Trial inspection of landslide prevention facilities (stormwater channels) using UAV-based aerial photography

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-03-30 キーワード (Ja): キーワード (En): unmanned aerial vehicle (UAV), drone, Hosoo Yokone, Chiba Prefecture, Ortho image, buried channel 作成者: 紺野, 道昭, 吉迫, 宏, 井上, 敬資, 正田, 大輔, 中里, 裕臣, 原田, 耕平 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001152

〔農研機構報告 農村工学部門 3
43 ～ 60, 2019〕

UAV 空撮画像を用いた地すべり防止施設（水路工）の点検の試み

紺野道昭*　吉迫　宏*　井上敬資*　正田大輔*　中里裕臣**　原田耕平***

*施設工学研究領域地域防災ユニット
**地域資源工学研究領域地下水資源ユニット
***株式会社アスコ大東

要　旨

本報告は，地すべり防止施設点検の現地作業の効率化・省力化を目的として，千葉県房総半島の地すべり地である細尾横根地区において，小型 UAV を用いた空撮画像を利用して水路工の機能診断を試みたものである。現地作業の効率化・省力化に関しては，飛行時間は短時間であったが，準備等に時間を要し通常の点検より短時間とは言えなかった。点検精度に関しては，平均高度 50m・地上解像度 20mm の画像により，水路が埋没する等の明らかな変状や数 cm 程度までのコンクリート構造物のずれが点検可能であった。しかし，植物の下，地下部，日陰については，点検が不可能，或いは点検しにくかった。それらを点検する技術の開発が今後必要と考えられる。

キーワード：無人航空機（UAV），ドローン，千葉県細尾横根地区，オルソ画像，閉塞・埋没

1　緒　言

地すべり等災害対応，地すべり地形の把握や変位量観測，土地改良施設等の点検等について，最近では UAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人航空機）が利用されている。また，そのための技術開発も進められているところである。

地すべり災害対応については，長井ら（2006）をはじめとして，災害発生時の状況確認に UAV が広く利用されてきた。最近では，例えば 2018 年 5 月に福島県喜多方市揚津地区で発生した地すべりに対して，日本地すべり学会東北支部（2018a）は，5 月 31 日に現地調査を行った際に UAV を用いて空撮し，その画像を 6 月 11 日にオンラインで報告した（日本地すべり学会東北支部，2018b）。さらに，日本地すべり学会東北支部（2018c）は 6 月 9 日に再度同地区の撮影を行い，5 月 31 日撮影画像との比較から，1.1m～2.9m の水平変位量を算出する等，小型・軽量な UAV の特性を生かした迅速な災害調査が行われている。また，農林水産省（2018）から出された「農地等斜面災害調査手引き」においても，災害調査時の UAV の利用が示されている。また，地すべり防止区域ではないが，正田ら（2017）は，流域の斜面崩壊により被害を受けたため池において，UAV 空撮画像を用いて流入土砂量を算出している。

地すべり地形の把握や変位量の観測に関しても，UAV 空撮画像を利用した SfM（Structure from Motion）技術及び MVS（Multi View Stereo）技術を利用した研究が行われているところである。地すべり地形の把握に関しては，例えば佐藤ら（2015）により UAV 空撮画像から立体モデルを作成し，崩壊地，地すべり地，森林樹木の枯れ等の地形の特徴の把握が試みられている。地すべり変位量の数値化については，佐々木・山村（2015）による宮城県下の荒砥沢地すべり地における災害発生直後の 2008 年に有人飛行機で実施した 2 回の航空レーザー測量結果と 2014 年に UAV を用いて撮影した写真から作成した立体モデルの比較が行われている。対象とした変位量は数 m～数 10m 規模で粗いものの，大きな変位は地すべり発生直後の 2008 に主に発生していることを明らかにした。当面の災害には至らず変状が目視しにくい変位量でも，複数回の飛行を行えば原理的には測定が可能である。早坂ら（2015）によれば，水平 4～5cm，鉛直 8～12cm の精度での簡易地形測量が可能とされている。これを上回る変位があった地すべりであれば，検出できると考えられている。地すべり現場への適用は，藤原ら（2018）などにより試みられているところである。

土地改良施設等の点検については，UAV を利用した点検手法が国際航業株式会社ら（2017）によって提案されている。点検精度は，開水路及び海岸堤防の点検について，ひび割れ調査では 1mm 以下，不陸調査では 5mm が標準的な目標とされている。また，河川の点検においても，荒木ら（2017）により，UAV 空撮画像及び画像より作成した立体モデルによる点検が試行されている。

以上のように，UAV は地すべり等の災害発生時の調査や

土地改良施設の機能点検に使用されることが増えてきている。このため，水路等土地改良施設と共通する構造を持つ工種も含まれている地すべり防止施設の点検においても，UAV が利用できる部分もあると考えられる。

地すべり防止施設の機能診断は，UAV 利用に限らずとも，これまであまり行われてこなかった。しかし，最近になってその重要性が認識されている。地すべり防止施設についても他の農業用施設と同様に長寿命化計画を策定することとされ，農林水産省（2017a）により，そのための手引きが公表されている。また，地すべり防止施設の機能診断方法についても，農林水産省（2017b）により手引きが公表され，既往資料による基本情報調査，施設周辺の概略目視による日常管理，近接目視を主とした概査，定量的な測定等による詳細調査の各段階において，工種別に標準的な方法が提案されている。これらのうち，施設周辺の概略目視により施設の異常，経時変化（老朽化），明らかな危険状態の把握を行うことを目的とする日常管理については，UAV で空中から作業することにより，点検の現地作業を効率化・省力化できる可能性がある。また，UAV を用いて数 10m 上空から撮影したとしても，明らかな危険状態の把握が目的であれば，土地改良施設等で現在行われている程度の精度（国際航業株式会社ら，2017）でも十分に点検できると考えられる。このため本報告では，地すべり防止施設の中でも地上や空中から観察できる部分が多い水路工を対象として，UAV による機能点検を試行した。

2　調査方法

2.1　調査地区

調査地区は，千葉県鋸南町に位置する農村振興局所管地すべり防止区域「細尾横根」地区とした。地区の位置を **Fig. 1** に示す。図中の地すべり防止施設の位置は，2015 年度に千葉県が調査し作成した施設管理図のものである。今回の飛行は，指定地の中から，**Fig. 1** に示す「現場 1」及び「現場 2」において行った。

本地区の指定年は 1994（平成 6）年である。区域内に現存する地すべり防止施設の施工年度は 1992（平成 4）年度～2008（平成 20）年度である。本報告の対象とした水路工の施工年度は，現場 1 で 2007（平成 19）年度，現場 2 で 2001（平成 13）～2002（平成 14）年度である。

既存資料により把握される地すべり対策施設は，床止工，承水路工，排水路工，明暗渠工，暗渠工及び擁壁工である。本報告では，これらのうち，明暗渠工の地上部（明渠部）を点検試行の対象とした。これを本報告では「水路工」と記載している。なお，他の床止工，排水路工及び承水路工については，今後地区全体を網羅すれば視界が確保される範囲で空中からでも点検できると考えられる。ただし，明暗渠工の暗渠部及び暗渠工については，地上からは見えないため UAV では点検できない。

指定面積は全体で 304.38ha である。うち，現場 1 の撮影範囲は，東西距離 194m，南北 152m，面積 2.9ha である。現場 2 では東西 142m，南北 102m，面積 1.4ha である。

指定区域内の標高は約 80m～約 250m, 高低差約 170m である。仮に地区全体を同一水平面での 1 回の飛行で網羅しようとすると，許可が必要な対地高度 150m を超える。ただし，今回の飛行調査対象とした範囲は，現場 1 で標高 90～120m，高低差 40m，現場 2 で標高 110～150m，高低差 40m であり，それぞれ 1 回の飛行で容易に全面積をカバーできると考えられた。

現場 1，現場 2 ともに，現地には棚田状の地形が残されているが，現在稲作は行われておらず，花卉（スイセン等）の栽培が行われている。夏期には草に覆われるが，冬期には草が枯れ，地形や地すべり防止施設の位置は確認しやすい。

気候は，冬期でも晴天日が多く気温が氷点下となることや強風日が少なく，降雨，降雪，積雪の日も少ないため，調査に適していると考えられた。

なお，現地は，飛行に事前許可が必要な人口集中地区（DID 地区）ではない。

2.2　調査日・飛行時間

飛行時期は，植物の繁茂も少なく，晴天が連続することが予想される冬期を選んだ。

飛行日は，2018 年 2 月 15 日とした。翌日を予備日としていたが，飛行は当日で全て終了した。当日の天候は曇り及び晴れであった。風速・気温の面でも当日持ち込んだ UAV の飛行・撮影は可能であった。

当日は，午前，午後ともに，現場 1，現場 2 及びその周辺で複数回の飛行を試行した。本報告で観察を行った写真の撮影に要した時間は，離着陸を含めても現場 1 で 5 分程度，現場 2 で 10 分程度であった。

なお，当初の飛行予定日は 1 月 25 日，予備日 1 月 26 日であった。しかし，直前に降雪があり，現場が積雪に覆われて撮影に支障があるおそれがあったため，延期した。以上のように，実際に飛行した日数は 1 日であったが，飛行を前提として調整していた日は結果的に 4 日間を要した。その他，前年 12 月 14 日に UAV を持たずに下見を行った。また，3 月 16 日，22 日に撮影範囲の現地踏査を行った。以上のように，飛行・撮影時間そのものは短いものであったが，下見，当日のパイロットとの打合せ，予備日を含めると 5 日を要しており，今回の試行では省力化と言える作業能率は発揮できなかった。他地区での事例を見ると，佐藤ら（2015）の場合，8~20ha の 3 地区の撮影にそれぞれ 1 日，佐々木・山村（2015）の場合，120ha の撮影に 2 日間を要している。撮影の能率は日は現場条件により大きく異なり，現段階では平均的な値を示すのが難しいと考えられる。特に，飛行そのものよりも，準備時間等が問題になると考えられる。

省力化が期待できるのは，離発着場所も含めた飛行計画が準備できている同地区 2 回目以降の点検に限られると考えられる。その場合の平均的な時間効率を知るためには今後複数の地区で繰り返し点検を試行する必要がある。

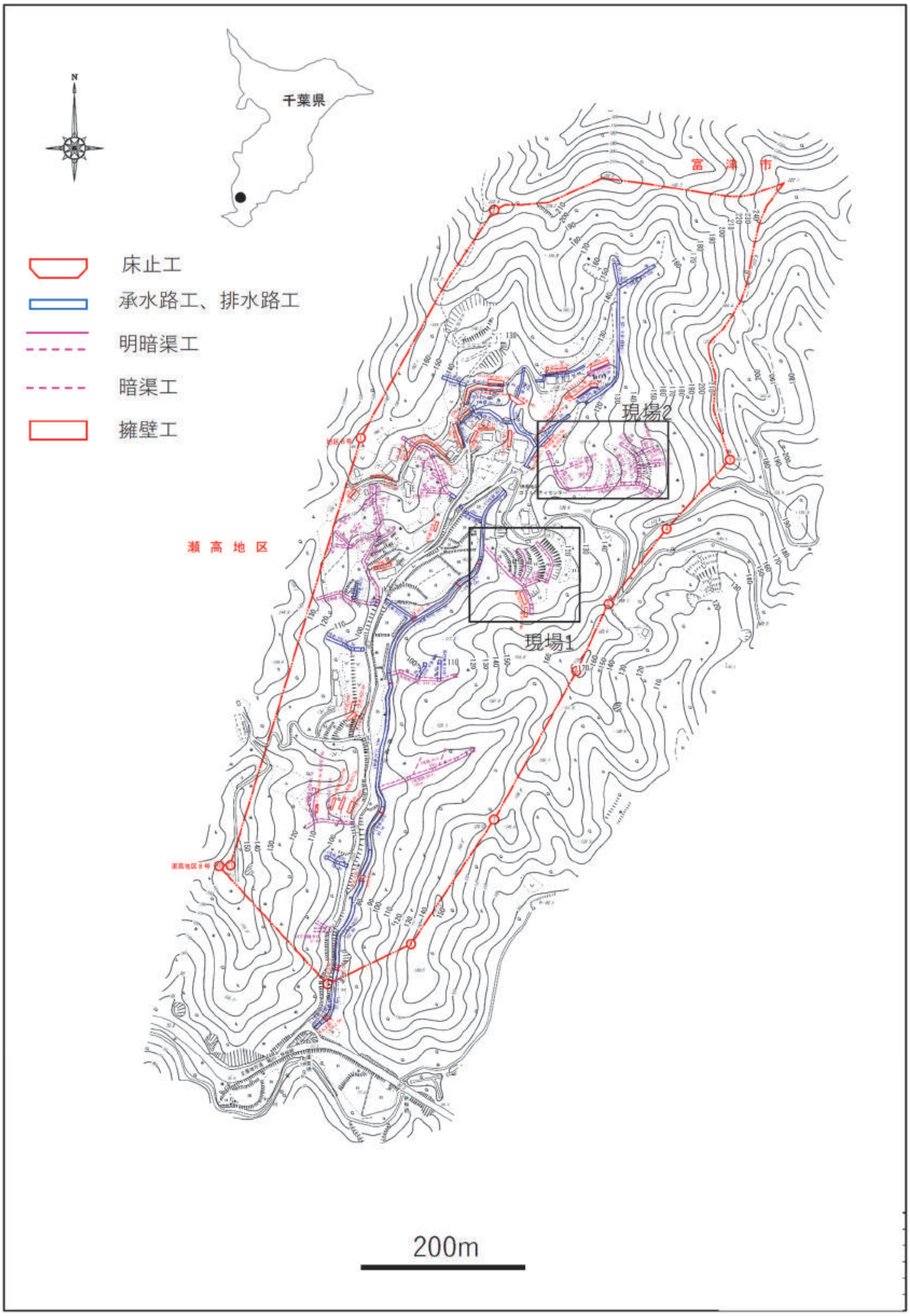

Fig. 1　調査位置図
Survey area

2.3 調査に用いたUAV

調査に用いたUAVの主な仕様を **Table 1** に示す。

機種はDJI社のPhantom 4で，撮影日に日本国内で入手可能であった機種の1つである。Phantomシリーズは，野外での空撮に用いるUAVとしては比較的安価に入手でき，土木施設の点検や災害対応によく用いられている。例えば，佐々木・山村（2015）が地すべり地の空撮にPhantom2を，永吉ほか（2017）が河川の空撮にPhantom3 Professionalを用いている。また，国際航業ほか（2017）でも，Phantom2及びPhantom4が土地改良施設等の点検に用いる機種の候補として例示されている。現在（2018年12月18日）に販売されている最新型はPhantom 4 Pro V2.0で，若干のカメラ性能向上（5,472×3,648pixels）等がなされている。

機体のバッテリを含む飛行重量は1,380g，対角寸法は350mmである。予備バッテリ等の周辺機器を含めても，小型乗用車1台でも現場まで運搬でき，現場内では離着陸地区地点まで1名での徒歩で運搬できる。最大速度は20m/s，最大対地風圧抵抗は10m/sである。強風でなければ屋外でも飛行が可能である。動作環境温度は0℃～40℃である。今回調査を行った房総半島においては，昼間であれば冬期でも調査が可能な日が多い。ただし，防水は考慮されていないため，雨天や降雪日には飛行できない。機体にはGPSが搭載されており，安定した飛行が行える。また，地図上で位置を指定しての自動飛行も可能である。搭載されているカメラの解像度は4,000×3,000画素である。カメラの視野角は94°で，1枚の写真の撮影範囲（長辺の長さ）は対地高度とほぼ同じである。仮に対地高度50mで撮影された写真の地上解像度は，約2cm/pixelである。また，カメラにはジンバルが搭載されており，正面のほか斜め前方や真下の撮影が可能である。

地すべり防止施設の日常管理点検を想定した場合，UAVに求められる性能は，運用面，能力面で次のものが必要であると考えられる。多少の風が吹いても野外で無理なく運用できること。中山間地域で容易に運搬できるように小型・軽量であること。繰り返し点検の効率化・省力化のために自動飛行が行えること。地表面の点検であるため，真下が撮影できること。日常管理点検における変状を発見するために数cm規模の変状を見つけられる画像解像度を持つこと。今回用いた機種では，これらすべてを満たしていると考えられた。

2.4 調査内容

2.4.1 UAV飛行・撮影

現場1及び現場2の個々の写真の撮影地点と撮影範囲の重複数を **Fig. 2** に示す。

現場1においては，地すべりブロックを網羅的に撮影し，その中に点検水路を含める方法を試行した。撮影方法は，等間隔で機械的に撮影できる自動プログラムを中心とした。撮影時刻は，曇天だった午前中と，晴天となった午後に，同一箇所で同一枚数の撮影を行い，天候による点検のしやすさの差異を確認した。自動飛行における画像の重複度は，国土地理院（2016）を目安として，同一コース内の隣接空中写真との重複度が80%，隣接コースの空中写真との重複度が60%となるようにプログラミングした。自動飛行による撮影枚数は1回のプログラムで54枚である。写真の重複度は，撮影範囲の端を除いて，ほぼ全域で複数確保できた。また，**Fig. 3** に示す9箇所に地上基準点を設置しトータルステーションにより相対的位置を測定し，モデル化の際の評定点とした。誤差の推定値は±5cm以下であった。ただし，地すべり防止施設の概略点検に高精度での位置の把握は必要ないため，公共基準点を起点とした測量は行っていない。このため，本報告での位置情報はUAVのGPSによるものと，それに加えて現場1では現場内の相対的な位置関係を地上から確認したものである。

Table 1 UAVの主な仕様
UAV specifications

機種名	DJI社　Phantom4
重量	1,380g
対角寸法	350mm
最大速度	20m/s
最大風圧抵抗	10m/s
動作環境温度	0～40℃
GPSモード	GPS/GLONASS
カメラ解像度	4,000×3,000pixels
カメラ視野角	94°

現場2においては，点検の対象となる水路の直上を中心に撮影する方法を試行した。手動飛行によりパイロットが撮影画面を見ながら水路上空をなぞるように飛行し，斜面下部の離着陸地点から機体が目視できていることに留意しながら調査範囲を概ね網羅できるように撮影した。撮影枚数は50枚である。写真の重複度は，撮影範囲の端を除いて，ほぼ全域で複数確保できた。

現場1，2ともに，飛行高度は原則として離着陸場所から30m以上とした。理由は，現場の内の立木や周辺の森林の樹木との衝突防止の観点から，樹木の高さより十分に高い高度を飛行することとしたためである。

撮影は，UAVに付属のカメラで，パンフォーカス，露出自動で行った。

飛行等の作業は，当日9時に開始し昼食休憩を含めて14時頃に終了した。この間，実飛行作業に加えて，パイロットとの飛行範囲・高度等の打ち合わせ，評定点の測量，自動飛行プログラム作成も行った。

また，飛行作業は本報告で扱った内容に加えて，今回調査範囲周辺の飛行，動画の記録，斜め方向からの撮影等も試行した。本報告では，まとまった情報が得られた現場1の自動飛行・撮影と，現場2の手動飛行・撮影の結果について記載する。

2.4.2 室内解析

撮影した写真は，Agisoft社製のソフトウェアPhotoScan Professionalを用い，立体モデル及びオルソ画像を作成し

た。解析に用いた PC の CPU はインテル® Core™ i7-4790（プロセッサー・ベース動作周波数 3.60 GHz，ターボ・ブースト利用時の最大周波数 4.00 GHz，4 コア，8 スレッド）である。処理時間は現場 1,2 ともに 30 分程度であり，業務上の大きな負担とはならなかった。

現場 1 におけるオルソ画像の解像度は 21.6 mm/pixel で，モデル化範囲は東西 194m（8,960pixels），南北 152m（7,025 pixels），面積約 2.9ha であった。現場では，解像度 13.9 mm/pixel，モデル化範囲は東西 142m（10,246 pixels），南北 102m（7341 pixels），面積約 1.4ha であった。

水路工の点検試行は，オルソ画像に写っている水路周辺を目視観察することにより行った。点検の目標精度は，施設周辺の概略目視による「日常管理（巡視）（農林水産省，2017b）」程度を目安として施設の明らかな変状の有無を確認した。

画像の確認は，より劣化が少なく継ぎ目もないオリジナル画像で行うのが最も確実と考えられる。しかし，重複が多い全ての写真を確認するのは作業量が多くなる。このため，点検省力化を目的としている本報告では，1 枚の画像で重複しないで点検できるオルソ画像を利用した。

具体的な作業内容は，PC 画面上に表示したオルソ画像を目視点検し，異常箇所について，その部分の区間長を測定するとともに画像をキャプチャし，変状内容のメモとともに別途保存するものであった。作業時間は，現場 1，現場 2 とも半日程度は必要と考えられ，現地調査の写真を整理することに比べて短いとは言えないと考えらえる。

また，既存資料や地表踏査も含めると，使用するデータが多種にわたり，これらの整理方法の省力化・効率化も今後必要と考えられる。今回扱ったデータは，対策工平面図（pdf : 原図は CAD で作成されたものと思われる），対策工一覧表（pdf），UAV 撮影写真（jpg），オルソ画像（PhotoScan または変換した jpg 等の画像），立体モデル（PhotoScan），UAV 撮影動画（mp4），地表撮影写真（jpg），野帳（紙），GPS ログ（テキスト）等がある。これらのデータの形式や質（写真撮影方向等）が多岐にわたるため，一元化して扱えていないのが現状である。今後，第三者にも容易に理解可能なデータの整理方法，散逸しにくい一元化した保存方法を確立する必要があると考えられる。

2.4.3　地表踏査

現地調査は，現場 1 及び 2 の水路沿いに徒歩で行った。

踏査では，既存の対策工平面図（**Fig. 1**）及び UAV で撮影したオルソ画像を参考に水路沿いを歩き，目視により施設の異常箇所の概略を点検し，水路工の遠景，異常箇所等の写真を撮影した。

点検には，対策工平面図に緯度経度を入力したものと **2.4.2** で作成したオルソ画像を保存した GPS 機能付きスマートフォン及びタブレット端末を持参し，現在位置を確認しながら調査を行った。また，踏査時には携帯 GPS ロガーを持参し，調査者の位置を記録した。写真撮影は GPS 機能付きカメラで行った。しかし，理由はわからないが当日の GPS の精度が悪く，写真等に記録された位置が実感と異なるものが多く見られた。本報告では実感を優先して撮影位置を記載している。

調査に要した時間は，現場 1 で 1 時間 30 分程度，現場 2 で 1 時間程度であった。

3　調査結果

UAV 空撮画像により撮影した現場 1 及び現場 2 のオルソ画像を **Photo 1** 及び **Photo 2** にそれぞれ示す。また現場 1 及び現場 2 のオルソ画像に点検箇所を記載したものを **Fig. 4** 及び **Fig. 5** にそれぞれ示す。詳細については **3.1** 以下で述べる。

3.1　撮影精度

撮影された画像の対地高度は，現場 1 で 29〜66m，平均 51m，現場 2 で 23〜50m，平均 33m であった。画像解像度は現場 1 で 11〜26mm/pixel，平均 20mm mm/pixel，現場 2 で 9〜19mm/pixel，平均 13mm/pixel であった。同一のフラ

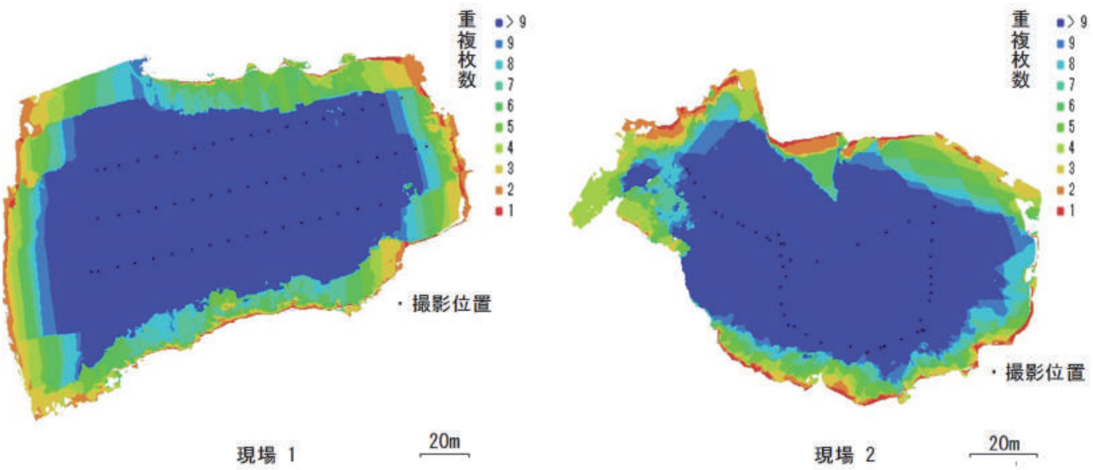

Fig. 2　撮影位置図及び重複率
Camera location and photo overlap

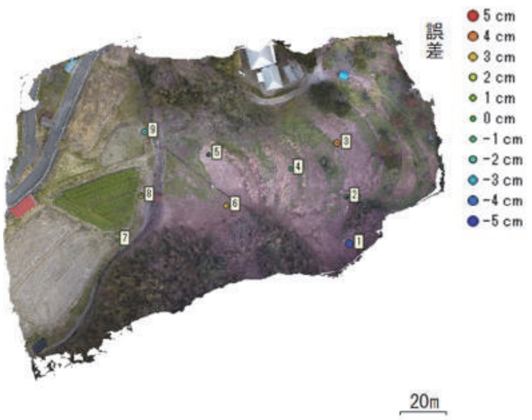

Fig. 3　地上基準点位置図
Map of ground control points

イトで写真ごとに対地高度に差が生じる理由は，現場が傾斜地であるのに対して，撮影方法が，自動では離着陸地点に対する比高で指定した水平面，手動でも離着陸地点から一定の高度を目安に行われたためである。対地高度は一定であることがより望ましい。しかし，自動飛行プログラミングに今回用いたDJI 社製のソフトウェアGS Pro (Ground Station Pro)の場合，自動飛行中に撮影高度を変更するには撮影地点ごとに高度を設定しなければならず，作業が煩雑である。手動で飛行を行う際も，パイロットによる高度な技術判断が必要で，傾斜地において目視で撮影地点との比高を一定に保つのは相当難しいと考えられる。

現場1に設置した対空標識（地上基準点）のUAV 空撮画像について，画像処理過程別に **Photo 3** に示す。左の写真はUAV で撮影・保存されたオリジナル画像（jpg）である。中央の写真は，モデル化しやすい方向に向きを変え，立体モデルから受け持ち部分を決定して全体をまとめたオルソ画像である。右の写真は，GPS 付き携帯端末で現場に持ち込むために，オルソ画像をgeotiff で出力したものをフォトレタッチソフトでBMP に変換し，真北が上となるよう向きを変えて保存したものである。

今回の点検試行は中央のオルソ画像を PhotoScan Professional の操作画面で直接見ながら行った。

当然ながら，オリジナル画像が最も鮮明で，画像の加工・保存を繰り返すと，画像の鮮明さが失われ，ピクセル境界が曖昧になった。画像を加工する場合は，精度の劣化に注意が必要である。なお今回は，いずれの画像も施設の明らかな変状の有無を点検するには十分なものであった。

3.2　点検可能だった事象

本項では，UAV 空撮画像で点検が可能だった事象について例示する。

3.2.1　異常なし

異常が見られず健全であった部分について，現場 1 の **Fig. 4**　(1)部分の写真を **Photo 4** に例示する。

UAV 空撮画像では，U 字溝上部に大きなずれがないことが確認できる。底部については周辺よりも暗くなっているため，全体が黒く見える。また，光沢により濡れていることは確認できる。踏査で確認できる底部の目地と表面の骨材の模様はUAV 画像では見えない。

3.2.2　水路の閉塞・埋没

異常箇所である水路の埋没について，現場 1 の **Fig. 4** (11)部分の写真を **Photo 5** 及び **Photo 6** に例示する。**Photo 5** 埋没区間の全景に近いもの，**Photo 6** は健全部と埋没区間の境界である。この箇所は，水路工が13m にわたって土砂で埋没し，完全に閉塞している。埋没状況は，UAV 画像，踏査ともに容易に確認できる。

写真中の黒い直線は，オルソ画像の継ぎ目である（以下，他の写真についても同様である）。色合いの違いが感じられるものもあるが，画像のずれや大きさの違い等の違和感は少ない。

3.2.3　集水升蓋のずれ

集水升蓋のずれについて，現場1の **Fig. 4**　(2)部分の写真を **Photo 7** に例示する。

この箇所は，集水升天蓋のコンクリート板のうちの1枚が幅 3～4cm 程度ずれている（写真中の赤丸）。このずれは，UAV 画像，踏査ともに容易に確認できる。ここに例示するように，仮に数cm 程度の目地の開きやひび割れがあった場合，UAV 画像でも容易に確認できると考えられる。なお，今回の蓋のずれは，水路工の機能に直接支障はないものであったため，全体の点検結果としては，異常なしとした。

3.3　必要な解像度

平均高度に近い対地高度で撮影された写真を選び，フォトレタッチソフトで解像度を粗くしたものを **Photo 8** 及び **Photo 9** に示す。この写真は現場1において，飛行高度平均51m，画像解像度平均20mm/pixel であった。この写真を加工し，疑似的に 40mm/pixel（飛行高度 100m 相当），60mm/pixel（飛行高度 150m 相当）と解像度を粗くしたものである。

水路本体の埋没に着目した **Photo 8** では，解像度にかかわらず埋没範囲が明瞭に確認できた。

これに対して，集水升蓋の 2～3cm の開きに着目した **Photo 9** では，解像度20mm/pixel（飛行高度50m）ではっきり確認できる開きが，40mm/pixel（飛行高度100m 相当），60mm/pixel（飛行高度 150m 相当）と解像度が粗くなるにしたがって，見えにくくなっている。

画像解像度は当然高い方が望ましいが，水路埋没等の明らかに大きな変状のスクリーニングのみを目的として，飛行高度を上げ解像度を粗くしても広範囲を撮影する運用方法も考えられる。

なお，ここでの検討は，解像度 20mm/pixel（飛行高度50m）で撮影した写真を機械的に粗くしたものなので，実際の撮影においては，ピント，ブレ，自動露出補正の影響

等で，見え方が異なる可能性がある。このため，今後実際の現場で飛行高度を変えて試行する必要がある。

3.4　点検が難しかった事象

前項のとおり，UAV 空撮画像でも点検できた点は多い。しかし，UAV 空撮画像では点検できなかった，或いは難しかった事象も多い。それらを以下に例示する。

3.4.1　植生の下

植生の直下になると，UAV 空撮では点検が難しくなる。現場 1 の **Fig. 4**　(4)部分の写真を **Photo 10** に例示する。

この箇所は，水路工の路線約 40m にわたって地すべりブロック側部の森林の縁と重なっており，UAV 画像では全く見ることができない。ただし，地上から接近する場合も，藪になっており，数 cm の亀裂等の詳しい変状の有無を確認するには，鎌や刈り払い機での植物の除去が必要である。今回は日常点検を想定し，遠望できる範囲で異常なしと判断した。

3.4.2　地下部

水路本体でも，暗渠部や横断溝などの地下部については，UAV 画像では点検できない。現場 1 の **Fig. 4**　(8)部分の写真を **Photo 11** に例示する。

この箇所では，水路に蓋がされて道路を横断している。踏査時に接近すると，点検が可能である。また，現場 1 の水路工は明暗渠工であるが，現地では踏査でも暗渠部の出口は見ることができなかった。暗渠の出口は集水桝内部にあると思われ，点検のためには，集水升の蓋を外す等の作業が必要になると考えられる。

3.4.3　水路の底部

水路の底部が影になり点検しにくいことは **3.2.1** でも述べたが，具体例について，現場 2 の **Fig. 5**(5)地点を **Photo 12** に示す。

この箇所には，水路底部に幅 2cm 程度の目地の開きが現地踏査で確認された。しかし，UAV 画像では，水路底部の画像のコントラストが不足していて全体が黒色に見え，目地の開きは全く見ることができなかった。

なお，調査の試行としては，周辺が概ね健全で，開きは 1 箇所のみであったことから，周辺の区間も含めて「異常なし」とした。

3.4.4　晴天時の日向と日陰

調査日の午前中は曇天で全体を同様な明るさで撮影することができたが，午後は晴天で，日向と日陰が生じた。本報告では基本的に午前中の写真を用いて点検を試行している。晴天時に撮影した現場 1 の **Fig. 4**　(11)地点周辺の UAV 画像を **Photo 13** に例示する。

写真全体として，日向（写真中の「A」地点など）は明るく，日陰（写真中の「B」地点など）は暗く撮影され，見にくいものとなっている。特に，もともと見にくかった水路の底部は日向，日陰ともに，**3.2.1** や **3.4.3** で紹介した状態よりも，さらに見にくくなっている。一応，注意深く観察すれば，**3.2.2** で紹介した水路埋没範囲のような大きな変状は，点検することができる（写真中の「C」地点など)。

撮影は曇りの状態で行うのが理想である。しかし，担当者の日程調整や雨天時に飛行できなくなるリスクを考えると，曇りの日だけに限定した飛行計画は現実的には難しいと考えられる。撮影時の露出調整や，撮影画像のコントラストの処理を行う等，晴天時の写真の運用を前提として，より点検しやすい画像を得る手法も検討する必要があると考えられる。

3.4.5　撮影計画の範囲外

現場 1 においては，地すべりブロック内のほぼ全ての施設を撮影範囲に含めることができたが，現場 2 においては，地すべり頭部を中心に，施工延長 469.8m のうち 170.0m が撮影範囲に入らなかった。現場 1 においては，地図上で自動飛行の撮影範囲を決めたのに対して，現場 2 では，斜面下部の離発着地点から機体が確認できる範囲において手動で飛行させモニタで水路を追跡しながら撮影したため，全体を網羅しにくかったと考えられる。現地で施設を探しながら点検するのは難しく，基本的には事前に調査範囲を決めて自動飛行をプログラミングした上で点検するのが望ましいと考えられる。ただし，自動飛行を行う場合にも，既存の地形図等に反映されていない立木との衝突や視野外への飛び出しに留意したコースのプログラミングや，飛行中の機体の目視確認が特に必要と考えられる。

3.5　点検率

これまでに具体例を示してきた現場 1 及び現場 2 の全区間の点検結果概要を **Table 2** 及び **Table 3** にそれぞれ示す。

現場 1 で UAV で点検できたのは，施工延長 232.9m のうちのうち約 172.4m であった。UAV 点検できた割合（点検率）は全長の 74%であった。現場 2 においては，全区間約 469.8m のうち点検できたのは約 221.0m で，点検率は 47% であった。現場 2 での撮影範囲外を除いたとしても，今回の撮影では点検できなかった範囲も多く，これらの箇所についても点検できる方法を今後開発する必要があると考えられる。

3.6　立体モデルの活用

本報告においては，オルソ画像による平面画像での施設の点検が主目的ではあるが，それに加えて，**2.4.2** の室内解析の過程で，PhotoScan Professional を用いて立体モデルを作成した。現場 1 で水路が埋没している(11)周辺の立体モデルに地形的な解釈を加筆したものを **Photo 14** に示す。

この場所の場合，水路埋没が生じた原因が地形から，以下のように考えられる。まず，A の湿潤域が素因としてあり，B の小崩壊が発生，C の水路埋没が発生した。その水路埋没により D の水路外への流出と E の浸食が発生した。D の流出を原因として，F の小崩壊により G の水路埋没が

発生した。この埋没を原因としてHの流出が発生し，Iの浸食・小崩壊に至っていると考えられる。

地表踏査中に撮影した同じ場所の写真を **Photo 15** に示す。踏査では，埋没の始点，終点，全景を記録するように留意した。地表からの写真記録だけでも水路が埋没している事実は確認できるが，水路埋没箇所前文のA～Gまでの浸食・崩壊の過程まで考察するのは難しいと考えられる。

施設の点検だけであれば，必ずしも立体モデルは必要ではない。しかし，オルソ画像作成の過程で解析上作成できるものでもある。立体モデルを作成し，地形を俯瞰することにより，踏査を行った本人以外の第三者でも地形の特徴を把握できる資料が保存できると考えられる。

ただし，**2.4.2** に書いたように，扱うデータの種類が増えて整理が煩雑になる面もあり，元データや整理過程のデータも含めて全体のデータの整理方法については，今後検討が必要である。

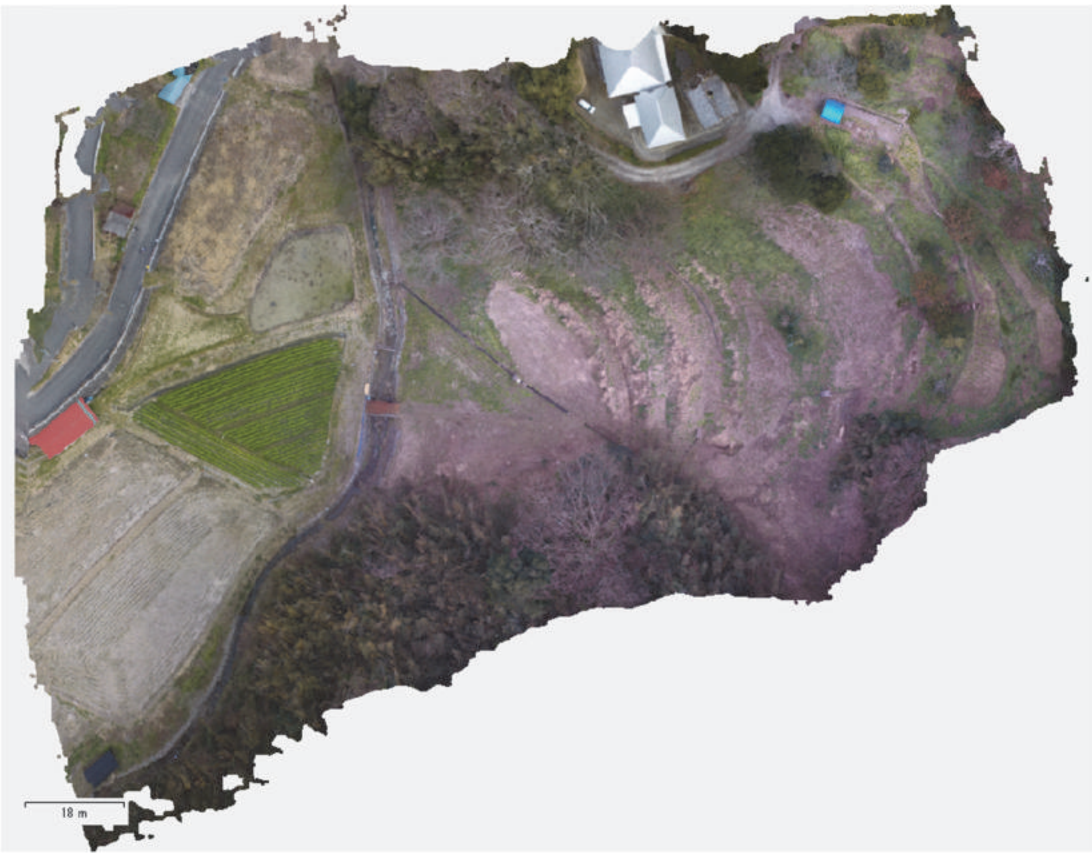

Photo 1　現場1のオルソ画像
Orthophoto at site 1

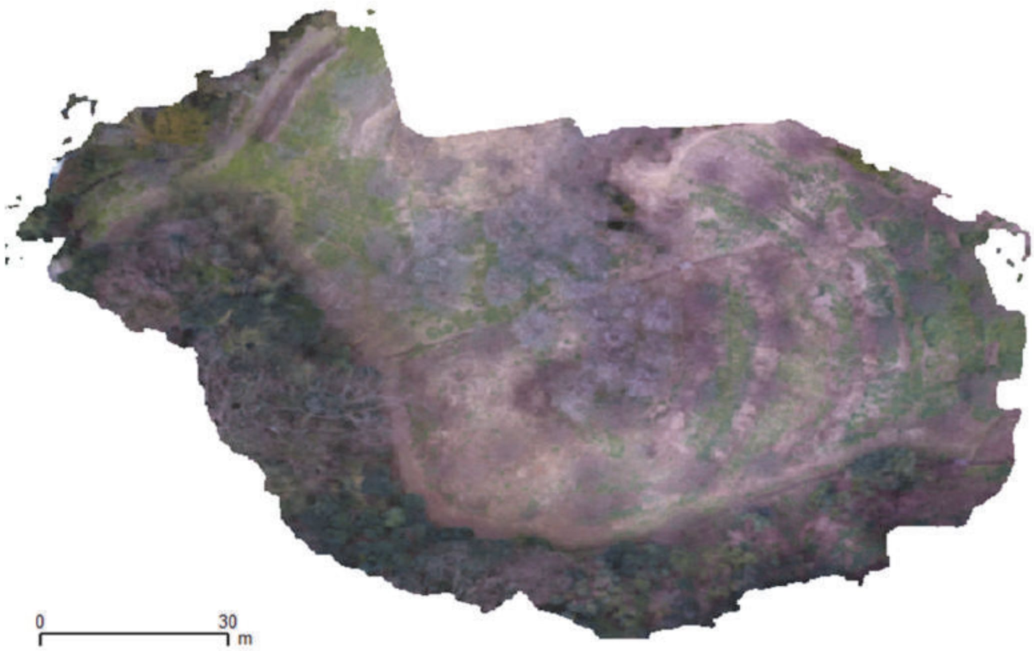

Photo 2　現場 2 のオルソ画像
Orthophoto of site 2

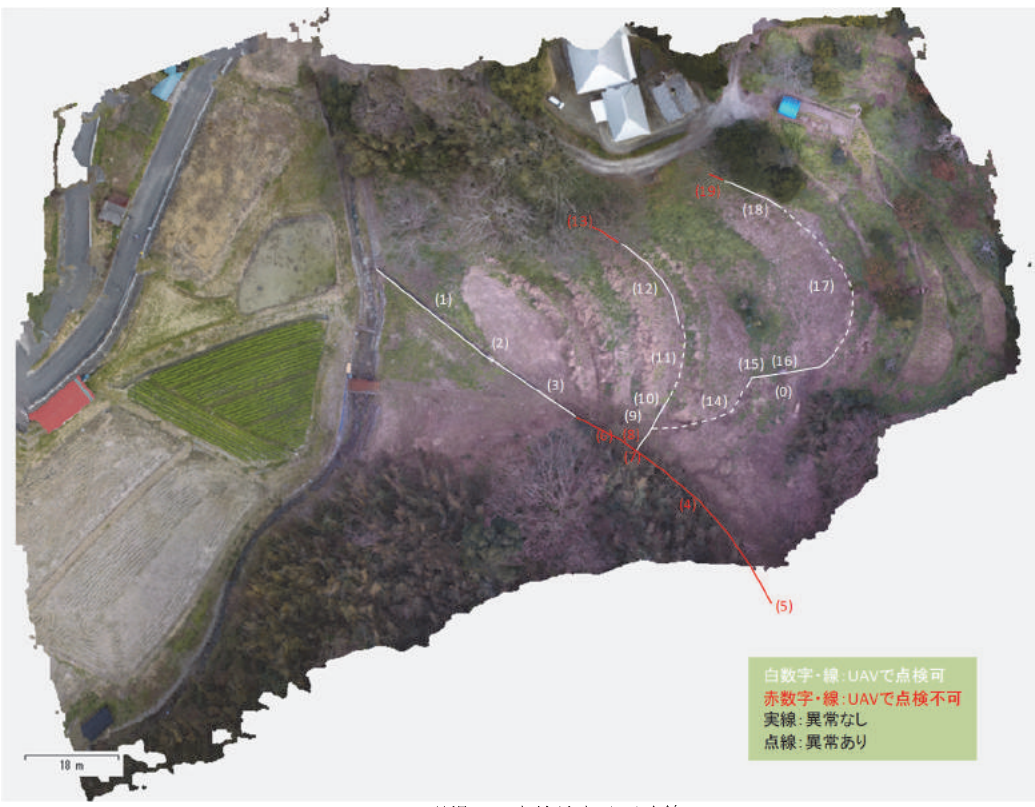

Fig. 4　現場 1 の点検地点及び路線
Checkpoints and lines at site 1

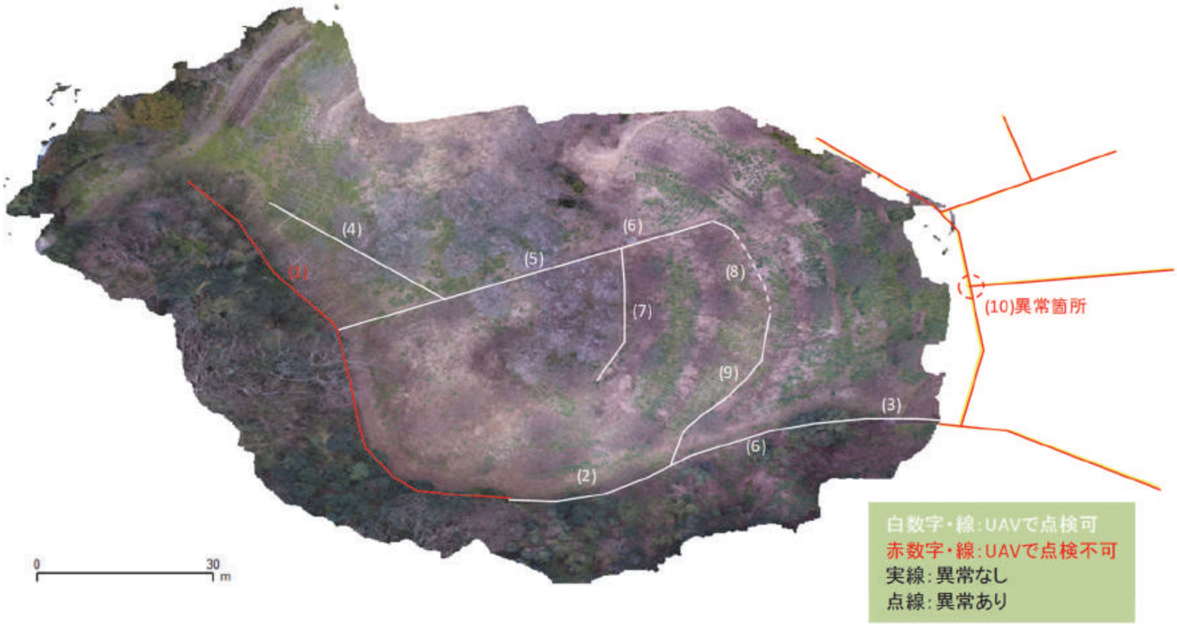

Fig. 5　現場 2 の点検地点及び路線
Checkpoints and lines at site 2

Photo 3　UAV により撮影された対空標識（左：オリジナル，中央：PhotoScan でのオルソ画像，右：geotiff を経て BMP に変換されたオルソ画像。対空標識の大きさは 30cm である。）
Photo of marker taken from the UAV (left, original; center, orthophoto viewed in PhotoScan; right, orthophoto converted from PhotoScan geotiff to BMP image. Marker is 30 cm.)

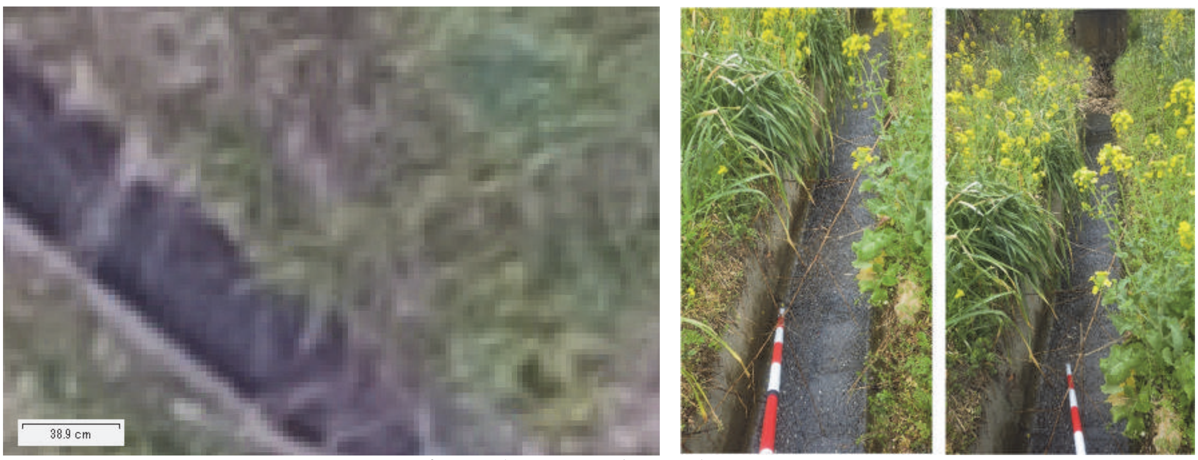

Photo 4　異常なし（左：UAV，右：地上）　位置は **Fig. 4**(1)
Normal conditions (left, UAV; right, ground). Location is (1) in **Fig. 4**.

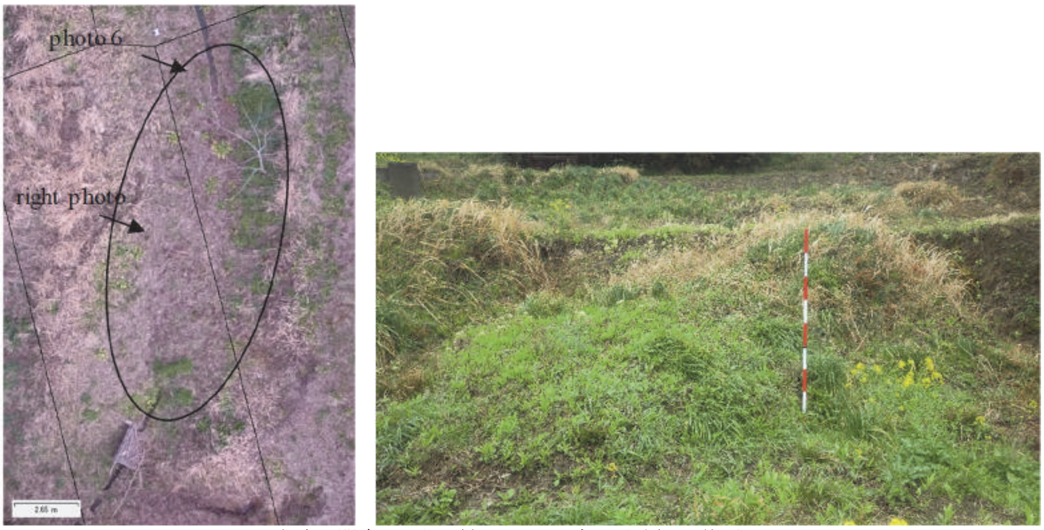

Photo 5　水路の閉塞・埋没（左：UAV，右：地上）　位置は **Fig. 4**(11)
Burial and blockage (left, UAV; right, ground). Location is (11) in **Fig. 4**.

Photo 6　水路の閉塞・埋没（左：UAV，右：地上）　位置は **Photo 5** に記載
Burial and blockage (left, UAV; right, ground). Location is indicated in **Photo 5**.

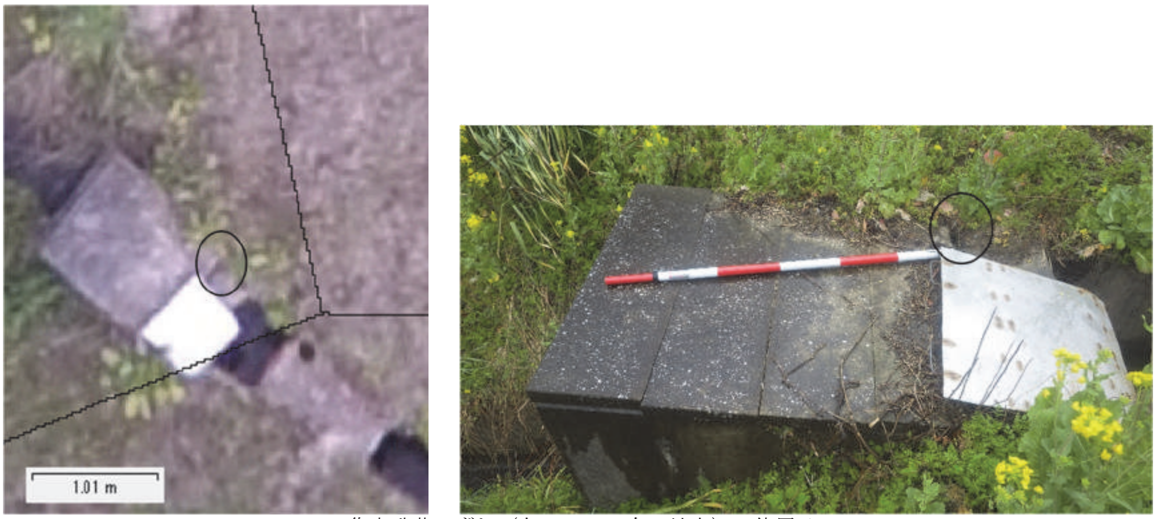

Photo 7　集水升蓋のずれ（左：UAV，右：地上）　位置は **Fig. 4**(2)
Displacement of stormwater channel cover (left, UAV; right, ground). Location is (2) in **Fig. 4**

Photo 8　解像度を粗くした埋没水路の写真（左：オリジナル（20mm/pixel），中央：40mm/pixel，右：60mm/pixel）
位置は **Fig. 4**(11)
Photos of a buried stormwater channel at different resolutions (left, original (20 mm/pixel); center, 40 mm/pixel; right, 60 mm/pixel). Location is (11) in **Fig. 4**.

Photo 9　解像度を粗くした集水桝の写真（左：オリジナル（20mm/pixel），中央：40mm/pixel，右：60mm/pixel）
位置は **Fig. 4**(2)
Photos of displaced stormwater channel cover at different resolutions (left, original (20 mm/pixel); center, 40 mm/pixel; right, 60 mm/pixel). Location is (2) in **Fig. 4**

Photo 10　植生の下（左：UAV，右：地上）　位置は **Fig. 4**(4)
Stormwater channel covered by plants (left, UAV; right, ground). Location is (4) in **Fig. 4**.

Photo 11　地下部（左：UAV，右：地上）　位置は **Fig. 4**(8)
Stormwater channel below ground level (left, UAV; right, ground). Location is (8) in **Fig. 4**.

Photo 12　水路の底部（左：UAV，右：地上）　位置は **Fig. 5**(5)
Bottom surface of a stormwater channel (left, UAV; right, ground). Location is (5) in **Fig. 5**.

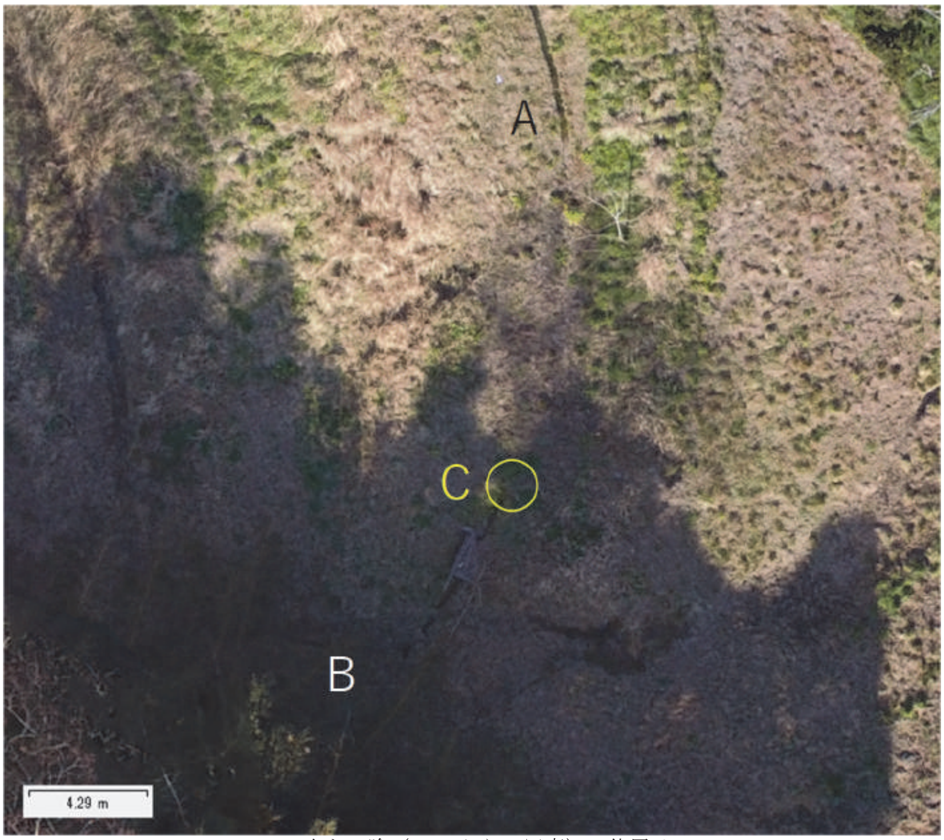

Photo 13　日向と日陰（UAV からの写真）　位置は **Fig. 4**(11)
Sunny and shady areas (UAV photo). Location is (11) in **Fig. 4**.

Table 2 現場 1 の点検結果概要
Site 1 checkpoints

位置	部位名	延長(m)	異常有無	変状区分	点検可否		
					UAV	踏査	備考
(1)	水路部	26.5	異常なし	−	可	可	
(2)	落差工	1.5	異常なし	−	可	可	
(3)	水路部	20.8	異常なし	−	概ね可	可	蓋でUAVでは一部見えない。
(4)	水路部	39.7	異常なし	−	不可	可	UAVでは植生等で見えない。踏査では植生等で見えにくい。
(5)	水路部	5	異常なし	−	不可	可	UAVの撮影範囲外。植生で撮影範囲を決められなかった。
(6)	落差工	−	異常なし	−	不可	可	植生等でUAVでは見えない。延長は(5)の推定延長に含まれる。
(7)	落差工	−	異常なし	−	不可	可	植生等でUAVでは見えない。延長は(5)の推定延長に含まれる。
(8)	水路部	8.8	異常なし	−	不可	可	植生や蓋でUAVではみえない。
(9)	水路部	6.7	異常なし	−	可	可	延長には落差工(10)を含む。
(10)	落差工	−	異常なし	−	可	可	水路部(9)の延長に含んでいる。
(11)	水路部	13	異常あり	閉塞・埋没	可	可	
(12)	水路部	20.5	異常なし	−	可	可	
(13)	水路部	4	異常なし	−	不可	可	樹木の下
(14)	水路部	20.9	異常あり	閉塞・埋没	可	可	
(15)	水路部	13.4	異常なし	−	可	可	
(16)	落差工	−	異常なし	−	可	可	水路部(15)の延長に含んでいる。
(17)	水路部	34.4	異常あり	閉塞・埋没	可	可	
(18)	水路部	14.7	異常なし	−	概ね可	可	一部樹木の下で見えないか、見にくい。
(19)	水路部	3	異常なし	−	不可	可	正確な位置不明。延長は目測
合計		232.9					
UAV点検可・概ね可		172.4					
UAV点検不可		60.5					

UAVで点検できた割合 74%

Table 3 現場 2 の点検結果概要
Site 2 checkpoints

位置	部位名	延長(m)	異常有無	変状区分	点検可否		
					UAV	踏査	備考
(1)	水路部	78.8	異常なし	−	不可	可	植生等で見えにくい。踏査で見える範囲で大きな変状はない。
(2)	水路部	61.0	異常なし	−	概ね可	可	植生等で見えにくい。見える範囲で大きな変状はない。
(3)	集水升	−	異常なし	−	概ね可	可	
(4)	水路部	29.9	異常なし		概ね可	可	踏査では遠望で判断した。
(5)	水路部	59.6	異常あり	閉塞・埋没 変形・損傷	概ね可	可	変状は軽微。しかし、樹木の下に当たり、その変状をUAVで確認できない。
(6)	集水升	−	異常なし	−	可	可	
(7)	水路部	24.9	異常なし	−	概ね可	可	踏査していない。
(8)	水路部	13.4	異常あり	閉塞・埋没	可	可	
(9)	水路部	32.2	異常なし	−	概ね可	可	一部で草が表面を覆っているが、水路自体は健全。
(10)	各種	170.0	異常あり	変形・破損	不可	可	空中写真の撮影外。延長は県資料から推定。
合計		469.8					
UAV点検可・概ね可		221.0					
UAV点検不可		248.8					

UAVで点検できた割合 47%

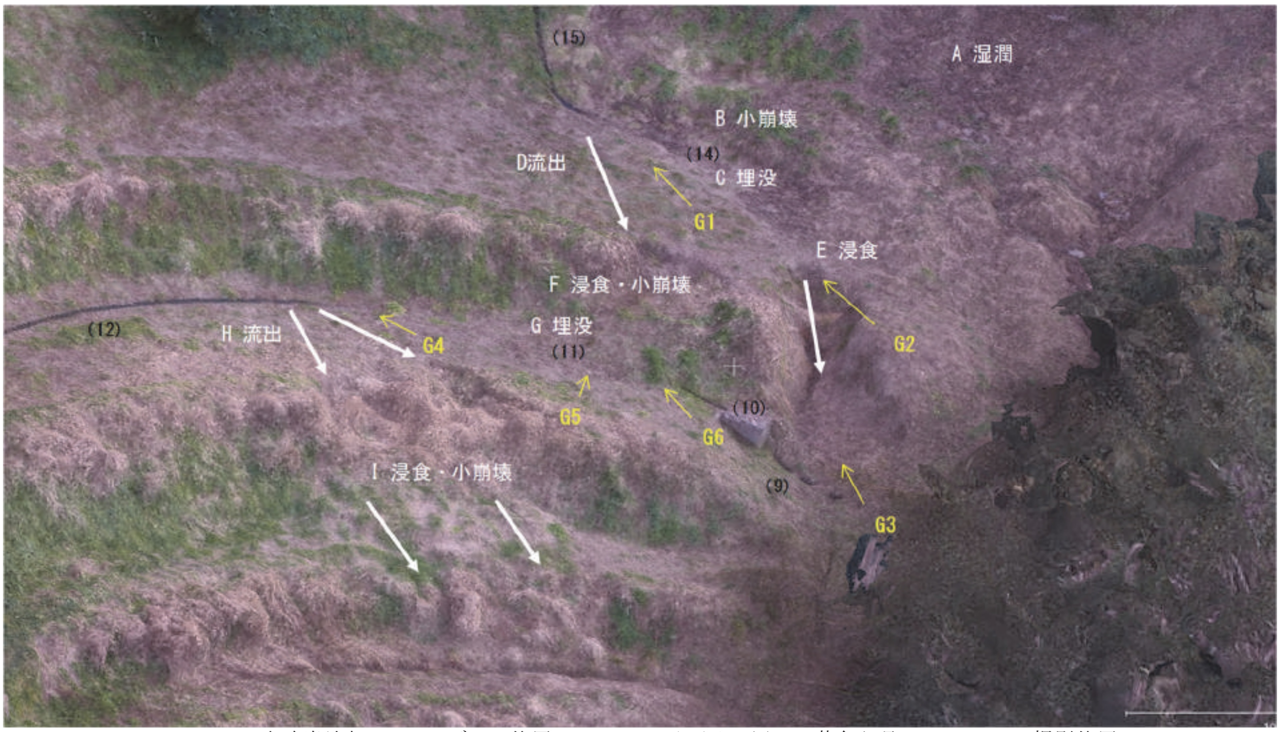

Photo 14　水路崩壊部の 3D モデル　位置は **Fig. 4**(11)及びその周辺，黄色記号は **Photo 15** の撮影位置
3D model of the area around a buried stormwater channel (left, UAV; right, ground). Location is around (11) in **Fig. 4**. Yellow letters and numbers indicate locations in **Photo 15**.

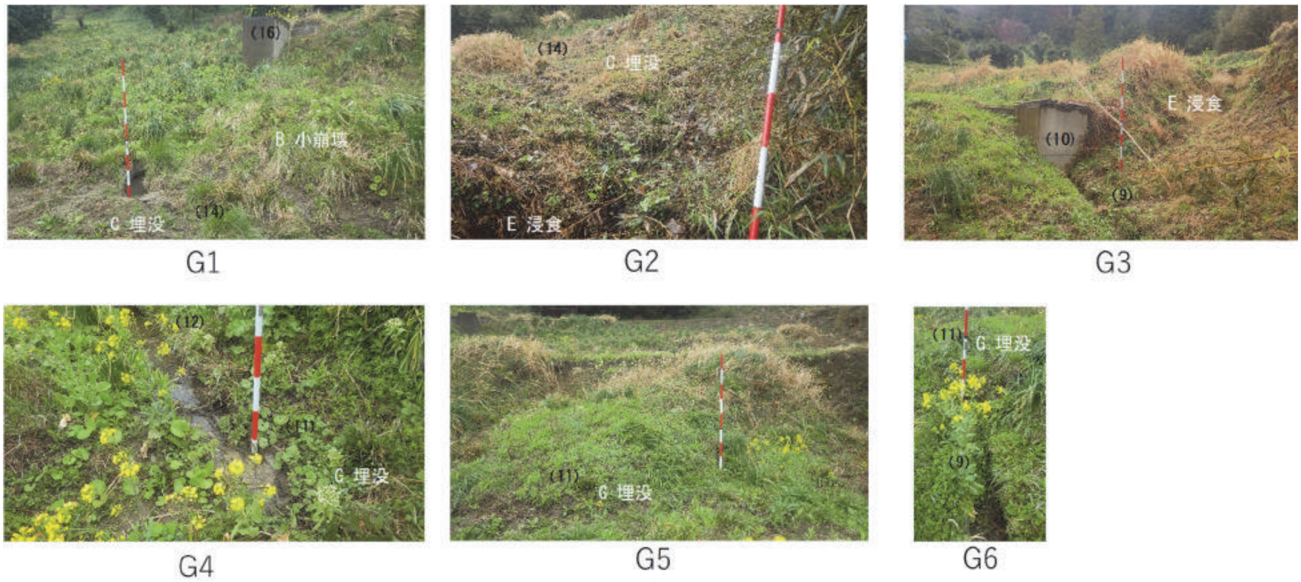

Photo 15　水路崩壊部の地上撮影写真
Photos of buried stormwater channel taken from the ground

４ 結　言

本報告は，千葉県房総半島の地すべり地である細尾横根地区において，小型UAVから撮影した平均高度50m・地上解像度20mmの画像を利用した，地すべり防止施設（水路工）の機能診断を試みたものである。その結果，以下のような結果及び今後の課題が考えられた。

現地作業時間については，点検面積1.4〜2.9haに対して飛行時間は5〜10分であったが，準備，打合せ等も含めた実作業時間は1日かかり，予備日を含めると数日を要した。現状では通常の点検よりも短時間とは言えない。離着陸地点も含めた自動飛行計画を作成できれば，2回目以降の点検の現地作業を効率化・省力化できる可能性はある。運用面について今後も試行を行う必要があると考えらえる。

室内解析については，現地で撮影した写真からオルソ画像を作成し，それを判読することにより地すべり防止施設の点検が可能である。しかし，写真の目視により異常箇所を探し抽出・記録する作業量は，現状では踏査での目視や写真の整理に比べて効率的・省力的とまでは言えない。効率化・省力化のためにはデータの整理方法に自動化・定型化が必要と考えられる。

点検できた事象は，水路工の埋没と集水桝蓋の数cmのずれであった。点検精度としては，概略目視点検が目的の場合は十分と考えられ，UAVから撮影した写真でも，視界が確保される範囲で点検に有効であると考えられる。また，仮に解像度を落として地上解像度6cm（対地高度150m）とした場合は，水路工の埋没は確認できるが，数cmのずれは確認が難しくなると考えられる。

点検できなかった，或いはしにくかった事象は，写真から目視できない範囲や，写真のコントラストが得られない範囲であった。具体的には，植生の下，地下部，水路の底部，日向と日陰が同時に写った場合であった。

点検できた割合は，現場1で施工延長の74%，現場2で47%であった。現場2での撮影範囲外を除いたとしても，今回の撮影では点検できなかった範囲も多い。これらの箇所についても，現地作業を効率化・省力化して点検できる方法を今後開発する必要があると考えられる。手法の候補としては，レーザープロファイラにより植物の葉や枝の間を通過させる，電磁探査等の物理探査装置を搭載したUAVによる地下部の点検，撮影時の露出調整や画像のコントラスト処理等での日陰部の点検のしやすさの向上等が可能性として考えられる。しかし，いずれも有効性や効率化・省力化の程度については，今後試行する必要がある。

立体モデルについては，施設の点検に必須ではないが，施設周辺の地形の変状の把握，現場を見ない第三者にも理解できる保存形式として有用と考えられる。ただし，扱うデータの種類が増えて整理が煩雑になる面もあり，他の形式も含めた全体のデータの一元的な整理方法については，今後検討が必要と考えられる。

謝辞：本調査にご協力いただいた，千葉県，鋸南町，地元の方に感謝します。

引用文献

藤原美波・横山修・土佐信一・井上太郎・松波敬三（2018）：UAVによる地すべり変位特性の把握, 第57回日本地すべり学会研究発表会講演集，15

早坂寿人・大野裕幸・大塚力・関谷洋史・瀧繁幸（2015）：UAVによる空撮写真を用いた三次元モデリングソフトウェアの精度検証，国土地理院時報，**127**，107-116

国土地理院（2016）：UAVを用いた公共測量マニュアル（案），http://www.gsi.go.jp/common/000186712.pdf（閲覧日：2018年12月18日）

国際航業株式会社・国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構・公立大学法人 秋田県立大学（2017）：官民連携新技術研究開発事業　農業水利施設及び海岸保全施設のストックマネジメントのための無人航空機（UAV）の活用の手引き(案).32p.

長井正彦・柴崎亮介・黒田清一郎・結城洋一（2006）：無人ヘリコプターを用いた新潟県中越地震による農地地すべり調査，応用測量論文集，**17**，77-86

永吉武志・齋藤大樹・金崎彩・佐藤新・柿崎杏奈・今西洋平（2017）：ドローンを活用した頭首工周辺の河床の空中写真撮影，H29農業農村工学会大会講演会講演要旨集，664-665

日本地すべり学会東北支部（2018a）：揚津地すべり調査報告（2回目調査速報），https://japan.landslide-soc.org/branch/tohoku/download/sokuhou_0609.pdf（閲覧日：2018年9月5日）

日本地すべり学会東北支部（2018b）：日本地すべり学会東北支部ホームページ，https://japan.landslide-soc.org/branch/tohoku/index.html（閲覧日：2018年12月18日）

日本地すべり学会東北支部（2018c）：1. UAV 測量結果，https://japan.landslide-soc.org/branch/tohoku/download/sokuhou_uav0531-0609.pdf（閲覧日：2018年12月18日）

農林水産省（2017a）：地すべり防止施設の個別施設画計画（長寿命化計画）作成の手引き，http://www.maff.go.jp/j/nousin/noukan/tyotei/t_zisuberi/attach/pdf/index-44.pdf（閲覧日：2018年12月18日）

農林水産省（2017b）：地すべり防止施設の機能保全の手引き〜統合版〜，http://www.maff.go.jp/j/nousin/noukan/tyotei/t_zisuberi/attach/pdf/index-80.pdf（閲覧日：2018年12月18日）

農林水産省（2018）：農地等斜面災害調査手引き，http://www.maff.go.jp/j/nousin/noukan/tyotei/t_zisuberi/pdf/syamentebiki_honpen.pdf（閲覧日：2018年12月18日）

佐々木秀隆・山村充：荒砥沢地すべり地におけるＵＡＶの活用について，http://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/sidou/pdf/26g_group_1.pdf（閲覧日：2018年12月18日）

佐藤美波・井上慎吾・戎剛史・眞弓孝之（2015）：UAVによる地すべり変位特性の把握, 第54回日本地すべり学会研究発表会講演集，2-20

正田大輔・吉迫宏・紺野道昭・井上敬資・楠本博・原田耕平・橋本知宗（2017）: 斜面崩壊により被災した農業用ため池への土砂流入に関する検討―UAV 調査と土砂流入解析の試み―，水と土，**80**，68-71

原稿受理　平成 31 年 1 月 15 日

Trial Inspection of Landslide Prevention Facilities (Stormwater Channels) Using UAV-based Aerial Photography

KONNO Michiaki*, YOSHISAKO Hiroshi*, INOUE Keisuke*, SHODA Daisuke*,
NAKAZATO Hiroomi** and HARADA Kohei***

*Disaster Prevention Unit, Division of Facilities and Geotechnical Engineering
** Groundwater Resources Unit, Division of Regional Resources Engineering
*** ASCO-Daito Co.

Abstract

In this study, we conducted a trial inspection of landslide prevention facilities (stormwater channels) using a small unmanned aerial vehicle (UAV) in the landslide-prone area of Hosoo Yokone on Chiba Prefecture’s Boso Peninsula to develop more efficient and labor-saving fieldwork methods. While the time spent taking aerial photographs was very short, the process did not save time in terms of labor due to the amount of time required for preparation. We found that it was possible to inspect for obvious problems, such as the burial of stormwater channels and the displacement of concrete structures of up to several centimeters, by using images captured at an average altitude of 50 m, with a ground resolution of 20 mm. However, there were several places that could not be inspected using aerial photography, such as those covered by plants, situated underground, or located in the shade. We believe that it will be necessary in the future to develop techniques to remotely inspect those areas as well.

Key words: *unmanned aerial vehicle (UAV), drone, Hosoo Yokone, Chiba Prefecture, Ortho image, buried channel*