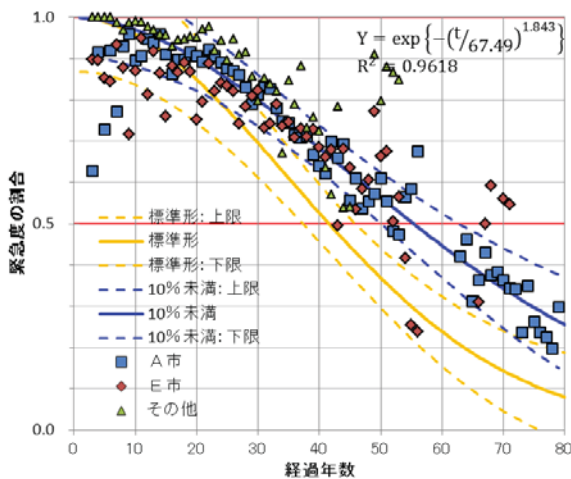


図-4.6 健全率曲線  
(全管種・不明水率10%未満)

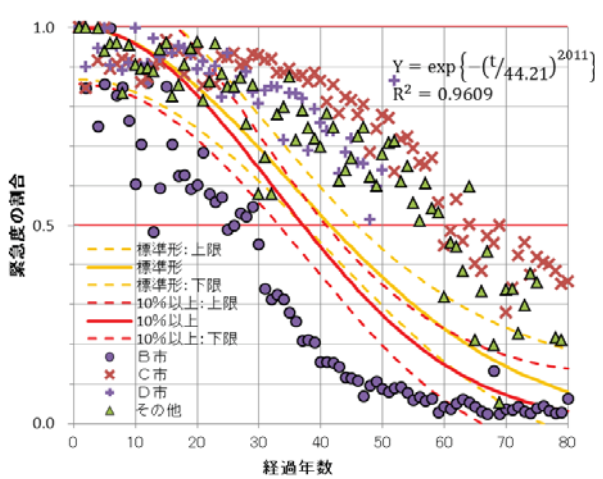


図-4.7 健全率曲線  
(全管種・不明水率10%以上)

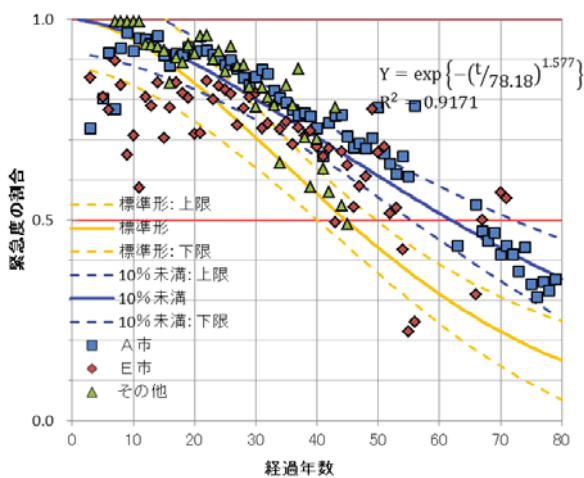


図-4.8 健全率曲線  
(コンクリート管・不明水率10%未満)

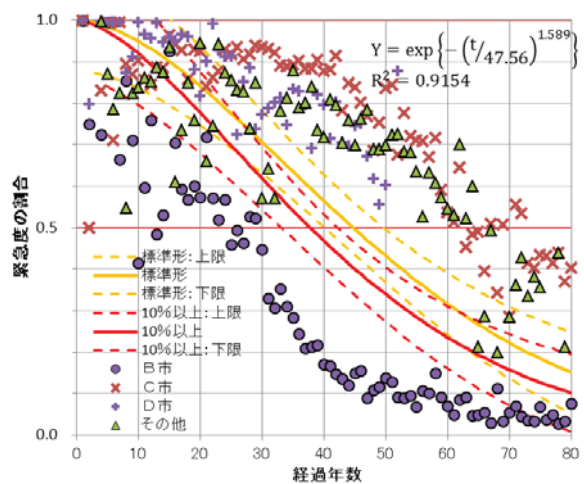


図-4.9 健全率曲線  
(コンクリート管・不明水率10%以上)

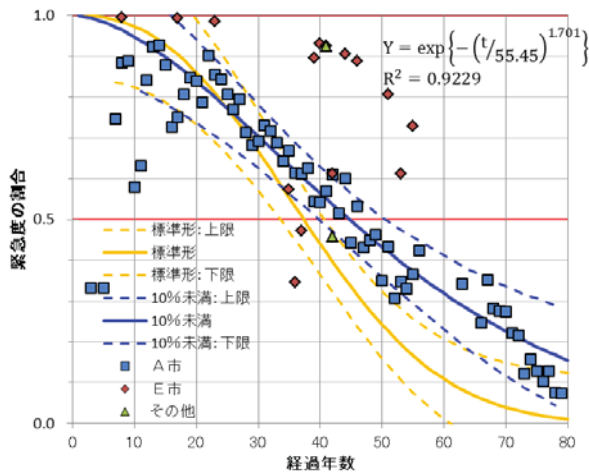


図-4.10 健全率曲線  
(陶管・不明水率 10%未満)

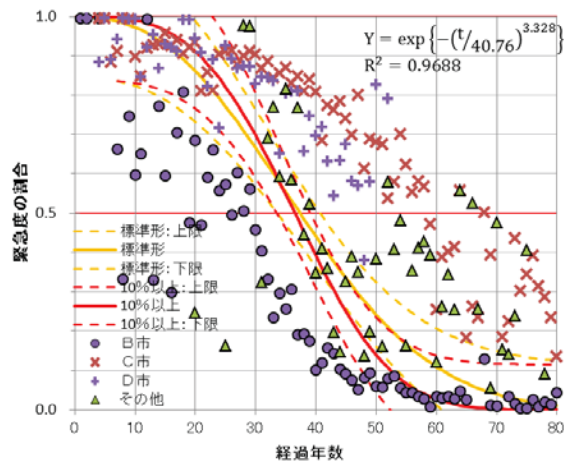


図-4.11 健全率曲線  
(陶管・不明水率 10%以上)

## (2) 整備開始年代

管種、コンクリート管および、陶管における整備開始年代 1949 年以前と 1950 年以降の健全率曲線に信頼区間 95% の信頼区間と経過年数ごとの各都市の健全度の割合をプロットした図を図-4.13 ~ 図-4.18 に示す。また、各曲線の健全度 50% 時経過年数を表-4.8 に、各曲線の決定係数  $R^2$ 、データ数  $n$ 、標準偏差  $\sigma$ 、および、適合率を表-4.9 に示す。なお、決定係数、データ数、標準偏差および信頼区間は、各都市の平均値で健全率予測式を作成した時のデータによる算出結果であり、適合率は各都市のデータによる算出結果である。

1949 年以前は、各管種ともに全国平均の健全率曲線よりも健全度の割合は低い傾向が見られる。一方、1950 年以降は、各管種ともに全国平均の健全率曲線よりも健全度の割合が高い傾向が見られる。

また適合率は、1949 年以前が 18.0% ~ 28.7% と低く、1950 年以降は 30.8% ~ 54.2% となった。さらに、プロットの傾向を見ると 1949 年以前については B 市のみが健全率曲線よりも健全度の割合が低く、それ以外の都市は健全度の割合

表-4.8 健全度 50% 時経過年数 (整備開始年代)

管種	条件	50% 時経過年数	
		条件付	基本形
全管種	1949 年以前	38 年 (-4 年)	42 年
全管種	1950 年以降	63 年 (+21 年)	42 年
コンクリート管	1949 年以前	40 年 (-6 年)	46 年
コンクリート管	1950 年以降	-----	46 年
陶管	1949 年以前	36 年 (-2 年)	38 年
陶管	1950 年以降	47 年 (+19 年)	38 年

表-4.9 決定係数・標準偏差・信頼区間・適合率  
(整備開始年代)

管種	条件	決定係数	データ数	標準偏差	信頼区間	適合率
全管種	1949 年以前	0.9011	91	0.327	0.136	24.9%
全管種	1950 年以降	0.8756	60	0.148	0.077	54.2%
コンクリート管	1949 年以前	0.8819	88	0.302	0.128	18.0%
コンクリート管	1950 年以降	0.7282	56	0.105	0.056	30.8%
陶管	1949 年以前	0.9238	81	0.331	0.146	28.7%
陶管	1950 年以降	0.7782	36	0.208	0.141	37.3%

表-4.10 標準形と条件付の重複率 (整備開始年代)

管種	条件	重複率
全管種	1949 年以前	100%
全管種	1950 年以降	30.4%
コンクリート管	1949 年以前	92.1%
コンクリート管	1950 年以降	32.6%
陶管	1949 年以前	100%
陶管	1950 年以降	44.4%



が高い。

決定係数と適合率の相関係数は-0.1490と低い。また、標準偏差と適合率(図-4.12)の相関係数は-0.6306とやや高く、標準偏差(ばらつき)が大きいと適合率が低い傾向が見られる。

重複率(表-4.10)は、1950年以降の全管種及びコンクリート管で有意差が認められる一方、1949年以前及び1950年以降の陶管は有意差が認められない。なお、1949年以前と1950年以降の間の重複率では、陶管に有意差が認められた。

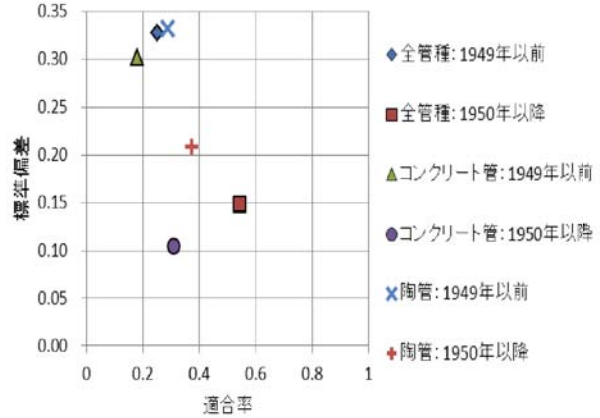


図-4.12 標準偏差・適合率関係図  
整備開始年代

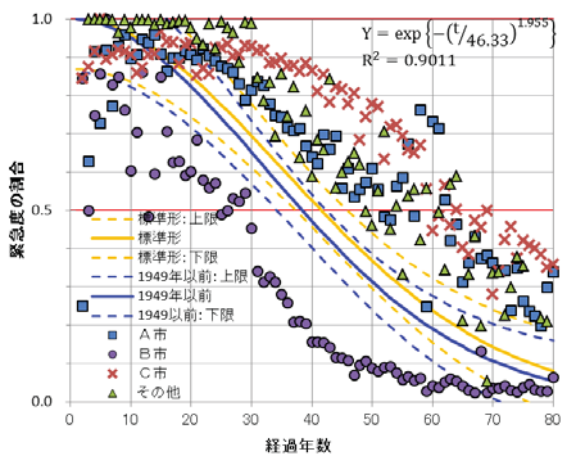


図-4.13 健全率曲線  
(全管種・1949年以前)

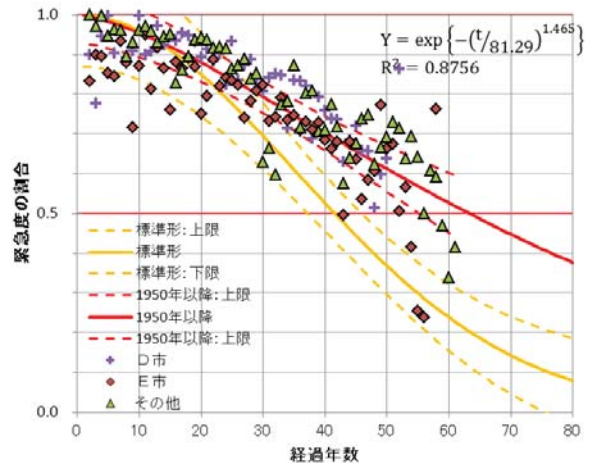


図-4.14 健全率曲線  
(全管種・1950年以降)

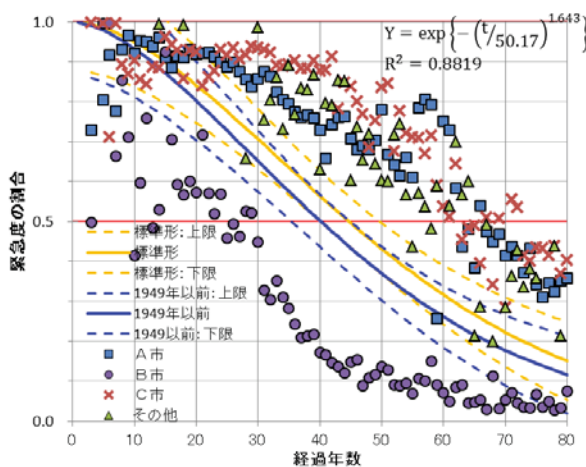


図-4.15 健全率曲線  
(コンクリート管・1949年以前)

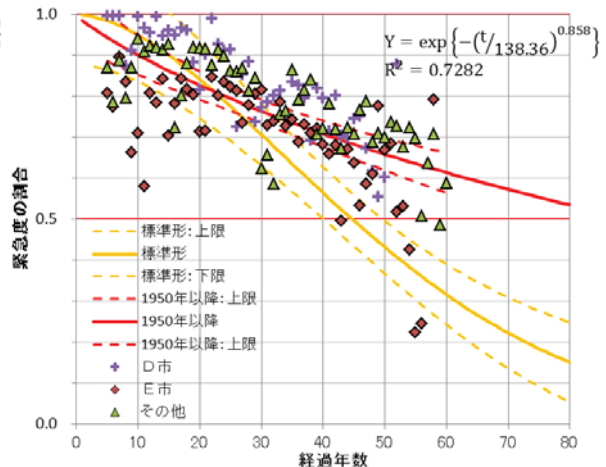


図-4.16 健全率曲線  
(コンクリート管・1950年以降)



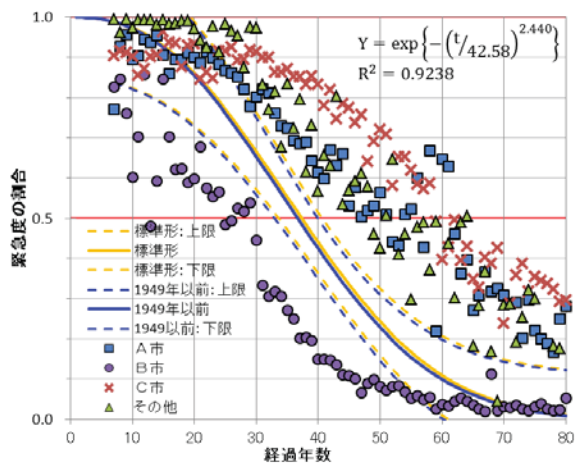


図-4.17 健全率曲線  
(陶管・1949年以前)

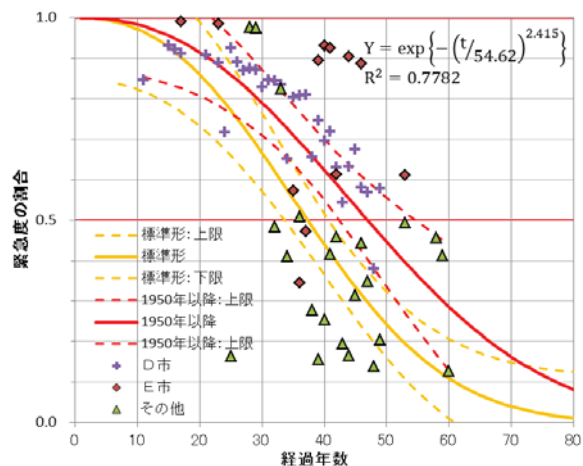


図-4.18 健全率曲線  
(陶管・1950年以降)

## 5. まとめ

平成28年度の研究においては、TVカメラ調査データを追加収集し、健全率予測式の更新を行ったほか、陥没発生特性を踏まえた条件付き健全率予測式の検討を行った。

更新した健全率予測式2017では、従前の予測式と比較し若干の寿命の延伸が見られた。条件付き健全率予測式については、陥没発生との因果関係が深いとの報告事例のある不明水率及び布設年度に着目して検討を実施したところ、不明水率10%未満と以上、整備開始年代1949年以前と1950年以降で健全率予測式に大きな違いが見られることを確認した。

健全率予測式は、改築事業量及び点検調査量等の推計が可能で、ストックマネジメントには必要不可欠なツールであることから、更新した健全率予測式及び収集したTVカメラ調査データの公開等を実施し、地方公共団体の下水道運営の効率化に役立ててもらいたい。

## 参考文献

- 1)横田敏宏・深谷渉・宮本豊尚、下水道管きよのストックマネジメント導入促進に関する調査、国土技術政策総合研究所資料平成22年度下水道関係調査研究年次報告書集、No.654、pp.5～20、平成23年9月
- 2)松宮洋介・吉田敏章・深谷渉・福田康雄、下水道管きよにおけるストックマネジメント導入に関する検討調査、国土技術政策総合研究所資料平成21年度下水道関係調査研究年次報告書集、No.605、pp.1～4、平成22年8月
- 3)桑野玲子、佐藤真理、世良良子、地盤陥没未然防止のための地盤内空洞・ゆるみの探知に向けた基礎的検討、地盤工学ジャーナル、Vol.5 No.2、pp.219-229、平成22年
- 4)Sewerage Rehabilitation Manual 4th Edition Book, ISBN : 9781898920397, WRC, 2001
- 5)横田敏宏・深谷渉・宮本豊尚、国土技術政策総合研究所資料 No.668 下水道管路施設に起因する道路陥没の現状(2006-2009年度)、90p、国土技術政策総合研究所、平成24年2月
- 6)横田敏宏・深谷渉・宮本豊尚・竹内大輔、下水道管路施設のストックマネジメント支援に関する調査、国土技術政策総合研究所資料平成27年度下水道関係調査研究年次報告書集、No.950、pp.1～6、平成29年1月
- 7)下水道統計、(公社)日本下水道協会、平成18年度版～平成25年度版
- 8)例えば、荒木正弘、フリーソフトで始める機械学習入門、261p、森北出版(株)、2015年11月