

1. 社会資本等の維持管理効率化・高度化のための情報蓄積・利活用技術の開発

下水道研究室 室長 横田 敏宏
主任研究官 深谷 渉
研究官 宮本 豊尚
交流研究員 竹内 大輔

1. はじめに

下水道管路の総延長 46 万 km のうち布設後 50 年を経過した老朽化管路は現在約 1 万 km 存在しているが、10 年後には約 4 倍、20 年後には約 12 倍に増加すると見込まれる。下水道の老朽化等に起因する道路陥没は毎年 3 ～4 千件発生しているが、老朽化の進行に伴い、陥没等の事故の増加や管路の改築更新等の財政負担の増大が懸念されている。また、少子高齢化等に伴う労働人口の減少により、建設業の従事者の減少も懸念されている。時間の経過とともに老朽化していく既存施設を、限られた人員、予算で、適正に管理し機能の持続性を確保していくためには、予防保全の考え方にに基づき、管路内調査により陥没等の事故が発生する前に内部の異常箇所を発見するとともに、調査等で得られた情報を適切に管理、運用し、維持管理の効率化に役立てていくことが重要である。各地方公共団体においてはこのような観点から管路の調査等を行っているところであるが、従来型の TV カメラでは日進量が短く、コストが高額なことから年間の調査実績は布設延長全体の約 1% に留まっているのが現状である。また収集した管路内情報についても活用が進んでおらず、下水道管路の維持管理の効率化が図れていないといった課題を抱えている。以上を踏まえ、本研究では、情報システムの活用によるアセットマネジメントの推進に向け、管路内情報の蓄積、利活用の観点から下記の項目を実施するものである。

- ①下水道管路維持管理の省力化及び効率化に向けた先進的 IT 技術の導入に関する検討
- ②アセットマネジメントや災害対応に資する AI 型下水道管路台帳の検討
- ③次世代型下水道管路台帳システム基本構想（案）の策定

平成 27 年度は、①に関して、新型下水道管路調査機器に求められる要求水準の検討を行い、②としてラフ集合分析を用いた周辺環境情報の活用に関する検討を行った。

2. 新型下水道管路調査機器に求められる要求水準の検討

2. 1 研究の概要

他のインフラ施設と同様に、下水道管路についても老朽化したストックが増大している。そのような中、管路に起因する事故を予防し、持続可能な下水道サービスを提供していくためには、より省力・低コストで調査点検が可能となる手法が求められている。従来の管内調査には自走式 TV カメラが用いられてきたが、日進量（1 日あたりの調査延長）が約 300m/日にとどまり、また現場での拘束時間が長いことから、調査コストが高額であること等が課題として指摘されているところである。そのような中、調査機器の走行性能を改良し、インバートの曲がり部分や管口での段差といった走行困難箇所を克服できれば、複数スパンを連続して調査が行える箇所が増加し、機材設置、回収、片付け等の作業時間が短縮することに伴う日進量の向上が可能となる（図-2.1）。

下水道管路維持管理の効率化を図るため、曲がり（曲率）や段差の影響を受けることなく人孔を通過できる割合（通過率）を用いて、現場での調査時間短縮に向けた新型調査機器に求められる要求水準について検討を行った。

2. 2 人孔の通過率と調査可能延長の試算

人孔におけるインバートの曲率と人孔に取付く流入出管の管底高の差のみが複数スパンの調査の可否に影響すると仮定すると、人孔さえ通過できれば連続的に調査が可能であるといえる。そこで通過できるか否かを示す指標として、「通過率」を式-1 で定義する。

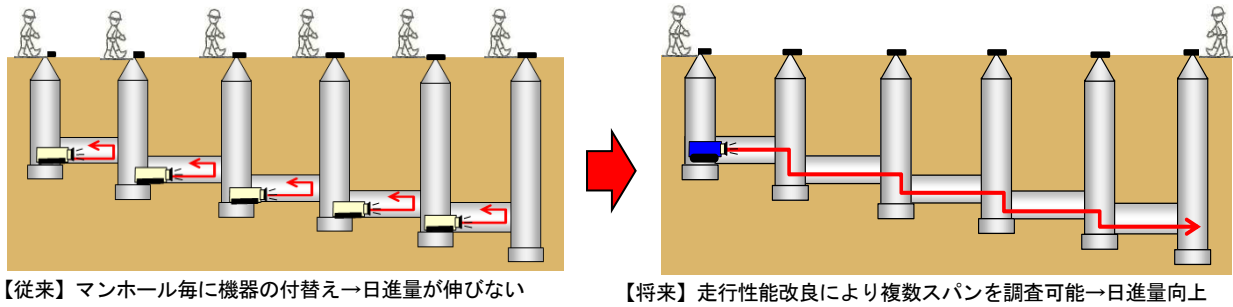


図-2.1 管路内調査機器の改良イメージ

$$\text{通過率}(p) = \frac{\text{任意の調査機器が通過可能な曲がりや段差を有する人孔数}}{\text{全人孔}}$$

= 走行限界となる、ある閾値以下のインバートの曲率及び流入出管の管底高差の発生確率・・・(式-1)

通過率を用いることにより、1回の調査機器の設置による通過可能なスパン数を推計することが可能であり、スパン延長も仮定すると、1回の調査機器設置による通過可能延長の期待値を求めることができる。

$$1 \text{ 回の機器設置による通過可能延長の期待値} = \begin{cases} \bar{L} & (n = 1) \\ \sum_{k=1}^{n-1} \{k \cdot p^{(k-1)} \cdot (1-p) \cdot \bar{L}\} + n \cdot p^{(n-1)} \cdot \bar{L} & (n \geq 2) \end{cases} \cdots \text{(式-2)}$$

(ここに、 p :通過率、 n :通過可能スパン数の上限値、 \bar{L} :スパン延長の平均値)

上記式を元に、通過率の違いが管路調査に要する時間へ与える影響について、展開広角カメラを用いた既報¹⁾の結果を参考に試算を行った。試算条件を表-2.1に、結果を図-2.2、図-2.3に示す。

通過率 $P=0\%$ では、すべての人孔が通過できないため、一度に計測できる延長は必ず1スパン(30m)となる。一方、 $p=100\%$ の場合、必ず3つの中間人孔を通過できるので、一度に4スパン(120m)を調査できることが期待される(図-2.2)。通過率が向上することにより機材設置回数は $p=0\%$ 時と比べて最小で25%に減少することがわかるが(図-2.2)、実際に調査に要する時間(19時間57分)は、移動・計測等の固定的な時間の影響もあり、 $p=0\%$ 時(33時間50分)と比べて59%までしか時間短縮できない(図-2.3)。なお、 $p=100\%$ かつ計測時間と機材回収時間が半分になった場合(16時間28分)、 $p=0\%$ ・計測時間/機材回収時間変化なし時(33時間50分)と比べて49%まで時間短縮できる。

表-2.1 試算条件

通過率に影響する因子	インバートの曲率及び流入出管の管底高差
スパン延長 L_k	30m (K=1,2,3,4)
最大調査可能延長	120m(式2ではn=4)
3km調査時の想定管網	直鎖(分岐無し)
3km調査時の人孔数	101基
現地作業時間内訳 ¹⁾ (30mあたり)	移動: 5分 準備: 6.8分 機材設置: 0.5分 計測(機器の往路): 2.5分 機材回収(機器の復路): 1.7分 片付け: 3.8分

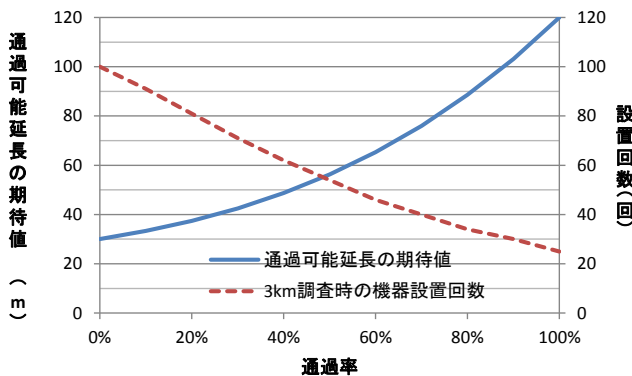


図-2.2 通過率毎の通過可能延長の期待値と3km調査時の機器設置回数

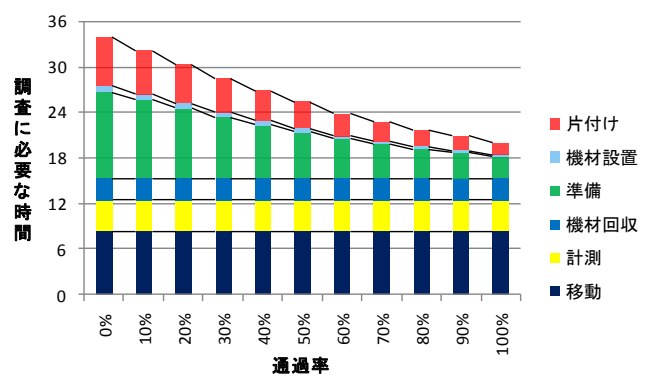


図-2.3 通過率毎の3km調査に必要な工程別の時間(単位:h)

また、通過可能な上限数が存在しないと仮定した場合（ケーブルレスの調査機器。ただし命綱が附属しているため出発人孔に戻ってくることを想定）、通過可能延長の期待値はスパン延長がすべて L_0 であるならば、 $n=\infty$ であるので通過可能延長は $\frac{L_0}{1-p}$ で表現される。そのため例えば一回の設置で4スパン($4L_0$)の調査延長を期待するためには、少なくとも $p \geq 0.75$ である必要がある。 $p=0.75$ では、調査に必要な時間は前述の結果と同じく、通過率0%時と比べて59%までしか時間短縮できない。ケーブルレスかつ命綱なしの調査機器を想定し、機器回収の時間を無視できれば、通過率0%・計測時間/機材回収時間変化なし時と比べて51%まで時間短縮ができる(3km調査時 $L_0=30m$ とすると、33時間50分→17時間8分)。

2.3 インバートの曲率及び流入出管の管底高差の発生割合と通過率の試算

前項では、通過率と調査時間の短縮について、通過率を仮定した上で試算を行った。そこで本稿ではインバートの曲率と流入出管の管底高差の条件をA市の下水道台帳を基に設定し、通過率の試算を行った。A市は、戦前から下水道事業に着手しており、原則自然流下で汚水を排除している。約48,000基の人孔が下水道台帳に登録されており、その起点・中間・会合等用途種別の割合を図-2.4に示す。ここでは、全体に占める割合が多い、一方向流入・一方向流出の中間人孔(全体の64%)と、二方向流入・一方向流出の会合人孔(全体の17%)に着目し、流入出管の管底高・流入出管の流入角が既知の人孔を対象とした。また、管底高差が上下流で反転している人孔については解析の対象から除外した。インバートの曲率については、計算を簡便化するために全て1号人孔(内径900mm)と仮定してインバートの曲率の計算を行った。中間人孔・会合人孔における閾値以下のインバートの曲率と流入出管の管底高の差の発生割合を表-2.2、2.3に示す。下水道施設計画・設計指針と解説²⁾では、下水道人孔部では2cm程度の段差を確保するとされている。この条件で、1°以下の交角をもつ中間人孔の割合は19.3%であった。また、既報³⁾から、既存のTVカメラ調査が可能な限界曲率は $R=10m$ 以上(交角5°以下)となっているが、該当する人孔は28.9%の割合で存在している。

なお、会合人孔では二方向から流入があるため、それぞれの流入管と流出管の管底高差と曲がりを考慮する必要があることから、発生割合は最大200%となる。

以上の結果を用い、すべての人孔が、中間人孔もしくは会合人孔であり、その発生確率がA市の下水道管路網と等しいと仮定すると、式-1は式-3と表現される。表-2.4にその結果を示す。

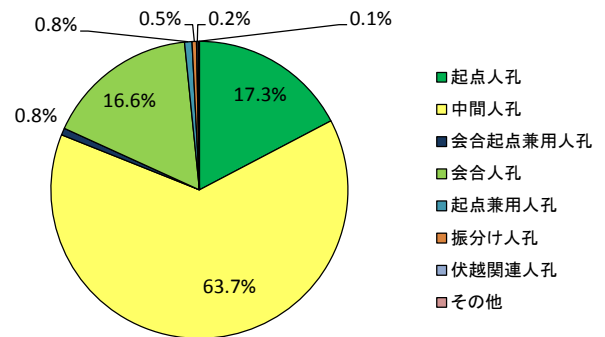


図-2.4 A市の人孔の用途種別

表-2.2 中間人孔における閾値以下のインバートの曲率と流出入管の管底高差の発生割合

(解析対象基数: 27926 基)

流入出管の交角 インバートの曲率	1° 以下	5° 以下	17° 以下	48° 以下	112° 以下
	50m以上	10m以上	3m以上	1m以上	0.3m以上
2cm以内	19.3%	28.9%	36.0%	41.8%	47.1%
5cm以内	26.9%	40.6%	51.0%	59.4%	67.9%
10cm以内	29.9%	45.2%	56.8%	66.2%	76.3%
20cm以内	31.7%	48.0%	60.6%	70.7%	81.8%
50cm以内	34.3%	52.2%	66.0%	77.1%	89.2%
1m以内	36.3%	55.6%	70.4%	82.3%	95.1%
2m以内	36.3%	55.6%	70.4%	82.3%	95.1%
5m以内	37.8%	58.3%	73.9%	86.4%	99.7%
10m以内	37.8%	58.3%	73.9%	86.4%	99.7%

表-2.3 会合人孔における閾値以下のインバートの曲率と流出入管の管底高差の発生割合

(解析対象基数: 12279 基)

流入出管の交角 インバートの曲率	1° 以下	5° 以下	17° 以下	48° 以下	112° 以下
	50m以上	10m以上	3m以上	1m以上	0.3m以上
2cm以内	15.1%	25.2%	29.9%	33.3%	51.3%
5cm以内	22.0%	37.0%	44.6%	49.8%	83.9%
10cm以内	25.5%	43.2%	52.8%	59.4%	107.4%
20cm以内	28.1%	47.6%	58.7%	66.4%	127.3%
50cm以内	31.9%	54.4%	67.3%	76.4%	153.6%
1m以内	34.5%	59.4%	73.6%	84.1%	173.2%
2m以内	34.5%	59.4%	73.6%	84.1%	173.2%
5m以内	37.2%	65.2%	81.4%	93.3%	193.8%
10m以内	37.3%	65.4%	81.7%	93.7%	194.6%

表-2.4 通過率の試算結果

流入出管の交角	1° 以下	5° 以下	10° 以下	17° 以下	25° 以下	48° 以下	83° 以下	112° 以下
インバートの曲率	50m以上	10m以上	5m以上	3m以上	2m以上	1m以上	0.5m以上	0.3m以上
流入 出管 の 管底 高差	2cm以内	16.8%	25.4%	28.8%	31.6%	33.5%	36.5%	42.6%
	5cm以内	23.6%	36.0%	40.9%	45.0%	47.7%	52.1%	62.5%
	10cm以内	26.3%	40.2%	45.8%	50.4%	53.4%	58.5%	71.6%
	20cm以内	28.0%	42.9%	49.0%	54.0%	57.3%	62.8%	78.0%
	50cm以内	30.5%	47.0%	53.7%	59.2%	62.9%	68.9%	86.6%
1m以内	32.3%	50.2%	57.5%	63.4%	67.4%	73.9%	80.9%	
2m以内	32.3%	50.2%	57.5%	63.4%	67.4%	73.9%	80.9%	
5m以内	33.8%	52.9%	60.7%	66.9%	71.1%	78.1%	85.7%	
10m以内	33.8%	52.9%	60.7%	67.0%	71.2%	78.1%	85.8%	

通過率 p(インバートの曲率、流入出管の管底高差)

$$= \frac{\text{中間人孔の数}}{\text{中間人孔の数} + \text{会合人孔の数}} \times [\text{中間人孔での閾値以下のインバートの曲率かつ流入出管の管底高差の発生割合}] + \frac{\text{会合人孔の数}}{\text{中間人孔の数} + \text{会合人孔の数}} \times [\text{会合人孔での閾値以下のインバートの曲率かつ流入出管の管底高差の発生割合}] \times \frac{1}{2} \text{ (式-3)}$$

通常の人孔では、管底高差 10cm 程度まではインバート部でスロープを形成し、すり付けを行っていると考えられる。仮に既存の TV カメラをケーブルレス化した場合においては、管底高差 10cm 以内、交角 5°以下まで通過可能とすると p=40.2%となる。L₀=30m を仮定すると、通過可能延長は 50m 程度である。また、ケーブルレスを想定し、一回の設置で 4 スパン(120m)の調査延長を期待するためには、p>0.75 の条件を満たす①50cm 以内の管底高差に対応が可能でかつ曲率が 0.5m の円弧を通過できること、もしくは②20cm 以内の管底高差に対応が可能でかつ曲率が 0.3m の円弧を通過できることが求められる。

2. 4 今後の展開

今回の検討では、通過率を考慮した新型調査機器の要求水準の考え方を整理した。今後は、経済性を考慮した通過率や適切な通過可能延長の設定に関する議論を深めていきたいと考えている。

3. ラフ集合分析を用いた環境情報の活用に関する検討

3. 1 研究の概要

限られた予算や時間、人材等の制約下で予防保全的な維持管理を効率的に行うには、ハード面における調査機器の性能向上と併せて、施設の経過年数や埋設条件に基づく老朽化の度合いや事故時の社会的影響度を勘案して、点検・調査、診断の対象施設を絞り込む机上スクリーニングが重要となる。国総研では、これまでも統計学的な研究を行ってきており、管種や敷設年数が影響していることを報告している⁴⁾。また、AHP 法等を用いて、管渠の環境因子の影響を加味する手法についても検討を重ねているところである⁵⁾。しかしながら、管渠の敷設環境は多様であるため、不具合に影響を与える項目の抽出は困難を伴うとともに、項目間の相互作用については十分理解が進んでいるとはいえない状況である。

一方、近年では GIS データを用いた下水道台帳システムの導入が進んでおり、管渠に関する情報の重ね合わせは以前より容易となってきている。そこで平成 27 年度は、調査優先度判定に有用な情報を抽出するため、データマイニングの一つであり、分析対象の特徴を見つける手法であるラフ集合分析を用いて解析を試みた。本分析方法は、医学における診断の補助⁶⁾のほか、デザイン工学等⁷⁾に活用されている。土木工学においては、橋梁のデザイン⁸⁾の他、土砂災害の発生予測⁹⁾等に適用されている事例がある。下水道分野においてはおそらく適用事例がないため、次項でその分析方法について事例を用いて紹介する。

3.2 ラフ集合分析^{10),11)}とは

ラフ集合論は、1982年にZ.Pawlakによって提唱された論理数学の一分野である。「ある1つの属性で分類された対象の集合」と「分類に使用された属性以外の属性値の組を共通して持つような対象を選び出した集合」が、どれだけ近似しているかを議論する。どのくらい近似しているのかは、分類できた集合を両者の包含関係で調べる。ここでは、個々の対象を「要素」、属性値を「カテゴリ」と呼ぶ。また、「ある1つの属性で分類された対象の集合」を「決定クラス」、分類に用いた属性を「決定属性」、それ以外の属性を「条件属性」と呼ぶ。

例えば表-3.1に示すような、各種属性を有する要素の集合を考える。ここでは、損傷という決定属性を有し、決定クラスとして損傷の「あり」・「なし」の二つの集合がある。また、各要素は「条件属性」として5つの属性を有する。なお、決定属性で分類を示した表を決定表と呼ぶが、決定属性と条件属性を区別しない表を「情報表」と呼ぶ。

このとき、決定クラスの要素は下の通りである。

決定クラス「あり」の要素= {U1、U2、U6、U7}

決定クラス「なし」の要素= {U3、U4、U5}

次に表-3.1をベン図で表現したものが図-3.1である。特定の決定クラスに「確実に」含まれる要素、含まれる可能性になりうる要素が存在し、前者を「下近似」、後者を「上近似」と呼び、それらをあわせてラフ集合と呼ぶ。ラフ集合では、同じ「カテゴリ」の組合せを有する要素を、同一物として論ずるが、この事例ではU3とU7の条件属性が同一となるため、「分類に使用された属性以外の属性値の組を共通して持つような対象を選び出した集合」としてはU3とU7は識別不能となる。そのため、例えば決定クラス「損傷あり」に確実に分類される要素（すなわち「下近似」）は{U1、U2、U6}、含まれる可能性になりうる要素（すなわち「上近似」）は{U1、U2、U3、U6、U7}となる（表-3.2）。

決定クラス「あり」の下近似の要素と決定クラス「なし」の上近似の要素について、それぞれ属性の値が重複しないもののうち、決定クラス「あり」に関する要素を記述した表を決定行列と呼ぶ（表-3.3）。U1、U2、U6のいずれかが、U3(=U7)、U4、U5の全てに対して識別が可能となるカテゴリの組み合わせを決定ルールと呼ぶ。

今回の事例では、決定クラス「あり」に属するU1の、決定クラス「なし」に対する識別するための条件は下記のとおりとなる。（※ &はn、orはuである。また同種の下線は吸収律を、取り消し線はべき等律を示す）

$$\begin{aligned}
 & (Co管\ or\ 幹線) \& (民間開発\ or\ Co管) \& (ビルピット\ or\ 民間開発\ or\ ランクC) \\
 & = (Co管\ \&民間開発\ \&ビルピット) \ or \ (Co管\ \&民間開発\ \&民間開発) \ or \ (Co管\ \&民間開発\ \&ランクC) \ or \\
 & (Co管\ \&Co管\ \&ビルピット) \ or \ (Co管\ \&Co管\ \&民間開発) \ or \ (Co管\ \&Co管\ \&ランクC) \ or \\
 & (幹線\ \&民間開発\ \&ビルピット) \ or \ (幹線\ \&民間開発\ \&民間開発) \ or \ (幹線\ \&民間開発\ \&ランクC) \ or \\
 & (幹線\ \&Co管\ \&ビルピット) \ or \ (幹線\ \&Co管\ \&民間開発) \ or \ (幹線\ \&Co管\ \&ランクC) \\
 & = (Co管\ \&ビルピット) \ or \ (Co管\ \&民間開発) \ or \ (Co管\ \&ランクC) \ or \ (幹線\ \&民間開発)
 \end{aligned}$$

同様にU2の識別条件は、(たるみなし) or (なし&民間開発) or (なし&街路) or (Co管&民間開発) or (Co管&街路)、U6は(ビルピット&Co管) or (ビルピット&たるみなし)となった。

表-3.1 決定表 (サンプル)

要素	条件属性					決定属性
	特殊排水	発注者	管種	道路	たるみ	損傷
U1	ビルピット	民間開発	コンクリート	幹線	ランクC	あり
U2	なし	民間開発	コンクリート	街路	なし	あり
U3	ビルピット	民間開発	塩ビ	街路	ランクC	なし
U4	ビルピット	市役所	塩ビ	幹線	ランクC	なし
U5	なし	市役所	コンクリート	幹線	なし	なし
U6	ビルピット	市役所	コンクリート	幹線	なし	あり
U7	ビルピット	民間開発	塩ビ	街路	ランクC	あり

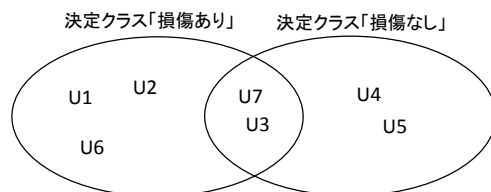


図-3.1 ベン図 (サンプル)

表-3.2 サンプルの下近似と上近似

	決定クラス	
	あり	なし
下近似	U1,U2,U6	U4,U5
上近似	U1,U2,U3,U6,U7	U3,U4,U5,U7

表-3.3 サンプルの決定行列¹²⁾

	U3	U4	U5
U1	コンクリート幹線	民間開発コンクリート	ビルピット 民間開発 ランクC
U2	なし コンクリート なし	なし 民間開発 コンクリート 街路 なし	民間開発 街路
U6	市役所 コンクリート 幹線 なし	コンクリート なし	ビルピット

以上より、決定クラス「あり」に関する必要十分な決定ルール（以下極小条件と呼ぶ）は（Co管&ビルピット）or（Co管&民間開発）or（Co管&ランクC）or（幹線&民間開発）or たるみなし or（なし&民間開発）or（なし&街路）or（Co管&民間開発）or（Co管&街路）の9つが得られた（表-3.4）。

このように極小条件は、複数存在しうるが、その評価は C. I. (Covering Index)で行われる。C. I. は、ある決定クラスにおいてその

表-3.4 サンプルの極小条件と C. I. ¹²⁾

決定ルール条件部 損傷:あり	C.I.	U1	U2	U6	U7
ビルピット&コンクリート	2/4	*			*
民間開発&コンクリート	2/4	*	*		
コンクリート&ランクC	1/4	*			
民間開発&幹線	1/4	*			
なし&民間開発	1/4		*		
なし&街路	1/4		*		
たるみなし	1/4		*		
コンクリート&街路	1/4		*		
ビルピット&たるみなし	1/4				*

極小条件がいくつかの要素に使われているかを示した指標であり、 $\frac{\text{当該極小条件を満足する要素数}}{\text{当該決定クラスに含まれる総要素数}}$ で定義される。C. I. が

大きい方がより普遍的な極小条件であり、小さなものは特殊な極小条件とされる。

以上がラフ集合分析の手法である。本稿では、破損等の不具合項目の有無や施工優先度（後述）の高低を決定クラスとし、その時の極小条件を求めることで調査優先度判定に活用できる環境情報等の抽出を試みた。なお、実際の計算に当たっては、福山平成大学の福井教授が公開しているフリーソフト Collage Analysis を使用している¹²⁾。また、詳しい理論については、巻末の参考文献¹³⁾等を参考にされたい。

3.3 A市のデータを用いた分析

(1) データの特徴と条件設定

A市で実施された、TVカメラ調査結果を用いて分析を行った。当初解析対象としたスパンは、コンクリート管（ヒューム管・鉄筋コンクリート管・手詰め管）の5061スパンである。このスパンに対して、12属性（排除区分、スパン延長、管径、敷設年、敷設場所、用途地域^{※1}、敷設位置^{※2}、地盤種別、調整槽、工法、微地形）で分類を行った。微地形データについては、防災科学技術研究所 地震ハザードステーション（J-SHIS）の表層地盤情報を活用し¹⁴⁾、それ以外はA市のGISデータ等を活用した。また、各属性のカテゴリは、表-3.5のように分類を行った。

表-3.5 各属性のカテゴリ

起工種別	排除区分	スパン延長	管径	敷設年	敷設場所	用途地域 ^{※1}	敷設位置 ^{※2}	地盤種別	調整槽	工法	微地形
6種類	9種類	5種類	3種類	5種類	4種類	5種類	2種類	3種類	2種類	2種類	10種類
市下水整備	公共合流	0-10m	200-400mm	- S.20	指定なし	低層住専	地下水以上	I種	あり	開削	2-山麓地
市他局引き継ぎ	公共汚水	10-30m	450-760mm	S.21 - S.24	緊急輸送路	中高住専	地下水以下	II種	なし	推進等	3-丘陵
市・県許可の開発行為	公共雨水	30-60m	800- mm	S.25 - S.39	一級河川下	住居地域		III種			8-砂礫質台地
市許可の区画整理	所管外合流	60-100m		S.40 - S.48	線路下	商業					9-ローム台地
住宅地造成事業に関する法律で行われた開発行為	所管外汚水	100- m				工業					10-谷底低地
	所管外雨水										11-扇状地
	非登録公共合流										12-自然堤防
	非登録公共汚水										13-後背湿地
その他	非登録公共雨水										14-旧河道
											15-三角州・海岸低地

※1 用途地域においては、低層住専：第一種低層住居専用地域・第二種低層住居専用地域、中高住専：第一種中高層住居専用地域・第二種中高層住居専用地域、住居地域：第一種住居地域・第二種住居地域・準住居地域、商業：近隣商業地域・商業地域、工業：準工業地域・工業地域・工業専用地域 とした。

※2 敷設位置については、該当管渠の（土被り+管径）が地下水位より高ければ「地下水以上」、低ければ「地下水以下」とした。

(2) 情報表の作成

上記 5061 スパンについて、12属性のカテゴリの組み合わせと該当スパン数の整理を行い、10スパン以上存在する組み合わせを抽出した。あわせて、各組み合わせにおけるランク B 以上の不具合項目（腐食、破損、クラック、継ぎ手ずれ、たるみ・蛇行、浸入水、木根侵入）とA市で設定されている施工優先度の発生件数を整理した。なお、施工優先度は、下水道維持管理指針¹⁵⁾で記されている健全度にあたる指標であり、式-4で計算される不良率を元に求められる。

$$\text{不良率} = \frac{(1.0 \times a \text{ ランクの本数}) + (0.7 \times b \text{ ランクの本数}) + (0.3 \times c \text{ ランクの本数})}{1 \text{ スパンの管渠本数}} \times 100(\%) \dots \text{(式-4)}$$

また、施工優先度 A：不良率 \geq 70%、施工優先度 B：70% $>$ 不良率 \geq 30%、施工優先度 C：30% $>$ 不良率

表-3.6 情報表

No.	起工種別	排除区分	スパン延長	管径	敷設年	敷設場所	用途地域	敷設位置	地盤種別	調整槽	工法	微地形	総計	(ランクA・Bの割合※)			
														施工 済率	破壊	継手 ズレ	木根 侵入
1	市下水整備	公共合流	10-30m	200-400mm	S.25-S.39	緊急輸送路	商業	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	13	23.1%	23.1%	7.7%	0.0%
2	市下水整備	公共合流	10-30m	200-400mm	S.25-S.39	指定なし	商業	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	11	45.5%	9.1%	9.1%	0.0%
3	市下水整備	公共合流	10-30m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	住居地域	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	25	24.0%	0.0%	20.0%	0.0%
4	市下水整備	公共合流	10-30m	200-400mm	S.49-	緊急輸送路	商業	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	13	7.7%	0.0%	0.0%	0.0%
5	市下水整備	公共合流	10-30m	450-760mm	S.20	緊急輸送路	商業	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	12	66.7%	16.7%	8.3%	0.0%
6	市下水整備	公共合流	10-30m	450-760mm	S.40-S.48	指定なし	住居地域	地下水位以上	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	11	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
7	市下水整備	公共合流	30-60m	200-400mm	S.25-S.39	緊急輸送路	商業	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	41	31.7%	19.5%	22.0%	7.3%
8	市下水整備	公共合流	30-60m	200-400mm	S.25-S.39	指定なし	商業	地下水位以下	I種	調整槽あり	開削工法	8-砂礫質台地	11	36.4%	18.2%	18.2%	0.0%
9	市下水整備	公共合流	30-60m	200-400mm	S.25-S.39	指定なし	商業	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	34	26.5%	8.8%	8.8%	2.9%
10	市下水整備	公共合流	30-60m	200-400mm	S.25-S.39	指定なし	住居地域	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	14	14.3%	28.6%	57.1%	0.0%
11	市下水整備	公共合流	30-60m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	中高住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	12	33.3%	8.3%	41.7%	0.0%
12	市下水整備	公共合流	30-60m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	住居地域	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	11	0.0%	18.2%	38.4%	0.0%
13	市下水整備	公共合流	30-60m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	住居地域	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	30	3.3%	26.7%	23.3%	0.0%
14	市下水整備	公共合流	30-60m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	住居地域	地下水位以下	II種	調整槽なし	開削工法	11-扇状地	10	0.0%	40.0%	20.0%	0.0%
15	市下水整備	公共合流	30-60m	450-760mm	S.40-S.48	指定なし	住居地域	地下水位以上	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	14	21.4%	14.3%	21.4%	0.0%
16	市下水整備	公共汚水	0-10m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	12	0.0%	16.7%	0.0%	0.0%
17	市下水整備	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	18	5.6%	44.4%	5.6%	0.0%
18	市下水整備	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	住居地域	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	18	0.0%	22.2%	0.0%	0.0%
19	市下水整備	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	86	7.0%	4.7%	0.0%	0.0%
20	市下水整備	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	9-ローム台地	15	0.0%	6.7%	6.7%	0.0%
21	市下水整備	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	中高住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	12	0.0%	8.3%	0.0%	0.0%
22	市下水整備	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	17	0.0%	5.9%	0.0%	0.0%
23	市下水整備	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	20	5.0%	30.0%	15.0%	0.0%
24	市下水整備	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以下	III種	調整槽なし	開削工法	12-自然堤防	12	16.7%	16.7%	0.0%	0.0%
25	市下水整備	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	工業	地下水位以上	III種	調整槽なし	開削工法	15-三角洲・海岸低地	14	21.4%	35.7%	0.0%	0.0%
26	市下水整備	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	27	11.1%	22.2%	3.7%	0.0%
27	市下水整備	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	中高住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	16	25.0%	43.8%	18.8%	0.3%
28	市下水整備	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	緊急輸送路	住居地域	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	21	4.8%	4.8%	0.0%	4.8%
29	市下水整備	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	157	1.9%	7.0%	2.5%	0.0%
30	市下水整備	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	9-ローム台地	10	0.0%	10.0%	0.0%	0.0%
31	市下水整備	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	II種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	10	10.0%	0.0%	0.0%	0.0%
32	市下水整備	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	中高住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	19	0.0%	5.3%	0.0%	0.0%
33	市下水整備	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	17	0.0%	0.0%	5.9%	0.0%
34	市下水整備	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	16	0.0%	25.0%	6.3%	0.0%
35	市下水整備	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以下	III種	調整槽なし	開削工法	12-自然堤防	11	0.0%	9.1%	0.0%	0.0%
36	市下水整備	公共汚水	30-60m	450-760mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	12	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
37	市下水整備	公共雨水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	14	7.1%	7.1%	0.0%	0.0%
38	市下水整備	公共雨水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	12	8.3%	8.3%	0.0%	0.0%
39	市下水整備	公共雨水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	12	8.3%	8.3%	0.0%	0.0%
40	市・県許可の開発行為	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	105	10.5%	23.8%	1.9%	1.0%
41	市・県許可の開発行為	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	85	4.7%	14.1%	2.4%	3.5%
42	市・県許可の開発行為	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	12	0.0%	16.7%	0.0%	0.0%
43	市・県許可の開発行為	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	中高住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	22	22.7%	22.7%	13.8%	0.0%
44	市・県許可の開発行為	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	11	18.2%	9.1%	9.1%	0.0%
45	市・県許可の開発行為	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以下	III種	調整槽なし	開削工法	12-自然堤防	10	10.0%	0.0%	0.0%	0.0%
46	市・県許可の開発行為	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	55	3.6%	30.9%	3.6%	3.6%
47	市・県許可の開発行為	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	低層住専	地下水位以下	II種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	10	40.0%	40.0%	10.0%	###
48	市・県許可の開発行為	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	45	0.0%	24.4%	2.2%	2.2%
49	市・県許可の開発行為	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	中高住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	18	61.1%	38.9%	22.2%	0.0%
50	市・県許可の開発行為	公共雨水	10-30m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	53	15.1%	18.9%	3.8%	1.9%
51	市・県許可の開発行為	公共雨水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	21	0.0%	9.5%	0.0%	0.0%
52	市・県許可の開発行為	公共雨水	10-30m	450-760mm	S.40-S.48	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	14	0.0%	0.0%	7.1%	0.0%
53	市・県許可の開発行為	公共雨水	10-30m	450-760mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	10	10.0%	20.0%	0.0%	0.0%
54	市・県許可の開発行為	公共雨水	30-60m	200-400mm	S.40-S.48	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	30	6.7%	16.7%	6.7%	0.0%
55	市・県許可の開発行為	公共雨水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	23	0.0%	26.1%	0.0%	0.0%
56	市・県許可の開発行為	公共雨水	30-60m	800-mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以上	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	11	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
57	市許可の区画整理	公共汚水	0-10m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	11	27.3%	27.3%	0.0%	0.0%
58	市許可の区画整理	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	緊急輸送路	住居地域	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	16	6.3%	25.0%	0.0%	0.0%
59	市許可の区画整理	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	162	3.1%	14.2%	3.1%	1.9%
60	市許可の区画整理	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	8-砂礫質台地	25	0.0%	16.0%	4.0%	4.0%
61	市許可の区画整理	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	II種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	21	4.8%	23.8%	4.8%	4.8%
62	市許可の区画整理	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	中高住専	地下水位以下	II種	調整槽なし	開削工法	11-扇状地	15	0.0%	20.0%	6.7%	0.0%
63	市許可の区画整理	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以下	III種	調整槽なし	開削工法	13-後背湿地	26	3.8%	23.1%	3.8%	0.0%
64	市許可の区画整理	公共汚水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以上	III種	調整槽なし	開削工法	13-後背湿地	12	0.0%	8.3%	0.0%	0.0%
65	市許可の区画整理	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	87	5.7%	14.9%	3.4%	0.0%
66	市許可の区画整理	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	中高住専	地下水位以下	II種	調整槽なし	開削工法	11-扇状地	16	0.0%	25.0%	0.0%	0.0%
67	市許可の区画整理	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以下	II種	調整槽なし	開削工法	11-扇状地	19	0.0%	5.3%	0.0%	0.0%
68	市許可の区画整理	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以下	III種	調整槽なし	開削工法	13-後背湿地	18	0.0%	27.8%	5.6%	0.0%
69	市許可の区画整理	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以下	III種	調整槽なし	開削工法	15-三角洲・海岸低地	13	0.0%	46.2%	0.0%	0.0%
70	市許可の区画整理	公共汚水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	住居地域	地下水位以上	III種	調整槽なし	開削工法	15-三角洲・海岸低地	12	8.3%	33.3%	0.0%	0.0%
71	市許可の区画整理	公共雨水	10-30m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	45	8.9%	17.8%	0.0%	0.0%
72	市許可の区画整理	公共雨水	10-30m	450-760mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	14	7.1%	21.4%	0.0%	0.0%
73	市許可の区画整理	公共雨水	10-30m	800-mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	16	6.3%	6.3%	0.0%	0.0%
74	市許可の区画整理	公共雨水	30-60m	200-400mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	19	0.0%	26.3%	0.0%	0.0%
75	市許可の区画整理	公共雨水	30-60m	450-760mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	24	0.0%	20.8%	0.0%	0.0%
76	市許可の区画整理	公共雨水	30-60m	800-mm	S.49-	指定なし	低層住専	地下水位以下	I種	調整槽なし	開削工法	3-丘陵	10	0.0%	0.0%	0.0%	

組合せとしては、12属性の組合せは約2000万の通りの可能性が想定されるが、実際には10スパン以上が存在する組み合わせとして、80通りまで解析対象とする組合せを絞り込むことができた。これをラフ集合分析の対象要素とした。また、決定属性とした不具合の有無については、80の各組み合わせにおけるTVカメラ調査結果に基づくA・Bランクの不具合項目の発生割合（＝各組み合わせにおけるA・Bランクの不具合を有するスパン数÷当該組み合わせを有するスパン総数）と5061スパン全体での発生割合（これを平均発生割合と呼ぶ）と比較し、平均発生割合以上の確率で不具合を有しているスパンを「不具合あり」、それ未満を「不具合なし」と整理した。表-3.6に結果の一部を示す。要素の抽出過程で情報の消失が発生しており、例えば工法のカテゴリは「開削工法」のみとなったほか、「線路下」や「60m以上の延長」などのカテゴリも失われている。

(3) 分析結果・考察

以下、スパン全体の不具合あり・なしを判断する施工優先度と、特徴的な結果が得られた、破損あり、継手ズレあり、木根侵入ありを決定クラスとした分析結果と考察を示す。

①施工優先度（不具合あり）

施工優先度：不具合ありを決定クラスとした場合、不具合あり（A・Bランクの施工優先度が11.2%以上の確率で存在）のスパンの極小条件は52種類得られた。図-3.2に得られた全極小条件52種類のC.I.とその組み合わせにおける実際のA・Bランクの発生確率を示す。16種類の極小条件で全体平均の11.2%を下回ったが、そのうちC.I.が1/23であったのが15種類、2/23が1種類であった。すなわち、相対的にC.I.が大きい極小条件の方が、閾値とした全体平均の値以上となる不具合発生確率の高い組合せとなる可能性が高いといえる。

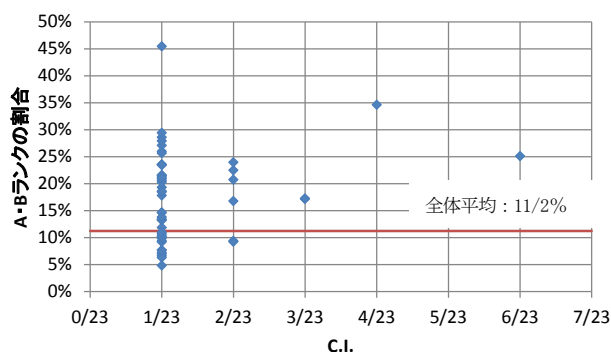


図-3.2 C.I. と実際の不具合発生の関係

一方で、ABランクの割合が最も高い極小条件はC.I.が1/23であったが、そのときの極小条件は【昭和20年以前に敷設】であった。これを満たす情報表（表3-6）の行はNo.5の1つしかなく、C.I.が小さい極小条件についてはこのような希少な属性値を含む組合せが含まれていると考えられる。そこで、C.I.の上位10程度と、ルール中の1つの属性値で構成される極小条件について抽出した。

表-3.7に、C.I.が2/23以上もしくは1つの属性値から構成された極小条件、延べ13種類について示す。極小条件は、横方向に各属性値を&で結合したものであり、No.1は【昭和25-39年に敷設】、No.4は【(スパン延長が30-60m) & (商業地区)】の管渠と読む。得られた結果から、【昭和39年以前に敷設】された管（50年経過管：No.1とNo.11）や【事業法で実施された古い時代の開発】地区（No.2）、【商業地区】で【スパン延長が30-60m】もしくは【緊急輸送路等ではない箇所】（No.3,4）等で施工優先度が高い結果となった。既往の研究でコンクリート管における健全率予測式について報告をしており、コンクリート管における緊急度Ⅲ～劣化なしの推定式は

$$\text{健全率} = \exp \left\{ - \left(\frac{\text{経過年数}}{66.630} \right)^{1.357} \right\} \text{と与えている}^{16)。$$

この式から50年経過時の健全率は50%となるが、50%の確率で5年以内に対応が必要となる緊急度ⅠもしくはⅡの状況といえる。ここで議論している施工優先度と健全率/緊急度では概念が異なっているものの、50年経過管について何らかの手当てが必要であろうという結果がどちらからも説明されたことは興味深い結果である。また、開発で整備された地区については、既往の研究⁴⁾で公共団体の担当者も危険性が高いという認識をしていることを報告しており、異なる手法で再現性が確認されたといえる。商業地区については、繁華街では不具合の生じる可能性が高いと予想されるという報告¹⁷⁾もあり、こちらも再現性が確認されたといえる。

表—3.7 施工優先度（不具合あり）に関する極小条件（一部）とその精度

No.	起工種別	排除区分	スパン延長	管径	敷設年	敷設場所	用途地域	敷設位置	地盤種別	調整槽	工法	微地形	C.I.	ルール中の属性値数	該当スパン	うち施工優先度AB	割合
1					S.25 - S.39								6/23	1	263	66	25.1%
2	住宅地造成事業に関する法律で行われた開発行為												4/23	1	263	91	34.6%
3						指定なし	商業						3/23	2	361	62	17.2%
4			30-60m				商業						3/23	2	389	67	17.2%
5		公共合流	10-30m	450-760mm		指定なし							2/23	4	140	29	20.7%
6		公共合流	10-30m			指定なし		地下水以下					2/23	4	169	38	22.5%
7					S.40 - S.48		中高住専						2/23	2	179	30	16.8%
8			30-60m	200-400mm	S.40 - S.48								2/23	3	160	15	9.4%
9	市下水整備		10-30m						Ⅲ種				2/23	3	119	11	9.2%
10	市・県許可の開発行為						中高住専						2/23	2	71	17	23.9%
11					- S.20								1/23	1	121	55	45.5%
12										あり			1/23	1	43	12	27.9%
13							工業						1/23	1	243	24	9.9%
全体平均															5061	568	11.2%

※ 黒塗り白字は全体平均より大きな値を示す箇所、不具合ありと判定された項目。

②施工優先度（不具合なし）

施工優先度：不具合なしを決定クラスとした場合、不具合なし（A・B ランクの施工優先度が 11.2%未満の確率で存在）のスパンの極小条件は 107 種類得られた。そのうち C. I. が 8/57 以上もしくは 1 つの属性値で構成された極小条件、延べ 15 種類について表 - 3.8 に示す。

①と同様に、比較的精度良く施工優先度の AB ランクの発生割合が低いスパンを抽出することができた。

得られた結果は、【昭和 49 年以降に敷設（経過年数 40 年以内）】の【市が施工】した【地盤条件がいい箇所（地盤種別Ⅰ種や丘陵地など）】のスパンや、【昭和 49 年以降】施工の【低層住居専用地域や住居地域】、同じく【昭和 49 年以降】施工の【雨水管】、【市許可の区画整理】の個所が抽出された。新しい管渠については不具合が少ないことが既往研究⁴⁾で報告されており、再現性が確認された。一方、区画整理で整備された管渠については、道路整備に合わせて下水道以外の地下埋設インフラも同時に整備していくため、他企業管の近接施工に伴う不具合が発生しにくいと予想される。これについては A 市に特異的な結果なのか、全国的に共通の傾向があるのか、より詳細な調査が求められる。

表—3.8 施工優先度（不具合なし）に関する極小条件（一部）とその精度

No.	起工種別	排除区分	スパン延長	管径	敷設年	敷設場所	用途地域	敷設位置	地盤種別	調整槽	工法	微地形	C.I.	ルール中の属性値数	該当スパン	うち施工優先度AB	割合
1	市下水整備				S.49 -				Ⅰ種				17/57	3	928	34	3.7%
2	市下水整備				S.49 -							3-丘陵	13/57	3	586	23	3.9%
3			10-30m		S.49 -		低層住専						13/57	3	743	35	4.7%
4			30-60m		S.49 -		低層住専						13/57	3	647	18	2.8%
5		公共雨水			S.49 -								13/57	2	669	23	3.4%
6	市下水整備						低層住専						12/57	2	602	24	4.0%
7	市下水整備		30-60m		S.49 -								11/57	3	659	18	2.7%
8	市許可の区画整理		10-30m										10/57	2	560	36	6.4%
9	市許可の区画整理		30-60m										9/57	2	452	18	4.0%
10			30-60m		S.49 -		住居地域						8/57	3	437	10	2.3%
11		公共汚水	30-60m				住居地域						8/57	3	409	20	4.9%
12												11-扇状地	4/57	1	424	33	7.8%
13				800- mm									3/57	1	378	9	2.4%
14												13-後背湿地	3/57	1	267	16	6.0%
15												9-ローム台地	2/57	1	265	46	17.4%
全体平均															5061	568	11.2%

※ 黒塗り白字は全体平均より大きな値を示す箇所、不具合ありと判定された項目。

③破損ありと継手ズレあり

破損ありを決定クラスとした場合、破損あり（A・B ランクの破損が 17.5%以上の確率で存在）に該当するスパン

ンの極小条件は79種類得られた。そのうちC. I. が4/39以上もしくは1つの属性値で構成された極小条件、延べ11ルールについて表-3.9に示す。この分析では、【事業法で実施された古い時代の開発】地区(No.8)や【開発行爲】の【30-60m】とスパン延長の長い【汚水】管(No.7)の他、【昭和40年から48年に敷設】された【汚水管】や【200-400mm程度の小口径】の管渠(No.1,3,6)、【住居地域】で【合流】(No.4,5)の管などが抽出された。

続いて、継手ズレありを決定クラスとしたとき、継手ズレあり(A・Bランクの継手ズレが6.5%以上の確率で存在)に該当する極小条件は66種類得られた。そのうちC. I. が3/26以上もしくは1つの属性値で構成された極小条件、延べ20ルールについて表-3.10に示す。【昭和39年以前に敷設】された管(50年経過管:No.4,18)や、【昭和40年から48年に敷設】された【合流】で【管径が200-400mm】の小口径、【緊急輸送路等に該当しない】【住居地域】もしくは【商業地域】で、【砂礫質台地】、【地下水位より深い管】などが抽出された。

ここで、①の施工優先度(不具合あり)で抽出された極小条件と比較を行う。【昭和39年以前に敷設】された管(No.1)や【商業】かつ【30-60mのスパン】もしくは【緊急輸送路等に該当しない】管(No.3,4)は、継手ズレありでは極小条件として抽出されている(順にNo.18, No.10, No.15)が、破損ありでは上位で抽出されていない。また、【事業法で実施された古い時代の開発】(No.2)は破損ありでは抽出され(No.8)、継ぎ手ズレでは【200-400mmの管径】とセットで抽出された(No.17)。一方でそれらのC. I. 値は必ずしも小さくなく、破損ありは4/39、3/26~1/26となっている。破損ありや継手ズレありにとっては小さなC. I. を持つ極小条件であり、重要とは認識されにくい

表-3.9 破損(あり)に関する極小条件(一部)とその精度

No.	起工種別	排除区分	スパン延長	管径	敷設年	敷設場所	用途地域	敷設位置	地盤種別	調整槽	工法	微地形	C.I.	ルール中の属性値数	該当スパン	うち破損AB	割合
1		公共汚水			S.40-S.48								9/39	2	694	209	30.1%
2	市下水整備				S.40-S.48							3-丘陵	5/39	3	191	50	26.2%
3			10-30m	200-400mm	S.40-S.48							3-丘陵	5/39	4	301	79	26.2%
4		公共合流	30-60m	200-400mm			住居地域						4/39	4	117	34	29.1%
5		公共合流	30-60m				住居地域	地下水以下					4/39	4	140	32	22.9%
6			10-30m	200-400mm	S.40-S.48		低層住専						4/39	4	248	66	26.6%
7	市・県許可の開発行為	公共汚水	30-60m										4/39	3	226	50	22.1%
8	住宅地造成事業に関する法律で行われた開発行為												4/39	1	263	104	39.5%
9												15-三角州・海岸低地	3/39	1	226	52	23.0%
10									あり				1/39	1	43	9	20.9%
11							工業						1/39	1	243	50	20.6%
全体平均															5061	888	17.5%

※ 黒塗り白字は全体平均より大きな値を示す箇所、破損ありと判定された項目。

表-3.10 継手ズレ(あり)に関する極小条件(一部)とその精度

No.	起工種別	排除区分	スパン延長	管径	敷設年	敷設場所	用途地域	敷設位置	地盤種別	調整槽	工法	微地形	C.I.	ルール中の属性値数	該当スパン	うち継手ズレAB	割合
1		公共合流		200-400mm			指定なし						9/26	3	391	89	22.8%
2		公共合流					指定なし	地下水以下					9/26	3	472	98	20.8%
3		公共合流	30-60m										9/26	2	500	95	19.0%
4					S.25-S.39								6/26	1	263	56	21.3%
5		公共合流		200-400mm	S.40-S.48								5/26	3	272	65	23.9%
6		公共合流		200-400mm			住居地域						5/26	3	227	59	26.0%
7		公共合流					住居地域	地下水以下					5/26	3	275	64	23.3%
8		公共合流			S.40-S.48			地下水以下					5/26	3	330	69	20.9%
9			30-60m		S.40-S.48		住居地域						4/26	3	214	38	17.8%
10							指定なし	商業					3/26	2	361	30	8.3%
11	市下水整備		10-30m	200-400mm			指定なし					8-砂礫質台地	3/26	5	122	20	16.4%
12	市下水整備		10-30m				指定なし	地下水以下				8-砂礫質台地	3/26	5	138	24	17.4%
13				200-400mm	S.40-S.48							8-砂礫質台地	3/26	3	160	33	20.6%
14					S.40-S.48			地下水以下				8-砂礫質台地	3/26	3	193	36	18.7%
15			30-60m					商業					3/26	2	389	40	10.3%
16			30-60m		S.40-S.48							8-砂礫質台地	3/26	3	138	27	19.6%
17	住宅地造成事業に関する法律で行われた開発行為			200-400mm									3/26	2	208	37	17.8%
18					-S.20								1/26	1	121	13	10.7%
19									あり				1/26	1	43	8	18.6%
全体平均															5061	331	6.5%

※ 黒塗り白字は全体平均より大きな値を示す箇所、継手ズレありと判定された項目。

極小条件であったとしても、その上位の指標の極小条件と同一な可能性があり、その取捨選択には注意が必要であることが示唆された。

また、既報¹⁸⁾の数量化Ⅱ類を用いた分析と比較すると、同報では管径については【500mm未滿の管径】で不具合の起こりやすさに関するカテゴリスコアが高くなっている。破損・継ぎ手ズレの不具合項目では再現された結果が得られたといえよう。

④木根侵入あり

木根侵入あり（A・Bランクの木根侵入が1.3%以上の確率で存在）を決定クラスとした場合、極小条件は13種類得られた。そのうちC.I.が2/13以上となった延べ8ルールについて表-3.11に示す。なお、1つの属性値で構成された極小条件は存在しなかった。

【低層住居専用地域】における【市・県許可の開発】や【市許可の区画整理】で整備された【污水管】(No. 1, 2, 5, 6, 7, 8)や、【スパン延長が30-60m】の【緊急輸送路】や【商業地区】(No. 3, 4)が抽出された。低層住居専地区では庭の植木が原因の一つと推察される。また、緊急輸送路は主に主要な幹線道路が該当すると推察されるが、道路構造令第11条の4には「第4種第1級および第2級の道路には、植樹帯を設けるものとし、(以下略)」と記されており¹⁹⁾、このような道路に高い確率で存在する街路樹の根が下水管に侵入していると推察される。すなわち、緊急輸送路が街路樹の代替の指標として機能していたと考えられる。

表-3.11 木根侵入（あり）に関する極小条件（一部）とその精度

No.	起工種別	排除区分	スパン延長	管径	敷設年	敷設場所	用途地域	敷設位置	地盤種別	調整槽	工法	微地形	G.I.	ルール中の属性値数	該当スパン	うち 木根侵入AB	割合
1	市・県許可の開発行為	公共污水	30-60m				低層住専						3/13	4	142	5	3.5%
2	市許可の区画整理	公共污水	10-30m				低層住専						3/13	4	225	5	2.2%
3			30-60m			緊急輸送路							2/13	2	426	17	4.0%
4			30-60m				商業			なし			2/13	3	359	8	2.2%
5	市・県許可の開発行為	公共污水			S.49 -		低層住専	地下水以下					2/13	5	197	5	2.5%
6	市・県許可の開発行為	公共污水	30-60m		S.40 - S.48								2/13	4	84	3	3.6%
7	市許可の区画整理	公共污水	10-30m			指定なし			I種				2/13	5	233	5	2.1%
8	市許可の区画整理	公共污水	10-30m			指定なし						3-丘陵	2/13	5	203	5	2.5%
全体平均															5061	66	1.3%

※ 黒塗り白字は全体平均より大きな値を示す箇所、木根侵入ありと判定された項目。

3.4 まとめと今後の展開

A市のコンクリート管を対象に、TVカメラ調査結果を決定属性、下水道台帳や各種地盤条件等を条件属性としてラフ集合分析を行った。情報表を作成するにあたってデータの事前処理を行ったこともあり、比較的精度よく極小条件を抽出することができた。得られた結果については、既往の研究で統計的に影響が示唆されている敷設年度や、KJ法やAHP法でエキスパートが不具合の多い箇所と判断した開発行為等についても極小条件として情報抽出ができていた。また、「決定クラス：木根侵入あり」においては緊急輸送路が極小条件として抽出され、直接的な原因とは異なる代替の指標を使っても、調査優先度判定に寄与できる可能性が示唆された。

なお、ラフ集合分析の実施及び適用に当たっての今後の課題としては、①分析対象とする属性・要素の抽出、②離散化における閾値設定、③採用する決定ルールの抽出方向、④分析結果の応用等があげられる。今回用いたデータ及び手法では、工法等に関する情報は埋没し、抽出することができなかった。今後様々な情報が蓄積できるような技術開発が進められるが、真に必要な情報を得るためには目的に合った情報の取捨選択手法の検討が必要

要と考える。

今後は、今回抽出された項目が他都市でどのように保存・利活用されているかの確認を行うと共に、これまで使われてこなかった情報を用いた調査優先度判定の精度向上のための検討を行う見込みである。

謝辞

本研究においては、情報提供いただいた公共団体各位、及びラフ集合分析の解析ソフトを作成された福山平成大学福井正康教授のご協力を賜った。また山本整氏、清水丞氏、宮部貴志氏、吉井啓貴氏におかれては、ラフ集合分析の応用方法について助言をいただいた。ここに記して謝意を述べる。

参考文献

- 1) 末久正樹 ほか：管路内調査機器の走行性向上に関する基礎的検討、第 52 回下水道研究発表会講演集、pp. 659-661、2015
- 2) 公益社団法人日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 前編 pp. 238、2009
- 3) 榊原隆 ほか：未普及解消プロジェクトの推進に関する調査、平成 20 年度下水道関係調査研究年次報告集、pp. 19-34、2008
- 4) 例えば 横田敏宏ほか：下水道管きよのストックマネジメント導入促進に関する調査、平成 22 年度下水道関係調査研究年次報告集、pp. 5-20、2011
- 5) 例えば 宮本豊尚ほか：下水道管路に起因する道路陥没の発生傾向と陥没発生危険箇所の推定、下水道協会誌、Vol. 50、No. 607、pp. 99-107、2013
- 6) 例えば 津本周作、田中博：Rough 集合理論に基づく医療エキスパートシステムのルールの帰納学習、情報処理学会全国大会講演論文集、第 51 回（人工知能と認知科学）、pp. 169-170、1995
- 7) 例えば 森典彦、高梨令：ラフ集合の概念による推論を用いた設計支援、東京工芸大学芸術学部紀要、vol. 3、pp. 35-38、1997
- 8) 例えば 保田敬一ほか：ラフ集合による橋梁の飽きに影響するデザイン要素に関する一考察、土木学会論文集 F3（土木情報学） 71(2)、I_27-I_39、2015
- 9) 例えば 榊原弘之ほか：ラフ集合を用いたデータマイニングによるがけ崩れ発生要因の抽出に関する研究、土木学会論文集、No. 658/VI-48、pp. 221-229、2000
- 10) Z. Pawlak: Rough sets, International Journal of Computer & Information Sciences, Vol. 11, No. 5, pp. 341-356, 1982
- 11) 森典彦、森田小百合：人の考え方に最も近いデータ解析法、海文堂、2013
- 12) 福山平成大学 HP：<http://www.heisei-u.ac.jp/ba/fukui/analysis.html>
- 13) 例えば 中村昭：ラフ集合—その理論と応用第 1 回、数理科学、No. 373、pp. 78-83、1994 年 7 月
- 14) 国立研究開発法人防災科学技術研究所 HP：地震ハザードステーション（J-SHIS）<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 15) 公益社団法人日本下水道協会：下水道維持管理指針 実務編 pp. 116-119、2014
- 16) 深谷渉 ほか：下水道管きよの調査頻度に関する提案、下水道協会誌、Vol. 49、No. 600、pp. 125-131、2012
- 17) 松宮洋介 ほか：管きよのストックマネジメント方法に関する提案、第 44 回下水道研究発表会講演集、pp. 217-219、2007
- 18) 小川文章 ほか：社会資本等の維持管理効率化・高度化のための情報蓄積・利活用技術の開発、平成 26 年度下水道関係調査研究年次報告集、pp. 61-66、2016
- 19) 公益社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用、pp. 256-257、2015