

## 5. 全国事業量等に関する

### アセットマネジメント導入検討調査

下水道研究室 室 長 藤生 和也  
主任研究官 松宮 洋介  
研 究 官 宮内 千里

#### 1 はじめに

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。しかしながら、経過年数ごとにどのくらいの割合で改築（廃止も含む）が行われているのか実態が不明であった。

そこで、本論文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、改築に至るまでの経過年数ごとの確率の分布（以下、改築確率分布）をワイブル関数に近似推定した。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した。

なお、本論文で論ずる改築に至るまでの経過年数は老朽化の場合だけでなく、機能増加や下水道計画の変更や災害の場合の改築も含んでいる。また、2005 年度の改築実態である。

#### 2. 研究方法

##### (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。回答欄の最大経過年数は 100 年とした。

- a) 経過年数別・管種別の 2005 年度末時点での残存供用延長 ( $P_{2005}(t)$ ) ( $t=0,1,2,\dots,100$ )
- b) 経過年数別・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。

##### (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 年度における経過年数  $t$  のものについての残存供用延長に対する改築延長の割合( $\lambda_{2005}(t)$ )を(1)式で算出する。

$$\lambda_{2005}(t) = \frac{Q_{2005}(t)}{P_{2005}(t) + Q_{2005}(t)} \quad (1)$$

2005 年度における経過年数  $t$  の管渠について敷設時すなわち(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(2)式になる。

$$R(t) = (1 - \lambda_{2005-t}(0)) \cdot (1 - \lambda_{2005-t+1}(1)) \cdot (1 - \lambda_{2004}(t-1)) \cdot (1 - \lambda_{2005}(0)) \quad (2)$$

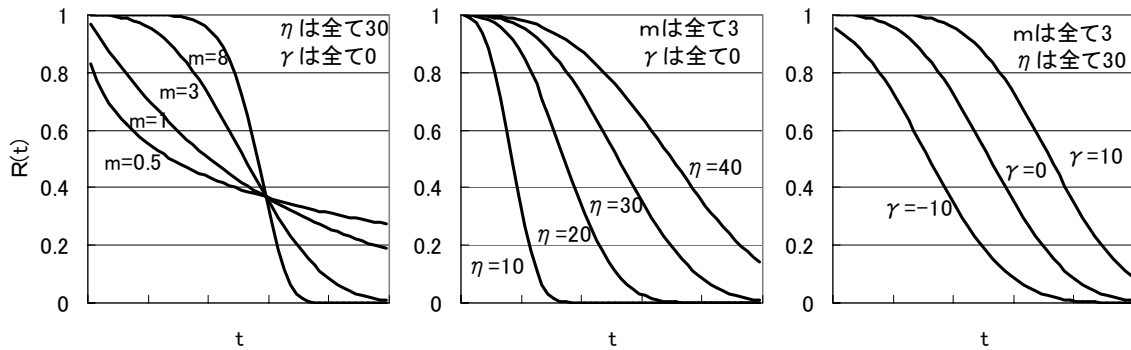


図-1 ワイブル分布の信頼度関数の特徴

ここで、

$\lambda_{2005-i}(t-i)$  : 2005-i年度における経過年数  $t-i$  の管について残存供用延長に対する改築延長の割合

しかし、2005年度以前のデータ蓄積はないため、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、(3)式で算出する。この方法では時代による管材品質や施工品質の評価は考慮できない。

$$R(t) = (1 - \lambda_{2005}(0)) \cdot (1 - \lambda_{2005}(1)) \cdot (1 - \lambda_{2005}(t-1)) \cdot (1 - \lambda_{2005}(0)) \quad (3)$$

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  $\gamma=0$  と置いたワイブル分布<sup>3)</sup>の信頼度関数  $Rw(t)$  ((4)式) を最小二乗法により準ニュートン法を用いて近似し、その係数  $m$ 、 $\eta$  を定める。同時に、確率密度関数と呼ばれる  $f_w(t)$  ((5)式)、ハザード関数と呼ばれる  $\lambda_w(t)$  ((6)式) が求まる。

$$Rw(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m} \quad (4)$$

$$f_w(t) = \frac{df_w(t)}{dt} = \frac{m}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m} \quad (5)$$

$$\lambda_w(t) = \frac{f_w(t)}{R(t)} = \frac{m}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{m-1} \quad (6)$$

ワイブル分布とは物体の脆弱破壊に対する確率を統計的に記述するために W.ワイブルによって提案された確率分布である。時間に対する劣化現象や寿命を統計的に記述するためにも利用される。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  $R(t)$  は図-1 のような曲線を取り、柔軟性が高い。 $\gamma$  は残留応力や故障の無い期間等を評価するパラメータであるため、今回の近似では全て  $\gamma=0$  としている。改築に至るまでの経過年数  $\mu$  及び分散  $\sigma^2$  は(7)(8)式で算出される。

$$\mu = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (7)$$

$$\sigma^2 = \eta^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{m}\right) \right] \quad (8)$$

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。

a) 近似的な過年度敷設延長  $P_{2005+t}(0)$  ( $t=1,2,\dots,100$ ) を次式により算出する。

$$P_{2005-t}(0) = P_{2005}(t)/R(t) \quad (9)$$

b) (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(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(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。

$$Y_{2005+i} = \sum_{j=1}^{i+100} P_{2005+i-j}(0) \cdot (Rw(j-1) - Rw(j)) \quad (10)$$

$$P_{2005+i}(0) = X_{2005+i} + Y_{2005+i} - Z_{2005+i} \quad (11)$$

ここで、

$X_{2005+i}$  : 2005+i 年度における新規敷設延長

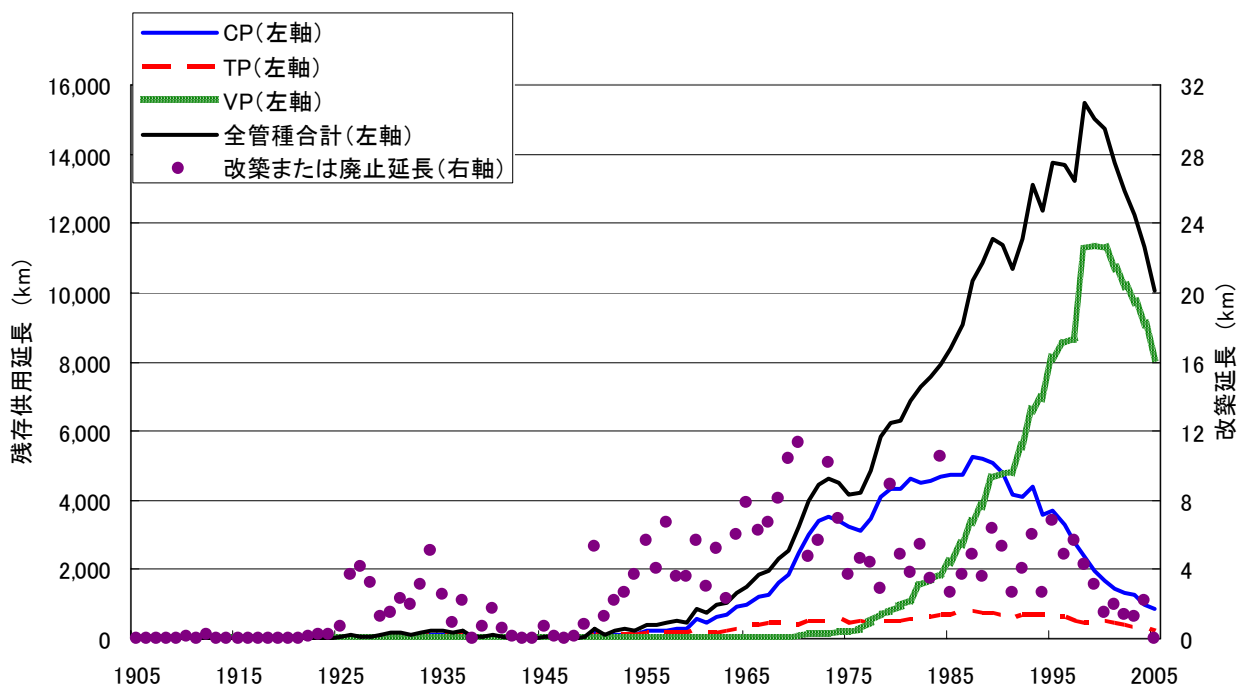
$Z_{2005+i}$  : 2005+i 年度における廃止延長

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。

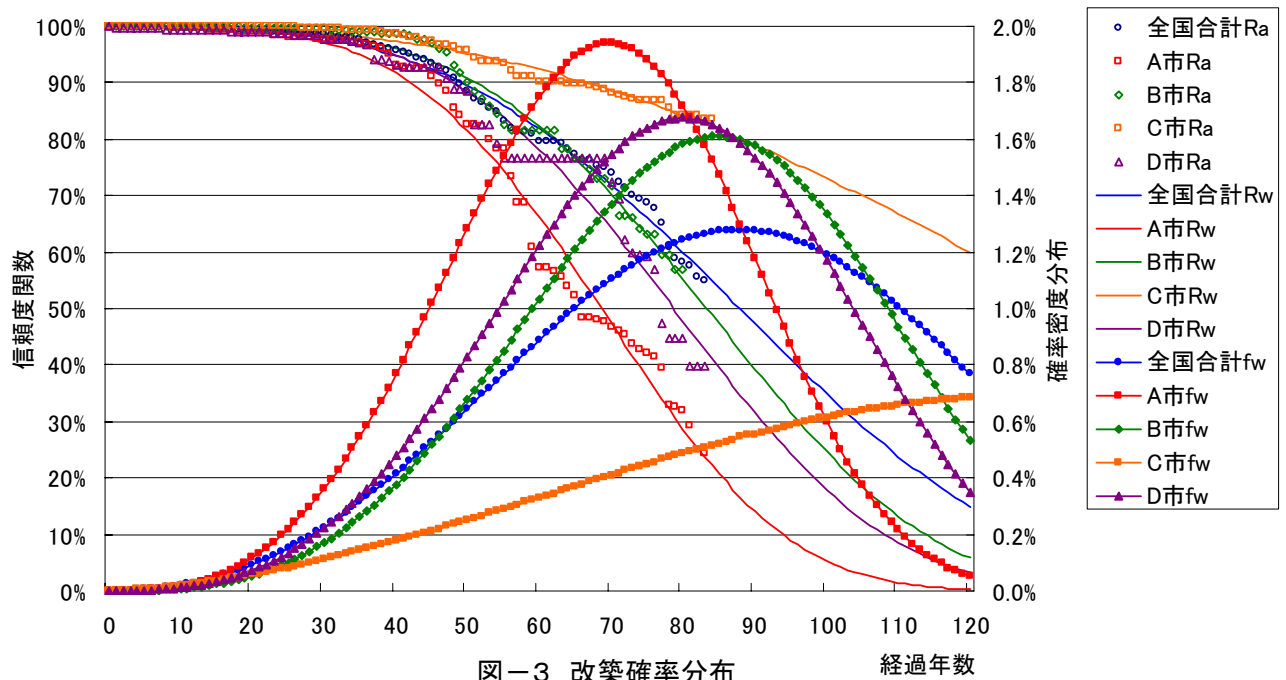
なお、本予測では  $X_{2005+i}$ 、 $Z_{2005+i}$  とも見込んでおらず、零としたが、予定値を設定することも可能である。また、アンケート調査で敷設年度が不明だった残存供用延長（判明している延長に対して 6.81%）は各敷設年度の供用延長割合で按分し加算した。

### 3. 結果と考察

#### (1) アンケート調査の集計結果



図一2 2005年度における敷設年度別の残存供用延長と改築延長



2005年度における3管種（CP、TP、VP）と全管種合計の敷設年度別、すなわち経過年数別の供用延長分布及び改築延長プロットを図-2に示す。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>4)</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。

VPの経過年数別供用延長は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。

CPの経過年数別供用延長は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。

TPの経過年数別供用延長は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。経過年数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。

## (2) 解析結果と考察

### a) 改築確率分布推定

全国合計と十分なデータがある都市について解析を行った。解析では、残存供用延長や改築延長が非常に少なくなってくるとλの精度が悪くなるため、個別に解析対象範囲を考慮した。改築確率分布の結果を図-3に示す。C市では管渠の半分が改築されるまでに135年と推定されたが、その要因として補修扱いになる更生工法を取り入れているといったことが考えられた。C市以外では管渠の半分が改築されるまでに70~90年かかっていることがわかった。この数字の持つ意味合いは、「半数は70~90年以上持つ」ということではなく、「2005年度における改築への取組姿勢だと、半数を改築するまでに70~90年かかっている」ということである。そのため、実態を評価したこの年数と、各都市がLCCや陥没予防の観点から目標としている年数との差を見ることで、適切な改築への取組姿勢が行われているか評価することができる。

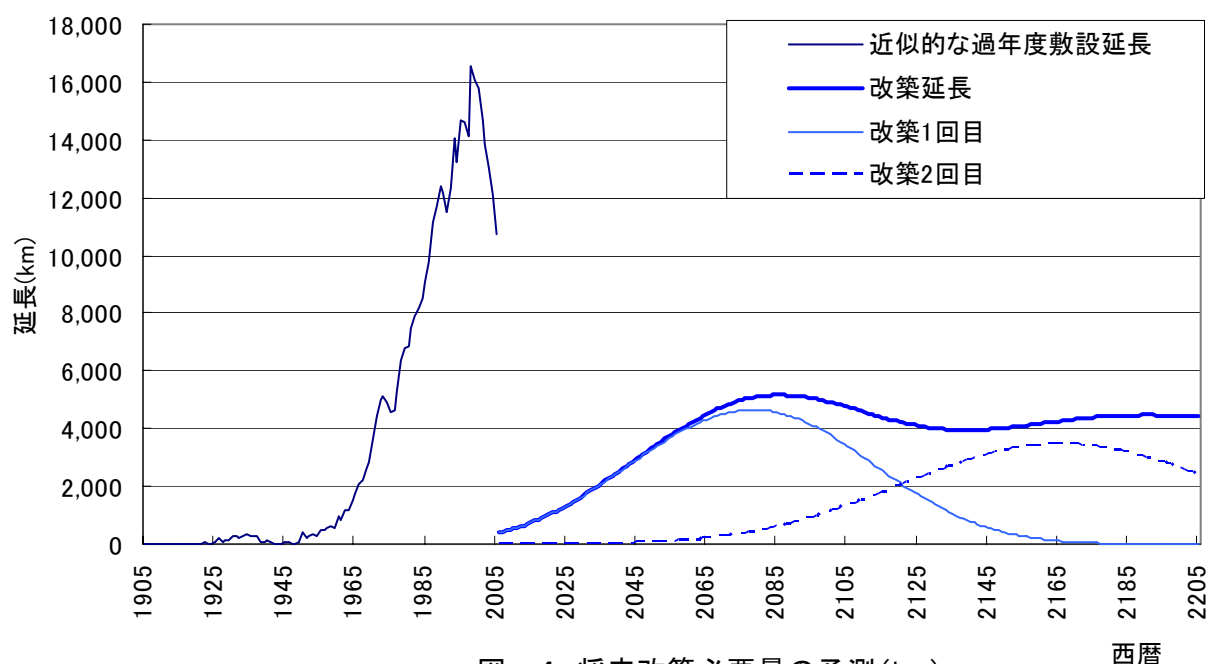


図-4 将来改築必要量の予測(km)

b) 全国の将来改築必要量予測結果

全国合計のデータを使った将来改築必要量予測結果を図-4に示す。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敷設延長も図中に折れ線で示す。予測の結果、将来改築必要量のピークは2086年で5,165kmとなった。過去の敷設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. 結論

本研究では、全国地方公共団体に対してアンケート調査を行い、2005年度における経過年数ごとの残存供用延長及び改築延長をデータ収集した。そのデータにワイブル分布を近似させ、改築確率分布を推定した。その結果、2005年度における改築への取組姿勢だと、管渠の半分が改築されるまでに70～135年かかっていることがわかった。また、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所、過去の敷設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。

謝辞

本研究のアンケート調査実施にあたり、地方公共団体、国土交通省下水道事業課の方々から多大なご協力を頂いた。ここに深く謝意を表します。

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) 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
- 4) 日本下水道協会：平成 16 年度版下水道統計要覧, p.80, 2006

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

西暦	供用延長 (m)	改築延長 (m)	西暦	供用延長 (m)	改築延長 (m)	西暦	供用延長 (m)	改築延長 (m)	西暦	供用延長 (m)	改築延長 (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			
1981	6,888,805	3,831	1955	379,982	5,637	1929	105,444	1,213			
1980	6,292,325	4,882	1954	243,801	3,719	1928	78,453	3,239	不明	24,426,201	117,057