

水道管路の更新に関するシミュレーションモデル

荒井康裕¹・小泉明¹・馬野仁史¹

増子敦²・田村聡志³・芦田裕志³

¹首都大学東京大学院・都市環境科学研究科（〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1）

E-mail: y-arai@tmu.ac.jp

²首都大学東京大学院・都市環境科学研究科/ 東京都水道局

³東京都水道局（〒163-8001 東京都新宿区西新宿 2-8-1）

本研究では、水道管路の局部腐食（孔食）に関する筆者らの既往の研究を実際の更新事業に適用させるために、経年変化を連続的に表現し得るモデルへと拡張した。この新たなモデルは管体情報だけでなく埋設環境を加味しながら、管路更新の優先順位を決定することが可能であり、これを更新シミュレーションモデルと定義した。さらに、更新シミュレーションモデルとマッピングソフトを活用しながら、東京都水道局において経年的に収集・蓄積した管体腐食状況及び土壌環境に関する調査データを用いて、東京都区部を診断例とした更新需要の将来予測のケーススタディを行い、本モデルの有用性を明らかにした。

Key Words : *water distribution pipe, corrosion, diagnostic model, polyethylene sleeve, ductile iron pipe, replacement of water pipeline, quantification theory*

1. はじめに

我が国の水道施設は、高度経済成長を契機に急速な発展を遂げた。今日では、水道普及率（＝総給水人口/総人口）が97.4%（平成19年度末）に達し、国民のほとんどが蛇口から直接「安全な水」を利用できるようになった。さらに、管路施設は61万kmの管路総延長を有しており、世界最高水準の水道管路ネットワークを構築していると言える。しかし、現在は高度経済成長期から35年以上が経過し、水道施設の老朽化が問題となっており、管路施設も同様に更新の時期を迎えている。水道管路は地中に埋設されているため、老朽化の進行状況を把握することが非常に困難である。管路の老朽化は経年的な腐食損傷による漏水事故リスクを高めており¹⁾、漏水事故発生原因の割合を管路腐食が64%を占めると報告されている²⁾。水道管路の腐食形態には全面腐食と局部腐食（孔食）とがあり、後者は特に漏水事故に結び付くリスクが高いとされる³⁾。また、老朽管は地震災害時に管路破裂事故へと発展する可能性も増加し、水道水の安定供給を保つことが困難な状況となる危険性ははらんでいる。

老朽管の更新事業には膨大な費用と時間を要するものであり、対象地域のどの管路から優先的かつ効率的に更

新を行えばよいのかを、「予防保全」の観点から決定することが重要となる^{4, 5)}。全国の水道事業体では、埋設時期が古い管路から優先的に更新を進めている場合が多いが、この対処方法であると、集中的に整備された管路が一斉に更新時期を迎えることとなり、更新需要の平準化や低減化を図ることが困難となる。また、地震大国である我が国では、更新に併せて耐震管路の整備など、安定給水の持続を成し得るために、長期的な視野に立った管路の維持管理が水道事業体に求められている。

そこで本研究では、これまで筆者らが構築した局部腐食診断モデルを踏まえ、以下の2点を目的に、実際の更新事業に活用するためのモデルの応用に主眼を置いた研究を展開する。第一に、筆者らの既往の腐食状態に関する評価式⁶⁾を基礎に置きながら、事故リスクが年月の経過と共にどのような速度で高まって行くのかを表現し得るシミュレーションモデルとして拡張する点である。第二に、この新たなモデルとマッピングソフトを用いながら、事故リスクのある基準値を超過した場合に当該管路の更新工事がなされると仮定し、将来における更新需要の時間的かつ空間的な変化を可視化する点である。本研究のモデルは、東京都区部を対象とした東京都水道局による管体及び埋設環境の調査データを用いており、埋設

経過年やPS（ポリエチレンスリーブ）被覆の有無といった管体情報と土壌環境に関する情報をモデルの構造に組み込んでいる。したがって、管体情報だけでなく埋設環境を加味しながら、管路更新の優先順位を決定することができ、かつ更新需要の経年変化を予測することによって、より計画的な更新事業を提案できるものである。2.では、筆者らの既往の研究成果である「数量化理論第Ⅱ類を用いた局部腐食診断モデル」について論じる。3.では、診断モデルは不連続の式であることから、実際の更新事業に適用させるために、経年変化を連続的に表現し得る非線形な更新シミュレーションモデルへと拡張する。4.では、このモデルとマッピングソフトを用いて、東京都区部を診断例とし、ケーススタディを踏まえながら、更新基準値の決定や更新需要の将来的な経年変化を検証する。

2. 局部腐食に関する既往の研究成果

東京都水道局では、配水管の漏水事故や経年管の更新工事等に併せ、管体腐食状況と土壌環境の調査を経年的に実施してきた。調査の規模は、年間300件程度に及ぶ。本分析の更新シミュレーションでは、東京都23区を対象にした平成5年から平成18年の調査データ（ダクタイル鋳鉄管のサンプル数：1933件）を使用する。

筆者らは、これらの調査データを用い、水道管路の全面腐食及び局部腐食に影響を及ぼす環境要因について統計的に分析した上で、各腐食に関して数量化理論第Ⅱ類による診断モデルを構築した⁶⁾。こうした腐食形態の違いを考慮したモデル化に取り組む中で、PS被覆の防食効果に関する分析も同時に行っている。特に、PS無被覆の管路において局部腐食が生じた場合、漏水や道路陥没といった事故リスクが高まると判断されることから、本論文ではこのケースに関する診断モデルを取り上げることにしている。局部腐食診断モデルは、腐食が深く進展した場合（BAD群）とそうでない場合（GOOD群）を判別する評価式であり、精度を表す判別的中率は66.5%である。数量理論第Ⅱ類を適用した同様の研究事例として、下水道管渠を対象にした損傷判別分析がある⁷⁾。使用したデータは、管種、土被りといった管渠の基本属性と、テレビカメラによる調査結果から構成される。管渠の損傷が「なし（ $n=2,032$ ）」と「あり（ $n=2,761$ ）」の2群にデータを分類し、これらを外的基準としたモデリングの結果、管渠口径、経過年数、道路種別が損傷判断に影響を及ぼす主要因であることがわかった。このモデルの統計的精度は、判別の中率で65%であった。本論文の基礎となる診断モデルも、類似の判別モデルとほぼ同程度の精度を有している点から、計画の優先順位を決定する

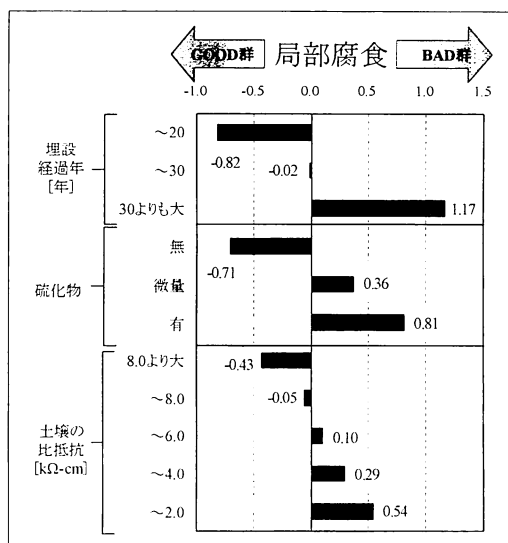


図-1 局部腐食診断モデルのカテゴリースコアグラフ

モデルとして有用性があると判断する。

モデルの構造は「埋設経過年」に加え、「硫化物」と「土壌の比抵抗」の土壌要因で構成され、式(1)で表現される。式中のサンプルスコアとは、診断対象となる管路がBAD群及びGOOD群のどちらに属するのかを判別するための指標である。

$$Y = -0.82 \times A_1 - 0.02 \times A_2 + 1.17 \times A_3 - 0.71 \times B_1 + 0.36 \times B_2 + 0.81 \times B_3 - 0.43 \times C_1 - 0.05 \times C_2 + 0.10 \times C_3 + 0.29 \times C_4 + 0.54 \times C_5 \quad (1)$$

ここで、 Y はサンプルスコア、 A_k :埋設経過年、 B_k :硫化物及び C_k :土壌の比抵抗は、各アイテムの0-1ダミー変数を表わす。記号の添え字 k は、図-1に示す各アイテムのカテゴリー順に対応しており、例えば「 A_k :埋設経過年」では、 $k=1$ が「~20年」、2及び3は「~30年」及び「30より大」の各カテゴリーを意味している。

ここで、式(1)の各アイテムの係数部分（カテゴリースコア）を図示したものが図-1になる。また、カテゴリースコアの最大値と最小値の差は「レンジ」と呼ばれ、レンジが大きいアイテムほど局部腐食への寄与の度合いが強いことを示しており、「埋設経過年」が最も大きく、次いで、「硫化物」、「土壌の比抵抗」の順となる。図-1は、埋設経過年が長いほど、また硫化物が存在し、土壌の比抵抗が低いほどBAD群に寄与する確率が高くなることを示している。硫化物は金属表面の保護膜を破壊するので、硫化物が存在していれば土壌の腐食性は強いことがわかる。硫化物とは、主に金属と硫黄の化合物であり、pHが7以下の土壌では化学反応を起こし、錆や腐食の原因となる硫化水素を発生する。硫化物の測定は、土壌に

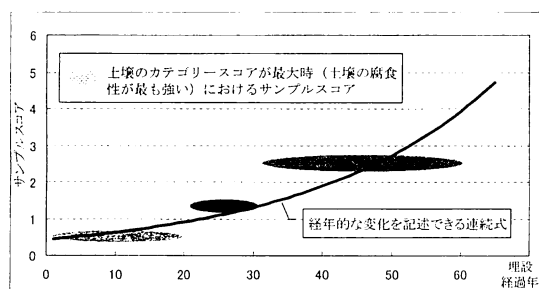


図-2 非線形な近似式への変換イメージ

アジ化ナトリウムヨウ素液を加え、発生した気泡の量で硫化物の存在を定性的に判断する（気泡が一つ二つなら「微量」、多く発生すれば「有」と定める）方法により行った。一方、土壌の比抵抗は、比抵抗が低ければ土壌中の電流が容易に通過するため、埋設管からの電流の流出が激しくなり腐食の原因となる。一般的に、 $1.0\text{k}\Omega\text{-cm}$ 以下であると腐食性の強い土壌とされる。この測定に関しては、防錆管理計を用い、土壌杖と呼ばれるT字型電極を埋設管の周囲の土壌に差し込み、土壌の電位に対する抵抗値を測定している。いずれのデータも、土壌サンプルを採取して分析機関にて試験する必要はなく、現場において簡便に測定できる項目である。また、土壌の腐食性を評価する際に一般的に用いられる「ANSI 評価点」に比較し、本モデルは調査項目が少なく済むので利便性が高い診断モデルとなっている。

3. 更新シミュレーションモデルの構築

前述した式(1)は不連続であり、事故リスクの経年的な変化を記述できる連続式へと拡張する必要がある。例えば、埋設経過年が5年と10年のサンプルスコアを式(1)から求めると、両者は A_1 ：「～20年」のカテゴリに属するため、同じ埋設環境であれば（硫化物：有、土壌の比抵抗： $2.0\text{k}\Omega\text{-cm}$ 未満の時、いずれも $[-0.82]+[0.81]+[0.54]=0.53$ となり）、5年と10年のサンプルスコアに差異は生じない。しかしながら、図-2（変換イメージ）に示されるとおり、埋設経過年の増加に伴ってサンプルスコアも増加するような曲線を考え、式(2)のような t の関数を導入することで、経年的な事故リスクの上昇を連続的に表現するモデルへ拡張されることが理解できる。以上の考え方にに基づき、本研究ではまず、数量化した式における2つの土壌要因である「硫化物」と「土壌の比抵抗」について、BAD群に判別するカテゴリスコアの最大値を基にし、さらに「埋設経過年」のカテゴリスコアを加算してサンプルスコアを求めた。また、今回の分析で用いたデータの中で、埋設経過年の最大値が64年であったこ

表-1 土壌のカテゴリスコアと土壌補正係数

k	土壌のカテゴリスコア	アイテムカテゴリー		腐食進行速度の平均値 [mm/年]	土壌補正係数 α_i	土壌腐食ランク
		土壌の比抵抗 ($\text{k}\Omega\text{-cm}$)	硫化物			
1	1.35	～2.0	有	0.125	1	I
2	1.10	～4.0	有	0.096	0.773	
3	0.91	～6.0	有	0.096	0.772	
4	0.90	～2.0	微	0.099	0.793	
5	0.76	～8.0	有	0.081	0.649	II
6	0.65	～4.0	微	0.091	0.726	
7	0.46	～6.0	微	0.080	0.643	
8	0.38	8.0より大	有	0.093	0.743	
9	0.31	～8.0	微	0.083	0.662	III
10	-0.07	8.0より大	微	0.076	0.611	
11	-0.17	～2.0	無	0.069	0.550	
12	-0.42	～4.0	無	0.074	0.593	
13	-0.61	～6.0	無	0.068	0.542	IV
14	-0.76	～8.0	無	0.063	0.502	
15	-1.14	8.0より大	無	0.054	(0.042)*	IV
16	PS被覆			—	(0.034)*	

*は腐食無も含めた場合

注：表中の土壌のカテゴリスコアは、式(1)の B_i 及び α_i の組合せにより算定されたものである。

とから、64年までのサンプルスコアを算出した。このサンプルスコアを用い、 $Y=ab^t$ （ Y ：サンプルスコア、 t ：埋設経過年）の連続式へと変換を行う。以下に、具体的な計算手順を示す。

$$Y=ab^t \quad (2)$$

まず、対数変換を行い、

$$\log Y = \log a + t \log b \quad (3)$$

となる。さらに、 $\log Y=Y'$ 、 $\log a=a'$ 、 $\log b=b'$ とおくと、

$$Y'=b't+a' \quad (4)$$

と表現することができる。

Y' に式(1)より得られたサンプルスコア（サンプル数：64個）を対数変換した値、 t に埋設経過年（1～64年）をそれぞれ代入し、式(4)について回帰分析を行うと偏回帰係数が求められる。

最後に、 $e^{a'}=e^{\log a}=a$ 、 $e^{b'}=e^{\log b}=b$ より、前掲の式(2)は

$$Y=0.44 \cdot 1.04^t \quad (5)$$

となる。式(5)の自由度調整済み重相関係数 R^2 は0.90である。ただし式(5)は、2つの土壌要因において、BAD群に判別するカテゴリスコアの最大値から求めたものである。つまり、本研究において最も腐食性の強い土壌（土壌の比抵抗： $2.0\text{k}\Omega\text{-cm}$ 未満、硫化物：有）に対する評価内容になるので、異なる腐食性の土壌に適用する場合には、式(5)に対して割引係数を乗じる等の補正が必要となる。

本研究では、「硫化物」と「土壌の比抵抗」をそれぞれ3個と5個のカテゴリに区分したことから、まず表-1に示す15（ $3 \times 5=15$ ）のレベルにデータを分類し、15段階の土壌グループ別に、腐食が存在した管における腐食

深さの実測値を埋設経過年で除すことによって、腐食進行速度[mm/年]の平均値を求めた。さらに、各レベルにおける腐食進行速度の平均値を、土壌のカテゴリースコアが最大時（ $k=1$ ）における腐食進行速度の平均値（0.125[mm/年]）で除し、各土壌補正係数 α_k を決定した。表-1を見ると、土壌のカテゴリースコアが大きいほど、腐食進行速度の平均値も増加傾向にあることがわかる。したがって、この土壌補正係数 α_k を式(5)に乗じることによって、埋設環境の腐食性の強弱を考慮したモデルの構築を行った。

また、PS 被覆の場合に関しては、本分析では表-1 の $k=15$ 、すなわち最も腐食性の弱い土壌（土壌の比抵抗：8.0k Ω -cm より大、硫化物：無）における補正係数を基準に、PS 被覆した管路の腐食進行速度の平均値と対応付けて与えることとした。ただし、PS 被覆は埋設環境の影響を受けないことから、 $k=15$ の腐食進行速度と同程度ないしはそれ以下と考えられる^{8,9)}。表-1 の最下段に、腐食無のデータを含めた腐食進行速度の平均値を示した。腐食無を含めた理由は、PS の防食効果を評価する場合、腐食無のデータを含めた方が腐食の存在した管路データのみで検討するよりも明確になると判断したからである。両者の値を比較した結果、PS 被覆の方が低い値であることを確認できた。PS 被覆における土壌補正係数の算出方法は、表-1 の α_{15} に対して、PS 被覆の腐食進行速度の平均値で乗じ、 $k=15$ の腐食進行速度の平均値（腐食無を含めたもの）で除すことによって、PS 被覆の土壌補正係数 α_{16} を算出した。以上より、新たな局部腐食診断モデルを式(6)に示し、これを更新シミュレーションモデルと定義した。

$$Y = 0.44 \cdot 1.04^t \cdot \alpha_k \quad (6)$$

Y : サンプルスコア t : 埋設経過年
 α_k : 土壌補正係数 ($k=1 \sim 16$)

以降では、表-1 の土壌のカテゴリースコアが大きいほど腐食進行速度の平均値が増加する傾向を踏まえ、かつ相対的にレンジが大きかった「硫化物」のカテゴリを基にして、3 段階の評価区分（土壌の腐食性ランク[I, II, III]: 数値が小さいほど腐食性が強い。区分の基準は、[I]は硫化物：概ね有、[III]は硫化物：概ね無、[II]は[I]と[III]の中間にあたるものとする。）を決定した。また、PS 被覆においては、管体周囲が PS で被覆されるため均一な環境が保たれることから、腐食性は無いものと仮定して土壌の腐食性ランク[IV]に属するものとした。土壌の腐食性の良し悪しと事故リスク（サンプルスコア）との関係を把握するため、式(6)を図示すると図-3 になる。埋設経過年が長くなるに従い事故リスクも増加するが、腐食性ランクの上位のもの程より早い時期にリスクが高まるような関係にあることがわかる。

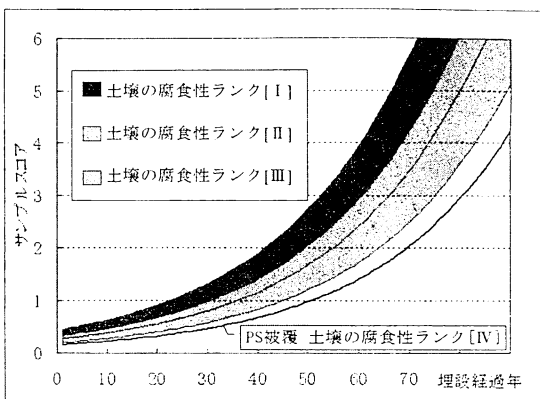


図-3 土壌の腐食性と事故リスク(サンプルスコア)との関係

4. 管路更新シミュレーションの結果と考察

(1) シミュレーションの適用条件

調査された管路は漏水事故や経年劣化などの理由から布設替えの対象となっている管路であり、実際は取り換えられているものが多数ではあるが、その管路周辺に埋設されている全ての管路を布設替えするまでには至っていない。また、水道管路の布設や整備はまとまった規模で行われることから、調査された管路とその周辺に当たる管路は埋設及び整備時期が同時期である可能性が高く、土壌環境も大差ないと仮定することができる。したがって、本研究の更新シミュレーションでは、調査データの情報を以て、周辺の他の管路の代表と見做し、対象地域の必要工事量がどの時期に、どの程度発生し得るのかを明らかにすることを目的とする。

更新シミュレーションを行う前の適用条件として、①基準年（平成 22 年）から全ての管路に関して 1 回目の更新が終了するまでの将来予測、②現状と調査データにおける PS 被覆率の差の調整、③更新基準値の検討についてそれぞれ以下に説明する。

①については、本研究の分析で用いている腐食実態調査データは、平成 5 年から平成 18 年の期間における情報であり、各管路の埋設経過年は調査時点での値となる。したがって、シミュレーションを行うに当たっては、平成 5 年から平成 18 年に調査された管路が平成 22 年まで埋設され続けていると仮定し、調査年時から平成 22 年までの年数の差を各々の埋設経過年に加算した上で、全ての管路に関して 1 回目の更新が終了する 60 年先までの将来予測を行うものとする。

②については、本研究の調査データは管路腐食が懸念される PS 無被覆の管路に対して、優先的に調査を行っているため、PS 被覆のデータ件数の割合は現実より少ない

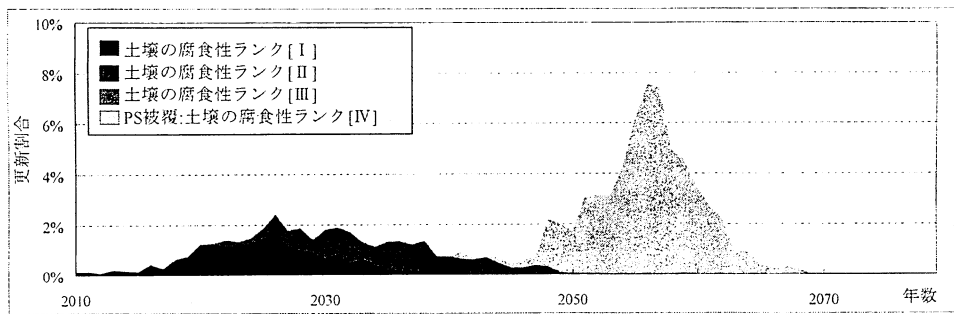


図-5 更新割合の経年変化

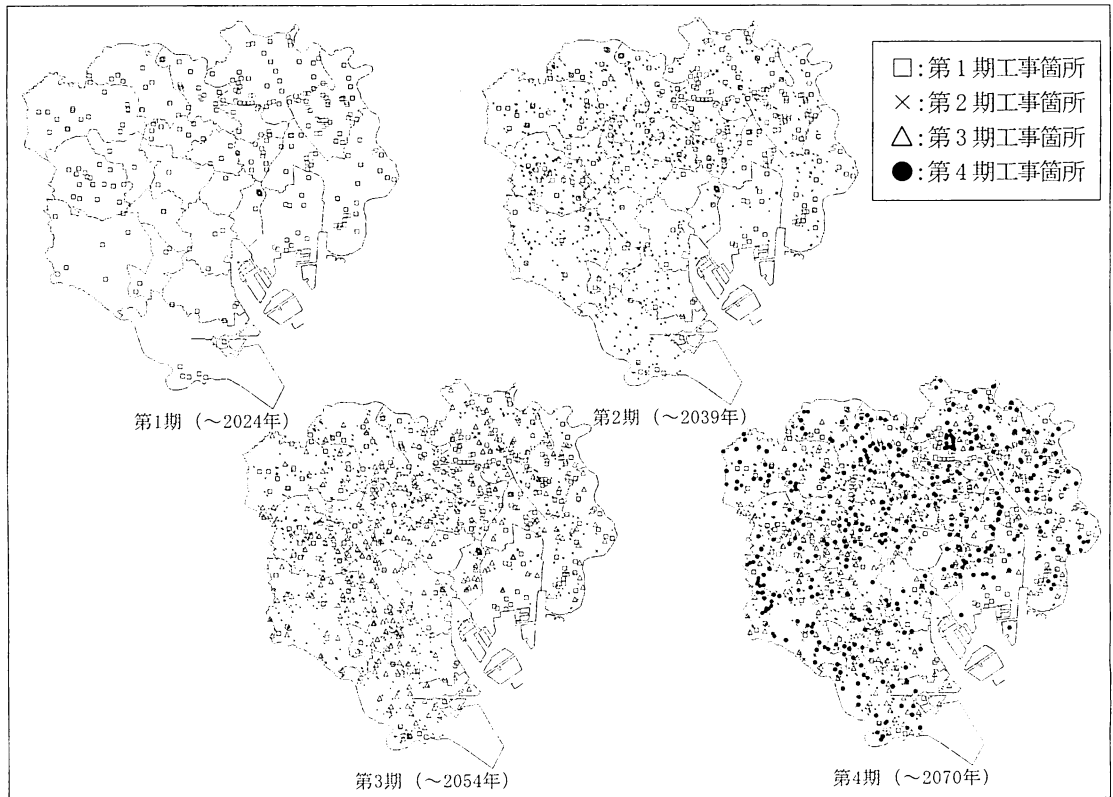


図-6 マッピングソフトの出力結果

仮定し、それらの工事が対象地域において、どのように面的に発生するのか、また時間的に推移していくのかを視覚的に把握して行く。

まず、年間の工事量を定量的に把握するために式(6)を用い、2010年から全ての管路に関して1回目の更新が行われるまで(2070年)のサンプルスコアの経年変化を計算し、各データの更新時期を求めて図-5を作成した。図中の更新割合とは、該当年に更新される管路数を全データ数で除した値である。図-5を見ると、土壌の腐食性の強いランクⅠから優先的に、更新をしていく必要があることを示しており、2020年手前から徐々に更新割合が増加していき、PS無被覆管の更新需要のピークは2020

年代に訪れることが把握できた。その後、PS無被覆管は2050年には全ての更新を終えるが、2040年半ばからPS被覆管の更新割合が増加し、2050年代に年7%を超える大きなピークを迎えることがわかった。したがって、PS被覆率が高い東京都区部の場合、来るべくPS被覆管の更新需要の大きなピークに備えるために、現存するPS無被覆の管路を如何に効率よく優先順位を決定し、更新を行っていくべきかが重要となる。

続いて、対象地域のどの箇所から更新の優先順位が高くなるのかを視覚的に把握する方法を示す。調査データに記載された調査地点の住所データに対して「住所一緯度経度変換ツール¹²⁾」を用い、住所を緯度と経度に変換

した上で、マッピングソフト「MANDARA¹³⁾」を使用し、地図上に各データのサンプルスコアをプロットする。

マッピングソフトの出力結果を図-6に示した。この図は2010年から2070年を4期に分割し、各期間において更新が行われる箇所を記号で表記している。具体的に見ると、まず始めに2020年代から東側の区において徐々に工事量が多くなっていき、2030年前後では中央部、その後は西側及び南部、2050年代には再び東側へと工事量の多い地域が移行し、2070年で既存管の1回目の更新を終えるものとなった。一番初めに変化の現れた東側の区において、どのような要因が影響を及ぼしているのかを把握するために、土壌環境や埋設経過年の腐食実態調査データを用いて検証を行った。その結果、東側は土壤中に水分や硫化物が多く、土壌の比抵抗は低いという腐食性の強い土壌の傾向が見られた。東京都区部は、武蔵野地から西側は元来陸地であり、東側は河川氾濫地で江戸時代から埋め立てをして形成された土地である¹⁴⁾。西側と東側の土地の境界線は、京浜東北線付近に位置しており、これを境にして、東京都区部を腐食性の弱い土壌である西部と腐食性の強い土壌である東部に区別して見ることができる¹⁵⁾。

さらに、2050年代の東側に見られた更新需要のピークについて検証すると、東側の区は他区に比べて、PS被覆率が約10～20%程度高いことから、この時期にPS被覆の管路の更新需要が増加することを把握できた。また、サンプルスコアの大小は埋設経過年によっても左右されるので、埋設経過年の値が東側において極端に大きい場合や、逆に西側において極端に小さい場合においても2020年代に現れた更新需要のピークを示す可能性がある。各区における埋設経過年の平均値を算出した結果、全ての区で20年後半から30年前半の値であり、特に差は見られなかった。したがって、東側は腐食性の強い土壌の影響によって、更新の優先順位が高まる地域であることが明らかとなった。続いて、腐食実態調査データを基に、中央部、西側についても同様に検証する。まず、中央部に位置する「N区」、「R区」、「S区」を例に挙げると、東側の区と比較して土壌の比抵抗が高く、水分も少ないことが明らかとなった。さらに、西側及び南部に位置する「U区」、「V区」、「T区」を例に取ると、中央部に比べて土壌の比抵抗が高く、水分、硫化物ともに少ない腐食性の弱い土壌であることがわかった。以上より、更新の優先順位は東側から中央部、西側及び南部、再び東側へと徐々に移行していく理由は、管体及び土壌の実測データと東京都区部の地形状況から明らかとなり、更新シミュレーションモデルは東京都区部の地形特性を適切に評価できることが確認できた。

5. おわりに

本論文では、東京都水道局において継続的に行われてきた管体及び埋設環境調査のデータに基づき、土壌の腐食性の強弱やPS被覆の有無を加味できる更新シミュレーションモデルを構築した。本研究のモデルは、管路更新の優先順位を決定し、かつ更新需要の経年変化を予測する際に有用であることが確認できた。以下に、本研究で得られた主要な成果について述べる。

- 1) 筆者らの既往の研究であるPS無被覆の局部腐食を診断するモデルを、事故リスクの経年的な変化を記述できる連続式への拡張を行った。さらに、各土壌カテゴリースコアにおける腐食深さの実測値を基にして、土壌補正係数(表-1参照)を定め、土壌の腐食性の強弱やPS被覆の有無における差異を表現できる新たなモデルとして、更新シミュレーションモデルを構築した。
- 2) 管路の更新基準を決定するために、サンプルスコアと埋設経過年の関係について検討した。現行の法定耐用年数(40年)等を考慮し、腐食性の強い土壌(土壌の比抵抗:2.0kΩ-cm未満、硫化物:有)に埋設されている管路が、約40年で更新されるよう、「サンプルスコア2.0」に達した場合を更新基準と定めた(表-3参照)。
- 3) 東京都区部における更新割合の経年変化についてマッピングソフトを用いて把握したところ、京浜東北線の東側に位置する区から優先的に更新が必要であることが判明した。その後は、中央部、西側、再び東側へと更新需要が移行していき、更新需要のピークは2020年代と2050年代に迎えることが明らかとなった(図-5及び図-6参照)。

最後に今後の展望について述べる。一般的に、リスクは「事故の発生確率」に「被害規模」を乗じたものと定義されており、本研究のモデルは、前者の観点から更新の優先順位を決定したものに相当する。被害規模に関しては、人口密集地域及び社会基盤施設などにおいて、漏水事故や管路破裂などが発生した場合、その被害は甚大なものになると考えられる。したがって、被害規模のリスクを加えた更新事業の策定も重要であり、今後は各種の社会的指標をマッピングシステムに組み入れながら、事故の規模と確率の両面を考慮したモデルの構築が望まれる。また、耐震性及びPSを備えた高機能ダクタイル鋳鉄管の需要増加が推測されることから、PS被覆管に特化した調査及びデータ収集を継続的にを行い、それらの統計的な分析も求められる。

参考文献

- 1) 荒井康裕, 小泉明, 稲貝とよの, 渡辺晴彦, 國實蒼治, 林光夫: 送配水管路事故の実態調査アンケートデータによる故障率曲線の推定方法, 環境システム研究論文集, Vol.36, pp.125-130, 2008
- 2) 財団法人 水道技術研究センター: 管路施設の機能診断・評価に関する研究 (NewEpoch プロジェクト) 最終成果報告会テキスト, p.17, 2008
- 3) 電気学会 電食防止研究委員会: 電食・土壌腐食ハンドブック, pp.37-41, コロナ社, 1977
- 4) 小泉明, 荒井康裕, 稲貝とよの, 新谷政秋, 中野直樹: 数量化理論を用いた水道管路システムの安全性評価に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.35, pp.163-171, 2007
- 5) 小泉明, 荒井康裕, 稲貝とよの, 國實蒼治, 馬野仁史, 有吉寛記: 水道管路の安全性を評価するメッシュ診断モデルに関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.36, pp.115-123, 2008
- 6) 荒井康裕, 小泉明, 馬野仁史, 芦田裕志, 尾崎勝, 吉田永: 埋設環境に伴う水道管路の腐食に関する統計分析, 環境システム研究論文集, vol.37, pp.9-17, 2009
- 7) 小泉明, 何善, 孫躍平: 数量化理論による下水道管渠の損傷判別分析, 環境工学研究論文集, Vol. 38, pp.257-264, 2001
- 8) 芦田裕志, 古屋泰徳, 森川智之, 佐藤親房, 小泉明, 松田恵一: ポリエチレンスリーブの防食効果に関する実験的研究, 水道協会雑誌, Vol.77, No.5, pp.11-20, 2008
- 9) 芦田裕志, 尾崎勝, 吉田永, 小泉明: 水道管に対するポリエチレンスリーブの防食効果, 水道協会雑誌, Vol.78, No.5, pp.2-13, 2009
- 10) 日本水道協会: 水道施設更新指針, p.54, 2005
- 11) 日本ダクタイル鉄管協会: 高機能ダクタイル鉄管の耐用年数について—厚生労働省健康局「水道ビジョン」を受けて—, pp.1-12, 2004
- 12) 谷 譲二: 住所-緯度経度変換ツール, 地理情報分析支援システム MANDARA, <http://ktgis.net/mandara/index.php>, 2010
- 13) 後藤真太郎, 谷譲二, 酒井聡一, 加藤一郎: MANDARA と EXCEL による市民のための GIS 講座, 古今書院, 2007
- 14) 松田磐余: 江戸・東京地形学散歩 災害史と防災の視点から, pp.14-83, 之潮, 2009
- 15) 渡辺映一: 東京都水道局における管路更新への取り組み, 水道技術ジャーナル, 第 40 号, 水道技術研究センター, pp.9-16, 2006

RESEARCH ON SIMULATION MODEL FOR REPLACEMENT OF WATER PIPELINE

Yasuhiro ARAI, Akira KOIZUMI, Hitoshi UMANO,
Atsushi MASUKO, Satoshi TAMURA and Hiroshi ASHIDA

This paper presents a way of applying the authors' researches on the local corrosion [pitting corrosion] of the water pipes in the past to a renewal project of water pipeline, we remodeled it to express a process of variation continually. This new model was able to decide the priority level of the renewal of water pipes by using soil environment and pipe installation period, and defined this as the simulation model for renewing water pipes. In addition, we gave an example of diagnosing the Tokyo in the future of the demand for renewal by using the simulation model, the mapping software and the field survey data about the corrosion of underground water distribution pipes collected by Tokyo Waterworks Bureau. Finally, from the prediction of the demand for renewal, it was revealed that our proposed model proved effective in pipe replacement activities.