

「ソフトとハード融合技術」に関する実大斜面降雨実験による検討

日鐵住金建材(株) ○岩佐直人, Nghiem Minh Quang
(独) 防災科学技術研究所 酒井直樹
立命館大学 酒匂一成, 深川良一, 檀上徹

1. はじめに

近年局地的な集中豪雨による土砂災害が多発している。従来このような土砂災害には、擁壁やグラウンドアンカー等のハード対策が行われてきたが、対象とする斜面全てにハード対策を行うことは莫大なコストが掛かり、実現性が困難であった。一方「土砂新法」が H13 年に施行され、土砂災害危険箇所の明確化による警戒避難体制の整備や新設住宅等の立地抑制等のソフト対策が主体に実施されるようになった。しかし警戒区域が多く同法適用の難しさや、住民の土砂災害に対する危機感が乏しいという問題がある他、避難勧告等の発令基準に具体性が不足していること¹⁾、斜面変位を感知してから崩壊するまでの時間が極めて短く住民が避難するには十分でないといった課題が考えられた。

そこで変形に伴って抵抗力が発現する「地山補強土工法」を活用した「ソフトとハード融合技術」が確立できれば、土塊移動を抑制しながら斜面挙動を把握し、住民の避難時間を十分確保できると考え、今回まずは、「ソフトとハード融合技術」の実用可能性を把握することを目的に、実大斜面による降雨実験を行った。

2. 実験斜面の概要

実験斜面は、高さ 5.0m×幅 4.0m、斜面角度 40°、斜面底面は厚さ 10cm 程度のモルタルで被覆され、約 50cm 間隔で高さ 10cm、幅 30cm の突起が設けられた斜面であって、斜面側面と上端面は剛性のある鉄板で囲われ、また斜面のり尻の底面には砂利を敷いて排水層としている。

実験試料には、飽和透水係数 10^{-5} (m/sec) のオーダーの筑波山まさ土を用い、初期含水比は無対策時で 9.5%、対策時で 3.5%であった。斜面は、1 層約 30cm として人力による締め固めにより、湿潤密度 17.3kN/m^3 (乾燥密度 15.9kN/m^3) で層厚 1.0m の土砂層を作製した。

また斜面を上段、中段と下段に分け、各段の深さ 0.15, 0.45, 0.85m の位置にテンシオメータと土壌水分計を設置し、斜面の動きを観測するための変位計を各段に設置した。さらに土砂層表面には浸食防止のために、浸食防止シートを設置し、所定の降雨強度 50mm/hour で実験を行った。なお対策時は、降雨開始から 320 分間は降雨強度 50mm/hour で実施したが、斜面が崩壊する傾向が見られなかったことから、320 分以降は降雨強度 100mm/hour で行った。

対策工は、無対策斜面で地下水位を上昇させ、安全率が 1.0 以下となった斜面状態で、対策工として地山補強土工法を設置し、中村・Nghiem 等が提案している「支圧板付きくさび杭」の考えを取り入れた地山補強土工法の安定性評価方法²⁾を用いて、補強材が降伏強度に達した段階での変形量を算出し、対策工実施斜面の安全率が 1.0 以上確保するように対策工諸元を決定し、図 2-1 のように配置した。なお対策した斜面の安全率は、変形量 30mm

で安全率 1.04~1.07 である。対策工は、基盤の所定の位置に径 50mm・深さ 1.0m で基盤に垂直に削孔し、補強材 (φ28.5mm 中空棒鋼) を設置した後、注入材 ($\sigma_{21}=24\text{N/mm}^2$ のセメントミルク) を深さ 0.7m まで注入して、補強

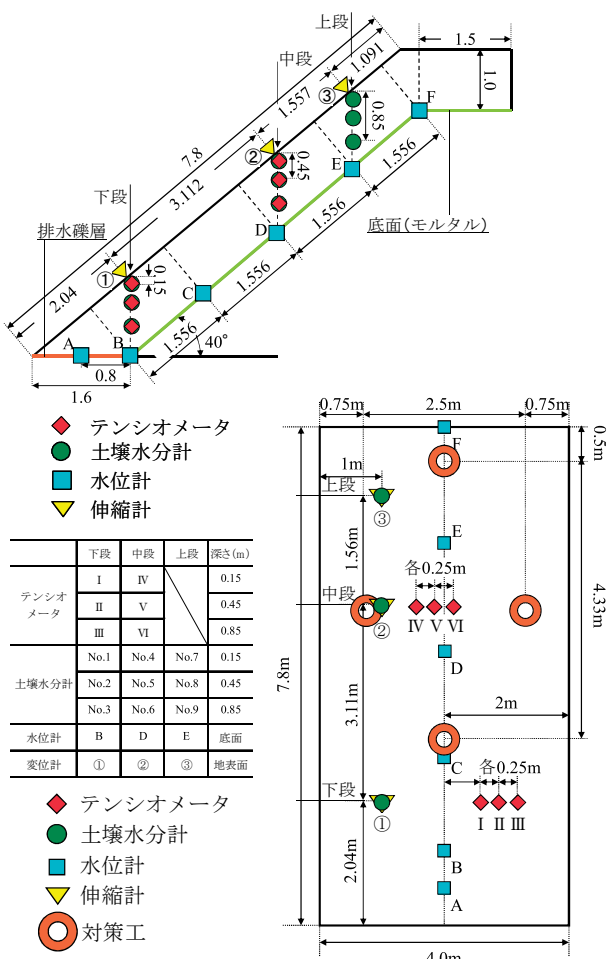


図 2-1 対策実施斜面の計測機器位置

材を固定した。その後内径 50mm 程度の塩ビ管を補強材に被せ、層厚 1.0m に土砂層を仕上げた。その後、塩ビ管内に注入材を注入しながら塩ビ管を引き抜き、注入材固化後、のり面工として支圧面積 0.22m² の鋼製支圧板及び張力計付きワイヤ（φ8mm 6×24-10%Al 合金メッキワイヤ）を取り付けた。

3. 実験結果

図 3-1、図 3-2 に降雨開始からの斜面変位量の時系列変化、地下水位の時系列変化を示す。いずれも点線が無対策、実線が対策時の値である。

無対策時の斜面変位は、水位計 D が反応し始める降雨開始後 140 分付近から顕著に表れており、対策時の斜面変位も水位計 D が反応し始める 175 分付近から顕著に表れた。また無対策時の水位は、ほぼ直線的に増加し、斜面変位が加速度的に増加するが、対策時の水位は指数関数的な動きを示すのに対し、斜面変位は直線的に増加し、降雨強度 100mm/hour にした後、加速度的に増加している。無対策斜面では、水位計 D の値が増加し始めた時点から、約 23 分後に斜面が崩壊したのに対し、対策した斜面では 150 分以上経過しても崩壊に至らなかった。

ここで斜面変位量 1cm 時に達したときの無対策斜面と対策斜面を比較すると、斜面変位を顕著にさせるきっかけになった水位計 D の値は、いずれも約 7cm でほぼ等しい。しかし水位計 D が反応し始めた時間から斜面変位量 1cm に達するまでの時間は、無対策斜面では約 5 分であるのに対し、対策斜面では約 55 分である。すなわち同一変位に達するのに、対策した場合には 10 倍強の時間が掛かっていることになる。ちなみに対策斜面で補強材の想定すべり面付近のひずみが 400N/mm² に達した状態の変位量が 4cm に達するまでの時間は、降雨開始後約 160 分に対し、対策時は、約 320 分後であり、2 倍以上の時間がかかっている。この結果は対策工によって斜面変位が抑制されることにより、避難する時間が十分に確保できることを示唆している。

4. まとめ

「ソフトとハード融合技術」の実用可能性を把握するために、実大斜面による降雨実験を実施した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 安全率 1.05～1.07 程度のハード対策を行っても、斜面の変形を抑制することにより、崩壊までの時間を大きく延ばすことができる。
- (2) 地山補強土工法の補強材の変形度合い（特に想定すべり面付近）を把握することにより、地表面変位計測と同様に斜面の変形量を把握することができる。
- (3) 対策構造体をセンサ化することにより、従来のセンサ技術だけでは評価しきれなかった斜面全体の挙動を把握することができる。

今後は、対策工の抑制効果を考慮した適正な閾値（危険度伝達値）の設定、対策工の安定メカニズムを考慮したセンサシステム及び斜面変形量による斜面安定性を評価する手法の確立に向け検討を進める予定である。

参考文献

- 1)奈良県砂防課；奈良県土砂災害対策基本方針，<http://www.pref.nara.jp/secure/48395/honbun.pdf>
- 2)中村浩之・Nghiem Minh Quang・岩佐直人・井上孝人；自然斜面に適用した鉄筋挿入工法の安定メカニズムとその適用例，豪雨時における斜面崩壊メカニズムおよび危険度予測に関するシンポジウム発表論文集，pp149-156，（社）地盤工学会，2003
- 3)岩佐直人・Nghiem Minh Quang・酒井直樹・酒匂一成・深川良一・檀上徹，「ソフト＋ハード」融合技術に関する実大斜面降雨実験による検討，斜面・のり面の維持管理と防災マネジメントに関するシンポジウム論文集，pp83-88，（社）地盤工学会，2011

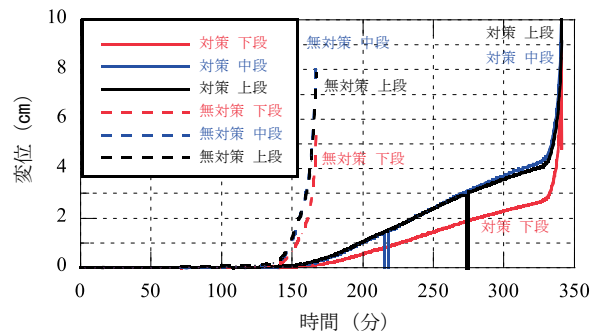


図 3-1 斜面変位量の時系列変化

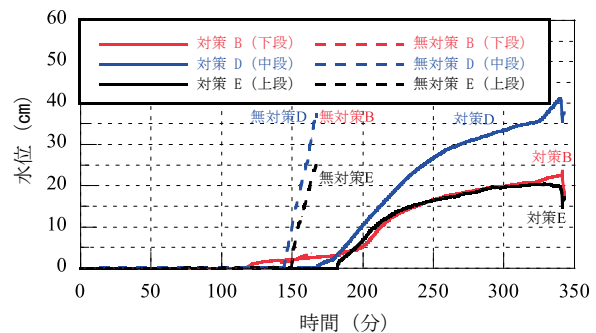


図 3-2 地下水位の時系列変化