

岩盤崩壊崩土到達範囲予測システムの大規模急崖岩盤斜面への適用

Analyses on the rock slopes in Hokkaido using Hazard Area Estimation System for rock mass failure debris

株式会社ドーコン防災保全部 ○正員 桑野 健 (Takeshi Kuwano)
 株式会社ドーコン防災保全部 正員 川北 稔 (Minoru Kawakita)
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 大西有三 (Yuzo Ohnishi)
 京都大学大学院工学研究科 正員 西山 哲 (Tetsu Nishiyama)

1. はじめに

岩盤崩壊は突発的で高速、大規模に発生することがあり、社会的経済的損失だけでなく人命損失を含む甚大な被害を及ぼすことがある。北海道では豊浜トンネルや第2白糸トンネル、北見北陽法面、えりも町斜面崩壊といった大規模な岩盤崩壊を経験しており、そのたびに事故調査委員会が設けられ、綿密な調査が実施されてきた。しかし平成8年度道路防災総点検の結果によれば、全国には斜面安定性が不安視され、早期に対策を図る必要のある箇所が56,700箇所、日常点検や定期点検による監視強化箇所は145,500箇所と、道路に関してだけでも膨大な数の斜面崩壊の危機を抱えている。

このような背景の中、土木学会において「大規模岩盤崩落検討委員会」が設置された¹⁾ほか、様々な学会や機関が、各種委員会を立ち上げて岩盤崩壊に関する研究や技術開発を活動的に行い成果を公表している^{2) 3) 4)}。しかしながら、大規模岩盤崩壊の予知予測は困難であり、現状ではその調査、評価、管理手法は未だ確立しておらず、今後取り組むべき技術的課題が残されている⁵⁾。

現在、このように研究開発が進められているが、交通網が海食崖直下や急峻な山稜地帯にまで及んでいる我が国では、道路等が急崖岩盤斜面に隣接することが多く、特に岩盤崩壊の崩土到達範囲を的確かつ効果的に予測し、防災管理に資することが極めて重要である。

著者らは、岩盤斜面の対策工設置や災害応急復旧時の人員配置等においてより安全で効果的、効率的な検討が行えるように、数量化理論を用いた岩盤崩壊の崩土到達範囲予測手法⁶⁾とその手法を組み入れたシステムを

開発し⁷⁾、過去の大規模岩盤崩壊事例における崩土到達範囲と比較するなど検討を重ねてきた。本文では、崩土到達範囲の予測手法とシステムを使った解析の流れについて述べ、また、本システムの北海道における大規模急崖岩盤斜面への適用性について考察した。

2. 崩土到達範囲の予測手法

岩盤崩壊の崩土到達範囲には崩壊高さや崩壊形態、斜面勾配、地質といった様々な量的、質的な要因が相互に関連していると思われる。多変量解析の一種である数量化理論は、このような複雑に絡み合ったデータに対して、その統計的傾向を解析する場合に有効である。本システムで利用した解析では、日本国内の124事例の岩盤崩壊に対して、数量化理論I類を使って多変量統計解析を実施し、到達範囲に影響を与える要因(アイテム、カテゴリ)とその寄与度(カテゴリースコア)との関係を数量化した。その結果、表-1で示されるような斜面条件を決定することにより、到達範囲を一定の値として予測することができるようになった。なお、本研究では到達範囲を、崩壊規模に依存せず、定量的に表現できる係数として「見通し仰角」および「飛散角」(図-1)を用いた⁶⁾。到達範囲の予測は見通し仰角と飛散角それぞれにおいて行なった。

しかしながら、この予測値と実際の崩土到達範囲(実測値)とは完全には一致せず、隔たりが生じてしまう。そこでその隔たり部分を考慮して、予測値を一定値としてではなく、確率分布を求めることにより確率的に幅を持たせた到達範囲として求めた。すなわち、実測値と予

表-1 斜面条件一覧

アイテム	カテゴリ							
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
崩壊高さH (m)	<25	<50	<75	<100	<125	<150	<200	200≦
崩壊幅Ws (m)	<10	<20	<30	<50	<100	100≦		
崩壊規模V (m ³)	<300	<1000	<3,000	<10,000	<100,000	100,000≦		
崩壊形態Ty	崩落型	滑動型	転倒型					
地質Ge	塊状火砕岩	層状火砕岩	溶岩	貫入岩	深成岩	堆積岩	変成岩	
地形・地質	露岩	崖錐堆積物	水面	構造物				
急崖部の斜面傾斜D (°)	<60	<70	<80	80≦				

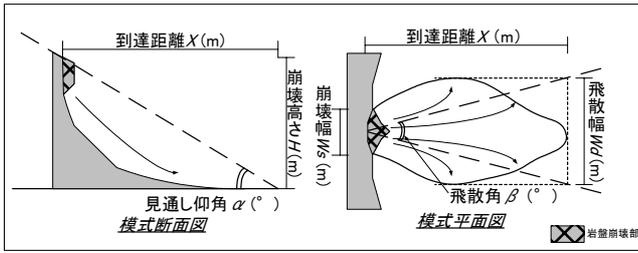


図-1 システムで利用する到達範囲の模式図

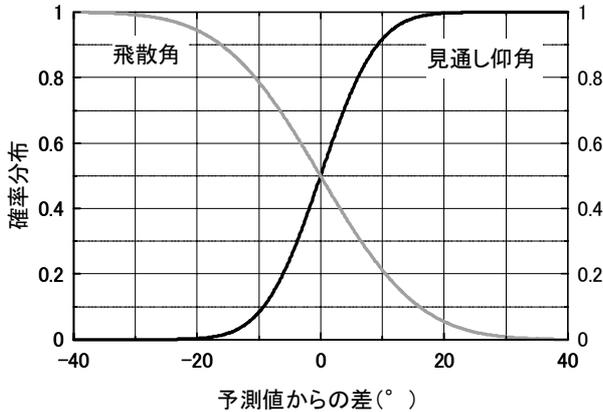


図-2 見通し仰角と飛散角の累積分布関数

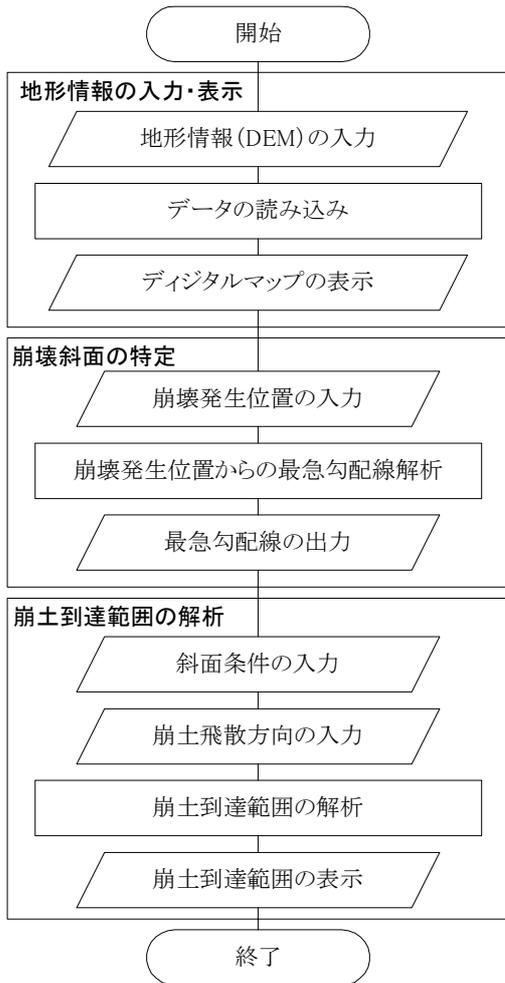


図-3 システムの解析フローチャート

測値の隔たりである「残差」のばらつき程度が、正規分布であることを利用して確率予測を行なった。正規分布であるため、ある区間内、例えば予測値±標準偏差の区間内には約 68%の確率で崩土が到達するといった予測が可能となる。しかし、このとき求められた確率はその区間で崩土が停止する確率であり、実際の岩盤崩壊を考えた場合、崩壊発生位置から停止位置までの区間すべてを崩土が通過しており、崩壊発生位置に近い箇所ほど崩土が到達（通過）する確率が高くなると考えられる。そのためこの正規分布の確率密度関数を積分することより、各残差の発生確率を累積した累積分布関数（図-2）を用いて、崩土の到達確率を求めた。累積分布関数により、崩土到達範囲をその危険度に応じて、確率的に表示することができる。

3. システムによる解析の流れ

本システムは数量化理論の解析結果に基づいて予測される岩盤崩壊の崩土到達範囲を、システム内で計算し、デジタルマップ上に表示するシステムである。本システムでは予め算出されている結果を用いることから、システム内では新たに解析を行なう必要はなく、単純な計算を行なうのみであるため、解析速度が高速、入力する斜面条件が簡便といった特徴がある。さらに崩土到達範囲の予測値は到達確率（%）を用いてデジタルマップ上に表示されるため、危険度を段階的に表現した到達範囲確率予測図が形成される。以下に本システムにおける解析・予測・表示の流れについて解説する（図-3）。

3.1 地形情報の入力・表示

解析にあたっては、基図のデジタルマップとなる地形情報（標高データ）として、DEMを読み込む。読み込まれたDEMは、デジタルマップとしてメイン画面上に表示される（図-4）。デジタルマップでは各メッシュを標高ごとに色分けして地形形状を表現する。

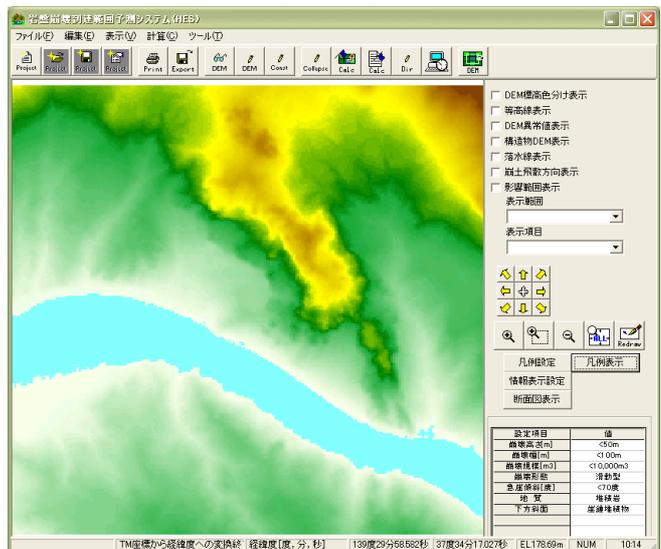


図-4 地形情報 (DEM) の表示例

3.2 崩壊斜面の特定

表示されたデジタルマップ上で崩壊斜面を特定し、崩壊発生位置を入力する。崩壊発生位置は、デジタルマップ上でマウスクリックすることにより入力されるほか、キーボードから緯経度などの座標値で入力することも可能である。

また本システムは崩壊発生位置からの斜面の最急勾配線を出力する機能をもつ。最急勾配線の解析は、崩壊発生位置周辺の地形状況の理解を助けるほか、後述する崩土の飛散方向を決定する場合に重要となる。

3.3 崩土到達範囲の解析

崩土到達範囲の解析を行なうために、到達範囲を決定

する因子である斜面条件を入力する。斜面条件は崩壊状況と地形地質状況とからなっており、表-1 に示されるアイテム、カテゴリーから選択的に入力する(図-5)。斜面条件の組合せによって決まるカテゴリースコアの合計値に基づいて、見通し仰角と飛散角それぞれの予測値を算出する。次に崩土の飛散方向を入力する。崩土の飛散方向は、崩壊発生位置ごとに設定する(図-6)。

斜面条件および崩土飛散方向を入力した後、岩盤崩壊の崩土の到達範囲を数量化理論の結果に基づいて解析する。一般に崩壊発生位置に近いほど到達確率が高く、危険地域となる。崩土到達範囲の形状は、見通し仰角によって決定される到達距離と、飛散角によって決定される飛散幅を各辺とする矩形として表現される(図-7)。



図-5 斜面条件入力画面

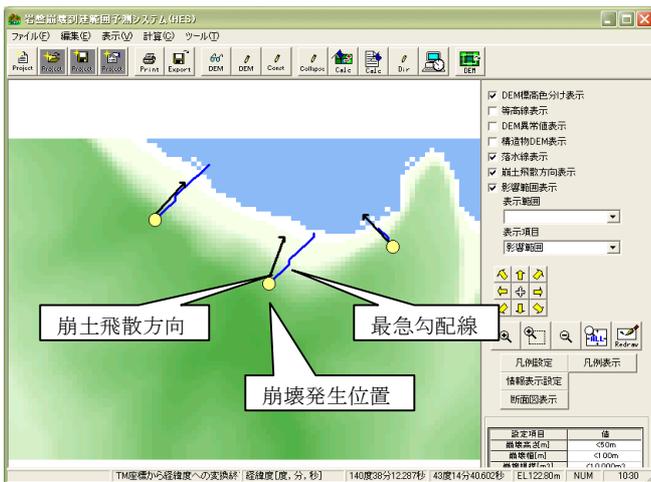


図-6 崩土飛散方向の表示例

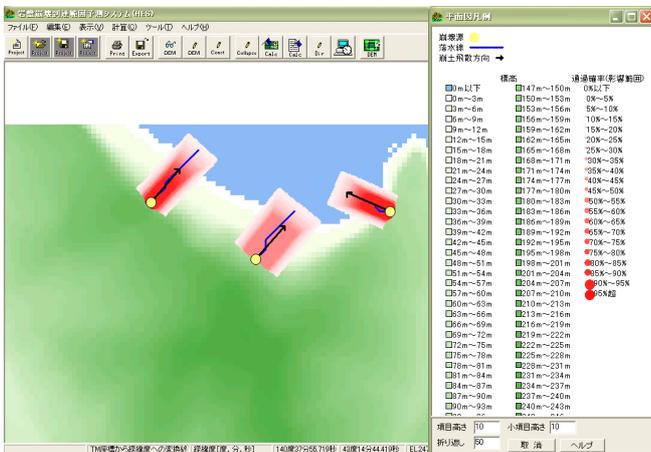


図-7 到達範囲の確率表示と凡例

4. 北海道における大規模急崖岩盤斜面への試行

次に北海道内における過去の岩盤崩壊事例文献から、実際の崩土到達範囲と、本システムにより求めた予測の崩土到達範囲を比較検討した。

図-8(a)は、比高 150m 程度の水冷破砕岩急崖斜面の中腹から発生した崩落型の岩盤崩壊で、崩土は斜面下部の崖錐堆積物および現道上に落下し、一部が海上まで飛散した事例である⁸⁾。これは本システムにより得られた予測到達範囲でいえば、到達確率 60%より内側に収まる範囲となる。また崩土の到達範囲が、到達距離に比べて飛散幅が広がっている横長の形状を呈する原因としては、崩壊後、飛散した一部の岩塊を除いて崩落岩体がほとんど破壊せず、その場で停止した⁸⁾ためであると考えられる。

図-8(b)の事例では、比高 200m 程度の水冷破砕岩急崖斜面で発生した崩落型の岩盤崩壊で、崩土は斜面下部の崖錐堆積物および現道上に落下し、一部が海上まで飛散した⁹⁾。これを本システムの予測到達範囲に重ねると、概ね到達確率 50%内に収まっているが、到達距離方向において一部が 30%付近まで伸びていることになる。これは岩盤が崩壊した後、飛散した箇所が現道を含む構造物であった⁹⁾ため、岩塊の一部が道路表面で大きく飛散して海上まで到達したことによるものと考えられる。

図-8(c)は、図-8(b)と同箇所での2日後に発生した滑落型の岩盤崩壊である。崩土は図-8(b)の崩壊岩塊上に落下した⁹⁾。崩土は本システムによる予測到達範囲の到達確率 50%内に完全に収まっている。これは、崩土が2日前に発生した崩壊の崖錐堆積物上に落下した²⁾、緩衝され飛散が拡大しなかったためと推察される。

以上の3事例では、実際の崩土到達範囲が予測到達範囲の到達確率 40~60%の内側に概ね収まっていることが判明した。これは本予測手法による到達範囲の予測値が、予測到達確率 50%の位置に一致することを勧告すると、見通し仰角および飛散角の両方において予測精度もよく、妥当であったと判断できる。ただし、一部斜面の状況によっては予測値よりもやや大きく飛散する場合があります。今後さらに多くの事例で検証を進め、精度を向上させていく必要がある。

5. おわりに

本研究では、岩盤崩壊の崩土到達範囲を確率的に予測する手法とそれを組み込んだシステムを開発し、北海道における過去の大規模岩盤崩壊事例と比較を行った。その結果、実際の岩盤崩壊の崩土到達範囲は概ね、本システムにより得られた予測崩土到達範囲の到達確率 40～60%の内側に収まっていた。しかし斜面状況によっては実際の到達範囲が大きく広がる可能性があるので十分な注意が必要である。

本システムは、現段階では過去の統計解析に基づいた確率的な到達範囲の算出において適用されるシステムである。すなわち、所定区間のなかで崩土到達範囲の大きさを捉える目安という位置づけであり、絶対的な崩壊危険度や崩壊量等を算出するものではない。そのため、今後精密な岩盤斜面のハザード評価を行なう場合には、精度の高い地形情報や個別要素法、不連続変形法などの数値解析手法、および現地詳細調査と組み合わせて利用することが重要である。

参考文献

- 1) 土木学会：大規模岩盤崩壊に関する技術検討委員会報告書、1997.
- 2) 北海道日本海沿岸における大規模岩盤崩落検討委員会：委員会報告書、1999.
- 3) 北海道での岩盤計測に関する調査調査技術検討委員会：委員会中間報告書、2000.
- 4) 地盤工学会北海道支部：岩盤崩壊の発生機構と計測技術、岩盤崩落の機構解明と計測技術に関する研究委員会、2000.
- 5) 大西有三・西山哲：岩盤崩壊と落石問題に関する現状と課題、地すべり、Vol. 39, No. 1, pp. 1-13, 2002.
- 6) 桑野健・佐々木靖人・脇坂安彦：多変量解析による岩盤崩壊物質の到達範囲の検討、応用地質、Vol. 45, No. 1, pp. 31-41, 2004.
- 7) 桑野健・阿南修司・佐々木靖人：岩盤崩壊の崩土到達範囲予測システムの開発、情報地質、Vol. 16, No. 3, pp. 199-208, 2005.
- 8) 豊浜トンネル崩落事故調査委員会：豊浜トンネル崩落事故調査報告書、北海道開発局、1996.
- 9) 第2白糸トンネル崩落事故調査委員会：第2白糸トンネル崩落事故調査報告書、北海道開発局、1998.

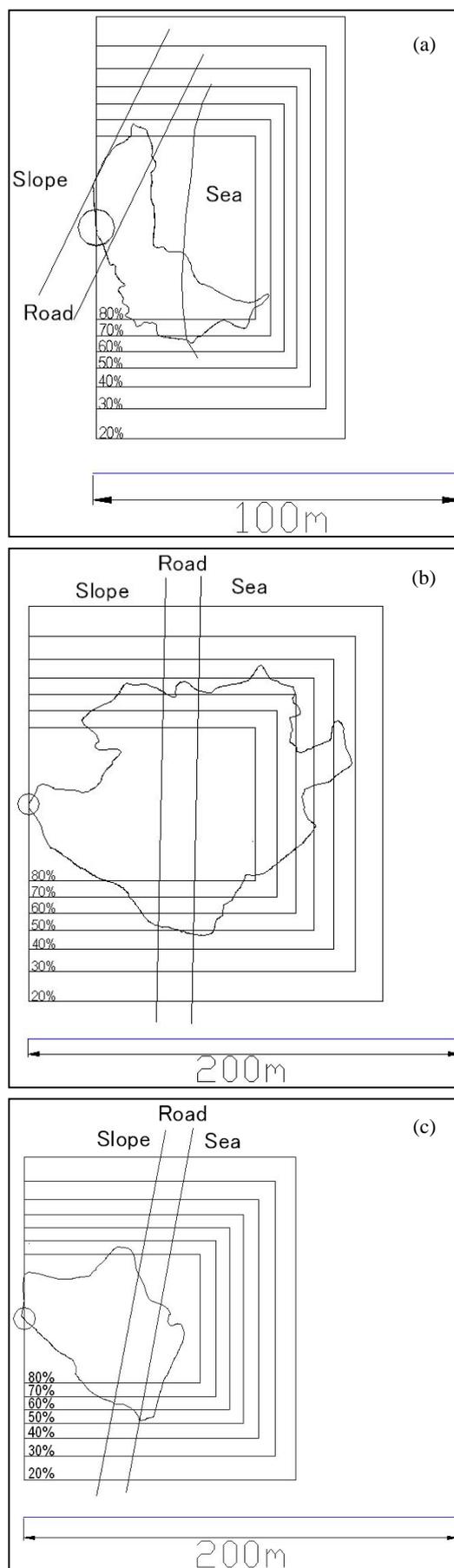


図-8 予想到達範囲と実際の崩土到達範囲の比較
各矩形は本予測手法より得られた予測到達確率の位置を示す。左中央の円は崩壊発生の源頭部を示す。