

第Ⅱ部門

地震外力を考慮した斜面崩壊に関する実験的検討

京都大学防災研究所 正員 高橋 保

京都大学防災研究所 正員 里深好文

京都大学防災研究所 正員 北 勝利

京都大学防災研究所 正員 中川 一

京都大学大学院 学生員○辰巳正人

1.はじめに 兵庫県南部地震で見られたように、地震時には山腹斜面の崩壊がしばしば発生する。本研究では土中の浸透流が地震時の斜面崩壊にどのような影響を与えるかを明らかにするために、斜面模型を用いた振動実験を行った。振動台上に設置された斜面模型に浸透流を発生させた後、種々の地震外力を与え、斜面崩壊に関する検討を行った。

2.地震外力を考慮した斜面崩壊に関する実験

実験は図-1に示すように全長4m、幅50cm、深さ50cmの矩形断面水路を振動台上に設置して行った。勾配は 20° で固定し、上下流端は栈と金網で区切り、水の供給・排水量を調節できるようにした。また、地下水位を読み取れるよう水路の壁面にビニールチューブを上流から70、150、230、310cmの地点に貼り付けた。実験で用いた砂は4号砂（平均粒径0.82mm、密度 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$ ）である。砂層は690kg使用し、水路に厚さ30cmに均一に敷き詰めた。水路のほぼ中央付近に加速度計を底面から0、15、30cmの深さに、間隙水圧計を底面から0、10、20cmの深さに埋設した。また、斜面の変形を可視化するため、トレーサをガラス面に沿って挿入した。与えた振動はサインカーブで、振動時間はトータルで15秒間とし、前後2.5秒は安全のためにテーパをかけた。振幅は1、3、5、7、10mmと変化させて、斜面が壊れるまで、振幅を増加させた。振動方向は水平方向で、振動周波数は4Hzである。崩壊の様子はビデオカメラで記録した。

3.実験結果と考察 実験の結果、地下水位の上昇にともなって振幅の小さい揺れでも斜面崩壊が起こることが分かった。ただし、地下水位が増加すると崩壊の形態はすべりによる崩壊から表面流による崩壊と変わるために一概に比較できなかった。今回はすべりによる崩壊を対象として考察する。

図-2に与えた振幅と計測された加速度の関係を示す。これらの深さ方向の加速度の大きさの違いを見ると、底面付近の加速度が表層付近の加速度と比べると小さくなっていることが分かる。すなわち、表面に伝播する振動が増幅されたと考えられる。また、間隙水圧の変化を見る

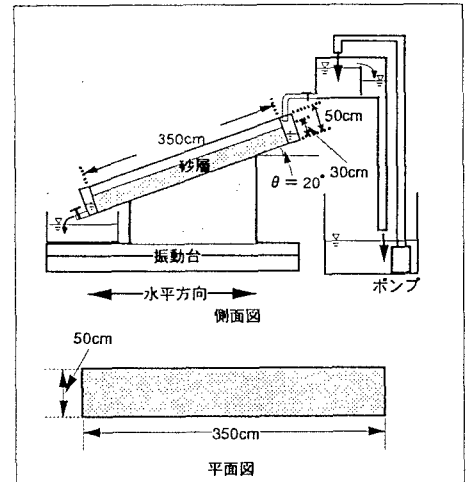


図-1 水路概略図と振動方向

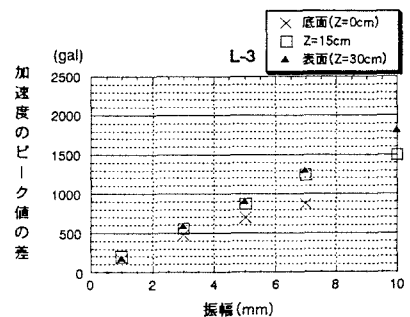


図-2 振幅と加速度の関係

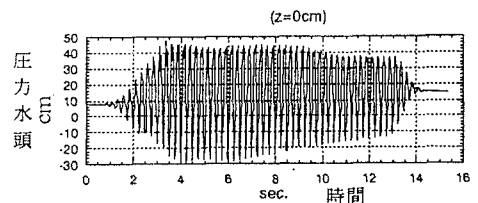


図-3 間隙水圧の変化

と、振動周期に対応するものと、数十周期にわたって、徐々に増加する傾向が見られた(図-3)。斜面のすべりについては、図-4に示すように底面付近、地下水位より少し上、表層付近の3ヶ所に見られた。

次に兵庫県南部地震の住吉川の安定解析¹⁾で用いられた無限長斜面に地下水位と地震外力を考慮した斜面崩壊モデルを本実験に適用してみる。安全率の計算は

$$F_d = \frac{\tan \phi}{\tan(\theta + \theta')} \frac{[D(1 - \lambda)\sigma - H(1 - \lambda)\rho]}{D(1 - \lambda)\sigma + H\lambda\rho} + \frac{C}{[D(1 - \lambda)\sigma + H\lambda\rho]\sqrt{g^2 + \alpha^2} \sin(\theta + \theta')}$$

$$\theta' = \tan^{-1} \alpha / g$$

で求め、それぞれ、勾配 $\theta=20^\circ$ 、内部摩擦角 $\phi=30^\circ$ 、層厚 $D=30\text{cm}$ 、空隙率 $\lambda=0.51$ 、砂粒子の密度 $\sigma=2.65\text{g/cm}^3$ 、水の密度 $\rho=1.0\text{g/cm}^3$ 、重力加速度 $g=980\text{cm/s}^2$ 、 $C=0$ とする。加速度としては底面ですべりを起こした時の底面付近で計測された値を用いている。図-5は実験値と計算された F_d を示している。これを見ると、安全率が0.5前後ですべりを起こしていることが分かる。これは、周波数などを考慮していない無限長斜面モデルを用いていることによると考えられる。また、実際の崩壊現象とモデル上で考えられた崩壊過程が大きく異なっている可能性がある。そこで、本実験における崩壊現象について図-6を使って説明をする。砂層の移動が確認できるのは水路の下流側から上流側へ移動をしているときである。その時の間隙水圧は一番小さいものとなっている。これは、間隙水圧が低下しているものの同時に、砂粒子の骨格応力も減少し、砂層全体の強度が低下したために、砂層の移動が起きていると考えられる。逆に間隙水圧が大きいときは砂粒子の骨格応力も大きく、砂層の強度が上がっているために砂層の移動が起これないと考えられる。

4.終わりに 今回の研究では斜面に用いた砂の粒径が大きかったために、間隙水圧の増加が斜面崩壊に直接的な影響を与える結果を得ることはできなかった。しかし、崩壊の過程については説明できたと考えられる。今後の課題としては地震の周波数、砂層の粒径を変えた実験を行い、崩壊現象に関するより一層の解明をすすめたい。

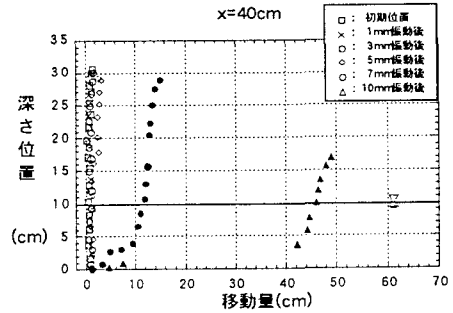


図-4 斜面の変形の様子

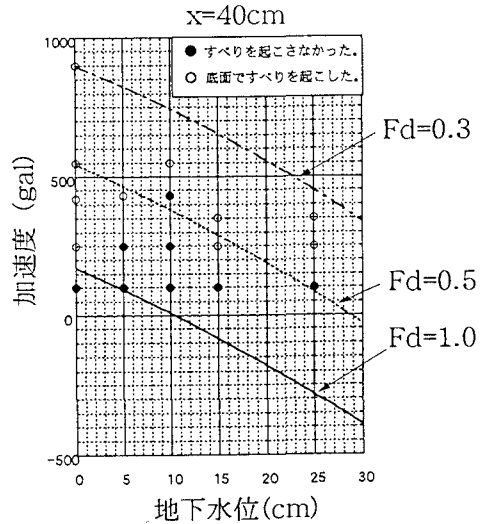


図-5 理論曲線と実験値

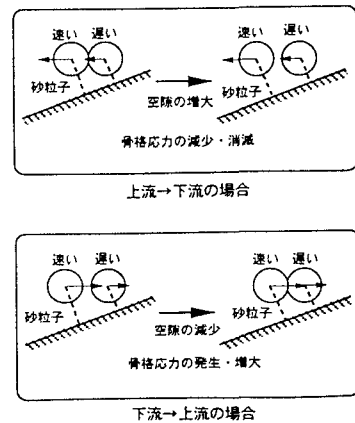


図-6 モデル概念図

参考文献 1) 高橋 保・里深好文：京都大学防災研究所、阪神・淡路大震災-防災研究の取り組み -pp172-pp226、1996年1月