

DEAによる水道管路の効率的な管理に関する研究

山口大学大学院 学生会員 ○上木 裕太
西日本技術開発株式会社 正会員 円田 竜太

山口大学大学院 正会員 松本幸太郎
山口大学大学院 フェロー会員 古川 浩平

1. はじめに

わが国の近代水道は、昭和 40 (1965) 年代以降、勢いを増す経済成長を背景に、全国各地で水道の整備・拡張が行われてきた。その結果、水道普及率は著しく向上してきた。しかし、高度経済成長時代に布設した水道管や、浄水場、配水池などの施設は建設後 30~40 年も経過しており、次第に老朽化が目立つようになってきている。こういった古い配水管(老朽管)を放っておくと漏水や水質悪化の原因となる。そのため、21 世紀の今後を展望すると水道管の維持管理、計画的な老朽管の改良・更新を行う必要がある。

こういった現状に対処するため平成 11 年 11 月に「水道事業の費用対効果分析マニュアル」が作成された。このマニュアルでは事業により生み出される社会的な効果と事業に要した費用とを比較する事で事業実施の妥当性を検証し、計画的な水道管の維持管理・改良・更新を進めていく事を目的としている。

この手法では費用便益比から優先順位を決定しているため、各補正係数はカテゴリ分けされ、定量的な評価ができる反面、過去の類似例や技術者の主観による判断に頼るところが大きいという課題を残している。そこで、本研究では、客観的かつ高精度な順位の設定を目的とし Support Vector Machine (以下 SVM) 解析を用いて危険度を求めた後、Data Envelopment Analysis (以下 DEA) 解析を用いた改良優先順位の設定を行った。

2. SVM・DEA の基本概念

SVM とは、現在最も注目されている強力なパターン分類手法であり、2 クラスの線形分離不可能なデータ集団を特徴空間に写像することにより線形分類可能にする手法である。

DEA とは、解析する各データの比率尺度が最大となるように各項目に対して最適な重み付けを行い、相対的効率性を測定する手法である。DEA の基本概念を図-1 に示す。

DEA の評価は、優先度の高い箇所(A, B, C)を結ぶ包絡線(効率的フロンティア)を基準とした比率尺度が用いられ(点 D を例に取ると OD/OP で求められる値)、この比率尺度が大きい箇所ほど優先度が高いと判断される。

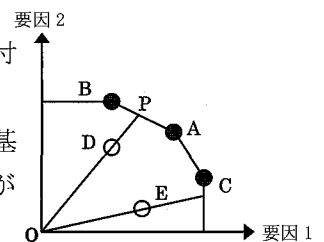


図-1 DEA の基本概念図

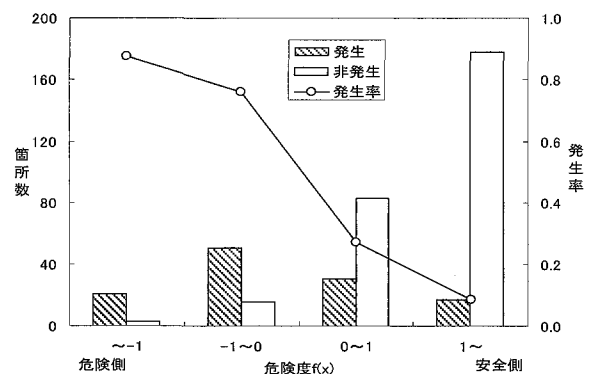
なお、本研究では効率的フロンティア上の箇所にも優劣をつけることが可能な“超CCRモデル”，使用要因を総合的に考慮した評価を行うことが可能な“領域限定モデル”，最も優先度が高い箇所に隠れた箇所を正當に評価可能な“繰返し計算”，以上の3モデルを併用して順位設定を行った。

3. 使用データおよび要因の選定

使用データとして、X市の水道管改良優先順位データ 498 箇所の調査データを用いた。このデータの中から過去の事故発生履歴を教師値とし、危険度に関わる管種・継手・口径・延長・埋設年数・更正種別の6要因を用いてSVM解析を行い危険度を求めることとした。さらに重要度を示す要因には、道路交通被害額・市民等への被害額・漏水損失・費用の4要因を用い、これにSVMで求めた危険度を加えた5要因でDEA解析を行い、改良優先順位の設定を行うこととした。

4. 危険度の設定

図-2 に SVM の解析結果を示す。横軸は危険度 $f(x)$ を表しており、値が小さいほうが危険側である。この結果を見てみると、非発生データのほとんどは安全側 ($f(x) > 0$) に分布している。また、危険側 ($f(x) < 0$) において、発生率は 70% 以上で、特に $f(x) < -1$ では 85% 近くあり、相関性、分離性に優れた結果となった。このことから、本研究での危険度の設定は妥当であると考えられる。

図-2 危険度 $f(x)$ と発生率の関係

5. データの標準化

DEAにより危険箇所順位の設定を行う際に、表-1のように生データをそのまま用いると要因間で大きなばらつきがある。そこで、全要因を公平に評価するために標準化することとした。

標準化の式：
$$\frac{x-\mu}{\sigma} \times 10 + 55$$

ここで、 μ :各要因の平均値、 σ :各要因の標準偏差

上の標準化の式を用いることにより、表-2のように各要因の平均値は55となり、どの要因についてもそれより大きい値をとる場合は優先度が高く、小さい値のときは優先度が低いと公平に評価できる。

6. 優先順位設定結果

選ばれた要因で効率的な評価を行う際、ある要因を無視、あるいは1要因の突出により順位が決定するような順位設定は正当ではないと考えられる。このような場合は、領域限定を用いる事によって全ての要因を総合的に考慮した評価が可能となる。本研究では、総合的な評価ができ、かつDEAの自由度を十分に発揮させることが可能な領域限定1%を採用した。その結果を表-3と表-4に示す。

この結果に注目すると、高い値を示す特異値（片側検定の判定式 $X \geq m_i + 1.65 \sigma_i$ により算出する。本研究では特異値は71.5以上のデータとなる）や平均値よりも大きい値がある箇所は上位に順位付けされ、特異値がなく平均値よりも小さい値が多くある箇所は下位に順位付けされていることが分かる。このことから、本研究での優先順位の設定は妥当であると考えられる。

7. 費用対効果分析との比較

DEAによる優先順位の設定結果と費用対効果分析によるランク分け（優先度が高い順にA→B→Cランクとなっている）の比較を行った。この結果、優先順位の上位側ではAランクが多く、また逆に、下位側ではCランクが多くなっており、費用対効果分析によるランク分けと同傾向の順位設定ができた（表-3、表-4）。

8. 結論

本研究では、SVMを用いることで、費用対効果分析に用いた事故発生率のように各種補正係数のカテゴリ分けを行う必要が無くなり、簡便性、客観性に優れた危険度の設定ができた。また、DEAにより優先順位の設定を行う際、領域限定を行うことで重要度・危険度を考慮した総合的な評価ができた。

参考文献

1) 佐藤丈晴, 海原荘一, 荒川雅生, 足立心也, 古川浩平 : 災害防除施設施工優先度の設定手法に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集 vol.58, IV-414, 2003

2) 八木俊朗, 荒川雅生, 芝山宗昭, 中山弘隆, 尹禮分, 石川浩 : データ包絡分析法を用いたトレンド分析法の開発, 第11回設計工学・システム部門講演会講演論文集, p.80-81, 2001

表-1 標準化前の要因(一部抜粋)

ID	道路交通 被害額(円)	市民等への 被害額(円)	漏水損失 (円)	費用 (千円)	危険度 f(x)
40	2,954,136	505,248	55,177	2,215	1.25
41	1,610,800	505,248	398,126	15,981	1.05
42	53,133	505,248	1,489,433	59,788	-1.00

表-2 標準化後の要因(一部抜粋)

ID	道路交通 被害額	市民等への 被害額	漏水損失	費用	危険度 f(x)
40	67.86	50.89	46.01	63.99	51.48
41	57.44	50.89	51.72	58.28	52.87
42	45.36	50.89	69.89	40.11	67.01

表-3 順位設定結果(上位15位)

順位	ID	道路交通 被害額	市民等への 被害額	漏水損失	費用	危険度 f(x)	ランク
1	23	57.44	50.89	88.61	21.39	131.11	A
2	314	67.86	50.89	89.36	20.64	102.51	A
3	427	45.99	50.89	80.62	29.38	125.06	A
4	146	45.36	79.30	48.33	61.67	67.01	A
5	472	57.44	50.89	98.86	11.14	67.01	A
6	388	67.86	50.89	47.39	62.61	67.01	A
7	143	57.44	79.30	64.85	45.15	69.25	A
8	360	67.86	50.89	77.90	32.10	100.63	A
9	7	67.86	50.89	50.07	59.93	65.37	A
10	154	67.86	79.30	85.79	24.21	86.41	A
11	243	67.86	79.30	45.20	64.80	53.24	A
12	92	57.44	50.89	89.19	20.81	72.30	A
13	189	45.99	79.30	80.78	29.22	126.73	A
14	199	67.86	50.89	53.57	56.43	70.42	A
15	410	67.86	50.89	78.26	31.74	87.53	A

表-4 順位設定結果(下位15位)

順位	ID	道路交通 被害額	市民等への 被害額	漏水損失	費用	危険度 f(x)	ランク
484	84	45.36	50.89	49.06	60.94	53.22	B
485	336	44.95	50.89	49.03	60.98	52.82	C
486	450	45.36	50.89	49.15	60.85	53.21	B
487	293	45.36	50.89	49.21	60.79	53.20	B
488	44	45.36	50.89	49.43	60.57	53.24	C
489	235	45.36	50.89	49.32	60.68	53.04	C
490	133	45.36	50.89	49.92	60.08	53.24	C
491	402	45.36	50.89	50.06	59.94	53.24	C
492	432	45.36	50.89	50.15	59.85	52.53	C
493	326	45.99	50.89	49.96	60.04	42.14	C
494	406	45.99	50.89	50.36	59.64	52.98	C
495	409	45.99	50.89	50.43	59.57	52.95	C
496	323	45.99	50.89	50.49	59.51	52.37	C
497	449	45.36	50.89	50.34	59.66	50.49	C
498	49	45.99	50.89	50.70	59.30	37.58	C