

土砂災害発生時における小形無人ヘリ利活用の有効性について

札幌開発建設部 河川計画課 ○今村 仁紀
ダム事業対策官 山田 拓也
河川計画課 山崎 猛

1.はじめに

平成23年5月1日に土砂災害防止法の一部が改正され、大規模な土砂災害が発生した場合には事業実施区域に限らず、河道閉塞や天然ダム、火山噴火に伴う土石流については国、地すべりについては都道府県が緊急調査を実施することが位置付けられたことを踏まえ、札幌開発建設部では実施すべき緊急調査の対象地区を管内全域とし、迅速な対応に向け準備を進めているところである。

土砂災害の場合、交通網の寸断や二次災害の恐れもあることから事象発生直後に現場へ近づくことは容易でないことが多々あるが、一方で特に河道閉塞を起こして、天然ダム化している場合などは決壊時には下流域に対して甚大な被害を及ぼす可能性が高いことから、現地状況の把握については迅速に行う必要がある。

そのような中で札幌開発建設部が所有している小形無人ヘリコプターについて、土砂災害時に有効且つ積極的な利活用を行うにあたり、その機械的な諸条件・特性を整理し考察した。また、今年度、小形無人ヘリコプターを利用して実施した小型レーザープロファイラ（以下LP）での計測結果について紹介をするものである。

2.小形無人ヘリ導入経緯

平成12年3月に22年7ヶ月ぶりに有珠山が噴火し、大規模災害が発生した。上空からの状況把握は大規模災害時において有効であるが、当時立入制限がかかった地域では二次災害の危険性等から調査活動に支障がでたことから、このような災害対策等の調査に、より安全な場所から操作が可能な小形無人ヘリの活動が役立つものとして導入された。



写真-1

3.過去の使用事例

小形無人ヘリコプターに搭載される計測機器は、デジタルスチルカメラ、デジタルビデオカメラ、赤外線カメラなどの画像取得機器や、火山灰採取装置など、様々な用途で活用出来るものである。以下は災害時にこれらの機器を使用した事例である。

平成14年8月20日～23日	一般国道229号島牧村土砂流出
平成14年10月8日～9日	千代田堰堤濁流流出

平成 15 年 1 月 29 日	一般国道 236 号 広尾町野塚トンネル付近雪崩
平成 15 年 10 月 23 日	一般国道 236 号 浦河町月寒落石
平成 16 年 1 月 14 日～17 日	一般国道 336 号 えりも町斜面崩壊
平成 17 年 1 月 28 日	一般国道 452 号 芦別市雪崩
平成 17 年 2 月 20 日	一般国道 453 号 千歳市雪崩
平成 20 年 5 月 7 日	一般国道 231 号 増毛町落石
平成 21 年 2 月 14 日	一般国道 229 号 せたな町落石
平成 22 年 4 月 16 日	幌富バイパス法面崩壊
平成 22 年 5 月 21 日	定山溪ダム上流濁水原因調査

4. 小形無人ヘリ仕様

ここでは、小形無人ヘリの基本的な仕様を記載する。

機体型式	YAMAHA RMAX G1	
性能	最大飛行時間	80 分
	行動半径	5Km(電波障害物無し)
	最高速度	20m/秒
	温度	-10～35℃
	最大搭載質量	10kg(標高 0m 気温 20℃)
	最高高度	対地 150m
機体	全長(メイン、テールロータ)	3,630mm
	機体長	2,750mm
	全幅	1,640mm
	全高	1,220mm
	機体質量	84kg
	燃料タンク容量	10ℓ(予備タンク含む)
エンジン	形式	水冷 2 サイクル水平対向
	排気量	246cc
	最大出力/最大トルク	14KW(20PS)/21Nm(2.2kgm)
制御装置	GPS	リアルタイムキネマティック
	慣性航法センサー	<ul style="list-style-type: none"> ・加速度センサー ・光ファイバージャイロ ・磁気方位センサー
無線装置	データ無線装置(2.4GHz)	<ul style="list-style-type: none"> ・制御データ(機体自動操縦、カメラ制御) ・機体データ(機体情報)
	手動操縦用無線装置(73MHz)	制御データ
	映像無線装置(2.4GHz)	画像データ
操縦用映像装置	操縦用映像 CCDカメラ	前方、後方計 2 台 25 万画素

	画像4分割装置	操縦用3台と調査用1台の画像を圧縮し、1画像に集約する。
	ジンバル付き駆動CCDカメラ	光学 10 倍ズーム 有効画素数 768 (H) × 494 (V)
調査用映像装置	調査用CCDカメラ	光学 12 倍ズーム 38 万画素
	調査用赤外線カメラ	下方 1 台 サーモグラフィー 6万画素

5.小形無人ヘリ飛行制約条件

小形無人ヘリは機動力に優れ、様々な機器を搭載出来るプラットフォームとして活用出来る物だが、飛行するにあたり安全に支障をきたさないよう運用する必要がある。運用基準は日本産業用無人航空機協会『産業用無人航空機安全基準「回転翼機・無人地帯用」』を遵守するものである。以下は制約される条件とその対応についてまとめた表である。

制約条件	対応
目視内飛行	目視外飛行は自律制御航法装置が必要。
遠隔操作基地局から半径 5.0km、上空 150m 未満の範囲のフライトが原則。 (対地高度 150m以上は航空法第99条の 2 に従って運用することになる。)	飛行範囲が広域の場合は、事前に複数の基地局を選定する。(上空視界 45° 以上を確保)
離発着場の基地ヤードを最低、半径 20m確保する。(自主基準)	事前に現地調査を行なう。 操作車両が設営出来ない緊急時は、ヘリ操作に必要な装備を車両から離脱し、マンパワーや有人ヘリによる搬送が可能である。
・航空法で定められる産業用無人ヘリコプターの飛行禁止空域。 1) 航空交通管制圏または情報圏 2) 高度変更禁止空域 3) 航空交通管制区域の特別管制空域 ・市街地及びその周辺 ・高速道路、鉄道の上空 ・高圧線や受発電施設などの上空	航空法での飛行禁止空域で模型航空機を飛行させるのは国土交通省令により国土交通大臣に通報しなければならない。
計測機器積載量は 10kg 以内。	複数機器による同時計測が効率的ではあるが、現在は単器計測で対処。
飛行時間最大 80 分。	机上での3次元フライトシミュレータによりロスの無い最適な飛行計画を実施。
気象条件が悪い場合は飛行出来ない。 ・降雨、降雪時 ・気温が-10℃以下 ・地上での風速が 7m/s以上(自主基準)	飛行計画時に長期気象情報の収集と飛行時における適切な現地判断。

6.小形無人ヘリ利活用に関する考察

大規模な土砂災害が発生した場合は、緊急調査を実施し、被害が想定される区域・時期の情報を市町村へ通知するとともに、住民へ周知しなければならないが、有人ヘリや調査員では困難である場合には小形無人ヘリを活用することが有効であると考えられる。そこで、小形無人ヘリはどのようなところが優れているか考察した。

優れた部分

- ・航空法での飛行制限の制約を受けない。⇒飛行計画が容易。(一部航空管制域を除く)
- ・低空域での調査⇒有人ヘリの最低高度(航空法:人又は家屋のない地域で地上又は物件から150m以上)以下の調査が可能。
- ・調査対象地区での容易な離発着⇒半径20mの基地ヤードで可能。(操作車両等除く)
- ・積載計測機器の手続きが容易⇒有人ヘリの場合、機体改造となり、その都度国土交通大臣(ペイロード内であれば)の認可が必要。
- ・調査対象物への接近が可能⇒詳細な現地確認が可能。
- ・作業員の安全性が高い⇒遠隔操作による調査。
- ・火山灰調査時の機体損傷率が低い⇒エンジン用エアフィルター付き。有人ヘリのガスタービンには粉塵防止のフィルターが付いていない。

初動時間(現地到達時間)や広域な調査では、高高度、高速度で移動が可能な有人ヘリコプター等が優位である。しかし低空飛行が可能な小形無人ヘリは、至近距離からの映像及び画像取得等に関しては、詳細な情報が取得出来るほか、遠隔操作のため作業員の安全性の確保が容易であるというメリットがある。

広域の崩壊地域に関して長期的に危険度を判定する材料として、有人ヘリ等による高高度からのLPを使用する方法が、土木研究所「地すべり地における航空レーザー測量データ解析マニュアル(案)」で現在確立されている。しかし、既に災害が発生しているなど局地的で緊急性が高い土砂災害の危険度を判断・評価するひとつの方法として、小形無人ヘリによるLP計測は有効であると考えられる。そこで今回、小形無人ヘリの利活用方法のひとつとして、実際に現地でLP計測を行った事例を紹介する。

7.小形無人ヘリ利活用例としてLPデータ計測状況紹介

1)小形無人ヘリによるLPデータの特徴

小形無人ヘリに搭載可能なLP機器SkEyesBox MP-1は低空で対象物に照射できるため、フットプリントが小さく、微地形を捕らえることが出来る。

これは、フットプリントの直径程度の小さな亀裂や歪んだ地形を察知できることを意味するもので、詳細な調査には有効である。

Hitoki Imamura, Takuya Yamada, Takeshi Yamazaki

LP 機器の位置及び標高における相対精度はGPSとIMU(慣性計測装置)に依存するが、計測データから解析を行なうオリジナルデータ、グラウンドデータは取得する点群の密度が多いほど精度が良いものとなる。

点群の密度は飛行速度や飛行高度、レーザーの発射本数、ミラーの回転速度など様々な要因により変化する(図-1 参照)が、平均的な計測として表-2 に表した。

表-1 フットプリント径

ビーム幅	3mrad
照射距離 50m のフットプリント直径	15cm

表-2 LP 比較表

	SkEyesBox	一般的有人ヘリ
対地高度	50m	300m
飛行速度	15km/h	100km/h
レーザー照射数	12,000 発/秒	80,000 発/秒
レーザー点密度	0.15m間隔程度	0.60m間隔程度

2) LP データ計測状況

今回のフィールドは層雲峡の国道 39 号沿い(写真-2)とニセイチャロマップ川右岸域の 2 箇所である。国道 39 号線沿いが 2 コース、ニセイチャロマップ川右岸域は 1 コース取得している。また GPS の電子基準点は上川を使用した。対地高度は 50m 程度、飛行速度は 5km/h、計測時間は 1 コース 0.5~1 時間程度である。なお、当日の上川地点(気象庁)における最大瞬間風速は 8.5m と小形無人ヘリの飛行可能範囲を超えており、強風時は地上で待機するなど状況を確認しつつ計測を行った。計測は針葉広葉混合林が繁茂している状況下で行なったが、レーザー光の特性であるファースト、ラストパルスを取得することで地表面を解析するのが可能になる。(図-3 参照)

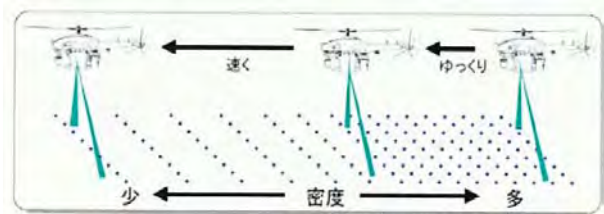


図-1 点密度と高度・速度の関係イメージ図

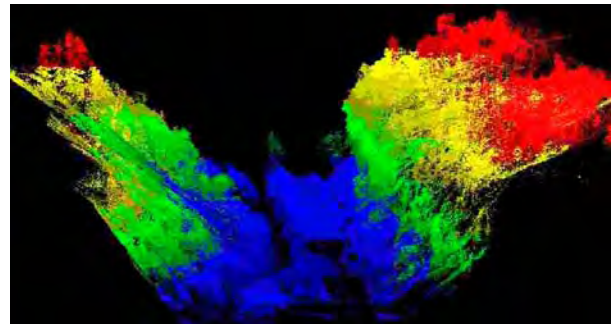


図-2 計測データ鳥瞰(標高段彩)

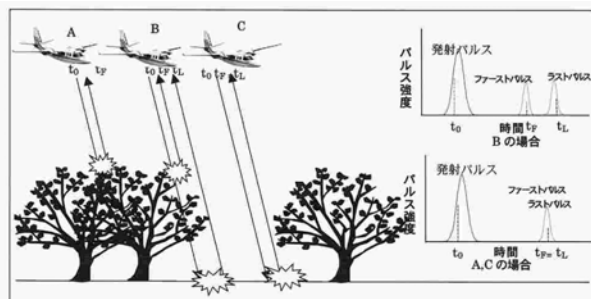


図-3 パルスの時間差



写真-2 計測フィールド(国道 39 号)

3) LP データ変換

取得した計測データからグラウンド（地表面）データ、グリッドデータ（1 m×1 m）への変換と、等高線データを作成した。右図はそれぞれのデータを面的に表現したものだが、レーザー光が、樹木が繁茂した状態でも地表面に到達しているのが分かる。

（図-5 参照）

グリッドデータはグラウンドデータから標高値内層補間法で変換したものである。また、等高線データは微地形を表現させるべくグラウンドデータから直接、作成したものである。

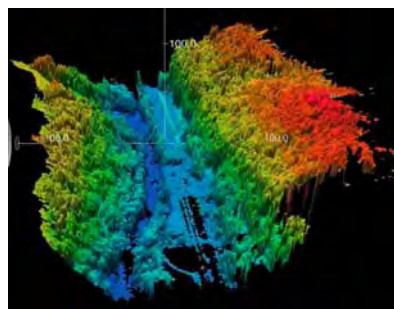


図-4 計測データ

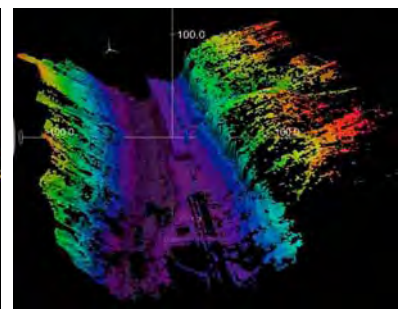


図-5 グラウンドデータ

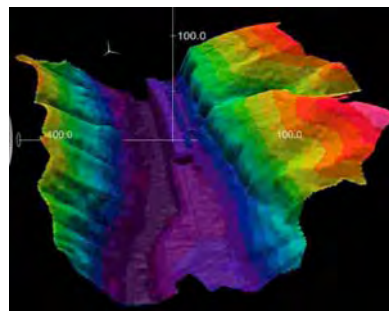


図-6 グリッドデータ

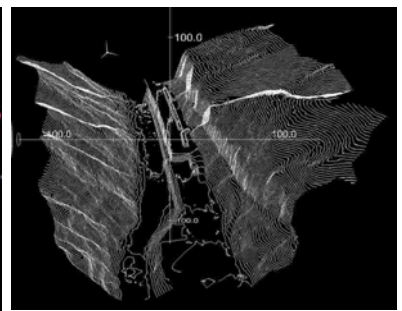


図-7 等高線データ

8.おわりに

今回、小形無人ヘリの特性を活かし駐車帯の一角という限られた空間を離発着場として低空域からの調査により詳細なデータを取得できた。これにより、局所的な範囲における LP データ取得についての小形無人ヘリの有効性が示されたものとする。

大規模土砂災害時における緊急調査、特に初動期では有人ヘリから GPS やレーザー距離計を用いて天然ダム の位置、規模を計測することが想定されるが、小形無人ヘリによる計測が可能な条件が整っている場合には、より詳細な地形データの取得が可能である小形無人ヘリによる LP 計測の活用もひとつの手段であると考えられる。

小形無人ヘリは、災害時対応を目的として導入された機器であるが、ここでは災害時以外にも活躍できる場を考えてみる。

- 1) 崩壊地復旧工事、砂防施設工事、港湾工事、河川構造物工事などの比較的大きな建造物の工程管理における定点撮影。
- 2) 赤外線カメラ(サーモグラフィー:遠赤外線)によるダム構造物やコンクリート法面などの劣化調査。
- 3) 国営総合農地防災事業のうち、LP による地盤沈下の監視。

これらで活用するには、気象状況や安全確保、計測方法等の諸条件における制約を考慮する必要があるが、条件下であるならば良い調査資料を取得できるものと考えている。