

遺伝的アルゴリズムによる AHP 支援手法の開発

中日本建設コンサルタント（株） 水工技術本部 ○藤野 哲也
水工技術本部 中根 進

1. はじめに

平成 20 年 4 月より「下水道長寿命化支援制度」が創設され、老朽化した管路の長寿命化対策を含めた「計画的な改築」に対する基本的な考え方が示された。

長寿命化支援制度では、計画期間がおおむね 5 ヶ年程度であるため、改築には老朽管路に優先順位を付けて、当該計画期間に組み入れることが必要となる。

意思決定手法¹⁾の 1 つで、よく利用される AHP 手法を用いて管路施設に優先順位（優先度）を付ける方法を示す。AHP 手法では、事業者、利用者など評価者に、評価項目や代替案を一对比較してもらう必要がある。この時、一对比較が、首尾一貫¹⁾しているかどうか判定する尺度として整合度（C. I. 値）がある。この値が 0.1 以下¹⁾であれば、経験的に整合性があるといわれ、一对比較結果を利用することができる。

評価者に一对比較を依頼すると、評価項目の定義の曖昧さや一对比較に不慣れなこともあり、整合度が 0.1 以下にならないことが多い。そこで、遺伝的アルゴリズムを利用して、整合度の高い（0.1 以下）一对比較を評価者に提示することにより、評価者の考えを確認して、最終的な判断とする AHP の支援手法を開発した。

2. AHP 手法の概要

5 ヶ年の長寿命化計画を立案するため、対象となる管路施設を選定することを例として AHP 手法の概要を説明する。対象の施設を選定したり、優先順位を付けることは従来より行われてきた。昨今では、事業者や利用者への説明責任も要求され、選定理由、優先度に対しても定量性や客観性も含め、その基準を明確にすることが要求される。

判断項目やその重みは、事業者、利用者あるいはコンサルタントによって問題に対する視点が異なることにより変わるのが普通であり、時間の経過とともに変化することも考えられる。

このような事柄に柔軟に対応し、定量的な評価基準や客観的な評価基準も扱うことができる意思決定手法に AHP 手法（階層分析法）がある。AHP 手法による解析手順を図-1 に示す。

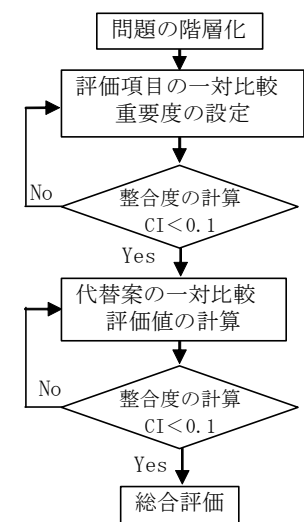


図-1 AHPの解析手順

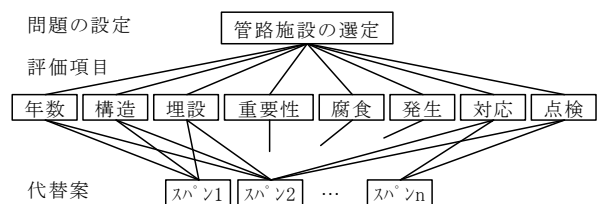


図-2 管路施設選定の階層図

2.1 問題の階層化と AHP 演算手順

問題の階層化とは、問題解決に導く評価項目を抽出し、老朽管路（代替案）の中から長寿命化計画に組み入れる管路施設を選定することである。この階層化した構造を図-2 に示す。

管路施設選定の評価項目には、支援制度の手引き表-1「対象施設の選定での評価項目（参考）」を参考とする。この評価項目を一对比較によりに重み（重要度）と整合度（C. I. 値）を算出する。つぎに評価項目毎に、スパン 1 から n までの管路施設（代替案と言う）を一对比較することにより評価値と整合度を計算する。この評価値を使って代替案の総合評価（優先順位付け）を行う。この一連の重要度、整合度、重要度の足し合わせを AHP 演算という。今回の報告では、代替案の一对比較や代替案の評価値算出までの過程は、省

略する。

2.2 評価項目の重み（重要度）

当社技術者9名に一对比較入力表²⁾（図-4上）による評価項目の一对比較を依頼し、AHP 演算して得られた評価項目の重みと整合度を表-2に示す。一对比較する上での重要性の尺度は1：同程度、3：やや重要、5：重要を用いた。

表-2下段に示す各評価者の整合度（C.I. 値）が0.1より小さいのは3人だけであり、評価者ごとに傾向の異なった重みが算出されるのはやむを得ないが、C.I. 値が大きい値を示す評価者には再度一对比較を依頼することになる。

表-1 対象施設の選定での評価項目

| 評価項目 | 略記 | 内容 |
|--------------|-----|----------------------------------|
| 管路の布設・供用開始年度 | 年数 | 基本的機能の低下等 |
| 管路の構造 | 構造 | 管種・管路の継手構造等 |
| 管路の埋設環境 | 埋設 | 重車両の交通量の増加、土被りの変化等 |
| 管路の重要度 | 重要性 | 流下能力の規模、下水を排除する施設、布設されている道路の重要度等 |
| 腐食環境 | 腐食 | 圧送管の吐き出し部、ビルビット、伏せ越し、段差・落差等 |
| 異常・苦情等の発生件数 | 発生 | 機能の低下等 |
| 清掃対応件数等 | 対応 | 機能の低下等 |
| 点検・調査履歴 | 点検 | 過去の点検・調査で確認された異常等 |

表-2 評価項目の一对比較結果（重み）と整合度（C.I. 値）

| | 評価者1 | 評価者2 | 評価者3 | 評価者4 | 評価者5 | 評価者6 | 評価者7 | 評価者8 | 評価者9 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 年数 | 0.043 | 0.105 | 0.051 | 0.032 | 0.106 | 0.047 | 0.036 | 0.061 | 0.041 |
| 構造 | 0.080 | 0.121 | 0.021 | 0.040 | 0.047 | 0.031 | 0.036 | 0.085 | 0.028 |
| 埋設 | 0.105 | 0.209 | 0.034 | 0.110 | 0.047 | 0.031 | 0.036 | 0.120 | 0.088 |
| 重要性 | 0.305 | 0.275 | 0.130 | 0.305 | 0.306 | 0.072 | 0.081 | 0.148 | 0.058 |
| 腐食 | 0.269 | 0.105 | 0.195 | 0.095 | 0.047 | 0.072 | 0.257 | 0.098 | 0.149 |
| 発生 | 0.085 | 0.053 | 0.357 | 0.247 | 0.061 | 0.223 | 0.257 | 0.098 | 0.101 |
| 対応 | 0.057 | 0.040 | 0.140 | 0.074 | 0.081 | 0.169 | 0.148 | 0.098 | 0.198 |
| 点検 | 0.057 | 0.092 | 0.071 | 0.097 | 0.306 | 0.355 | 0.148 | 0.293 | 0.337 |
| 計 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| C.I. 値 | 0.043 | 0.191 | 0.289 | 0.236 | 0.131 | 0.158 | 0.053 | 0.093 | 0.182 |
| GA支援CI | — | 0.079 | 0.096 | 0.074 | 0.089 | 0.063 | — | — | 0.098 |

3. 遺伝的アルゴリズム（GA）による支援

3.1 遺伝的アルゴリズムの概要

遺伝的アルゴリズム（GA）の概要を図-3に示す。個体の集まりである初期個体群を生成する。各個体は、遺伝子配列で表現し、適応度を設定する。

この初期個体群に対し、(1)適応度の高い個体が増殖して生き残るよう「エリートまたはルーレット選択」し、(2)ある個体の一部と別の個体の一部を入れ替えて「交叉」し、新しい個体を生成する。(3)また別の個体の一部を変化させる「突然変異」という操作を繰り返す。これにより、求めたい解の候補としての個体が成長し、より適応度の高い個体すなわち最適解に近い個体が増えていくことを期待するものである。上記の選択、交叉、突然変異を総称して遺伝的操作といい、遺伝的操作の繰り返し単位を「世代」という。

適応度には、一对比較行列の整合度（C.I. 値）を使い、最適解は、C.I. 値を最小値にすることである。

開発する手法は、AHP を遺伝的アルゴリズムで解こうとしているわけではなく、単に遺伝子座のチェック列番号を少し変更することによって解に近づけようとしているだけである。

3.2 初期個体群の生成

一人の評価者の一对比較表²⁾のチェックを入れた位置（列番号）を上から順番に図-4下の横方向に並べ、個体の遺伝子配列（染色体）とする。この配列から一对比較行列を作成し、C.I. 値を計算し、このシグモイド関数値を適応度とする。

次にこの個体の遺伝子配列の遺伝子座（位置）を突然変異で決定し、列番号を1だけ上下させる。

この時、元の適応度より大きい値（C.I. 値では小さい値）を示す列番号を採用し、新しい個体として残し、これを繰り返して、np 個の個体群を生成する。元の個体より整合度の高い個体が np 個作成できなければ、元の個体をサバイバルとして残す。

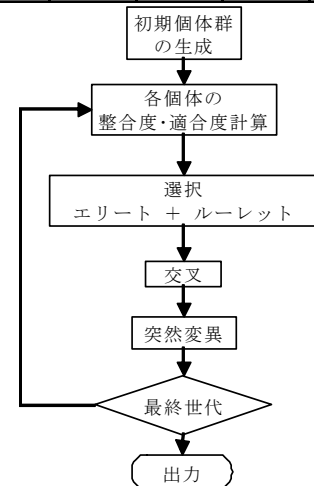


図-3 遺伝的アルゴリズムの概要

| 列番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 評価項目 |
|-------|--------------------|---|---|-----|-----|-------|
| 一对比較値 | 「左項目」の「右項目」に対する重要度 | | | | | 一对比較値 |
| 評価項目 | 5 | 3 | 1 | 1/3 | 1/5 | 評価項目 |
| 項目1 | ○ | | | | | 項目2 |
| 項目1 | | ○ | | | | 項目3 |
| 項目1 | | | ○ | | | 項目4 |
| 項目2 | | ○ | | | | 項目3 |
| 項目2 | ○ | | | | | 項目4 |
| 項目3 | ○ | | | | | 項目4 |



図-4 一对比較入力表の遺伝子表現

3.3 一点交叉と突然変異

評価者5のアンケートによる一対比較を交叉と突然変異による遺伝的操作した結果を示す。交叉には、一点交叉、一樣交叉などの種類があるが、評価者の意思を尊重して、比較値を大きく変化させることはせず、一点交叉とした。突然変異は、発生確率を0.2とし、遺伝子座も乱数を発生させ決定する。一点交叉、突然変異とも一対比較表のチェック列を一つ増減させるにとどめている。その遺伝的操作過程を図-5に示す。個体の適応度が世代を経るにしたがい減少し、最適解に近い個体から遠ざかり、最適解に近い個体が最終世代に残らない結果となった。

3.4 エリート選択と一点交叉+突然変異

「エリート選択」とは、適応度が高い数個 n_e の個体を残す方法である。ある数 ($n_e < n_p$) だけエリート選択で選択した後、残りをルーレット選択し、その後突然変異させる。評価者5にエリート選択を加えた遺伝子操作を図-6に示す。最終世代に最適解に近い個体が残っていく様子が見られる。

3.5 一対比較行列の評価者への提示

各評価者のGA支援によるC.I.値は、表-2の最下段に示す。図-6のGA支援した結果を一対比較の形にして表-3に示す。また比較項目に対する重要度を図示すると図-7となり、当初の一対比較の傾向と大きく変化していない。整合度が0.131であったのが0.089に向上した。図-7を評価者に提示することにより、アンケート時に比べて整合度が向上することを示し、当初の一対比較の再考をお願いし、評価者の最終判断とする。

4. まとめ

GAを利用することにより評価者に対して整合度の良い一対比較を提示でき、評価者自身が答えたい一対比較と重みの方向性が合っていることを確認することにより採用値とすることが可能になったと考えている。

<参考文献> 1) わかりやすい意思決定論入門 近代科学社 木下栄蔵

2) はじめてのAHP [階層分析法] 工学社 武田正則ら

3) パソコンで学ぶ遺伝的アルゴリズムの基礎と応用 森北出版(株) 石田良平ら

問合わせ先：中日本建設コンサルタント(株) 水工技術本部 中根 進 TEL 052-232-6056 E-mail s_nakane@nakanihon.co.jp

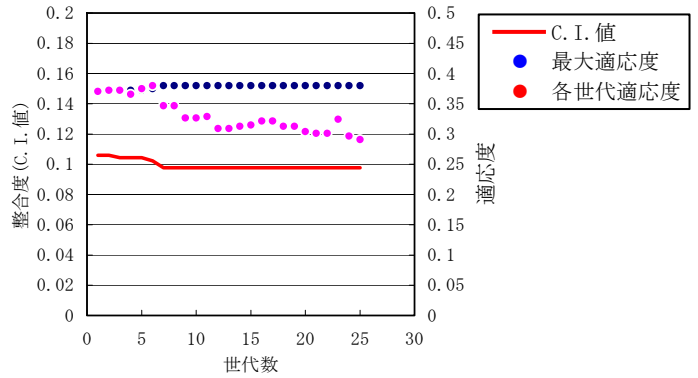


図-5 一点交叉と突然変異による遺伝的操作

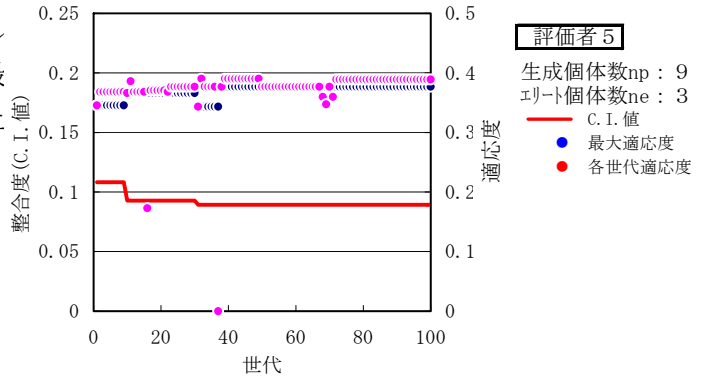


図-6 エリート選択を含む遺伝的操作

表-3 GAによる一対比較行列とC.I.値(評価者5)

| | 年数 | 構造 | 埋設 | 重要性 | 腐食 | 発生 | 対応 | 点検 | 幾何平均 | 重要度 |
|-----|--------|----|----|-----|----|--------|--------|-----|-------|-------|
| 年数 | 1 | 3 | 3 | 0.2 | 1 | 3 | 3 | 0.2 | 1.158 | 0.106 |
| 構造 | 0.3333 | 1 | 1 | 0.2 | 1 | 1 | 0.3333 | 0.2 | 0.508 | 0.047 |
| 埋設 | 0.3333 | 1 | 1 | 0.2 | 1 | 1 | 0.3333 | 0.2 | 0.508 | 0.047 |
| 重要性 | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 | 5 | 5 | 1 | 3.344 | 0.306 |
| 腐食 | 1 | 1 | 1 | 0.2 | 1 | 0.3333 | 0.3333 | 0.2 | 0.508 | 0.047 |
| 発生 | 0.3333 | 1 | 1 | 0.2 | 3 | 1 | 1 | 0.2 | 0.669 | 0.061 |
| 対応 | 0.3333 | 3 | 3 | 0.2 | 3 | 1 | 1 | 0.2 | 0.880 | 0.081 |
| 点検 | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 | 5 | 5 | 1 | 3.344 | 0.306 |
| | | | | | | | | | 計 | 1.000 |
| | | | | | | | | | C.I.値 | 0.089 |

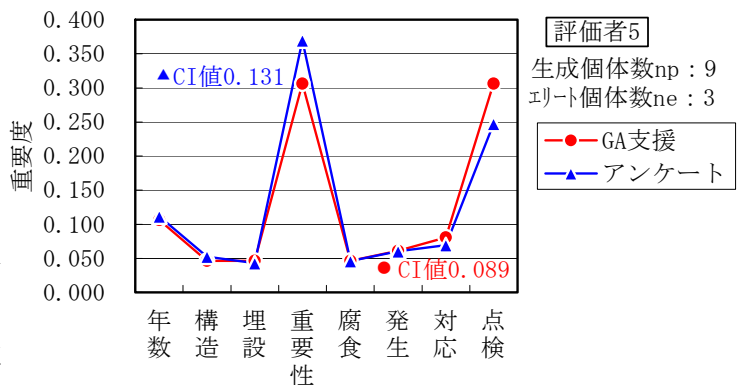


図-7 評価者5のアンケートとGA支援の比較