

# 目視調査診断による組立人孔の劣化と改築量の予測

中日本建設コンサルタント（株） 水工技術本部 中根 進

## 1. はじめに

筆者は、日本下水道協会論文集<sup>1)</sup>において住宅団地や公共下水道の管きょ劣化度割合曲線を、マルコフ連鎖を用いて表現することを示した。今回は住宅団地（HP250～400）ではあるが、組立人孔を目視調査診断する機会を得たので、その診断結果を用いて管きょと同様、組立人孔の経過年数による劣化状態を表現できるか試みた。劣化状態を表現することにより、将来の組立人孔の劣化度を予測し、改築量を予測することが可能となる。

また、マルコフ連鎖を用いた将来の改築量の予測方法について報告する。

## 2. 調査内容と調査結果

### 2.1 調査内容

築造後、35年程度経過した住宅団地の組立人孔（主として1号人孔）約500基について表-1の調査内容で目視調査を行った。

組立人孔は、調査内容から二次製品の人孔本体と鋳鉄製人孔蓋に分類した。表-1の調査内容は「マンホールの点検及び調査項目の例」<sup>2)</sup>を参考に作成した。

表-1 目視調査内容

調査対象	項目	細目
人孔本体	インバート ステップ 管口 人孔本体 蓋調整	腐食、損傷など
		発錆、脱落
		管口損傷
人孔蓋	蓋	斜壁、直壁損傷
		調整リングなど不具合
		調整リングなど不具合
		摩耗、がたつき

人孔本体の診断は、手引き等が整備されていないので管きょの判定基準などを参考に劣化のランクを設定し、行った。人孔蓋は、文献<sup>3)</sup>を参考に診断した。人孔蓋には、転落・浮上防止などの機能の有無が判定基準の中に示されるが、経年変化による劣化とは直接関係しないので、これら機能については劣化対象外として診断した。そのため文献<sup>3)</sup>では5段階の判定ランクが示されるが、本報告では4段階の判定ランクとした。

表-2に参考として公共下水道で示されている

人孔の標準的耐用年数と補助金適正化法の処分制限期間を示す。

表-2 人孔の標準的耐用年数と処分制限期間

大分類	中分類	小分類	標準的耐用年数	処分制限期間
管路施設	マンホール	本体(コンクリート製)	50年	20年
		本体(硬質塩ビ製)		
		本体(レジンコンクリート製)		
		鉄蓋(車道部)	15年	7年
		鉄蓋(その他)	30年	15年

### 2.2 調査結果

目視調査した人孔本体、人孔蓋は、調査項目毎に不良ヶ所の個数や内容により不良度合を診断した。表-3に人孔本体の診断例の一部を示す。

表-3 診断結果例

種別	経過年数	人孔深 m	躯体調査項目										総合評価			
			インバート	ステップ	上流管口	下流管口	人孔	取付管	蓋調整	管口	管口	管口		管口		
1号人孔	25	1.353		C												D
1号人孔	25	1.453	C	C												C
1号人孔	32	1.554		C												C
1号人孔	32	1.327	C	C												D
1号人孔	32	1.664		C												D
1号人孔	34	1.713		C												D
1号人孔	34	1.812		C												D
1号人孔	34	1.864		C												C
1号人孔	34	1.906		C												C
1号人孔	34	1.838		C												C
1号人孔	34	1.839		C												C
1号人孔	34	1.767		C												C

人孔内で「管口」や「斜壁・直壁」など複数部材については、その部材の劣化項目毎に不良ヶ所数と損傷具合により点数をつけ、数値の大きさにより劣化度（A, B, C, D）とする。

人孔1基ごとの総合評価は、各部材の劣化項目につけた点数の集計を4段階に分類し、劣化度として劣化の大きい順にA, B, C, Dと評価した。

### 2.3 人孔本体劣化状況

今回調査した人孔1基当りの不良ヶ所数と不良人孔数を図-1に示す。

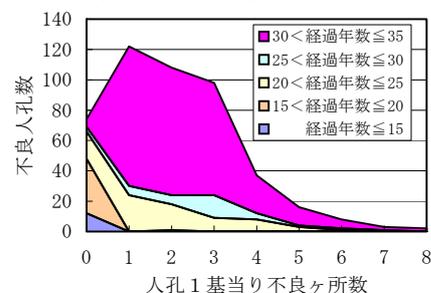


図-1 不良ヶ所数と人孔数

図-1で不良人孔数のうち経過年数が30年超

から 35 年以下の占める割合が大であることが明らかで、経過年数の増加により複数の不良ヶ所を持った人孔が多くなっている。

このことから組立人孔も管きよと同様、経過年数による劣化を表現できるものと考えた。

### 3. 人孔蓋構造仕様

自治体は、耐荷重のみならず鍵仕様などを設定し、独自の性能基準で人孔蓋を調達している。

調査した人孔蓋と他自治体の人孔蓋とは性能基準が異なるので、今回解析で得られる劣化度割合曲線を他へ転用することは難しいと考えている。

人孔蓋の材質は、古くはコンクリート製もあり、鋳鉄製では普通鋳鉄からダクタイル鋳鉄に変わってきている。またダクタイル鋳鉄の引張強度も F C 200 から F C 700 と上がっている。

また次のような種々の機能も付加されてきている。

- ・転落・落下防止柵
- ・浮上・飛散防止
- ・急勾配受け

人孔蓋の関連規格の改訂の経緯<sup>4)</sup>を図-2に示す。

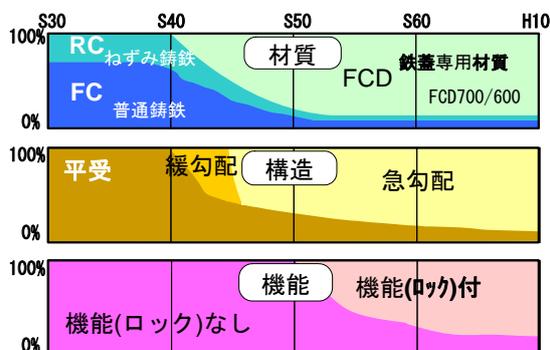


図-2 人孔蓋構造仕様の経緯

調査団地では、S48 年度に最初の管きよが布設されており、調査時に人孔蓋裏の鋳出しで製造年を確認した。筆者らの経験では、製造メーカーにより異なるが概ね昭和 40 年代半ば頃から製造年の鋳出しが始まっている。平成 9 年の下水協規格 (G-4) から製造年「西暦下二桁」と耐荷重の表示が義務付けられている。従前では、耐荷重は、車道用、重車道などと鋳出しされていることもある。

調査団地の人孔蓋裏は、写真-1 の通りであり、

製造年 (1973 : S48) の鋳出しが確認できる。

人孔蓋経過年数は、解析上、管きよの布設年から算定した。



写真-1 人孔蓋裏の状況

調査団地の人孔蓋は、最初の管きよ布設年度 (H48) を図-2 と照合すると、材質、強度は現在の仕様に近いものと考えられる。蓋裏に桁があることからダクタイル鋳鉄であると判断できる。

材質、強度が劣る蓋が混ざっていると、劣化度割合曲線に影響を与えると思われるが、今回調査団地では、それらによる差は解析上現れないものと考えられる。

### 4. マルコフ連鎖を用いた劣化状態の表現

組立人孔は、二次製品の人孔本体と人孔蓋に分けられるが、人孔本体は、腐食性ガス、通行車両による荷重や土圧などの外力、埋設地盤状態などによって劣化が進むと考えられる。人孔蓋は、路面に露出されるため、直接、通行車両の繰り返し荷重やタイヤの摩擦にさらされているので、人孔本体とは劣化速度が異なると考え、人孔本体と人孔蓋を分けて解析する。

劣化を表現できるマルコフ連鎖の確率<sup>1)</sup>は、単位時間 T を経過すると、ある推移確率  $\chi$  で劣化の段階 (劣化度 D・C・B・A) が 1 レベル進行し、残りは確率  $1-\chi$  で同じ劣化度に留まるというものである。マルコフ連鎖による劣化の概念を診断結果にあわせた 4 段階の劣化で示すと図-3 となる。

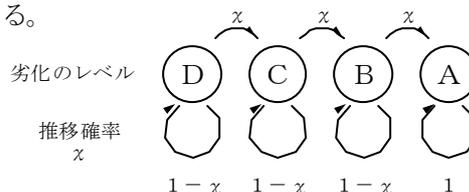


図-3 マルコフ連鎖による劣化の概念

経過年数毎に整理した人孔数をもとに各レベルに達した人孔の割合を次のように算出する。

$$\text{各劣化度の割合} = \frac{\text{各劣化度の人孔数}}{\text{調査人孔数}}$$

経過年数  $t = 0$ 、劣化無しの状態を劣化度  $D = 1.0$ 、単位時間  $T = 1$  年として、推移確率  $\chi$  を仮定して、各劣化度の割合を順次計算する。その結果、各劣化度の経年変化が求められる。劣化度割合の経年変化の計算例を図-4に示す。経過年数別に診断した劣化度割合とこのマルコフ連鎖の計算結果がよく一致するように推移確率  $\chi$  を最小二乗法で決定する。

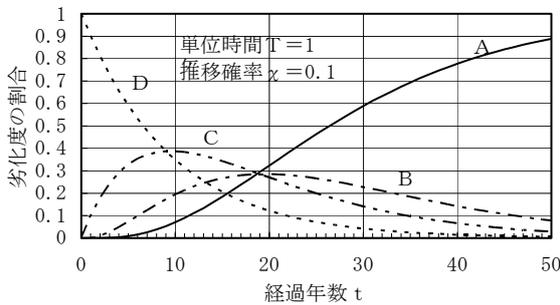


図-4 劣化度割合の計算例

診断した劣化度は図-3の概念図のように4段階としたが、1段階のレベルが各劣化度で同じ高さを持つものか、1段階劣化が進む速度が異なるかにより、診断結果を4段階の劣化レベルで表現できないことがある。図-5は、劣化レベルを8段階に仮定した劣化度を示す。これは、目視調査では、劣化度を4段階にしか区分できなかったが、解析上では劣化速度などの違いにより多くのレベルを有していると仮定するものである。

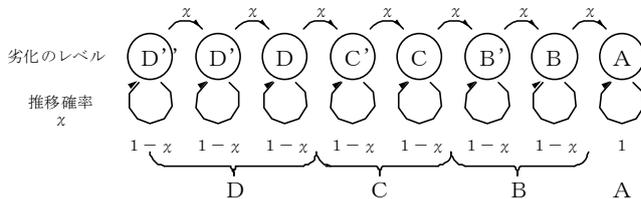


図-5 劣化度のグループ割付例

各劣化度 (D, C, B, A) に図-5の8つのレベルを割り付けるにあたり、モンテカルロ法<sup>5)</sup>といわれる乱数を発生させて割付数を仮定し、診断値と計算値が近似するように最小二乗法で推移確率  $\chi$  を求める。

図-6にモンテカルロ法で劣化度の割付 (グル

ープ化) を試行している概念を示す。

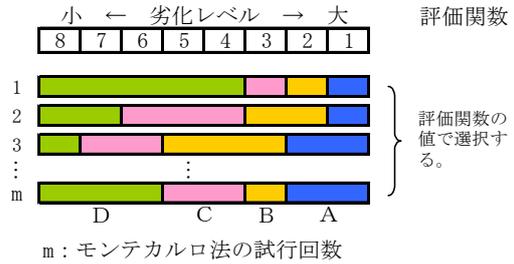


図-6 モンテカルロ法試行概念

モンテカルロ法の評価関数には、各劣化度のすべてのデータを使った寄与率  $R^2$  を用い、寄与率が最も大となる劣化度の組み合わせと推移確率  $\chi$  を探した。

## 5. 劣化状態の解析

### 5.1 人孔本体劣化状態の解析

診断結果より経過年数ごとに人孔の劣化度 (A, B, C, D) の割合 (劣化度割合) を算出する。人孔本体を8段階の劣化レベルとし、モンテカルロ法でトライアルし、もっとも相関が高かった結果を図-7に示す。

Aの相関係数	0.168
Bの相関係数	0.396
Cの相関係数	0.699
Dの相関係数	0.618
相関係数	0.893
寄与率 $R^2$	0.937

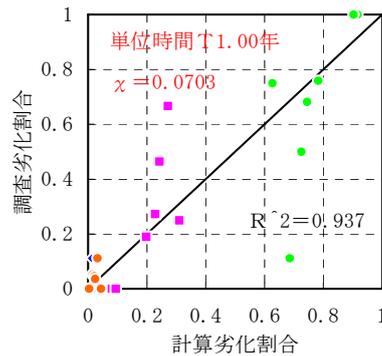


図-7 人孔本体計算値と調査値の相関

決定した推移確率  $\chi$  を用いて、劣化度割合の経過年数による推移を図-8に示す。図中の括弧内の数値は、グループ化したレベルの数である。

住宅団地の人孔本体は、表-2に示す公共下水道の標準的耐用年数 50 年経過すると全体の 13.7%が劣化度Aに達すると推定できる。

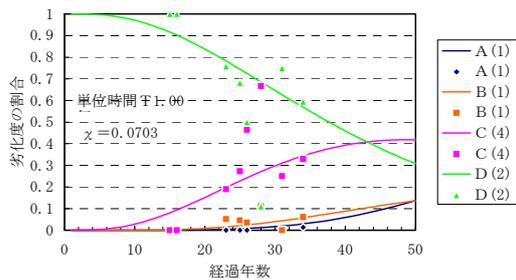


図-8 人孔本体調査値とマルコフ計算値

人孔本体の劣化を視覚的に表現するために、図-8の劣化度割合を経過年数で積み上げ、図-9に示す。調査団地の複数の人孔を1つの固体(集合体)と見なすと、固体(集合体)の各劣化度の割合の推移が経過年数に対し、一覧できるので、この曲線を劣化度割合曲線とする。

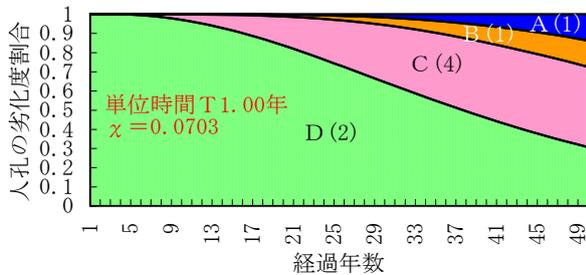


図-9 人孔本体マルコフ劣化度割合曲線

## 5.2 人孔蓋予測結果

人孔蓋も人孔本体と同様に、調査項目の診断結果を点数化して、劣化度(A, B, C, D)とし経過年数毎にその割合を算出する。

図-10に人孔蓋の劣化割合の計算値と調査診断値の相関を、図-11に劣化度割合曲線を示す。

人孔蓋については、劣化があまり進んでいないこともあり、図-10中の表に示すように劣化診断結果とマルコフ劣化度割合曲線との相関はあまり良好でなかった。その中で劣化度Aは相関係数が0.787と他の劣化度と比べ比較的相関がとれていた。

図-11から組立人孔の鉄蓋は、表-2に示す標準的耐用年数15年経過時に全体の0.1%、30年経過時に全体の3.1%が劣化度Aに達する。

人孔蓋の推移確率 $\chi$ は、人孔本体に比べて小さく、劣化の進行は遅い。これは、調査が住宅団地で交通量も少なく蓋の損傷が少なかったものと考えられる。しかし8段階の劣化中、上から3段階が劣化度Aとなったので、人孔蓋の劣化度Aの経

過年数に対する割合は、人孔本体に比べて多い。

Aの相関係数	0.787
Bの相関係数	0.283
Cの相関係数	0.257
Dの相関係数	0.451
相関係数	0.875
寄与率 $R^2$	0.743

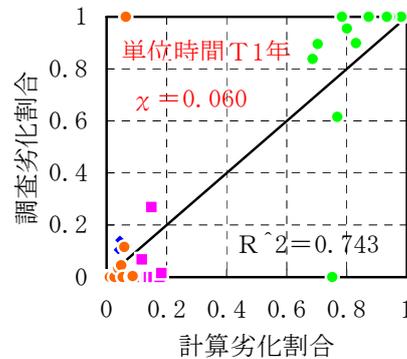


図-10 人孔蓋計算値と調査値の相関

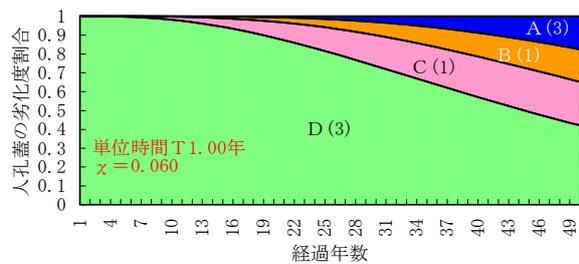


図-11 人孔蓋マルコフ劣化度割合曲線

## 5.3 ワイブル分布による劣化表現

図-11の劣化度AとBの境界線は、劣化度Aではない割合であり、信頼度曲線と考えることができる。

信頼度=1.0-劣化度A割合

この信頼度を表す式にワイブル分布曲線がある。

1) 信頼度関数

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

2) 確率密度関数

$$fw(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{m-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m}$$

ここに、 $\gamma$  : 位置パラメータ

$m$  : 形状パラメータ

$\eta$  : 尺度パラメータ

ワイブル分布の確率密度関数  $fw$  の平均を次式で表わす。

$$\text{平均} \mu = \gamma + \eta \cdot \Gamma\left(\frac{1}{m} + 1\right)$$

ワイブル分布で劣化を表現するメリットは、 $m$  値から劣化が年々増加する型を示すかどうか判断できることや、 $\eta$  値から施設の信頼度を表現する相対的な期間が示されたり、確率密度関数  $f_w$  の平均値  $\mu$  により寿命が表現できることにある。

人孔蓋の劣化の型をみるために、劣化度Aについてその割合から信頼度を算出して、最小二乗法を使ってワイブル分布曲線をあてはめると図-12となる。

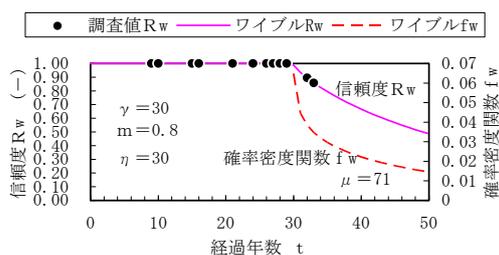


図-12 人孔蓋のワイブル分布曲線

図-12ではワイブル分布曲線が、下に凸な曲線となり、この曲線で人孔蓋の劣化を示すと、すべての人孔蓋が30年経過すると急激に劣化度Aになるような結果になった。また形状パラメータ  $m = 0.8 < 1$  となり、故障率(劣化度A)が年々減少する型を示した。これは劣化度Aの解析データが少ないことによる誤差と考えて、各劣化度を同時に解析しているマルコフ連鎖の劣化度Aをワイブル分布曲線で近似し、図-13に示す。

ただし、図-13では、マルコフ劣化度割合曲線とワイブル分布曲線が重なっているため、両曲線を区別できない。

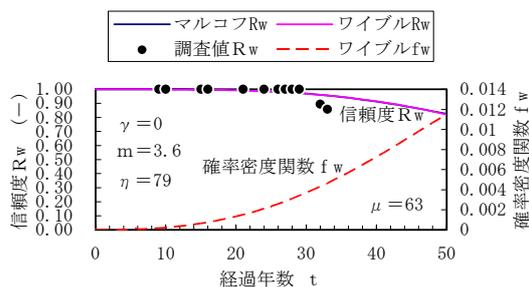


図-13 ワイブル分布への変換

マルコフ劣化度割合曲線を変換した図-13のワイブル分布曲線は、上に凸な曲線となる。人孔蓋は、形状パラメータ  $m = 3.6 \geq 1$  となり年々劣化度Aが増加する型を示した。確率密度曲線の平均値  $\mu$  は、63年となり、この団地の人孔蓋の半数が劣化度Aに達する年数は、63年程度であることを

意味する。

人孔本体、人孔蓋には、マルコフ連鎖を用いた図-9、11で劣化度割合の推移を示す方が、劣化進行しないものもあることを示し、改築・修繕計画ですべての人孔本体、人孔蓋を対象にしないでもよいことがわかる。また、推移確率  $\chi$  が求められれば、劣化度B、Cを修繕することにより、改築対象の劣化度Aへの進行を防止することも明示することも可能となる。

## 6. 改築量の予測

組立人孔は、修繕する事例が多く、改築実績が少ないと思われるが、人孔蓋は、溢水や転落事故を契機に、機能面の向上を図ることから国の補助事業制度<sup>6)</sup>が用意されている。

人孔蓋は文献<sup>3)</sup>によれば、蓋表面の模様の高さ6mmが3mmになるまでの年数をもって標準的耐用年数の15年と判断している。しかし、今回の調査では、鋳出しの量は測定していないので判定(A B C D)には反映していない。しかしA判定には、蓋のクラックがあり、早急に取替えが必要であることから、A判定を改築対象と考えることができる。

人孔蓋の改築量を調査診断で得られた劣化度Aのマルコフ劣化度割合曲線(図-11)から予測する方法を示す。

### 6.1 劣化を放置した場合の改築量予測

調査団地の人孔本体、人孔蓋を改築することなく、標準的耐用年数まで使用続けると、劣化度Aの数は表-4にまで達する。

表-4 耐用年数経過時劣化度Aの予測

小分類	全体 設置基数	標準的 耐用年数	劣化度A 予測割合	劣化度A 予測数
人孔本体	500	50年	0.137	69
鉄蓋(その他)	500	30年	0.031	16

解析上の数字であるが、調査年2007年(経過年数34年)時点で人孔本体を15基取替えが必要なものが、事故などによるリスクがないものとする50年経過時点では、表-4のように69基に増加する。人孔蓋は、すでに標準耐用年数を経過している。

### 6.2 築造年度を考慮した改築量の予測

人孔蓋を例にとり、劣化度Aを改築対象とし、

劣化度Aに達した時点で予算に関係なく、改築を進めると仮定した場合の改築量を予測する。

住宅団地では、数段階の造成で分譲されるが、公共下水道の管きょは毎年のように布設されるので表-4のように簡単に改築量(劣化度A)を推計予測できない。

マルコフ連鎖を用いた劣化度割合曲線から、劣化度Aに達したものを改築していくと考えた場合の改築量を予測する概念図を図-14に示す。

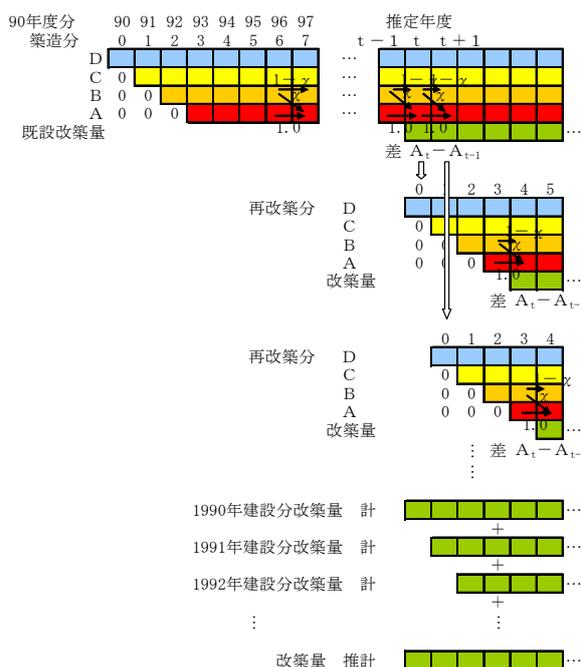


図-14 マルコフ連鎖による改築量の予測概念図

推移確率 $\chi$ を使って築造年数の人孔数毎に、経過年数にしたがって増加する劣化度Aの人孔蓋数を算定し、劣化度Aの状態では次年度に推移する分を改築するものとする。改築後は、新設人孔蓋とし、その改築した人孔蓋も年数の経過とともに劣化が進むものとする。改築人孔蓋の劣化も既設と同様に進むと仮定する。

人孔蓋の改築量の将来予測結果を図-15に示す。住宅団地の人孔蓋は、劣化の進行が小さく、数も少ないので、毎年最大で6個程度の改築が必要となった。なお図-14, 15ともに過年度(t年以前分)の劣化度A人孔蓋は、改築していない。

マルコフ連鎖で劣化度割合を表現し、図-14の劣化度Bの施設を修繕すると考えることにより、将来の修繕量も予測が可能である。

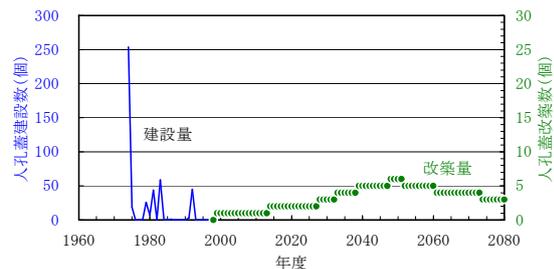


図-15 人孔蓋の改築量予測結果

## 7. まとめ

住宅団地の人孔本体、人孔蓋の劣化度Aに達する割合は、標準的耐用年数経過時においても極めて小さいものであった。

マルコフ連鎖を使って管きょ施設の劣化状態を可視化(数値指標)し、将来年度で経過年数毎の人孔本体、人孔蓋基数を把握することにより、将来の改築量や修繕量が予測でき、中・長期的な改築・修繕計画を立案できる。

経過年数によらない浸入水に直結する損傷や受け持ち集水面積による被害の甚大性を考慮した健全度を作成し、今回報告の劣化度のような定量的な判断とともに改築・修繕計画の指標とすることが重要である。

公共下水道では、人孔蓋に普通鉄製などが今日でも使用され続けていると思われるので、今回の団地調査結果による将来推計よりも劣化が進むことが考えられる。蓋の機能は耐荷重のみならず社会的要請から浮上・飛散防止など機能アップする必要があり、改築需要は今回の住宅団地の予測より、もっと多くなると考えられる。

### <参考文献>

- 1) テレビカメラ調査診断結果による下水管きょの劣化予測 H19年9月下水道協会誌 中根 進
- 2) 下水道維持管理指針前編-2003年版-p198 (社) 日本下水道協会
- 3) 下水道用マンホールふたの維持管理マニュアル(案) H12年12月(社) 日本下水道協会
- 4) G&U技術研究センター カタログ
- 5) システム工学 田村 坦之編著 pp32~34 オーム社
- 6) 下水道事業の手引き H20年版 pp239~240 (財) 下水道新技術推進機構