

建設省土木研究所 ○武士俊也 門間敬一
パシフィックコンサルタンツ(株) 千葉 淳 須原 茂

1. はじめに

斜面崩壊によって発生した崩土がどこまで到達するかを知ることは、警戒避難体制の整備や対策施設の合理的な計画を行うために重要である。崩土の到達範囲の予測にあたって物理モデルをもとにしたシミュレーション手法が広く行われているが、そのさいパラメータの設定が問題となることが多い。そこで到達範囲がわかっている崩壊事例をもとにパラメータの算出を行い、それらをもとに斜面の地形要因などから可能性線形回帰分析によってパラメータを設定する手法について検討を行った。

2. 対象事例

1993年、鹿児島県で発生した崩壊事例のうち、同年8月8日、8月12日に鹿児島市北部、鹿児島郡吉田町にて撮影された空中写真から、崩土の到達範囲が明瞭で、かつ家屋等に到達範囲が影響されていないものを抽出し、現地で斜面の断面形状等の計測を行った。データが得られた21事例をもとに検討を行った。

3. 運動方程式とパラメータの算出

今回の検討では質点系一次元の運動方程式を用い、抵抗としてクーロン力による摩擦抵抗と速度の2乗に比例する抵抗係数を考える。

$$m \, dU/dt = mg(\sin \theta - \mu \cos \theta) - KU^2 \quad (1)$$

ただし、 U ：崩土の速度、 m ：崩土の質量、 μ ：摩擦係数、 K ：抵抗に関する係数

ここで雪崩についての Voellmy (1955) の式を準用し

$$dU/dt = g(\sin \theta - \mu \cos \theta) - (g/\xi h)U^2 \quad (2)$$

ただし、 h ：層厚、 ξ ：抵抗係数

崩土の到達範囲が明らかとなっている事例をもとに、停止地点において速度が零となるよう μ と ξ を種々変えて計算を行った。 h は現地で計測した崩壊深によった。 μ と ξ はいろいろな組み合わせが考えられるため、すべての組み合わせについて計算を行った。各事例とも ξ の増加とともに μ の値が一定値を示す傾向が見られたため、 μ については $\xi < 10,000$ の範囲で平均をとり決定し、その μ をもとに ξ を計算するという手順でパラメータの算出を行った。各事例から計算されたパラメータを図-1に示す。

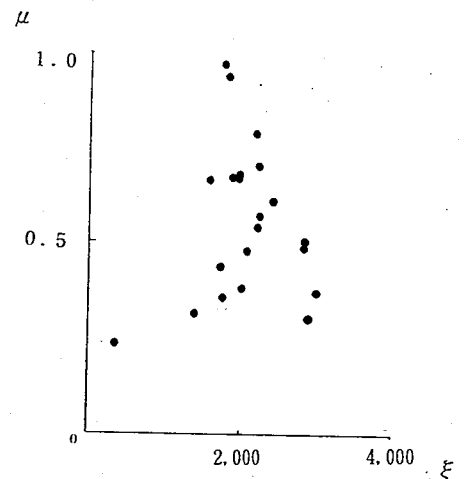


図-1 各事例から計算されたパラメータ

4. 可能性線形回帰モデルの同定

摩擦係数 μ と抵抗係数 ξ を出力値、斜面の傾斜等の要因を入力値とした可能性線形回帰モデルの同定を行った。可能性線形回帰モデルは次のように表される。

$$Y_i = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_n X_n \quad (3)$$

ただし Y_i ：出力値、 A_j ：要因のファジイ係数、 X_j ：要因の評価値（階級区分値）

ここで $A_j = (B_j, C_j)$ と表され、 B_j は中心値、 C_j は可能性の幅を示す。 B_j の絶対値が大きいほどその要因の出力値に与える影響が大きく、 C_j が大きい要因ほど出力値に対して曖昧さを発生させていると言える。モデル式の同定とは $Y_i = (B_i, C_i)$ の C_i を最小にするよう A_j を決定することである。

入力要因としては寺田ら（1993）によって整理された到達範囲に影響があると考えられる要因をもとに、 μ および ξ とそれぞれの要因について単相関等により検討し決定した。収集された21事例のうち検証に使用する3事例を除いた18事例を用い可能性線形回帰モデルの同定を行った。同定されたモデルは次式のとおりである。

μ について

$$Y_{\mu} = (0.155, 0.000) + (0.045, 0.000)X_1 + (0.104, 0.020)X_2 + (0.004, 0.020)X_3 + (-0.002, 0.004)X_4 \\ + (0.009, 0.000)X_5 + (-0.015, 0.000)X_7 \quad (4)$$

ξ について

$$Y_{\xi} = (2834.6, 0.000) + (-386.0, 15.77)X_1 + (-15.02, 0.000)X_2 + (231.4, 0.000)X_3 + (265.1, 0.000)X_4 \\ + (-357.9, 0.000)X_5 + (83.24, 6.666)X_6 + (-22.78, 164.76)X_7 \quad (5)$$

ただし、 X_1 : 源頭部傾斜角、 X_2 : 堆積区傾斜角、 X_3 : 標高差、 X_4 : 斜面形状、 X_5 : 表土厚、 X_6 : 植生種類、 X_7 : 走路斜面長

(4) 式のBjから、 μ については堆積区傾斜角の影響が大きいことがわかる。

5. モデルの検証

収集した事例のうち実走距離等を指標に、規模大 (No. 2)、規模中 (No. 1)、規模小 (No. 3) の3事例を抽出し、今回検討した可能性線形回帰モデルの検証を行った。検証結果を図-2、3、に示す。すべての事例とも可能性の範囲内に実測値（運動モデル式からの逆算値）が入っている。特に μ については計算値（中心値）が実測値と良く一致している。

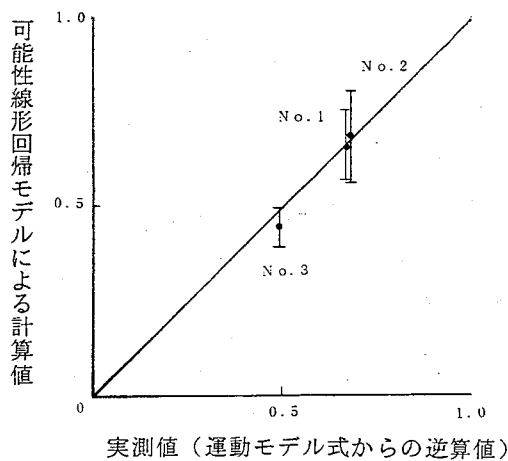


図-2 検証結果 (μ)

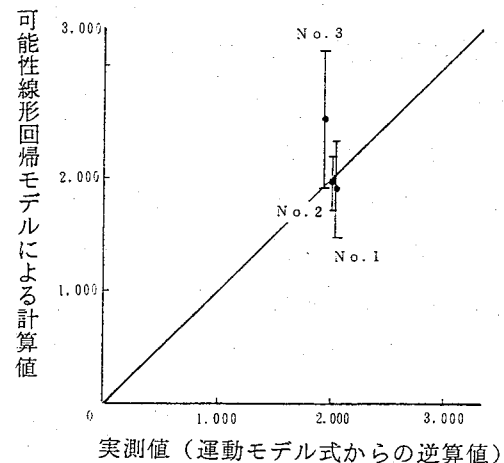


図-3 検証結果 (ξ)

6. まとめ

崩土の運動などを物理モデルによってシミュレーションするさいに問題となるパラメータの設定に関し可能性線形回帰モデルによる手法の検討を行い本手法による設定がある程度可能であることが示された。ただし、モデルの設定に使用した μ 、 ξ などのパラメータの算出について今回かなり割り切った方法を用いたのでこれらの算出法について今後さらに検討を行いながらモデルのより詳細な検討を行っていきたい。

参考文献

- Voellmy, A. ; (1955) : Uber die Zerstörungskraft von Lawinen, Schweizerische Bauzeitung, Jahrg. Ht.
- 寺田秀樹、中村良光 ; (1993) : 可能性線形回帰分析による崩土の到達範囲予測の検討. 平成5年度砂防学会研究発表会概要集 pp. 325-328