

社会基盤施設の環境負荷を考慮した設計法の開発

岐阜大学 工学部 学生員 原 拓央

正員 本城 勇介

学生員 松津 成人

1. 研究目的と内容

21 世紀を迎えようとしている近年、様々な分野で地球環境の悪化が叫ばれている。社会基盤施設の建設においても、資源と環境の持続的な保全を可能にする社会システムの構築が求められつつある。

そこで本研究では、建設工事における環境負荷の実態を把握し、環境負荷を考慮した新しい設計法の構築を目指し、多目的な評価項目を同時に考慮した社会基盤構造物の最適な設計代替案の選択を試みる。具体的には環境負荷を定量的に求めるための指標として二酸化炭素排出量を用い、経済性(コスト)、安全性など多目的下での意思決定問題を考える。手法としては、多次元評価尺度空間内に、意思決定者が持つ、一つの多属性効用関数を引き出し定量化する方法である多属性効用分析法、および比率尺度による一対比較をもとに全体としての項目間の比率尺度を決定する方法である階層分析法 (AHP) の二つを用いる。意思決定者の持つ効用関数を引き出すためのアンケートを作成し、実施する。ここに、アンケート回収前に例題として実施した港湾構造物の設計代替案を選択・評価結果を示す。

2. 環境負荷の推定

建設構造物における新しい設計法を考案するにあたって本研究では、環境負荷の指標として CO_2 排出量をその評価要素として用いる。

CO_2 排出量は産業連関表より求めた CO_2 原単位 (建設工事に使用される各材料を 1 単位生産するときの二酸化炭素排出量) と、建設材投入量を用いることにより算出できる。なお、 CO_2 原単位は 1990 年産業連関表に基づき算出した電力中央研究所の本藤の推定値を用いる。

3. 階層分析法 (AHP)

3.1 階層分析法の概要と手順

階層分析法は比率尺度による一対比較をもとに、全体としての項目間の比率尺度を決定する方法である。

具体的には、ある意思決定をするに際して、その評価基準が複数個存在し、しかもそれらの計量化が難しく一軸的に評価できない場合でも、問題をいく

つかのレベルに階層化、分解し、一対比較と言われる比較的判断の容易な形式に持ち込み、後にこれらの結果を合成することにより総合的な評価尺度をその中から見出すとする試みである。

階層分析法は、次のような手順で行われる。

- (1) 評価したい問題について、階層構造に基づき分析することによって階層図を作成する。
- (2) 各レベルの要素について、単純に 2 つずつ比べるという一対比較を親要素の重要度について行う。
- (3) 一対比較行列の最大固有値、固有ベクトルをべき乗法を用いて算定する。
- (4) 一対比較値 $\{a_{ij} = (\text{要素 } I_i \text{ の重要度}) / (\text{要素 } I_j \text{ の重要度})\}$ が妥当かどうかを、整合度・整合比によって評価する。
- (5) 階層に基づき重要度の合成を行い、最終要素の優劣を判断する。

3.2 一対比較行列の性質

今 n 個の評価項目 $I_1 \cdots I_n$ があり、その本来の重要度が $W_1 \cdots W_n$ であるとする。そのとき、項目 I_i と I_j の重要度の一対比較 a_{ij} は

$$a_{ij} = w_i / w_j$$

という関係を満たす。したがって、一対比較行列 $A = (a_{ij})$ は次のような形となっている。

$$A = \begin{pmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \cdots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \cdots & W_2/W_n \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \cdots & W_n/W_n \end{pmatrix}$$

この A の右側から、重要度ベクトルを乗じて

$$\begin{pmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \cdots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \cdots & W_2/W_n \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \cdots & W_n/W_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix}$$

この関係式より重要度ベクトルは A の固有ベクトルであり、 n は固有値であることがわかる。しかも n は行列 n の最大固有値である。また、理想的な一対比較行列は完全な整合性 (一対比較値の妥当性) をもったランク 1 の行列になるが、評価項目が多い場合は現実的にランク 1 にはならない。そこで、整

合性を高めるために最大固有値以外の固有値の平均を整合度とし、整合度を行列の次数に関して重み付けしたものを整合比として用いる。それらの値が0.1(場合によっては0.15)以下である場合は、経験的に合格とする。整合性が悪い場合は、決定した一対比較値を再検討する必要がある。

4. 具体的な設計代替案に関する評価

4.1 評価対象

今回は、護岸についての最適な設計代替案の選択を試みた。設計条件は水深4m、軟弱粘土層10m、埋め立て地盤高5mであり、設計代替案に関しては、二重鋼矢板式、鋼製セル式、ジャケット式、ケーソン式+止水壁、捨石式+自立鋼矢板式の5通りを用意した。評価するための道具となる設計代替案に関するパラメータを表1に示す。

表1 護岸の設計代替案に関するパラメータ

	経済性 コスト (万円/m)	環境負荷 CO ₂ (kg/m)	施工性	工期	耐震性
二重鋼矢板式	558	7200	○	△	△
鋼製セル式	562	6000	◎	◎	○
ジャケット式	586	5900	◎	◎	◎
ケーソン式 +止水壁	663	5600	○	△	×
捨石式+ 自立鋼矢板式	720	5700	△	○	×

4.2 AHP階層図

本研究では設計代替案の評価項目として、経済性、環境負荷、施工性、工期、耐震性の5項目を用いた。今回の問題を階層化したものを図1に示す。

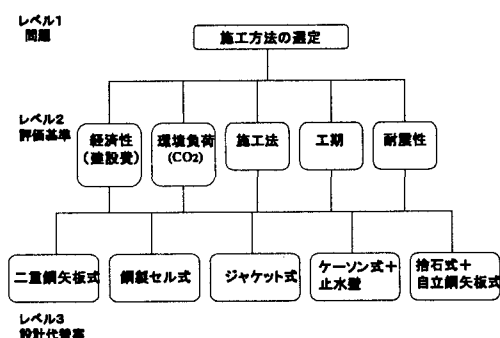


図1 AHP階層図

4.3 一対比較行列と項目の重要度s

評価項目に関して、客観的な価値観をもとに決定した一対比較行列とその固有ベクトルのウェイトである重要度を表2に示す。また、設計代替案に関して、評価項目ごとのパラメータをもとに決定した一対比較行列と重要度を表3に示す。なお本報告には、この中の代表的なもののみを掲載した。

表2 評価項目に関する一対比較行列と重要度
(環境負荷をやや考慮したとき)

評価基準	経済性	環境負荷	施工性	工期	耐震性	重要度
経済性	1	5	7	5	3	0.490
環境負荷	1/5	1	3	3	1/3	0.126
施工性	1/7	1/3	1	1/3	1/5	0.044
工期	1/5	1/3	3	1	1/5	0.075
耐震性	1/3	3	5	5	1	0.264

表3 設計代替案に関する一対比較行列と重要度
(環境負荷に関して)

環境負荷	二重鋼矢板式	鋼製セル式	ジャケット式	ケーソン式+止水壁	捨石式+自立鋼矢板式	重要度
二重鋼矢板式	1	1/7	1/7	1/8	1/8	0.030
鋼製セル式	7	1	1/2	1/3	1/2	0.137
ジャケット式	7	2	1	1/3	1/2	0.180
ケーソン式+止水壁	8	3	3	1	1	0.357
ケーソン式+止水壁	8	2	2	1	1	0.296

4.4 総合的合成重要度

設計代替案の総合的な評価尺度である階層分析による合成重要度を表4に示す。下に示した評価結果から、この護岸を建設するに際して、環境負荷をやや考慮したときジャケット式が最も適した施工法であるといえる。

表4 環境負荷を考慮したときの合成重要度

環境負荷	経済性 0.490	環境負荷 0.126	施工性 0.044	工期 0.075	耐震性 0.264	重要度
二重鋼矢板式	$\times 0.444$ 0.218	$\times 0.030$ 0.004	$\times 0.126$ 0.006	$\times 0.057$ 0.004	$\times 0.122$ 0.032	0.264
鋼製セル式	$\times 0.302$ 0.148	$\times 0.137$ 0.017	$\times 0.349$ 0.015	$\times 0.370$ 0.028	$\times 0.258$ 0.068	0.276
ジャケット式	$\times 0.159$ 0.078	$\times 0.180$ 0.023	$\times 0.349$ 0.015	$\times 0.370$ 0.028	$\times 0.514$ 0.138	0.280
ケーソン式+止水壁	$\times 0.067$ 0.033	$\times 0.357$ 0.045	$\times 0.126$ 0.006	$\times 0.057$ 0.004	$\times 0.053$ 0.014	0.102
ケーソン式+止水壁	$\times 0.029$ 0.014	$\times 0.296$ 0.037	$\times 0.050$ 0.002	$\times 0.146$ 0.011	$\times 0.053$ 0.014	0.078

5. 結び

本研究ではこれまで困難とされてきた構造物設計代替案における多目的評価を、階層分析法を用いることにより、経済性、環境負荷、耐震性などという多軸的な評価を基数的に表すことが可能であることを示した。また、アンケート解析結果、多属性効用分析法による多目的評価については講演時に譲る。

「参考文献」

- 1) 石谷 久・石川 眞澄 (1992)「社会システム工学」
- 2) 今野 浩 (1992)「数値決定法入門」