

原位置地盤調査データと降雨浸透解析に基づく土砂災害危険渓流の危険度評価

清水建設株式会社 正会員 土井豆聡之

広島大学大学院工学研究科 正会員 ○土田孝・加納誠二 学生会員 川口将季

1. はじめに

広島県は梅雨期や台風期の集中豪雨によって土砂災害が発生し、毎年多くの人的被害を出している。豪雨時の斜面崩壊は降雨浸透と斜面安定の複合問題であり、地盤の強度定数と降雨浸透を考慮して安定解析を行うことで危険度予測の精度を高めることができると考えられる。本研究は軽量動的コーン貫入試験機を用いて対象となる危険渓流における斜面の強度定数を推定し、次に豪雨時の斜面内への高含水比帯形成に着目した降雨浸透解析結果と安定解析を行い、両者を用いた安定解析によって危険度評価法を行う方法を検討したものである。

2. 原位置地盤調査

原位置地盤調査は広島大学構内にあるががら山（東広島市）で2箇所、広島県内で実際に土石流危険渓流に指定されている4箇所（東広島市内1箇所、広島市内2箇所、呉市内1箇所）の計6箇所にて調査を行った。軽量動的コーン貫入試験を実施する地点の選定は、地形図をもとに、以下のような流れで行った。

- ① 源頭部を特定し源頭部に2~5m間隔で試験地点を選定する。
- ② 源頭部より斜面勾配20°以下となるまで渓流側面に20m間隔で試験地点を選定する。

図-1にサイト5における試験地点選定の例を示す。C line（渓流中央）、L line（渓流左側）、R line（渓流右側）はそれぞれ渓流上流からC-1、C-2と地点番号を付けている。全6箇所では10~27の貫入試験を行い、1箇所の平均は20地点であった。

原位置調査結果として軽量動的コーン貫入試験から得られる貫入抵抗値-深度関係と、得られた表層厚を用いて作成した二次元断面図をそれぞれ図-2と図-3に示す。

3. 強度定数推定法の原地盤への適用性の検討

筆者らは、軽量動的コーン貫入試験で求めた貫入抵抗値からまさ土斜面の内部摩擦角と粘着力を推定する方法を提案している¹⁾。サイト3~6において不攪乱試料を採取し、不飽和三軸圧縮試験を実施してサンプリング地点近傍で得られた貫入抵抗値より推定された強度定数と比較することで、提案した強度定数推定法の適用性を検討した。その結果、貫入抵抗から推定した内部摩擦角は室内試験から求めた値とほぼ一致した。しかし、粘着力に関してはおおむね実測値は推定値の50%程度であった。この違いの原因として、推定法で校了されていない細粒分含有率の影響や試料採取時の攪乱による粘着力の低下が考えられる。今後これらの補正について検討する必要があると考えられる。

4. 降雨浸透解析による危険度評価

斜面安定解析を行うにあたって、降雨浸透過程は非常に重要になる。花本らによって行われた模型地盤を用いたまさ土の室内注水試験によると、まさ土の降雨浸透過程はまず飽和度80%程度の高含水比帯が形成され²⁾、高含水比帯が下降していき基盤に到達すると、次に地下水位が上昇していくことが確認されている。このことを考慮し、高含水比帯の下降過程と、地下水位上昇過程を算定した。解析には高含水比帯の降下過程は浸透解析で広く用いられるRichardsの式(1)を用いた³⁾。

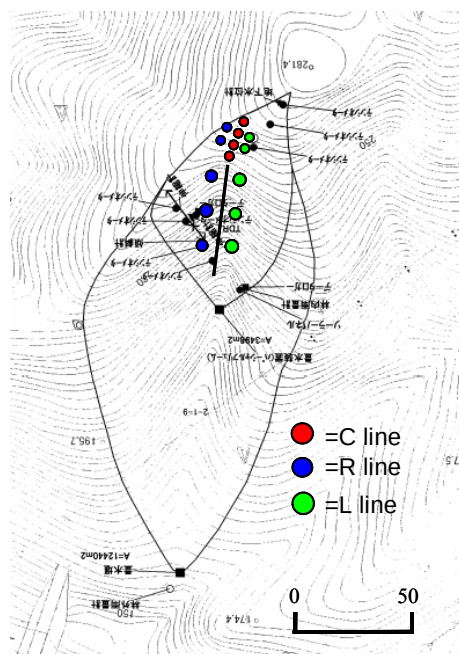


図-1 サイト5における貫入試験実施地点

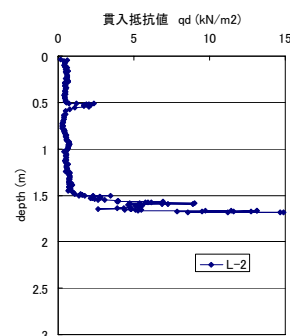


図-2 貫入抵抗と深度

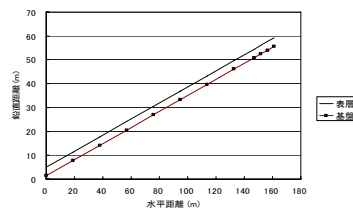


図-3 渓流の二次元断面図

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\psi) \cdot \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right) = 0 \quad (1)$$

この式を時間と深度方向に差分化して負圧 Ψ を計算し、水分特性曲線を用いて体積含水率が計算できる。

降雨時の地下水位の算定には Thiha らによって提案されている式(4)を用いた⁴⁾。これは、広島大学構内にあるががら山での現地観測結果より求められたものである。また、1999.6.29 災害時の崩壊斜面へも適用され、ある程度の適用性が確認されている³⁾。

$$h_w = \frac{R \cdot S \cdot \cos \beta}{(1/2 \cdot n_e \cdot \cos \beta \cdot S + k \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta \cdot t)} \quad (2)$$

h_w : 地下水位, R : 連続雨量, H_L : 表層厚, θ_0 : 初期体積含水率, n_e : 有効間隙率, k : 透水係数, β : 斜面勾配, t : 時間である。

降雨浸透解析結果として Site 1 での計算結果を示す。

図-4 に 10 時間毎の深度方向の体積含水率分布を示す。今回の計算結果は降雨強度 $r=10\text{mm/h}$ の雨が降り続ける場合のものである。次に地下水位上昇過程の計算結果を示す。図-5 は斜面のある点における地下水位上昇量の計算結果である。これらの高含水比帯降下過程と地下水位上昇過程の計算結果を安定解析に用いる。

降雨強度 $R=10\text{mm/h}$ の条件で、サイト 1 の高含水比帯降下過程と地下水位上昇過程での安全率を求め図-6 に示した。図は上から降雨量(時間雨量と連続雨量)、地盤内の含水比と地下水位の状況、まさ土層下部における安全率、高含水比帯下端における安全率(浸透流無し)、高含水比帯下端における安全率(浸透流あり)を示している。図-6 を見ると、降雨強度 $R=10\text{mm/hour}$ の降雨が降り続く場合の安全率の変化がリアルタイムで求められている。

表-2 は、各危険渓流の安全性評価結果である。ここでは、高含水比帯に浸透流がある場合を想定した安全率は参考にとどめ、浸透流がないときの高含水比帯下端の安全率およびまさ土層下部の安全率を用いた。表のように、今回調査を実施した範囲では、サイト 4, 5, 6 の 3 箇所では 300mm 程度の累積雨量で斜面崩壊が発生し、土石流の発生につながる可能性があるという結果が得られた。

5. まとめ

自然まさ土斜面を対象として個々の危険渓流の地盤データと降雨浸透解析による土質力学的危険度評価の方法を示した。

表-2 安定解析結果にもとづく各危険渓流の安全性評価

	最小安全率	安全率が1以下になるときの時間	300mm程度の雨量に対する安全性評価
1	0.95	146時間	ほぼ安全
2	0.55	69時間	要注意
3	1.45	—	安全
4	0.85	30時間	危険
5	0.70	26時間	危険

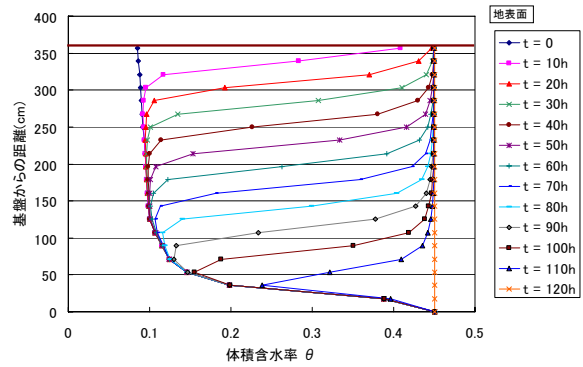


図-4 高含水比帯効果過程の体積含水率と時間の関係

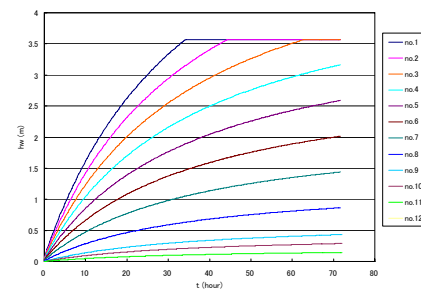


図-5 地下水位上昇過程における地下水位と時間の関係

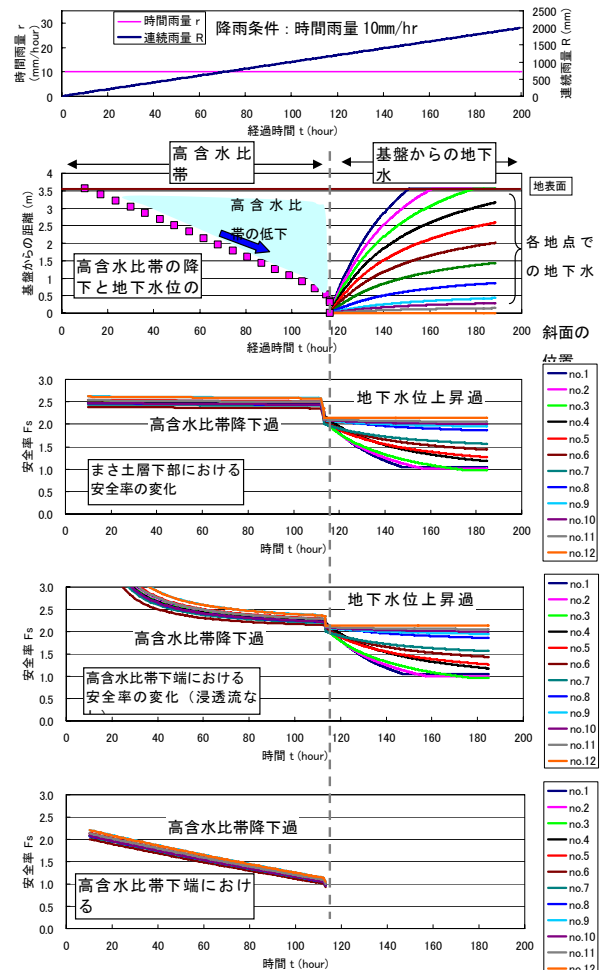


図-6 斜面の各地点における安全率の変化 (降雨強度 10mm/時間)