

砂防分野における レーザプロファイラー技術の活用について

安田 勇次 やすだ ゆうじ
 (財)砂防・地すべり技術センター
 砂防部 技術課 課長代理

1 はじめに

土砂災害による被害を最小限に抑制するために行政では、砂防基本計画を策定し、効率的、かつ計画的に砂防施設の整備を進めている。しかし、土砂災害は、必ずこれらの計画策定区域内で発生するわけではない。また土砂災害は、計画策定区域内であっても、土砂の整備が十分に行われていない箇所においても発生する。

このような箇所において土砂災害が発生した場合、被害の状況と今後起こりうる土砂移動現象による影響を早期に把握し、二次災害の防止、軽減に努めることが重要である。そのため、土砂災害が発生した流域や地域での不安定土砂の分布や、土砂堆積量を早期に把握することが、効率的な災害復旧や効果的な二次災害を防止するための対策計画策定に役立つことは言うまでもない。

一般的に、土砂災害後の不安定土砂の分布、及び土砂量を把握する手段として、現地での簡易測量及び踏査が

用いられるが、被災地周辺の道路も被害を受けている場合が多く、調査地にアクセスするのに時間を要するという問題がある。また流出した土砂は、多量の水を含んでいることが多く、そのような場所において簡易測量を行うことは容易ではない。

このような制約から、被災直後の二次災害を防止することを目的とした不安定土砂の分布、及び土砂量を把握するための調査には、ある程度の時間が必要であった。

この問題点を解消し、できるかぎり早期に、かつ一定の精度を有する新しい調査手法として、航空機やヘリコプターを用いたレーザ計測技術が、土砂災害発生後の調査に導入されるようになった。ここでは、レーザ計測技術の概要と砂防領域での適用事例を紹介する。

2 レーザ計測技術

レーザ計測は、レーザを目標物に投射し、目標物からの反射時間から距離を計測する計測手法である。

図-1 LPによる計測方法

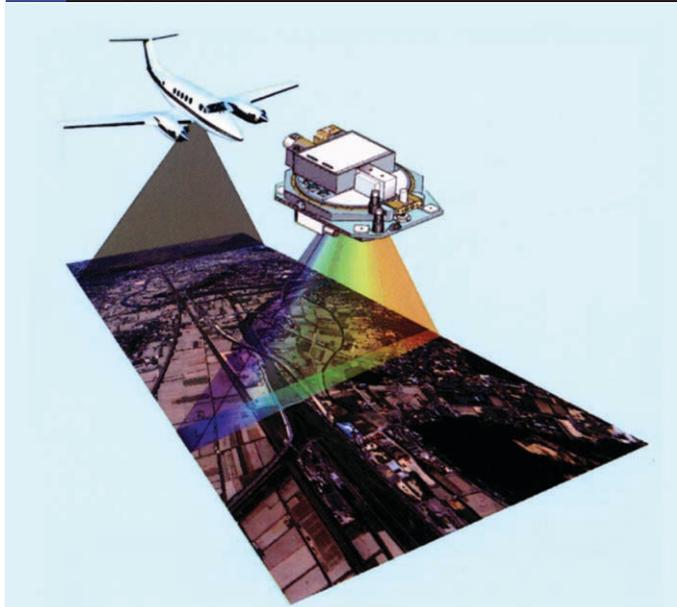


図-2 地上式レーザミラースキャナー



砂防分野においては、航空機やヘリコプターにレーザスキャナーを搭載し、空中から地表面までの距離を計測し、GPSによる位置情報と組み合わせ、三次元の地形データを作成する場合などに用いられている。また、砂防えん堤堆砂敷などの比較的小規模な計測範囲であれば、人による持ち運びが可能なレーザミラースキャナーを用い、堆砂敷内の河床変動を計測することなどに用いられている。

1……航空機(ヘリコプター)を用いたレーザ計測

航空機等を用いたレーザ計測は、一般に航空レーザプロファイラー（以降、LPと略す）と呼ばれ、パルス測距

方式のスキャン型レーザ測距装置と自己位置、及び3軸の揺れを検知する3D.G.P.S、慣性計測装置（IMU）で構成される。

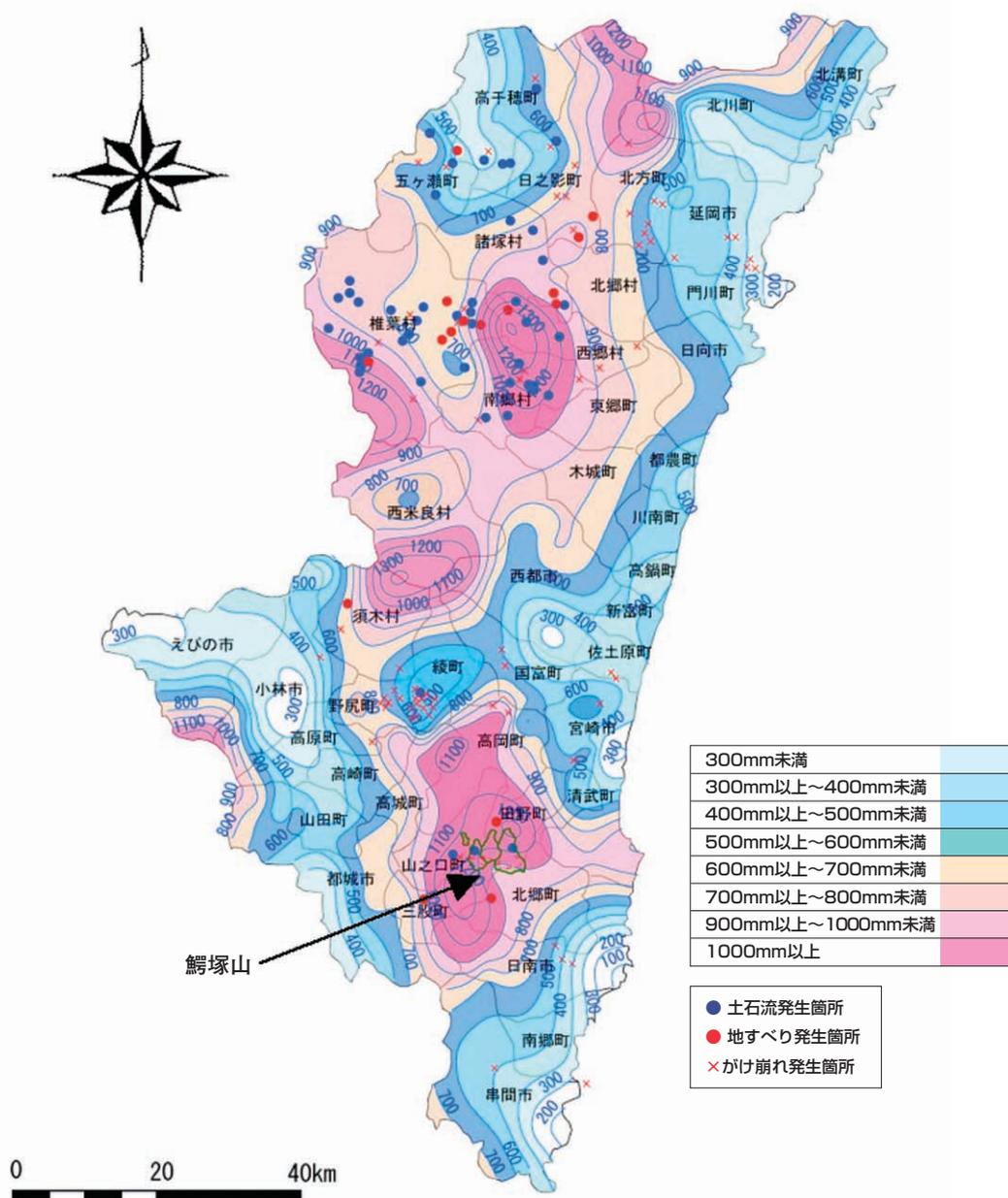
3次元の地表面データの取得方法は図-1に示すとおりで、計測精度は対地高度800mで、機械誤差は垂直15cm、水平40cm以内といわれている。

2……地上式のレーザミラースキャナーを用いた計測

地上式のレーザミラースキャナー計測は、データ取得方法はLPと同様であるが、図-2に示すように装置の持ち運びが可能な形状となっている。

そのため、立ち入りが困難な斜面や崖の地形測量やLP

図-3 宮崎県における土砂災害発生状況と連続雨量



では精度の得られない林地の測量などに適している。計測精度は10mm以内で、機器の性能によるが、計測最長距離は800m程度である。

3 計測事例

3-1 土砂災害時

1……土砂災害の概要

平成17年9月4日～6日にかけて宮崎県を来襲した台風14号は、総雨量1,000mmを越える記録的な豪雨をもたらした(図-3)。宮崎県では、139箇所土砂災害が発生し11名の尊い命が失われた。

特に鰐塚山山系周辺では、1箇所あたりの崩壊生産土砂量が500,000m³を超える大規模な斜面崩壊が発生し、公共施設がその土砂により埋没するなどの被害を受けた。写真-1は、鰐塚山山系周辺の崩壊地の状況を示したもので、解析した4流域で生産された土砂量は、6,700,000m³に達する。

写真-1に矢印で示した大規模な斜面崩壊(L=1000m、W=150m、D=20～30m)は、その崩壊土砂により「わにづか溪谷いこいの家(キャンプ場等の公共施設)」を埋没させた。

2……LPによる土砂生産・流出状況の把握

土砂災害時の土砂生産・土砂流出状況を把握するためには、土砂移動現象の前後、2時期の三次元地形データが必要となる。そこで土砂災害発生後にLPによる三次元地形データの取得が行われる。また、土砂災害発生以前の三次元地形データは、一般的に存在しないため、既存の大縮尺の地形図や過去に撮影された空中写真から作成する機会が多い。図-4に災害時の土砂生産・流出量を算出する場合の流れ図を示した。また、写真-2には、2時期の空中写真一例を示す。写真-2に示した土砂災害後の空中写真は、LPによる三次元地形データを取得する際に、デジタルカメラで撮影した画像である。

一般的には、写真-2に示したそれぞれの三次元地形データを重ね合わせ、差分を求めれば、斜面崩壊により発

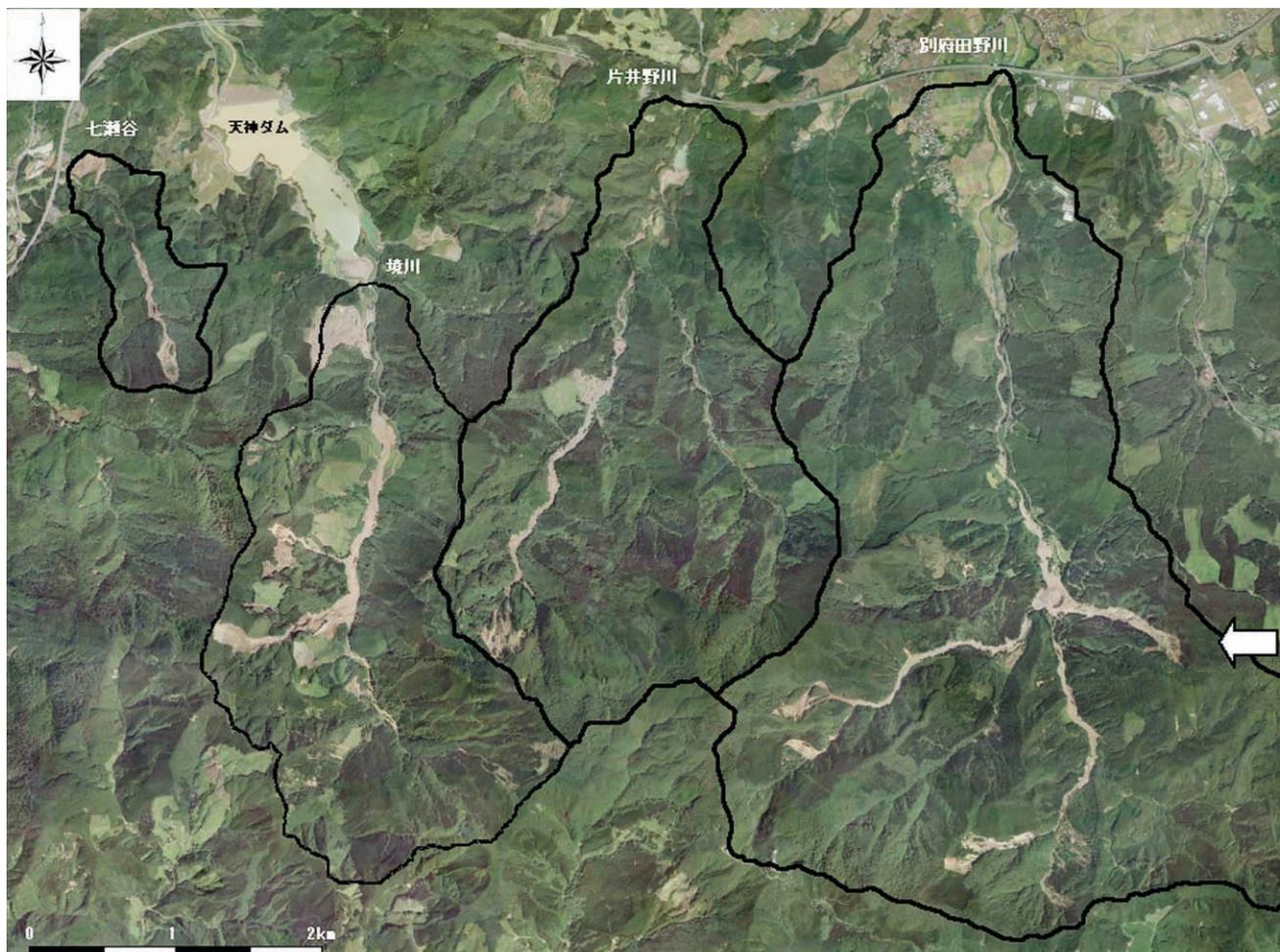


写真-1 鰐塚山山系周辺の土砂移動の状況

生した土砂量が算出される。しかし実際には、斜面崩壊を発生させる以前のデータには、樹木等の影響で地形が正確に表現されていない可能性が高く、土砂量も多めに算出される可能性がある。

LPで三次元地形データを取得する際には、ラストパルスを用いているため、樹木等の影響は比較的少ないが、裸地と植生がある境界付近では、多少の誤差を含んでいる。

3……計測誤差

①樹木などの影響

図-5は、樹木が存在する山腹斜面をLPにより計測した事例である。LPによる計測は、レーザの反射時間から距離を計測する技術であるため、樹木等が地表面に存在す

る場合、樹木の表面で反射されたデータを取得してしまうと同時に、地表面に達したレーザの反射も取得する。前者はファーストパルスと呼ばれ、後者はラストパルスである。三次元地形データは、これらデータのうち、ラストパルスのみを用いて作成する。

②侵食と堆積が発生した箇所

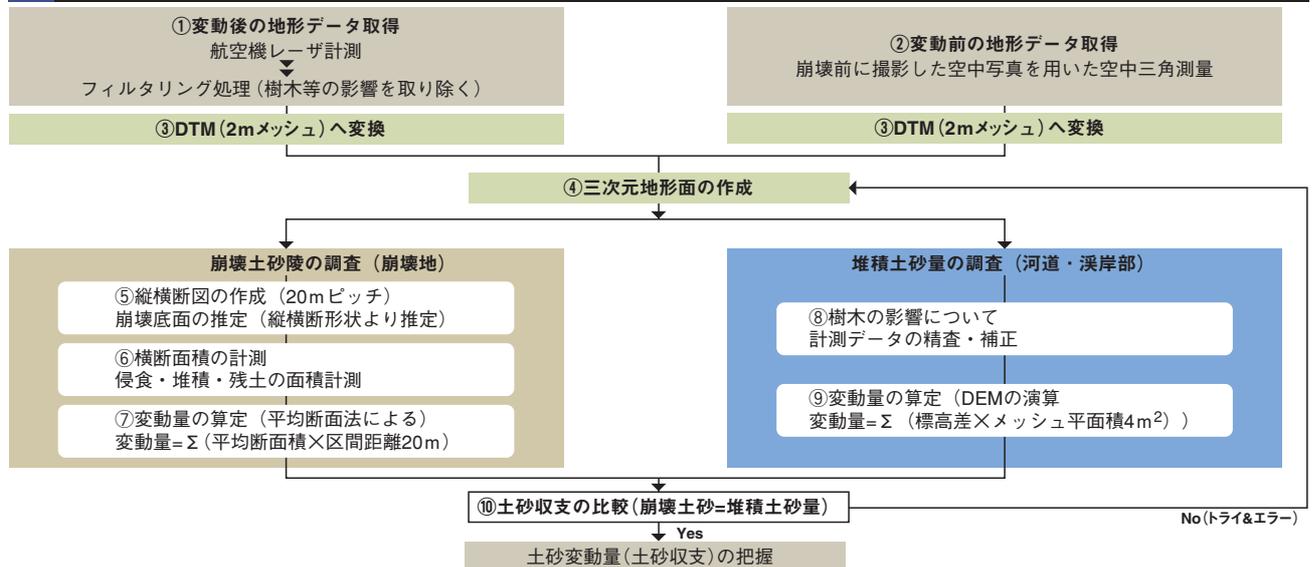
土砂災害が発生するような土砂移動現象の場合、山腹部で斜面崩壊が発生し、その崩土が土石流化し、下流河道を侵食、流下し、その後、堆積するという流れとなる。

この一連の土砂移動現象のうち、斜面崩壊による土砂生産から土石流化に至る過程において、生産された土砂の一部が、山腹斜面内に残留することがある。このよう



写真-2 土砂災害前後の空中写真 左：土砂災害前（空中写真）右：土砂災害後（LPと同時に取得）

図-4 土砂災害時のLPによる土砂変動量算出方法



な場合、LP計測による単純な2時期の地形データの重ね合わせでは、土砂量を正確に算出することはできない。また、河道部においても、一度侵食された河道に後続流が堆積するケースもある。このような場合も同じで、土砂量を正確に計測することは困難である。

3-2 侵食と堆積が発生した箇所

地上型レーザミラースキャナー（以降、LSと略す）を用いて、砂防えん堤堆砂敷内の河床変動を経時的に計測することで、堆砂敷内の土砂移動状況を把握することを目的に行った事例を紹介する。

一般的に、砂防えん堤堆砂敷内の河床変動や河道区間の河床変動は、定期的な縦横断測量により行われている。この場合、必ず同じ位置で複数回の測量を行い、その変

動による差分と上下流の断面で同様に計測されたデータから、変動量を算出することとなる。

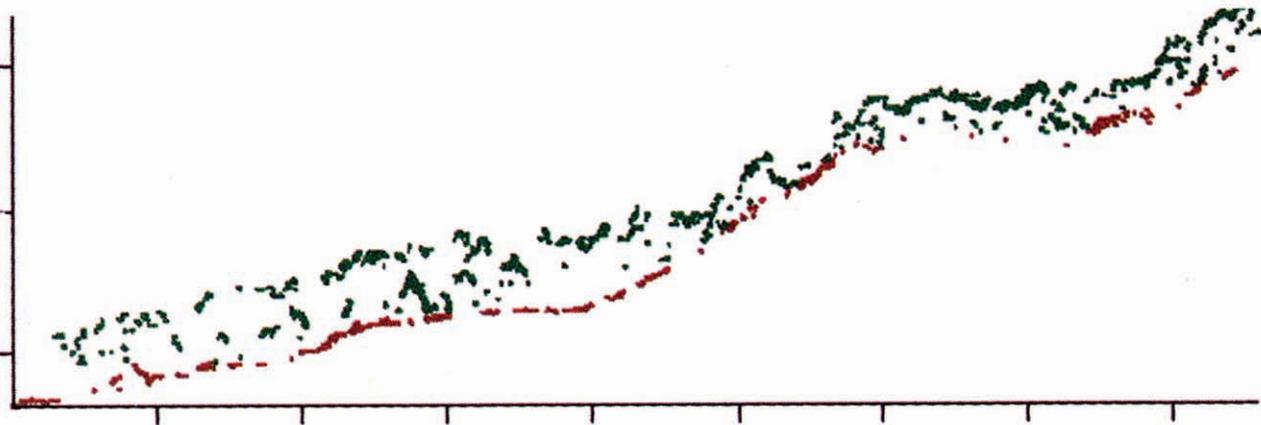
この手法は古くから行われているが、測量の時期により、基準点の位置や高さ、断面位置が微妙に異なることなどから、誤差が大きという欠点があった。

ここでは、平成16年3月から平成17年3月までの1年間に砂防えん堤堆砂敷内において、5回のLSを用いた計測を行った。

計測期間内の降雨の状況は、**図-6**に示したとおりで、総降雨量4,353mm、最大時間雨量61mm（8/7、18時）、降雨回数：75回（24時間無降雨）、平均降雨継続時間：24.5h、最長降雨期間：98h（9/23～27）であった。

計測の結果、砂防えん堤の河床変動から推定した当該

図-5 土砂災害時のLPによる土砂変動量算出



出典：図解航空レーザ測量ハンドブック

図-6 計測期間内の降雨状況

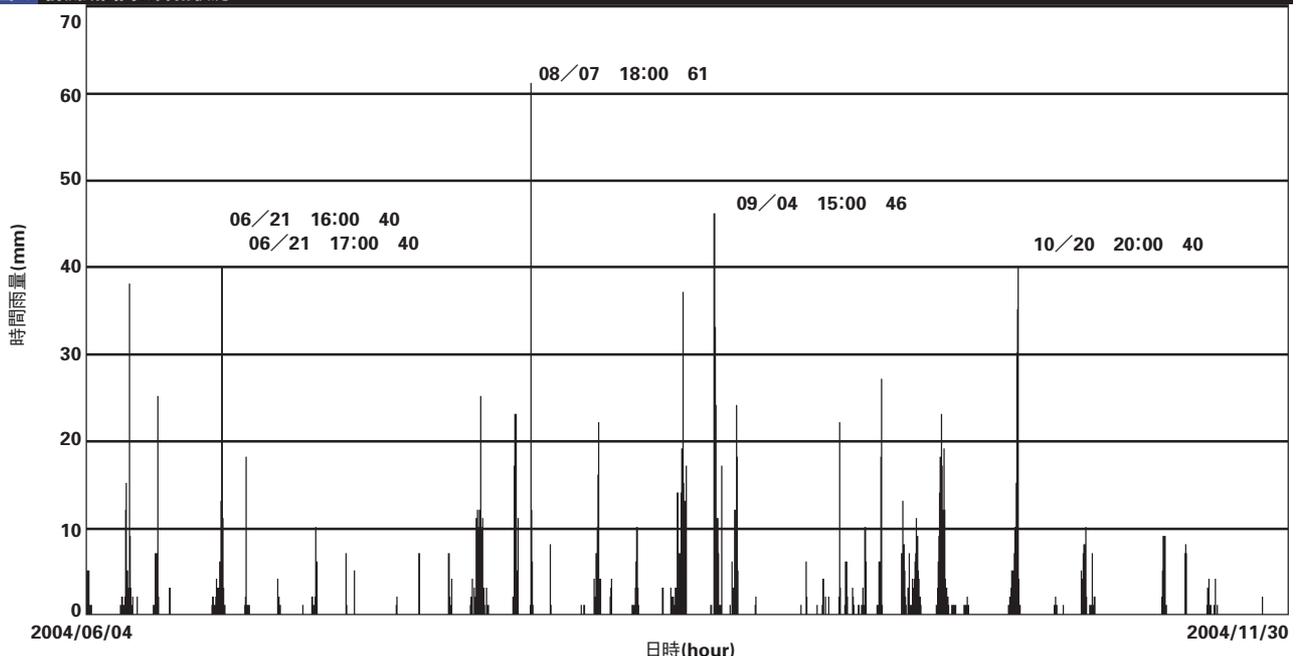
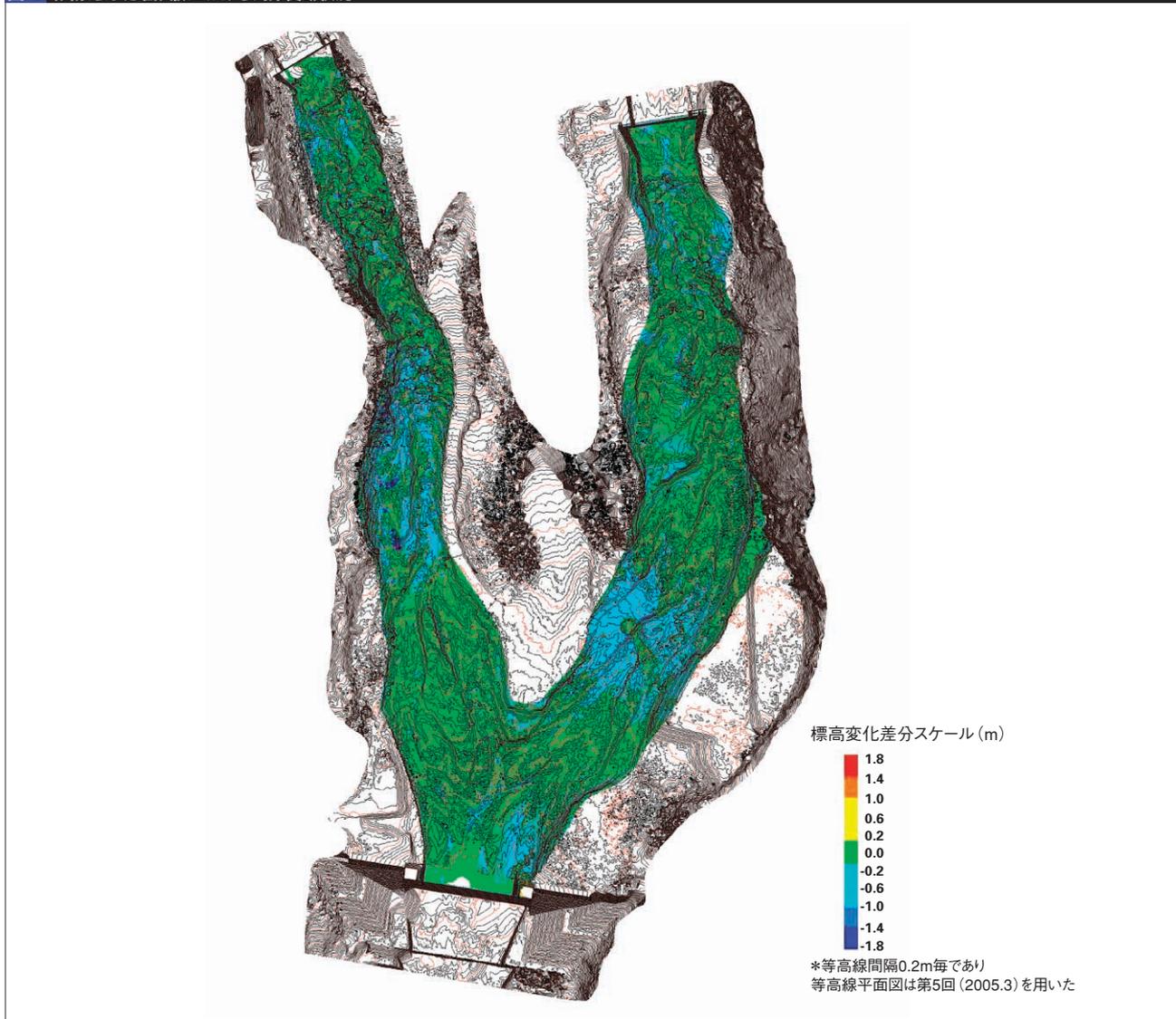


図-7 砂防えん堤堆砂敷における河床変動状況



地点からの流出土砂量は $35,900\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 程度であることが判明した。図-7にLSによる河床変動の計測事例を示す。

4 おわりに

ここでは、砂防分野で活用されているレーザープロファイラー技術の一部を紹介した。このような非接触型の計測技術は、急峻な地形や山地域で行われている砂防事業の効率化に大いに寄与する技術である。

また、これまでの断面二次元的な地形情報にくらべ、広域な範囲において三次元的な地形情報が得られるということは、地すべりや土石流などの土砂移動による地形

の変化をより詳細に分析することが可能になると考えられる。そのためには、各地で行われるLPによる計測結果等のデータベース化も必要になると考えられる。

最後に、本稿を取りまとめるにあたり、データの提供、ご助言を頂いた国際航業(株)、中日本航空(株)の関係者各位に、ここに記し謝意を表します。

★参考文献

- 鈴木浩二・岩波英二・三上幸三・東川敏・榎木敏仁(1999)：ヘリコプター計測システムによる災害調査手法について、砂防学会誌、Vol.52、No.3、p.59-62
- (財)日本測量調査技術協会(2004)：図解航空レーザー測量ハンドブック
- 宮崎県土木部砂防課(2006)：鰐塚山系土砂災害対策検討委員会報告書
- 前田昭浩・安田勇次・井川忠・原口勝則・久保毅・笠原拓造(2006)：大規模崩壊地における土砂変動量の解析(航空機搭載型レーザーキャナを用いた解析)、平成18年度砂防学会研究発表会概要集、p.286-287
- 安田勇次・近藤玲次・西川友幸・高橋正行・加藤善明・土屋智(2005)：安倍川における全流砂量観測を用いた土砂移動現象の実態把握、平成17年度砂防学会研究発表会概要集、p.324-325