

# 逐次不安定化モデル斜面の構築と基礎実験

(財)道路保全技術センター東北支部 正会員 ○阿部大志  
日本大学工学部 正会員 田野久貴

## 1. 研究目的

地盤斜面の破壊、特に崩壊は瞬時に発生することが多いとされている。しかし、一瞬に見える現象でも一般に破壊の開始と加速という過程を経て生じていると考えられる。すなわち、破壊速度の大小はともかく逐次破壊を繰り返しながら破壊に至っている場合も多いと推測される。そこで、破壊速度や位置を任意に制御可能なモデル斜面の構築を試みた。その斜面の概要と得られた二三結果について報告する。

## 2. モデル斜面の特徴

### 2. 1 構築の目的

実験的な斜面破壊の一般的な方法は、例えば傾斜台の角度を増加させて発生させたり、斜面先端の押さえを取り払ったり、ゆるめたりする方法が考えられる。これらの中で、傾斜台の傾斜を増加させる方法は、巨視的には複数のモデル岩塊を一斉に、同一条件下において滑落させることに相当している。すなわち、一瞬に破壊が生じ、その開始と加速を観察する時間が少ないといえよう。そこで、本研究は十分な大きさを有する大型傾斜台を設置したことを背景に、この上で逐次破壊を任意に制御可能なモデル斜面と岩塊モデルを開発することとした。もう一つの目的は、モニタリング装置を考案してその性能をこのモデルを用いて検討することである。

### 2. 2 モデル斜面の構造

理想的な地盤モデルとしては3次元構造をもち、任意に制御が可能なモデルである。挙動観察のための計測器も備えている必要がある。以上を考慮すると、制御・計測とも無線で行い、計測器類は地盤（岩塊）モデルに内蔵する必要があると考えている。本研究では、第一段階として2次的モデルの構築を試みた。これを図1に示す。制御のアイディアを図1に模式的に示す。すなわち、モデル斜面表面（ベニヤ板製）には、電磁石が埋設されている。一方、岩塊モデルの下面には吸着用鉄板が取り付けられている。すなわち、この電磁石によって岩塊は斜面に押しつけられ、見かけの摩擦角が増加する機構となっている。モデル斜面の寸法領域2.7m×2.7m内に100個の電磁石まで配置可能な設計としている。

### 2. 3 岩塊（ブロック）モデル

大型傾斜台の能力としては実際の岩塊も十分使用可能であるが、繰り返し実験を考慮すると問題が生じる。ある程度の重量を確保可能で、破損しにくく、細工が比較的容易な木製の箱や木材ブロックを用いることとした。ここでは、木製の箱（ブロックモデルと称することとする）の実験結果について述べる。寸法は90×90×45cmである。この内部に低周波AEカウンタ装置を内蔵させた。底板の9カ所に吸着鉄板を規則的に配置し、その裏側にAEセンサーを貼り付けた（図2aと2b参照）。この低周波AEシステムの周波数は数10～1kHzであり、ロガーのデータは無線で回収される。ここではモデルのわずかな変位を

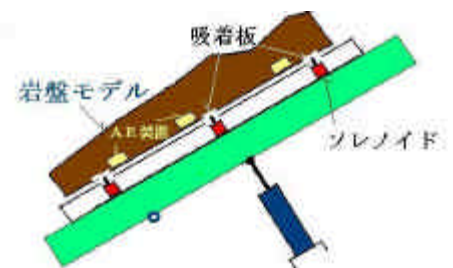


図1 構築モデル概念図



図2 a 単一ブロックモデル  
(傾斜台上の穴は電磁石用)



図2 b 内蔵したAE装置



図3 電磁石制御盤

A E カウントとしてモニターすることとした。

## 2. 4 電磁石の能力

相互の電磁石の電源には独立して乾電池（4本：約5.2V）を用いた。本実験では1回に100本を使用するので充電電池を使用している。充電電池の電圧にもばらつきがあるため、電圧と吸着力の相関を調べておく必要がある。図3はその結果を示しているが相関係数は極めて小さく、電池のばらつきの範囲では電圧の吸着力への影響は小さいことが分かった。各電磁石の回路にはそれぞれスイッチを設けこれを1カ所にまとめた（図3参照）。

## 3. 滑落実験と考察

無吸着の状態ブロックモデルを傾斜させて滑落し結果は平均角度は約29.1°であった。電磁石の吸着力Pは約60Nであった。一方、全9点を吸着して滑落する限界角度は最大34°、平均32.2°を示し、平均約3°摩擦角が見かけ上増加している。これについては簡単に考察すると以下ようになる。図4aに示すように無吸着で角度θで滑落したとすると、これが摩擦角である。吸着することで傾斜角がα増加してβになったとすると次式が得られる。

$$\beta = \theta + \alpha \quad (1)$$

$$\text{ここに、} \alpha = \theta - \tan^{-1} \left( \frac{W \sin \theta}{W \cos \theta + P} \right) \quad (2)$$

θ=29.1°、W=256N、P=60N、として計算するとβ=約34.5°と計算され、上記の実験結果よりやや大きい値を示す。次に吸着を1点ずつ解除する実験結果について述べる。図5は9点の吸着解除の順番を示している。下段の中央から左、右と解除する。30.5°に固定して解除した場合の、スイッチのON-OFFと滑落までのAEの発生状況を表1に示す。スイッチONやOFFの時のAEを除くと、その発生数は4カウント程度と少ない。この例の場合8個解除したところで滑落している。最初にAEをカウントしてから30秒後である。固定角を31.5°と30.5°とした場合の、滑落までの吸着解除個数とAEカウント総数、最初のAEをカウントした後、滑落までの経過時間を表2にまとめて示す。3～5回の平均である。傾斜させる角度が大きいほど、当然滑落までの解除する個数は小さくなる。AEのカウント数は非常に少ないため、小数点以下のまで示してある。強いて言えば、角度の大きい方がやや発生数が多い傾向が認められる。これは解除による力の再配分と関係していることが考えられる。経過時間が30.5°の方が大きいがこれは滑落までの解除数が多いことと関係している。わずかの傾斜角度の相違で、解除個数が変化することがわかる。

## 4. まとめ

逐次不安定化のモデル実験を行うことが可能な装置を構築し、単一簡単なブロックによる実験を行った。吸着力によって、見かけの摩擦角が増加した。したがって、吸着を解除することにより逐次不安定化状態を作り出すことが可能である。今回の単一ブロックモデルは一枚岩の滑落に相当し、全体破壊に至るまでのAE発生は少ないことが予想される。今後複数のブロックモデルに適用を考えている。

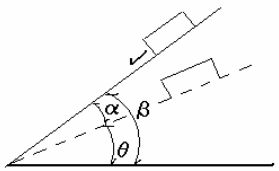
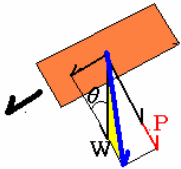


図4 a 滑落角度の変化



P : 付加力  
W : 自重  
θ : 無吸着下の滑り角

図4 b 吸着による滑落角の変化

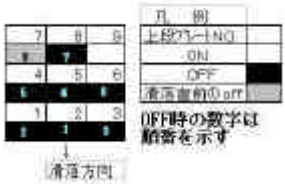


図5 吸着解除の順番

表1 滑落までの吸着解除とAEの発生状況の例

| プレート番号              | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6  | 7 | 8 | 9 | 上昇開始        |
|---------------------|----|---|---|---|---|----|---|---|---|-------------|
| 2006/11/01 16:34:28 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:34:29 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:37:06 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 | 吸着25°       |
| 2006/11/01 16:37:07 | 2  | 1 | 0 | 2 | 2 | 1  | 1 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:37:08 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:09 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:10 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:11 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:12 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:13 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:14 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:15 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:16 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:17 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:18 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:19 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:20 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:21 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:22 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 | NO.2 OFF    |
| 2006/11/01 16:38:23 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:24 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:25 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 | NO.1 OFF    |
| 2006/11/01 16:38:26 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:27 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:28 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:29 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 | NO.3 OFF    |
| 2006/11/01 16:38:30 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:31 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:32 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:33 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 | NO.5 OFF    |
| 2006/11/01 16:38:34 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:35 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:36 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:37 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 | NO.4 OFF    |
| 2006/11/01 16:38:38 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:39 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:40 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:41 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 | NO.6 OFF    |
| 2006/11/01 16:38:42 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:43 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:44 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:45 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 | NO.8 OFF    |
| 2006/11/01 16:38:46 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:47 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:48 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:49 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |
| 2006/11/01 16:38:50 | 1  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 | NO.7 OFF 滑落 |
| 2006/11/01 16:38:51 | 13 | 1 | 6 | 9 | 8 | 10 | 4 | 7 | 3 |             |
| 2006/11/01 16:38:52 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |             |

表2 傾斜角と吸着解除数、AEの比較

| 斜面の傾斜角 (°)        | 30.5 | 31.5 |
|-------------------|------|------|
| 電磁石解除個数           | 8    | 4    |
| AE累積個数            | 1.6  | 2.3  |
| AE発生より滑落までの経過時間 秒 | 16   | 9.3  |