

II-130 不飽和側方流を考慮した斜面崩壊発生の数値シミュレーション

鳥取大学工学部 正 員 藤田 正治
鳥取大学工学部 正 員 道上 正規
(株) 日水コン 正 員 則政 康三
鳥取大学大学院 学生員 朴 啓二

1. はじめに 浸透流解析と斜面の安定計算による崩壊発生の予測では、不飽和浸透流を鉛直1次元で解析するものが多い¹⁾。また、現地の土層を代表する飽和透水係数は、通常の透水試験では過小に見積られることが指摘されているが²⁾、崩壊現象を正確に表現するためには、どのような透水係数を用いるべきかを明確にする必要がある。本研究では、浸透流解析に不飽和側方流を考慮することの必要性を指摘するとともに、現地斜面の崩壊場所や時刻の再現性に及ぼす飽和透水係数や不飽和側方流の影響について検討する。

2. 斜面内地下水の挙動 図-1は、図中に示すような斜面長1.2m、層厚30cm、勾配30度の斜面にまさ土を敷き、底面と側面を不透水面とし、降雨強度80mm/hrの降雨を供給したときの斜面内間隙水圧の時間変化を示したものである。測定場所は図中に示した3箇所である。地下水位の上昇が、斜面上流側ほど遅くなっていることがわかる。同図には不飽和浸透を鉛直方向のみとして浸透流解析した結果も示されているが、計算では斜面全体で飽和帯が発生・発達しており、実験結果とかなり異なっている。これは、飽和度の鉛直分布によって生じる不飽和側方流を考慮していないためと考えられる。そこで、不飽和側方流量および飽和側方流量を式(1)および(2)で算定し、式(3)で飽和帯の挙動を解析する。

$$q_s = k_u(S_u) \cdot \alpha \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot W_f \quad \cdots (1)$$

$$q_{s0} = -k_s \cdot I_x / \sqrt{1 + I_x^2} \cdot \cos \theta \cdot h \quad \cdots (2)$$

$$\lambda_e \cdot \partial h / \partial t = i - \partial q_{s0} / \partial x - \partial q_s / \partial x \quad \cdots (3)$$

ここに、 x ：水平方向の座標、 k_u ：不飽和透水係数

で飽和度 S_u の関数、 θ ：斜面勾配、 W_f ：斜面表面から浸潤線（または、地下水面）までの距離、 α ：動水勾配を補正する係数、 k_s ：飽和透水係数、 I_x ：水平方向に対する水面勾配、 λ_e ：有効空隙率、 h ：飽和水深、 i ：降雨強度または鉛直浸透能の小さい方である。図-2は、 $k_s = 2.8 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 、 $k_u = 5.7 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ($S_u = 67\%$)、 $\alpha = 0.39$ としたときの間隙水圧の計算値と実験値の比較を示したものである。3箇所の間隙水圧の上昇時刻がほぼ再現され、間隙水圧の値もほぼ一致している。

3. 現地の斜面崩壊のシミュレーション 2次元浸透流解析に2.で述べたような不飽和側方流を考慮し、無限長斜面の安定計算によって、昭和58年山陰豪雨災害時の鹿子谷における崩壊発生の再現計算を行なう。土層構造はA層、B層およびC層からなる3層構造とし、斜面勾配の関数として層厚を決定した³⁾。計算は、飽和透水係数の影響と不飽和側方流の影響を見るために次の3ケースが行なわれた。Case 1：不飽和側方流を考慮せず、飽和透水係数を通常の透水試験で得られた値、すなわちA層で $7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 、B層で $2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 、C層で $6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ を用いる。Case 2：不飽和側方流は考慮しないが飽和透水係数をCase 1の場合の10倍とする。Case 3：不飽和側方流を考慮し、かつ飽和透水係数をCase 2と同様にする。図-3(a)~(c)は崩壊発生場所、勾配別・地形別崩壊発生率の実測値およびCase 1および2の計算値を示したものである。Case 1の場

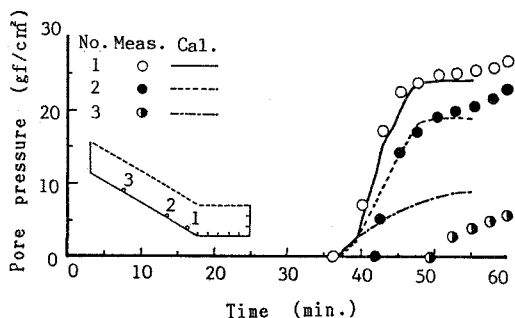


図-1 間隙水圧の変化（不飽和側方流考慮せず）

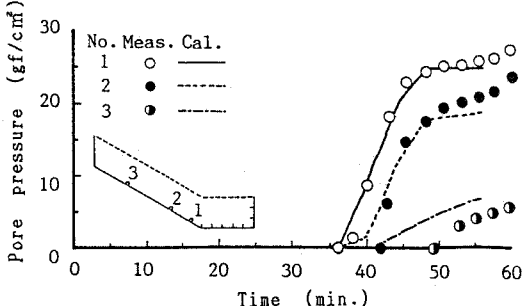


図-2 間隙水圧（不飽和側方流考慮）

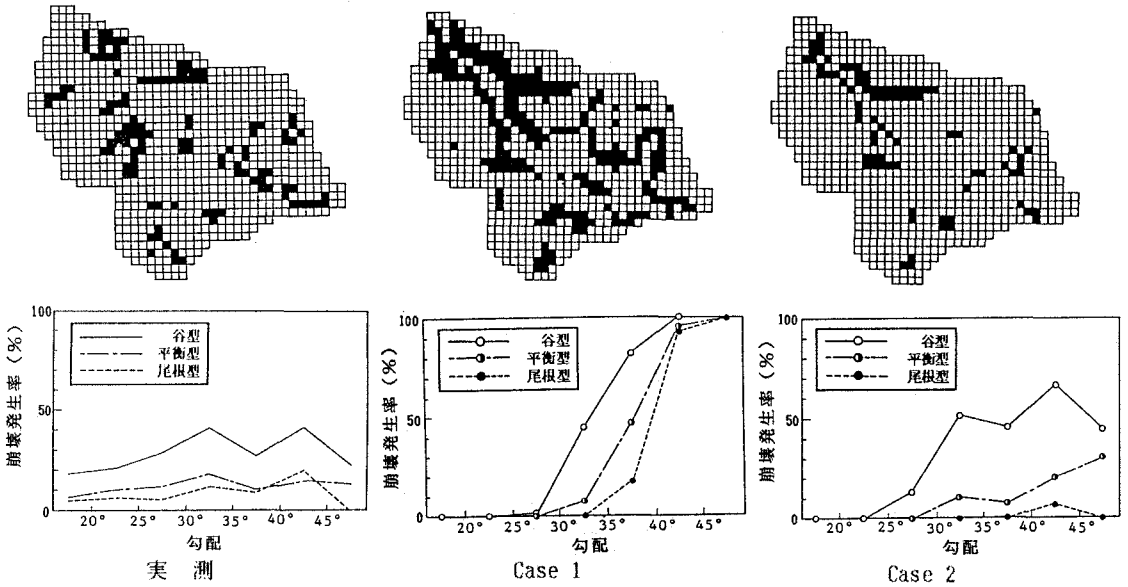


図-3 (a)~(c) 崩壊箇所と崩壊発生率

合は急勾配箇所での崩壊の発生率が過大に計算されている。この原因として、急勾配の斜面において表土がないような箇所にも、土層を仮定していることも挙げられるが、実験の場合と同様に斜面の上流側に水が貯留され易いことも考えられる。Case 2の場合、透水係数を大きくすることによって地中水が下流側に流され、急勾配の斜面の崩壊発生率が減少し、実測値と近くなっている。図示していないがCase 3の場合、崩壊発生場所や崩壊発生率はCase 2の場合とほぼ同様の結果となった。図-4は、3ケースの勾配別・地形別適中率を示したものである。適中率は、実際にも計算でも崩壊したメッシュ数を実際に崩壊したメッシュ数で割った値である。飽和透水係数を大きくし、さらに不飽和側方流を考慮することによって適中率がよくなり、予測精度が向上することがわかる。図-5は、崩壊発生時刻の頻度分布を示したもので、Case 2や3ではcase 1より1時間程度崩壊発生ピークが早くなっている。また、午前8時30分頃崩壊に対して最も危険な状態にあったという現地報告⁴⁾と対応するのは、Case 2、3の場合である。

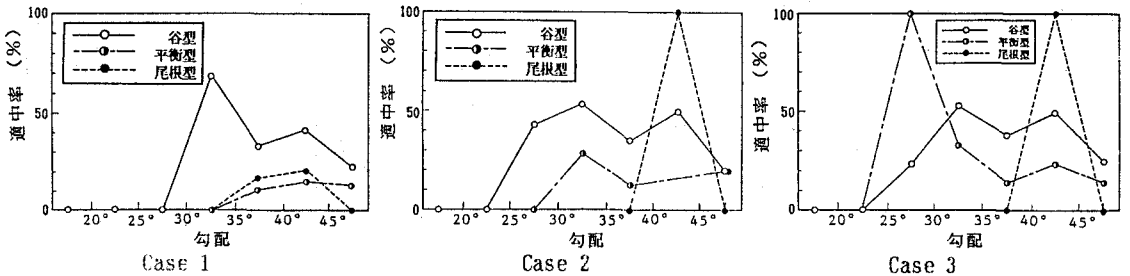


図-4 適中率

4. おわりに 以上より、現地の崩壊地、崩壊時刻の再現性は、飽和透水係数を10倍程度大きくしたり、不飽和側方流を考慮することによってある程度向上することがわかった。

参考文献 1)高橋ら、30回水講論文、1986、2)太田ら、日本林学会誌、Vol.71、1989、3)道上ら、鳥大工学部研究報告、第19巻、1988、4)栃木省二：昭和58年7月山陰豪雨災害の調査研究、1984。

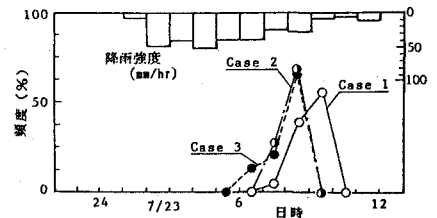


図-5 崩壊発生時間の分布