

降雨時の斜面表層崩壊における崩壊要因の検討

—見かけの粘着力の減少と自重の増加による崩壊—

(株)ウエスコ 正 ○新家 亨 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 降雨時の斜面表層崩壊において、何が支配的な要因であるか、未だ明確ではない。崩壊要因を明確化し、崩壊機構を解明することはどのような対策を行うかに直接関係しており、重要な問題である。崩壊要因としては見かけの粘着力の減少、自重の増加、間隙水圧の増加、地表流による表層侵食などが考えられている。今までは間隙水圧の増加を主な要因として検討を行ってきたが、一つの要因ですべての崩壊が説明できるという保障はなく、他の要因の検討も必要である。ここでは、見かけの粘着力の減少と自重の増加に注目し、これらが要因となる崩壊について理論的検討をもとに実験から調べ、崩壊要因の明確化を図る。

2. 無限斜面安定解析 斜面の安定解析法として、スライス間力の仮定が異なる各種スライス法が提案されている。しかし、すべり土塊の厚さ H と長さ L の比 H/L の低下とともに安定解析法による安全率 F_s の差がなくなる。 H/L が 0.1 以下であれば、計算が簡便でパラメータが陽に表される無限斜面安定解析法を用いてもよい。ここで、降雨時の斜面表層崩壊について過去に行われた現地調査結果より、崩壊土塊の平均的な幾何形状は、勾配 $\beta=35^\circ$ 程度の斜面で、厚さ $H=50\text{ cm}$ 、長さ $L=10\text{ m}$ 、幅 $B=15\text{ m}$ 程度であり、 H/L は 0.1 以下である。よって、無限斜面安定解析法を用いて検討を行う。

3. 見かけの粘着力 c の減少と自重 γ の増加による崩壊 無限斜面安定解析法より安全率 F_s は $F_s = \tan \phi / \tan \beta + c / (\gamma H \sin \beta \cos \beta)$ ①で表される。なお ϕ は土の内部摩擦角、 β は斜面傾斜角、 c は見かけの粘着力、 H は表層厚さ、 γ は土の単位体積重量を示す。式①において c と γ は同一項に含まれており、降雨時には c の減少と γ の増加は同時に発生することより、同一の崩壊機構として説明する。式①より $\beta \leq \phi$ の場合、 $\tan \phi / \tan \beta \geq 1$ になるので $F_s \geq 1$ となり、 c の減少と γ の増加による崩壊の発生は考えられない。 $\beta > \phi$ の場合、 $\tan \phi / \tan \beta < 1$ になるので、 c の減少と γ の増加により、 $F_s < 1$ になったときに崩壊の発生が考えられる。ここで、 $\beta > \phi$ の場合において、地表面から鉛直下向きの深さを z とし、 $F_s - z$ の関係を図-1 に示す。降雨浸透による c の減少と γ の増加により安全率 F_s が低下し、 $F_s = 1$ の直線上で崩壊が発生する。降雨がある前の崩壊していない斜面の深さ方向

の安全率分布は点線で示すように深い場所ほど小さい。そこに地表面を飽和させるような降雨があれば、安全率分布は図-1(a)の実線のように変化し、地表面で崩壊が発生することになる。地表面を飽和させないような降雨でも、安全率分布が図-1(b)の実線のように変化する場合に表層内(深さ H_1)で、安全率分布が図-1(c)の実線のように変化する場合に基岩面で崩壊が発生することになる。以上より、見かけの

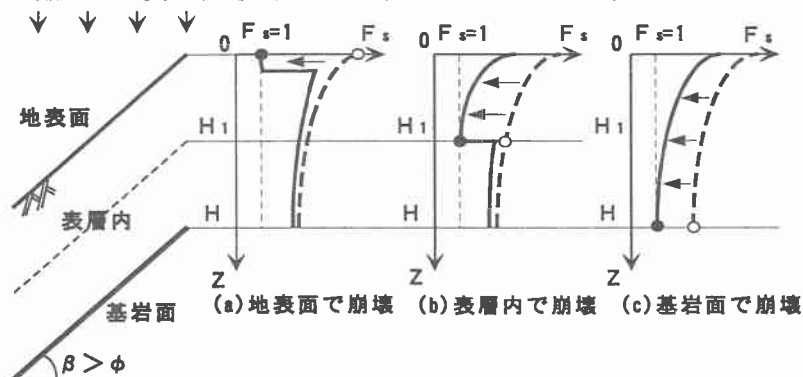


図-1 見かけの粘着力 c の減少と自重 γ の増加による深さ方向の安全率分布の変化

粘着力 c の減少と自重 γ の増加による崩壊は地表面、表層内、基岩面のどこで発生するのか不明である。そこで、見かけの粘着力 c の減少と自重 γ の増加により地表面、表層内、基岩面で崩壊が発生するのかを調べるために実験を行った。また、見かけの粘着力 c は不飽和土の持つ負の間隙水圧(以下、サクシオン ψ)に起因していると考えられるので $c = -\psi \tan \phi$ ②という近似式を用いて算出した。

(a) 地表面で崩壊が発生する場合 図-2 に示すようなまさ土斜面に地表面を飽和させるような降雨を与え、崩壊発生までの地表面と土槽底面のサクシオン ψ の変化を計測する実験を行った。その計測結果を図-3 に示す。降雨開始から 430 s 後に地表面から崩壊が発生した。見かけの粘着力 c の減少と自重 γ の増加による崩壊であれば、見かけの粘着力 $c=0$ すなわちサクシオン $\psi=0$ になれば式①より $F_s < 1$ になり、崩壊が発生すると考えられるが、図-3 よりサクシオン ψ が 0 付近で変動しなくなって約 90 s 後に崩壊が発生したことより、地表流により崩壊が発生したと思われた。そこで地表流の発生を

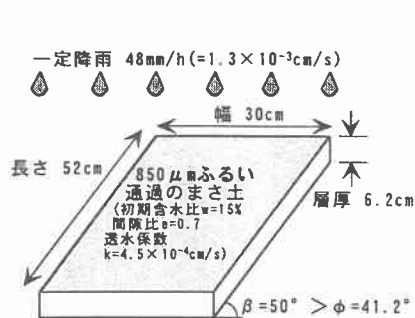


図-2 崩壊実験(地表面)

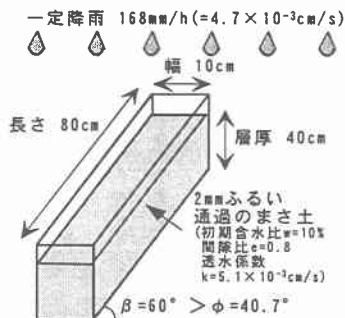


図-4 崩壊実験(表層内)

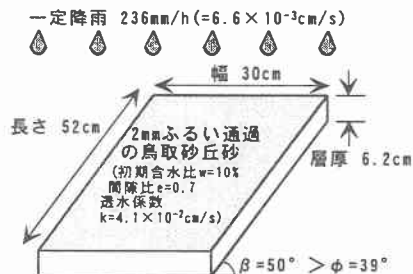


図-6 崩壊実験(基岩面)

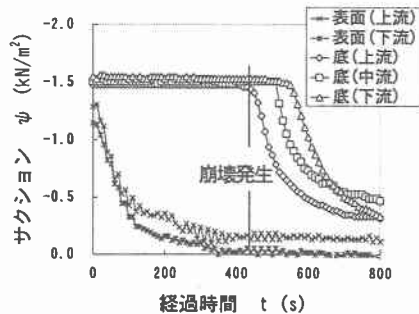


図-3 ψの時間的変化(地表面)

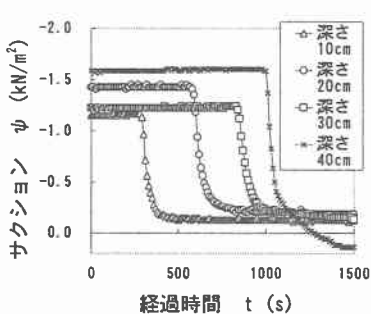


図-5 ψの時間的変化(表層内)

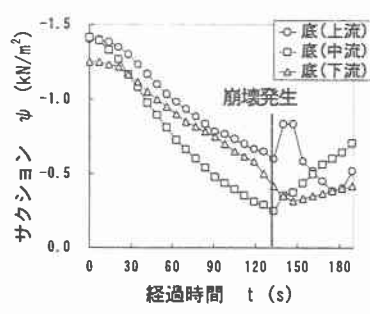


図-7 ψの時間的変化(基岩面)

確認するためにインクを斜面表面に流してみると、土中に浸透することなく下流に向かって流れたことより、今回の実験では地表面から崩壊する場合、 c の減少と γ の増加は要因であるものの、主な要因は地表流であることが考えられた。

(b) 表層内で崩壊が発生する場合 図-4に示すようなまさ土斜面に降雨を与え、崩壊発生までの鉛直下向きの深さごとのサクシオン ψ の変化を計測する実験を行った。その結果を図-5に示す。降雨開始から土槽底面に正の間隙水圧が発生するまで崩壊は発生しなかった。サクシオン ψ から式②で求めた見かけの粘着力 c は式①より、この斜面が崩壊すると考えられる値まで減少しているが崩壊は発生しなかった。この原因は土槽側面の摩擦の影響が大きかったことが考えられるので、今後は土槽のスケールを大きくし、側面摩擦の影響を小さくして実験を行う必要があると思われる。

(c) 基岩面で崩壊が発生する場合 図-6に示すような鳥取砂丘砂の斜面に降雨を与え、崩壊発生までの土槽底面のサクシオン ψ の変化を計測する実験を行った。その計測結果を図-7に示す。降雨開始から133 s後に基岩面で崩壊が発生した。図-7より土槽底面で正の間隙水圧が発生する前に崩壊が発生していることより、今回の実験では降雨浸透により土槽底面と表層土の見かけの粘着力 c が減少し、表層土の自重 γ が増加して崩壊が発生することが分かった。また、式①より求めた安全率は降雨前 $F_s=1.3$ から崩壊時 $F_s=1.1$ に減少したものの、 $F_s \geq 1$ で崩壊が発生している。この原因としては試験で求めた実験試料の内部摩擦角 ϕ や見かけの粘着力 c の精度が悪いことが考えられる。

4. 崩壊要因の検討 降雨時には見かけの粘着力 c の減少と自重 γ の増加は同時に起こるが、見かけの粘着力 c を一定として自重 γ の増加のみが要因となる崩壊についても実験を行ったが、降雨による自重 γ の増加分では崩壊が発生しなかった。また、降雨による自重 γ の増加量が小さいことより自重 γ の増加のみでは崩壊が発生する可能性は低いと思われる。次に実験では見かけの粘着力 c の減少と自重 γ の増加が要因となる崩壊は、地表面と表層内で発生を確認することはできなかったが、基岩面では発生を確認できた。この崩壊は表層厚が一定であれば斜面の上流、下流のどこで発生するのか特定することは難しいが、実際の斜面の表層厚は下流ほど厚いと考えられるので、崩壊は表層厚の薄い上流で発生することになる。しかし、実際の崩壊は下流で発生していること、 $\beta \leq \phi$ の斜面でも発生していることより、見かけの粘着力 c の減少と自重 γ の増加が支配的な要因となる可能性は低いと思われる。間隙水圧の増加による崩壊は間隙水圧が増加する斜面下流での発生が考えられ、 $\beta \leq \phi$ の斜面でも発生し得ることより、支配的な要因は間隙水圧の増加である可能性が高いと思われる。

5. おわりに 崩壊はいくつかの崩壊要因の複合により発生している可能性もあるが、支配的な崩壊要因を明確化し、崩壊機構を解明することはどのような対策を行うかに直接関係しており、重要な問題である。

(参考文献) 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.