

Ⅲ - 353

岩盤斜面の破壊例に基づく個別要素法と底面摩擦模型実験の実験への適用

金沢工業大学工学部

正 川村國夫

ナチュラルコンサルタント（株）

正○近藤久善 正 真鍋精章

株式会社 フジタ

正 村山秀幸

1. はじめに

近年、切土や掘削に伴う岩盤斜面は長大化を呈し、一度破壊すると甚大な被害をもたらすため、その安定性を保つことがきわめて重要な問題となる。本報告は、実際の長大な不連続性岩盤斜面の破壊を検証することにより、個別要素法および底面摩擦模型実験の有効性と実際への適用について検討したものである¹⁾。その結果、幾つかの興味深い知見が得られた。

2. 現場の破壊状況と現場調査によるモデル化

対象となった岩盤斜面（標高差300m、幅600m）は、平成元年末、掘削ののち図-1に示す規模で破壊（推定破壊量 270万 m^3 ）した。この斜面は、A-A線を境界にして、斜面の方向性が異なる2つの領域に分けられ、向かって右側は、平均的に $\text{N}50^\circ\text{W}50^\circ\text{NE}(40^\circ/55^\circ)$ 、その左側は、 $\text{N}30^\circ\text{W}55^\circ\text{NE}(60^\circ/55^\circ)$ であった。岩種は、図-2のように上盤が石灰岩、下盤が砂岩である。なお、図-1中には、光波測量の各測点①～⑩における破壊直前までの変位ベクトルが示してある。

現場では卓越している不連続面（長さ5m以上）に対して、走向、傾斜角などが計測され、平板測量による不連続面トレースの作成も行なわれていた。そこで、この不連続面トレースによる複数の断面モデルを作成し、事前のブロック理論と複合すべり解析から、図-2に示す危険断面を抽出し、解析のモデルとした。

3. 底面摩擦模型実験による破壊挙動と実際の破壊挙動

底面摩擦模型実験は、2次元のモデルに重力とアナロジーな力（摩擦力）を作用させ破壊挙動を再現する実験方法である。図-3は、本研究室にて作成した実験装置であり、底盤部分①に模型試料②を置き、フレーム部分③で模型のすべりを止めて、底盤部分と模型の間に摩擦を生じさせている。本実験では、摩擦を大きくするために底盤部分に天然ゴムを敷き、また模型試料に自重の大きな厚さ1.5mmのステンレス板（比重 8.0）を用いた。

図-4は、斜面の破壊直前まで計測されていた各点の変位の結果に基づいて、実際の破壊挙動を表わしたものである。図-5は、図-2の危険断面モデルの底面摩擦模型実験結果であり、底盤の移動時間 t と移動速度 v が示されている。図-4と図-5を比較すると、各ブロックの動きや破壊すべり面は、よく一致した結果が得られ、本実験装置が実際の破壊挙動を定性的に表現することを明らかにした。

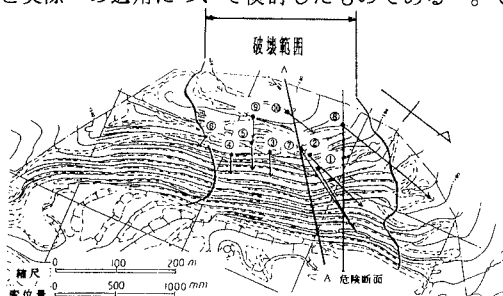


図-1 現場の平面図

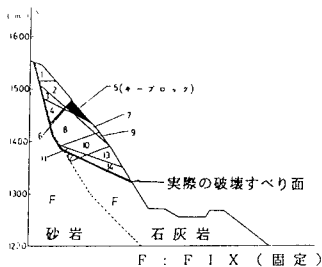


図-2 危険断面モデル

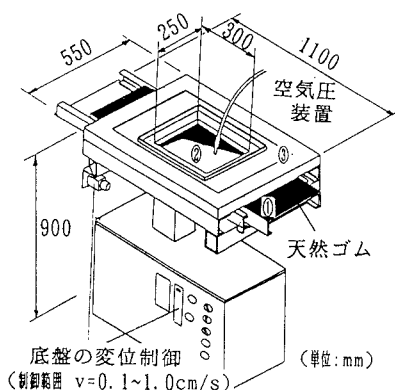


図-3 底面摩擦模型実験装置

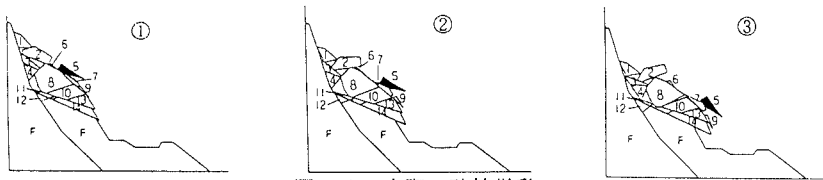


図-4 実際の破壊挙動

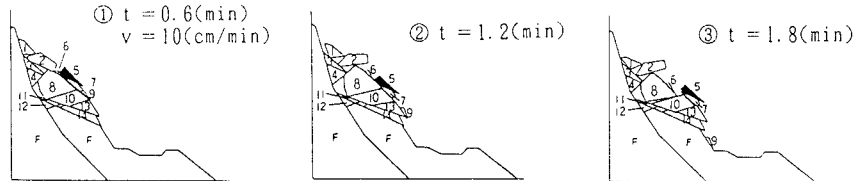


図-5 底面摩擦模型実験結果

4. 個別要素法による破壊挙動

Cundall²⁾により創始された個別要素法は、岩盤を剛体ブロックの集合体と仮定し、各々のブロックの運動方程式を解く手法である。各ブロック間は、ブロックの頂点と他方ブロックの辺のみで接触し、その接触点での力と変位の関係を、図-6のごとくにしていく。垂直方向には、バネとダッシュポットを並列に挿入したVoightモデルを考え、せん断方向にはそれにスライダを加えている。Voightモデルの運動方程式および垂直、せん断方向の力の増分と変位増分の関係は、次式のようになる。

【運動方程式】

$$m \frac{d^2 u}{dt^2} + \eta \frac{du}{dt} + Ku = F \quad \left\{ \begin{array}{l} m: \text{質量}, \eta: \text{粘性定数}, K: \text{ばねの弾性定数} \\ u: \text{変位}, t: \text{時間}, F: \text{外力} \end{array} \right.$$

【力の増分と変位増分の関係】

$$\begin{aligned} \Delta F_n &= -K_n \Delta u_n - \eta_n \Delta \dot{u}_n \\ \Delta F_s &= -K_s \Delta u_s - \eta_s \Delta \dot{u}_s \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{サフ・スクリフト} n, s \text{ は垂直, せん断方向成分} \\ \text{を示す} \end{array} \right.$$

図-7は、図-2の危険断面モデルの個別要素法解析結果である。入力物性値は、各種の調査・試験の結果を用い(K_n, K_s, ϕ, η など)、他方、実際の物性値との関係が明確でない個別要素法独自の入力物性値(η_n, η_s など)は、図-5の底面摩擦模型実験の挙動を参考にしながら決定した。したがって、図-7と図-5はほぼ一致しており、加えて、キーブロックNO.5とブロックNO.9のすべりが、その後の斜面全体の破壊に大きく影響することがわかった。

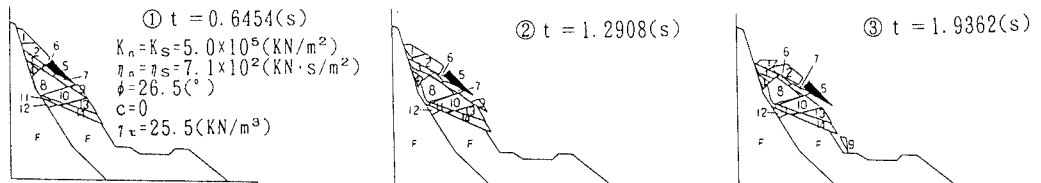


図-7 個別要素法解析結果

5. 実際への適用

個別要素法の実際への適用は、まず、破壊挙動を定性的に表現することが可能な底面摩擦模型実験を実施し、その実験結果に基づいてパラメータ同定や入力物性値を最適化してやれば、有効な破壊予知方法として期待できることが判明した。

〈参考文献〉1) 川村國夫, 近藤久善, 西川幸成, 村山秀幸 : 個別要素法および底面摩擦模型実験による不連続性岩盤斜面の破壊予知, 第30回土質工学研究発表会要集(1995年7月)

2) P. A. Cundall : Symp. of I. S. R. M., Nancy, France, Oct. 1971, P. 11/23