

平成 23 年台風 12 号により紀伊半島で発生した天然ダムの内部構造と安定性評価について

王 功輝¹⁾・新井場公德²⁾・繆 海波¹⁾・William H. Schulz³⁾¹⁾ 京都大学防災研究所²⁾ 消防庁消防大学校消防研究センター³⁾ U.S. Geological Survey

1. はじめに

平成23年8月25日にマリアナ諸島の西の海上で発生した台風第12号は、日本の南海上をゆっくりと北上し、強い勢力を保ったまま9月3日に高知県東部に上陸し、四国地方、中国地方を縦断して、4日未明に山陰沖に抜けた。その後もゆっくり北上を続け、5月に温帯低気圧に変わった。この台風を取り巻く雨雲や湿った空気が流れ込んだため、西日本から北日本にかけて、広い範囲で大雨となった。特に紀伊半島では、降り始めの8月30日17時から9月4日24時までの総雨量が、多い所で1800ミリを越えた。また、4日3時57分までの1時間に、新宮市新宮で132.5ミリの猛烈な雨を観測した。この降雨の影響で、各地で土砂災害、浸水、河川の氾濫などが発生し、奈良・和歌山両県を中心に死者・行方不明者は全国で97人（平成24年3月19日18時現在、消防庁調べ）になった。また、道路が寸断され、多くの集落が孤立状態となった。さらに、数多く発生した大規模な地すべりの一部は天然ダムを形成し、川や溪流が堰き止められた。これらの天然ダムは、湛水の進行及びその後の台風15号に伴う降雨により、決壊が懸念され、災害後の人命捜索や復旧・復興に大きな影響をもたらした。現在、これらの天然ダムに対して、緊急対策工事が実施されているところである。

我々は、大規模な地すべりにより形成された天然ダムの安定性を的確に評価する方法を研究するため、幾つかの天然ダムにおいて、高精度表面波探査を実施し、その内部構造を調べた。以下、この調査結果を報告する。

2. 伏菟野の斜面崩壊と熊野の天然ダム

和歌山県田辺市の伏菟野地区で発生した斜面崩壊（写真1）は、混在岩、砂岩泥岩互層の地層において発生したものである。源頭部は、強風化した泥岩の層理面や割れ目の多い軟弱な岩盤からなる。崩壊地の末端から頭部までの水平距離は約420mで、比高差は約170mであった。崩壊土砂が流動化して、斜面の下方にあった住宅を押し潰し、5人の方が亡くなった。後述する2つの天然ダム堤体の内部構造と比較をするため、天然ダムは形成しなかったものの流動化したこの崩壊の堆積土層のS波速度構造を調べた（図1）。堆積土砂はS波速度が低く（~200m/s）、元地層との境界が明瞭に認められた。

田辺市の熊野地区で発生した大規模な斜面崩壊は、泥岩・砂岩互層および礫岩からなる地層において発生したものである。この崩壊により、高さ約60m、湛水容量約110

万立米の天然ダムが形成された。緊急対策工事による堤体の整形が進行した結果、堤体には数mに及ぶ大きな砂岩岩塊も散見されるが、殆どは砂層であることが、分かった。

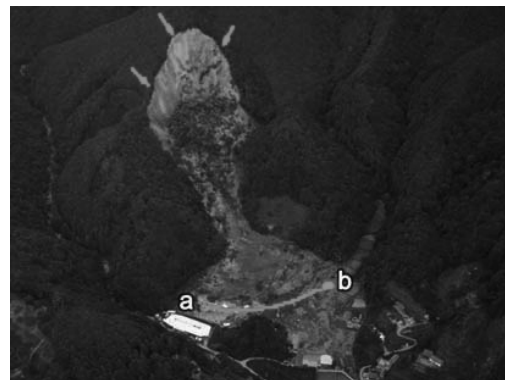


写真1 和歌山県田辺市伏菟野の土砂災害（道窪氏撮影）

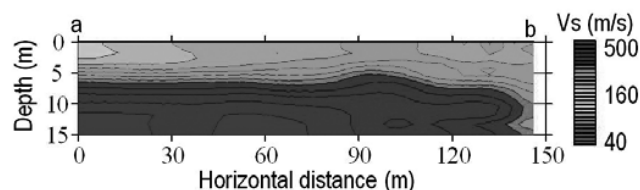


図1 伏菟野地すべりの堆積域のS波速度構造

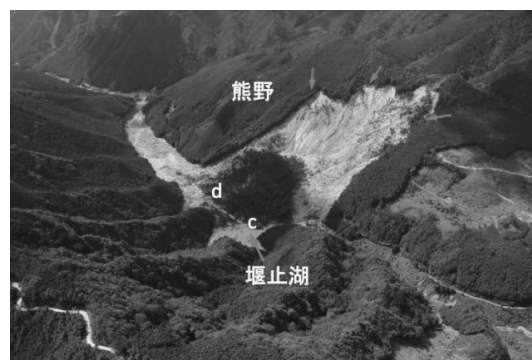


写真2 熊野地区の地すべりと堰止湖および表面波探査測線(c-d)（道窪氏撮影）

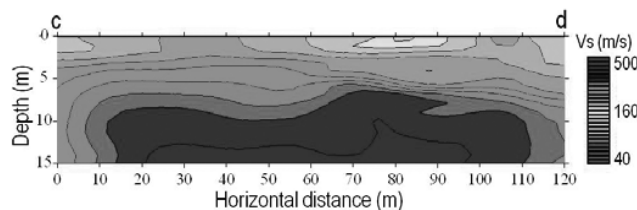


図2 熊野地区の地すべり堆積域のS波速度構造

堤体の整形途中の2月9日に、堤体上で元溪流に沿って実施した表面波探査の結果を図2に示す。約5mの厚さで疎な土層($V_s \leq 250\text{m/s}$)があることが分かる。

3. 赤谷の天然ダム

奈良県では、五條市大塔町や十津川村を中心に、十数箇所の大規模な斜面崩壊や地すべりが発生し、赤谷(写真3)や長殿など大規模な天然ダムが13箇所に形成された。特に赤谷の天然ダムは、高さが80m以上にも及び、決壊すると下流側に甚大な二次災害をもたらすことが予想された。

赤谷の斜面崩壊は混在岩の地層において層理面に沿って発生したものである。崩壊斜面の幅は約350m、長さ約920m、崩壊土砂は約900万 m^3 である。形成された天然ダムの貯水容量は約90万 m^3 で、ダム上流の流域面積は約13.8 km^2 である。

緊急対策工事により、赤谷のダム堤体は整形され、崩壊斜面の対岸側に堆積した崩壊土砂は段切されている。この段切に沿って(図3a)、3月9日にS1測線、3月18日にS2測線の表面波探査を実施した。結果を図3b~3cに示す。 V_s の低い土層が約5mあることが分かる。また、流動化してダム堤体の下流側に堆積した崩土上のS3測線においても3月19日に探査を実施した(結果は図3d)。厚さが約4~6mの土砂が疎な状態($V_s < 200\text{m/s}$)となっていることが分かる。

4. 天然ダムの安定性に関する予備的検討

世界各地で発生し、記録された天然ダムの資料を分析した Ermini and Casagli (2003)は、天然ダムの安定性を応急的に評価する指標として、Dimensionless Blockage Index ($DBI = \log(A_b \times H_d / V_d)$; A_b : 流域面積(km^2); H_d : 天然ダムの高さ(m); V_d : 天然ダムの閉塞土量(10^6m^3))を提案している。これによれば、(1) $DBI < 2.75$ の場合、天然ダムは安定、(2) $2.75 < DBI < 3.08$ の場合には、天然ダムの安定性には疑問がある、(3) $3.08 < DBI$ の場合には、天然ダムは不安定、と評価される。赤谷と熊野の場合、DBI は、それぞれ約2.1と1.1となり、両者とも全体としては安定と一応は評価できる。しかし、台風15号が通過した際に赤谷の天然ダムにおいて湛水位が徐々に上昇した後に急激に約4m低下する現象が観測された。これは、越流の発生後に、ダム堤体の一部(図3に示した堤体表層の疎な土層の一部)が急激な侵食を受けた結果であると考えられる。即ち、DBIにより安定と評価されるダム堤体においても、堤体の物性によっては、越流時に一部が侵食される現象は起きうるものと推測できる。

熊野の天然ダムにおいては、越流による侵食は発生しなかった。その原因としては、形成された堰止め湖の貯水量が少なく(約1万立米)、集水面積も極めて小さかった(約1.2 km^2)ことが挙げられる。

DBIはダム堤体の地形及び貯水池の集水面積だけにもとづいて得られる指数であり、ダム堤体の浸透性や越流発生後の侵食に関連するダム堤体の土質力学的物性が考

慮されていない。表面波探査によって比較的簡便に測定できるS波速度から地盤のせん断強度など土質力学的物性を求めることができることから、今後、DBIと表面波探査を併用し、より信頼性の高い地すべりダムの安定性評価手法の開発が可能であると考えている。

5. まとめと課題

平成23年台風12号によって発生した伏菟野、熊野及び赤谷の斜面崩壊及び天然ダムに対して現地調査と表面波探査を実施した。伏菟野の地すべり堆積物、熊野と赤谷の天然ダム堤体において得られたS波速度構造から、越流時に侵食に弱いと考えられる土層が明瞭に認められた。今後は、ダム堤体のS波速度構造に関するデータを蓄積し、崩落土砂の運動の特徴との関連を調べ精度の高い天然ダムの安定性評価手法の開発に役立てたい。

謝辞：熊野や赤谷での調査に際して、国土交通省近畿整備局のご協力を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献：Ermini, L. & Casagli, N. 2003. Earth Surface Processes and Landforms, 28(1): 31-47.

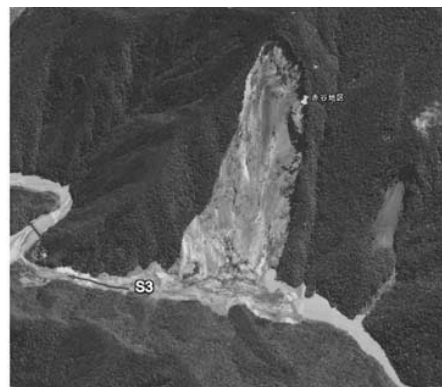


写真3 赤谷の斜面崩壊と天然ダム(Google earthより)

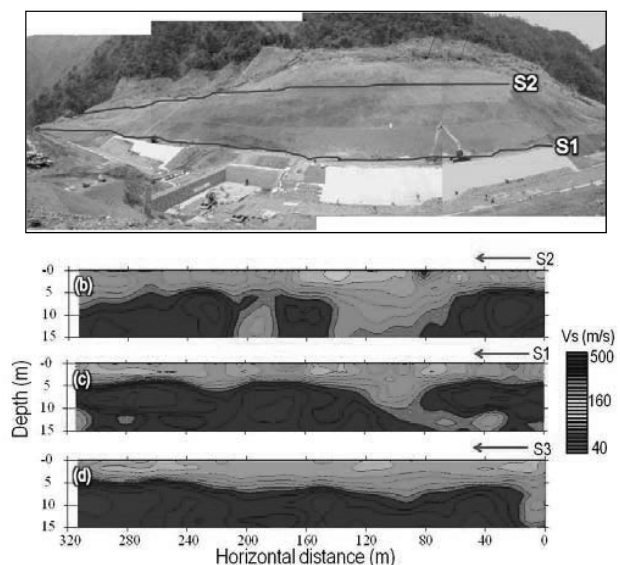


図3 赤谷天然ダム堤体および下流側堆積域の V_s 構造