

管路調査技術の到達レベルマップ 手法詳細シート

手法番号	I-7
手法名称	採取供試体の性能評価
実用レベル	I
概要	<p>多数の既往の研究で、長期埋設された硬質塩化ビニル管は基本的に材料特性が低下することはない（樹脂の経年劣化はなく）、その健全性は製造時の諸要素に拠ることが報告されている。</p> <p>硬質塩化ビニル管の製造時の強度発現のメカニズムから「ゲル化度」の重要性に着目し、そのゲル化度との相関性から、採取供試体を用いた直接診断に有効な（最低限、実施したい）性能評価として、「ピカット軟化温度」「熱間内圧クリープ性」「破壊靱性」が提案されている。</p>
調査方法	JIS 規格に基づく試験
適用条件、調査精度等	JIS K 6742 の硬質塩化ビニル管（記号：VP）に適用する。 供試体長さは、呼び径 75 で最低 1.5m が必要である。
参考文献	財団法人水道技術研究センター発行 水道用硬質塩化ビニル管路の診断マニュアル，83 項，〈附属書〉 第 3 部 2. 直接診断に有効な性能評価項目に関する研究
備考	

管路調査技術の到達レベルマップ 手法詳細シート

手法番号	J-6
手法名称	$\gamma$ 線による弁内スケール／弁開閉度探知
実用レベル	I
概要	放射線利用の計測法によって、管内スケール／レベル（液面）／バルブ開閉度を、現場において検出する。
調査方法	放射線検出器と放射線源を装着した2本のアームで、検査対象のパイプ／バルブを挟む。仕切弁形式のバルブの弁体最下端又は最上端を検知することによりバルブの開閉度を知る。
適用条件、調査精度等	基本的には仕切弁形式のみ。 内面に錆こぶが発生している場合に、どのような探知結果になるかは不明。
参考文献	<a href="http://www.nichizotech.co.jp">www.nichizotech.co.jp</a>
備考	

管路調査技術の到達レベルマップ 手法詳細シート

手法番号	J-7
手法名称	AE (アコースティック・エミッション) センサーによる漏れ診断
実用レベル	Ⅱ
概要	バルブのシートに漏れがある場合噴流音が発生する。バルブが微少開度である場合や差圧が低い場合は、この噴流音が超音波領域の音波となる。超音波を AE センサで捉えることにより、微小な漏れの有無を検出する。
調査方法	同上
適用条件、調査精度等	バルブの材質、シートの形状によって発生仕方、伝達仕方が異なるため、数多くのバルブで実績を積み重ねて、漏れ信号の傾向を事前調査する必要がある。
参考文献	(株)クボタ、「バルブ止水性診断装置」(平成元年2月)より
備考	実験段階で終了しており実用化はされていない。

管路調査技術の到達レベルマップ 手法詳細シート

手法番号	J-8
手法名称	超音波パルスによる弁開度探知
実用レベル	Ⅱ
概要	地下に埋設された水道用仕切弁の開度を、超音波パルスを用いて検出する。
調査方法	弁棒上端に超音波探触子を固定し超音波を送信する。弁棒の下面で反射した超音波(B波)と、弁棒の下面を透過し水を通して弁体で反射した超音波(C波)とを受信する。B波とC波の伝播時間の差により開度を算出する。弁体内部で発錆している場合は、C波が乱れる。
適用条件、調査精度等	弁棒上端部のキャップを外す必要がある。 弁棒上端面(探触子)が接触する面が平滑でなければならない。 錆が発生していてC波が乱れる場合の実績が必要。
参考文献	(株)クボタ、「仕切弁の開度検出装置」(平成元年2月)より
備考	2~3の水道事業体で試験したが、実用化には至っていない。

### 4.4.3 関連技術

既存技術調査等で抽出した有望技術の一つである「衝撃弾性波による埋設管きよ診断装置」のデモンストレーションを第2研究グループ委員会メンバーである積水化学工業株式会社に依頼し、以下の内容の診断技術に関する調査を実施した。

#### 1) 調査実施日及び場所

2006年12月13日(火)

虎ノ門パストラル 駐車スペース

#### 2) 調査内容

ダクタイトル鑄鉄管の評価用サンプルを準備し、調査対象診断装置にて診断が可能かどうかの確認を実施した。

##### (1) 診断装置

積水化学工業株式会社製 埋設管きよ劣化診断用 複合型検査ロボット

##### (2) 評価サンプル

ダクタイトル鑄鉄管(モルタルライニング)

300A 長さ1.5m

a) 通常品

b) 中心部に穴をあけたもの



図4.4.1 評価サンプル

##### (3) 評価方法

上記サンプルa)及びb)に、診断装置により衝撃弾性波を与え、診断波形の違いが見られるかどうかの確認を実施した。

#### 3) 調査結果

今回の調査の結果、両サンプルの間に明らかな波形の差が観察され、衝撃弾性波がダクタイトル鑄鉄管の診断に対して適用できる可能性を示すものとなった。但し、この診断装置は下水道用途のヒューム管や陶管を対象としたものであり、水道管への適用は、現状の装置そのままでは困難であると言える。また、水道管の場合に、どこから診断装置を投入するかという課題が、本調査によりさらに明確になった。

尚、ダクタイトル鑄鉄管への適用性をさらに検証する目的で、「衝撃弾性波に基づくダクタイトル鑄鉄管の老朽度評価」として、岐阜大学 鎌田委員にて、平成17年度の研究テーマとして取り組んでいただいた。その結果の詳細については、4.5 委託研究に示した。



図 4. 4. 2 メーカーによる診断装置の説明

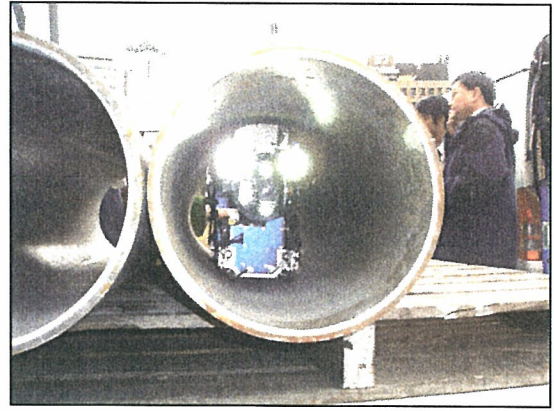


図 4. 4. 3 診断装置による診断状況

## 4.5 基礎研究

### 4.5.1 水道管路の事故リスクに関する統計的分析

#### —数量化理論を用いた管路診断手法の提案—

研究担当委員／首都大学東京大学院 小泉明

#### 1) はじめに

我が国における水道は、全国の普及率が平成 17 年度末で 97.1% となり、社会経済活動を維持する主要なライフラインとして必要不可欠なものとなっている。水道システムを支える「管路施設」に目を向けると、地下に埋設された存在でもあるため、その重要性が大きく取り上げられることは今日まで少なかった。しかし、1970 年代以降、経済産業が急速に発展した高度経済成長期に急ピッチで整備された多くの水道施設が老朽化し、更新の時期に差し掛かっている状況にある。特に、水道資産の約 7 割を占めると言われている管路施設の更新は、将来の水道事業経営をも左右してしまう程の最も喫緊な課題である。

国や地方自治体における厳しい財政措置が続く中、水道を取り巻く社会情勢は、給水人口の減少や、給水量原単位の頭打ちの状況にあり、料金収入の減収を前提にした財政計画の下で、管路更新の他にも高度浄水処理や震災対策といった大規模な投資が求められている。最近では、管路腐食に起因した「破損事故」等も全国で顕在化し始めている状況にある。大口径管路の破損事故に伴う浸水被害も大きな問題であるが、破損事故の復旧には多大な時間を要するため、最悪の「断水」という事態に陥れば、特に都市域での被害は甚大なものとなることが予見される。今後の水道においては、老朽化した管路施設への迅速な対応が求められ、漏水箇所や管路の老朽度をできるだけ効率的かつ簡易に調査・診断することができる新技術の開発・研究が必要とされている。

そこで本研究では、管路の実態調査から得られたデータを対象に、統計的な解析手法を適用し、管路の経年化や埋設環境（内側及び外側）を考慮に入れた管路診断手法の提案を試みる。漏水が懸念される管路ないしエリアを、非開削の診断（人間の健康診断で言えば“問診”に相当する）によって発見しようとするのが、本研究のねらいと言える。以下、2) では、本研究で用いる数量化理論第 I 類及び数量化理論第 II 類の数学的基礎を簡潔にまとめるとともに、3) では、実際のデータをサンプルとして用いたそれぞれの適用事例を紹介する。そして、4) では、本研究のまとめと今後の展望について述べる。

## 2) 数量化理論の基礎

### ① 数量化理論第 I 類

数量化理論第 I 類は、定量的な目的変数である外的基準と定性的な説明変数との関連から、外的基準の予測や要因の相互関連を分析する手法である<sup>1)</sup>。例えば、メッシュデータ  $i$  の**外的基準**（漏水量）と、 $P$  個の**アイテム**（配水管のマッピングデータ[管種、口径、布設年度等]）に関する定性的属性が得られているとする。このとき、外的基準を最も良く推定するために、定性的属性である**カテゴリー**に最適な数量を与える多変量解析手法が数量化理論第 I 類である。

まず、定性的属性を表示するためにダミー変数を定義する。 $n$  箇所のメッシュデータ  $i$  ( $i=1\sim n$ ) について  $P$  個の調査項目（アイテム）があり、それぞれ  $k_j$  個の選択肢（カテゴリー）の内いずれか 1 つに反応するようなデータが得られる時、数量化理論ではこうした質的データの表示法として次に示す  $\delta$  変数を用いる。

$$\delta_i(jk) = \begin{cases} 1: \text{アイテム } j \text{ のカテゴリー } k \text{ にサンプル } i \text{ が該当したとき} \\ 0: \text{該当しないとき} \end{cases} \quad \dots (2-1)$$

1 つのアイテムについて選択されるカテゴリーは、常に 1 つなので、

$$\sum_{k=1}^{k_j} \delta_i(jk) = 1 \quad \dots (2-2)$$

また、各サンプルの回答数の合計は、アイテム数に等しくなるので、次式が成立する。

$$\sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^{k_j} \delta_i(jk) = P \quad \dots (2-3)$$

次に、 $P$  個のアイテム各々の  $k_j$  個のカテゴリーに対して  $x_{jk}$  という数値を与え、サンプル  $i$  の特性値を合成変数  $Y_i$  として次式に定義する。

$$Y_i = \sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^{k_j} \delta_i(jk) \cdot x_{jk} \quad \dots (2-4)$$

(2-4)式は、未知数  $x_{jk}$  に関する線形式であり、外的基準の推定値を表すモデル式である。そして、未知数  $x_{jk}$  は、 $Y_i$  と  $y_i$  に関する残差平方和を最小にするような数値として与えられる。 $Y_i$  と  $y_i$  の残差平方和は、



$$S_e = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 \quad \dots (2-5)$$

となり、(2-4)式を代入すると、

$$S_e = \sum_{i=1}^n \left\{ y_i - \sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^{k_j} \delta_i(jk) \cdot x_{jk} \right\}^2 \quad \dots (2-6)$$

$S_e$ を最小にする  $x_{jk}$ を求めるためには、 $S_e$ を  $x_{lm}$ で偏微分し、それぞれ0とおく。

$$\frac{\partial S_e}{\partial x_{lm}} = 0 \quad l = 1, 2, \dots, P, \quad m = 1, 2, \dots, k_j \quad \dots (2-7)$$

すなわち、

$$\frac{\partial S_e}{\partial x_{lm}} = 2 \sum_{i=1}^n \left\{ y_i - \sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^{k_j} \delta_i(jk) \cdot x_{jk} \right\} \cdot \delta_i(lm) = 0 \quad \dots (2-8)$$

これより、

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^{k_j} \delta_i(jk) \cdot x_{jk} \cdot \delta_i(lm) = \sum_{i=1}^n y_i \cdot \delta_i(lm) \quad \dots (2-9)$$

(2-9)式の左辺を変形すると、

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^{k_j} \delta_i(jk) \cdot x_{jk} \cdot \delta_i(lm) = \sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^{k_j} x_{jk} \sum_{i=1}^n \delta_i(jk) \cdot \delta_i(lm) \quad \dots (2-10)$$

つまり、

$$\sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^{k_j} x_{jk} \sum_{i=1}^n \delta_i(jk) \cdot \delta_i(lm) = \sum_{i=1}^n y_i \cdot \delta_i(lm) \quad \dots (2-11)$$

(2-11)式のように、カテゴリースコア  $x_{jk}$ を未知数とする  $L (= \sum_{j=1}^P k_j)$  元の連立方程式が得られ、これを行列で表すと次のようになる。

$$\mathbf{F} \cdot \mathbf{A} = \mathbf{Y}^* \quad \dots (2-12)$$

ただし、

$$\mathbf{F} = [f(lm, jk)] \quad \dots (2-13)$$

$$f(lm, jk) = \sum_{i=1}^n \delta_i(lm) \cdot \delta_i(jk) \quad \dots (2-14)$$

$$\mathbf{X} = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{jk}, \dots, x_{Pk_j})^T \quad \dots (2-15)$$

$$\mathbf{Y}^* = (y^*_{lm})^T \quad \dots (2-16)$$

$$y^*_{lm} = \sum_{i=1}^n y_i \cdot \delta_i(lm) \quad \dots (2-17)$$

(2-12) 式の左辺において、係数行列  $\mathbf{F}$  の  $lm$  行  $jk$  列要素  $f(lm, jk)$  は、 $l$  アイテム、 $m$  カテゴリーに該当するサンプルの総数を表しており、(2-12) 式の右辺定数ベクトルの  $lm$  行要素  $y^*_{lm}$  は、 $l$  アイテム、 $m$  カテゴリーに該当する外的基準  $y_i$  の合計となっている。しかし、行列  $\mathbf{F}$  には、次元の退化（ランク落ち）が起きている。ランク落ちがあるままでは、(2-12) 式の連立方程式を数学的に解くことができない。

ランク落ちとは、多次元の式表現が、もとの次元より小さい次元の式で表示できることを意味する。 $P$  個のアイテムを用いる多次元データ解析は、アイテム中のカテゴリー総数を  $L$  とすると、それより  $P-1$  だけ次元を退化させて解析計算を行う。数学上では、次元の退化が起こっていない次元数で計算処理を行わないと、線形計算を解くことができない。それゆえ、 $P$  個のアイテムから任意の  $P-1$  個のアイテムを抽出し、そのアイテム中の任意のカテゴリーを 1 つ取り除いて計算処理を行う。

そのため、一般的には、第 2 カテゴリー以降の第 1 カテゴリーを機械的に除いて計算する。すなわち、はじめから  $x_{21} = x_{31} = \dots = x_{P1} = 0$  として(2-12) 式の連立方程式を解くことになる。

ランク落ちの処理を行い(2-12) 式を解いて求められた解が、カテゴリースコア  $x_{jk}$  である。カテゴリースコアは、対応するカテゴリーがアイテム内及び外的基準にどの程度の影響を及ぼすものか、すなわち、カテゴリーの特性を定量的に表しており、結果の解釈を行う上で重要な数値である。しかしながら、上述のランク落ちの理由から、第 2 アイテム以降の第 1 カテゴリースコアは、全て 0 として与えられている。そこで、結果の解釈をより行いやすくするために、カテゴリースコアの基準化を行う。

カテゴリースコアの基準化とは、各アイテム内において、カテゴリースコアの重み付き平均が 0 となるように、カテゴリースコアを変換するものである。基準化されたカテゴリースコアを  $x_{jk}'$  とすると、次式から求められる。

$$x_{jk}' = x_{jk} - \overline{X_j} \quad j = 1, 2, \dots, P, \quad k = 1, 2, \dots, k_j \quad \dots (2-18)$$

ただし、

$$\overline{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{k_j} n(jk) \cdot x(jk) \quad \dots (2-19)$$

$$n(jk) = \sum_{i=1}^n \delta_i(jk) \quad \dots (2-20)$$

$n(jk)$ は、アイテム  $j$  におけるカテゴリー  $k$  の反応数を表している。

本書では以降、特に示さない限り基準化されたカテゴリースコアを単にカテゴリースコアと呼ぶことにする。なお、基準化しないカテゴリースコア  $x_{jk}$  及び基準化されたカテゴリースコア  $x_{jk}'$  のどちらを用いても、(2-4)式で表される外的基準の推定値  $Y_i$  を求めることが可能であるが、基準化されたカテゴリースコアを用いる場合、求められた合成変量に外的基準の実測値の平均値を加算したものを推定値としなければならない。

すなわち、(2-4)式は、

$$Y_i = \sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^{k_j} \delta_i(jk) \cdot x_{jk} = \sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^{k_j} \delta_i(jk) \cdot x_{jk} + \bar{y} \quad \dots (2-21)$$

ただし、

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad \dots (2-22)$$

次に、求められたカテゴリースコアを用いて、アイテムが外的基準に及ぼす影響を定量的に解釈するための数値であるレンジを定義する。レンジは、各アイテムにおける最大及び最小カテゴリースコアの差で与えられ、次式で求められる。

$$\max_j(x_{jk}) - \min_j(x_{jk}) \quad j = 1, 2, \dots, P, \quad k = 1, 2, \dots, k_j \quad \dots (2-23)$$

各アイテムに求められたレンジの大きさを比較し、レンジの大きなアイテムほど外的基準への寄与の度合いが強いと解釈することができる。

数量化理論第I類では、得られた推定値  $Y_i$  が、外的基準の実測値  $y_i$  をどの程度推定できているか、すなわち、推定値の統計的な精度を表す数値として重相関係数  $R$  が用いられる。

重相関係数  $R$  は、実測値  $y_i$  と推定値  $Y_i$  の相関係数のことで、次式で表される。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \dots (2-24)$$

$R$ は、0 から 1 の間の値を取り、1 に近いほど分析精度が良いことを示している。また、 $R^2$ のことを決定係数（寄与率）とよぶ。

自由度調整済み重相関係数  $R^*$ は、分析に用いる説明変数（アイテム・カテゴリー）の数が異なる分析を行った場合、統計的精度を比較するために用いる数値である。重相関係数は、分析に用いる変数の数が大きくなった際、意味のない変数が選ばれたとしても、数値が上がる性質を持っている。そのため、分析に用いるサンプル数や説明変数を考慮した精度を用いて、変数選択を行う必要がある。そこで、モデルの自由度  $m$ （＝総カテゴリー数－アイテム数＋1）を考慮した自由度調整済み重相関係数  $R^*$ を用いる。 $R^*$ は次式で表される。

$$R^* = \sqrt{1 - \frac{n-1}{n-m-1}(1-R^2)} \quad \dots (2-25)$$

## ② 数量化理論第Ⅱ類

数量化理論第Ⅱ類は、定性的データを用いた判別・予測分析のための手法である。個々のサンプルの属する分類（群）が外的基準として与えられているとき、定性的な説明変量で記述されたモデル式より各サンプルの合成変量を算出し、この値によりサンプルがいずれの群に属するものかを判別する。合成変量のモデル式は、Ⅰ類と同様(2-4)式で表される。また、定性的属性の表示法として、(2-1)式のダミー変数を用いる。しかし、外的基準がサンプルの所属する群として与えられていることから、未知数  $x_{jk}$ をⅠ類と同様な計算方法で決定することができない。そこで、数量データである合成変量  $Y_i$ と、質的データである実際の所属群との相関比  $\eta^2$ を最大とするような数値としてカテゴリースコアが与えられる。

相関比  $\eta^2$ は、群と群との分散（級間分散）を全分散で除した値であり、次式で表される。

$$\eta^2 = \frac{\sigma_b^2}{\sigma^2} \quad \dots (2-26)$$

ここに、

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \bar{Y}^2 \quad \dots (2-27)$$

$$\sigma_b^2 = \sum_{t=1}^T \frac{n_t}{n} (\bar{Y}_t - \bar{Y})^2 \quad \dots (2-28)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad \dots (2-29)$$

$$\bar{Y}_t = \frac{1}{n_t} \sum_{i(t)=1}^{n_t} Y_{i(t)} \quad \dots (2-30)$$

ただし、 $T$ は群数、 $n$ はサンプル総数、 $n_t$ は $t$ 群に属するサンプル数、 $Y_{i(t)}$ は $t$ 群に属するサンプル $i(t)$ の合成変数を表す。また、全分散 $\sigma^2$ は、級間分散 $\sigma_b^2$ と級内分散 $\sigma_w^2$ の和として表される。

$$\sigma^2 = \sigma_b^2 + \sigma_w^2 \quad \dots (2-31)$$

ただし、

$$\sigma_w^2 = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{n_t} \frac{n_t}{n} (Y_{i(t)} - \bar{Y}_t)^2 \quad \dots (2-32)$$

つまり、(2-26)式で表される相関比は、級間分散が大きくなるほど、級内分散は小さくなり、相関比の値は1に近づく性質を持っている。言い換えると、相関比が大きいほど、それぞれの分類群における合成変数に対する分布が、よく分かれていることを意味する。それゆえ、相関比は合成変数による群の分布の隔たりを表す尺度として判別規準に用いられており、カテゴリースコアが最大の相関比を与える数値として求められる理由である。

相関比を最大にするためには、 $\eta^2$ を $x_{uv}$ で偏微分し、それぞれを0とおく。

$$\frac{\partial \eta^2}{\partial x_{uv}} = 0 \quad u = 1, 2, \dots, P, \quad v = 1, 2, \dots, k_u \quad \dots (2-33)$$

(2-27)式より

$$\frac{\partial \sigma_b^2}{\partial \sigma^2} / \frac{\partial \sigma_b^2}{\partial x_{uv}} = 0 \quad \dots (2-34)$$

従って、

$$\left( \sigma_b^2 \frac{\partial \sigma^2}{\partial x_{uv}} - \sigma^2 \frac{\partial \sigma_b^2}{\partial x_{uv}} \right) \frac{1}{(\sigma^2)^2} = 0 \quad \dots (2-35)$$

これより、

$$\sigma_b^2 \frac{\partial \sigma^2}{\partial x_{uv}} = \sigma^2 \frac{\partial \sigma_b^2}{\partial x_{uv}} \quad \dots (2-36)$$

$$\frac{\partial \sigma^2}{\partial x_{uv}} = \frac{\sigma^2}{\sigma_b^2} \cdot \frac{\partial \sigma_b^2}{\partial x_{uv}} \quad \dots (2-37)$$

(2-26)式を代入すると、

$$\frac{\partial \sigma^2}{\partial x_{uv}} = \eta^2 \frac{\partial \sigma_b^2}{\partial x_{uv}} \quad \dots (2-38)$$

(2-38)式は、変形していくと固有方程式になる。そこで、 $\eta^2$ の最大根を求めると、これに対応する固有ベクトルがカテゴリースコア  $x_{jk}$  となる。

また、数量化理論第I類と同様の方法によって、カテゴリースコアの基準化及びレンジの計算を行うことができる。

### 3) 数量化理論の適用事例

数量化理論の適用方法を理解するため、実際のメッシュデータに基づいた例題を作成し、具体的な解析内容や、結果の解釈等について紹介することにする。以下では、2種類の外的基準(目的変数)を設定し、各々の例題を CASE-A 及び CASE-B とする。

#### ① 使用するデータ

外的基準 (目的変数)

CASE-A (数量化理論第 I 類の例題): **メッシュ毎の漏水量[m<sup>3</sup>/日]** (量的データ)

CASE-B (数量化理論第 II 類の例題): **漏水量の「多い」・「少ない」**\* (質的データ)

★…配水管延長 1km 当たりの単位漏水量[m<sup>3</sup>/日/km]を基準に定めた

説明変数 CASE-A・CASE-B 共通 (4 アイテム×2 カテゴリー)

- |                          |             |
|--------------------------|-------------|
| ① <b>1978 年以前に埋設した管路</b> | 「含む」・「含まない」 |
| ② <b>平均水圧</b>            | 「高い」・「低い」★  |
| ③ <b>腐食性評価係数</b>         | 「高い」・「低い」★  |
| ④ <b>鑄鉄管 (CIP)</b>       | 「含む」・「含まない」 |

★…②及び③のカテゴリー化は、対象メッシュの平均値を基準に定めた

以降の例題では、計算の簡便化を図るため、対象地域の約 3 千箇所のメッシュデータからランダムに抜き取ったデータ(データ数 n=56)を使用することにする。抽出後の例題用データを表 4.5.1 に、クロス集計の結果を表 4.5.2 に各々示す。

#### ② 解析内容

数量化理論第 I 類を適用した Case-A の結果を表 4.5.3～表 4.5.8 に示す。また、数量化理論第 II 類を適用した Case-B の結果を同様に、表 4.5.9～表 4.5.16 に示す。なお、実際の解析は、市販の統計解析ソフト(エスミ「EXCEL アンケート太閤 Ver. ●」)を用いて行うこととした。

表 4.5.1 分析に用いるデータ

No.	外的基準		アイテム・カテゴリー			
	CASE-A	CASE-B	CASE-A・CASE-Bに共通			
	漏水量 [m <sup>3</sup> /日]	漏水の 多少	78以前 の管路	平均 水圧	腐食性 評価係数	鋳鉄管 (CIP)
	1:多い 2:少ない	1:含む 2:含まない	1:高い 2:低い	1:高い 2:低い	1:含む 2:含まない	
1	0.098	2	2	2	2	2
2	0.123	2	1	2	2	2
3	0.436	2	1	1	2	2
4	0.132	2	1	1	2	2
5	0.353	1	1	1	2	1
6	0.233	2	1	1	2	2
7	1.250	1	1	1	2	1
8	0.193	2	1	1	2	2
9	0.289	2	1	1	2	1
10	0.138	2	1	1	2	2
11	0.341	2	1	1	2	1
12	0.094	2	1	1	2	2
13	1.193	1	1	2	2	1
14	0.163	2	1	1	2	2
15	0.748	1	1	1	1	2
16	0.202	2	2	2	1	2
17	0.059	2	1	2	2	2
18	0.015	2	2	2	1	2
19	0.392	1	1	2	2	1
20	0.239	2	1	1	1	2
21	0.760	1	1	1	2	2
22	0.722	1	1	2	1	2
23	1.194	1	1	2	1	1
24	1.066	1	1	1	1	1
25	0.442	2	1	2	1	1
26	0.026	2	2	2	1	2
27	1.833	1	1	1	1	1
28	0.830	1	1	2	1	2
29	0.155	2	1	1	1	2
30	0.600	1	1	2	1	1
31	0.427	2	1	1	1	1
32	0.619	2	1	2	1	1
33	0.410	1	1	2	1	2
34	0.005	2	1	2	2	2
35	1.653	1	2	1	1	2
36	0.176	1	2	1	1	2
37	0.045	2	1	2	2	2
38	2.106	1	1	2	2	1
39	1.295	1	1	1	1	1
40	1.237	1	1	1	2	1
41	0.042	2	2	1	1	2
42	0.451	1	1	1	1	1
43	0.463	1	1	1	1	2
44	0.772	1	1	1	1	2
45	0.205	1	1	1	1	2
46	0.026	2	2	1	1	2
47	1.536	1	1	1	1	1
48	0.015	2	1	2	1	2
49	1.428	1	1	1	1	1
50	0.056	1	2	2	1	2
51	0.590	1	1	1	1	1
52	0.014	2	2	2	2	2
53	0.172	1	1	2	1	2
54	0.197	2	1	2	2	2
55	0.912	1	1	1	1	2
56	0.131	2	2	1	2	2



表 4.5.2 クロス集計表

アイテム名	78以前の管路		平均水圧		腐食性評価係数		鋳鉄管(CIP)		
	カテゴリ名	含む	含まない	高い	低い	高い	低い	含む	含まない
78以前の管路	含む	45		28	17	24	21	20	25
	含まない		11	5	6	8	3	0	11
平均水圧	高い	28	5	33		19	14	13	20
	低い	17	6		23	13	10	7	16
腐食性評価係数	高い	24	8	19	13	32		12	20
	低い	21	3	14	10		24	8	16
鋳鉄管(CIP)	含む	20	0	13	7	12	8	20	
	含まない	25	11	20	16	20	16		36

表 4.5.3 CASE-A の解析結果① (カテゴリー平均値)

アイテム名	カテゴリー名	n	合計	平均
全体		56	29.30	0.52
78以前の管路	含む	45	26.86	0.60
	含まない	11	2.44	0.22
平均水圧	高い	33	19.77	0.60
	低い	23	9.54	0.41
腐食性評価係数	高い	32	19.32	0.60
	低い	24	9.98	0.42
鋳鉄管(CIP)	含む	20	18.64	0.93
	含まない	36	10.66	0.30

表 4.5.4 CASE-A の解析結果② (カテゴリースコア)

アイテム名	カテゴリー名	n	カテゴリースコア	平均値	対応
78以前の管路	含む	45	0.0264	0.5970	○
	含まない	11	-0.1081	0.2217	
平均水圧	高い	33	0.0477	0.5990	○
	低い	23	-0.0685	0.4146	
腐食性評価係数	高い	32	0.0769	0.6038	○
	低い	24	-0.1025	0.4159	
鋳鉄管(CIP)	含む	20	0.3702	0.9321	○
	含まない	36	-0.2057	0.2961	

表 4.5.5 CASE-A の解析結果③（レンジ，外的基準と説明変数の相関係数）

アイテム名	レンジ		単相関		偏相関	
78以前の管路	0.1346	3位	0.2849	2位	0.1175	4位
平均水圧	0.1162	4位	0.1734	4位	0.1366	3位
腐食性評価係数	0.1794	2位	0.1777	3位	0.2079	2位
鋳鉄管(CIP)	0.5759	1位	0.5825	1位	0.5277	1位

表 4.5.6 CASE-A の解析結果④（説明変数相互の単相関係数）

アイテム名	78以前の の管路	平均 水圧	腐食性 評価係数	鋳鉄管 (CIP)
78以前の管路	1	0.1354	-0.1557	0.3685
平均水圧	[ - ]	1	0.0105	0.0920
腐食性評価係数	[ - ]	[ - ]	1	0.0430
鋳鉄管(CIP)	[**]	[ - ]	[ - ]	1

[\*\*]:有意水準1%で相関あり, [\*]:5%で相関あり, [-]:5%で相関なし

表 4.5.7 CASE-A の解析結果⑤（説明変数相互の偏相関係数）

アイテム名	78以前の の管路	平均 水圧	腐食性 評価係数	鋳鉄管 (CIP)
78以前の管路	1	0.1128	-0.1866	0.3726
平均水圧	[ - ]	1	0.0274	0.0424
腐食性評価係数	[ - ]	[ - ]	1	0.1080
鋳鉄管(CIP)	[**]	[ - ]	[ - ]	1

[\*\*]:有意水準1%で相関あり, [\*]:5%で相関あり, [-]:5%で相関なし

表 4.5.8 CASE-A の解析結果⑥（分析精度）

決定係数	0.385
自由度修正済み 決定係数	0.337
重相関係数	0.621
自由度修正済み 重相関係数	0.581

表 4.5.9 CASE-B の解析結果①（群別集計）

アイテム名	カテゴリ名	n			% (横)			% (縦)		
		全体	群1	群2	全体	群1	群2	全体	群1	群2
全 体		56	28	28	100.0%	50.0%	50.0%	100.0%	100.0%	100.0%
78以前の管路	含む	45	25	20	100.0%	55.6%	44.4%	80.4%	89.3%	71.4%
	含まない	11	3	8	100.0%	27.3%	72.7%	19.6%	10.7%	28.6%
平均水圧	高い	33	18	15	100.0%	54.5%	45.5%	58.9%	64.3%	53.6%
	低い	23	10	13	100.0%	43.5%	56.5%	41.1%	35.7%	46.4%
腐食性評価係数	高い	32	21	11	100.0%	65.6%	34.4%	57.1%	75.0%	39.3%
	低い	24	7	17	100.0%	29.2%	70.8%	42.9%	25.0%	60.7%
鋳鉄管(CIP)	含む	20	15	5	100.0%	75.0%	25.0%	35.7%	53.6%	17.9%
	含まない	36	13	23	100.0%	36.1%	63.9%	64.3%	46.4%	82.1%

表 4.5.10 CASE-B の解析結果②（独立性の検定）  
 右上：χ<sup>2</sup> 値、左下：クラマーの関連係数

	漏水量の多少	78以前の管路	平均水圧	腐食性評価係数	鋳鉄管(CIP)
漏水量の多少	—	2.8283	0.6640	7.2917	7.7778
78以前の管路	0.2247	—	1.0268	1.3576	7.6049
平均水圧	0.1089	0.1354	—	0.0061	0.4738
腐食性評価係数	0.3608	0.1557	0.0105	—	0.1037
鋳鉄管(CIP)	0.3727	0.3685	0.0920	0.0430	—

注) クラマーの関連係数は、次式により計算される。ただし、 $n$ ：サンプル数、 $K$  及び  $L$ ：  
 要因のカテゴリ数を表わす。 $Cr = \sqrt{\chi^2 / (k-1) \cdot n}$   $k = \min_{for} (K, L)$

表 4.5.11 CASE-B の解析結果③（独立性の検定）  
 右上：P 値、左下：判定マーク

	漏水量の多少	78以前の管路	平均水圧	腐食性評価係数	鋳鉄管(CIP)
漏水量の多少	—	0.0926	0.4151	0.0069	0.0053
78以前の管路	[ - ]	—	0.3109	0.2440	0.0058
平均水圧	[ - ]	[ - ]	—	0.9375	0.4912
腐食性評価係数	[**]	[ - ]	[ - ]	—	0.7474
鋳鉄管(CIP)	[**]	[**]	[ - ]	[ - ]	—

[\*\*]: 有意水準1%で関連あり, [\*]: 5%で関連あり, [-]: 5%で関連なし

表 4.5.12 CASE-B の解析結果④（カテゴリースコア）

アイテム名	カテゴリー名	n	カテゴリースコア	横%	対応
78以前の管路	含む	45	0.0857	55.6%	○
	含まない	11	-0.3507	27.3%	
平均水圧	高い	33	0.0476	54.5%	○
	低い	23	-0.0683	43.5%	
腐食性評価係数	高い	32	0.3326	65.6%	○
	低い	24	-0.4435	29.2%	
鑄鉄管(CIP)	含む	20	0.3984	75.0%	○
	含まない	36	-0.2213	36.1%	

表 4.5.13 CASE-B の解析結果⑤（レンジ）

アイテム名	レンジ		偏相関	
78以前の管路	0.4364	3位	0.1786	3位
平均水圧	0.1158	4位	0.0649	4位
腐食性評価係数	0.7762	1位	0.3987	1位
鑄鉄管(CIP)	0.6198	2位	0.3015	2位

表 4.5.14 CASE-B の解析結果⑥（説明変数相互の単相関係数）

右上：単相関係数，左下：無相関判定結果

	漏水量の多少	78以前の管路	平均水圧	腐食性評価係数	鑄鉄管(CIP)
漏水量の多少	1	0.2247	0.1089	0.3608	0.3727
78以前の管路	[-]	1	0.1354	-0.1557	0.3685
平均水圧	[-]	[-]	1	0.0105	0.0920
腐食性評価係数	[**]	[-]	[-]	1	0.0430
鑄鉄管(CIP)	[**]	[**]	[-]	[-]	1

[\*\*]:有意水準1%で相関あり, [\*]:5%で相関あり, [-]:5%で相関なし