

## 総合評価落札方式の評価におけるAHP(階層分析法)の適用について

稚内開発建設部 技術管理課 ○東 真次  
 工物品質管理官 鈴木 正彦  
 道路課 長谷山 昇

### 1. はじめに

公共工事の品質確保に関する法律の施行により、「価格のみの競争」から「価格と品質で総合的に優れた競争」へと転換され、品質確保の観点から、工事毎に設定された技術的要件に対する技術提案を点数化することで、入札参加希望者の能力を入札契約に反映する総合評価落札方式の拡充が図られている。

技術提案の評価方法については、評価項目の性能等の数値化が困難な場合、評価項目の性能等に関して、3段階（優・良・可）に評価及び判定する判定方式(注1)が多く用いられている。具体的には、設定した評価項目に対して入札参加者の記述内容から評価項目に該当するかどうかを判定し、その該当数により、3段階に区分し、それぞれの区分の配点が加算点となっている。この方法は、記述内容や評価された項目数に差があっても同じ配点となることや、設定評価項目間に重要性の差があったとしても考慮されない不合理性を含んでいる。これらの差を評価する一手法として、AHP(階層分析法)の適用が考えられる。

本報告は、定性的な技術的要件の評価に意思決定手法であるAHPの手法の紹介及び総合評価への適用性についての提案を行うものである。

キーワード AHP (階層分析法)

### 2. AHP (階層分析法)

AHP (Analytic Hierarchy Process 階層分析法、階層的  
 意思決定手法) は、オペレーションリサーチの一種で、  
 ピッツバーグ大学のサティによって提唱された意思決  
 定手法の一つである。

対象とするいくつかの候補の選択に迷うときには、判  
 断の過程で、様々な主観的価値基準を設定し、それぞ  
 れの価値基準に照らして、選択対象候補に優先順位を  
 付けたり、選択している。

AHP (階層分析法) は、数量化が困難な主観的価値  
 基準や選択候補の優先度を数値化することで、客観的、  
 合理的に意思決定を行うための手法であり、主観的判断  
 の根拠を説明する道具でもある。

AHPは、その過程が、問題「何を選択するか」、評  
 価基準「主観的価値基準」、代替案「選択対象候補」の  
 階層構造(図-1)となっていることから、この手法の名  
 に由来している。

#### 2-1 AHP (相対評価法) の手順

- ①問題を階層構造にモデル化する。
  - 1) 問題に対する評価基準を設定する。
  - 2) 代替案を設定する。
- ②評価基準を互いに相対比較（一対比較）して、評価  
 する。一対毎の評価基準の関係を主観的尺度（一対

比較値) で表し、評価基準間の相対的な重要度を求  
 める。

- ③各評価基準に関して、代替案を互いに相対比較（一対  
 比較）して、評価する。  
 一対毎の代替案の関係を主観的尺度（一対比較値) で

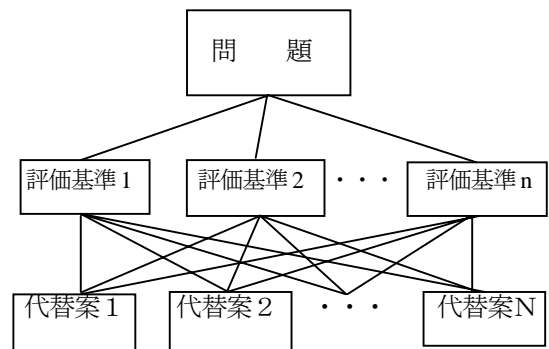


図-1 AHP層構造の階層構造

表し、代替案間の相対的な重要度を求める。

- (②, ③において、一貫性がなければ、一対比較を見  
 直す必要がある。)
- ④評価基準と代替案の重要度の積の和を代替案の総合重  
 要度として求める。

・代替案1の総合重要度

=代替案1の重要度×評価基準1の重要度+  
代替案1の重要度×評価基準2の重要  
度+代替案1の重要度×評価基準3の  
重要度+・・・+代替案1の重要度×  
評価基準nの重要度  
代替案2～Nの総合重要度についても同様の  
計算を行う。

⑤代替案1～代替案Nの総合重要度から代替案を評価、  
選択、順位付けを行う。

2-2 AHP計算の具体例

電気製品の購入について、3機種(A,B,C)のどれを  
選択するかという問題を考える。

評価基準を「価格」、「性能」、「メーカー」と  
し、求める重要度をそれぞれ $w_1, w_2, w_3$ とする。

これらの評価基準がどの程度重要となるのかを評  
価基準同士を表-1(「価格」と「性能」の一对比較  
表)に示された「非常に重要」等の主観的尺度により  
比較する。

「価格」と「メーカー」、「性能」と「メーカ  
ー」についても同様に一对比較を行う。

主観的尺度は、これと対応した線形尺度(一对比  
較値)に置き換えることにより数値化される。

ここでは、主観的尺度を、7,5,3,1の4段階として  
いるが、基本的には、ヒトが正常な判断を下せる限界  
として、9,8,・・・,2,1の9段階としている。

表-1 「価格」と「性能」の一对比較表

評価基準1 価格	主観的尺度						評価基準2 性能
	非常に重要 (2に比べて 1の方が)	重要(2 に比べて 1の方が)	やや重要(2 に比べて1 の方が)	同 じ	やや重要(1 に比べて2 の方が)	重要(1に 比べて2の 方が)	
⑦	5	3	1	1/3	1/5	1/7	
$w_1/w_2 = \text{一对比較値}$							

表-2 一对比較値表

評価基準	価 格	性 能	メーカ-	重要度
価 格	$w_1/w_1=1$	$w_1/w_2=7$	$w_1/w_3=5$	$w_1$
性 能	$w_2/w_1=1/7$	$w_2/w_2=1$	$w_2/w_3=1/3$	$w_2$
メーカ-	$w_3/w_1=1/5$	$w_3/w_2=3$	$w_3/w_3=1$	$w_3$

表-1のような一对比較を、「価格」、「性能」、  
「メーカー」について行い、以下のように評価した。

- ①「価格」は、「性能」と比べて「価格」の方が「非常  
に重要」である。「 $w_1/w_2=7$ 」。
- ②「価格」は、「メーカー」と比べて「価格」の方が  
「重要」である。「 $w_1/w_3=5$ 」
- ③「性能」は、「メーカー」と比べて「メーカー」の方  
が「やや重要」である。「 $w_2/w_3=1/3$ 」

②、③についても、表-1のような一对比較表を作成  
する。

一对比較の回数は、同じ評価基準同士や逆数となる一  
対比較値を除くと、評価基準がn個の場合、 $n(n-1)/2$ 回  
となる。

これらの結果を表-2に表す。

2-2-1 重要度の計算

重要度の計算は、評価基準と代替案について各評価基  
準に照らした一对比較を行う。

重要度の計算は、幾何平均法と行列の性質を利用する  
固有ベクトル法等があり、幾何平均法は、評価の一貫性  
を表す指標が計算できない。

①幾何平均による方法(簡易法)

表-3 幾何平均による重要度計算

評価基準	価 格	性 能	メーカ-	幾何平均	重要度 w
価 格	1	7	5	$(1 \times 7 \times 5)^{1/3} = 3.271$	$w_1=3.271/4.4$ $76 = 0.731$
性 能	1/7	1	1/3	$(1/7 \times 1 \times 1/3)^{1/3} = 0.362$	$w_2=0.362/4.4$ $76 = 0.081$
メーカ-	1/5	3	1	$(1/5 \times 3 \times 1)^{1/3} = 0.843$	$w_3=0.843/4.4$ $76 = 0.188$
計				$3.271+0.362+0.843 = 4.476$	$0.738+0.170+0.091 \approx 1$

② 行列による方法(固有ベクトル法)

②-1

一对比較行列の性質行列の性質を利用する方法で、固  
有ベクトル法と呼ばれる。

一对比較行列|A|の固有ベクトル|w|と最大固有値  
( $\lambda_{max}$ )を計算することで、重要度が求められる。

ここでは、この方法の基礎的な説明を行う。

n行n列の一对比較行列|A|が、(1)のような理  
想的な(数的に矛盾がない。)場合、最大固有値を

$\lambda_{max} = n$ 、|w|を|A|の固有ベクトルとすれば、

$|A| |w| = \lambda_{max} |w|$  (1)の関係となる。

$$|A| |w| = \begin{vmatrix} 1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \cdots & w_2/w_n \\ \cdot & \cdot & \ddots & \cdot \\ \cdot & \cdot & 1 & \cdot \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{vmatrix} = n \begin{vmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{vmatrix} \cdots (1)$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 7 & 1 \\ 1/7 & 1 & 1/7 \\ 1 & 7 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 7/15 \\ 1/15 \\ 7/15 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 \times 7/15 + 7 \times 1/15 + 1 \times 7/15 \\ 1/7 \times 7/15 + 1 \times 1/15 + 1/7 \times 7/15 \\ 1 \times 7/15 + 7 \times 1/15 + 1 \times 7/15 \end{vmatrix} = 3 \begin{vmatrix} 7/15 \\ 1/15 \\ 7/15 \end{vmatrix} \cdots (2)$$

$\lambda_{\max}$ 、 $|w|$  は、 $\{|A| - \lambda E\} |w| = 0$  の関係から求められる。Eは単位行列を表す。

$\{|A| - \lambda E\} |w| = 0$  より、 $|A| - \lambda E = 0$  を理想的な例として、3行3列( $w_1/w_2=7$ 、 $w_1/w_3=1$ 、 $w_2/w_3=1/7$ ) (2) の場合で、行列の計算をすると、

$$|A| - \lambda E = (1-\lambda) \begin{vmatrix} 1 & 7 & 1 \\ 1/7 & 1 & 1/7 \\ 1 & 7 & 1 \end{vmatrix} - \lambda \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = (1-\lambda) \begin{vmatrix} 1 & 7 & 1 \\ 1/7 & 1 & 1/7 \\ 1 & 7 & 1 \end{vmatrix} - \lambda \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \lambda^2(3-\lambda) = 0$$

よって、固有値は、 $\lambda=0,3$ となる。

最大固有値  $\lambda_{\max}=3$  を  $\{|A| - \lambda_{\max} E\} |w| = 0$  に代入すると、

$$\begin{aligned} -2w_1 + 7w_2 + w_3 &= 0 \\ 1/7 w_1 - 2w_2 + 1/7 w_3 &= 0 \\ w_1 + 7w_2 - 2w_3 &= 0 \end{aligned}$$

となり、 $w_1=1$  とすると、 $w_2=1/7$ 、 $w_3=1$  が求められ、重要度の和を1とするため、

$$w_1 = w_1 / (w_1 + w_2 + \cdots + w_n)$$

$$w_n = w_n / (w_1 + w_2 + \cdots + w_n)$$

とすることから、重要度は、

$$w_1 = 1 / (1 + 1/7 + 1) = 7/15$$

$$w_2 = 1/7 / (1 + 1/7 + 1) = 1/15$$

$$w_3 = 1 / (1 + 1/7 + 1) = 7/15$$

となる。

これらを  $|w|$  に代入して、 $|A| |w|$  を計算すると、 $|A| |w| = \lambda_{\max} |w|$  (2) となり、(1) と同様の形となる。つまり、 $|w| = |w|$ 、 $\lambda_{\max}=n$  となる。

実際には、 $|A|$  は、主観的な判断によるものであるため、数的に矛盾する事が普通であり、

$$|w| = |w|, \lambda_{\max} = n$$

とはならないことが多いが、この行列の性質を利用して、近似的に  $w$  重要度や  $\lambda_{\max}$  最大固有値を求めることとなる。

この計算は、Excel の AHP 関数により近似的に求めることができる。

AHP 関数は、(2) の計算を、初期値  $|w| = |1/n \cdot 1/n|$  として、 $|w|$  を求め、 $|w|$  を  $|w|$  と

置き換え、再度計算した  $|w|$  の変化が小さくなるまで繰り返し計算を続けて、重要度  $|w|$ 、最大固有値  $\lambda_{\max}$  を求めている。

## ②-2 AHP 関数による計算

表-4 AHP 関数による重要度計算

評価基準	価格	性能	メーカー	重要度 w	固有値
価格	1	7	5	$w_1=0.731$	$\lambda_{\max} = 3.066$ 整合度 CI = 0.033
性能	1/7	1	1/3	$w_2=0.081$	
メーカー	1/5	3	1	$w_3=0.188$	

幾何平均、AHP 関数のいずれの方法でも重要度は、同じ値となった。

この重要度から一対比較値を逆算すると、

$$w_1/w_2 = 0.731/0.081 = 9.024$$

$$w_1/w_3 = 0.731/0.188 = 3.888$$

$$w_2/w_3 = 0.081/0.188 = 0.431$$

となり、一対比較値  $w_1/w_2=7$ 、 $w_1/w_3=5$ 、 $w_2/w_3=0.333$  と完全には一致していないが、AHP では、一貫性を指標により、許容している。

一貫性の指標として、

$$CI \text{ (整合度)} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

があり、 $CI \leq 0.1 \sim 0.15$  であれば、一貫性があるとしている。

完全に一致する場合は、 $CI=0$  となる。

### 2-2-2 代替案の評価

代替案の評価についても、評価基準と同様に製品 A, B, C の一対比較を各評価基準毎に行い、表-5 の様になった。この代替案の重要度を計算を行った結果は、表-6、表-7、表-8 に示す。(Excel の AHP 関数により計算した。)

表-5 評価基準に関する代替案 (A,B,C製品) の一対比較表

評価基準	代替案	非常に良い(右に比べて左の方が)	良い (右に比べて左の方が)	やや良い (右に比べて左の方が)	同じ	やや良い (左に比べて右の方が)	良い (左に比べて右の方が)	非常に良い (左に比べて右の方が)	代替案
価格	A	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	B
	A	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	C
	B	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	C
性能	A	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	B
	A	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	C
	B	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	C
メーカー	A	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	B
	A	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	C
	B	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	C

表-6 価格に関する評価

	A	B	C	重要度 w
A	1	1/3	1	wa1=0.2
B	3	1	3	wb1=0.6
C	1	1/3	1	wc1=0.2
CI = 0.0 λ <sub>max</sub> = 3.0				

表-7 性能に関する評価

	A	B	C	重要度 w
A	1	5	3	wa2=0.659
B	1/5	1	1	wb2=0.156
C	1/3	1	1	wc2=0.185
CI = 0.015 λ <sub>max</sub> = 3.03				

表-8 メーカーに関する評価

	A	B	C	重要度 w
A	1	1	3	wa3=0.460
B	1	1	1	wb3=0.319
C	1/3	1	1	wc3=0.221
CI = 0.069 λ <sub>max</sub> = 3.14				

### 2-2-3 総合重要度の計算

表-4、表-5、表-6、表-7 より総合重要度を求める。

製品 A の総合重要度

$$\begin{aligned}
 WA &= wa_1 \times w_1 + wa_2 \times w_2 + wa_3 \times w_3 \\
 &= 0.2 \times 0.731 + 0.659 \times 0.081 + 0.460 \times 0.188 \\
 &= 0.2861
 \end{aligned}$$

製品 B の総合重要度

$$\begin{aligned}
 WB &= 0.6 \times 0.731 + 0.156 \times 0.081 + 0.319 \times 0.188 \\
 &= 0.5112
 \end{aligned}$$

製品 C の総合重要度

$$\begin{aligned}
 WC &= 0.2 \times 0.731 + 0.185 \times 0.081 + 0.221 \times 0.188 \\
 &= 0.1896
 \end{aligned}$$

- 総合重要度の大きさ順では、製品 B ≫ 製品 A > 製品 C となった。このことは、評価者は、性能が最も良い製品 A より、価格重視の製品 B を評価したことが判る。
- 整合度は、評価基準、代替案ともに、CI < 0.1 となっており

### 2-3 集団による評価方法

技術評価は、集団によることが望ましい。評価者個々の経験、知識による主観的な判定は偏る可能性があり客観性が損なわれる恐れがあるからである。

集団としての技術評価が客観的に行われるためには、工事の課題や評価基準設定の意思統一が前提である。

AHPの評価者個々の評価の統一方法は、数学的には、以下の①、②があるが、評価者全員が納得することが重要であることから、③によることが望ましい。

意見の統一ができない場合は、①、②の方法を使用すれば良い。

- ① 個々に行った評価基準及び代替案の一対比較値を幾何平均して、平均値により重要度を求める。(一対比較値の逆数の関係を損ねないため、幾何平均とする。)
- ② 個々に行った代替案の重要度または、総合重要度の算術平均を行う。
- ③ 合議により、評価基準及び代替案の一対比較値を決定し、重要度を求める。

### 3. AHPの技術提案評価への適用

総合評価落札方式の性能等の評価方法は通達(注1)に示され、評価項目の数値化が困難な性能等の評価は、判定方式、順位方式によるとしている。

AHPは、優先順位を数値(重要度)で表すことができるので、順位方式に適した方式であるが、1位が満

点、最下位0点となることから、参加者全者の技術提案のレベルが低い場合は、1位が過大評価され、また、高い場合は、最下位が過小評価される恐れがある。

AHPによって求められた重要度を技術加算点に置き換える方法を以下に示す。

①代替案の総合重要度の最高値で各代替案の総合重要度を除した数値(%表示)に配点を乗ずる。

②代替案の総合重要度の最高値と最低値の差により、比例配点する。

Aの加算点 = 配点 × (Aの総合重要度 - 最低値) / (最高値 - 最低値)

②の方法は、技術提案の総合重要度に差がないとしても、入札参加者に満点と0点が存在することになるので、配点が多い場合は、課題を複数に分け、それぞれについて、AHPによる評価を行うことが方法としてある。

また、技術提案の総合重要度に差がない場合や相対比較であることによる評価の過大、過小の問題については、技術提案の内容(最も高い評価者が満点に相当しない等)によっては、配点の上限、下限を限定することも方法として考えられる。

課題に対する評価基準は、「実現性」、「的確性」、「独創性」等が考えられ、互いに従属性のない基準を設定する。

課題が具体的な場合は、課題自体を評価基準とすることも考えられる。

当部のAHP評価実施例では、簡易型4件、標準型1件について、判定方式との比較を行い、標準型2件について、AHP(配点方法は②)により評価を行った。

### 3-1 AHP(絶対評価法)

AHP(相対評価法)の他に、絶対評価法と呼ばれる手法もあるので紹介する。

相対評価された各評価基準に対して、各代替案を評価する絶対評価法がある。この方法は、代替案同士を相対評価しないので、技術提案のレベルに左右されないことや、代替案の一対比較を行わないので、評価者の負担が軽減されると思われる。

この方法の技術評価への適用を判定方式で実際に評価した結果と対比して説明を行う。

表-9は、参加者毎に評価基準に照らして、技術提案が適切に記載されているかどうかの数により、加算点を決める判定方式である。

絶対評価法では、この工事の内容を考慮し、評価基準②~⑦の一対比較を行い、重要度(CI=0.069)を求めた。

表Aの3項目、表Bの4項目については、項目間の重要度は同一とする。

次に、各評価基準に照らして、代替案の比較を行う。

実際の評価は、「該当」、「該当なし」の2とおりのであるが、「該当」でも優劣があると考え、絶対評価

法では、「良い」、「悪い」等の数とおりの評価となるが、実際の評価に従い、ここでは、「該当」、「該当なし」の一対比較を行い、重要度(評価水準)をそれぞれ0.9、0.1(CI=0)とした。

評価水準に重要度を乗じ、総合重要度とし、これらの計に配点を乗じて加算点とした。

実際の評価では、3社が同点となるが、絶対評価法では差が付くことになる。すべて「該当なし」の場合の配点は、0.22となる。

### 4. おわりに

総合評価落札方式の課題設定及び評価方法等は、適正で公正中立な評価及び透明性等の確保が必要であり、現行の評価方法等には未だ多くの課題がある。

AHPによる評価は、技術提案の差を細かく評価できる反面、入札参加者が多い場合、多大な労力を要し、これに加えて、透明性に関しては、従来と同様に評価の説明が必要となる。

現行の判定方式は、評価の労力の面では、AHPと比べると労力を要せず、また、絶対評価であるから、評価は過大または、過小となることもなく、大きく評価を見誤ることがない長所がある。

今後とも、様々の検討がなされ、評価方法等の変更が予想される。評価方法へのAHP利用については、国土交通省の機関で検討されているようでもあり、今後、AHPを利用した評価が提案される可能性は否定できない。

本報告が、評価方法の選択肢として、AHPを適用する場合の参考となれば幸いである。

注1) 平成17年10月21日

北開局工管第164-1・164-2号

工事に関する入札に係る総合評価落札方式の性能等の評価方法について

#### 1(4) 加算点の評価方式

評価項目の加算点の評価方式は、標準ガイド2 II 5に従い、性能等を数値化できるものについてはAによるものとし、数値化が困難で定性的に表示せざるを得ないものについては、イ又はウのいずれか適切なものによるものとする。

#### ア数値方式

評価項目の性能等の数値により点数を付与する方式

この場合、標準的には、提示された最高の性能等の数値に50点(加算点が50点の場合)から10点(加算点が10点の場合)を、最低限の要求要件を満たす性能等の数値に0点を付与する。また、その他の入札参加者が提示した性能等については、それぞれの性能等の数値に按分した点数を付与するものとする。

#### イ判定方式

数値化が困難な評価項目の性能等に関して、例えば、優・良・可で評価及び判定する方式

この場合、標準的には、それぞれに50点~10点、25点~5点、0点を付与するものとする。なお、4段階以上で評価及び判定することもできるものとする。

ウ順位方式

数値化が困難な評価項目の性能等に関して、入札参加者を順位付けし、順位により点数を付与する方式

この場合、標準的には、入札参加者の最上位者50点～10点、最下位者に0点を付与し、中間の者には均等に按分して点数を付与するものとする。

表-9 絶対評価法による評価方法の対比表

評価方法 評価基準 \ 社名	実際の評価				AHP(絶対評価法)							
	A	B	C	D	評価基準 の 重要度	A		B		C		D
						評価 水準	総合 重要 度	評価 水準	総合 重要 度	評価 水準	総合 重要 度	総合 重要 度
①表 A 及び表 B でチェックされた項目が記述されている。(表 A、表 B とも1以上該当)		○										
② 表 A	・架空線への施工配慮				0.1045	0.1	0.010	0.9	0.094	0.9	0.094	0.010
	・地下埋設物への施工配慮											
	・近接民家への施工配慮		□	□								
③ 表 B	・土の締固めの管理				0.3640	0.1	0.036	0.9	0.328	0.1	0.036	0.036
	・冬期施工の品質管理											
	・コンクリートの品質・出来形管理		□									
	・コンクリートの打設方法の配慮											
	・寒中コンクリートの施工管理											
④配慮事項の設定理由の適切性	○		○	○	0.1316	0.9	0.118	0.1	0.013	0.9	0.118	0.118
⑤仕様書に照らした技術的所見の適切性	○	○	○	○	0.1360	0.9	0.122	0.9	0.122	0.9	0.122	0.122
⑥現地の環境条件を踏まえた記述の適切性		○	○	○	0.0700	0.1	0.007	0.9	0.063	0.9	0.063	0.063
⑦配慮内容の工夫	○	○	○	○	0.1940	0.9	0.175	0.9	0.175	0.9	0.175	0.175
○の計	3	4	4	4	計1.0		0.468		0.795		0.608	0.524
評価 4以上:優 配点 2 2~3:良 配点 1 1以下:可 配点 0	良 1	優 2	優 2	優 2	計0.9 × 2 点		1.04		1.77		1.35	1.16