

モデル化による残存模様高さを有するマンホールふた数の推定

中根 進

1. はじめに

下水道施設の老朽化による修繕や改築に関する中長期計画を立案する際、その施設の劣化状態や修繕・改築量を把握する必要がある。下水道施設の一部であるマンホールふたの耐用年数は、管体やマンホール本体の耐用年数と比べて短いため、下水道管路の中長期の修繕改築計画には、ふたの改築量を盛り込んでいく必要があると考えた。本文では、マンホールふたのスリップ性能に寄与し、ふたを開けることなく確認、計測できることから、巡視や点検調査時の管理項目としやすい残存模様高さ¹⁾に着目し、残存模様高さを有するマンホールふた数の将来値を推定することにより、改築に必要なマンホールふた数を予測するものである。

2. マンホールふたの模様高さ

2.1 模様高さ と 残存模様高さ

マンホールふたの表面には、車両の走行に支障がないよう摩擦抵抗のある模様が作られている。この模様高さの初期値は、一般的に表-1の通りである。

表-1 初期模様高さ

荷重仕様	初期模様高さ
T-14	4 mm
T-20, T-25	6 mm

マンホールふた表面の模様高さは、年数の経過とともに車両の走行などによる摩耗で減少していく。

残存模様高さ¹⁾は、年数の経過に伴う減少後の模様高さである。(図-1)



図-1 マンホールふた表面の初期模様高さ と 残存模様高さ

なお、マンホールふたの主要寸法は、JSWAS G-4-2009(下水道用鋳鉄製マンホールふた)で規定されているが、模様高さについては規定されていない。

2.2 マンホールふたの全国調査データ

日本グラウンドマンホール工業会の持つ全国 54 自治体の約 12,257 基のマンホールふたの調査データ²⁾(以下全国調査データという)がある。全国調査データの経過年数に対する調査数のヒストグラムを図-2に示す。調査時におけるふたの経過年数と、模様高さの明らかなマンホール数は、10,526 基である。このうち、20~24 年経過したマンホールふたの調査数が最も多く、62 年経過したふたが 2 基残存している。

調査データの中には、「問題なし」と記録されたふたも 479 基あり、初期の模様高さを保っていたものと考え

えられるが、今回の解析データには含めていない。

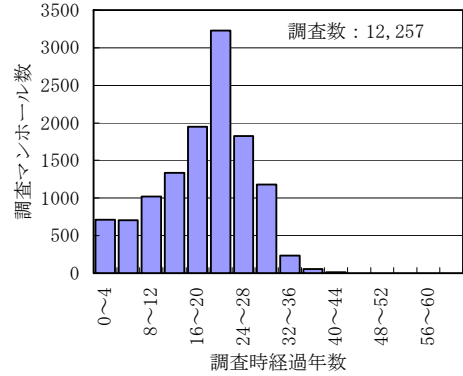


図-2 全国調査データの調査時経過年数とマンホールふた数

10,526 基のデータで荷重仕様の明らかなふた数の割合は、表-2の通りであり、おおむねT-20 とT-14のふたで占めている。

表-2 全国調査データの荷重仕様と調査ふた数

荷重仕様	ふた数	割合
T-8	391	0.037
T-6	3	0.000
T-14	3,550	0.337
T-20	4,488	0.426
T-25	905	0.086
—	1,189	0.113
計	10,526	1.000

マンホールふたの経過年数に対する残存模様高さの調査値を図-3に示す。残存模様高さは年数が経過するにしたがい減少する傾向にある。

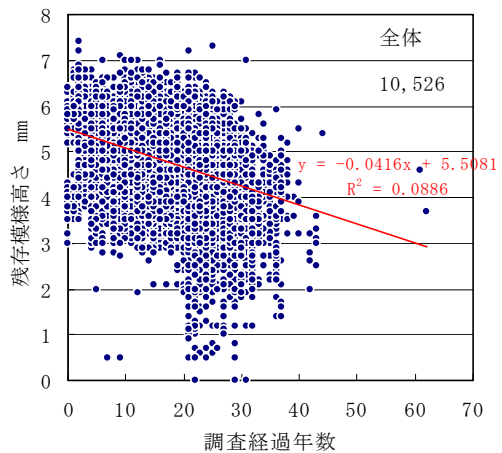


図-3 全国調査データの調査時経過年数と残存模様高さの関係

経過年数(説明変数)に対する残存模様高さ(目的変数)のばらつきの大きさは、寄与率 R^2 で表される。図

ー3では、直線回帰のもとで $R^2=0.09$ と小さく、残存模様高さの相関を表すには、経過年数以外の例えば、交通量、交通荷重、道路面でのふた設置位置など他の説明変数があることを示している。しかし、全国調査データには、経過年数以外の説明変数の情報はほとんどなく、多変量解析などにより、目的変数を複数の説明変数で表すことができなかった。

図-3の全国調査データには、「経過年数が標準耐用年数を超えてきたので、重要な幹線道路に設置したマンホールふたを調査した」、「この地区のマンホールふたは、内面腐食が激しいので調査した」などの恣意性が含まれ、必ずしも「統計」でいうランダムな標本と言えない。しかし、経過年数とともに残存模様高さが減少している様子が伺えることや、模様高さの減少していないマンホールふたも見られることから、標本から母集団の特徴、特性が読み取れるランダムにとられたデータと考えた。

経過年数に対する残存模様高さのばらつきを表現するために、代表的な経過年数に対する模様高さのヒストグラムを作成したものを図-4に示す。

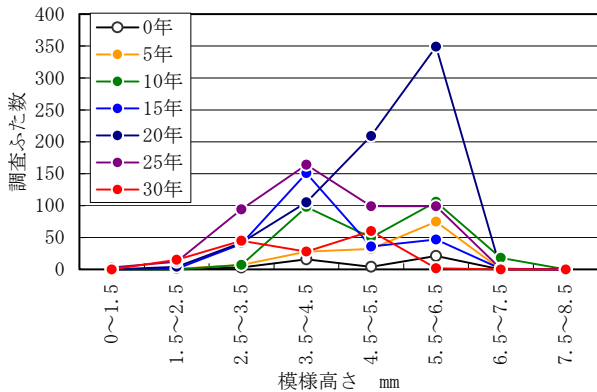


図-4 経過年数毎の残存模様高さの分布

経過年数0年、10年、15年、30年については、ふた数のピークが4mmと6mmに2箇所にある。経過年数が小さい場合は、一様に分布しているように見られるが、多くは分布に二つの山が見られ、経過年数が大きくなると残存模様高さの山が小さい方(4mm)の数が多くなってきている。

二つの山は、表-1に示す初期模様高さが影響していると思われる。T-14(3,550基)の中には、残存模様高さで6mm以上のものが含まれている。T-20(4,488基)も、初期模様高さが4mmと6mmと思われるふたが含まれている。T-20の残存模様高さの分布を下式の混合分布で回帰すると図-5となる。

$$f(x) = p_1 \cdot f_1(x) + p_2 \cdot f_2(x)$$

ここに、 f_1 、 f_2 : 正規分布の確率密度
 p_1 、 p_2 : 混合割合

T-20の40%程度は、初期模様高さが4mmのふたで、残り60%程度は、6mmのふたであることが判明した。本文には示していないが、T-25についてはすべて初期模様高さ6mmであった。

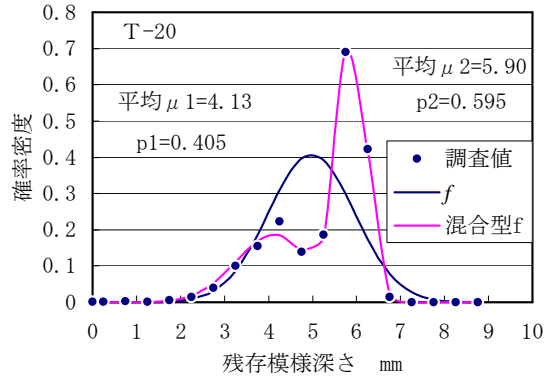


図-5 全国調査データの調査時経過年数と残存模様高さの関係(T-20)

全国調査データには、2つ山の分布が多いが、T-14とT-20、25にわたることなく、図-5中に示す正規分布を三角分布に見立て、利用することとした。

2.3 マンホールふたのスリップ防止性能

1) DF テスターによるすべり抵抗試験

アスファルトのすべり抵抗を計測するDF テスターがある。これをふたのすべり抵抗計測用に改良した試験機を使った残存模様高さ4mmと2mmのふたのすべり抵抗値 μ を文献から引用して図-6³⁾に示す。すべり抵抗の試験条件は、ふた表面が湿潤状態で、走行速度を60 km/hと想定している。

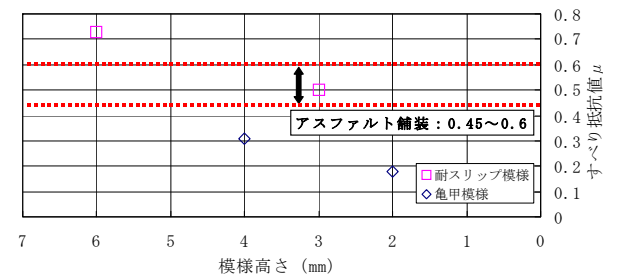


図-6 DF テスター試験結果³⁾

2) モーターサイクル評価によるすべり抵抗試験

モーターサイクル評価は、二輪車に乗った人間の乗り心地やスリップ感覚を定量的にしたものである。モーターサイクル評価の試験結果を図-7³⁾に示す。

これらの評価試験結果によると亀甲模様の残存模様高さ4mmと2mmのふたは、アスファルト舗装と比べるとすべり抵抗が低く、スリップの危険性があることが明らかになっている。

このようにスリップ防止性能の低下の観点から残存模様高さ2mm以下のふたを健全度1とし、改築など早急な対応が必要としている。³⁾

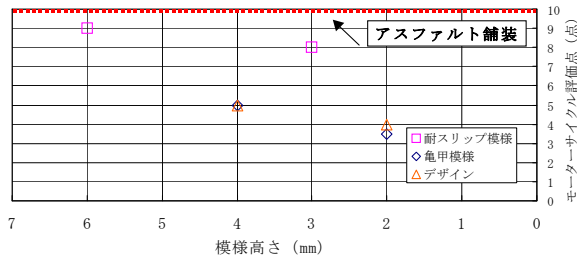


図-7 モーターサイクル試験結果³⁾

2.4 劣化要因の発現時期

ふたの劣化要因である破損、模様高さ、ガタツキの3要素について全国調査データから健全度1となる経過年数を調査したところ、ガタツキの症状が最初に現れるとされている³⁾。

3. 残存模様高さ推定データの生成手法

3.1 全国調査データのモデル化

経過年数に対する残存模様高さのバラツキをそのままモデル化して、このモデルから設置してあるマンホールふたの将来の残存模様高さを推定する。

残存模様高さの上限と下限の範囲を目測で図-3中に包絡線を引き、図-8に再掲する。

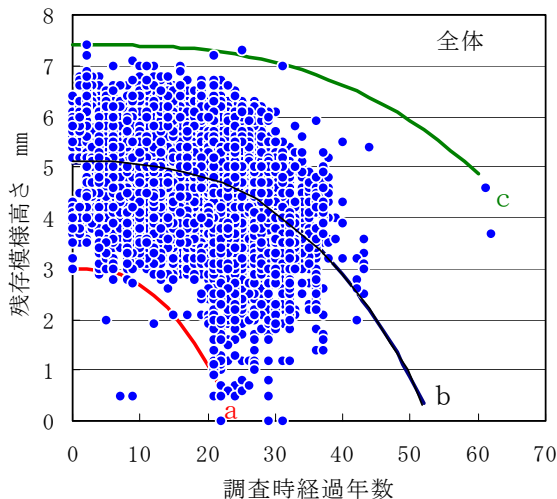


図-8 調査データのモデル化

その包絡線を下式で表し、その式のパラメータを設定する。

$$\text{残存模様高さ } h = h_0 - k \cdot x^m$$

ここで、 h_0 : 初期模様高さ mm

x : 経過年数 年

k, m : 係数 -

経過年数による模様高さの最頻値については、前掲図-4のヒストグラムを見ながら、図-8に描き、その線の式のパラメータを設定する。

残存模様高さの上限値、最頻値、下限値のパラメータを表-3に示す。

表-3 包絡線のパラメータ

	全体		
	下限	最頻	上限
h_0	3	5.0908	7.4
m	2.5475	2.9081	2.9085
k	0.0009	5E-05	2E-05

これら模様高さの上限と下限の範囲を式で表すことにより、この範囲のなかに種々の模様高さを有するマンホールふたがあるというモデルを作成する。図-8の残存模様高さの分布から上限値、最頻値、下限値を表せる三角分布を想定してモデル化する。

図-9の三角形は、確率密度 f を表し、下式に示す。

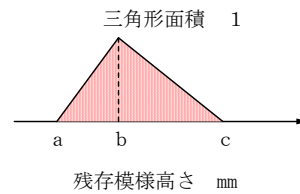


図-9 三角分布

$$a \leq x < b ;$$

$$\text{確率密度: } f(x) = \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)}$$

$$\text{累積確率: } F(x) = \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)}$$

$$b \leq x < c ;$$

$$\text{確率密度: } f(x) = \frac{2(c-x)}{(c-a)(c-b)}$$

$$\text{累積確率: } F(x) = 1 - \frac{(c-x)^2}{(c-a)(c-b)}$$

$$a = b = c ;$$

$$\text{確率密度: } f(x) = 1$$

ここに、 a : 最小値、 b : 最頻値、 c : 最大値
三角分布の確率密度 f と累積確率 F の曲線例を図-10に示す。

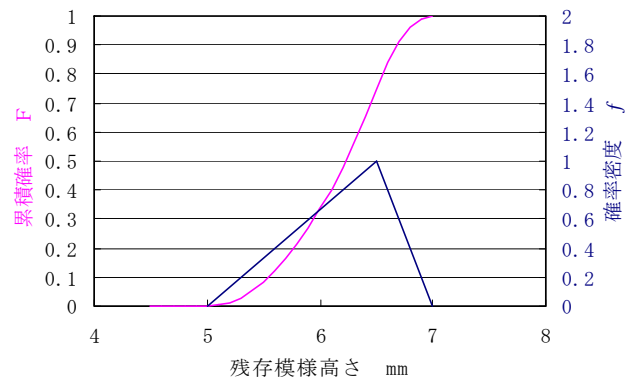


図-10 残存模様高さの三角分布と累積確率 F (例)

3.2 残存模様高さの推定データの生成

逆関数法により三角分布の累積確率 F から残存模様高さを生成する。これは一様乱数 r を累積確率 F とし、

このFに対応する残存模様高さを生成して、推定データとすることである。図-11には、各経過年数に対して1基だけ残存模様高さを生成した例を示す。これを経過年数ごとに設置したふたの数だけ模様高さを生成することにより、模様高さの下限値から上限値の範囲に広く分布したふたが生成される。

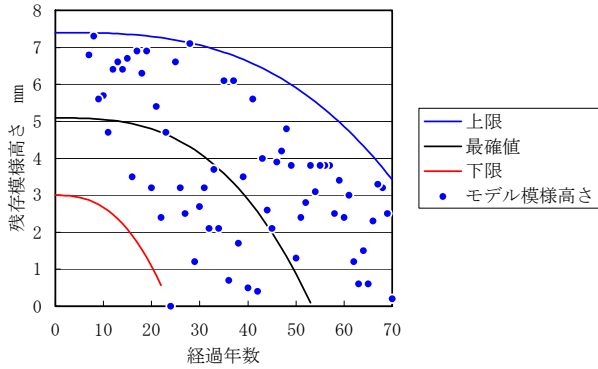


図-11 三角分布を使ったモデル化による残存模様高さを有するふたの生成

3.3 残存模様高さを有するふた数の推定

3.3.1 残存模様高さ内訳推定フロー

残存模様高さを有するふた数を推定するフローを図-12に示す。

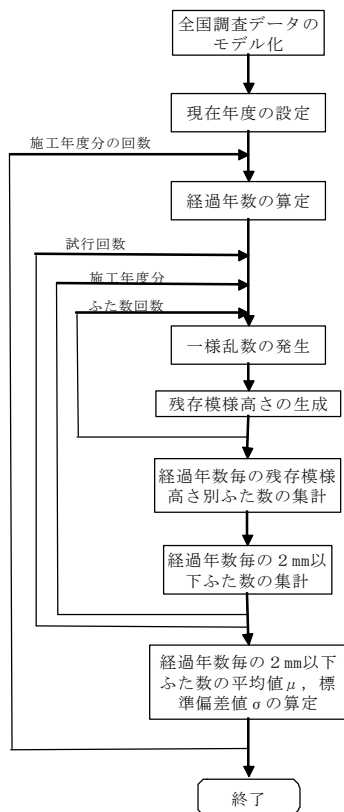


図-12 残存模様高さを持つふた数の推定フロー(2mm以下)

①推定する年度と施工年度との差を経過年数とし、

②図-8のモデルから経過年数に対して三角分布する残存模様高さを施工年度毎の設置数分乱数を発生させて生成する。③経過年数ごとに残存模様高さのふた数を集計する。④乱数の発生状況によって残存模様高さが異なってくるが、この過程を500回繰り返して、乱数の生成による推定のバラツキを正規分布で表現する。

3.3.2 残存模様高さ別のふた数の推定

残存模様高さが2mm以下のふた数を例に、推定フローの概要について図-13を使って示す。

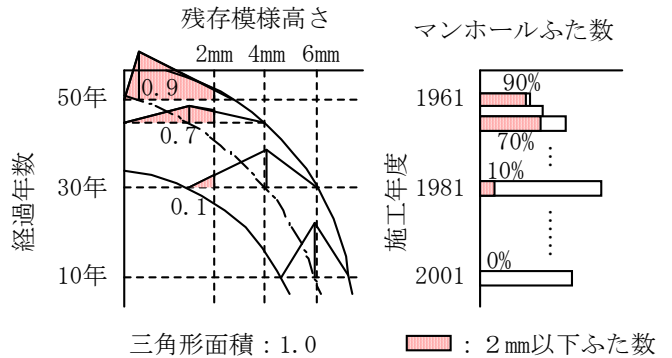


図-13 残存模様高さ毎のふた数算出の概念図

ある経過年数の設置数分乱数を発生させて生成したふた数の分布が図-13の中に示す三角形分布となる。生成した2mm以下のふた数を計算すると三角形の着色部分となる。三角形の面積1と着色部の面積の比は、ある経過年数に設置されているマンホール数に対する残存模様高さ2mm以下のマンホール数の割合となる。

3.3.3 推定残存模様高さの信頼区間

経過年数に対して推定した残存模様高さを有するマンホール数の信頼区間を示す場合には、残存模様高さの上限と下限の範囲にふたの設置数が三角分布していることから、ある年度の設置数分乱数を発生させ、残存模様高さを生成する。この残存模様高さから信頼区間を算出する。

4. 残存模様高さを有するマンホールふた数の推定事例

今回のモデル化による手法を使い残存模様高さを有するふた数を推定する。

図-14のマンホールふたの総数は、文献に示された管きよの単年度施工延長⁴⁾を基に35mに1箇所マンホールが設置されているものとして、施工年度別のふた数を算出した。全体で328,017基となる。

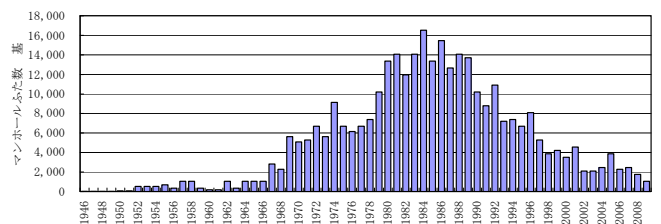


図-14 施工年度別のマンホールふたの設置数

4.1 マンホールふたの残存模様高さの内訳の推定

現在年度を2011年とし、施工年度との差を経過年数とする。施工年度ごとに残存模様高さを持つふた数を推定し、現在年度2011年における模様高さの内訳と将来年度2016年の模様高さの内訳を図-15に示す。

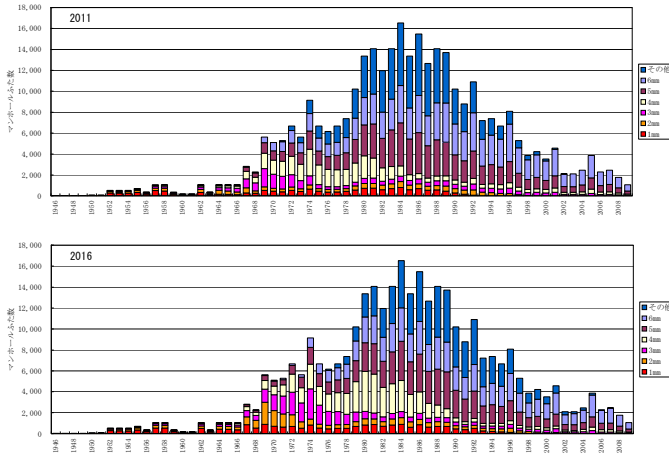


図-15 現在年度(2011年)と将来年度(2016年)における過年度分の残存模様高さ別ふたの生成

このように推定した残存模様高さの中から、一例として、スリップ性能の低下から危険な水準にあると考えられる残存模様高さ2mm以下を改築するものとして、2mm以下のふた数を推定する。

2011年度、残存模様高さ2mm以下のマンホールふた数は、推定29,974基である。全体のマンホール設置数の9.1%にあたる。

このシミュレーション計算を将来の年度に対して、続けると、図-16を得る。

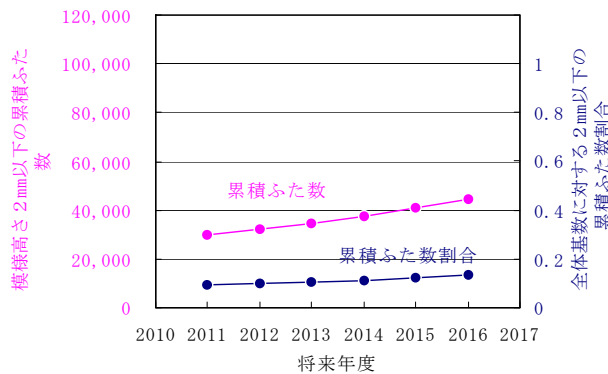


図-16 年度別残存模様高さ2mm以下の累積ふた数の全体に対する割合の推移

現在および将来年度において過年度分の各経過年数に対するふたの設置数分の乱数を発生させるが、この過程を500回繰り返し、乱数の生成による推定のバラツキを正規分布で表現する。これにより推定値の信頼区間を示すことができる。

現在年度2011年度を一例に残存模様高さ2mm以下のふた数の分布と信頼区間を図-17に示す。信頼区間の幅は狭いので、マンホール設置数が少ない場合には

繰り返し計算を省略することも可能と考えられる。

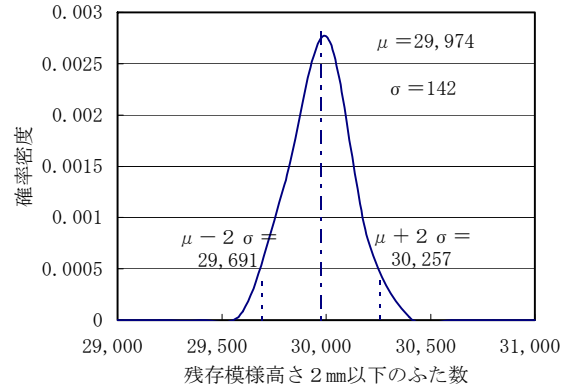


図-17 現在年度2011年の残存模様高さ2mm以下のふた数分布(シミュレーション回数500回)

4.2 モデル化による推定結果の評価

共同研究²⁾の中で、あるフィールドを提供いただき1,260基の残存模様高さを含めたふたの現場調査(以下フィールド調査と言う)を行っている。このデータをモデル化して残存模様高さの推定結果の評価に利用する。フィールド調査の調査時経過年数と残存模様高さの関係は、図-18の通りであった。

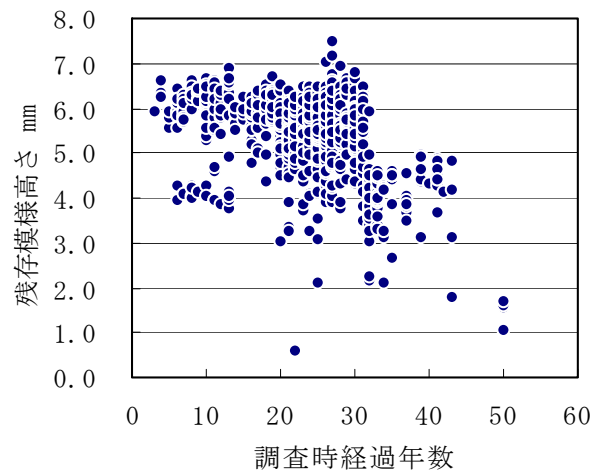


図-18 フィールド調査の調査時経過年数と残存模様高さの関係

フィールド調査のふたは、調査時経過年数が0~30年まで、残存模様高さの上限値が6.5mm程度で推移している。調査全数1,260基のうち0~30年までのふた数は899基であり、調査全数の71%を占める。

調査時経過年数31年以上についてはデータ数が少なくなっている。調査時経過年数30年のふたは、残存模様高さが高く分布しているため、この残存模様高さをモデル化して推定結果の評価に利用する。

調査時経過年数30年における全国調査値(150基)、フィールド調査したふたの推定値と実際の調査値(60基)の残存模様高さ別の分布を図-19に示す。全国調

査値には、模様高さ初期値（T-14、T-20、25 仕様）の異なるふたが混在している。フィールド調査では残存模様高さが6mmにピークがあり、フィールド調査したふたにはT-14仕様もあるが、T-20、25仕様が主体である。

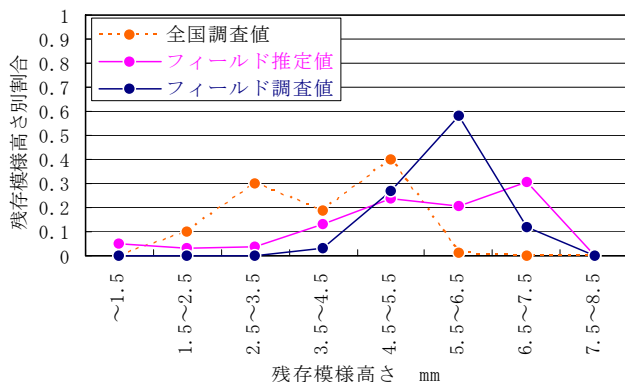


図-19 フィールド調査の経過年数 30 年における残存模様高さ調査値と推定値の分布比較

また、図-19を累積割合にして示すと図-20となる。

フィールド調査では、残存模様高さが5mm以下についてモデルによる推定値の割合は、フィールド調査値の割合の方が小さくなった。

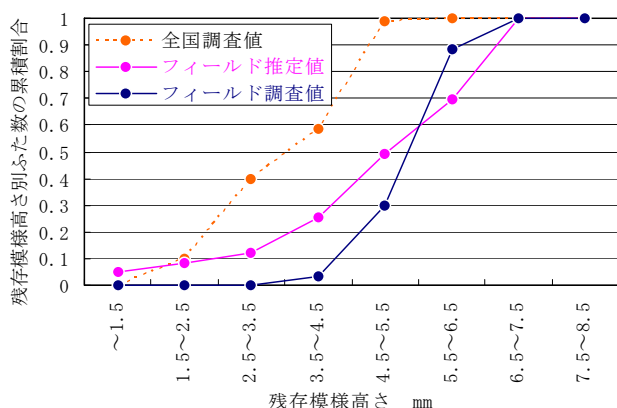


図-20 フィールド調査の経過年数 30 年における残存模様高さ調査値と推定値の累積分布比較

このような推定結果となった理由は、①全国調査データの包絡線の設定幅が広いこと②荷重仕様（T-14とT-20、25）の影響があると考えられる。

全国調査データには、荷重仕様T-14とT-20、25のデータが混在し、残存模様高さが幅広く分布している。

評価対象としたフィールド調査の経過年数 30 年のふたには、T-14仕様が少なく、ほとんどのふたが初期模様高さ6mmと考えられるため、30年経過しても残存模様高さの小さいふたが少ないものと考えられる。

また、フィールド調査では、管理基準は明らかでないが、適正な管理により適宜取り替えられているために、残存模様高さの小さいふたが少ないものと推察さ

れる。

5. まとめ

下水道施設の中長期改築計画に計上するマンホールふたの改築量を全国調査データの残存模様高さをモデル化して推定することができた。

残存模様高さを有するふた数の推定に、今回のモデルを利用する場合は、表-3に示すT-14とT-20のふたが主体となっていることが条件となる。

マンホールふたの改築は、残存模様高さのみならず、ガタツキ、破損などの状態により総合的に判断されて実施される。これら要因の発現時期の早いのがガタツキといわれている。将来のふたの改築量を予測するには、技術マニュアル(案)³⁾に示されるようにワイブル分布やマルコフ連鎖などを利用した健全率の推移から推定した方が、ガタツキなども考慮されていることを考えると妥当と思われる。本手法による残存模様高さから推定した改築量は、技術マニュアル(案)の改築推定量より小さくなると思われる。

<参考文献>

- 1) 社団法人 日本下水道協会：下水道用マンホールふたの維持管理マニュアル(案)，p. 10，平成 12 年 12 月，2001
- 2) 財団法人 下水道新技術推進機構，日本グラウンドマンホール工業会，次世代型グラウンドマンホール推進協会，オリジナル設計(株)，(株)三水コンサルタント，中日本建設コンサルタント(株)，(株)日水コン：下水道マンホールふたの調査・診断・更新に関する共同研究，2011
- 3) 財団法人 下水道新技術推進機構：下水道用マンホールふたの計画的な維持管理と改築に関する技術マニュアル(案)，p. 100, p. 171, pp. 31~35，-2012 年 3 月-，2012
- 4) 日本下水道新聞：資料 グラフで見る政令市の経年管延長、主要都市の事業計画，2011 年 3 月 16 日