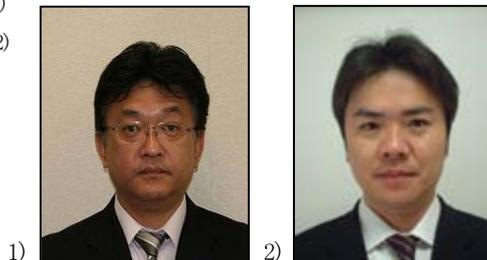


AHP法による斜面对策の優先度評価

Priority evaluation of slope measures by AHP method

交通事業本部 交通第1部 酒井 博章¹⁾
共通事業本部 地質部 河又 久雄²⁾



概要(Abstract)

「災害に強い安全な国づくり」は、我が国の重要政策の1つとして計画的な整備が推進されてきた。しかし、人口減少や少子高齢化を背景とした社会経済の停滞により、「防災対策」から「減災対策」への意識変化に伴う効率的かつ実現可能な事業の推進が望まれるようになった。このような背景を踏まえ、一般国道 229 号の島牧村原歌～栄浜間(延長約 10km)の道路防災対策検討において、事業の効率的な推進を目的に新たな試みとして実施したAHP法を用いた斜面对策の優先度評価について紹介する。

1. はじめに

一般国道 229 号の蘭越町港町～島牧村字持田の区間は、現在「島牧防災(仮称)」として事業展開を推進している(図-1)。この内、落石・崩壊、岩盤崩壊等の対策を要する箇所が連続・集中する島牧村原歌～栄浜区間には、事前通行規制区間(島牧村植車～栄浜)を有するものの、事業全体の基本的な方針が未整備であり、道路防災ドクター検討会においても早期の整備実現について指摘を受けている。

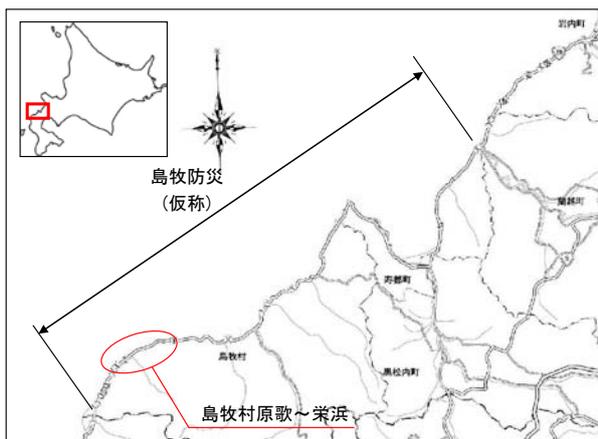


図-1 対象位置図

このような課題を踏まえ、本検討では計画的な事業の実現のために、道路防災の基本方針を策定し、AHP法を用いて斜面对策検討が必要とされる約 50 箇所の優先度評価を行った(図-2)。

【島牧防災の基本方針】(3つの視点)

- ①安全・安心の確保
- ②目標年度の事業達成
- ③コスト縮減

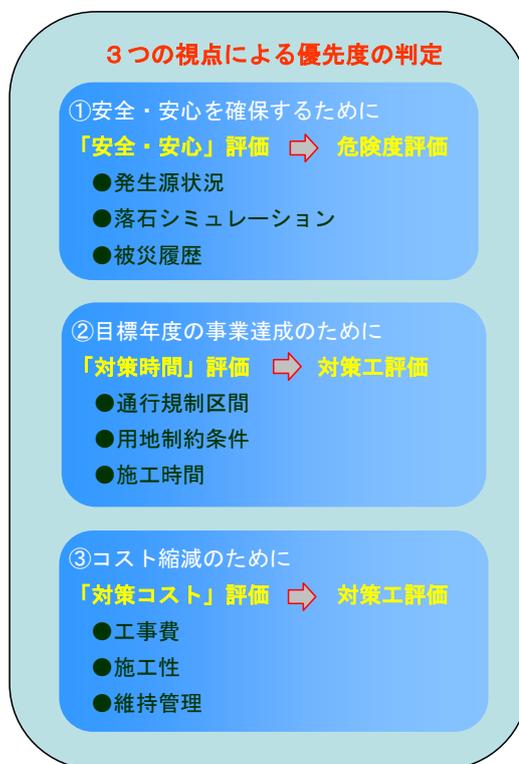


図-2 斜面对策工の基本方針

2. AHP法の概要

【AHP(Analytic Hierarchy Process)法

:階層化意志決定法】

AHP法は、意思決定における問題の分析において、人間の主観的判断とシステムアプローチとの両面からこれを決定する問題解決型の意味決定手法で、ピッツバーグ大学のThomas L Saatyが1971年に提唱した。

AHP法の概要は、意思決定過程を階層構造化して視覚化し、その重要度を数学的手法を用いて数量化することにより、意思決定過程を明確化するものである。具体的には、複数個ある代替案の中から順次二つずつ取り出した代替案を、意思決定者が一対比較してその重要度を基に総合的な決定を行う。

<AHP法の特徴>

- ◇評価基準が多く、共通尺度がない場合でも判断が可能である。
- ◇主観的価値基準によって、最も高い評価の代替案を選択できる。
- ◇不明瞭な要因を持ち定量分析が不可能な問題も可能である。
- ◇複雑な決定構造を階層化し、思考過程を明確化(視覚化)できるため、意識構造分析が可能である。
- ◇データ種類に影響されず修正が容易なため、感度分析が可能である。

【手順①】

対象とする問題を、全体目的から順次具体的な複数の下位目的へと階層化し、最下位層に代替案をおいた階層関係をつくる(図-3)。

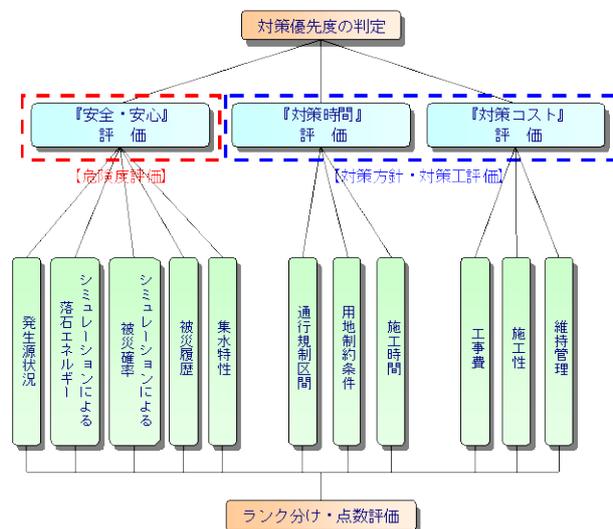


図-3 優先度評価の階層図(落石・崩壊)

【手順②】

各階層の同一レベル内の目的要素 A_p, A_j について、直上の目的に対する重要度を一対比較で相対的に評価する。

- 一対比較行列 paired comparison matrix

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \in R^{m \times n} \text{ ただし, } \begin{cases} a_{ij} > 0 \quad (\forall i, j) \\ a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (\forall i, j) \\ \sum_{i=1}^n a_{ij} = 1 \quad (\forall j) \end{cases}$$

【手順③】

一対比較行列からの重要度計算

- 一対比較行列から重みの計算

- 主固有ベクトル $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$

- $Aw = \lambda w \quad (w \neq 0)$

- 幾何平均 $g = (g_1, g_2, \dots, g_n)$

- $g_i := \frac{p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad p_i := \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} = \sqrt[n]{a_{i1} \times \cdots \times a_{in}} \quad (i=1, \dots, n)$

- 調和平均 $h = (h_1, h_2, \dots, h_n)$

- $h_i := \frac{q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad q_i := \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{a_{ij}}} \quad (i=1, \dots, n)$

【手順④】

整合度 C.I.による妥当性検証

- 一対比較の整合度 C.I. と整合比 C.R.

- 主固有ベクトルによる重みの場合の整合度

$$C.I. := \frac{\lambda_1 - n}{n-1} \quad (\lambda_1: A \text{の最大固有値})$$

- 幾何平均・調和平均による重みの場合の整合度

$$C.I. := \frac{\tau - n}{n-1} \quad \left(\tau := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{w_j}{w_i} \right)$$

- 整合比 $C.R. := \frac{C.I.}{R.I.}$

3. 優先度判定①:「安全・安心」評価

落石・崩壊箇所の安全・安心評価における評価基準は以下のとおりである。

- 落石・崩壊の発生源の分布状況
- シミュレーションによる落石エネルギーの規模
- シミュレーションによる被災確率の大小
- 被災履歴の有無と規模
- 集水地形の単位面積

各評価基準の一対比較と重要度結果を図-4に示す。ここでは、被災確率を重要視した。

評価基準

1	発生源は落石エネルギーに比べて	かなり重要でない	一対比較	重要度
2	発生源は被災確率に比べて	非常に重要でない		
3	発生源は被災履歴に比べて	やや重要でない		
4	発生源は集水特性に比べて	やや重要である		
5	落石エネルギーは被災確率に比べて	やや重要でない		
6	落石エネルギーは被災履歴に比べて	やや重要である		
7	落石エネルギーは集水特性に比べて	非常に重要である		
8	被災確率は被災履歴に比べて	かなり重要である		
9	被災確率は集水特性に比べて	非常に重要である		
10	被災履歴は集水特性に比べて	かなり重要である		

危険度評価	発生源	落石エネルギー	被災確率	被災履歴	集水特性	重要度
発生源	1.000	0.200	0.143	0.933	3.000	0.065
落石エネルギー	5.000	1.000	0.333	3.000	7.000	0.265
被災確率	7.000	3.000	1.000	5.000	7.000	0.502
被災履歴	3.000	0.933	0.200	1.000	5.000	0.131
集水特性	0.933	0.143	0.143	0.200	1.000	0.037

主固有ベクトル
整合度CI 0.1> 0.076
重要度合計 1.000

図-4 安全・安心評価における評価基準と重要度

次に、各箇所の評価基準ごとに点数付けを行い(表-1)、重要度をベクトルとした行列計算により安全・安心を評価(順位付け)した(表-2)。

表-1 安全・安心評価の評価基準ごとの重み

【落石・崩壊発生源】

発生源	ランク1	ランク2	ランク3	ランク4	ランク5
多数	5	4	4	3	1
中位	5	4	3	2	1
少数	4	3	2	2	1

【落石エネルギー】

評価	80%落石エネルギー(kJ)
5	E>1,000
4	1,000≥E>500
3	500≥E>350
2	350≥E>50
1	50≥E

【被災確率】

評価	被災確率(%)
5	Ps>80
4	80≥Ps>60
3	60≥Ps>40
2	40≥Ps>20
1	20≥Ps

【被災履歴】

被災履歴	複数回	1回	なし
落石φ>1.0m	5	4	1
1.0m≥落石φ>0.5m	4	3	1
0.5m≥落石φ	3	2	1

【集水地形】

評価	単位集水域(m ² /m)
5	A>800
4	800≥A>400
3	400≥A>200
2	200≥A>100
1	100≥A

表-2 安全・安心評価結果(落石・崩壊)

ID	H18施設管理番号	H18判定	H18ランク	安全・安心評価					AHP	AHP順位
				発生源	落石エネルギー	被災確率	被災履歴	集水特性		
I209	D229K735	I	1	4	5	5	5	4	4.899	1
I166	D229K595	II	2	5	4	5	5	2	4.625	2
I203	D229K715	I	1	4	5	4	4	4	4.265	3
I225	D229K790	I	1	5	2	4	2	3	3.235	4
I169	D229K605	II	2	4	1	5	4	3	3.670	5
I223	D229K785	II	2	2	1	5	1	4	3.183	6
I255	D229K860	II	2	3	2	5	1	4	3.513	7
I180	D229K635	I	1	4	1	5	1	3	3.276	8
I175	D229K620	II	2	3	1	5	3	3	3.474	9
I195	D229K690	II	2	4	2	3	3	4	2.836	10
I194	D229K685	II	2	2	1	4	1	1	2.571	11
I217	D229K765	II	2	2	2	5	1	4	3.448	12
I219	D229K770	II	2	5	5	1	1	3	2.392	13
I168	D229K600	I	1	5	5	1	1	1	2.319	14
I196	D229K695	II	2	4	3	1	1	4	1.834	15

4. 優先度判定②:「対策時間」評価

落石・崩壊箇所の対策時間評価における評価基準は以下のとおりである。

- 通行規制解除の要否
- 用地取得・借用に關する時間的な制約
- 施工に要する時間(長い、短い)

各評価基準の一対比較と重要度結果を図-5に示す。ここでは、通行規制を重要視した。

評価基準

1	通行規制は用地制約に比べて	かなり重要である
2	通行規制は施工期間に比べて	かなり重要である
3	用地制約は施工期間に比べて	やや重要でない

重要度評価	通行規制	用地制約	施工期間	重要度
通行規制	1.000	5.000	5.000	0.701
用地制約	0.200	1.000	0.333	0.097
施工期間	0.200	3.000	1.000	0.202

主固有ベクトル
整合度CI 0.1> 0.034
重要度合計 1.000

図-5 対策時間評価における評価基準と重要度

次に、各箇所の評価基準ごとに点数付けを行い(表-3)、重要度をベクトルとした行列計算により対策時間を評価(順位付け)した(表-4)。

表-3 対策時間評価の評価基準ごとの重み

【通行規制】

通行規制(通行規制解除を上位)

ランク	I	II
区間内	5	4
区間外	3	2
対策なし	0	

【施工期間】

施工期間(施工時間の要するものを上位)

2年以上	5
1~2年	4
0.5~1年	3
0~0.5年	2
管理対応	1
対策なし	0

【用地制約】

用地制約(用地取得に時間を要するものを上位)

保安林	5
道立公園	4
民地	3
国有地	2
道路用地	1
対策なし	0

表-4 対策時間評価結果(落石・崩壊)

ID	H18施設管理番号	H18判定	H18ランク	対策工評価(時間)			AHP	AHP 順位
				通行規制	用地制約	施工時間		
I209	D229K735	I	1	5	1	4	4.409	1
I166	D229K595	II	2	2	1	4	2.307	13
I203	D229K715	I	1	5	1	3	4.207	3
I225	D229K790	I	1	5	1	3	4.207	2
I169	D229K605	II	2	2	1	4	2.307	17
I223	D229K785	II	2	4	1	3	3.508	6
I255	D229K860	II	2	2	2	3	2.202	18
I180	D229K635	I	1	3	1	2	2.604	16
I175	D229K620	II	2	2	1	2	1.903	22
I195	D229K690	II	2	4	1	2	3.304	8
I194	D229K685	II	2	4	1	2	3.304	12
I217	D229K765	II	2	0	0	0	0.000	27
I219	D229K770	II	2	4	2	3	3.604	7
I168	D229K600	I	1	3	1	3	2.483	16
I196	D229K605	II	2	2	2	3	2.105	9

表-6 対策コスト評価結果(落石・崩壊)

ID	H18施設管理番号	H18判定	H18ランク	対策工評価(コスト)			AHP	AHP 順位
				工事費	施工性	維持管理		
I209	D229K735	I	1	5	3	4	4.379	1
I166	D229K595	II	2	5	3	4	4.379	2
I203	D229K715	I	1	3	2	2	2.637	7
I225	D229K790	I	1	4	3	4	3.742	3
I169	D229K605	II	2	4	2	2	3.274	4
I223	D229K785	II	2	3	4	1	3.049	6
I255	D229K860	II	2	2	4	2	2.517	14
I180	D229K635	I	1	2	3	3	2.363	15
I175	D229K620	II	2	2	1	1	1.837	21
I195	D229K690	II	2	2	3	4	2.468	13
I194	D229K685	II	2	2	1	3	1.846	18
I217	D229K765	II	2	0	0	4	0.419	26
I219	D229K770	II	2	2	1	1	1.837	20
I168	D229K600	I	1	3	1	3	2.483	16
I196	D229K605	II	2	2	3	4	2.105	9

5. 優先度判定③:「対策コスト」評価

落石・崩壊箇所の対策コスト評価における評価基準は以下のとおりである。

- 工事コストの大小
- 施工性の易難
- 維持管理の易難

各評価基準の一対比較と重要度結果を図-6に示す。ここでは、工事費を重要視した。

評価基準

1 工事費は施工性に比べて	やや重要である
2 工事費は維持管理に比べて	かなり重要である
3 施工性は維持管理に比べて	やや重要である

主固有ベクトル

重要度評価	工事費	施工性	維持管理	重要度
工事費	1.000	3.000	5.000	0.637
施工性	0.333	1.000	3.000	0.258
維持管理	0.200	0.333	1.000	0.105

整合度CI 0.1> 0.010

重要度合計 1.000

図-6 対策コスト評価における評価基準と重要度

次に、各箇所の評価基準ごとに点数付けを行い(表-5)、重要度をベクトルとした行列計算により対策コストを評価(順位付け)した(表-6)。

表-5 対策コスト評価の評価基準ごとの重み

【工事費】
工事費(金額が高価のものが上位)

100百万円以上	5
50~100百万円	4
10~50百万円	3
1~10百万円	2
1百万円未満	1
対策なし	0

【施工性】
施工性(施工が困難なものが上位)

困難	5	岩盤除去工
やや困難	4	法面工
中位	3	斜面防護柵
やや容易	2	路肩擁壁
容易	1	路肩防護柵
対策なし	0	

【維持管理】
維持管理(維持管理にコストを要するものが上位)

困難	5	(落石防護網)
やや困難	4	(高エネルギー吸収型落石防護柵)
中位	3	(落石防護柵)
やや容易	2	(落石防護擁壁)
容易	1	(場所打ち吹付け法砕工、土堤)

6. 総合評価

本検討では、AHP法を用いて斜面对策における優先度評価を行った。基本方針に示すそれぞれの視点の違いで優先順位が変わってくるが、最も基本となるのは、「安全・安心」による優先度であり、今後の事業展開の根幹となるものである。

島牧防災事業は、箇所数が多いため中期的な視点(10年程度)での事業展開となる。ここで、事業継続中においては、事業コストの抑制や事業工程の短縮などの社会情勢や重要度の変化に応じて、コスト評価による優先度や対策時間による優先度にシフトして、弾力的な運用が必要と考える。

7. おわりに

複数の代替案に対して評価を行う「多基準分析手法」には、「AHP法」以外に「トレード・オフ法」や「レジーム法」等があるが、公共施設の比較検討で用いる「○」or「×」による点数で評価する「加重総和法」が最も一般的である。

現在、AHP法は、「地すべりの活動評価」や道路事業評価として「費用便益法」との併用での採用報告はあるものの実績は非常に少ない。ただし、本検討のように評価対象の数が多く、評価基準の共通尺度がない場合でも定量的な評価が可能のため、その適用範囲は広いと思われる。また、採用に当たっても Excel で容易に作成可能であり汎用性も高いことから、今後の活用が期待できると考える。