

(20) 緑化されたコンクリート構造物の環境評価手法に関する研究

A STUDY OF THE ENVIRONMENT EVALUATION TECHNIQUE OF PLANTED CONCRETE STRUCTURES

近田 康夫*

Yasuo CHIKATA

松島 学**

Manabu MATUSHIMA

安田 登***

Noboru YASUDA

天野 佐寿****

Satoshi AMANO

小堀 為雄*****

Tameo KOBORI

This paper deals with the environment evaluation technique of planted concrete structures by using multiattribute utility analysis (MAUA).

Before many concrete structures have been planned and designed only from safety aspect, but in this paper from two other items - psychological (scenery) and physical (water income and outgo, temperature control) aspect - are taken into consideration.

By this method each alternative is given its expected utility value by its utility function and the results of the questionnaire, and it is possible to the order of alternatives. Nine alternatives of planted concrete structure are illustrated and the availability of this method is investigated in this study.

Key Words ; environment evaluation, planted concrete structures, multiattribute utility analysis

1. まえがき

地球環境問題は現在、空間や時間を越え、世界中のあらゆる分野に広がり、我々の土木建設分野に於いてもその重要性は、単なるエコブームの到来としてだけでは、簡単に片付けることができなくなっている。特に大自然の緑の中に突然出現するダム、堤防等の巨大コンクリート構造物は、現代文明の産物としての存在価値よりも、むしろ逆に地球環境に与える悪影響を、土木技術者は問われるようになってきている。

そこで、自然と土木構造物（特に、コンクリート構造物）の調和、融和を考える手段として『コンクリート構造物の緑化』が試みられている。

以前は、緑化されたコンクリート構造物の代替案の評価は、構造物を、単に、力学上の安全性や、景観という側面だけで取り扱うものが多く、決して満足できるものとは言えなかった。しかし、最近では、この二つ以外に、構造物周辺の環境を、設計や代替案評価に取り込むことが注目されはじめている。本研究では、緑化されたコンクリート構造物を計画する段階において、意志決定者が、

1. 心理的効用（景観という人間の感性の領域）
2. 物理的効果（周辺的环境に与える物理的作用）

* 金沢大学 工学部土木建設工学科 助教授

** 東電設計(株) 技術開発本部 耐震技術部課長

*** 東京電力(株) 電力技術研究所 構造研究室主幹研究員

**** 金沢大学 大学院工学研究科 土木建設工学専攻

***** 金沢大学 工学部土木建設工学科 教授

(〒920 石川県金沢市小立野 2 丁目 40-20)

(〒110 東京都台東区東上野 3-3-3)

(〒230 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎 4-1)

(〒920 石川県金沢市小立野 2 丁目 40-20)

(〒920 石川県金沢市小立野 2 丁目 40-20)

の二つの大項目に着目した場合の多属性効用理論による期待効用の算出を試みると共に、この分野における多属性効用理論の適用の可能性を検討するものである。

本研究の対象となるコンクリート構造物としては、河川の水辺における堤防の法面や、歩道側面の擁壁など、多種多様なものが考えられる。

2. 多属性効用理論

2.1 仮定

A. **統計的独立性の仮定** 確率変数 $X_i (i=1, \dots, n)$ は、統計的に互いに独立である。

これより、同時確率密度変数は、

$$f_{X_1, \dots, X_n}^i(x_1, \dots, x_n) = f_{X_1}^i \cdots f_{X_n}^i$$

となり、代替案 a_i についての個々の変数 X_i の周辺確率密度関数 $f_{X_i}^i(x_i)$ の積

B. **選考独立の仮定** 任意の2つの属性間のトレードオフは、1つの無差別曲線で表すことができ、且つ、その無差別曲線は、その他の属性値によって影響されない。

C. **効用独立の仮定** ある属性 X_i の効用は、他の属性の効用と無関係に決まる。

B と C の仮定は、結合効用関数が個々の属性の効用の汎関数として与えられるということを表している。従って、個々の単属性効用関数 $u_i(x_i)$ が求まれば、汎関数は $u_i(x_i) (i=1, \dots, n)$ の互いのスケールを決めて結合することによって求められる。

2.2 3次元結合効用関数の求め方

互いに選考独立で、且つ、効用独立な n 個の属性からなる効用関数を $u(x_1, \dots, x_n)$ とすると、以下の式が成立する。(Kenny & Raiffa, 1976)

$$1 + ku(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n [1 + kk_i(x_i)] \quad (2.1)$$

但し、 $k, k_i (i=1, \dots, n)$ は定数で、 $u_i(x_i)$ は、 x_i の最も望ましい状態(又は値)を x_i^* 、最も望ましくない状態、又は値を x_i^0 としたとき、 $u_i(x_i^*) = 1.0, u_i(x_i^0) = 0.0$ となるように決められた周辺効用関数である。当然、多属性では、 $u(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = 1.0$ が最も望ましい状態で、 $u(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) = 0.0$ が最も望ましくない状態となるように決めておく。

式(2.1)より、3次元結合効用関数は、次式のようになる。

$$u(x_1, x_2, x_3) = k_1 u_1(x_1) + k_2 u_2(x_2) + k_3 u_3(x_3) + k(k_1 k_2 u_1(x_1) u_2(x_2) + k_2 k_3 u_2(x_2) u_3(x_3) + k_3 k_1 u_3(x_3) u_1(x_1)) + k^2 k_1 k_2 k_3 u_1(x_1) u_2(x_2) u_3(x_3) \quad (2.2)$$

3. 緑化されたコンクリート構造物への応用

3.1 属性の決定

緑化されたコンクリート構造物の計画の代替案を評価するための属性は、本研究では、次のように定義した。

1. 心理的効用

a) 景観 (X_1) (構造物自身の景観、及びその周辺環境との景観の調和をできる限り考慮する。)

2. 物理的效果

b) 水収支 (X_2) (雨水の保水力をできる限り高める。)

c) 温度制御 (X_3) (周辺の温度の異常な上昇、下降を抑制する。)

3.2 各属性の周辺効用関数の決定

本研究では、周辺効用関数を考える際、値を 0.0 から 1.0 の間で推移させる。また、周辺効用関数形のグラフの x 軸、 y 軸とも、各項目によって違うので注意する。

3.2.1 a) 景観項目 X_1 について

・ x 軸：計画代替案作成者の努力度とする。以下のアンケート用紙を用い、緑化されたコンクリート構造物の代替案(写真による)の各 14 項目の努力度を 0.0～1.0 で 10 段階に評価し、各代替案毎に平均した。

・ y 軸：景観の効用を判断するのは、人間では形容詞ではないかと考え、図 1 に示す 5 つの形容詞を選んだ。各代替案毎に形容詞に 0.0～1.0 で 10 段階に評価し、各代替案毎に平均した。

図 1 のアンケート用紙を利用して、まず、 x 軸に関しては、緑化されたコンクリート構造物の各代替案(写真 9 枚, A～I)を代替案作成者として評価し、結果を平均化した。 y 軸に関しては、各代替案を、被験者 10 人による評価を行い、それらの結果を xy 座標にプロットした。この結果、図 2 の景観項目に関する周辺効用関数形が得られた。しかし、このグラフでは、アンケートをとった母集団が 10 人と少なく、関数形を確定することができない。従って、図 3 に示すような比較的単純な 1,2 次関数を組合わせた表現にモデル化した。

項目		代替案
1	緑化の景観配置	植栽範囲
2		樹種の組合せ
3		立体感創出の範囲
4	形状寸法	樹種の形状
5		高さのバランス
6		樹木の密度
7	色彩	植栽と背景の色相
8	季節感	季節感の演出
9	擁壁の景観素材	素材の良さ
10	形状寸法	形状寸法
11	肌合い	表面テクスチャー
12	調和	緑化と周辺 ←
13	擁壁と周辺	←
14	緑化と擁壁	←
	平均値	

5つの形容詞	代替案
1 安定感のある	
2 親しみやすい	
3 落着きのある	
4 安らぎのある	
5 すっきりした	
平均値	

図 1 x, y 軸を決定するアンケート用紙

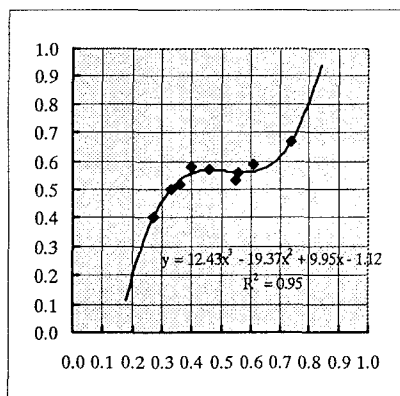


図 2 景観項目 X_1 の周辺効用関数形

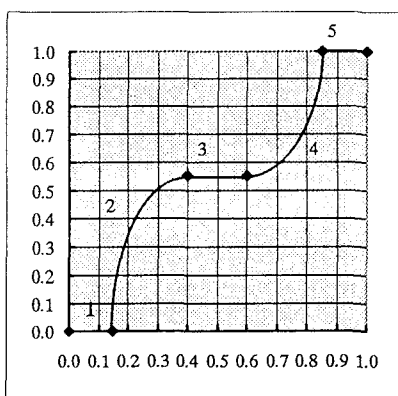


図 3 モデル化された周辺効用関数形

図 3 のモデル化された周辺効用関数形は、以下の 5 式で定義することにする。

$$\begin{aligned}
 u(x_1) &= 0.00 & (0.00 \leq x_1 \leq 0.15) \\
 u(x_1) &= -x_1^2 + 2.748x_1 - 0.389 & (0.15 \leq x_1 \leq 0.40) \\
 u(x_1) &= 0.55 & (0.40 \leq x_1 \leq 0.60) \\
 u(x_1) &= x_1^2 + 0.352x_1 - 0.021 & (0.60 \leq x_1 \leq 0.85) \\
 u(x_1) &= 1.00 & (0.85 \leq x_1 \leq 1.00)
 \end{aligned}$$

4.2.2 b) 水収支項目 X_2 , c) 温度制御項目 X_3 について

x 軸: 計画構造物全体の表面積(コンクリート部分)を 1.0 とし、緑化された面積の割合(被覆度)をとった。

y 軸: 被覆度 1.0 の時、期待効用 1.0、被覆度 0.0 の時、期待効用 0.0 とする。

周辺効用関数は、区間 $0.0 < x_{23} < 1.0$ では直線変化と仮定した。

$$u(x_{23}) = x_{23} \quad (0.00 \leq x_{23} \leq 1.00)$$

5. 分析例

図 5 に示す緑化された構造物の写真 9 枚を計画代替案と仮定し、期待効用を求める。

5.1 期待効用を求める

5.1.1 無差別くじ p_i の値

無差別くじを作成し、選考無差別になる p_i を探すのは、現実にはアンケート等で決定しなければならないが、簡単のため、本研究では、 $p_i = \{0.3, 0.5, 0.7\}$ の3つのパラメーターの組合わせ(27通り)のうち表 1 に示す特徴的なもの6通りを検討した。

No.	計画の種類	p_1	p_2	p_3
I.	景観項目 X_1 を重視した計画	0.7	0.3	0.3
II.	水収支項目 X_2 を重視した計画	0.3	0.7	0.3
III.	温度制御項目 X_3 を重視した計画	0.3	0.3	0.7
IV.	全ての項目を重視した計画	0.7	0.7	0.7
V.	中間的な重みの計画	0.5	0.5	0.5
VI.	全ての項目を軽視した計画	0.3	0.3	0.3

表 1 p_i の違いによる計画の分類

5.1.2 3項目の入力値

入力値を表 2 に示す。a. 景観項目に関しては、9 枚の写真を代替案として、被験者 10 人に、図 1 のx軸に関するアンケート用紙でアンケートをとり、その値を平均したものを入力する。b. 水収支項目、c. 温度制御項目に関しては、x軸に被覆度を仮定し、またそれは確定値なので、写真から読み取って、その値を入力した。

項目		A案	B案	C案	D案	E案	F案	G案	H案	I案
a. 景観	平均値	0.43	0.48	0.61	0.73	0.65	0.40	0.56	0.45	0.61
	分散	0.05	0.07	0.03	0.02	0.04	0.05	0.03	0.03	0.05
b. 水収支	確定値	0.14	0.11	0.48	0.40	0.35	0.15	0.95	0.88	0.80
c. 温度制御	確定値	0.14	0.11	0.48	0.40	0.35	0.15	0.95	0.88	0.80

表 2 各周辺効用関数のx軸の値

5.2 計算結果

各計画(I~VI)で、各代替案(A~I)の期待効用を求め、縦軸に期待効用をとったものが図 4 である。

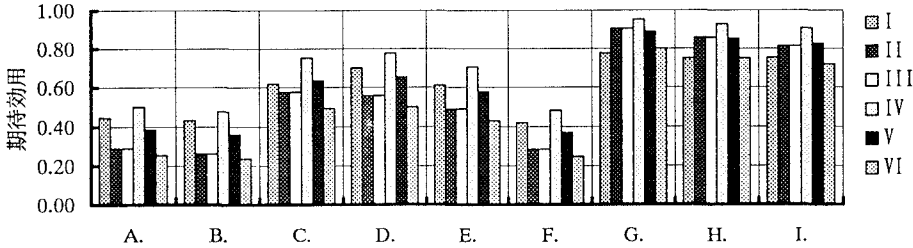


図 4 各代替案の期待効用

例えば、C 案と I 案を比較してみる。両者とも、a. 景観項目の平均値は、0.61(分散は、前者 0.03、後 0.05)でほとんど、差が無いと言えるが、b. 水収支項目、c. 温度制御項目は、前者が 0.48、後者が 0.80 と、アンケート結果に約 2 倍の差が出ている。そこで、図 4 のグラフより計算された期待効用を見てみると、やはり、全ての計画で、I の方が高い値を示している。このことから、本研究の周辺効用関数形に関する仮定では、各項目に付けた重み p_i に、期待効用の順位は、ほとんど影響がないといってよいといえる。それは、採用した項目が全て効用が上昇するものばかりで、例えば、費用のように効用を下げるものが含まれてないことが原因の一つと言える。

6. まとめ

本研究では、緑化されたコンクリート構造物の環境評価へ、多属性効用理論を適用することを試み、その適応の可能性を検討した。

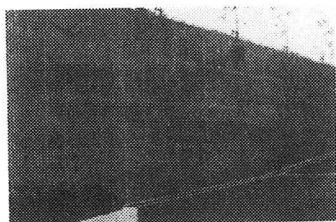
多属性効用理論を適用するにあたって、a. 景観項目という客観的に数値化できないものと、b. 水収支、c. 温度制御項目という比較的数値化しやすいものとを結合して考えている。本研究で得られた知見と、今後の課題を以下に列挙する。

(1) a. 景観項目の周辺効用関数を決定する際、主観的なアンケートをとって関数形を求めた。そのアンケート結果から得られた周辺効用関数形をモデル化することにより、a. 景観項目の効用関数を決定するための雛形を提示した。

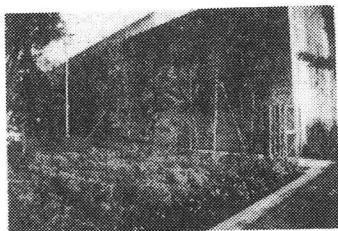
(2) 評価基準に費用(建設費)を加え、増加によって負の制約を与える因子を考えることで、より現実的な評価が可能となる。

(3) b. 水収支項目、c. 温度制御項目に関しても、単に、被覆度 x_2 という考えだけではなく、緑化を体積的な取り扱いをした方が、より厳密な考え方といえる。

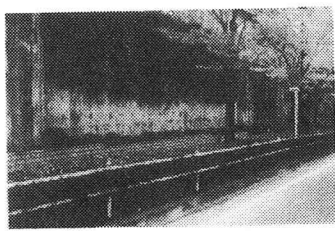
(1) 垂直なコンクリート擁壁



(A.) 表面テクスチャー直壁
上部疎な植樹下部分植有り

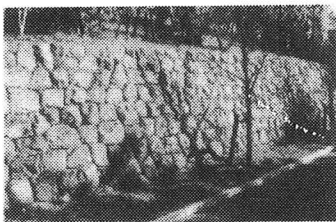


(B.) 直壁前面植樹と庭園風
植込有り



(C.) 直壁上部ツル科植物の
垂下り下部植込有り

(2) 歩道沿いの擁壁



(D.) 自然石風ブロック積
上部法肩植樹有り

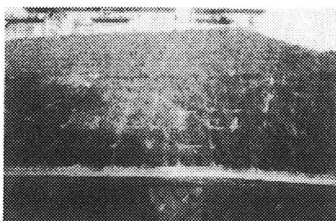


(E.) 自然石風ブロック積
上部法肩密な植栽有り

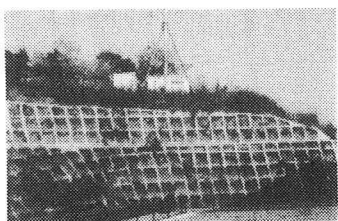


(F.) 標準品矩形ブロック積
疎な街路樹有り

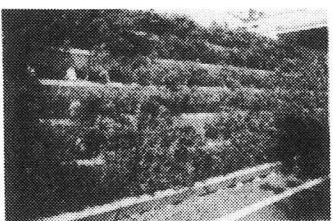
(3) その他の擁壁



(G.) 緩斜面現場打法枠
ブロック枠内牧草風-1



(H.) 緩斜面現場打法枠
ブロック枠内牧草風-2



(I.) 格子状ブロック組
枠内サツキ植込有り

図 5 代替案評価に用いたコンクリート擁壁

参考文献

- 1) Alfredo H.-S. Ang, Wilson H. Tang, 確率統計の応用, 丸善株式会社, pp7-pp124, 1988.1
- 2) コンクリート工学, Vol32/No.11, 日本コンクリート工学協会, 1994.11
- 3) 安田登, 近田康夫, 松島学, 小堀為尾, 緑化されたコンクリート擁壁の景観評価の逆解析, 土木学会論文集, No.514/V-27, 1995.5
- 4) 近田康夫, 木下真二, 城戸隆良, 小堀為雄, ファジィ理論に基づく景観評価の GA による逆解析に関する一考察, 土木情報システム論文集, Vol.3, 1994