

## 降雨による盛土崩壊の形態と規模の予測方法

防災技術研究部 地盤防災  
副主任研究員 布川 修

### 1. はじめに

降雨による盛土崩壊は、その形状や規模により運転を支障する被害となる場合や軽微な被害で済む場合など様々である。このため、有効な防護対策を決定するためには、盛土の崩壊形状や崩壊規模を予測することが必要である。また、筆者らは斜面のリスク評価を行って、斜面災害に対する防災投資の順位を意思決定する手法の構築を進めている。降雨時における盛土のリスクを算出するためには、盛土の崩壊形状と崩壊規模を予測した結果を用いて、車両への影響や応急・復旧費などを算出しておく必要がある。

個別箇所に対して防護対策を計画する場合、盛土崩壊の形状や規模は詳細な土質調査や試験などをもとに予測する必要がある。しかし、線状構造物である鉄道における防災計画では、対象とするすべての盛土に対して詳細な土質調査や試験を実施することは現実的ではないため、崩壊形状と規模を概略的に想定することも必要となる。そこで、本報告では、盛土を対象とし、過去の降雨による崩壊事例を統計的に分析して、高さや土質などの条件から崩壊形状と崩壊規模を予測する手法について紹介する<sup>1)</sup>。

### 2. 崩壊形状の予測手法

#### 2.1 崩壊形状と盛土条件

盛土が崩壊した場合、崩壊形状により列車への影響度が異なると考えられる。そこで、図1に示すように、崩壊形状を(a)列車への影響が比較的小さいと考えられるのり面内のみで発生するもの(以下、崩壊形状Iという)と、(b)列車への影響が著しいと考えられる施工基面に達するもの(以下、崩壊形状IIという)、の2つのタイプに分類することとした。これらの崩壊形状を判別する予測方法について、過去に発生した降雨による盛土崩壊事例のデータを用い、表1に示す崩壊形状に関係すると想定される盛土条件を選定し、検討した。なお、崩壊データのうち、崩壊形状Iは15箇所、崩壊形状IIは51箇所であった。

#### 2.2 予測手法の構築

分類した2つの崩壊形状を目的変数とし、盛土条件を説明変数として、数量化II類解析(以下、2章では解析という)を行うことで予測手法を構築する。

まず、表1の条件をカテゴリー化して一次解析を行い、

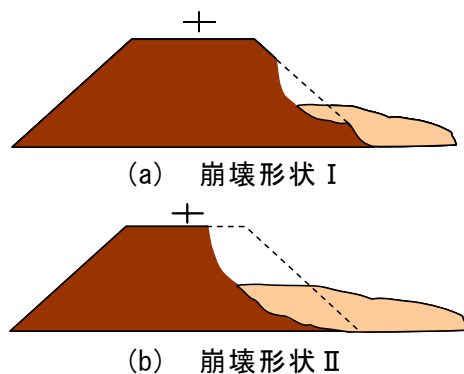


図1 盛土の崩壊形状

表1 崩壊形状予測のための盛土条件

盛土の条件	
①	盛土高さ $h$ (m)
②	のり長 $L$ (m)
③	のり面勾配 $\theta$ (度)
④	基盤傾斜角 $\theta'$ (度)
⑤	盛土強度 $Nc$
⑥	土質(砂質土、礫質土、粘性土)
⑦	表層地盤地質(沖積土、洪積土、岩盤)
⑧	集水地形(無し、崩壊側、反対側)
⑨	縦断形態(一般、切盛境界、落込勾配)
⑩	横断形態(純盛土、片盛土、腹付盛土)
⑪	防護工(無し、有り)
⑫	透水係数 (cm/s)

それぞれの条件と崩壊形状との関係を把握したのち、崩壊形状を支配すると考えられる条件を抽出したうえで、再度カテゴリー化して二次解析を行った。二次解析結果である崩壊形状を予測するための値をまとめた結果（以下、予測表という）を表 2 に示す。表 2 には、抽出された条件、カテゴリー分類、各条件の評価点、点数の範囲を示している。ここで、各条件の評価点の点数の範囲は崩壊形状を判別する上での影響度を示しており、この値が大きいほどこれに対応する条件の影響が大きいことを意味する。

解析の結果から得た判別グラフを図 2 に示す。図 2 に示すように、崩壊形状 I と崩壊形状 II とを判別する点数（以下、判別的中点という）は 0.37 であった。すなわち、予測対象盛土の各条件の評価点の合計が 0.37 より大きい場合には崩壊形状 I に、0.37 より小さい場合には崩壊形状 II に判別される。

### 2.3 予測方法の適用

前節で述べた結果をそのまま利用しても盛土の条件から崩壊形状を判別することは可能であるが、この方法を実務に適用する場合は、図 3 の判別グラフの概略図に示すとおり、崩壊形状 I または崩壊形状 II のどちらにも判別される範囲を設定した方がよいと判断した。そこで、図 3 に示す崩壊形状 I または崩壊形状 II と判別される点数の範囲  $\alpha$  を様々設定し、全崩壊データに対して崩壊形状 I または崩壊形状 II と判別される割合  $T$  と、崩壊形状別に実際の崩壊形状と予測した崩壊形状とが一致する割合  $S_I$ 、 $S_{II}$ （以下、正答率という）を求めた。この結果、崩壊形状 I の正答率  $S_I$  と崩壊形状 II の正答率  $S_{II}$  がともに 90% 以上となり、全崩壊データに対して崩壊形状 I または崩壊形状 II となる割合  $T$  が 30% 以下となる  $\alpha$  の値（ $\pm 0.4$ ）を範囲として設定することが妥当と判断した。

以上の結果から、崩壊形状は表 2 を用いて判別点  $P$  を以下の式により求めることで予測することとした。

$$P = \sum (\text{盛土条件ごとの点数}) - 0.37 \quad \dots (1)$$

ここで、

- $0.4 < P$             崩壊形状 I
- $-0.4 \leq P \leq 0.4$    崩壊形状 I または崩壊形状 II
- $P < -0.4$         崩壊形状 II

表 2 崩壊形状予測表

条件	カテゴリー分類	評価点	評価点の範囲
盛土高さ $h$ (m)	$h < 10$	-0.14	0.86
	$10 \leq h$	0.72	
のり面勾配 $\theta$ (度)	$\theta < 45$	0.15	1.11
	$45 \leq \theta$	-0.96	
盛土強度 $N_c$	$N_c < 5$	0.21	0.86
	$5 \leq N_c < 10$	-0.23	
	$10 \leq N_c$	-0.64	
土質	砂質土	0.18	0.60
	礫質土・粘性土	-0.42	
表層地盤地質	沖積土・洪積土	-0.11	0.44
	岩盤	0.33	
集水地形	無し	0.22	2.22
	崩壊側	-2.00	
	反対側	-0.44	
縦断形態	一般	0.32	0.87
	切盛境界・落込勾配	-0.55	
横断形態	純盛土	-0.37	0.69
	片盛土・腹付盛土	0.31	
透水係数 $k$ (cm/s)	$k < 10^{-4}$	0.30	1.53
	$10^{-4} \leq k < 10^{-2}$	0.10	
	$10^{-2} \leq k$	-1.22	

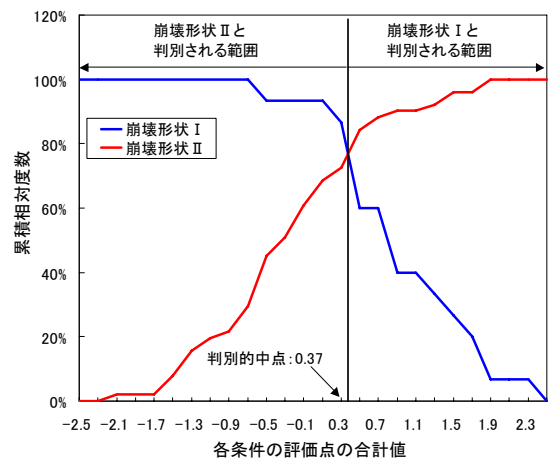


図 2 判別グラフ

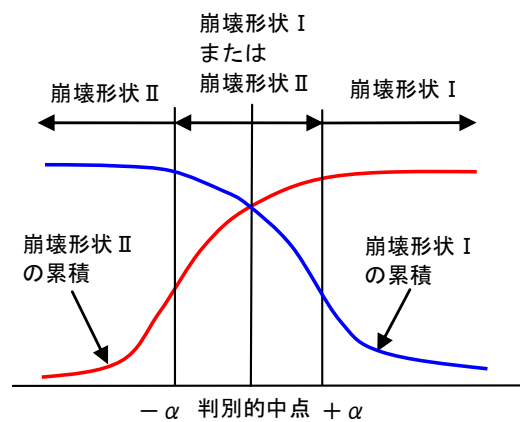


図 3 実用性を考慮した判別グラフの概略図

### 3. 崩壊規模の予測手法

#### 3.1 検討内容

前章で示した崩壊形状ごとに、盛土の崩壊規模として崩壊土量を予測する方法について検討した。具体的には、①崩壊データから得られた崩壊土量を目的変数、盛土条件を説明変数とした数量化I類解析（以下、3章では解析という）の結果を用いて、直接的に崩壊土量を予測する方法（以下、直接的予測方法という）、②崩壊データから得られた崩壊長さ（のり面方向の長さ）、崩壊厚さ、崩壊幅（線路方向の長さ）を個別の目的変数とし、それぞれについて盛土条件を説明変数とした解析の結果を用いてこれらを予測し、これら予測値から崩壊土量を間接的に予測する方法（以下、間接的予測方法という）、を検討した。この際、表1の盛土条件をカテゴリー化して一次解析を行い、崩壊土量などを予測する上で影響度が大きい盛土条件を再抽出し、これらをカテゴリー化して二次解析を行った。

なお、解析の結果を用いて、崩壊規模（崩壊土量、崩壊長さ、崩壊厚さ、崩壊幅）は以下の式で予測できる。

（崩壊規模の予測値）

$$= \Sigma (\text{盛土条件ごとの点数}) + (\text{定数}) \quad (2)$$

上式において盛土条件ごとの点数と定数は、解析結果から得られる値（予測表）を用いる。つまり、直接的予測方法では式(2)より崩壊土量の予測値を求め、間接的予測方法では式(2)より崩壊長さ、崩壊厚さ、崩壊幅を求めることになる。

さらに、間接的予測方法では、崩壊部の形状を三角柱と仮定することで、以下の式により体積（崩壊土量）を予測することとした。

$$V' = L \times D \times 1/2 \times W' \quad (3)$$

ここで、

$V'$ ：崩壊土量の予測値 (m<sup>3</sup>)

$L$ ：崩壊長さの予測値 (m)

$D$ ：崩壊厚さの予測値 (m)

$W'$ ：崩壊幅の予測値 (m)

#### 3.2 予測方法の構築

ここでは、結果の一例として崩壊形状Iの直接的予測方法について説明する。解析結果から得られた崩壊土量の予測表を表3に、予測値と実測値との関係を図4に示す。図4に示したとおり、予測値と実測値との重相関係数は0.84、標準偏差は163m<sup>3</sup>であり、解析精度が比較的高いことから、表3と式(2)を用いて、崩壊土量を予測することとした。

同様の方法で、崩壊形状Iの間接的予測方

表3 崩壊土量予測表  
(崩壊形状I 直接的予測方法)

条件	カテゴリー分類	評価点	点数の範囲
盛土高さ $h$ (m)	$h < 5$	-113.5	189.2
	$5 \leq h$	75.7	
のり面勾配 $\theta$ (度)	$\theta < 35$	312.2	669.0
	$35 \leq \theta$	-356.8	
基盤傾斜角 $\theta'$ (度)	$\theta' = 0$	-216.5	464.0
	$\theta' = 10, 20$	247.5	
横断形態	純盛土	-116.7	175.0
	片盛土、腹付盛土	58.3	
	定数項	165.0	

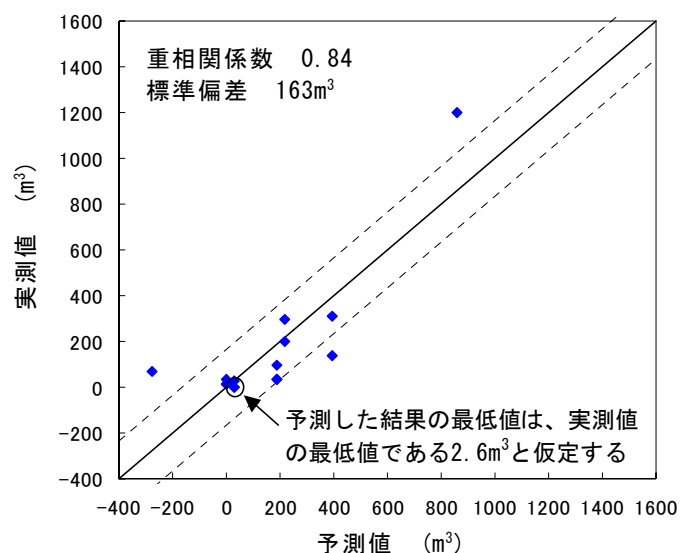


図4 崩壊土量の予測値と実績値との関係  
(崩壊形状I)

法と崩壊形状Ⅱの直接的・間接的予測方法について検討した。この結果、崩壊形状Ⅱの間接的予測方法のみ解析精度が悪く、この方法を用いて崩壊土量を予測することは困難であると判断した。

そこで、式(2)で予測されるそれぞれの崩壊形状について、以下に示す方法で崩壊土量を求めることとした。

[崩壊形状Ⅰと予測される場合]

・直接的予測方法と間接的予測方法の両方により崩壊土量を計算し、大きい値を予測値として採用する。

[崩壊形状Ⅱと予測される場合]

・直接的予測方法で崩壊土量を計算し、予測値とする。

### 3.3 崩壊土量の予測フロー

崩壊形状を区分し、崩壊土量を予測するまでのフローを図5に示す。図5に示したとおり、まず、表2と式(1)より崩壊形状を区分する。崩壊形状Ⅰ、崩壊形状Ⅱと予測された場合は、前述のとおり崩壊土量を予測する。崩壊形状Ⅰまたは崩壊形状Ⅱと予測された場合は、崩壊形状Ⅰと崩壊形状Ⅱの予測方法で崩壊土量を求め、大きい値を予測値として採用することとした。

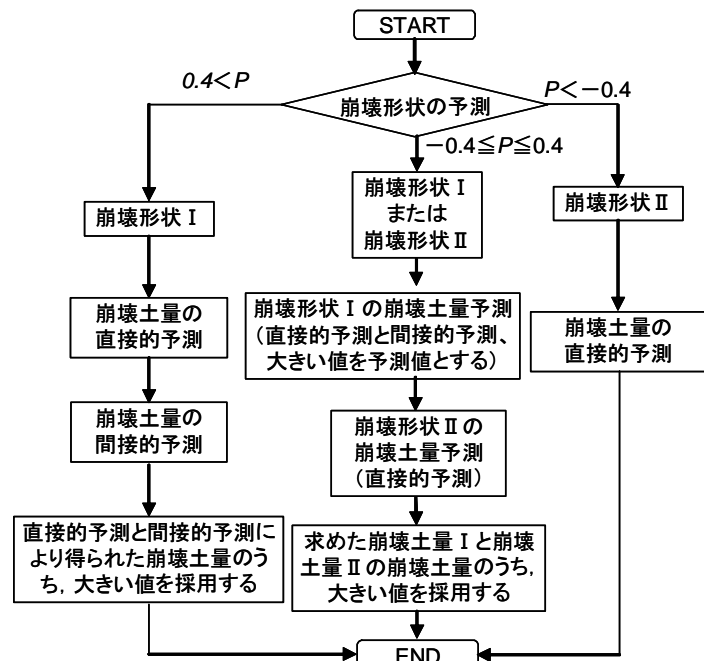


図5 崩壊土量の予測フロー

### 4. おわりに

本稿では、過去に降雨により発生した鉄道盛土の崩壊データを統計的に分析した結果を用いて、崩壊形状と崩壊土量を予測する手法を紹介した。本方法は、防災計画やリスク評価を実施する場合など、概略的に崩壊形状と規模を予測する必要があるときに適用できると考えている。

### 【参考文献】

1) 杉山友康、森泰樹、布川修、太田直之：降雨による盛土崩壊の形態と規模に関する統計的予測手法、鉄道総研報告 Vol.22、No.1、2008.1