

(26) 数量化理論による下水道管渠の損傷判別分析

Damage Discrimination Analysis for Sewage Pipe System with Quantification Theory

小泉 明*, ○何 瑋**, 孫 躍平***
Koizumi Akira*, He Shan**, Sun Yueping***

ABSTRACT ; The damage caused by the aging of sewage pipe systems has become one of the major rising problems in modern cities. The traditional method to search for damage points on sewage pipes is using cameras and eyes. But using these methods to check all the sewage pipes in the city will waste a lot of money and time. In this paper we performed a quantitative analysis on sewage pipe damages. Our study utilized the results of the sewer investigation in Tokyo. Based on this analysis, we proposed a quantification theory type II to describe the relationships between various factors that contribute to the damages of sewage pipe systems. Namely, we can use the factors, such as the pipe diameter, the number of years for laying, the kind of road and foundation, overburden, pipe's slope etc., to judge the sewage pipes if it has a corrosion, crack or breakage. As a result, our diagnosis model can be used to discriminate whether and to what extent an existing sewage pipe system is damaged.

KEYWORDS ; sewage pipe systems, sewer investigation, quantification theory type II, diagnosis model, damage discrimination

1. はじめに

近年、都市部における下水道の普及率は向上し、100%に近い地域も出現している¹⁾。しかし、下水道管渠は経年変化等による老朽化の進行に伴い、その機能に支障を及ぼすなど、新たな都市問題の発生が懸念されている²⁾。現在、東京都下水道局では、下水道管渠の損傷状況を把握するため、テレビカメラ等による管路内調査を実施している。テレビカメラや目視で行う管路内調査は下水道管渠の損傷状況を知る最も直接的な方法であるが、全ての下水道管渠に対して管路内調査を行うには、多大な費用と時間が必要となる。また、管渠の埋設環境によっては管路内調査を行うことが困難な場合もある。そのため、下水道管渠の損傷について、管路内調査により収集された既存のデータをもとに、損傷の将来変化及び未調査箇所を推測する必要があると考える。

そこで、本研究では東京都の区部で行った合流式下水道管路内調査結果を用い、数量化理論第II類を用いて、損傷状況と埋設環境の関係を検討・分析するとともに、合流式下水道管渠の損傷程度を診断するためのモデルを作成する。

2. 分析に用いるデータの特性

2.1 対象区域の選定

現在、東京都は老朽化下水道施設の計画的な更新と機能の高水準化を併せて進める新事業を展開するこ

* 東京都立大学大学院工学研究科 Graduate School of Eng. Tokyo Metropolitan University

** 東京都立大学大学院工学研究科 (現在 興建産業(株) Koken Sangyo Co. Ltd.)

*** 東京都立大学大学院工学研究科 (現在 (株)NSC エンジニアリング NSC Engineering Co. Ltd.)

とになり、これを「下水道施設の再構築事業」と定義している³⁾。なお当面は23行政区のうち、都心部に位置する老朽化や機能低下が進行している17区〔再構築区域内の都心3区(千代田区、中央区、港区)、再構築区域内の中心9区(新宿区、文京区、台東区、江東区、墨田区、渋谷区、豊島区、北区、荒川区)、再構築区域内のその他5区(足立区、江戸川区、板橋区、品川区、目黒区)]を再構築区域と指定し、下水道管渠に対して優先的に整備を進めている。なお、再構築区域外は6区(葛飾区、中野区、杉並区、練馬区、大田区、世田谷区)となっている⁴⁾。平成11年度現在、再構築区域内・外合わせての下水道管渠延長は15,190kmである。管路内調査実績は全延長の35.6%であり、5,408kmである。調査したすべての下水道管渠を分析すると膨大な時間を要するので、本研究では、下水道の整備時期を考慮し、明治時代以来の管渠が使用されている千代田区、東京の新都心である新宿区および比較的新しく整備された中野区を選定する⁵⁾。図1に示したとおり、選定した3区はそれぞれ「都心3区」、「中心9区」および「区域外6区」に属しているので、採用した管路内調査データは東京都の下水道管渠状況を代表できるものと考えられる。

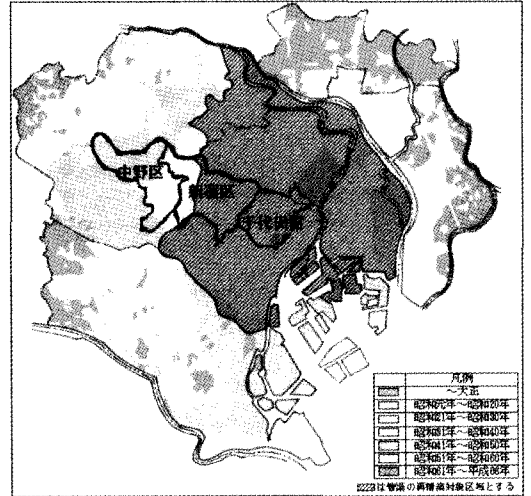


図1 東京都下水道整備年代及び分析対象行政区

2.2 使用データの選択

本研究では東京都下水道局の管路診断システムに整備された人孔データと路線データのデータベースを使用した。人孔データは地域全体の個々の管渠に番号を付け、上下流の敷設年代、管種、土被りなど下水道管渠の基本情報を載せている。路線データはテレビカメラ調査から得られた管渠の損傷状況を表示しているものである。分析で対象とする3区のデータは、合計4,793スパンである。人孔データは管渠の持つ情報として「上流番号」、「下流番号」、「調査機関」など全部で48項目がある。コード番号や行政区分および管渠端末区分などの項目を除いて、本研究に用いるアイテムは「経過年数」、「管渠口径」、「管渠厚み」、「管渠勾配」、「土被り」、「道路種別」、「管渠材質」、「管渠断面」と「基礎種別」の9項目で、主な損傷関連要因をアイテムとして抽出した。

3区の下水道管渠内調査に関する単純集計分析の結果、図2に示したように、円形管は断面構成の97%、鉄筋コンクリート管は材質構成の58%を占めている。また、近年下水道管渠には鉄筋コンクリート管を主として使用していることから、本研究は鉄筋コンクリート円形管を対象とした分析を試みる。したがって、分析に用いるアイテムは「管渠材質」と「管渠断面」を除いた7アイテムとする。

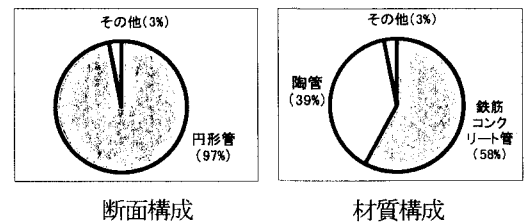


図2 単純集計分析結果

つぎに、管路の判定対象となる1スパンの延長は、長短の分散が大きく、同じ延長で損傷状況を討議する必要があるため、基準化延長として30mに平準化することとした⁶⁾。例えば、管路延長が15mの管渠に損傷が2つある場合、基準化すると、その損傷数は4とみなす。したがって、平準化したほうが、定量的かつ数値解析的な処理を図る上で効果的であることとなる。また、東京都にある口径1500mm以下の下水道管渠のスパン平均延長が33.5mであることから、30mを基準延長として定めた。

分析の精度は採用するアイテムによって決まるので、まずアイテム間の内部相関分析およびアイテムと

外的基準間の相関分析を行う⁷⁾。ここで、外的基準としている損傷箇所と上述した7アイテムとの相関分析及びその7アイテム間の内部相関分析を試みた。この結果、「管渠口径」と「管渠厚み」との内部相関係数は0.9以上であることが判明した。アイテム間相互に高い相関がある場合、どちらかの変数を消去するのが一般的である。そこで、「管渠厚み」は「管渠口径」より他のアイテムとの内部相関も高いことから、「管渠厚み」をアイテムから除外することとする。

2.3 カテゴリーの分類

ここでは、数量化理論第Ⅱ類による計算を行うため、各スパンの外的基準である損傷状況に影響を与えるアイテムである管渠の口径、経過年数、土被り、道路種別および基礎などに対して、各カテゴリー（選択肢）を分類するための単純集計分析を行う。

東京都にある鉄筋コンクリート下水道管渠の口径は中口径が多く、「350～600mm」の管渠が48%を占めている。また、日本工業規格(JIS規格)を参考に、「口径」を300mm以下、350mm～600mm、700mm～800mmと800mm以上の4カテゴリーに分類した。

鉄筋コンクリート下水道管渠の63%は昭和33年から昭和53年の間に整備された。つまり、半分以上の鉄筋コンクリート管は20年から40年くらいを経過したものである。このことから判断して、「経過年数」は20、40、60年および60年以上の刻みで分けた方が良く考える。

管路内調査した鉄筋コンクリート管は都道と区道の下に設けられているものは全体の86%であり、国道の下に設置されたものは14%と少ないが、道路種別は3分類とする。

下水道管渠の不等沈下を防止するため、地耐力が10t/m²以下であれば、基礎工を必要とする⁸⁾。集計分析によると、東京都の鉄筋コンクリート下水道管渠の下に設けられた基礎は主に3種類に分けられた。簡易基礎(砂基礎および碎石基礎)が一番多く64%を占め、ついで梯子および杭基礎等が24%、基礎なしの鉄筋コンクリート管は12%を占めている。

下水道管渠の最小土被りは、道路管理者との協議および現場の状況により決定する。樹の深さ、路面荷重およびその他の埋設物の関係を考慮して最小土被りは1.0m以上とするが、一般には1.2mとしている例が多い。本研究に用いるデータは、39%の鉄筋コンクリート下水道管渠の土被りが1.2～1.7mであることから、今回の分析で1.2m以上0.5mごとにカテゴリー化し、1.2m～1.7m、1.7m～2.2mおよび2.2m以上と分類している。

最後に、地面の下に埋設された下水道管渠は地勢や水流などによって勾配を設けられ、本研究では「3%以下」、「3%～10%」と「10%以上」の3種類に分けている。この中で、3%から10%までの管渠勾配が多く、全体の69%を占めていることが分かった。

以上のことから、鉄筋コンクリート円形管に対する各要因のカテゴリー分類は表1に示す通りとなる。

表1 各要因のカテゴリー分類

管渠口径	A1	300mm以下
	A2	350～600mm
	A3	700～800mm
	A4	900mm以上
経過年数	B1	0～20年
	B2	21～40年
	B3	41～60年
	B4	61年以上
道路種別	C1	国道
	C2	都道
	C3	区道
基礎種別	D1	簡易基礎
	D2	梯子及び杭基礎等
	D3	基礎無し
土被り	E1	1200mm以下
	E2	1201～1700mm
	E3	1701～2200mm
	E4	2201mm以上
管渠勾配	F1	3%以下
	F2	3%～10%
	F3	10%以上

3. 分析に用いる手法

本研究では、上述した3区の管路内調査データを用い、数量化理論による分析を行う。数量化理論では、程度・状態・有無、または、「はい」「いいえ」といったような質的データに数量を与え、多次元的解析を行う手法である⁹⁾。量的データは、データ間の大小関係を比較したり、演算を行ったりするときに、意味のある数値となるデータである。質的データは、データ間の大小比較や演算をしても無意味で、ここでの数値は単なる分類の意味しか持っていない。したがって、数量化理論は質的なデータについて、その規則性を引き出

せるように工夫された手法であるともいえる¹⁰⁾。

数量化理論第Ⅱ類は、個々のサンプルの属する群が外的基準として与えられ、カテゴリースコア x_{jk} を用いた次式により各サンプルの数値を算出し、サンプルがいずれの群に属するものかを判別する手法である。

$$Y_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{k_j} x_{jk} \delta_i(jk) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 Y_i は各サンプルの数値 (サンプルスコア)、 n はアイテム総数、 k_j はアイテム j のカテゴリー数、 $\delta_i(jk)$ はサンプル i がアイテム j のカテゴリー k に該当する場合を 1、該当しない場合には 0 とするダミー変数を表す。

サンプルスコアから求められた推定群が、できるだけ実績群と一致すればよいのであるから、サンプルスコアと実績群との相関比が最大となるようなカテゴリースコア x_{jk} を求めればよいことになる。

相関比 η は、次のように表すことができる。

$$\eta^2 = V_B / V_T \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 V_B は群と群との平均値間の分散 (群間分散) を表し、 V_T はグループ全体の測定値の分散 (全分散) である。 V_B / V_T が 1 に近いということは、各群の測定値の集まりが、それぞれの群平均の近くにあり、しかも各群の平均が互いに大きく離れていることを示している。逆の場合には、各群の平均値が全体の平均に近く、各群内の分散もそれぞれ大きくなることを示す。相関比の 2 乗 ($0 \leq \eta^2 \leq 1$) が 1 に近いほど各群がよく区別でき、0 に近いほど各群の測定値が重なりあって区別ができないことがわかる。

4. 数量化理論第Ⅱ類による分析

下水道管渠システムの維持管理において、実際のテレビカメラや目視などの管路内調査をする前に、対象地域の下水道管渠に対する損傷の有無を予測し、どのような損傷が発生しているかを判別することが重要である。その結果によって、維持管理の優先順位を決定し、時間やコストの削減ができると考えられる。そのため、選定した東京都内 3 区の下水道管路内調査データを用い、数量化理論第Ⅱ類により、下水道管渠の損傷状態を診断可能なモデルを作成する^{11), 12)}。

管路内調査データにより、管路の損傷を「破損」や「クラック」などの 10 項目に分類し、各項目の損傷程度に対して、A、B、C の三段階にランク分けをしている。

A は、緊急に措置するもの
B は、数年のうちに措置が必要なもの
C は、当面措置を必要としないもの

下水道管渠の損傷判定基準を表 2 に示す¹³⁾。分析対象とした 4793 スパンの鉄筋コンクリート下水道管渠の損傷程度の割合を図 3 に示し、各損傷状況に応じる損傷原因別個所数の割合を図 4 に示す。ただし、各損傷状況に対しても A、B、C の三段階ランクを付けている。今回の分析では、表 2

表 2 管路内調査の内容

(東京都下水道局、平成9年) により抜粋

項目		ランク		
		A	B	C
管の破損	鉄筋コンクリート管	欠落 軸方向のクラックで幅：5mm以上	軸方向のクラックで幅：2mm以上	軸方向のクラックで幅：2mm未満
	陶管	欠落 軸方向のクラックが管長の1/2以上	軸方向のクラックが管長の1/2未満	
管のクラック	鉄筋コンクリート管	円周方向のクラックで幅：5mm以上	円周方向のクラックで幅：2mm以上	円周方向のクラックで幅：2mm未満
	陶管	円周方向のクラックでその長さが円周の2/3以上	円周方向のクラックでその長さが円周の2/3未満	
管の継目ずれ	鉄筋コンクリート管	脱却	70mm以上	70mm未満
	陶管		50mm以上	50mm未満
管の腐食		鉄筋露出状態	骨材露出状態	表面が荒れた状態
管のタルミ・蛇行		内径以上	内径の1/2以上	内径の1/2未満
モルタル付着		内径の3割以上	内径の1割以上	内径の1割未満
侵入水		ふきでている	流れている	にじんでいる
取付け管突出し		取付け管内径の1/2以上	取付け管内径の1/10以上	取付け管内径の1/10未満
ロードの付着 木の根の侵入		内径1/2以上 閉塞している	内径1/2未満 閉塞している	

※段差は、mm単位で測定する。

に示されている3段階の損傷ランクが一つでもあれば、「損傷あり」と判断している。

図4によって、損傷箇所数全体の大半を占める損傷項目は「腐食」、「クラック」、「破損」、「モルタル付着」と「継目ずれ」5項目であることが分かった。しかも、上位3項目「腐食」、「クラック」および「破損」は全体の55%を占めている。この5項目に対する詳細な調査によると、「モルタル付着」と「継目ずれ」は下水道管渠自体の損傷ではなく、人為的な原因によって発生し、事前の支障処理で対処できるものとして除外する。一方、「腐食」、「クラック」および「破損」は管体の劣化に直接的に関連があるものとし、相互関係があると考えられる。

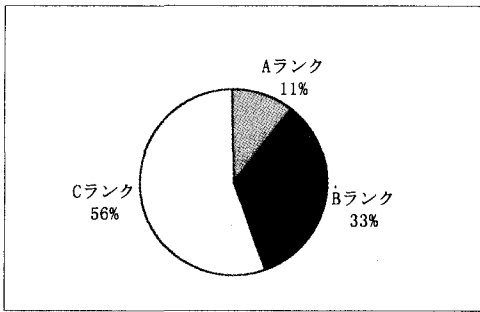


図3 下水道管渠の損傷程度

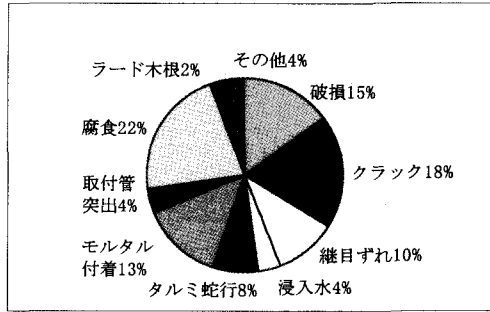


図4 下水道管渠の損傷状況

以下では、経年下水道管渠損傷発生の有無、ある場合の損傷詳細項目の予測手法、損傷発生の度合いと管渠埋設環境、敷設年度等の相互関係を求めるため、既設管渠全体の損傷データ及び上述した「腐食」、「クラック」と「破損」のある管渠のデータを用いて、数量化理論第Ⅱ類による分析を試みる。

4.1 全損傷に対する分析

以上の単純集計の結果を踏まえ、外的基準としている管渠の損傷を「損傷なし」の場合は「1」、「損傷あり」の場合は「2」となるようにカテゴリーデータを作成し、表1に示したアイテム・カテゴリーデータを用いた数量化理論第Ⅱ類による判別分析を試みた。分析結果によって、「損傷なし」の「群1」では2,032スパンであり、「損傷あり」の「群2」では2,761スパンである。下水道管渠の損傷の有無を判断する判別予測式は以下の通りである。

$$\begin{aligned}
 Y = & -0.33A1 - 0.11A2 + 0.49A3 + 0.74A4 + 0.34B1 - 0.02B2 - 0.12B3 - 0.19B4 \\
 & + 0.31C1 - 0.01C2 - 0.10C3 + 0.05D1 - 0.06D2 - 0.07D3 - 0.06E1 - 0.03E2 \\
 & - 0.02E3 + 0.16E4 + 0.002F1 + 0.03F2 - 0.09F3 \dots\dots\dots (3)
 \end{aligned}$$

ただし、相関比は0.123、判別率的中率は65%である。

判別率的中率は65%であることから、全データに対しておおまかな判別が可能であることを示している。損傷判断に影響を及ぼす主な要因は、表3に示した「全損傷」のレンジの大きさから判断することができ、第1位は「管渠口径」であった。これは下水道管渠の口径が大きいほど損傷の発生する確率が低いということを示している。第2位は「経過年数」であり、埋設後60年以上が経過した下水道管渠の損傷確率が高くなっている。続いて、第3位は「道路種別」であり、国道の下に埋設された鉄筋コンクリート管の損傷発生可能性は区道より低いことが明らかとなった。

4.2 各損傷項目に対する分析

全損傷に対する分析と同じように、外的基準を「損傷あり」と「損傷なし」と分けられている。ただし、各損傷項目に対する、「損傷なし」の数は「損傷あり」の数より非常に多いことから、分析の精度に大きなマイナス影響を及ぼすと考える。例えば、「腐食あり」の管渠は68スパンであることにに対し、「損傷なし」の管渠は2032スパンである。そのため、コンピュータにより乱数を発生させ、「腐食あり」の数と同じ程度に「損

「損傷なし」のスパン数を減らしてから分析を試みた。

各損傷項目に対する数量化理論第Ⅱ類の分析結果を表3に示す。

表3 全損傷および各損傷項目の分析結果

項目名	カテゴリー		全損傷				(Ⅰ) 腐食				(Ⅱ) クラック				(Ⅲ) 破損			
			カテゴリースコア		レンジ		カテゴリースコア		レンジ		カテゴリースコア		レンジ		カテゴリースコア		レンジ	
管渠口径	A1	300mm以下	-0.33		0.09		-0.77		-0.13									
	A2	350-600mm	-0.11		0.01		-0.18		0.00		2.35		1位		0.24			
	A3	700-800mm	0.49		0.00		1.23		0.09									
	A4	900mm以上	0.74		-0.06		1.59		0.11									
経過年数	B1	0-20年	0.34		0.03		0.28		0.35									
	B2	21-40年	-0.02		0.47		-0.19		0.05		0.53		3位		0.67			
	B3	41-60年	-0.12		-0.29		0.34		-0.17									
	B4	61年以上	-0.19		-0.42		0.20		-0.33									
道路種別	C1	国道	0.31		0.14		0.05		0.13									
	C2	都道	-0.01		0.24		-0.07		-0.06		0.15		6位		0.19			
	C3	区道	-0.10		-0.27		0.08		0.03									
基礎種別	D1	簡易基礎	0.05		-0.03		0.14		-0.01									
	D2	梯子、杭	-0.06		0.27		-0.20		-0.05		0.34		5位		0.19			
	D3	なし	-0.07		-0.22		-0.06		0.14									
土被り	E1	1200mm以下	-0.06		-0.11		0.01		-0.04									
	E2	1201-1700mm	-0.03		0.09		-0.20		-0.08		0.48		4位		0.26			
	E3	1701-2200mm	-0.02		-0.21		0.09		0.01									
	E4	2201mm以上	0.16		0.16		0.28		0.18									
管渠勾配	F1	3%以下	0.00		-0.08		0.32		0.15									
	F2	3%~10%	0.03		0.12		0.02		-0.03		0.62		2位		0.20			
	F3	10%以上	-0.09		-0.27		-0.30		-0.05									
判別的中率			65%				80%				71%				67%			

(Ⅰ)「腐食」について

「損傷なし」の鉄筋コンクリート管 100 スパンを無作為に抽出し、それと 68 スパンの「腐食」の管渠を判別、数量化理論第Ⅱ類による判別分析を試みた。

表3のレンジの値から見ると、鉄筋コンクリート管の「腐食」の判別に関して、最も影響が大きい要因は「経過年数」であることがわかった。今までの調査によると、下水道管渠の腐食は硫化水素が原因となっているものが多く、腐食の程度が経過時間の長さに伴い進行していることを表しているものと考えられる。

「腐食」の判別に影響する他の要因は「道路種別」、「基礎種別」、「管渠勾配」、「土被り」、「口径」の順となっている。

判別予測式として次式が得られた。

$$\begin{aligned}
 Y = & 0.09A1 + 0.01A2 + 0.003A3 - 0.06A4 + 0.03B1 + 0.47B2 - 0.29B3 - 0.42B4 \\
 & + 0.14C1 + 0.24C2 - 0.27C3 - 0.03D1 + 0.27D2 - 0.22D3 - 0.11E1 + 0.09E2 \\
 & - 0.21E3 + 0.16E4 - 0.08F1 + 0.12F2 - 0.27F3 \dots\dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

ただし、相関比は0.452、判別の中率は80%である。

この判別予測式を用い、この6アイテムの場合、鉄筋コンクリート管に対する腐食が発生しているかどうかを判断することが可能である。

(Ⅱ)「クラック」について

400 スパンの「損傷なし」と371 スパンの「クラック」のある管渠に対し、数量化理論第Ⅱ類を用いて、判別分析を行った結果、以下の式を得た。

この判別予測式に影響する一番の要因は「口径」であることがレンジの順位によってわかった。分析の結果によると、極端な場合、都道の下に埋設された急勾配の小口径鉄筋コンクリート管で、しかも経過年数が21~40年、埋設深さが1.2m~1.7m、梯子や杭基礎の下水道管渠はクラックを発生する確率が最も高いことが判明した。

$$Y = -0.77A1 - 0.18A2 + 1.23A3 + 1.59A4 + 0.28B1 - 0.19B2 + 0.34B3 + 0.20B4 + 0.05C1 - 0.07C2 + 0.08C3 + 0.14D1 - 0.20D2 - 0.06D3 + 0.01E1 - 0.20E2 + 0.09E3 + 0.28E4 + 0.32F1 + 0.02F2 - 0.30F3 \dots\dots\dots (5)$$

ただし、相関比は0.211、判別率的中率は71%である。

(Ⅲ)「破損」について

250スパンの「損傷なし」と218スパンの「破損」がある管渠について、この2群を判別すると、「経過年数」の影響が最も大きい。これは時間の経過に伴い鉄筋コンクリート管の破損も進行していることを示している。レンジの第2位は「土被り」であり、道路交通量の増加および車両の大型化の原因により、1.7mより浅い土被りの管渠が破損しやすい結果が得られた。表3に示すカテゴリースコア表によって、小口径の鉄筋コンクリート管が破損する可能性が高いことも明らかとなった。

「破損」の判別予測式は次式である。

$$Y = -0.13A1 + 0.005A2 + 0.09A3 + 0.11A4 + 0.35B1 + 0.05B2 - 0.17B3 - 0.33B4 + 0.13C1 - 0.06C2 + 0.03C3 - 0.01D1 - 0.05D2 + 0.14D3 - 0.04E1 - 0.08E2 + 0.01E3 + 0.18E4 + 0.15F1 - 0.03F2 - 0.05F3 \dots\dots\dots (6)$$

ただし、相関比は0.124、判別率的中率は67%である。

各損傷項目に対する分析結果によって、各損傷項目はそれぞれの特性を持っており、鉄筋コンクリート管の損傷判断に対して、各々の影響要因が異なることがわかった。「腐食」と「破損」を判断するときに、「経過年数」が主な影響要因であり、「クラック」に対しては、「口径」が主要因であることが明らかとなった。

4.3 損傷発生の判別例

ここで、下水道管渠の損傷状態を診断する適用例を挙げる。経過年数が65年、区道の下に基礎無しで埋設され、口径は300mm、土被りは1m、管渠勾配は15%である鉄筋コンクリート円形管について、損傷状態の判定を試みる。

まず全損傷項目に対して、この下水道管渠のサンプルスコアは(3)式によって、-0.75となる。これは表4に示した数量化理論第Ⅱ類による計算されたサンプルスコア階級別度数表の階級で-0.90~-0.70の範囲に入ることから、「損傷あり」の確率は85%と推測することができる。

また、(4)式によって、サンプルスコアは-1.2と計算され、腐食についてのサンプルスコア階級別度数表により「腐食損傷あり」の確率は92%であることがわかった。ついで、(5)式によって、サンプルスコアは-0.84であることから、「クラック損傷あり」の確率は72%であることを判断した。さらに、(6)式によって、下水道管渠のサンプルスコアは-0.38であり、「破損損傷あり」の確率は67%であることが明らかになった。

以上の分析により、この既設管に対して、「損傷あり」

表4 全損傷に対するサンプルスコア階級別度数表

階級幅	階級値	損傷なし	損傷あり
-1.10~-0.90	-1.00	0%	100%
-0.90~-0.70	-0.80	15%	85%
-0.70~-0.50	-0.60	23%	77%
-0.50~-0.30	-0.40	27%	73%
-0.30~-0.10	-0.20	35%	65%
-0.10~0.10	0.00	41%	59%
0.10~0.30	0.20	49%	51%
0.30~0.50	0.40	58%	42%
0.50~0.70	0.60	64%	36%
0.70~0.90	0.80	75%	25%
0.90~1.10	1.00	82%	18%
1.10~1.30	1.20	91%	9%
1.30~1.50	1.40	100%	0%
1.50~1.70	1.60	100%	0%
1.70~1.90	1.80	100%	0%

の確率による損傷判断では、腐食損傷を発生している可能性が非常に高い。よって、この管を老朽腐食管として位置付け、管路内調査機器による綿密な調査の必要性が高いと判定することができる。

5. おわりに

本研究では、東京都下水道局の管路診断システムから選択した 3 区のデータに基づき、数量化理論第 II 類により、管渠の損傷の有無を判断できる判別予測式を提案することができた。なお、ここで得られた結果は、東京都区部という高密度化した都市域に固有のものであり、すべての都市に適用できるものではない。他都市での適用に当たっては、対象とする都市の下水道システムの特性や維持管理の状況を十分に把握した上で、より適合したアイテム・カテゴリーを抽出し、それぞれの都市ごとに診断モデルを作成することが望まれる。また、今後の研究課題として、下水道管渠に損傷を及ぼす他の要因、例えば埋設土質、地下水位、下水の水質等についても検討する必要があると考えている。

最後に、本研究の分析に用いた管路内調査データは、東京都下水道局より提供されたものであることを付記し、関係者各位に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 建設省都市局下水道部：日本の下水道， p. 1-33， (平成 10 年)
- 2) 都心部下水道研究会：都市と下水道機能の再生第 4 回， 悩み尽きない都心部下水道の現在， 月刊下水道 Vol. 21 No. 8， pp. 49-52， (1998)
- 3) 都心部下水道研究会：都市と下水道機能の再生 最終回， 21 世紀の都心部の下水道管理に向けて， 月刊下水道 Vol. 21 No. 13， pp. 62-65， (1998)
- 4) 東京都下水道局：事業概要， (平成 10 年度版)
- 5) 都心部下水道研究会：都市と下水道機能の再生 第 2 回， 都心部から始まった下水道整備， 月刊下水道 Vol. 21 No. 6， pp. 65-71， (1998)
- 6) 伊東三夫・大橋彰：特別企画 管きよの維持管理， 東京都における管路施設の維持管理に対する管路診断システムの活用について， 下水道協会誌 Vol. 37 No. 448， pp. 18-23， (2000)
- 7) 管民郎：多変量解析の実践 (上)， (下)， 現代数学社， 第 3 刷 (1999)
- 8) 社団法人日本下水道協会：下水道管路施設設計の手引， p. 13-44， (1991 年版)
- 9) 有馬哲・石村貞夫：多変量解析のはなし， 東京図書株式会社， 第 22 刷 (1998)
- 10) 林知己夫・駒沢勉：数量化理論とデータ処理， 朝倉書店， 第 1 刷 (1982)
- 11) 萩原良己・小泉明・渡辺晴彦：アンケート調査をもとにした都市の水需要構造分析， 地域学研究第 8 巻， pp. 171-183， (1981)
- 12) 小泉明・小田原康介・谷川昇・及川智：都市ごみの排出実態と減量化意識に関する数量化分析， 廃棄物学会論文誌， Vol. 12 No. 1， pp. 17-25， (2001)
- 13) 高橋隆一：特集 都市の再生と管きよのリハビリテーション， 持続可能な再構築事業を目指して， 月刊下水道 Vol. 21 No. 16， pp. 6-10， (1998)