P-066

内陸地震における斜面崩壊分布推定式の検討

防災科学技術研究所　○飯田智之・山田隆二
アジア航測株式会社　松田昌之・高山 陶子・猪狩祥平・ハスバートル

1 はじめに

近年、日本の内陸において強い地震が相次いで発生し、それに伴う斜面崩壊により、特に震源域周辺に甚大な被害がもたらされている。防災科学技術研究所は、内陸型地震における震源断層からの位置関係に着目し、崩壊地の分布に関する研究を進めているが、ここでは内陸型地震により生じた崩壊地の分布の整理結果を用いて、内陸型地震による斜面崩壊分布のモデル化を行った。

2 対象地震

昨年度までの研究により、内陸型地震における崩壊地分布は、正規分布に近い形状を示しており、分布のばらつきは地震の規模（マグニチュード）や断層の傾きなどに影響されている可能性が示唆された。

表 1：本研究の対象地震一覧

No	発生年	名称	断層タイプ	主な地質区分	断層の上端の深さ (km)	気象庁マグニチュード (M_J)	備考
1	1984	長野県西部地震	横ずれ断層型	火山岩類（第四紀）	0.5	6.8	
2	1995	兵庫県南部地震	横ずれ断層型	花崗岩類（白亜紀）	–	7.3	M_J以外の情報不明
3	1997	鹿児島県北西部地震	横ずれ断層型	付加体（白亜紀）	–	6.5	M_J以外の情報不明
4	2003	宮城県北部	–	堆積岩類（第三紀～第四紀）	3.4	6.4	
5	2004	新潟県中越地震	逆断層型	堆積岩類（第三紀）	2.8	6.8	
6	2008	岩手・宮城内陸地震	逆断層型	火山岩類（第四紀）	0.4	7.2	
7	2011	長野県北部（栄村）	逆断層型	火山岩類（第四紀）	–	6.7	M_J以外の情報不明
8※	2011	福島県浜通り地震	正断層型	堆積岩類（第三紀）	2.9	7	
9	2014	長野県北部（神城断層）	逆断層型	堆積岩類（第三紀～第四紀）	0.14	6.7	
10※	2016	熊本地震	横ずれ断層型	火山岩類（白亜紀～第四紀）	0.6	7.3	

※主要断層のモデルの値を使用。　地震（2, 3, 6）は断層のマグニチュードのみ整理対象とした

そこで、日本国内で発生した大規模な内陸型地震のうち、斜面崩壊に関する比較的精度の良い情報が収集された 10 地震を対象として再検討を行った。各地震の諸元は表 1 のとおりである。

3 崩壊地の断層からの距離の定義

震源断層と崩壊地の位置関係については、「断層からの距離」を、水平面に投影した断層モデルの上端線と崩壊地点（ポリゴンの場合には崩壊主部の中央）の最短距離と定義した（図 1）。

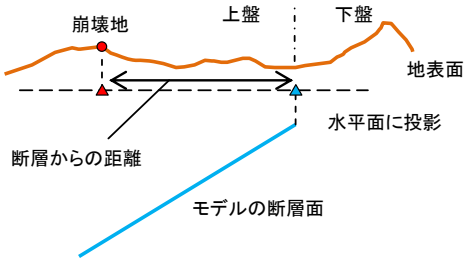


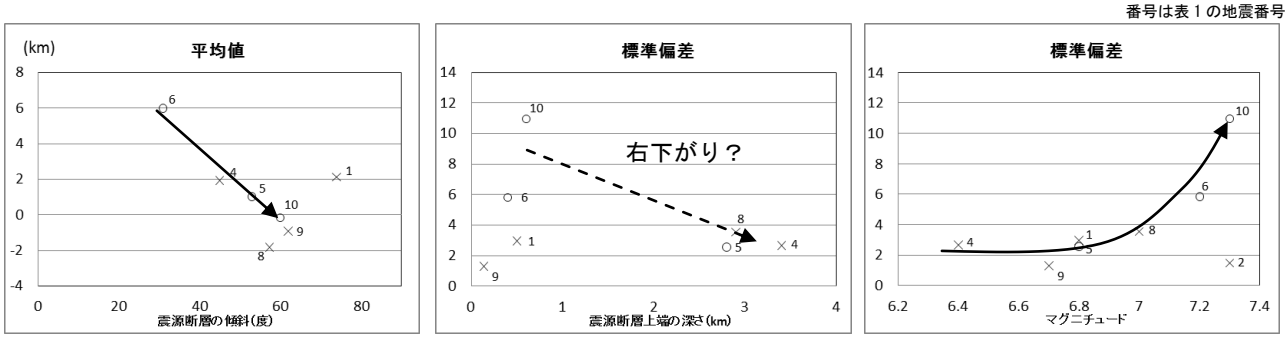
図 1：崩壊地と断層からの距離の定義

4 内陸型地震による崩壊地の断層からの距離分布モデル

4.1 崩壊地の断層からの距離分布と地震要素の関係

崩壊地の断層からの距離の頻度分布は正規分布を示すと仮定し、地震毎に崩壊地の震源断層からの距離の頻度分布図を作成するとともに、分布の平均値及び標準偏差を地震の諸条件と比較した。その結果、①断層からの距離の平均値は、震源断層の傾斜が大きいほど減少する（図 2 左）、②標準偏差は、地震の規模（マグニチュード）が大きいほど増加する（図 2 右）、という傾向が確認された。また、③標準偏差に関しては、震源断層上端が深いほど小さくなる傾向も示唆された（図 2 中）。

番号は表 1 の地震番号



※○の地震は特に崩壊地の位置情報及び崩壊地数が多く、信頼性の高いデータである。

図 2：内陸型地震における地震要素と崩壊地の分布の関係

4.2 回帰分析による崩壊地の断層からの距離分布モデル化

崩壊地の断層からの距離と地震要素の関係を整理した結果を用いて、回帰分析による崩壊地の断層からの距離分布のモデル化を検討した。回帰分析の実施条件を表 2 に示す。その際、データの量および質のよい地震のデータを選択した。なお、地震の規模については、Mj をエネルギーに換算して用いた。

表 2：回帰分析実施条件一覧

目的変数	説明変数	備考
平均値	震源断層の傾斜(°)	60° 未満に適用 60° のとき0に固定
標準偏差	地震の規模※1	※1：線形となるようにエネルギー換算値による

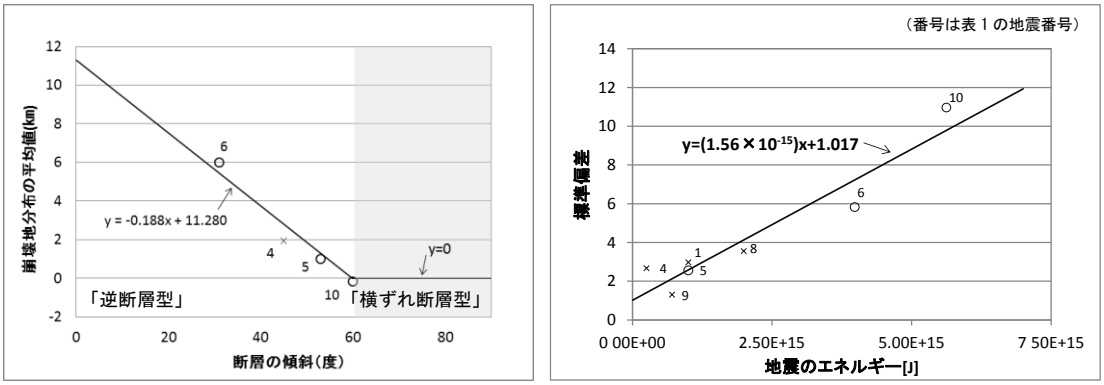


図 3：回帰式の検討結果

回帰分析により、崩壊地の断層からの距離分布の平均値と標準偏差を求め、この結果を正規分布の確率密度関数に適用して、断層による斜面崩壊頻度の距離分布（斜面崩壊分布）推定式とした（図 4）。これらの斜面崩壊分布推定式による推定値と実際の崩壊地の距離分布（包絡線）を比較検証した結果、両者は比較的よく一致していることが確認された（図 5）。

$$\mu = -0.188 \times Slope + 11.280 \quad (Slope \leqq 60^\circ)$$

$$\mu = 0 \quad (Slope > 60^\circ)$$

$$\sigma = 1.560 \times 10^{-15} E + 1.017$$

ただし$E=10^{(4.8+1.5Mj)}$

ここで、
μ：崩壊地分布の平均値（km），$Slope$：断層モデルの勾配（°），
σ：崩壊地分布の標準偏差，E：地震のエネルギー（J），
M_j：地震のマグニチュード（気象庁マグニチュード）

正規分布の確率密度関数

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (-\infty < x < \infty)$$

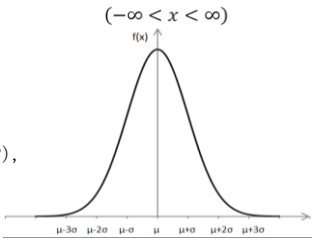


図 4：斜面崩壊分布の推定式

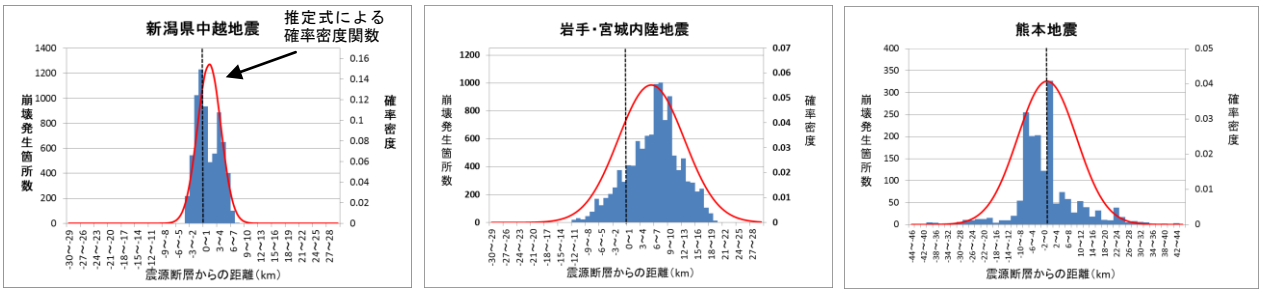


図 5：斜面崩壊推定式による確率密度関数と実際の崩壊地の距離分布との比較検証結果

5 まとめ

本研究では、最近の比較的規模の大きな内陸型地震のうち、特に精度の良い崩壊データが得られた 10 の地震に対して、震源断層のパラメータと崩壊地の断層からの距離分布の関係を検討した。その結果、崩壊地の断層からの距離分布の平均値は震源断層の傾斜角と関係があるほか、標準偏差も地震の規模と関係することがわかった。そこで、崩壊地の断層からの距離分布を正規分布と仮定し、回帰分析により、平均値と標準偏差の推定式を求めて（平均値は断層の勾配 60° 以下のものを対象）、斜面崩壊分布（距離分布）の推定式を構築した。そして、実際の崩壊地の距離分布（包絡線）と比較した結果、両者は比較的よく一致することが確認できた。なお、断層の深さも影響要因の一つと示唆されたことから、それについては更なる検討が必要である。また、距離だけでなく、斜面勾配などの地形要因や地質要因など、素因の影響も考慮した推定式の精度向上が望まれる。今後は、内陸型地震による斜面崩壊ハザードマップの基礎資料として、想定震源断層モデルに応じた斜面崩壊危険地域の推定などに活用したい。