

環境負荷を考慮した建設構造物の設計法に関する研究（１）

— AHP（階層分析法）を用いた最適化 —

岐阜大学工学部 学生会員 ○石倉 宙
 岐阜大学工学部 正会員 本城 勇介
 岐阜大学工学部 正会員 小尻 利治
 岐阜大学工学部 学生会員 魚住 研司
 日建設計 正会員 杉山 郁夫

1、はじめに

近年、資源と環境の持続的な保全を可能にする社会システムが求められている。本研究では、建設工事における環境負荷の実態を正確に把握し、環境負荷を考慮した新しい設計法の構築を目指す。具体的には、環境負荷の指標としてCO₂発生量を用い、その他の経済性、安全性などの評価項目と共に、AHP（階層分析法）により高速道路や護岸などについて、数例の設計代替案の中から最適と思われるものを決定する手法を提案する。

2、CO₂発生量の算出

建設構造物における新しい設計法を考えるにあたって本研究では、環境負荷の指標としてCO₂発生量をその評価要素として用いる。その理由としては、次のようなことなどが上げられる。

- 1）二酸化炭素の発生は、重要な資源である化石燃料の燃焼と直結している。
- 2）地球温暖化、酸性雨、大気汚染による公害などの環境問題は、二酸化炭素の発生と密接に関係している。

CO₂発生量は産業連関表より求めたCO₂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発生量）と、工事材料表より求めた建設材投入量を用いることにより算出する。なお、CO₂原単位は1985年産業連関表に基づき算出した伊香賀のデータ（外岡によるCO₂原単位分析データの二次加工版）を用いる。

3、AHP（階層分析法）

3-1、AHPの概要と手順

AHP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最大公約数的な判断をその中から見い出そうとする試みである。

AHP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図を作る。
- （２）各レベルの要素について、親要素に対する重要度の一対比較を行う。
- （３）一対比較行列の最大固有値、全固有値の和に対する最大固有値の割合、固有ベクトルを求める。
- （４）階層に基づき重要度の合成を行う。

3-2、AHPの計算理論

今 n 個の評価項目 $I_1, \dots, I_n$ があり、その本来の重要度が $w_1, \dots, w_n$ 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値 a_{ij} は

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (1)$$

という関係を満たすはずである。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。

$$A = \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \quad (2)$$

この A の右側から、重要度のベクトルを乗じて

$$\begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

この関係式より重要度のベクトルは 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 A の最大固有値である。なお本研究では、最大固有値と固有ベクトルを求めるためにべき乗法を用いる。また、理想的な一対比較行列はランク1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（一対比較値の妥当性）を高めるために全固有値の和に対する最大固有値の割合を整合度とし、その値が1に近づくように一対比較値を再検討する。

4、試算例

4-1、評価対象

評価例として、4車線の高架高速道路を建設することを考える。設計代替案としては、盛土と鉄筋コンクリート橋の2つを用意し、どちらで建設するのが適当かを評価する。

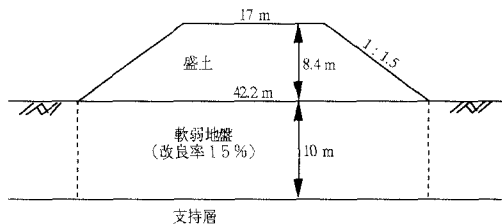


図-1 盛土案

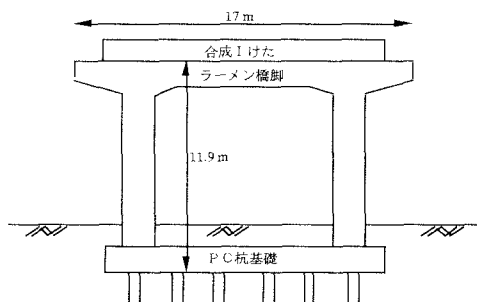


図-2 鉄筋コンクリート橋案

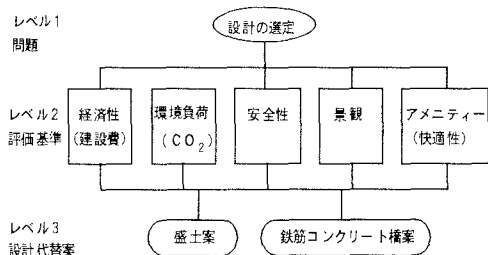
表-1 設計代替案の指標

評価指標	盛土	鉄筋コンクリート橋
建設費(万円/m)	729 + α	552 + β
CO ₂ 発生量(kg/m)	3700	10800

(α、βは工期による費用)

4-2、AHP階層図

今回は設計代替案の評価基準として、経済性、環境負荷、安全性、景観、アメニティの5項目を用いることとする。



4-3、一対比較行列、重要度、整合度

表-2 レベル1→レベル2の一対比較表

	経済性	環境負荷	安全性	景観	アメニティ	重要度
経済性	1	5	1/3	7	5	0.283
環境負荷	1/5	1	1/7	2	3	0.093
安全性	3	7	1	8	7	0.520
景観	1/7	1/2	1/8	1	1/3	0.040
アメニティ	1/5	1/3	1/7	3	1	0.064

整合度 0.733

表-3 レベル2→レベル3の一対比較表

経済性	盛土	鉄筋コンクリート橋	重要度
盛土	1	1/5	0.167
鉄筋コンクリート橋	5	1	0.833

環境負荷	盛土	鉄筋コンクリート橋	重要度
盛土	1	9	0.900
鉄筋コンクリート橋	1/9	1	0.100

安全性	盛土	鉄筋コンクリート橋	重要度
盛土	1	3	0.750
鉄筋コンクリート橋	1/3	1	0.250

景観	盛土	鉄筋コンクリート橋	重要度
盛土	1	3	0.750
鉄筋コンクリート橋	1/3	1	0.250

アメニティ	盛土	鉄筋コンクリート橋	重要度
盛土	1	1/5	0.167
鉄筋コンクリート橋	5	1	0.833

上の行列は、いずれも整合度1.0(ランク1)である。

4-4、総合的合成重要度

	経済性	環境負荷	安全性	景観	アメニティ	合成重要度
	0.283	0.093	0.52	0.04	0.064	
盛土	.167 × .283	.9 × .093	.75 × .52	.75 × .04	.167 × .064	
	0.047	0.084	0.39	0.03	0.011	0.562
鉄筋コンク	.833 × .283	.1 × .093	.25 × .52	.25 × .04	.833 × .064	
リート橋	0.236	0.009	0.13	0.01	0.053	0.438

この結果より、盛土で建設するのが望ましいといえる。

5、おわりに

本報告では簡単な例について評価したが、講演時には現実の工事設計書をもとに、より正確な評価を行った結果について詳細を述べる。

参考文献

- 1) 伊香賀：1985年産業連関表に基づくCO₂原単位、日本建築学会ライフサイクルCO₂小委員会 1994
- 2) 刀根 薫：ゲーム感覚意思決定法(AHP入門)、日科技連 1986
- 3) 渡部、名取、小国：Fortran77による数値計算ソフトウェア、丸善株式会社 1989