

岩盤不連続面の空間的分布特性を考慮した斜面のリスク評価手法に関する研究

京都大学大学院 正会員 大津 宏康
 京都大学大学院 正会員 大西 有三
 新日本製鐵 正会員 ○竹山 雄一郎

1. はじめに

筆者らは、これまでに斜面災害を対象として、地震時リスクを定量的に評価する手法について提案してきた。これは、不確実要因の特徴を評価し、予想される損失額とその発生確率を求めることで、防災対策の検討に役立てようとするものである。従来の研究では、強度定数やエネルギー損失、地震や降雨等の崩壊誘発要因についての不確実性が考慮されてきた。

本研究では、従来考慮されてこなかった、不連続面の空間分布の不確実性を考慮しリスク評価を行う手法を、実例を用いて示す。また、リスク評価では崩壊後の挙動を調べることも重要であるため、崩壊後の挙動に影響するエネルギー損失の不確実性も同時に考慮する。

2. 不連続面の不確実性を考慮したリスク評価

本研究では、斜面崩壊の発生原因は地震であるとする。水平震度 0.1 の地震に対して 2 次元 DDA を用いて挙動を解析する。

解析対象としている斜面（兵庫県美方郡村岡町入江地区の国道 9 号線上）を図 1 に示す。道路の外側は河川である。ボーリング調査の結果、岩盤等級は C_L 級と C_M 級であると判定されている。地盤内部の不連続面は、限られた路頭から推測することしかで

きず、不確実性が高い。本研究では、 C_L 級の部分のみが崩壊する可能性があると仮定し、この部分の不連続面の幾何学的状態が不確実であるとする。

不連続面は円盤で表現する。円盤を用いれば、方向性、中心位置、半径の 3 つのパラメータで不連続面を表現できる。これらの空間的分布特性が表 1 に示したような確率分布に従うものとし、不連続面を一次元亀裂密度から計算された数だけ発生させる。そして、その交線により形成されるブロックを抽出することにより 1 つの解析モデルを作成する。このような操作を繰り返し、200 個の解析モデルを作成する。そして、各モデルを 3 つの粘性係数 ($0.42, 1.00, 2.20 \text{ tf} \cdot \text{sec}/\text{m}^4$) において DDA で解析し、崩壊後のブロック位置・体積を調べる。粘性係数とは、DDA においてエネルギー損失を表現するパラメータである。解析に用いたその他のパラメータは表 2 に示した。強度定数である粘着力、内部摩擦角は現場で行われた実験より求められた値から、その他のパラメータは文献¹⁾を参考に決定した。

表 1. 不連続面に関するパラメータ

	不連続面方向		円盤半径		空間分布
	Fisher 分布		対数正規分布		一様分布
	平均方向	Fisher 係数	平均長さ	変動係数	1 次元亀裂密度
第一卓越節理	N15E 56NW	100	1.91m	0.75	2/3 本/m
第二卓越節理	N65W 62NE	100	1.00m	0.75	2/7 本/m
層理	N34W 15NE	200	20.0m	0.1	1.0 本/m

太線の部分は、仮定したものである

表 2. 解析パラメータ

粘着力	$0.0 \text{ tf}/\text{m}^2$	内部摩擦角	38°
引張強度	$0.0 \text{ tf}/\text{m}^2$	ポワソン比	0.25
弾性係数	$200000.0 \text{ tf}/\text{m}^2$	単位体積重量	$2.5 \text{ tf}/\text{m}^3$

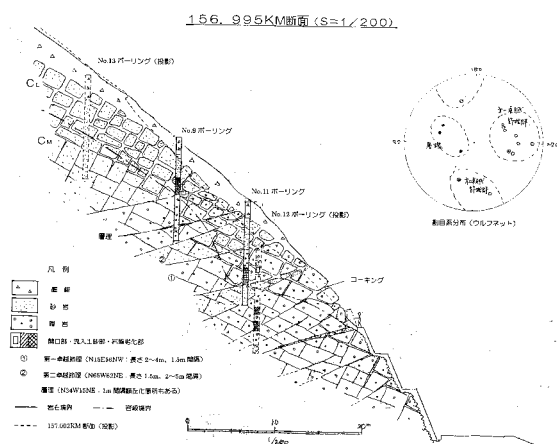


図 1. 解析モデル

キーワード リスク評価、不連続面、DDA、モンテカルロシミュレーション

連絡先 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻 TEL・FAX075-753-5129

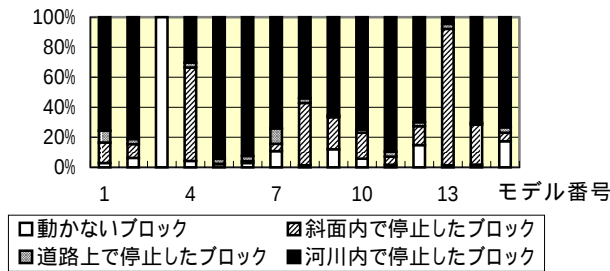


図 2.解析結果（粘性係数 1.00）

表 3. 損失額の平均値・標準偏差（単位：千円）

粘性係数		搭乗者 損失	撤去 復旧費	時間 走行損失	損失額 合計
0.42	平均値	29101	28274	125850	183224
	標準偏差	0	1580	42251	42416
1.00	平均値	29101	28260	129559	186919
	標準偏差	0	1581	45823	45996
2.20	平均値	29101	28244	140465	197810
	標準偏差	0	1576	52084	52237

3. 解析結果

解析を行い、ブロックが停止した位置別に整理した。粘性係数 1.00、モデル番号 1-15 の結果を図 2 に示す。崩壊確率は 98%であった。DDA 解析は 2 次元であるため、体積に換算する際には奥行きを 27m と設定した。この斜面は角度が急であり道路幅も小さいため、ほとんどのブロックが道路を飛び越え、河川内で停止する。

次に、斜面崩壊による損失額を算定する。損失は、車両・搭乗者に対する補償費、ブロックの撤去費・斜面の復旧費、通行止や片側交互通行による時間損失・走行費用を考える。これらを、停止位置毎のブロック体積を考慮して各モデル毎に計算した。損失額合計のヒストグラムを描いたものが図 3 である。表 3 には、各損失毎に平均値と標準偏差を示した。損失額を計算するのに必要な値は、文献²⁾より決定した。これらから、不連続面の空間分布の不確実性の影響が非常に大きいことがわかる。また、損失のほとんどが利用者の被る損失である時間走行損失であった。

ヒストグラムをみると、対数正規分布のような傾向が見られる。そのため、発生しうる損失額の最大値・最小値を考慮した上で、対数正規分布による近似を行った。図 3 における曲線は関数により計算した確率で近似したものである。この関数から、VaR（ある一定の確率で起こりうる損失額の最大値）を求めた。図 4 に 95%、損失期待値、5%の VaR を示し

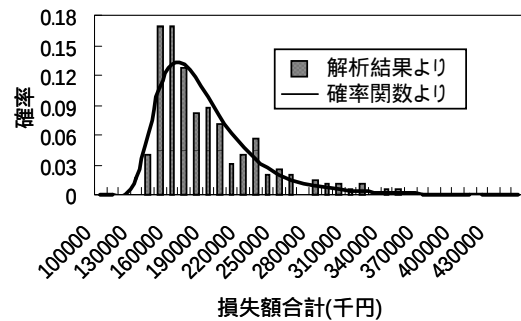


図 3. 損失額合計のヒストグラム（粘性係数 0.42）

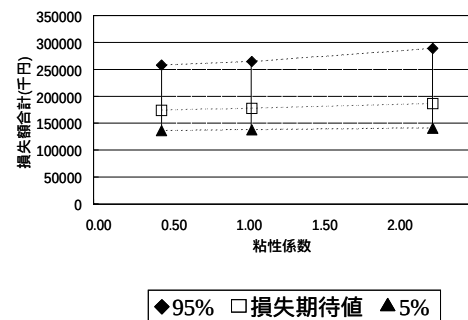


図 4. 損失額合計の VaR

た。これらを見ると、起こり得る損失額のばらつきは大きいので、従来のように損失期待値で議論するだけでなく、VaR のような指標で議論することも必要であると思われる。

また、これらから粘性係数の不確実性の影響は不連続面の空間分布の不確実性と比べて小さいことがわかる。これは、本研究で用いた斜面は急峻で、道路幅が小さいことが原因であり、斜面が緩やかな場合や道路幅が広い場合には、粘性係数の影響がより大きくなることが予想される。

4. まとめ

本研究では不連続面の空間分布と粘性係数の不確実性を考慮し、リスク評価をする手法を実例を用いて示した。その結果、以下のことがわかった。

- ・不連続面の空間分布の不確実性は、岩盤斜面の安定性や崩壊形態、被害に非常に大きく影響する。
- ・本研究でのモデルのような急峻で道路幅が狭い斜面の場合は、（不連続面に比べ）粘性係数の不確実性の影響はそれほど大きくない。

本研究での結果は、今後、類似斜面(立木あり・急峻・道路幅が狭い等)でのリスク評価に利用できる可能性がある。

参考文献

- 1) 土木学会岩盤力学委員会編：岩盤斜面の調査と対策, 1999
- 2) (財)道路保全技術センター：9号管内法面リスクマネジメント業務報告書, 2001. ほか