

降雨時の斜面表層崩壊における斜面傾斜角と破壊の関係

大進土木(株) 正 ○大矢基弘 鳥取大学工学部 正 榎 明潔
(財)地域地盤環境研究所 正 池田勇司 鳥取大学大学院 学 文村昌史

1.はじめに 基岩の上に薄い表層土がある地盤で発生する降雨時の斜面表層崩壊に対して、間隙水圧の上昇により斜面が崩壊すると考え、理論モデルを用いて斜面崩壊を検討してきた。1) 斜面表層崩壊は浸透問題と斜面安定問題の混合問題である。強度定数のみに注目すれば、一般に、斜面は斜面傾斜角が小さくなると、安定であり、斜面傾斜角が大きくなれば、危険になると考えられている。ところが、図 1 に示すような斜面長が一定の斜面で降雨浸透を考慮すると、斜面傾斜角が小さければ、斜面に流入する降雨量が多く、間隙水圧も大きくなり斜面が崩壊しやすくなる。また、斜面傾斜角が大きくなると、斜面に流入する降雨量が少なくなり、斜面が崩壊しにくくなる。このように降雨浸透を考慮すると斜面傾斜角が大きい場合に斜面が安全となる可能性があることが考えられる。実際、九州のしらす地帯や、中国における黄土地帯ではほとんど鉛直に切った方が安全といわれている地域もある。本研究では降雨浸透を考慮した斜面傾斜角と破壊の関係を調べる。

2.降雨時の斜面表層崩壊 過去の調査結果より、降雨時の斜面崩壊は、平均的に勾配 30～35° 程度の斜面で、厚さ 50cm、長さ 10m、幅 15m 程度の土塊が滑っている。すべり土塊の長さとの比 H/L は 0.1 以下であるから、無限斜面の安定解析を用いてもよいと考えられる。無限斜面の安定解析よりちょうど崩壊する時 ($F_s=1$) の浸透流の水深 H_{wl} は、斜面傾斜角 β 、表層厚 H を用いて式(1)で表される。

$$H_{wl} = \frac{\gamma H}{\gamma_w} \left(1 - \frac{\tan \beta}{\tan \phi} \right) + \frac{c}{\gamma_w \cos^2 \beta \tan \phi} \quad (1)$$

また、定常水深 H_{wR} は、降雨強度 R 、斜面長 s 、基岩平行方向の透水係数 k_b を用いて式(2)で表される。

$$H_{wR} = Rs / (k_b \sin \beta) \quad (2)$$

3.斜面傾斜角と降雨浸透 図 1 に β の違いによる地下水位の変化の模式図を示す。斜面長を一定の斜面を考えると、降雨の流入流量は $R \cos \beta$ で表される。 s と R を一定、 $\beta=0^\circ$ の流入流量を 1 とした、流入流量と β の関係を図 2 に示す。これによると、 β が大きくなるほど、流入流量は減少する。例えば、 $\beta=20^\circ$ の流入流量は 0.94、 $\beta=40^\circ$ では 0.77 となる。また、動水勾配 $i=\sin \beta$ であるので、 β が大きくなると式(2)より、 H_{wR} は小さくなる。

4.一定流量下での斜面傾斜角と破壊 降雨のない場合は β が大きいほど斜面は危険となるが、前述したように降雨のある場合は、 β が大きくなると H_{wR} は小さく

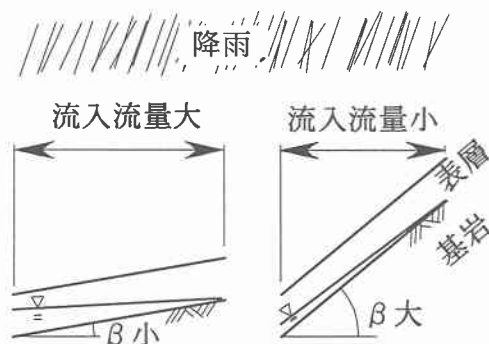


図 1 斜面傾斜角と地下水位

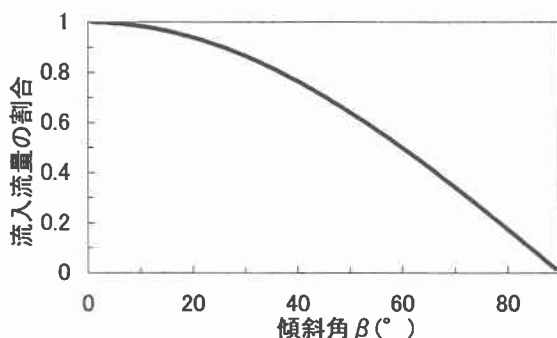


図 2 斜面傾斜角と降雨の流入流量

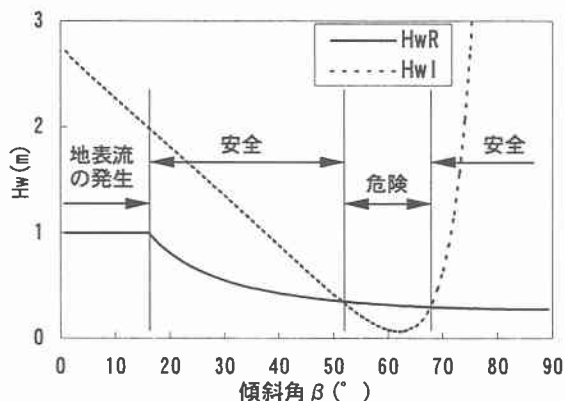


図 3 一定流量下での斜面傾斜角と破壊

なるので、条件によっては β が大きい方が安全となる可能性がある。図 3 に $\phi=35^\circ$ 、 $c=5.19\text{kN}$ 、 $R=2.78 \times 10^{-7}\text{m/s}$ 、 $k_b=1 \times 10^{-5}\text{m/s}$ 、 $H=1\text{m}$ 、 $s=10\text{m}$ 、 $\gamma=19.6\text{kN/m}^3$ 、 $\gamma_w=9.8\text{kN/m}^3$ の条件での、 H_{wR} 、 $H_{wI}-\beta$ 関係を示す。 $52^\circ < \beta < 68^\circ$ では、斜面は危険となるが、 $\beta > 68^\circ$ では、斜面は逆に安全になる可能性がある。

5.実験による検討 実験は斜面長 1.3m で β が可変な傾斜土層と、高さ 1.8m の位置に 0.15m 毎に 6 カ所の噴射ノズルのある降雨装置($R=2.36 \times 10^{-5}\text{m/s}$)を用いた。傾斜土層の底面には、間隙水圧を計測するためテンシオメータが取り付けられ、また下端の多孔板の排水量から、定常と非定常を判断できるようになっている。試料は、 $\phi=39^\circ$ 、 $c=0\text{kN}$ 、 $k_b=3.97 \times 10^{-3}\text{m/s}$ 、 $\gamma=19.4\text{kN/m}^3$ の鳥取砂丘砂を用い、基岩に垂直な方向の層厚は $H/L > 0.1$ となるよう、0.1m とした。図 4 に実験の条件で $s=0.65\text{m}$ の H_{wR} 、 $H_{wI}-\beta$ 関係を示す。実験は、地表流の発生する領域である $\beta=12^\circ$ 、安全領域である $\beta=22^\circ$ 、危険領域である $\beta=32^\circ$ で行った。図 5 に実験結果を示す。図 5i)ii)の水位(実験値)は、定常時であり、iii)は破壊時である。 $\beta=12^\circ$ は、図 4 によると、地表流が発生し、 $H_{wR} > H_{wI}$ であるので、破壊しない β の領域にある。実験では、 $s=0.45\text{m}$ で地表流が発生し、破壊しなかった。 $\beta=22^\circ$ は、 H 、 H_{wI} がほぼ等しいため破壊するかどうかの境界と考えられる。実験では $s=0.65\text{m}$ の位置で地表流が発生したが、破壊しなかった。 $\beta=32^\circ$ は図 5iii)B-B'に示すように定常時の水深で計算すると $s=0.47\text{m}$ で破壊する。実験では、A-A'に示すように $s=0.60\text{m}$ で破壊した。これらから、 β が小さいと水位が上がり上端近くで地表流が発生し、 β が大きいと間隙水圧による破壊が発生すると結果となった。

6.対策工の検討 人工斜面では、地表流が発生するとガリ侵食やパイピングによる崩壊が発生しやすい。実験においては β が小さい程、短い距離での地表流の発生がみられた。このため、 β が小さい場合は、地下水排水工や浅層排水工が有効と考えられる。また、 β が大きい場合は地下水位が少しでも発生すると破壊の危険があるため地下排水工や強度を増加させる工法が有効であると考えられる。

7.おわりに 実験を行うことは出来なかったが、表層土に c がある場合は、 β の大きい斜面の方が安全になる可能性がある。今後どのようにして、このことを検証するかが今後の課題である。

(参考文献) 1) 榎 明潔：降雨時の斜面表層崩壊、土と基礎、Vol.47、No.5、pp.17-20、1999。

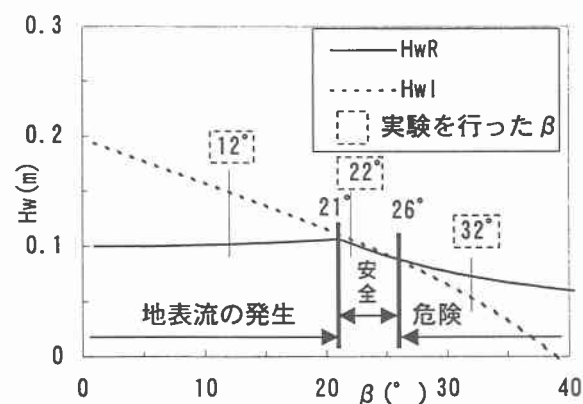
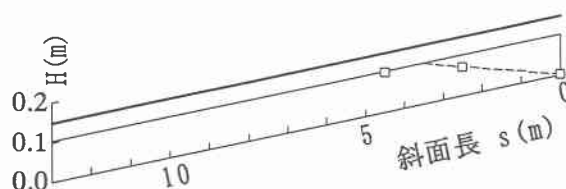
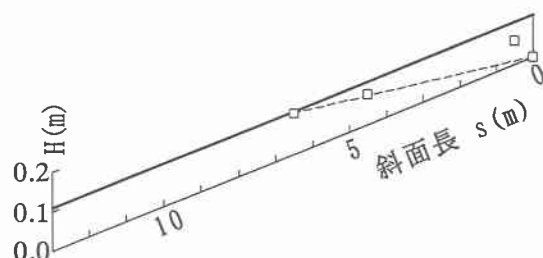


図 4 一定流量下での斜面傾斜角と破壊(実験)

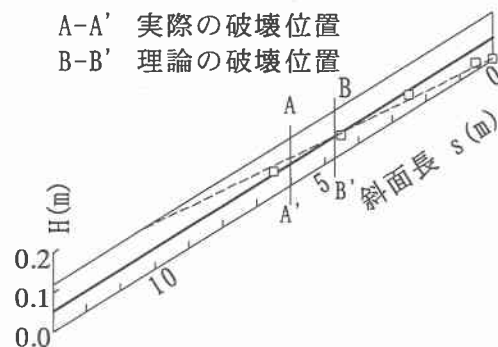
--- H_{wR} (理論値)、—— H_{wI} (理論値)
□ 水位 (実験値)



i) $\beta=12^\circ$



ii) $\beta=22^\circ$



iii) $\beta=32^\circ$

図 5 傾斜角と水面形