

AHP法による提案技術の総合評価に関するシミュレーション

Simulation on A Comprehensive Evaluation through The Application of AHP

大成建設(株) 石井昌次*
大成建設(株) ○金子研一**
北海道大学 石島洋二***

By Masatugu ISHII, Kenichi KANEKO, and Youji ISHIJIMA

技術提案型の入札制度が試行され始めているが、この制度の目指しているところはコストダウンである。しかし、施工法の選定にあたって、コストだけを重視すると環境問題や安全性等に対する個々の技術が持つ長所を評価することが難しくなり、新しく開発された技術の適応範囲を狭める場合がある。このため、各要素を全て勘案し、総合的に評価することが重要である。

従来から比較表に基づいて各施工法の順位を決めていたが、ここではさらに合理的な方法として、意志決定支援システムの一つであるAHP(階層分析法)と呼ばれる手法を採用し、シールドの発進立坑の施工方法を例題に応用した。その結果、AHP法は工法の合理的な総合評価に応用可能なことがわかった。また、AHP法に従うと、工事費が多少高くても他の評価項目の優秀さから総合評価は上位になることがわかった。

【キーワード】入札制度、新技術導入、技術提案総合評価方式、AHP法

1. はじめに

技術提案型の指名競争入札の導入に取り組む自治体が増えてきている。特に、技術的に難易度の高い工事の選定については、経済性だけでなく品質、施工性、耐久性、信頼性、供用性等の項目について提案内容を点数化し、工事ごとに重視する項目に重みをつけ、総合点で順位づけをする。しかし、評価項目について、客観的な比較が可能なものと、主観的判断に頼らざるをえないものがあるため、その評価方法は企業者によって異なり、定まっていないのが現状である。

主観的判断に頼らざるをえない問題を扱う方法にAHP (Analytic Hierarchy Process, 階層分析法) と呼ばれる意志決定支援システムがある。ピッツバーグ大学のSaatyにより開発されたもので、国内ではアンケートの分析などに使われ始めてきている。本文ではシールドの発進立坑の施工方法の選

定に際し、グループで、AHP法を活用した例を報告する。

2. 総合評価の重要性と方法

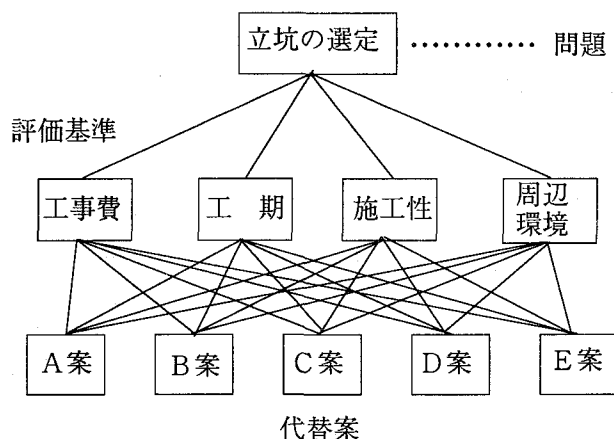
立坑の施工法を選定する場合、評価項目として、工事に要する用地占有面積、施工時間、安全性、工事管理の難易、工事費等があげられる。施工法の選定にあたっては、一つの観点だけから判断するのは難しい。例えば、工事費だけに基づいた評価は、技術の適応範囲を狭め、個々の技術が持つ長所を生かすことができないと考えられる。そこで、各要素を全て勘案した総合的な評価を試みる。

従来、土木工事における工法選定は、しばしば比較表に基づいてなされている。すなわち、施工可能な方策を列举し、それぞれに対しいくつかの評価項目について3～5段階程度の評価を行い、これを基に工法を選択するわけである。通常は判定に便利のように、列に各工法、行に評価項目を取ったマトリックス表示をする。これが比較表で、表-1はその一例である。この方法で問題なのは、各項目の評価作業から工法の選択に至る過程が曖昧なことであ

* 技術開発第二部 03-5386-7563

** 技術開発第二部シールド工法開発室
03-5386-7567

***工学部資源開発工学科 011-706-6300



図－1 問題の階層構造

る。マトリックス中に最低の評点（つまり×）がない限り，工事費が最小の工法が採用されることが多い。

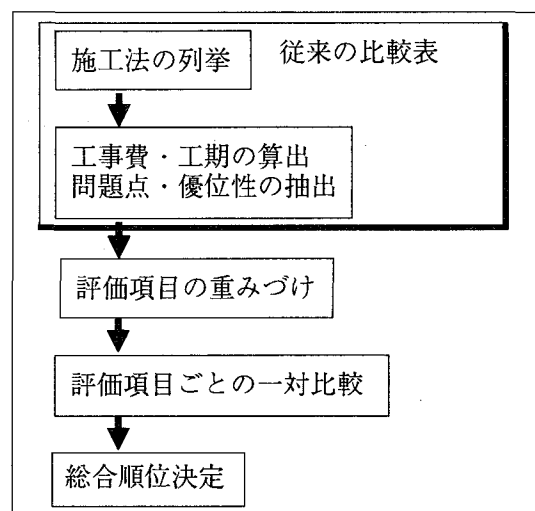
しかし，この判断方法には問題がある。何故ならば，評価項目の中には費用に換算できないものも含まれているからである。例えば，施工中および完成後の環境保全や安全性，景観といった項目がこれに該当する。

比較表に基づいて各施工法の順位を決める合理的な方法として，ここではAHP法を用いることにする。

立坑築造工法に係わる評価項目として，工期，工費，土質・地下水に対する適応性，補助工法の選定などを挙げることができる。現場の状況によっては，路下施工の適否，施工面積，周辺環境，安全性等も評価項目に含めることができる。この他に材料の量，廃棄物の種類と量，労働力といったものも評価項目に含めることができよう。

しかし，上に述べた項目全てを考慮しようとすれば，問題が複雑になり，判定時に混乱を招く危険性がある。そこで，評価項目をグループ化し，全体の評価項目の数を少なくすることにする。

まず，評価項目については，検討の対象になる施工法が所定の条件下で適用可能という前提の下に，工事費，工期，施工性，周辺環境の4つとする。施工用地，作業上の安全性は「施工性」に，騒音や振動，地盤沈下による影響等は「周辺環境」に含ませる。補助工法は4つの項目の各々に含ませる。このように，あらゆる評価項目は4つの項目のいずれかに含ませることにする。問題の階層構造を図－1に



図－2 AHPによる評価手順図

示す。

AHP法では，以下に示す手順に従って評価が下されるが（図－2参照），総合評価を点数で与えるために，主観的な判断を排除しやすいという特徴がある。

- ①施工条件にあった施工法を列挙する。
- ②各施工法毎に，積算工事費，工期，施工性，周辺環境の4項目に関して問題点と優位性を検討する。ここまでは，従来の比較表による評価方法と変わらない。
- ③評価項目について，計画中の工事の条件を加味した相対的な重要度を表す重み（weight）を決める。
- ④それぞれの評価基準毎に各工法を一対比較し，どちらがどの程度よいか，つまり優先度（priority）を決める。
- ⑤各工法について評価基準毎の重みと優先度の積の総和を求める。これが総合的な評価値となる。

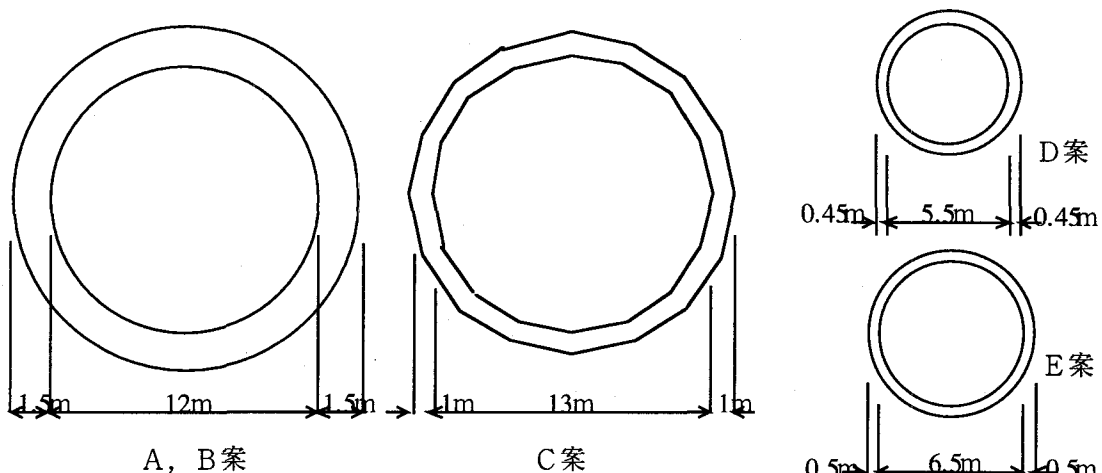
3. 評価例

住宅地の公園内を発進立坑とする工事を例に挙げ，AHP法により各施工方法を評価する。A案はニューマチックケーソンによる施工法，B案は圧入ケーソン，C案は地下連続壁工法，DおよびE案はシールドによる施工方法とした。従来の比較表を用いた方法では，同工事の場合，最も工事費の低かったD案が最良と評価された。

土質は砂，シルト，砂礫の互層で，施工条件としては，立坑内深度40mの位置より外径4mのシールドトンネルが発進するものとする。また，将来外径4mのトンネルを反対側に接続させる必要がある。

表－１ 立坑築造工法の評価（総合評価は従来の方法による）

案	評価項目	工事費 億円	工期 ヶ月	施工性	周辺環境	総合 評価
A	ニューマチック ケーソン工法	81.7	51	普通	悪い	△
B	圧入オープン ケーソン工法	82.3	52	よい	普通	△
C	地下連続壁工法	86.3	63	悪い	よい	△
D	シールド工法 1	81.2	51	普通	よい	○
E	シールド工法 2	84.7	50	よい	非常によい	△



図－３ 立坑の断面形状

立坑工事をニューマチックケーソン工法で行う場合、エアブローが懸念される。また、連続地中壁工法で行う場合には、盤膨れの危険を避けるために壁長は100m程度にする必要がある。樹木の多い公園内に立坑を造るため、施工の用地面積は極力狭くすることが望まれる。また、周囲には重要構造物が多いので、周辺地盤の沈下は許されない。

工法の概要、長所・短所等の検討を経て作成した比較表を表－１に示す。また、各施工法によって構築される立坑の断面を図－３に示す。列举した施工法のうち、シールド工法 1，2 はいずれも立坑と横坑の連続掘進が可能な球体シールド工法を意味する。通常、球体シールド工法の立坑径は、立坑底部で球体を利用して横坑を掘進するシールド（以下ヨコシールドと呼ぶ）が発進可能な最小寸法として設計される。立坑の中からヨコシールドを発進させるためにはこの設計で決まる立坑寸法では小さすぎる。このため、球体を利用してシールドを発進させるための必要な寸法で立坑を設計し、将来、到達立

表－２ 評価項目の重みの決定

	工事費	工期	施工性	周辺環境	仮の重み	重み
工事費	1	4	1/3	3	1.414	0.34
工期	1/4	1	1/2	1	0.595	0.14
施工性	3	2	1	1/2	1.316	0.31
周辺環境	1/3	1	2	1	0.904	0.21
合計					4.229	1

坑として受け入れる施工方法をシールド工法 1 とした。また、立坑の寸法を大きくして、将来この立坑を利用して反対側にヨコシールドが発進可能な寸法に設計する案をシールド工法 2 とした。

評価項目の重みづけをするために、まず、互いの評価項目の相対的な重要度（ x_{ij} ）を求める。相対的な重要度は 1～5 の値をとるものとし、各値は次のような意味があるものとする。

1：同程度 3：若干重要 5：明かに重要

2および4は、その中間であることを意味する。表-2の左側はそれを示したものである。

工事費を例に重みづけの方法について説明する。工事費と工期では、工事費の安いほうが重要であり、工期に対する工事費の重みを4とした。

公園内の樹木をできるだけ伐採したくないというのが基本の条件にあるので、できるだけ狭い用地で施工する必要がある。このため、少々の工事費の差なら施工性を優先したいため、施工性に対する工事費の重みを1/3とした。周辺環境に関しては、地盤沈下は許されないものの、周囲に住宅や商店街がないため、周辺環境に対する配慮は普通程度で良く、これに比べると工事費の方が若干重要であると判断される。このため、周辺環境に対する工事費の重みを3とした。

次に、相対的な重要度 x_{ij} を用いて評価項目の仮の重みを次式により決める。

$$n \sqrt{x_1 \cdot x_2 \cdots x_n} \quad (\text{式-1})$$

ここに n は評価項目の数である。

各評価項目の重みを、仮の重みを仮の重みの総和で割った値として定義する。この重みは表-2の右側に示されている。

今度は、評価項目ごとに一对の工法について優劣を比較する。優劣の程度は下記の5つのランクのいずれかに属するものとする。

E: "同じくらい" よい, W: "より" やや" よい, S: "より" かなり" よい

D: "より" はるかに" よい, A: "より" 圧倒的に" よい

EとWの間はE-Wとすることで、実際には9つのランクに分けたことになる。

工事費には、立坑構築費の他に、発進坑口部の地盤改良および横坑の費用を含ませる。各案の工事費の優劣については、グループで事前に決めておく。ここでは1億円以内の差ならEとし、2億円の差があれば優劣が1ランク異なるものとする。

工期の優劣については、1.5ヶ月の差ならEとし、3ヶ月の差があれば優劣が1ランク異なるものとする。

施工性についての優劣は、立坑施工に必要な用地面積の大きさを主、横坑施工時のやりにくさや作業

表-3 施工性の比較根拠

比較項目 \ 施工法		A	B	C	D	E
用地 (m^2)	立坑施工時	1500	1200	3000	1200	1200
	横坑施工時	1200				
立坑内空径 (m)		12	12	13	5.5	6.5
作業の 安全性	圧気使用	×	○			
	鏡開け作業	△			○	

の安全性といった点を従として判断する。比較する判断根拠を与えるために、A～Eまでの各施工方法で必要とする用地面積、立坑の内空寸法、圧気使用の有無、鏡開け作業の有無を表-3に示す。作業の有無については作業がない場合の方が優れているものとする(○印)。

周辺環境の優劣に関する判断基準は曖昧性を持っているが、ここでは下記のように各工法で懸念される問題点をあげ、その数で優劣をつける。当然、各施工案で抱える問題に対しては補助工法によって対策がなされるので、決定的な問題にはならない。

- ・ケーソン沈設時の周辺地盤の引き込みの可能性
- ・地盤改良の併用による土壌および地下水の汚染の可能性
- ・地下水低下工法併用による周辺地盤の沈下の可能性
- ・圧気使用による周辺へのエアブローの可能性
- ・地下水脈切断の可能性
- ・大型車両の出入り頻度
- ・騒音および振動の発生
- ・その他

シールド工法の全体の工期は、必ずしも短くないが、現地での作業工期は他の工法に比べて大幅に短縮される点は、工期でなく周辺環境として評価しても良い。しかし、人員計画、シールドの組み立て精度、立坑の精度管理、コンクリートの品質管理といった工事の管理に関する特長は、すでに工期、施工性に織り込み済みであるとの判断から、省くことにした。

表-4～7に一対比較をして得たランクづけの結果を示す。次に、各ランクに重み y_{ij} を与える。ここでは、E, W, S, D, Aに対する重みは、それぞれ1, 3, 5, 7, 9, とする。

それぞれの評価項目毎に各施工法の仮の優先度を次式から求める。

$$n \sqrt{y_1 \cdot y_2 \cdots y_n} \quad (\text{式-2})$$

工事費についての各施工法の仮の優先度は、表-4から次のようになる。

- A $(1 \times 1 \times 5 \times 1 \times 3)^{1/5} = 1.718$
- B $(1 \times 1 \times 5 \times 1/2 \times 3)^{1/5} = 1.496$
- C $(1/5 \times 1/5 \times 1 \times 1/6 \times 1/2)^{1/5} = 0.320$
- D $(1 \times 2 \times 6 \times 1 \times 4)^{1/5} = 2.169$
- E $(1/3 \times 1/3 \times 2 \times 1/4 \times 1)^{1/5} = 0.561$

それぞれの評価項目毎の各施工法の優先度を、仮の優先度をその総和で割った値として定義する。工事費に対する各施工法の優先度は

$$1.718 + 1.496 + 0.320 + 2.169 + 0.561 = 6.264$$

より、以下のようになる。

- A $1.718 / 6.264 = 0.274$
- B $1.496 / 6.264 = 0.239$
- C $0.320 / 6.264 = 0.051$
- D $2.169 / 6.264 = 0.346$
- E $0.561 / 6.264 = 0.090$

同様に、工期、施工性、周辺環境について各施工法の優先度を求めた結果を、各評価項目の重み（表-2参照）と併せて表-8に示す。最後に、各施工法毎に評価項目毎の重みと優先度の積の総和を求め、これをその施工法の総合得点とする。各施工法の総合得点は次のようになる。

- A $0.34 \times 0.274 + 0.14 \times 0.243 + 0.31 \times 0.053 + 0.21 \times 0.068 = 0.158$
- B $0.34 \times 0.239 + 0.14 \times 0.207 + 0.31 \times 0.368 + 0.21 \times 0.108 = 0.247$
- C $0.34 \times 0.051 + 0.14 \times 0.028 + 0.31 \times 0.045 + 0.21 \times 0.184 = 0.074$
- D $0.34 \times 0.346 + 0.14 \times 0.243 + 0.31 \times 0.166 + 0.21 \times 0.320 = 0.270$
- E $0.34 \times 0.090 + 0.14 \times 0.279 + 0.31 \times 0.368 + 0.21 \times 0.320 = 0.251$

施工法を総合得点の大きさの順にならべると以下のようになる。

$$D \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow C$$

工事費だけの比較に基づく順位では次のようであ

った。

$$D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow C$$

AHP法では、E案（シールド2）が高く評価されており、シールド工法が1、2位を占めていることがわかる。

シールド工法で施工する場合、地下連続壁工法で使用する掘削機械と異なり、シールドは転用がきかないため、シールドの製作費が工事費に占める割合が大きい。このため、立坑の断面によっても異なるが、立坑深度が35m程度より深くないと工事費だけでは他の施工法より高い施工法と言われている。

例題は、立坑の深度も深く、施工のための仮設用地も狭く、シールド工法に有利な条件のものであったが、条件が異なれば、当然、順位も異なっていたであろう。

以上、例題の評価にAHP法を応用してわかった知見を以下に述べる。

- ①AHP法は、施工法の合理的な総合評価に应用可能と考えられる。
- ②AHP法に従うと、施工法によっては工事費が多少高くても他の評価項目の優秀さから総合評価は上位になる。

4. おわりに

AHP法によれば、工法の総合評価を総点によって行うことができ、客観的な評価が可能になる。また、本手法によると、経済性のみの比較では劣る場合でも、条件により総合評価が高くなり採用可能となる場合が生じることを示した。

ここでは立坑の施工方法の選定について報告したが、グループでルールを決めた段階で選好していた施工法が、実際に計算してみると予想していなかった順位になる場合があるが、結果についてはメンバー全員が納得できるのではないかと考える。AHP法は階層構造にヒトを入れることで、ヒトに優先度をつけることもでき、グループによる意思決定に活用できる手法である。

【参考文献】

- 1)西田俊夫編：おはなしファジー，日本規格協会，1994-5

表－４ 工事費に関する一対比較

施工方法	A	B	C	D	E
A	－	E	S	E	W
B	E	－	S		W
C			－		
D	E	E－W	S－D	－	W－S
E			E－W		－

表－５ 工期に関する一対比較

施工方法	A	B	C	D	E
A	－	E	A	E	E
B	E	－	D－A	E	
C			－		
D	E	E	A	－	E
E	E	E－W	A	E	－

表－６ 施工性に関する一対比較

施工方法	A	B	C	D	E
A	－		E		
B	D	－	D	W	E
C	E		－		
D	S		S	－	
E	D	E	D	W	－

表－７ 周辺環境に関する一対比較

施工方法	A	B	C	D	E
A	－				
B	E－W	－			
C	W	E－W	－		
D	W－S	W	E－W	－	E
E	W－S	W	E－W	E	－

表－８ 立坑築造に関する各施工法の優先度

	工事費	工期	施工性	周辺環境
重み	0.34	0.14	0.31	0.21
A	0.274	0.243	0.053	0.068
B	0.239	0.207	0.368	0.108
C	0.051	0.028	0.045	0.184
D	0.346	0.243	0.166	0.32
E	0.090	0.279	0.368	0.32