■道路災害調査設計における高精度地形データの活用

—2008年岩手・宮城内陸地震と2013年秋田・岩手豪雨災害の事例—

Disaster recovery designs for road by using high-resolution topographic data

—Cases after the 2008 Iwate—Miyagi Inland earthquake and the 2013 Akita—Iwate heavy rainfall event—

大粒来茂樹* Shigeki OTSUBURAI／国際航業株式会社 Kokusai Kogyo., Ltd

高見智之 Tomoyuki TAKAMI／国際航業株式会社 Kokusai Kogyo., Ltd

完野育政 Yasumasa KANNO／国際航業株式会社 Kokusai Kogyo., Ltd

中原 毅 Tsuyoshi NAKAHARA／国際航業株式会社 Kokusai Kogyo., Ltd

キーワード：地震災害，豪雨災害，航空レーザ測量，航空写真測量，道路災害復旧

和文要旨

2008年6月の岩手・宮城内陸地震時と2013年7月の秋田岩手豪雨災害での道路災害復旧における航空レーザ測量からの高精度地形データを活用した事例を報告する。前者の地震災害では崩壊・地すべりにより道路が寸断されて踏査不能区間が生じたために航空レーザ測量データを取得して被災調査や対策工検討の迅速な対応を行った。後者の豪雨災害では既存の航空レーザ測量データを活用して集水域の地形状況を把握して対策工法の検討を行い，災害後のレーザ計測・データ処理後に迅速に対策工設計を進めることができた。災害前後の高精度地形データは災害復旧調査設計に有効であり，より迅速かつ的確な災害対応が期待される。

1. はじめに

災害復旧では短期間で被災状況を把握し，的確な復旧工法の立案と対策工設計が求められる。しかし，大規模な斜面災害では広範囲にわたる被災，人の立ち入りが困難などの状況に陥ることがある。そしてこのような場合には航空測量技術の高精度地形データの活用が有効である。航空測量技術のうち，空中写真測量はアナログ方式からデジタル方式による高精度化，航空レーザ測量はレーザ照射の高密度化と波形記録方式化による高精度化が進んできた。近年ではUAV測量の技術革新と普及が目覚しいが，広範囲の地形データを短期間で取得するためには航空測量が必要不可欠となる。本報告では，地震災害と豪雨災害の二つの大規模な斜面災害に対し，航空測量による広域かつ高精度地形データを活用して災害復旧調査設計を行った事例を報告し，その成果と今後の展望を述べる。

踏査不能区間10kmでは，落差30m以上の大規模崩落が4箇所発生し道路が寸断された。このうち区間両端の2箇所については，道路全体を巻き込む斜面崩壊となったため，発生から14日間にわたり人の立ち入りが遮断され，4ヶ月間にわたり車両が通行できない状況が続いた。

図－1 地震災害の対象箇所位置図

2. 地震災害復旧への活用事例¹⁾

2.1 岩手・宮城内陸地震と復旧対象箇所の概要

2008年6月14日に岩手県内陸部の深さ約8kmでマグニチュード7.2の地震が発生した。この地震で岩手県奥州市と宮城県栗原市で震度6強が観測され大きな被害が生じた。山地斜面では多数の崩壊が発生し，道路も多数被災して各地で寸断が生じた。

災害復旧の対象箇所は，一般国道342号の秋田県横手市から岩手県一関市を結ぶうち，岩手県側の山地部の踏査不能区間L=10kmで震源から約5km付近に位置する。(図－1)

図－2 地震災害の踏査不能区間と大規模崩落箇所の位置

* 連絡著者／corresponding author
〒984-0051 宮城県仙台市若林区新寺1-3-45
1-3-45 Shintera Wakabayashiku Sendai city Miyagi Prefecture

被災の大きい区間は、栗駒山の北東約4 kmに位置し、新第三紀の凝灰岩類や第四紀の火山噴出物が分布しており、開析谷によって深く浸食されて、河川に面する斜面

図－3 地震による大規模崩落箇所（須川地区）の状況

図－4 地震による大規模崩落箇所（茂庭沢地区）の状況

は急傾斜となっていた。（図－2～図－4）

2.2 大規模崩落箇所の復旧検討時における課題

大規模崩落箇所の復旧検討では、技術的課題や検討量が多いことから、早期に検討着手する必要がある、このためには広域の高精度地形データを取得する必要がある。

しかし、地震発生後も余震が続いていたことから、崩壊地内への立入りが出来ず、実測は行えなかった。

次に、踏査不能区間に取り残された車両を積雪前に脱出させる必要があること、翌年の雪解け後の5月には区間内の寸断箇所の復旧工事を直ちに着手しなければ区間全体の復旧が間に合わないこと（図－5）、などから大規模崩落箇所を車両が通行可能な仮設道路（以下「仮道」と記す）を確保する必要がある。また、仮道は災害査定から積雪前の1.5ヶ月間以内に完成させられること、本復旧対策に支障しないこと、経済的であること、工事の手戻りがないこと、などの確な復旧計画の立案が短期間で要求された。

図－5 地震による踏査不能区間内の大小さまざまな被災状況

2.3 高精度地形データを活用した復旧調査設計

現地立入りが困難な大規模崩落箇所においては、広範囲の高精度地形データを一挙に把握することが可能な、航空レーザ測量（以下「LP」と記す）と、高解像度デジタルカメラを用いた空中写真測量（以下「DMC」と記す）を活用した。

2008年当時の航空レーザ測量技術は、波形記録方式ではなかったことから、裸地部は高精度に取得できるが、森林部はフィルタリングに時間を要するほか、標高の精度が低くなる恐れがあったため、森林部の地形はDMCを活用し補完することとした。

LP-DEMの取得密度は、崩落斜面の微小な凹凸の把握、道路設計に利用できるよう1.0mメッシュで取得した。しかし、レーザ計測点はランダム点群のため、図－6、図－7に示すように地形変化点が丸められるという欠点がある。そこで、道路縁部のブレイクライン（傾斜変換線）はDMC地形図により補完して合成地形図を作成した。

図－6 レーザ計測点とブレイクライン

図－7 LP（航空レーザ測量）とDMC（高解像度デジタルカメラを用いた空中写真測量）の断面線比較

仮道の確保を前提とした復旧計画は、短期間での仮道完成が可能であり、かつ本復旧工事を兼ねられるよう、切土を主体として現道を山側へと切り替える手法を立案した。

詳細設計はLP-DEM地形図とDMC地形図を合成した地形図を用いて進め、山側の切土法面を吹付砕工で法面保護し、谷側にあたる道路直下の滑落崖にはグラウンドアンカー工（吹付砕工併用）で抑止、滑落崖の下方斜面は押さえ盛土工を構築して、道路及び斜面を復旧する対策工とした。（図－8、図－9）

図－8 高精度地形図を活用した復旧計画平面図

図－9 高精度地形図を活用した復旧計画横断面図

地震発生から4ヶ月後の10月初旬に仮道を完成させ、取り残された一般車両を脱出させることができ、翌年の本復旧工事も積雪前に完了した。（図－10、図－11）

図－10 被災直後と仮道整備の状況

図－11 復旧後の状況

3. 豪雨災害復旧への活用事例²⁾

3.1 秋田・岩手豪雨と復旧対象箇所の概要

2013年8月9日に秋田県と岩手県の内陸部を中心に、これまで経験したことのない規模の局地的な集中豪雨となり、各地で洪水や土砂災害が発生した。

災害復旧の対象箇所は、岩手と秋田を結ぶ緊急輸送道路に指定されている国道46号のうち、岩手県側の山岳部（雫石町橋場地区）である。この橋場地区では、時間最大雨量100mm/h、連続雨量337mm超の過去最大を記録し、国道はL=11.4kmにわたり約100箇所が被災し、全面的な通行規制を余儀なくされた。（図－12～図－16）

図－12 豪雨災害の対象箇所の位置と被災区間

図－13 被災箇所周辺の時間雨量の分布と推移³⁾
※局地的な雨雲は長時間停滞

図－14 雨量観測グラフ（橋場STテレメーター）と緊急対応状況

図－15 豪雨による大規模被災箇所の状況

図－16 豪雨による大規模被災箇所の状況

3.2 大規模崩落箇所の復旧検討時における課題

3.2.1 応急対策検討時の課題（被災後一約10日間）

被災直後からの夜を徹しての啓開作業と緊急処置を行い、大規模被災箇所のみ片側交互通行とし、時間雨量30 mm/h、連続雨量100mmの事前通行規制を条件に、2日後の8月12日に全面通行止めが解除された。

大規模斜面の復旧検討では技術的課題等の検討量が多い。特に応急対策の検討時は、当面の安全確保を目的とした崩壊拡大防止策や応急対策、二次災害の危険性の把握、さらに復旧計画の早期立案が求められ、短期間での広域地形の把握と災害要因の分析が必要となった。

3.2.2 復旧対策設計時の課題（被災後一約1ヶ月間）

重要路線の国道を積雪前までに全面2車線開放するためには、復旧設計を約1ヶ月間（復旧工事は約2.5ヶ月間）という短期間のうちに完了させる必要があった。

そして、作業の安全確保や時間的な制約から、実測が困難な長大かつ急峻な斜面全体について、詳細設計に耐えうる高精度地形データの取得と広範囲に及ぶ被災範囲の特定が同時に求められた。

3.3 高精度地形データを活用した復旧調査設計

3.3.1 既存LPデータを活用した応急対策の検討

応急対策検討では、被災前に取得されていた既存のLPデータ（1mメッシュ）を活用し、カラー標高傾斜図や鳥瞰図等の地形画像を作成して上方斜面の災害地形の分布形状を把握し、3次元立体地形モデルから任意の地形断面図を作成して空中斜め写真や地表踏査も活用して対策方針を検討した。（図－17～図－20）

その結果、上方斜面からの想定外の崩壊等による二次災害の危険性は低い、上方の旧崩壊地や県道から表流水が崩壊地頭部に集中する恐れがあった。そこで、崩壊地下方の国道部に仮設防護柵を設置し、崩壊地頭部への雨水流入防止を図るための土嚢を設置した。

また、本復旧に向けた対策検討も既存LPによって高精度な検討が行えたため、復旧詳細設計へ手戻りなくスムーズに移行した。

3.3.2 被災後LPデータを活用した対策工設計

復旧詳細設計では、被災後新たに取得した詳細LPのDEMデータ（0.5mメッシュ）によるレベル500地形図を用い、同時に撮影した高解像度航空画像（DMC画像）

図-17 既存LP-DEMデータ立体鳥瞰図による災害地形の確認

図-18 既存LP-エルザマップ（段彩図）を活用した災害地形判読

図-19 既存LP-コンターエルザマップ（等高線段彩図）を活用した排水検討

図-20 既存LPから生成した断面地形図を用いた復旧検討図

によるオルソ画像を重ねて被災範囲 (= 対策範囲) を特定した。さらに国道部と頭部滑落崖の実測による細部地形図を合成したハイブリッド地形図を作成して詳細設計を進めた。(図-21)

なお、この詳細LPは波形記録方式による0.5mメッシュで計測したことから、点群の精度と密度が高かったため、DMC地形図による傾斜変換線の補完は不要であった。

被災前LP-DEM (1mメッシュ) と被災後LP-DEM (0.5mメッシュ) の二時期DEMから標高差分値を算出し、標高差分図と比較断面図を作成して災害前後の地形変化を定量的に把握した。(図-22, 23, 24)

標高差分図からは主崩壊部と流下部の区別ができ、高解像度航空画像 (DMC画像) とあわせると崩壊範囲の崩壊深さや崩壊形態などを定量的に把握できる。

被災後に取得した詳細LPによる高精度地形データと国道部実測図、さらに高解像度航空画像 (DMC画像) を用いて詳細設計を行った。

その結果、現地とほぼ誤差がなく設計図どおり施工され、発災後から4ヶ月後の12月10日に全面2車線開放した。

そして、現在は植生も定着しその後の変状や被災も発

図-21 ハイブリッド地形図の作成過程と復旧設計平面図

図-22 被災後LP-DEM・オルソフォト重ね立体鳥瞰図

図-23 被災前後の二時期DEMによる標高差分図

図-24 被災前後の二時期DEMによる比較断面図

図-25 大規模被災箇所の被災時と復旧後の状況

生しておらず, 安全な国道の保全が確保されている。(図-25)

4. まとめと今後の展望

本報告では地震災害と豪雨災害の二つの活用事例を報告した。地震や豪雨による災害は広範囲にわたることが多く, 道路では多数箇所被災して道路が寸断されることが多い。このような場合には, 人の立入りや実測が困難な場所での調査の実施, 広範囲で発生した斜面災害への早期対応, 短期間の復旧が求められる。

地震災害の事例では数か所の急斜面部で路面が崩落して, 人や車両が立ち入りできない「踏査不能区間」が生じ, その復旧には仮道を含めた検討が必要であった。被災した長い区間の被災実態と周辺の地形状況を迅速に把握するためには, LPとDMCの併用が有効であった。

豪雨災害での対応事例でも山岳区間での多数の被災箇所が生じた。このケースでは既存のLPによる高精度地形データを活用して, 対策工検討を早期にスタートすることができた。さらに, 災害後の地形データをLPとDMCを併用し, 災害の実態を定量的に把握して調査設計を迅速に進めることができた。

この二つの事例から, 教訓として以下の点があげられる。

- ①災害前の詳細地形データがあればこれを活用して周辺地形を解析し, 発災後に迅速に応急対策や仮復旧の検討を進めることができる。
- ②さらに災害発生後の高精度地形データを取得すると崩壊等の発生域や流走域, 崩壊範囲や崩壊深分布などを定

量的に把握することができ, 二次崩壊の評価やよりの確な対策検討を進めることが可能となる。

③LPは災害時に有効な手法であるが, DMCを併用することにより災害復旧対策工設計に利用できる地形データとなる。

④LP等を活用することによって, 定量的で視覚的にわかりやすく説明性の高い資料が作成可能となる。

今後は, LPの機器やデータ処理技術の進歩により, 植生の影響の少ないより正確な数値地形モデルを取得することが可能になり, 災害復旧に対してより高度な活用とコスト縮減につながると期待される。また, 本報告の事例では固定翼機によるLPデータを活用したが, 局地的な災害ではUAV搭載のレーザ計測機器での詳細地形計測も有効であると考えられる。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり, 地震災害事例では岩手県県北広域振興局一関総合支局土木部の資料を活用させていただいた。また, 豪雨災害事例では国土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所の資料を活用させていただいた。ここに記して謝意を表します。

引用文献

- 1) 国際航業(株)(2008): 一般国道342号須川地区災害復旧調査設計業務委託, 岩手県県北広域振興局一関総合支局土木部。
- 2) 国際航業(株)(2013): 橋場地区法面応急復旧設計報告書, 国土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所。
- 3) 気象庁レーダー, 盛岡地方気象台資料。

(原稿受付2019年4月15日, 原稿受理2019年7月4日)