

P1 地質技術者 14 人による地形学要素に基づく不安定斜面の分類と安全率

Classification and Safety Factor of Unstable Slopes Based on Geomorphological Elements by 14 Geologists

○木村隆行, 工藤 健雄(エイト日本技術開発), 八野 祐二, 吉川 猛(基礎地盤コンサルタンツ)
井上 真, 今西 将文, 伊達 裕樹(ウエスコ), 笹井 友司, 松井 章弘(中電技術コンサルタント)
西垣 誠(統合物性モデル技術研究組合)

1. はじめに

現在 AHP 法を用いた様々な地すべり危険度評価手法が研究されているが、地すべり特性や斜面特性は地域で異なるため、基本的には地域毎に AHP 評価項目を設定する必要がある。今回、中国地方吉備高原面を開析する古生層の斜面において、公開されている地理院地図 GSIMaps の地形図および傾斜量図で不安定斜面を抽出するとともに、14 人の熟練技術者により AHP 項目評価を行い、評価点を設定した。その評価点は衛星 SAR による絶対値平均変動量とも相関があり、6 段階の評価点分類とともに、評価点から現況安全率を仮定することも考えられたので報告する。

2. 熟練地質技術者 14 人による AHP 法の配点表

研究対象領域は、岡山県南西部で破砕質の古生層（泥質岩，変輝緑岩などが分布する夜久野オフィオライト）の吉備高原面を河川が下刻している東西 4km 南北 5km の区域を対象とした。公開されている地理院地図 GSIMaps で傾斜量図を併用し 62 の不安定斜面を抽出したが、防災科学研究所の地すべり地形 24 箇所を含んでいる。

中国地方の AHP 法は、河野ら(2020)¹⁾が地形や地質などの項目による評価手法を適用し、防災科学研究所の地すべり地形占有率を評価し、危険度を検証している。今回は実務的な不安定斜面の評価を想定し、北海道立総合研究機構地質研究所ら(2012)²⁾による「地すべり活動度評価手法マニュアル(案)」の項目に準じ、現地にあわせた中分類 10 項目・小分類 40 項目の評価項目で、統合物性モデル技術研究組

表-1 AHP 配点一覧表

大分類 階層1	中分類 階層2	小分類 階層3	AHP点数
地すべりの発達段階	地すべり地形明瞭度	地すべり形状初期	4.33
		地すべり形状ややあり	8.06
		地すべり形状明確	13.96
		地すべり形状解体	4.32
地すべり活動の新しさ	不動域/滑落崖	背後段差あり	21.11
		滑落崖のみ	12.16
		集水地形勾配化	6.33
		地表従順化	4.47
	移動体内微地形鮮度	明瞭段差地形多数	21.11
		段差地形点在	11.34
		小凹凸微地形点在	6.55
		小凹凸微地形不明瞭	3.52
	移動体舌端部	前面崩壊急斜面あり	10.56
		凹凸面あり	5.13
		移動体のみ	3.27
		地表の従順化	1.95
地すべりのポテンシャル	リニアメント遭遇数	2か所以上遭遇	3.10
		1か所遭遇	1.84
		近接遭遇	1.06
		遭遇なし	0.63
	地すべり全体開放度	側部および下部開放（沢など）	7.06
		側部一部および下部開放（沢など）	4.19
		下部のみ開放	2.42
		下部閉塞（ボトルネック）	1.44
	移動体下部の勾配	移動体平均勾配より著しく急	6.51
		移動体平均勾配よりやや急	3.87
		移動体平均勾配と同じ	2.23
		移動体平均勾配よりゆるい	1.33
	末端の浸食状況	河川攻撃斜面	16.59
		河川または海岸線	7.85
		沢に面する	4.22
		沢に面していない	2.30

合の 14 人の熟練地質技術者で「1 対比較」を行った。集計した中間値を採用し現地 62 箇所の不安定斜面の評価点を求め、その相関解析を行った。相関が得られない中分類 2 項目・小分類 8 項目を削除し、再度、配点表を構築したのが表-1 になる。この表-1 の最大合計が 100 点になり、最も不安定ということになる。つまり、熟練地質技術者 14 人の知恵で判断できる配点表である。

3. 熟練地質技術者 14 人による AHP 法の評価点と安定度

現地 62 箇所の不安定斜面の評価点の頻度分布図は図-1 のようになり、中間の 50 点を中心に正規分布状に分布する。斜面評価を 6 段階の AA～E とした場合、現地には AA と E はなく、A～D ランクとなった。これは、現地は現状で著しく移動している地すべりの AA ランクがなく、不安定斜面とはいえ基本的には「動いていない地すべり相当」と考えられる。微細な変位はあるかもしれないが、通常では確認できない地すべりともいえる。その場合ひとつの目安として、中間点の AHP=50 を $F_s=1.10$ とし、AHP=90 を $F_s=1.00$ とする表-2 のような安定度区分や F_s の目安が考えられる。

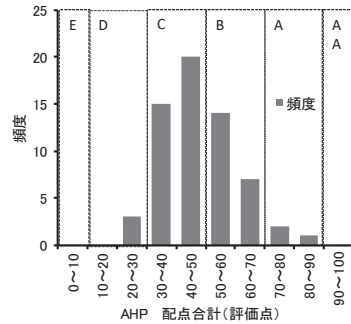


図-1 AHP 評価点分布図

表-2 AHP 評価点と安定度評価

AHP 評価点	安定度	目安としてのAHPとFs案
～10	E: かなり安定	-----10 $F_s=1.20$
10～30	D: 多少安定	-----30 $F_s=1.15$
30～50	C: 僅かに安定	-----50 $F_s=1.10$
50～70	B: 僅かに不安定	-----70 $F_s=1.05$
70～90	A: 多少不安定	-----90 $F_s=1.00$
90～	AA: かなり不安定	

$$F_s = (90 - \text{AHP}) / 400 + 1$$

式(1)は、AHP 評価点による F_s 算定式の案で、式(2)は稲垣・長谷川ら(2005)³⁾による開析度による F_s で、式(3)は日本道路公団(1985)⁴⁾による式を地形要素のみで再構成した F_s 修正式になる。図-2 は日本道路公団の地形による F_s の分布だが、ほぼ中央に式(1)が分布しており、図-3 は稲垣・長谷川らの開析度による F_s 分布の下限に式(1)が位置し、安全側評価となる。AHP による F_s 式は概ね妥当と考えられる。

AHP 評価点による安全率

$$F_s = (90 - \text{AHP}) / 400 + 1 \quad (1)$$

稲垣・長谷川らの開析度 $D(\%)$ による安全率

$$F_s = 1 + 0.007 \times D \quad (2)$$

日本道路公団 (1985) の地すべり地形安定度評価の地形項目限定の修正式⁴⁾

$$F_s = 1.148 + \left(\begin{array}{c} \text{定数項} \\ -0.035 \text{ (四新三)} \\ +0.089 \text{ (古三中)} \\ -0.038 \text{ (古生層)} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{断面斜面形} \\ -0.029 \text{ (凸)} \\ +0.119 \text{ (直)} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{遷急線} \\ +0.047 \text{ (凹)} \\ -0.061 \text{ (複)} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{遷急線} \\ +0.033 \text{ (有)} \\ -0.106 \text{ (無)} \end{array} \right) + \text{誤差} \quad (3)$$

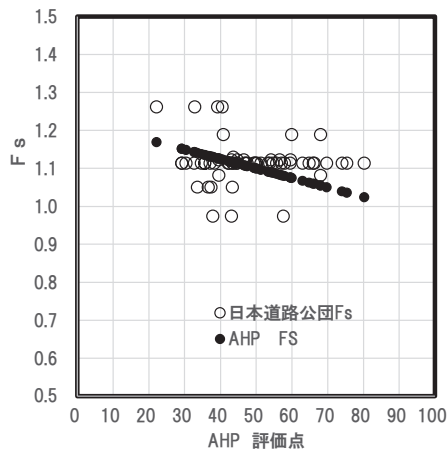


図-2 日本道路公団地形 F_s と AHPFs

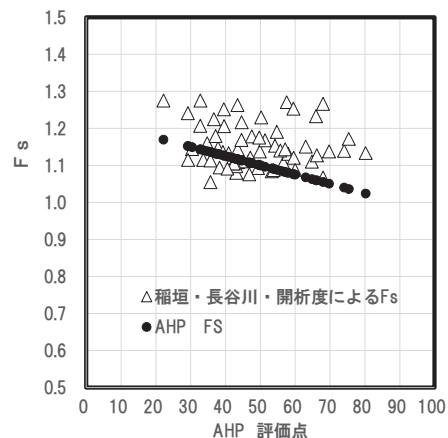


図-3 開析度 F_s と AHPFs

図-4 は、2015～2022 の衛星 SAR のデータ解析による各ブロックの変位速度(mm/y)の絶対値平均（ブロック内3領域の変動量絶対値の平均）と AHP 評価点との相関図で、評価点が高いほど、現地が変動している傾向を示している。図-5 は、同様に絶対値平均変位速度と AHPFs の関係で、相関が認められる。つまり、動いていない地すべりの「うごめき」を衛星 SAR で把握できた可能性を示している。この衛星 SAR の絶対値平均変位速度を「うごめき量」と定義する。誤差を含むなかで変動してる地盤の微かなうごめきを把握していると推定されるからである。

また、図-6 は西向き地すべりで衛星から離れる方向で相関があり、図-7 は東向き地すべりで衛星に近づく地すべりで相関がやや低くなっており、衛星 SAR の特性として、衛星から離れていく変位は把握しやすく、衛星に近づく変位は把握しにくい特性を示している可能性がある。

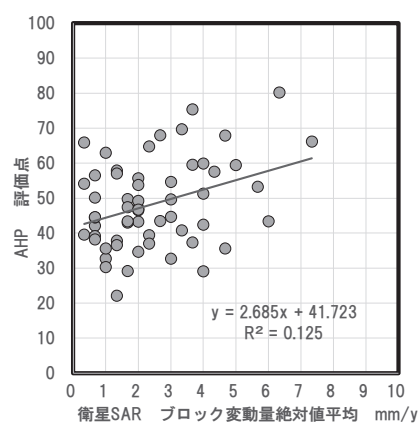


図-4 衛星 SAR 変位速度と AHP

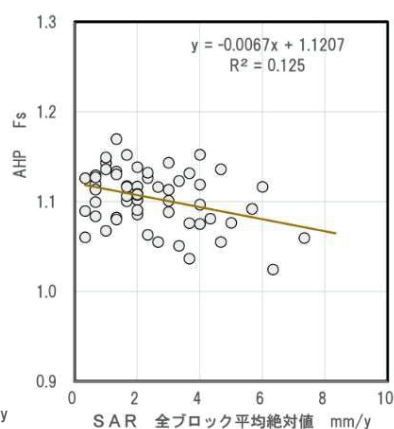


図-5 衛星 SAR 変位速度と AHPFs

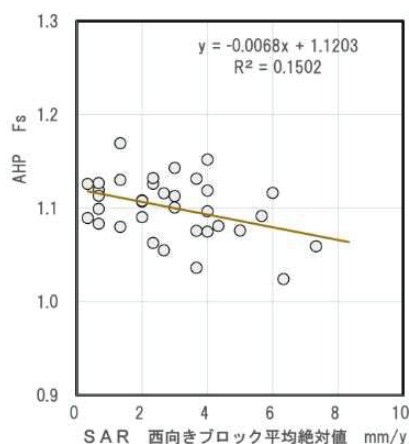


図-6 西向き変位速度と AHPFs

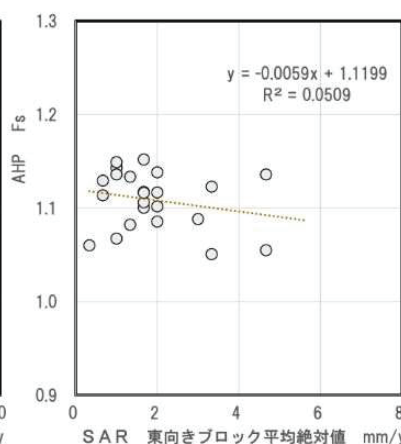


図-7 東向き変位速度と AHPFs

4. 熟練地質技術者 14 人の判断を逆解析で推定する

ここで、熟練地質技術者 14 人の判断の結果である AHP 評価点を、様々な地形要素で相関を確認し、どのような判断をしているかを逆解析したのが図-8～11 である。図-8 は移動体の斜距離 VH2 と AHP 評価点で、移動体が大きいが不安定という判断をする傾向があった。図-9 は移動体の角度 θ_2 と舌端部の角度 θ_3 の比、つまり舌端部(下部)の角度が大きく安定度 F_s が小さい方が不安定という判断をしている傾向があった。図-10 は、舌端部(下部)の水平距離 H3 と移動体全体の水平距離 H2 の比、つまり舌端部の開析進行が進んで大きくなっていない状況、舌端部が不安定のまま残ってい

る方が不安定という判断をしている傾向があった。図-11 は、応力開放量が大きい方が不安定という判断をしている傾向があった。その他の傾向を含め、複雑な地すべり地形発達過程を考慮しながら判断している傾向があり、AHP の判断が複雑な思考を反映しながら決定されている傾向が確認できた。

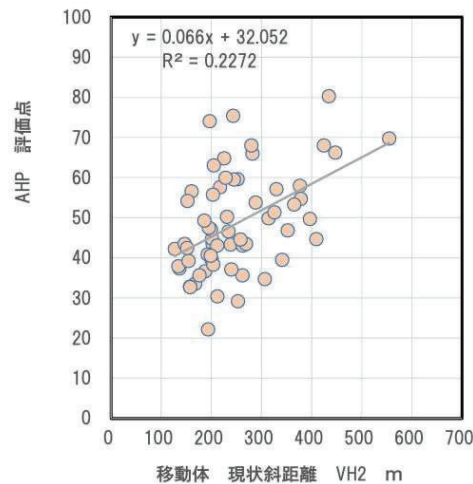


図-8 移動体現状斜距離と AHP

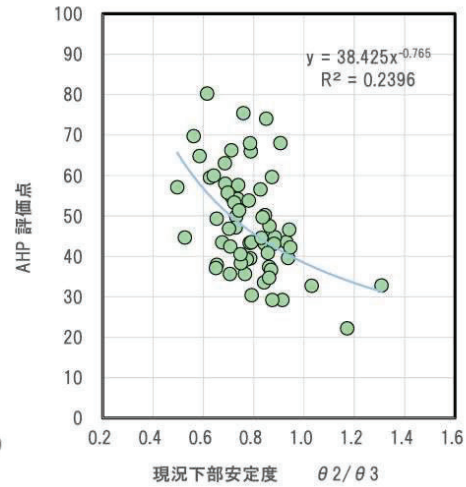


図-9 現況下部安定度と AHP

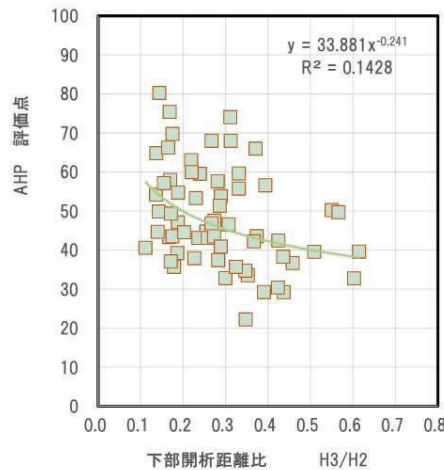


図-10 下部開析距離比と AHP

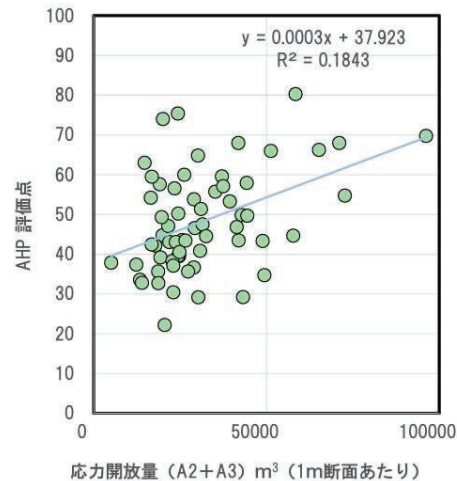


図-11 応力開放量と AHP

5. まとめ

AHP 配点一覧表は、不安定斜面の区分と安定度順位付けや、斜面安定評価や F_s 設定に有効となる可能性がある。また AHP 評価点の項目や他の地域性などを今後検討予定である。なお当研究に当たり、八雲研究財団からの研究助成を受けて実施したもので、厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 河野勝宣ほか(2020): AHP 法および GIS を用いた中国地方における地すべりハザードマッピングの試み, 日本地すべり学会誌, Vol.57, No.1, pp.3-11.
- 2) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構地質研究所, 他(2012): 地すべり活動度評価手法マニュアル(案), pp.1-7.
- 3) 稲垣秀輝ほか(2005): 古期地すべりの安定性, 地盤工学会, 土と基礎, 7月号, pp.17-19.
- 4) (財)高速道路調査会(1985): 地すべり地形の安定度評価に関する研究報告書(日本道路公団委託), pp.75-199.