

名城大学 正会員 ○ 清水 泰 弘  
名古屋大学 正会員 オメル・アイダン  
名古屋大学 正会員 市 川 康 明  
名古屋大学 正会員 川 本 眺 万

1. はじめに

大規模な岩盤斜面の掘削は、山岳道路や原子力発電所それに水力発電所の建設に伴ってよくみられる。しかしながら、自然な岩盤は堆積した面、破砕した部分等があり、これらが結果的に力学的挙動やその特性の不等方性を高めている。従って、不連続性岩盤斜面の安定の研究に於いて特に不等方性を考慮することが必要となる。

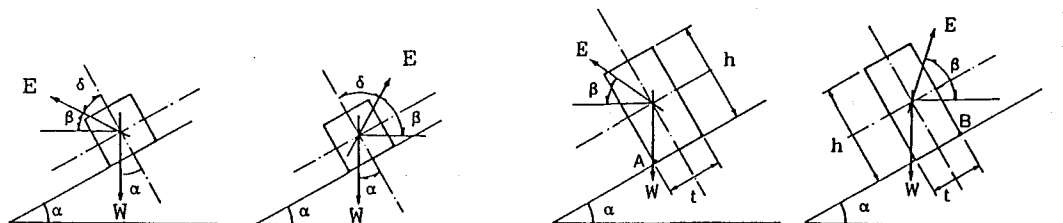
著者等は、長大斜面の自然安定に関する研究の一部として、2次元状態での斜面模型を振動台で水平方向に加振し、又は回転により傾斜角度を与えそれらの斜面破壊形状を調べ、この実験結果を相互に比較した。模型斜面内の応答加速度を調べこれらの結果より理論式を導いた。この理論式は、それぞれの実験結果を比較し、動的な荷重に支配された不連続性岩盤斜面の安定について考えたものである。

2. 動的模型実験法と実験装置そして模型材料

模型実験で動的荷重の载荷の二つの方法、振動台法と傾斜実験法について示すと次のようである。振動台実験法は、最も広く使用される方法であり、振動台上に置かれた斜面模型に選ばれた加速度を振動台より入力する。他に傾斜実験装置も使用した。この実験では加速度を実験装置のベースを垂直に回転することにより与えた。回転の速度とその方向が正しく管理された時、加速度は振動台実験法のものと同様型で加えられたことになる。回転実験の特別なものとして、ベースフレクション実験法がある。此の方法は垂直面か其れとも水平面での傾斜実験で動荷重をシミュレートする事ができる。

模型材料には、桧とアルミニウムのブロックを使用した。模型斜面のブロックの大きさは、 $10 \times 10 \times 20 \times 10 \text{ mm}$ で長さは全て  $50 \text{ mm}$ である。振動実験と垂直傾斜実験の模型斜面は、高さ  $40 \text{ cm}$ 、ベース長  $60 \text{ cm}$ の大きさである。ベースフレクション実験は、斜面模型の大きさに限界が有り、高さ  $20 \text{ cm}$ 、ベース長  $30 \text{ cm}$ とし、ブロックは  $5 \times 5$ 、 $5 \times 10 \text{ mm}$ で長さ  $10 \text{ mm}$ の大きさとした。

振動台実験の模型斜面には、その最上部の位置に応答加速度を計測する加速度計を設置した。模型斜面の破壊の全過程を一定間隔で撮影した。ブロックは、方眼積みと千鳥積みの二種類の方法で積み上げた。その不連続面の角度は  $0^\circ$  から  $180^\circ$  の間で  $15^\circ$  間隔で設定した。斜面角度は、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$  の三種類を考慮した。



Active sliding    Passive sliding    Active toppling    Passive toppling

Fig. 1. Failure modes: active sliding (a), passive sliding (b), active toppling (c), and passive toppling (d)

### 3、不連続性岩盤斜面の動的安定基準と破壊形状

掘削により生じた岩盤斜面の応力状態は、不連続面に囲まれた岩石要素のいかなる破壊の原因にもならないであろう。不連続面の存在によって、水圧を考慮しなければ岩盤斜面の応力状態が自重による力と外力（たとえば地震荷重）によってほぼ決定されるであろう。従って、岩盤斜面の安定性は、計画された掘削の幾何形状に関連して不連続面の空間的分布とその連続性、そしてせん断特性によって支配されるであろう。

不連続性岩盤斜面の破壊形態は次の三つの形によって起こる。

- 1)、滑り破壊
- 2)、トップリング破壊
- 3)、バックリング破壊

破壊形状の1)、2)は更にa)能動型とb)受動型の二つに再分される。

著者等は、最も可能性のある破壊形状の1)、2)について取り扱った。そして、図-1に示すような平面上の一ブロックが異なった载荷状態を持つ時の安定性に注目した。

滑り破壊； 図-1において岩盤斜面の $\alpha$ 面上にあるブロックの能動型の垂直力と接線力は次式であらわされる。

$$\begin{aligned} N_{AM} &= W \cos \alpha - E \sin(\alpha + \beta) \\ T_{AM} &= W \sin \alpha + E \cos(\alpha + \beta) \end{aligned}$$

また受動型の垂直力と接線力は次式であらわされる。

$$\begin{aligned} N_{PM} &= W \cos \alpha - E \sin(\beta - \alpha) \\ T_{PM} &= E \cos(\beta - \alpha) - W \sin \alpha \end{aligned}$$

$\alpha$ 面とブロックの間に粘着力がない状態で、地震力 $E$ がブロックの重量の $\eta$ 倍になるとすれば能動型と受動型のブロックの安定条件は、次に示すアモントン摩擦法を導入することによって次の様に得られる。

$$\text{能動型} \quad \eta \leq \frac{\cos \alpha \tan \phi_d - \sin \alpha}{\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta) \tan \phi_d}$$

$$\text{受動型} \quad \eta \leq \frac{\cos \alpha \tan \phi_d + \sin \alpha}{\cos(\beta - \alpha) + \sin(\beta - \alpha) \tan \phi_d}$$

トップリング破壊； 滑り破壊のケース中で作られた仮定と同様に、ブロックのトップリング破壊の能動型と受動型の接線力と垂直力は、滑り破壊で得られたものと同一である。その状態でのブロックの安定条件は図-1 c、1 dに示すA点およびB点のモーメントの釣り合いから得られる。

$$\text{能動型} \quad \eta \leq \frac{\cos \alpha \tan \theta - \sin \alpha}{\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta) \tan \theta}$$

$$\text{受動型} \quad \eta \leq \frac{\cos \alpha \tan \theta - \sin \alpha}{\cos(\beta - \alpha) + \sin(\beta - \alpha) \tan \theta}$$

ここに

$$\theta = \arctan(t/h)$$

$t$  = ブロックのベース幅

$h$  = ブロックの高さ

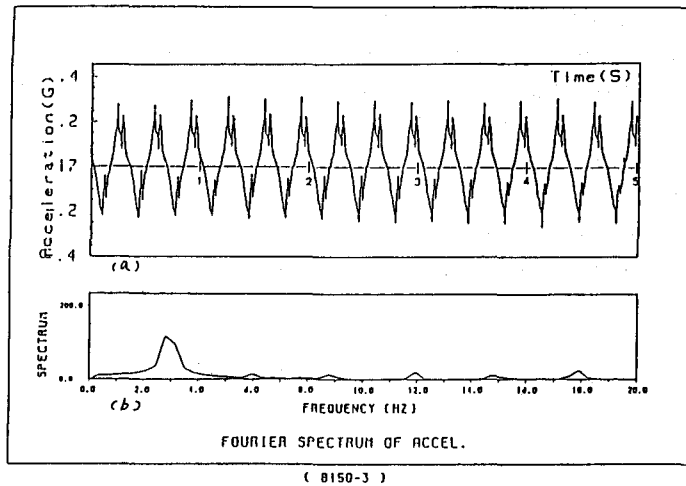


Fig. 2. Typical measured acceleration response of model slopes and spectrum analysis

#### 4. 実験結果および考察

不連続性岩盤斜面の動的挙動についての研究では、斜面全体の応答加速度を知ることが重要なことである。そこで模型斜面の上面に加速度計を取り付けてその応答加速度を計測した。千鳥積みで成層角度 $0^\circ$ の場合の応答加速度波形とスペクトル解析結果を図-2に示す。図-2 aからは、応答加速度波のピーク点を確認することが困難である。この波形のピーク点は、ブロックが互いに衝突しあつてきた波形が含まれているように考えられる。そこで、この衝突波が含まれた波形から真の応答加速度を見分けるためにスペクトル解析を行った。その解析結果を図-2 bに示す。スペクトル解析により整理された応答加速度を示すと図-3のようである。この図は振動数と加速度を加速度計の位置等によって比較したものである

図-3 aに見られることは、加速度計の位置が斜面に近いほど応答倍率は大きくなる。その応答倍率の増加はほとんど1以上8 Hzまでには見られない。応答倍率が増加する時は、振動数の増加に伴い、そのピークは1.3 Hzの振動数の付近である。この現象は、不連続形状と斜面形状によるものと考えられる。

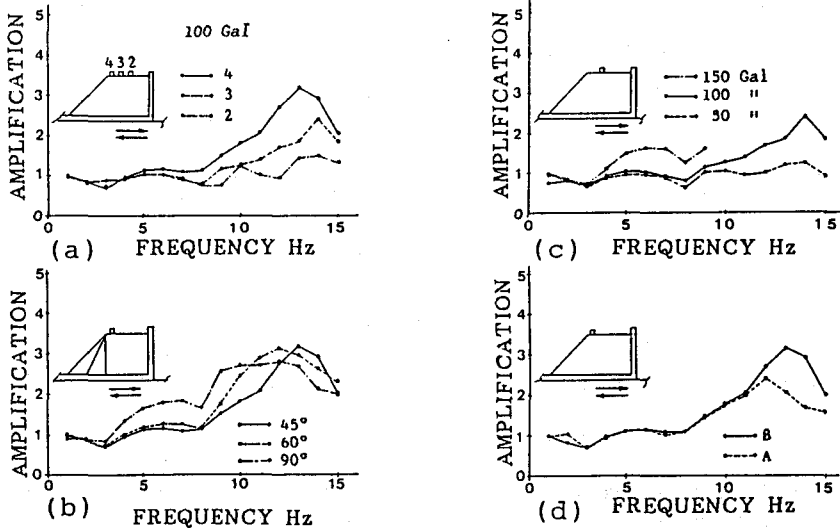


Fig. 3. Measured amplifications of the top of the model slopes

しかし、加速度形の位置がブロックの最上部であったことと加速度計の自重がブロックの重さの4倍もあったことが波形を乱した要因になっているものと思われる。

図-3bでは、応答加速度の応答倍率が斜面角度に依存することが見られる。倍率は、斜面角度45° 60° と二つのケースとも1から8 Hzの間で多くの増加は見られない。その後は振動数の増加とともに13 Hz付近まで一定の増加が見られた。斜面角度が90° のケースの応答倍率は3から13 Hzまで一様な増加が見られた。

図-3cから応答倍率が入力加速度の強度にも依存することが明らかとなった。応答倍率は低い強度の入力加速度では微量の増加が見られるだけであるが、高い強度の入力加速度では振動数の増加とともに一様な増加がみられた。

図-3dでは、ブロックの積み方の違いによる比較が示してある。この図では11 Hz当たりまで両者の倍率にほとんど差が無い。12より15 Hzの間で千鳥積みの方が方眼積みに比べかなり大きな応答倍率を示した。

計算結果と異なった3種類の実験装置による実験結果の内紙面の都合で振動台実験と垂直傾斜実験の結果のみをプロットして示すと図-4のようである。それぞれのプロット点はアルミニウムもしくは鉛とブロックサイズの違いを示したものである。震動台実験は、斜面角度45° 成層角度0° のものであり、振動数を2.5 Hzに定め加速度を順次増加させ斜面が破壊した時の値をプロットしたものである。計算結果と実験結果がよく一致していることがこの図より明らかである。

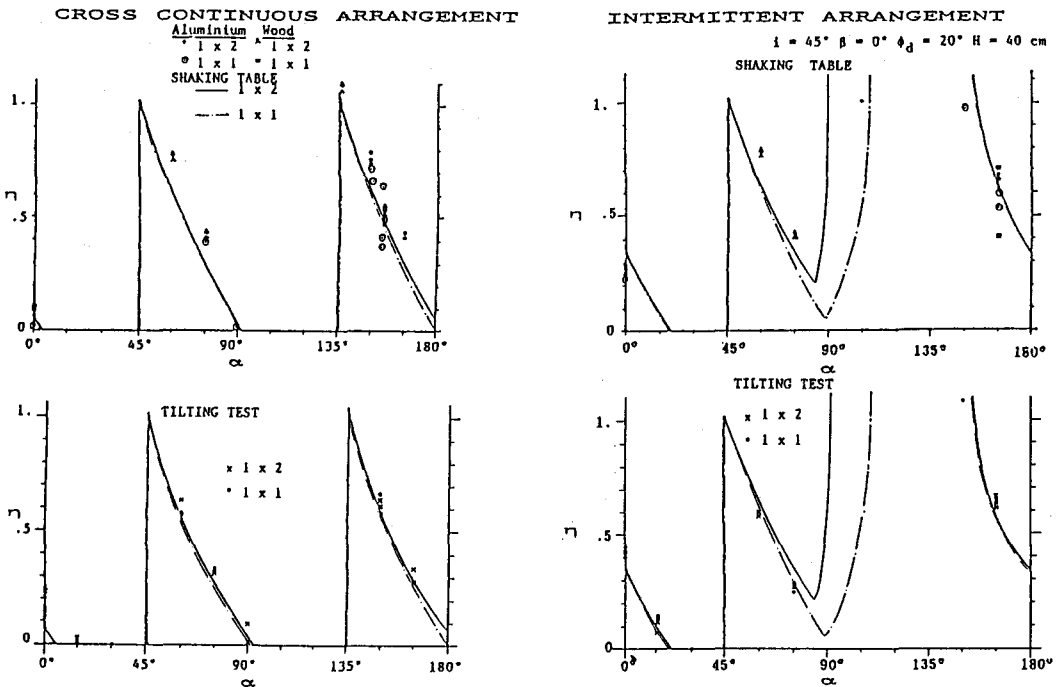


Fig. 4. Comparison of measured and calculated normalized accelerations  $\eta$  at initial failure

## 5. おわりに

本報告では、三種類の実験結果と理論解析結果を示したが、詳細については講演会当日述べる。

1) 清水泰弘・市川康明・川本跳万; 不連続性岩盤斜面の崩壊形状に関する実験的研究。第18回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集 pp. 161-165

(104) A MODEL STUDY ON DYNAMIC FAILURE MODES OF DISCONTINUOUS ROCK SLOPES

Yasuhiro SHIMIZU     \*  
Ömer AYDAN           \*\*  
Yasuaki ICHIKAWA     \*\*  
Toshikazu KAWAMOTO   \*\*

ABSTRACT

This paper presents results of two dimensional dynamic model tests carried out as a part of research program regarding the seismic stability of large scale slopes. Three different kinds of model tests have been made and test results are compared with each other. A criterion for the dynamic stability of discontinuous rock slopes with two different discontinuity set arrangements is proposed and checked with the model test results.

\* Department of Civil Engineering, Meijo University

\*\* Department of Geotechnical Engineering, Nagoya University