

2014年広島土石流災害現場の立体視画像と まさ土の流動性，土砂流失特性評価の試み

風間基樹*・株木宏明*・山崎智哉*・森田年一**

*東北大学大学院工学研究科土木工学専攻，**群馬工業高等専門学校環境都市工学科

1. はじめに

2014年8月に発生した広島市の土石流災害¹⁾は、現場の地形・地質の特徴や土質材料であるまさ土の物性に特徴付けられるものがあると考えられる。本文では、土砂災害の直後に取得された航空レーザ測量によるDEM (LP-DEM) を用いて作成された2種の一定垂直倍率立体地形解析図、すなわち①立体斜度図及び②立体空中写真からの判読結果と、まさ土の流動特性、水流による土粒子の流出特性を評価する試みについて話題提供する。

2. LP-DEMによる立体視画像

1) 使用した立体視画像について

一定垂直倍率立体地形解析図とは、DEMで構成させた地表形状の立体視モデルに、テクスチャとして地図画像を貼付した形式を持つ立体視画像を意味している。詳細は参考文献2)を参照されたい。上述の立体斜度図及び立体空中写真のテクスチャには、それぞれDEMから作成した斜度図(格子点の地表傾斜角を白黒階調で表示した画像)及びDEM取得時の簡易オルソ空中写真が用いられている。

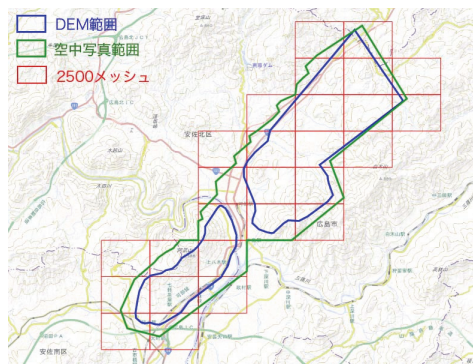


図1 DEMおよび空中写真範囲

図1は、今回用いたLP-DEM(格子点間隔0.5m)の取得範囲を示している。立体斜度図及び立体空中写真とも、距離縮尺を1:5,000、垂直倍率を1として作成されたものである。

2) 立体視画像からわかること

一例として、最も人的被害の大きかった安佐南区八木地区の斜度図および空中写真のアナグリフ画像を並列して図2に示した。また、図3は図2の北側の土石流の発生源部分を拡大して示したものである。特徴的なのは、空中写真では植生に隠されて見えない部分に、LP-DEMによる斜度図では、土砂が噴出した痕跡と見られる箇所が複数確認できる(図中の白丸で囲った部分)。地中の地下水流が保水容量を超えたことが土石流の引き金になっている可能性がある。

3. まさ土の流動性評価の試み

ドラム式の土砂流動試験装置を用いて、まさ土の流動性の評価を試みた。この試験装置は、図4の写真に示すように、半径50cm奥行き50cm円筒形のシリンダーが鉛直面内に回転するものである³⁾。円筒の周囲の底には3箇所120度毎に、土圧計・間隙水圧計が埋め込まれており、回転流動中の土砂の土圧・間隙水圧が計測できるようになっている。データは動きが定常になった時の値を読み取るが、図5のようにパルス状になる。実験では、土質材料の含水比を徐々に増やしながら変化させて流動性の違いを調べた。また、対照とする材料として仙台市泉区泉ヶ岳の麓に堆積している火山灰質砂質土(泉ヶ岳しらす)についても実験した。

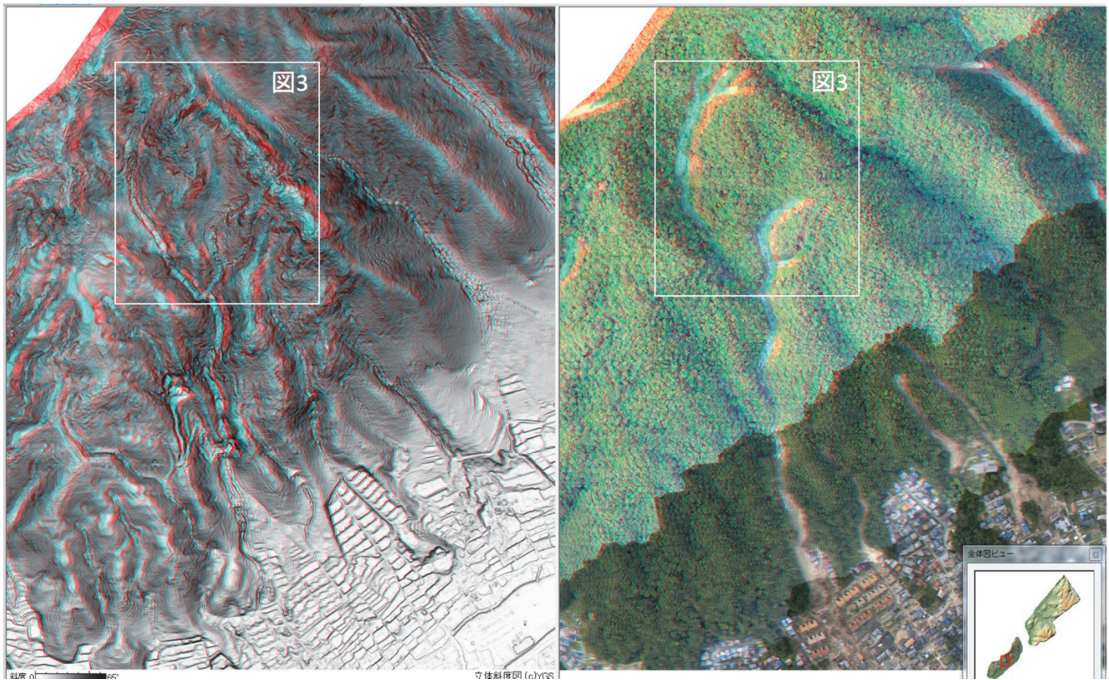


図2 広島市安佐南区土石流災害地の斜度図と空中写真のアナグリフ画像

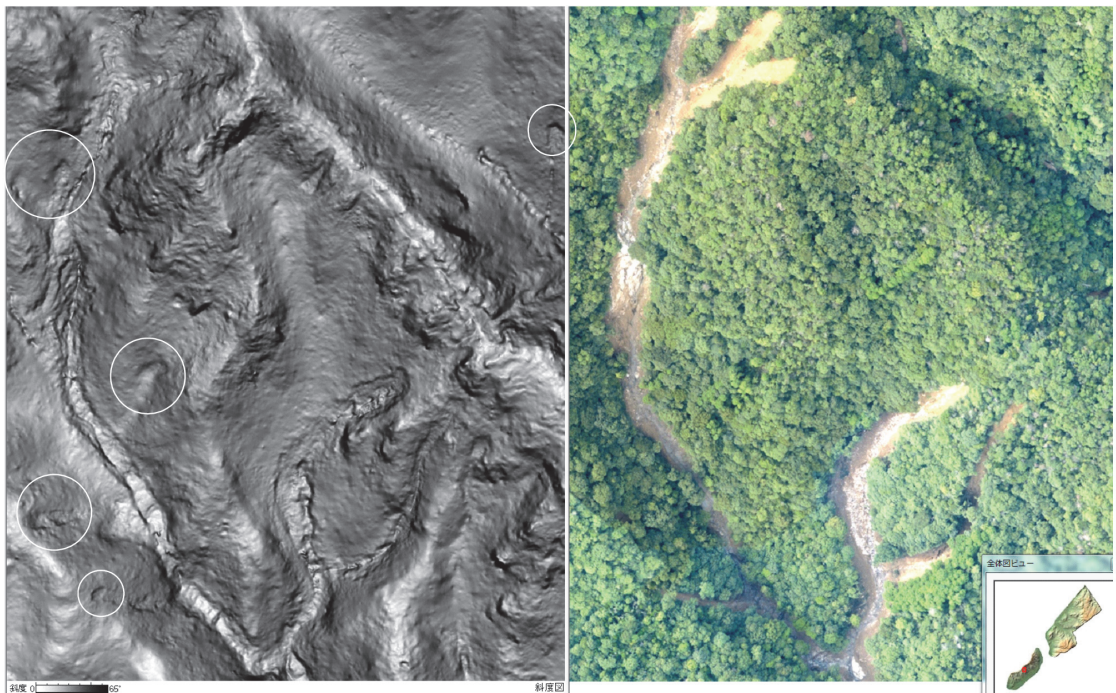


図3 広島市安佐南区土石流災害地の斜度図と空中写真（図2の北側部分の源頭部を拡大したもの）

実験から、含水比 20%において、泉ヶ岳しらすは流動性が低くドラム壁面との摩擦で試料が持ち上がったのに対し、まさ土はほぼ液性状態となった。まさ土は火山灰土に比べて低い含水比で流動性が上が

ことを示しているが、これは泉ヶ岳しらすが多孔質で水を保水しやすいため含水比が同じでも流動性が異なったためである。

図6は、含水比を変化させていった時の間隙水圧と土圧(全土圧)の変化を示したものである。まさ土は、含水比13%付近から土圧が急激に大きくなり始め、15%付近からほとんど流体的性状が変化した様子が読み取れる。間隙水圧については、まさ土が徐々に大きくなっていくのに対して、泉ヶ岳しらすは含水比が20%まで、変化が見られない。また、値も2倍ほど違っていることがわかる。

4. まさ土の土粒子流失特性評価の試み

模型土槽内に飽和地盤を作成し、土槽側面から背圧を負荷して浸透流を与えることにより、土槽内の管路開口部から土粒子を流出させる実験を行った。この状況は、降雨の浸透により管渠破損部分から土粒子が流出する状況を模擬したもので、土粒子の水流に対する流出特性を評価する試みである。

実験は、地盤材料、せん断強さ、浸透流量(動水勾配)を変化させて、流出の発生条件などを検討した。この実験で流出が発生した地盤材料に対しては、さらに浸透流量を増加させた実験を行い、管路開口部からの土粒子流出速度や単位流量当たりの土粒子流出量の変化も検討している。

1) 流出実験装置: 本実験の装置は、管路開口部を持つ模型地盤部分、拘束圧と背圧の維持・調整を行う部分、拘束圧・背圧・管路内水圧の計測を行う部分、土粒子流出量と流出水量を計測する部分からなる。図7に実験装置の概略図を示す。拘束圧と背圧の維持・調整は、上流の空気圧レギュレータの操作により行った。

模型地盤は完全飽和地盤とし、土槽内(縦200mm×横200mm×深さ238mm)に深さ235mmになるよう作製した。土槽内には管渠の破損部分を模擬した円形の開口部(Φ=5mm)を開けたシンプレックスチューブ(直径1/2インチ)を通しており、開口部から土粒子を流出させた。開口部の前後には水圧計を取り付けている。地盤作製から飽和時に管路内への流出が生じないように、初期に開口部には、砂糖を詰めた後、オブラートで包んでいる。なお、流出した土粒子は円筒形の土粒子トラップに堆積させ、その質量の時間変化を電子天秤を

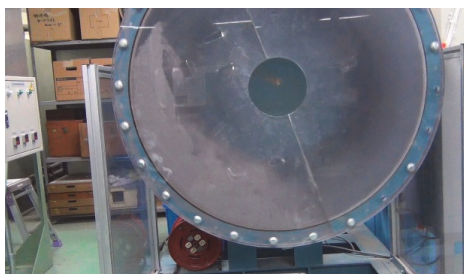


図4 ドラム式の流動試験の様子、ドラムが時計回りに回転し、土砂が左側に振りあがり定常状態となっている(泉ヶ岳しらす, 含水比20%の例)

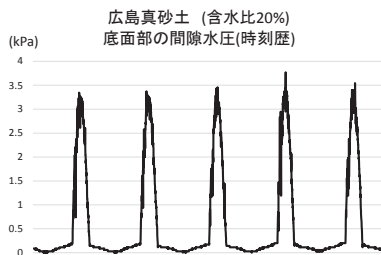


図5 間隙水圧計の時刻歴の一例

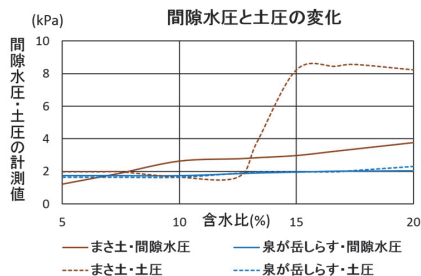


図6 まさ土と仙台泉ヶ岳しらすの試験結果

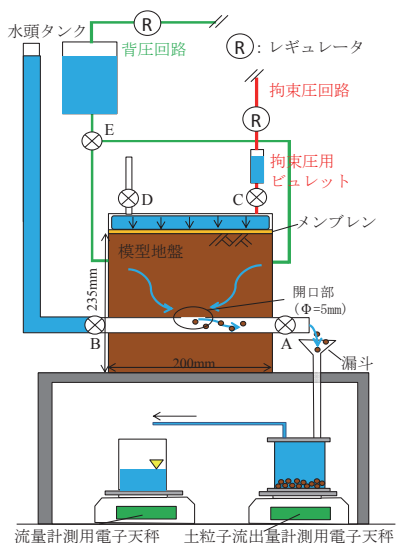


図7 土砂流失実験装置の概要

用いて計測した。さらに土粒子トラップからの排水の質量増加をもう一台の電子天秤を用いて計測し、流量を算出した。

2) 用いた地盤材料：5種類の地盤材料（珪砂5号，木戸ヶ沢堆積土，広島まさ土，大谷鉱山鉱さい，泉ヶ岳しらす）を用いた。なお，木戸ヶ沢堆積土は，鉱さいであり，土粒子の流出現象による陥没が発生した地盤材料である。これらの地盤材料の粒度分布を図8に，物理特性を表1に示す。

分級作用を受けた粒度の悪い砂質土である珪砂

5号と木戸ヶ沢堆積土は流失が発生したが，広島まさ土他の試料は流失が発生しなかった。特に，広島まさ土については，2mm 篩いを通過した試料以外に，粒度的に流失が発生した二つの土の間に来る0.85mm 篩いを通過した試料についても実験したが，両者とも土砂流失が発生しなかった。SEMで土粒子を観察した結果，流失したものは土粒子の形状が丸みを帯びており，粒子形状が大きく関与していることが示唆された。花崗岩が原位置で風化して残積している状態のまさ土や一次堆積しらす（泉ヶ岳しらす）は，土粒子間の噛みあわせがある程度出来ていれば，流失に弱くないものと推察される。

表1 実験に用いた土質材料の物理特性と実験結果（締固め度90%で供試体を作成）

項目	珪砂5号	木戸ヶ沢土	広島まさ土(2mm以下)	大谷鉱さい	泉ヶ岳しらす
土粒子密度 (g/cm ³)	2.63	2.72	2.61	2.73	2.35
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.76	1.77	1.76	1.75	1.08
最適含水比 (%)	---	15.4	12.9	16.2	33.6
透水係数 (m/s)	6.25 E-05	6.06 E-06	4.52 E-06	6.06 E-07	2.71 E-06
C' (kPa), φ' (度)	0.0, 36.7	0.0, 36.5	0.0, 35.4	10.0, 32.8	0.0, 42.0
流失発生の有無	有	有	なし	なし	なし

5. あとがき

本報告では，広島の土石流災害に関連して，LP-DEMによる立体視画像，流動性・土砂流失特性の評価の試みを紹介した。今後，さらに定量的な検討をしていきたいと考えている。

謝辞

アナグリフ画像の元となるDEMデータは，京都大学防災研究所，千木良雅弘教授の実施したレーザ撮影によるものを利用させていただきました。ここに，厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 山本晴彦・小林北斗:2014年8月20日に広島で発生した豪雨と土石流災害の特徴, 自然災害科学, JJSNDS, 33-3, pp.293-312. 2014.
- 2) 横山隆三:一定垂直倍率立体地形解析図:新しい地図画像の立体表示法, 地質調査技術のフロンティア, 特定非営利活動法人地質情報整備活用機構, pp.1-20, 平成26年10月.
- 3) 森田年一・高木聖人:液状化した土の流動性を対象とした試験装置の作製と検証実験, 第14回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.3286-3292, 2014年12月.
- 4) 稲垣和哉, 山崎智哉, 風間基樹, 河井 正, 森 友宏:破損管路部からの土粒子の流出特性に及ぼす拘束圧の影響について, 第49回地盤工学研究発表会, pp.1307-1308, 2014.

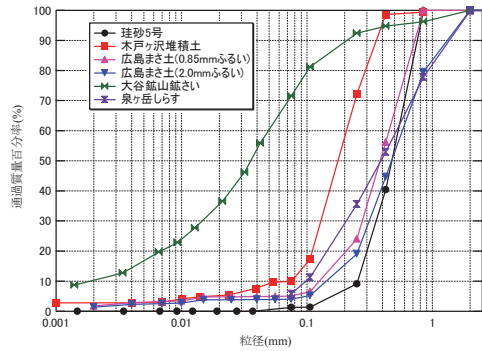


図8 用いた地盤材料の粒度分布