

斜面安定工事における工法選定のための意思決定プロセスの構造化

Decision Making Process of Construction Method for Stability of Slope

長岡高専 湯沢 昭¹⁾ 労働省 花安繁郎²⁾
鴻池組 折田利昭³⁾ 佐藤工業 船津修一⁴⁾
大成建設 横田保秀⁵⁾ フジタ 大崎康生⁶⁾
矢作建設工業 加藤利美⁷⁾

By Akira Yuzawa, Shigeo Hanayasu, Toshiaki Orita, Shuichi Funatu,
Yasuhide Yokota, Yasuo Ohsaki and Toshimi Katoh

建設工事では、計画から維持管理における各段階において適切な意思決定が要求されるが、これらはIII-構造問題であり、意思決定のシステム化が困難な分野の1つである。これは建設工事が自然条件の中で実施され、その自然条件の設定が非常に困難であり、かつ不確実性が大きいところに起因する。本研究は、各種建設工事における意思決定問題に関する調査とその構造分析、また具体的な事例として、斜面安定工事を取り上げ、対策工の特性分析、地山の状況と工事の環境に関する要因の抽出と整理、さらには工法選定における意思決定プロセスについての検討を行うことを目的としている。

【キーワード】 意思決定、斜面安定工事、施工計画

1. 緒言

人間の意思決定プロセスを段階的に考えると、(1)問題の発見的段階、(2)設計段階、および(3)選択段階に分けることができる。発見的段階とは、問題の発見と環境情報の収集のプロセスであり、設計段階とは代替案の探索の分析であり、最後の選択段階とは代替案の選択プロセスを意味している。この3段階の意思決定プロセスの諸段階が良く構造化された問題が、いわゆる well-構造問題であり、各段階において統計解析やORの適用により、最適な意思決定ルールを特定化することが可能である。これに対し、意思決定の各段階において構造化が困難な問題がIII-構造問題であり、この種の問題においては、意思決定者である人間の果たす役割が大きく、個人の洞察力や過去の経験、価値判断が意思決定のための重要な要素となる。従って、いかにして人間の持つ発見的能力 (heuristics) をシステム化するかが課題となるが、人工知能やエキスパートシステムに

代表されるように、コンピュータの発達と知識工学の発展が相まって今後システム化がさらに進むものと思われる。

建設工事は、各段階において適切な意思決定が要求されるが、これらは典型的なIII-構造問題であり、意思決定のシステム化が困難な分野の1つである。これは建設工事があらゆる自然条件の中で実施され、その自然条件の設定が非常に困難であり、かつ不確実性が大きい所に起因する。従って、well-構造問題に近づけるためには、不確実性の削減と意思決定プロセスの明確化が必要とされる。

本研究は、建設工事に関する意思決定事例を通して、要因の設定方法と意思決定ルールの分析、さらには具体的な事例として斜面安定工事を取り上げ、対策工の特性、地山の状況、工事の環境に対する考慮すべき要因の抽出と整理（問題の発見的段階と設計段階）、工法選択における意思決定プロセスの構造化を明確にする（選択段階）ことを目的とする。

- | | |
|-------------|--------------|
| 1)土木工学科 | 0258-34-9271 |
| 2)産業安全研究所 | 03-3453-8441 |
| 3)東京本店土木営業部 | 03-3296-7621 |
| 4)土木本部技術部 | 03-3661-4794 |
| 5)情報システム部 | 03-5386-7599 |
| 6)コムテック | 03-5474-3272 |
| 7)土木工務部 | 052-935-2495 |

2. 建設工事における意思決定の問題点

意思決定とは、種々の代替案（選択肢）の中からそれぞれの結果を予測して、予め決められた選考基準に従って最良な代替案を採択することである。図-1は、本研究で対象としている斜面安定工事の工

法選択問題における一般的な意思決定のプロセスを整理したものである。本研究では、意思決定のプロセスを2段階に分けて考えている。第1段階は、代替案の選別であり、第2段階は代替案の選択のプロセスである。すなわち、第1段階ではある基準を満足しない代替案を除去し（あるいはある基準を満足する代替案を残す）、実施可能な選択肢集合の決定であり、第2段階ではそれらの集合の中からある基準に従って最良な案を選択することになる。ここで問題となるのが第1段階においては、選別のルールを設定をどのように行うかであり、第2段階では選択の方法の決定である。

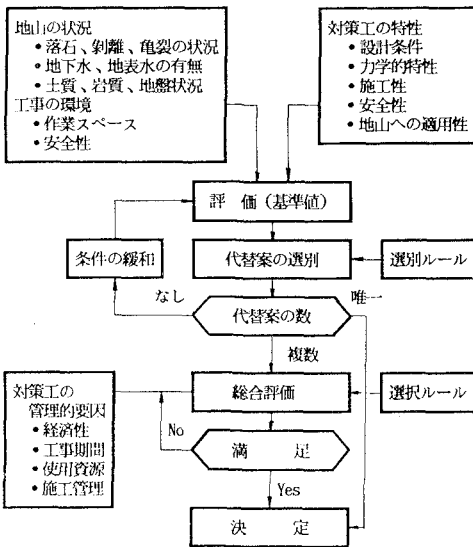
表－1 意思決定ルール

非補償型	(1) 優越性ルール：全ての属性に関して、どれかの属性で他の代替案より優れている代替案を選択
	(2) 連言（連結）ルール：全ての属性値がある基準値を超える代替案を選択
	(3) 選言（分離）ルール：1つでもある基準値を満足すればその代替案を選択
	(4) 辞書的ルール：優先順位の高い属性から比較し、最も優れた代替案を選択
	(5) 排除ルール：ある基準値を満足しない選択肢を次々に排除
補償型	(1) 勝率最大化ルール：優れている属性の多い代替案を選択
	(2) 効用加算ルール：属性ごとの重み付けによる総合評価値が最大の代替案を選択
	(3) 効用差加算ルール：属性ごとに2つの選択肢の望ましきの関数を考えて、この関数の全ての属性についての和が最大の代替案を選択

方法である。したがって、非補償型のルールでは、必ずしも唯一の選択肢が選ばれるとは限らない。

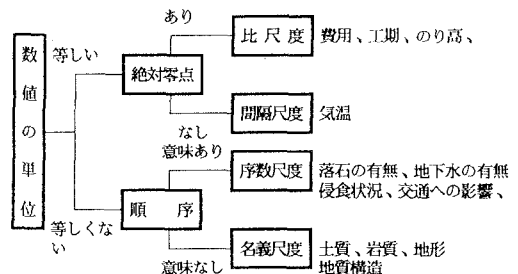
これらの選択方法はそのモデルの特性上、全ての要因値（または評価値）があらかじめ決定されている必要があるが、このことは必ずしも容易なことではない。すなわち、要因によりそのデータの信頼性が大きく異なっているのが通常である。

図－2は、斜面安定工事における主要因をその特性に基づいて整理したものである。比尺度とは、費用（円）や工期（日）のように一定の単位があり、容易に定量化が可能な要因である。間隔尺度は必ずしも基準となる零点はないが、比尺度と同様な取扱いが可能な要因である。序数尺度は、その値の順序は意味をもつが、数値そのものの意味は無いような要因、例えば落石の可能性が「1：非常に可能性有り、2：やや可能性有り、3：可能性なし」と表現される場合には序数尺度となる。しかし、落石の可能性を力学的な観点から表現するとした場合には、比尺度あるいは間隔尺度としての表現も可能ではある。最後に名義尺度とは、土質の区分（1：粘性土、2：砂質土、3：軟岩）や地形、地質構造等に見ら



図－1 斜面安定工事における意思決定プロセス

表－1は、意思決定のためのルールを整理したものであり、大きく非補償型と補償型に分類される¹⁾。これらのルールを適用するに当たっては、全ての選択肢は多属性表現されていることを前提としている。この多属性表現とは、各選択肢が複数の同じ属性（または要因、評価項目）（例えば、工費、工事期間、地質、斜面勾配等）で記述されていることを意味している。ここで非補償型とは、複数の属性を同時に考慮するのではなく、選択肢間である属性に着目して1つずつ比較を行うことにより代替案の選択を段階的に行い、また補償型は複数の属性を同時に評価することにより最も望ましい代替案を選択する



図－2 データの種類

れるようにその数値が全く意味を持たないような要因である。

このように取り扱う要因により、数値の持つ意味や信頼性は大きく異なるが、比尺度や間隔尺度は、統計学的に取り扱うことが可能であるため、意思決定においても比較的構造化がし易い。しかし、序数尺度や名義尺度の要因の決定には、個人の経験や価値判断が重要な要素となるため、決定された値は多少ともあいまい性(fuzziness)を含むことになる。従って、何らかの方法により序数尺度や名義尺度を間隔尺度へ変換させる必要がある。

以下に、序数尺度の特徴と間隔尺度への変換方法の例について述べる。ただし、これらの各データは個人だけでもその値を設定することは可能であるが、本論文においては複数の意思決定者により決定されるものとする。

(1) ○×法

○×法は最も良く用いられているものの1つであり、この変形法に○×点数法がある。これは○や△、×にある点数を割り当てることにより、間隔尺度への変換を図る方法である。○×法では、要因毎にある条件(基準)を満足している度合いによって、○、△、×等を全ての選択肢に当てはめることになるが、その決定に当たっては十分な協議が必要である。

(2) n段階評価法

n段階評価法は、前述したように「1：非常に可能性有り、2：やや可能性有り、3：可能性なし」の例のように要因の値をn段階に分類する方法であり、一般的には5段階や7段階が採用されている。このようにして決定された値を持って、間隔尺度とするのがn段階評価法である。

(3) 一対比較法

一対比較法は、要因毎に選択肢を1ペアずつ比較し、全ての一対比較データより各選択肢の相対的な値を推定する方法である(組み合わせの回数は、 $n(n-1)/2$)。推定方法としては多次元尺度法によるものや、固有値法等が代表的であるが、固有値法による研究事例が近年多く見られる。これは階層的意思決定法(AHP: Analytic Hierarchy Process)²⁾と呼ばれており、建設工事においてもいくつかの研究事例が報告されている³⁾。しかし、この方法は選択肢の数が多くなると、その組み合わせ回数が指数

的に増大する。

(4) 順序付け法

順序付け法は、各選択肢間に順位付けを行うもので、基本的にはn段階評価法と同種であるが、その値は、単なる選択肢間の順序を記述しているだけであるため、その順番をもって間隔尺度と見なすには危険がある。通常用いられている方法としては、同一順序の回答のみのクロス集計を行うといった、便宜的な方法が採用されている場合が多い。

本節では、複数の意思決定者から得られた順序データを用いて、序数尺度から間隔尺度への変換方法について述べる。斉藤は⁴⁾、集計された順序データを要因間の一対比較により得られるとデータと同一形式と見なすことにより、前述したAHP手法の考え方を適用し、序列尺度から間隔尺度への変換を図っている。すなわち、はじめに順序データから式(1)のような行列を作成する。

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^s X_{ijk} \quad (i, j=1, 2, \dots, m, i \neq j) \quad (1)$$

X_{ijk} : 個人kにとって、選択肢iが選択肢jより順位が高い場合は1、それ以外は0
m: 選択肢の数、s: 意思決定者の数

式(1)から明らかなように、 $X_{ij}=s$ の場合は、全ての意思決定者が選択肢iの方がjよりも順位が高いと回答しており、逆に $X_{ij}=0$ 場合には、選択肢jの方がiに比較して順位が高いと判断していることになる。式(1)のXは選好強度行列と呼ばれており、選択肢iがjに比較してどの程度重要であるかを表すものである。次に式(1)を式(2)のように変換する。

$$A_{ij} = X_{ij} / X_{ji} \quad (2)$$

したがって、 $A_{ji} = 1 / A_{ij}$ となる。式(2)より得られる行列に、前述したAHPの固有値法を適用することにより選択肢iの相対的な重み(W_i)を計算し、その値を間隔尺度とする。すなわち、

$$A_{ij} = W_i / W_j \quad (3)$$

という関係にある。この方法においては、複数の意思決定者から得られる順序データを比率データと見なしているが、ここでは比率データではなく間隔データとすると、式(2)、(3)は次のようになる⁵⁾。

$$A_{ij} = X_{ij} - X_{ji} = W_i - W_j \quad (4)$$

ここで式(4)は、推移性を満足するものと仮定する。

$$A_{ij} = A_{ik} + A_{kj} \text{ ----- (5)}$$

一般に意思決定者の判断は推移性を満足しないので、問題としては意思決定者の行った判断に最も近い推移性を満足する選好強度行列($P_{ij}=W_i-W_j$)を求める必要がある。ここで次のような関数を定義する。

$$D(A, P) = \sum_{i,j} (A_{ij} - P_{ij})^2 \text{ ----- (6)}$$

式(6)より

$$D = \sum (A_{ij} - W_i + W_j)^2 \text{ ----- (7)}$$

となる。ここで問題は、式(7)の最小化問題を解くことになるため、式(7)を W_i で偏微分し、0とおくことにより、次のようになる。

$$\sum_i A_{ij} - \sum_i W_i + mW_j = 0 \text{ ----- (8)}$$

式(8)において選択肢の重み(W_i)は、間隔データであるから、原点の位置には任意性がある。ここでは平均が0となるような W の値を求めると、

$$W_j = -\sum_i A_{ij} / m = \sum_j A_{ji} / m \text{ ----- (9)}$$

式(9)から求めた W_j が、複数の意思決定者から得られた選択肢の順位データを元に、各選択肢の相対的な重要性を間隔尺度に変換したものである。

3. 建設工事における意思決定事例

意思決定において最も重要な課題は、要因の選定、それらの要因値の決定、意思決定のための構造化、および代替案選択における意思決定ルールの明確化である。本章においては、建設工事における意思決定の事例を通して、要因値の設定方法と意思決定ルールについて述べる。

中村は⁶⁾、小口径推進における工法選定基準に関し、以下のような意思決定プロセスに基づいて工法の選定を行っている。その意思決定フローは、「設計条件の入力」→「適用可能工法の特性把握」→「設計条件による適用可能工法の絞り込み」→「経済評価による総合評価」→「工法の選択」となっている。ここで適用可能工法の絞り込みは、表-1に示した排除ルールを適用している。すなわち、ある条件を満足しない工法を次々に排除し、残った工法に対して経済比較を行い、最終的な工法を選択している。ただし、各要因の評価としては〇×法を採用し、また各要因の重要性としては言語による方法を採用し

ている(必要、不要、ある条件の時は必要等)。そして最終的には、〇×と要因の重要性を考慮して工法の選択を行っている。したがって、総合評価の方法としては、辞書的ルールの適用である。

吉川・山田・日吉は⁷⁾、路上表層再生工法の選定問題に関して、「工法の分類」→「要因の設定」→「要因値の決定」→「工法の総合評価」という流れで工法の選定を行っている。ここで「要因値の決定」としては、各要因の物理的な値(針入度、軟化点、伸度、空隙率等)を4つの区分に分割し、各々の区分に対して1から4の数値を当てはめている。そして最終的に各要因毎の評価値を合計して、総合評価を行っている。この事例の特徴としては、各要因の重要度の差を考慮しなくともすむように、各要因を4つの区分に分割する際、各要因の重みが等しくなるように区分している。従って、要因値としては間隔尺度、総合評価の方法は効用加算ルールを適用している。この場合、各要因の物理的な値を間隔尺度へ変換することは必ずしも容易なことではなく、何らかの科学的な方法により区分の分割を行う必要がある。

適切な要因の分割と各区分に対する重みの推定手法として、良く用いられるものの1つに多変量解析の適用がある。すなわち、各要因が比尺度や間隔尺度の場合には、判別分析の適用が可能であり、また序数尺度や名義尺度の場合には数量化理論第2類が挙げられる。佐藤・八谷・林は⁸⁾、空港舗装の修繕計画に際して、数量化理論第2類の適用を図り、修繕の必要性の有無の意思決定を検討している。ここでは、空港舗装の共用性を表す評価式を作成するために、複数の要因(わだちぼれ、平坦性、クラック等)と修繕の必要性(必要有り、必要なし)との関係から数量化理論第2類の適用を図り、修繕意思決定のための総合評価式を提案している。意思決定プロセスとしては、「要因の設定」→「数量化理論第2類の適用」→「要因の絞り込み」→「総合評価式の作成」→「舗装状況の総合評価点」→「舗装の修繕の必要性の検討」となっている。従って、要因の種類としては序数尺度と名義尺度であり、また意思決定ルールは効用加算ルールを用いている。しかし、効用加算ルールの場合には、ある要因の値が極端な場合でも他の要因の値により互いに打ち消し合うこ

とによって不都合が生じることがある。そのような問題を回避するため、要因がある値を超過する（小さすぎる）場合には、その要因の値のみで選択肢の削除を行っている（排除ルールの適用）。このように総合評価においては、複数の意思決定ルールを適用している点が特徴的である。

奥園⁹⁾は、のり面保護工法の選定プロセスに関する研究を行っており、特に斜面安定工法の適用に当たっては、安定解析が困難であるため経験工学に依存するところが大きいとしている。具体的には、意思決定のため考慮すべき要因の分析と、のり面保護工法選定のためのフロー図を提案している。この研究における意思決定基準としては、選言（分離）ルールと排除ルールの併用により、対策工の選定プロセスを説明しており、本研究との類似点が非常に多い研究でもある。

上述した事例はいずれも要因の値をあらかじめ設定し、その結果を用いて最終的な意思決定を行っているが、要因値の設定を行うことは必ずしも容易なことではない。すなわち、要因値として人間の感覚値に頼らざるを得ない要素があり、数値化が困難な場合がある。このような場合の意思決定のための方法として、前述したようにAHP手法がある。吉井・林³⁾、建設工事における工法選定問題にAHP手法を適用し、その有効性を検討している。意思決定のプロセスとしては、「実行可能な対策工の抽出」→「評価要因の階層化」→「AHP手法による分析」→「総合評価」→「工法選択」となっている。この手法の特徴は、各要因の選択肢別の値を選択肢間の一対比較より理論的に求めるところにあり、その値は相対的なものであるため、間隔尺度と見なすことができる。また、意思決定ルールとしては効用加算ルールを採用している。しかし、「実行可能な対策工の抽出」に当たっては、排除ルールを適用し、実行可能対策工の絞り込みを行っている。

このように意思決定プロセスにおいては、共通している点が多々あるが、要因の設定方法や意思決定ルールはその問題により異なっていることが分かる。しかし、一般的には図-1に示したように選別ルールと選択ルールの使い分け、または両者の併用（段階的に適用）により、最終的な意思決定を行っている点については共通したものである。

4. 斜面安定工事の意思決定プロセスの構造化

本章においては、実際の斜面安定工事の事例を通して工法選定における考慮すべき要因の特定化とその意思決定プロセスの構造化を図る。なお、工事の事例の収集に当たっては、建設マネジメント委員会C2小委員会の計画・管理技法分科会所属の建設会社7社の協力を得て、有効数146のサンプルを得た。またサンプルの収集には、各企業の斜面安定工事に携わっている設計担当者と工事経験者を対象とし（平成4年12月に実施）、調査用紙に必要事項を記入してもらう方法を採用した。なお、調査項目は、表-2に示すように記入者の所属や経験年数、施工場所、工法等の工事の概要と施工位置の地山の状況（落石、地下水、侵食、勾配等）と工事の環境（交通への影響、作業スペース、施工管理、資源の制約等）、それに各種の工法を設計または施工する際に考慮すべき要因の重要性についても質問を行っている。なお、要因の設定には関連文献の調査、専門家へのヒアリングとブレインストーミング等を行い決定した。またこの調査の目的は、斜面安定工事のための工法を選択するシステムを構築するのが目的ではなく、あくまでも工法選択における意思決定プロセスを明確にすることである。

表-2 調査項目

個人属性	所属、経験年数
工事の概要	工種、施工場所、発注主 工法の種類（表-4参照） 工法の決定者 地山の状況（15要因） 工事の環境（17要因）
工法別の要因の重要度	大分類と小分類毎に地山の状況が15要因、工事の環境が18要因の中から重要と思われる順に上位5つの要因を選択

4.1 調査結果の概要

表-3は、被験者の所属と工事の概要を整理したものである。記入者の所属は、現場部門が99件と最も多く、次いで設計部門の29件となっている。工事の種類では、道路工事に関するものが52件と全体の36%を占めており、宅造の32件（22%）となっている。これは斜面安定工事の特性からも理解できる。工事の発注元は、工事の種類からも分か

表-3 調査結果の概要

所 属		工事の工種	
所 属	件数	工 種	件数
企画部門	1	道路工事	52
設計部門	29	鉄道工事	7
技術・開発部門	7	ダム工事	15
現場部門	99	宅地造成工事	32
その他	10	工場地場工事	12
合 計	146	港湾工事	0
工事の発注元		斜面安定工事	9
発注元	件数	その他	19
国	18	合 計	146
都道府県	18	相当分野	
市町村	13	分野	件数
第三セクター	2	企画・設計	38
各種公団	38	技術開発	1
民間企業	51	施工・管理	106
その他	6	その他	1
合 計	146	合 計	146
工法の決定者		斜面安定工事の経験回数	
決定者	件数	回 数	件数
施 主	98	1回目	67
当 社	40	2回目	19
その他	8	3回目	25
合 計	146	4回目	20
		5回以上	15
		合 計	146

るように公団と民間企業とで全体の61%を占めている。

本調査においては、斜面安定工事に採用された工法の種類について、その大分類と小分類の番号を記入してもらう方法を採用した（工法の分類は、表-4の通りである）。また、各工事においては必ずしも唯一の工法のみを使用している訳ではなく、複数の工法を組み合わせる工事を実施しているケースが多いものと判断し、重要と思われる順に使用した全ての工法を記入してもらった。

表-5は、第1位に挙げられた工法について、横方向に大分類を縦方向に小分類を取り、各々の件数を整理したものである。件数的に最も多いのが、力学的安定工法の54件であり（小分類では、のり面アンカー工法が22件）、次いで被覆工法（斜面保護工法）の33件、植生工法（斜面安定工法）の30件となっている。表-6は、各工法の組み合わせを整理したものであり、単独工法のみでの件数は36件と全体の25%にすぎず、残りの75%は複数の工法の組み合わせとなっていることが分かる。件数的に多いのは、被覆工法と植生工法の組み合わせ（26件）、力学的安定工法と被覆工法の20件、力学的安定工法と吹き付け工法の14件となっている。

4.2 斜面安定工法の特性

斜面安定工法は、その特性により工法の力学的、

表-4 斜面安定工法の大分類と小分類

A. 植生工法（斜面保護工法） 1. たね吹き付け工法 2. 植生マット工法 3. 張芝工法 4. 植生穴工法 5. 植生筋工法 6. 筋芝工法 7. その他の植生工法	D. その他の斜面保護工法 1. 蛇かご工法 2. 布網かご工法 3. 編籠工法 4. 落石防止網工法 5. 落石防止柵工法 6. その他
B. 被覆工法（斜面保護工法） 1. ネット工法 2. 合成高分子シート被覆工法 3. 合成繊維布、マット被覆工法 4. 石積工法 5. 石張工法 6. ブロック積工法 7. ブロック張工法 8. プレキャスト枠工法 9. 吹付枠工法 10. 現場打コンクリート枠工法 11. その他の被覆工法	E. 排水工法（斜面安定工法） 1. 表面排水工法 2. 地下排水工法 3. 重力排水工法 4. 強制排水工法 5. その他の排水工法
C. 吹付け工法（斜面保護工法） 1. モルタル吹付け工法 2. コンクリート吹付け工法 3. アスファルト吹付け工法 4. プラスチックソイルセメント吹き付け工法 5. 樹脂吹付け工法 6. その他の吹付け工法	F. 地盤改良工法（斜面安定工法） 1. 注入工法 2. 石灰安定処理工法 3. セメント安定処理工法 4. その他の地盤改良工法
	G. 力学的安定工法 1. くい式のり面安定工法 2. 深礎工法 3. のり面アンカー工法 4. 補強土工法 5. 擁壁による工法 6. 鉄筋挿入工法 7. ロックボルト工法 8. その他の力学的安定工法

表-5 工法別の適用頻度

	A	B	C	D	E	F	G
1	20	1	7	0	0	1	14
2	3	1	8	0	1	4	4
3	4	22	0	0	0	4	22
4	0	2	0	0	0	3	3
5	0	2	1	0	0		3
6	0	5	0	0			1
7	3	5					5
8		4					2
9		5					
10		4					
11		2					
合計	30	33	16	0	1	12	54

注) 大分類(A~G)と小分類(1~11)は、表-4参照

施工の特性が異なる。図-3は、工法の特性を現場への適用性と工事環境の観点から整理したものである。当然、工法によっては該当しない項目も存在するが、工法の選択に当たっては各工法の特性を十分に把握しておく必要がある。

表-7は、図-3に示したような特性を持つ斜面安定工法を実際の現場に適用する場合、「地山の状況」と「工事の環境」の観点から要因を整理し、どのような要因を重要視するかを質問した結果を工法別（大分類）に整理したものである。調査においては、「地山の状況」と「工事の環境」別に重要と思われる順に要因の番号を記入してもらい、その結果から最も重要性の高い要因の値を1.0、最も低い要因を0.0と基準化した（順序データの間隔尺度への変換には式(9)を用いた）。「地山の状況」を見る

表-6 工法の組み合わせ（大分類）

		第 2 位								合 計
第 1 位	A	3	11	3	3	1	2	3	4	30
	B	15	1	2	2	0	0	5	8	33
	C	0	3	1	0	0	0	4	8	16
	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	F	3	1	1	1	0	2	1	3	12
	G	2	15	10	0	7	0	7	13	54
	合計	24	31	17	6	8	4	20	36	146

注) 大分類記号 (A~G) は、表-4 参照

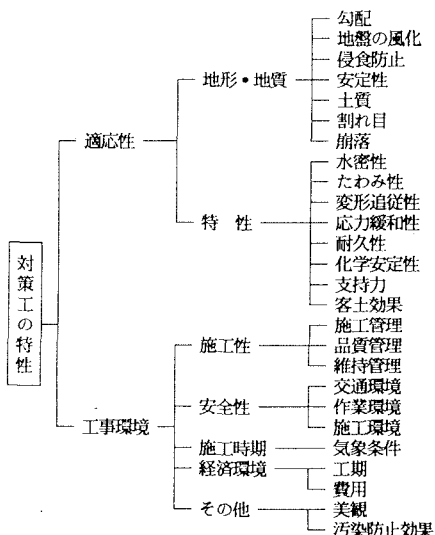


図-3 斜面安定工法の特徴

と、斜面保護工法（AからD）では斜面の勾配の重要性が他の要因に比較して高く、中でも植生工法は、地表の土質、地表水の有無の要因が重要とされている。吹き付け工法は、他の工法と比較して多くの要因の重要性が指摘されており、中でも落石や剝離、亀裂の有無、地表・地下水の有無、地表の土質、風化状況等が重要な要因である。斜面安定工法（EとF）では、地表水・地下水の有無の重要性が高く、力学的安定工法では地質の構造、支持地盤の有無、さらには地滑りの可能性に対する要因が高くなっている。

「工事の環境」では、植生工法が美観や工事中の雨量・気温が、被覆工法では、作業スペース、美観、工事の規模、安全・品質管理の重要性が指摘されている。また作業スペースに関しては植生工法を除く全ての工法において重要な要因であることが分かる。

4.3 意思決定プロセスの構造化

工法選択における意思決定のプロセスを明らかにするため、表-7に示した各要因毎に実際の現場の状況を記入してもらった。「地山の状況」については、例えば”落石の有無”に関しては（1. かなり有り、2. やや有り、3. なし、4. 不明）、”地表の土質”は（1. 硬岩、2. 軟岩、3. レキ質土、4. 砂質土、5. 粘性土）のように該当すると思われる番号に○を付けてもらうという方法を採用したため、序数尺度と名義尺度のデータから構成されている。また「工事の環境」に関しては、全て序数尺度のデータから構成されている（1. 影響大、2. やや影響、3. 普通、4. なし）。

分析のための手順は、以下の通りである。すなわち、始めに数量化理論第3類による構造分析。具体的には、工法を5つに分類し（植生工法、被覆工法、吹付け工法、地盤改良工法、力学的安定工法）、「地山の状況」に関しては、”不明”のカテゴリを除き、また「工事の環境」については、”なし”あるいは”十分”を除いたカテゴリを採用した。続いて、クラスター分析による構造化。数量化理論第3類により算出されたカテゴリーウェイト（第6成分まで採用）に、クラスター分析を適用することにより、意思決定プロセスのグラフ化を行う（デンドログラムの作成）。ここでクラスター分析の手法としては、ウォード法を採用した。

このような手法を採用した理由は、表-7に示した各要因が必ずしも独立している訳ではなく、各要因間には何らかの相関関係があるため、要因間の関連性を分析するための数量化理論の適用であり、またその結果を視覚的に表現する上でクラスター分析を用いた。これらの分析により、ある工法がどのような要因を重要視しているかが明らかとなる。

図-4は、「地山の状況」と各工法の関係を図示したものである。図から以下のようなことが分かる。

（1）地盤改良工法は、地下水や地表水がある場合に適用される工法である。すなわち、意思決定ルールとしては、排除ルールが適用されている。

（2）植生工法は地表水や地下水がなく、落石、亀裂、剝離等もなく、地表の土質も砂質土や粘性土の場合に使用可能であることが分かる。また、非常に多くの要因を考慮する必要がある。このことは、こ

これらの条件を満足しない場合には、植生工法が適用出来ないことになる（排除ルール）。

(3) 地表が岩質で亀裂がかなり有り、また勾配が

表-7 斜面安定工法に係わる要因の重要度

要 因	A	B	C	D	E	F	G
1. 落石の有無	0.577	0.233	0.919	1.000	0.001	0.075	0.095
2. 剝離の状況	0.148	0.250	0.988	0.441	0.023	0.147	0.202
3. 亀裂の状況	0.068	0.206	0.775	0.366	0.093	0.204	0.383
4. 侵食状況	0.177	0.117	0.386	0.239	0.094	0.063	0.038
5. 地表水の有無	0.643	0.304	0.818	0.462	0.700	0.419	0.079
6. 地下水の有無	0.154	0.349	0.638	0.509	1.000	1.000	0.411
7. 地表の土質	1.000	0.525	0.849	0.526	0.446	0.688	0.351
8. 地表の風化状況	0.226	0.289	0.806	0.405	0.020	0.097	0.158
9. 地質の構造	0.154	0.343	0.432	0.320	0.580	0.853	1.000
10. 支持地盤	0.000	0.371	0.016	0.316	0.064	0.414	0.636
11. 勾 配	0.714	1.000	1.000	0.990	0.402	0.531	0.536
12. 地 形	0.282	0.453	0.277	0.780	0.471	0.279	0.443
13. のり高	0.260	0.567	0.490	0.555	0.175	0.290	0.341
14. 地滑りの可能性	0.328	0.610	0.576	0.470	0.353	0.539	0.738
15. その他	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
サンプル数	126	127	126	117	107	108	122

(2) 工事の環境

要 因	A	B	C	D	E	F	G
1. 一般交通への影響	0.082	0.315	0.458	0.762	0.218	0.113	0.255
2. 周辺への騒音	0.020	0.085	0.174	0.053	0.109	0.101	0.190
3. 周辺への振動	0.011	0.015	0.000	0.021	0.100	0.078	0.186
4. 水質の汚濁	0.050	0.036	0.231	0.086	0.475	0.698	0.051
5. 工事用進入路の制約	0.145	0.726	0.463	0.754	0.711	0.432	0.724
6. 用地の確保	0.065	0.380	0.295	0.380	0.419	0.159	0.402
7. 作業スペース	0.129	1.000	0.806	1.000	1.000	0.933	1.000
8. 専門的労働者の確保	0.077	0.571	0.459	0.381	0.398	0.261	0.424
9. 機械・材料の確保	0.042	0.293	0.230	0.289	0.400	0.429	0.371
10. 工期の制約	0.289	0.426	0.422	0.375	0.424	0.249	0.432
11. 安全管理	0.170	0.720	0.912	0.680	0.331	0.336	0.570
12. 品質管理	0.487	0.767	1.000	0.359	0.568	1.000	0.492
13. 維持管理	0.564	0.474	0.477	0.646	0.934	0.125	0.102
14. 美 観	1.000	0.942	0.662	0.595	0.218	0.120	0.276
15. 斜面安定工事の規模	0.358	0.785	0.789	0.663	0.826	0.469	0.527
16. 工事中の雨量	0.717	0.344	0.611	0.358	0.787	0.502	0.154
17. 工事中の気温	0.667	0.124	0.279	0.000	0.000	0.011	0.040
18. その他	0.000	0.000	0.000	0.056	0.052	0.000	0.000
サンプル数	125	125	125	114	97	103	119

A: 植生工法 (斜面保護工法) B: 被覆工法 (斜面保護工法)
C: 吹き付け工法 (斜面保護工法) D: その他の斜面保護工法
E: 排水工法 (斜面安定工法) F: 地盤改良工法 (斜面安定工法)
G: 力学的安定工法

きつく、落石の可能性がある場合には、吹き付け工法が最適である。

(4) 被覆工法は、地表の風化がかなり進んでおり、地滑り・落石の可能性が非常に大きく、切り土で、

のり高も高い場合に適用可能である。

(5) 力学的安定工法は、斜面の安定勾配が確保でき、支持地盤が有り、地滑り・落石の可能性が有るような場所に適用可能である。

以上、「地山の状況」と斜面安定工法との関係を分析したが、工法により考慮すべき要因が異なり、またその内容も大きく違っている。これは工法の特性に基づくものであるため、各工法の特徴と地山の状況との関係を十分認識する必要がある。

図-5は、「工事の環境」と各工法との関連を分析した結果である。この結果からも各工法の特徴が読み取れるが、「地山の状況」ほど明確な差は認められないが、力学的安定工法は、一般交通への影響が大であり、被覆工法は美観の考慮や安全管理、品質管理、および工期の制約を特に受ける工法であると認識されていることが分かる。

以上の結果はあくまでも146サンプルから得られた結果であるため、必ずしも十分なものではないが、意思決定プロ

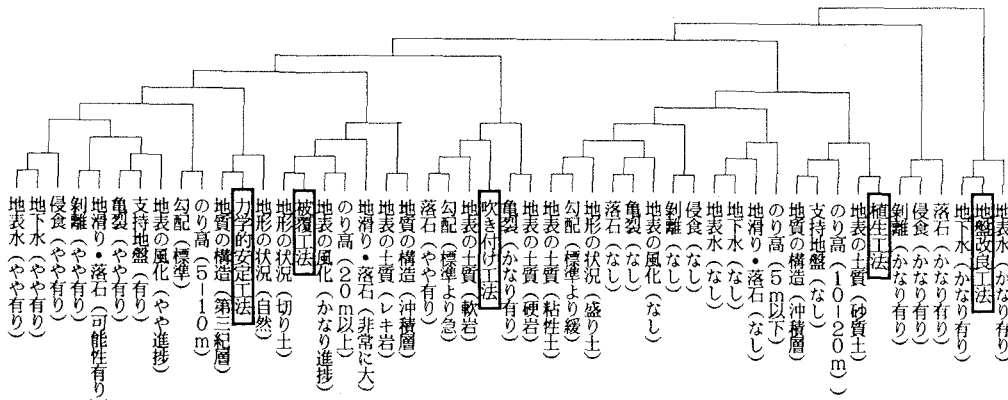


図-4 「地山の状況」に関するデンドログラム

セスとしては、非補償型のルールである排除ルールにより、工法の絞り込みがなされているが、最終的な工法選択においては補償型のルールも併用されていると考えられる。このことをより明らかにするため、数量化理論第2類を用いて直接的に工法の選択構造を分析する。すなわち、外的基準として工法を、また要因としては「地山の状況」と「工事の環境」の各々の要因を用いた。したがって、この意思決定基準は明らかに効用加算ルールに基づくものである。

数量化理論第2類の適用に当たっては、工法別に得られたサンプル数には著しい偏りがあったため、ここでは以下に示す3種類の工法のみによる分析を行う。また3種類の工法別のサンプル数も十分な数とは言えないため、ここで得られる結果は不十分なものとなる。しかし、本研究の目的は意思決定プロセスの構造化であり、工法選択モデルの作成ではない。当然、最終的には工法選択モデルを作成する必要があるが、その為にも意思決定プロセスの構造化を明確にする必要性があるのは当然である。

表-9は、植生工法（以下Aとする）、被覆工法（B）、および力学的安定工法（G）の3種類の工法についての結果を表したものであり、表の数値は数量化理論第2類によるレンジの値を示している（最大のレンジを1.0として基準化してある）。「地山の状況」では、3種類の組み合わせについて検討を行った。すなわち、A、B、Gと外的基準を3のグループとした場合と、AとB・GとA・BとGのように2のグループとした場合について各々検

討を行った。その結果、相関比と的中率が最も高くなったのは、AとB・Gの2つのグループに分割した場合である。これは、図-4の結果からも明らかのように、被覆工法（B）と力学的安定工法（G）は、植生工法（A）と比較して近い関係にあることから理解出来る。また、各要因のレンジの値から地下水や地表水の有無、あるいは侵食状況や勾配の状況が2つのグループの選別に大きな影響があることが読み取れる。

次に「工事の環境」について同様の分析を行った結果、被覆工法（B）と力学的安定工法（G）の分割が最もの中率が高い結果となった。これらの関係を図示すると結果的に図-7のようになる。図-7は、「地山の状況」においては植生工法（A）と被覆工法（B）・力学的安定工法（G）の2分割が適切であり、また「工事の環境」では被覆工法（B）と力学的安定工法（G）の分割を行うことにより、3種類の工法の選択を行うことが可能である。

このように意思決定が段階的に行われているということは、工法により考慮すべき要因が異なり、また意思決定ルールも単一ではなく、複数の意思決定ルールが併用されていると理解することができる。ただし、以上の分析は表-4に示したように、大分類のみの分析結果であり、実際には複数工法、あるいは小分類における工法の選択構造を明らかにする必要があるが、本研究においてはサンプルデータの不足により、この点については今後の課題としたい。

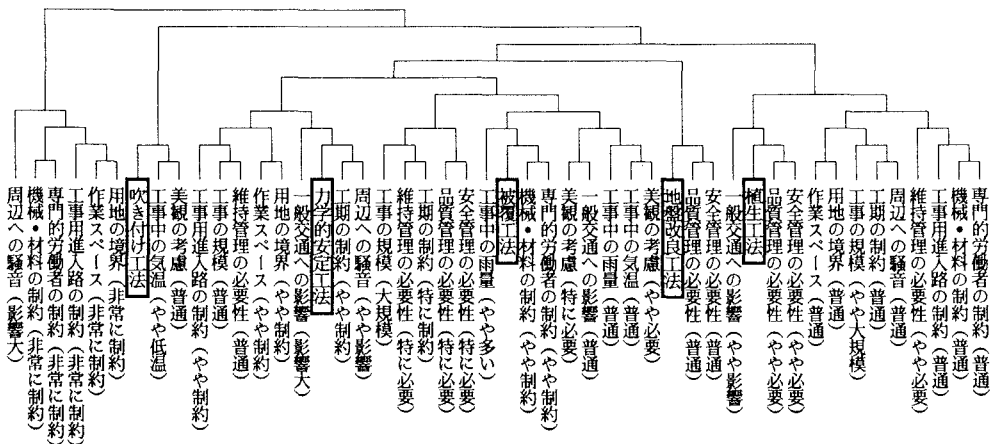


図-5 「工事の環境」に関するデンドログラム

表-9 数量化理論第2類による各要因のレンジ

記号	工法名	サンプル数
A	植生工法	26
B	被覆工法	30
G	力学的安定工法	51

(1) 地山の状況

要因	A,B,G	A,BG	AB,G
落石の有無	0.619	0.483	0.701
剝離の状況	0.344	0.463	0.446
亀裂の状況	0.165	0.334	0.179
侵食状況	0.612	0.842	0.604
地表水の有無	0.431	0.856	1.000
地下水の有無	1.000	1.000	0.849
地表の土質	0.613	0.665	0.479
地表の風化状況	0.047	0.171	0.205
地質の構造	0.210	0.424	0.330
支持地盤	0.314	0.327	0.298
勾配	0.872	0.726	0.911
のり高	0.326	0.521	0.235
地形	0.461	0.486	0.527
地滑り・落石の可能性	0.560	0.453	0.608
相関比	0.615	0.578	0.537
的中率	69.2%	89.7%	85.0%

(2) 工事の環境

要因	A,B,G	AB,G	A,G	B,G
一般交通への影響	0.083	0.071	0.506	0.554
周辺への騒音	0.953	0.948	0.593	1.000
工事用進入路	0.335	0.316	0.107	0.509
用地の境界	0.500	0.487	0.323	0.446
作業スペース	0.352	0.360	0.505	0.223
専門的労働者	0.718	0.700	1.000	0.562
機械・材料の制約	0.973	0.969	0.719	0.630
工期の制約	0.582	0.580	0.706	0.704
安全管理	0.161	0.165	0.443	0.260
品質管理	0.625	0.626	0.354	0.791
維持管理	0.194	0.188	0.528	0.218
美観	0.767	0.755	0.478	0.599
斜面安定工事の規模	0.232	0.226	0.121	0.220
工事中の雨量	0.600	0.575	0.231	0.677
工事中の気温	1.000	1.000	0.975	0.758
相関比	0.654	0.654	0.733	0.722
的中率	63.2%	90.6%	96.1%	97.5%

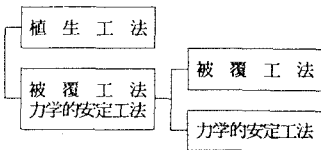


図-7 段階的意思決定構造

5. 結論と今後の課題

本研究は、建設工事における意思決定プロセスの明確化を目的として実施したものであり、以下のようなことが明らかとなった。

(1) 建設工事における意思決定のための要因の尺度を整理し、複数の意思決定者から得られた順序データを用いて、序列尺度から間隔尺度への変換方法を提案した。

(2) 建設工事における意思決定事例から、必ずしも単一の意思決定ルールが採用されている訳ではなく、複数の意思決定ルールが併用されている。

(3) 最終的に補償型の意思決定ルールが適用されている場合でも、その前段階においては非補償型のルールにより、選択枝の絞り込みが行われている。

(4) 斜面安定工事に関する実態調査結果から、単独工法のみ適用は全体の25%に過ぎず、残りの75%は複数の工法の組み合わせとなっている。中でも、被覆工法と植生工法の組み合わせや力学的安定工法と被覆工法の組み合わせが多い結果となった。

(5) 意思決定のプロセスとしては、第1段階が選択枝(代替案)の絞り込みであり、第2段階が総合評価による選択枝の決定という構造を想定した。その結果、選択枝の絞り込み段階においては、非補償型の意思決定ルールが、総合評価の段階においては補償型のルールが適用されているとの結論に達したが、必ずしも十分に証明された訳ではない。この点については、事例研究を通してさらに検討を行う必要がある。

本研究を実施するに当たっては、建設マネジメント委員会、計画・管理技法分科会に所属している委員の皆様には多大なるご協力を得た。ここに記して深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 石渡徳彌: マーケティングモデル解析(1)、共立出版、1990
- 2) 利根薫: ゲーム感覚意思決定法、日科技連、1986
- 3) 吉井・林: 建設工事における最適工法選定に関する一考察、土木計画学研究・講演集、No.10, pp.485-492, 1987
- 4) 斉藤参郎: 正値逆比行列を用いた順序付き多肢選択データの比率尺度構成とその分解法、福岡大学経済学論叢、Vol.33, No.1, pp.1-45, 1988
- 5) 守安・真砂・井上: 選好強度付一対比較判断に基づく基数効用値の同定、計測自動制御学会論文集、Vol.23, No.2, pp.83-88, 1987
- 6) 中村和弘: 小口径推進における工法選定基準、下水道協会誌、Vol.26, No.299, pp.47-63, 1989
- 7) 吉川・山田・日吉: 路上表層再生工法の維持修繕への適用について、建設省技術研究会報告、Vol.40, pp.553-557, 1986
- 8) 佐藤・八谷・林: 空港舗装の新しい修繕設計方法の開発、日加科学技術協議発表論文集「寒冷地舗装」、Vol.2, pp.203-219, 1984
- 9) 奥園誠之: 経験工学による斜面安定検討、第5回「施工体験発表会」講演概要、pp.1-8, 1987