

航空レーザを用いた崩壊建築物の分布把握に資する

計測および評価手法ガイドライン（案）

2023年（令和5年）7月

国立研究開発法人 建築研究所

本ガイドラインについて

国立研究開発法人建築研究所では、2018 年より官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM：Public/Private R&D Investment Strategic Expansion Program）の革新的防災減災技術分野において「デジタルデータを活用した建築物の被災判定による迅速な復旧促進」に着手し、3 次元点群レーザ計測技術を用いた被災建築物の損傷評価に関する研究を 5 年間行ってきました。この研究では、既存鉄筋コンクリート系構造を対象として、航空レーザスキャナで計測された 3 次元点群データを用いて、地震により生じた崩壊建築物を把握する方法の開発を実施しました。その後、この方法の普及のため、2022 年 12 月に「三次元点群レーザ計測を用いた被災建築物の損傷評価に資する計測手法及び損傷評価マニュアル策定委員会」を設置し、上記研究課題で検討した評価方法について取り纏めました。その成果として「航空レーザを用いた崩壊建築物の分布把握に資する計測および評価手法ガイドライン(案)」を作成しました。今後のこれらの技術がより広く普及し、迅速な被災判定とその後の復旧に資することを期待するとともに、今後の新たな技術の導入や、みなさまからのご意見を踏まえ、本ガイドラインも更新していきたいと思っております。

2023 年 7 月 建築研究所

三次元点群レーザ計測を用いた被災建築物の損傷評価に資する 計測手法及び損傷評価マニュアル策定委員会名簿（50音順）

委員長 楠 浩一	東京大学 地震研究所 災害科学系研究部門 教授
委員 井上 波彦	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 建築品質研究官
小野 彰	アイサンテクノロジー株式会社 測地ソリューション事業本部 システム開発部 部長
木村博之	株式会社ニコン・トリンプル ジオスペーシャル事業部マーケティング部マーケテ ィング課 マネージャー
五條 渉	一般財団法人 日本建築防災協会 技術総括参与
迫田 丈志	株式会社堀江建築工学研究所 代表取締役社長
桜井 宏行	独立行政法人都市再生機構 本社 住宅経営部 保全技術課 課長
四戸 俊介	株式会社日建設計 設計部門 BIM マネジメント室・BIM コーディネーター
杉本 直也	静岡県交通基盤部政策管理局建設政策課・課長代理
中川 昇一	東京都 住宅政策本部 住宅企画部 建築構造専門課長
根本 直行	リーグルジャパン株式会社
本間 信一	国際航業株式会社 LBS センシング事業部 モニタリング部 技術担当部長
向井 智久	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 評価システム研究室 室長
村山 盛行	株式会社フィールドテック 代表取締役
和田 真由子	朝日航洋株式会社 空間情報事業本部 国土保全事業部 空間情報部 応用解析グル ープ 主任技師
事務局 小豆畑 達哉	国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ グループ長
坂下 雅信	国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
渡邊 秀和	国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
有木 克良	国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
中村 聡宏	国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員

目 次

第1章	総則	1
1.1	目的	1
1.2	適用範囲	1
1.3	用語の定義	2
1.4	計測および崩壊建築物の分布把握手法	10
第2章	航空レーザ計測	14
2.1	概説	14
2.2	計測のための準備作業	16
2.2.1	作業計画立案	16
2.3	計測作業	16
2.3.1	計測作業	16
2.3.2	調整点の計測	17
2.4	データ処理作業	17
2.5	成果物について	22
第3章	航空レーザから得られる点群を用いた崩壊建築物の分布把握のための評価	23
3.1	概説	23
3.2	被災前に実施する崩壊建築物の分布把握のための評価手順	23
3.2.1	屋根面データセット作成	23
3.3	被災後に実施する建築物の崩壊建築物の分布把握のための評価手順	25
3.3.1	評価対象建築物屋根面の特定	25
3.3.2	敷地地盤変位量計測	25
3.3.3	差分解析による建築物屋根面沈下量計測	27
3.3.4	差分解析による建築物の崩壊評価	35
3.3.5	崩壊建築物分布データセット作成	38
3.4	成果物について	38
参考文献		40

第1章 総則

1.1 目的

本ガイドラインは、航空レーザ（Airborne Laser Scanner）を用いて倒壊・崩壊建築物（以下、崩壊建築物）の分布の把握のため、建築物計測を実施する際の標準的な作業内容、使用する機器等の仕様および、崩壊建築物の分布把握の精度確保のための評価手順を含む手法の明確化のためのものである。これらを用いることにより広範囲の崩壊建築物の分布を迅速に把握し、その後の復旧活動の迅速化に資することを目的とする。

計測においては、地震後速やかに広範囲のデータを収集・分析し、その崩壊建築物の分布把握に資するデータを適切に収集することを目的とする。崩壊建築物の分布把握においては、迅速な評価結果が求められることから、人の判断を介さずに算定することを目的とする。なお、ここでいう迅速とは、被災後速やかに航空レーザ計測が実施可能だった場合、被害の規模によるが、計測後数日から1週間程度を目安としたものである。

本ガイドラインでは国および自治体が主体となり計測、評価を実施することを基本としている。

1.2 適用範囲

本ガイドラインは航空レーザを用いて広域の崩壊建築物の分布把握を行うための、標準的な作業内容、計測に使用する機器等の仕様および、精度確保のための評価手順を含む手法について規定している。なお本ガイドラインの成果は、被災前計測が平面直角座標系で取り扱うことから、測量法で定められた測地系で整備されていることが重要となる。ここで規定する計測は公共測量に従って実施することを基本とする。

本ガイドラインでは原則として計測密度が4点/m²以上のレーザ計測点が照射されている屋根面を持つ建築物を対象としており、大規模地震発生によって地殻変動の影響を受け、地震前後で位置座標にずれが生じた場合においても、地盤変位量を考慮した上で崩壊建築物の分布を把握する。ただし、航空レーザを用いた計測（以降「航空レーザ計測」とする）の特性上、以下は適用範囲外とする。

※航空レーザ計測は上空から行うため、建築物と航空機の間には樹木等の障害物が存在したり、屋上に機器等が設置されているなど、結果として屋根面データが不足する場合。

※崩壊建築物の分布把握に必要な被災前の計測データが無い場合。

※被災前データとして過去に計測された他機関の計測成果を用いることも可能であるが、その計測密度等が十分でない場合。

※屋根面が小さい建築物（長手方向の長さが5m未満）で照射されたレーザ計測点が少なく、十分な評価が行えない場合。（3.2. 参照）

※地震等により国土地理院の電子基準点が停止し、航空レーザ計測の位置正確度が担保できない場合。

※UAVによる計測データを用いる場合。本ガイドラインは有人飛行の航空機によるレーザ計測データを用いた検証により作成したものである。UAVによる計測データは適用範囲外とするが、データの精度や適用可能性について検証等を進めることで活用できる可能性がある。

1.3 用語の定義

公共測量：

公共測量とは、測量に要する費用の全部、または一部を国・公共団体が負担・補助して実施する測量のことをいう（測量法第5条）。測量とは、基準点測量、地形測量、地図調製（地図編集）をいい、測量用写真の撮影も含まれる。

作業規程の準則：

公共測量に関し観測機械の種類、観測法、計算法その他国土交通省令で定める事項を定めた作業規程を定めたもので、測量法第34条にて定義されているもの。

解説：

本ガイドラインの運用に関する参考情報は、本ガイドラインの中に〈解説〉として記載する。

計画機関：

計測を実施する国・地方公共団体等

作業機関：

計測作業を実施する業者

使用機器：

本ガイドラインで用いる機器

航空レーザ計測システム：

航空機からレーザ光を照射し地表の三次元形状を計測するシステム。航空レーザ計測システムは、GNSS測量機、IMU、レーザ測距装置および解析ソフトウェアから構成される（図 1.1）。

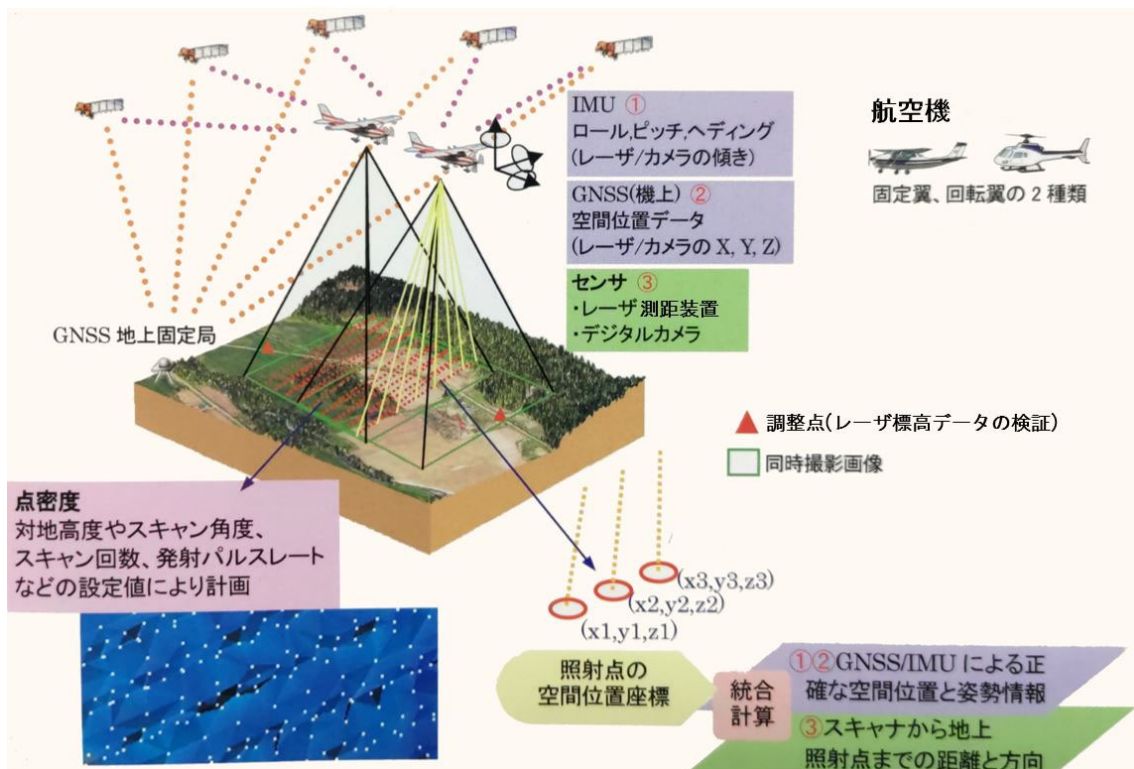


図 1.1 航空レーザ計測システムの運用イメージ¹⁾に加筆

航空機：

飛行機（固定翼）とヘリコプター（回転翼）がある。計測密度や時間当たりの計測面積等の特性が異なるため事例に適したものを選定する。センサを搭載した機体に対する安全性に関する国土交通省航空局の検査に合格した機体を使用する。

GNSS 測量機：

GNSS 受信機と GNSS アンテナを用いて測位衛星からの電波を受信して緯度経度を測定し、位置等の計測を行う機器。

GNSS 受信機と GNSS アンテナを用いてアメリカの GPS (Global Positioning System)・日本の QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) ロシアの GLONASS (global navigation satellite system) および欧州連合のガリレオ等からの電波を受信して緯度経度を測定し、位置情報等の計測を行う機器で主な観測方法は以下のものがある。

2周波スタティック法・1周波スタティック法・2周波短縮スタティック法・1周波短縮スタティック法・RTK (Real Time Kinematic) 法・ネットワーク型 RTK 法

航空レーザ計測では電子基準点等の既知点と航空機で同時に測位衛星の電波を受信し、2点間の相対的な位置関係を求めることで航空機の位置を決定する相対測位を用いている（図 1.2）。

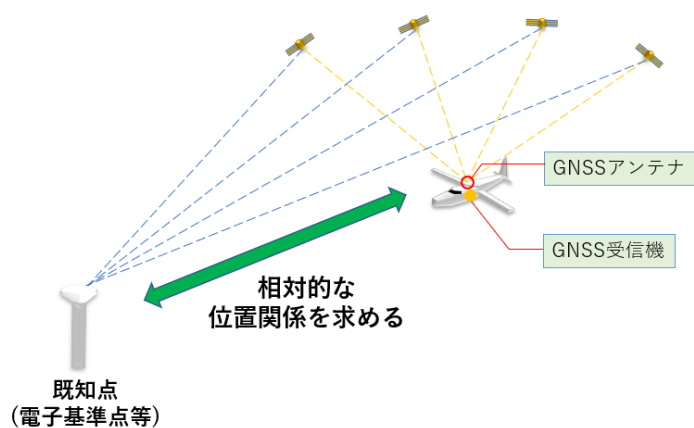


図 1.2 航空レーザ計測における GNSS 測量機による相対測位のイメージ

IMU：

IMU (Inertial Measurement Unit: 慣性計測装置) とは 3 次元の慣性運動（直交 3 軸方向の並進運動および回転運動）を検出する装置。直交する 3 軸にそれぞれ取り付けられた加速度センサにより並進運動を、角速度(ジャイロ)センサにより回転運動を検出する。航空機の姿勢をローリング角、ピッチング角、ヘディング角(図 1.3)の 3 方向から求めることで、地上のレーザ計測点の平面位置座標を算出(図 1.4)することができる。

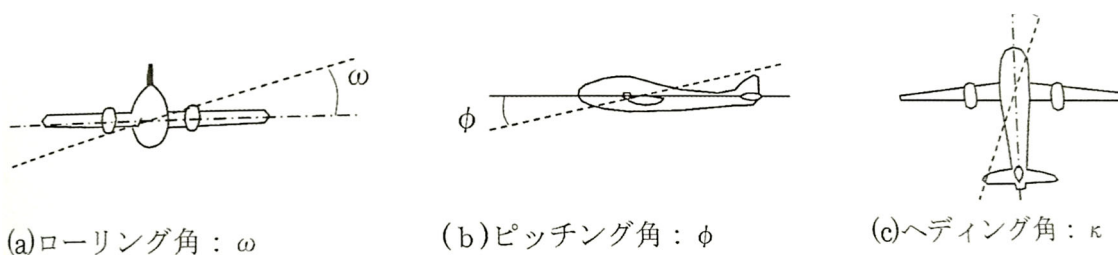


図 1.3 航空機の 3 軸方向の傾き²⁾

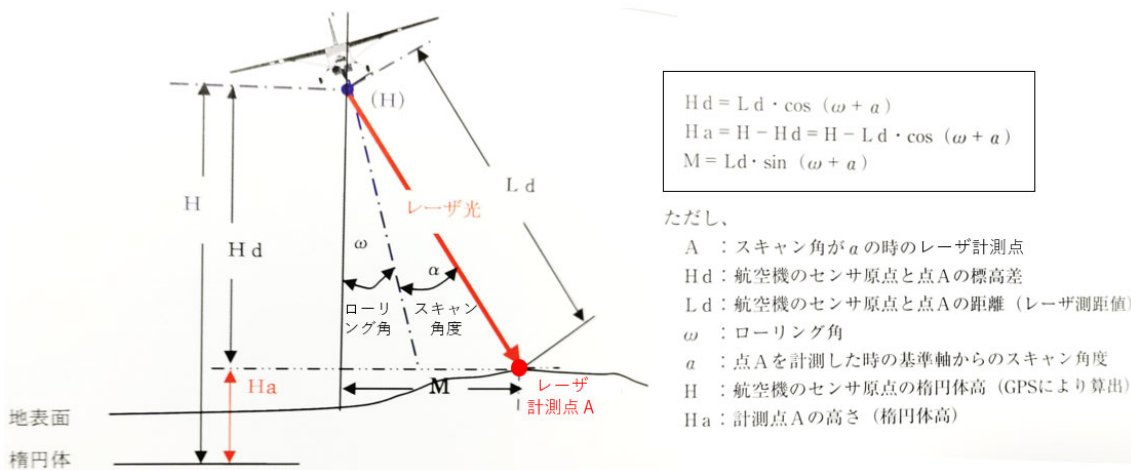


図 1.4 例) ローリング角によるレーザー計測点の位置算出概念図³⁾に加筆

レーザー測距装置：

レーザーパルスをスキャナで走査し、地上のレーザー計測点から反射して戻ってくる時間差を調べて距離を決定する装置。照射するレーザーパルス回転ミラーで多方向へ振り分けながら飛行することで、面的なレーザー計測点を得ることができる (図 1.5)。

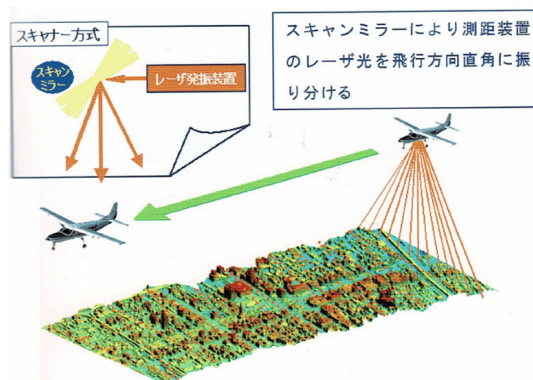


図 1.5 レーザー測距装置による計測イメージ⁴⁾

解析ソフトウェア：

レーザー計測点の三次元での位置を算出するもの。

航空レーザー計測：

航空レーザー計測システムを用いて地形を計測し、格子状の標高データである数値標高モデル (DEM : Digital Elevation Model) 等を作成する作業。

DEM：

数値標高モデル (Digital Elevation Model) の通称。地表面を等間隔の正方形に区切り、それぞれの正方形に中心点の標高値を持たせたデータ。本ガイドラインでは地盤面の変動評価を行う際に用いる。

地図情報レベル：

地図表現精度を表し、図郭内のデータの平均的な総合精度を示す指標。

表 1.1 地図情報レベルと地形図縮尺の関係、および DEM の格子間隔

地図情報レベル	相当縮尺	格子間隔
500	1/500	0.5m 以内
1000	1/1000	1m 以内
2500	1/2500	2m 以内
5000	1/5000	5m 以内

※格子間隔内に 1 点以上のレーザ計測点があることが望まれる

平面直角座標系：

平面直角座標系（測量法平成 14 年国土交通省告示第 9 号）に規定する世界測地系に従う直角座標のことで、本ガイドラインで使用する高さは測量法施行令（昭和 24 年政令第 322 号）第 2 条第 2 項に規定する日本水準原点を基準とする高さとした。

なお、平面直角座標系は日本では 19 系に分類されている（図 1.6）。

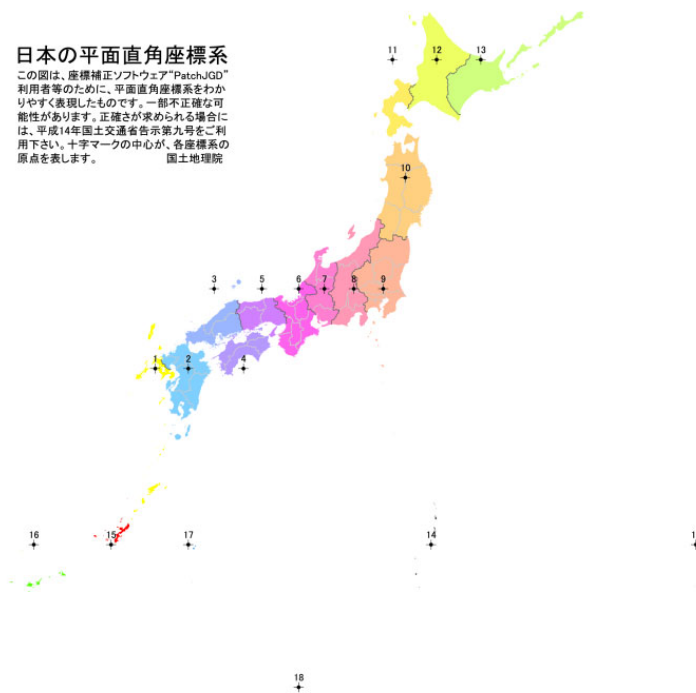


図 1.6 日本の平面直角座標系¹⁾

国土基本図図郭：

国土地理院によって統一の図式で作成・整備された大縮尺の基本図である国土基本図を区切ったときの個々の地図範囲。図郭名は地図情報レベルに応じた命名規則によって定められており、図郭範囲には個別の図郭名が対応している。地図情報レベル 2500 であれば、図郭名は「09JE551」、地図情報レベル 5000 では、「09JE55」などのように命名される。この場合の 09 が平面直角座標系の 9 系であることを示し、JE551 や JE55 は 9 系内の位置を示す。地図情報レベル 2500 は地図情報レベル 5000 を 4 分割した大きさとなるため、図郭名の桁数が増えている。

国土基本図図郭は平面直角座標系を用い、各平面直角座標系の原点からの長さ (m) を基準にして区切

っている。

電子基準点：

国土地理院が管理する測量における基準点。全国約 1、300 ヶ所に設置され GNSS による連続観測を実施している。電子基準点を用いることで、測量作業の効率化が図れる。

点群データ：

航空レーザ計測データの照射角、ジャイロ回転角、加速度、空中 GNSS 情報および地上 GNSS 情報を統合させて得られたレーザ計測点の三次元座標データ。

オリジナルデータ：

点群データから調整点成果を用いて点検・調整をした三次元座標データ。地表面と地物より反射されたすべてのレーザ計測点が含まれるランダム点群。雲等で反射された計測点は除去している。

調整点：

点群データの点検および調整を行うための計測点。

トータルステーション：

現在、あらゆる測量の現場で最もよく使用されているものである。距離を測る光波測距儀と、角度を測るセオドライトとを組み合わせたものであり、従来は別々に測量されていた距離と角度を同時に観測できる。これによって、観測により得られた角度と距離から新点の平面的な位置情報を容易に求められる。

また、マイコン機能と液晶画面を内蔵しており測量結果を自動的に記憶できるので、モバイルパソコンやプロッタなどを組み合わせてシステム化することで、観測から計算、帳票作成、地形図の編集までを効率よく行い、測量工程の大幅な省力化が可能である。調整点の計測に用いる。

レベル（水準儀）：

地面の高低差の測定や、水準測量をする場合に用いられる機器で以下の 2 種類を想定している。

自動レベル（オートレベル）：視準線を水平にするための自動補正装置を内蔵しているレベルのことで、レベル本体が完全に水平でなくても視準線を水平に保つことが出来る。

電子レベル（デジタルレベル）：バーコードなどのパターンが印刷してある特殊な標尺を用いて目盛の読み取りを自動にしたもの。調整点の計測に用いる。

ファーストパルス／ラストパルス：

照射したレーザ光は、樹木や地表面で反射する。樹木等の最初に反射してくる光をファーストパルス、地表面で最後に反射するものをラストパルスという（図 1.7）。

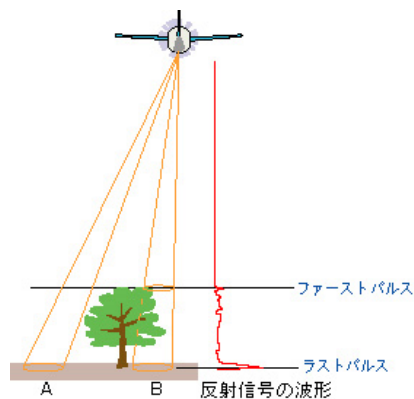


図 1.7 ファーストパルス/ラストパルスの模式図²⁾

DSM :

数値表層モデル (Digital Surface Model) の通称。オリジナルデータを等間隔の正方形に区切り、それぞれの正方形に中心点の標高値を持たせたデータ。正方形内の最大値を中心点に与える算出手法や内挿補間により中心点の高さを求める手法がある。また、ファーストパルスのみを用いて算出することもある。正方形の一辺の長さを格子間隔という。鉄塔・送電線・電線等を除く場合もあるが、本ガイドラインではこれらを含めたデータをいう。

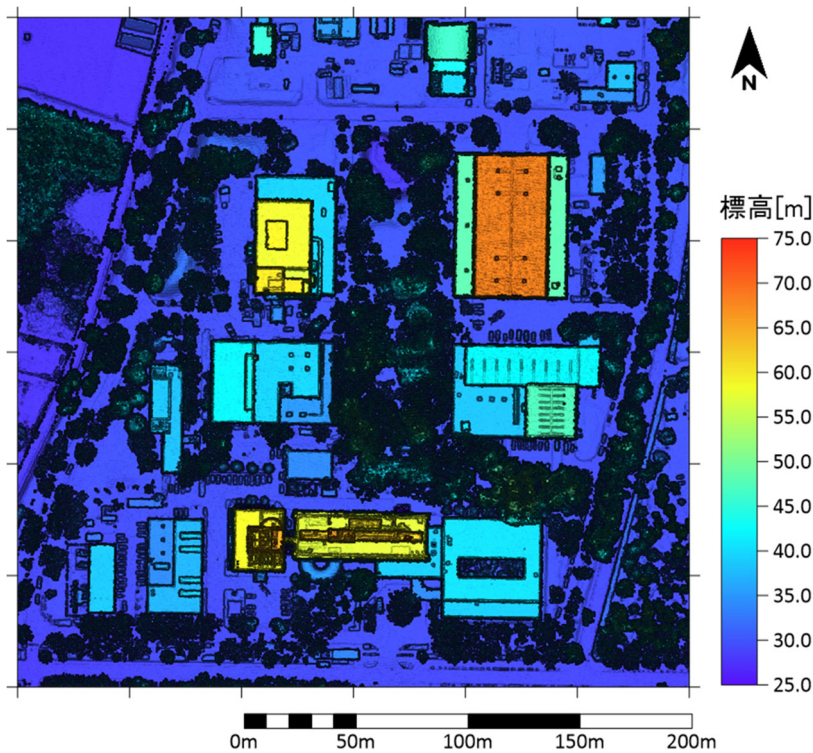
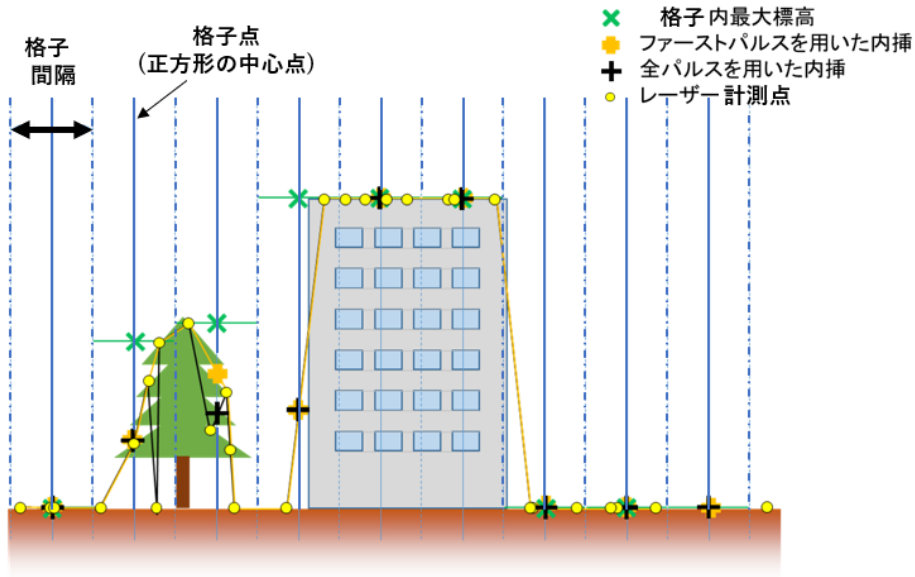


図 1.8 DSM による建築物屋根面の表現

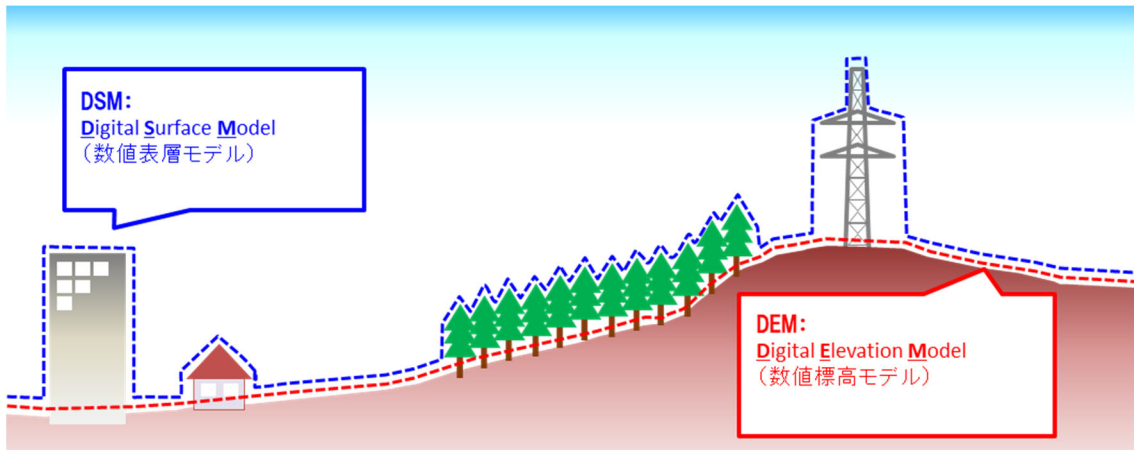


図 1.9 DSM・DEM イメージ

フィルタリング：

オリジナルデータから、地表面以外のデータを取り除く処理。

グラウンドデータ：

オリジナルデータから、フィルタリングによって地表面以外のデータを取り除いた三次元座標データ。

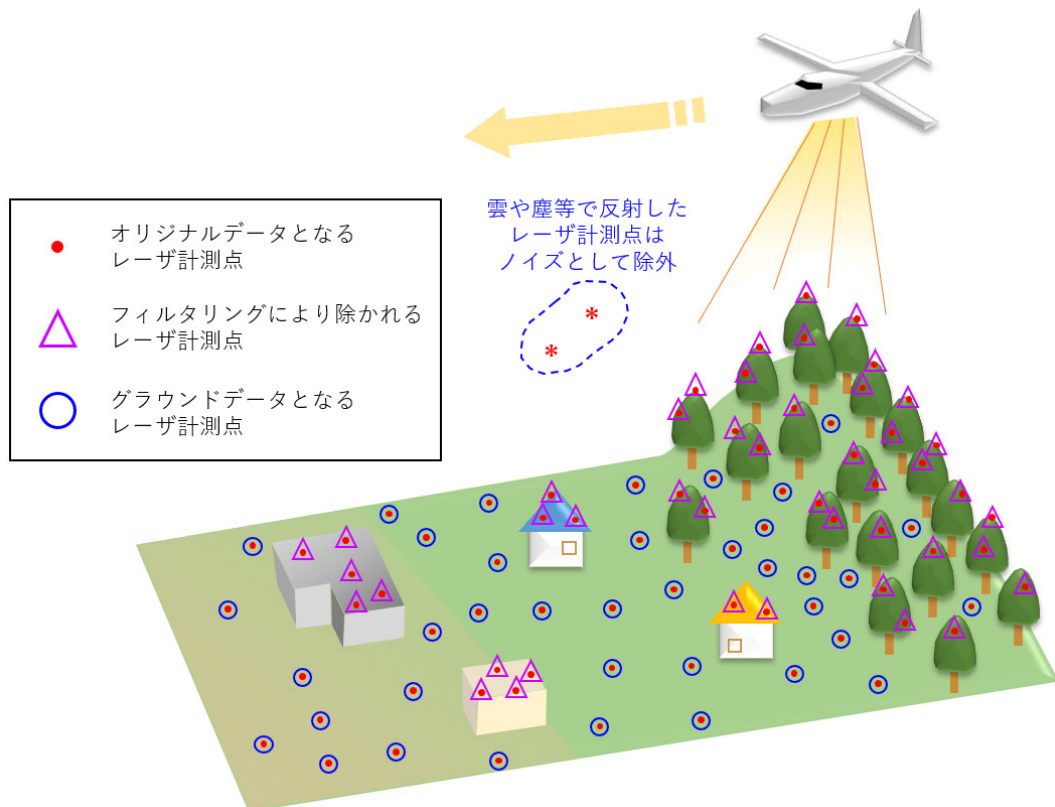


図 1.10 レーザ計測点イメージ

TIN：

不規則三角形網 (Triangulated Irregular Network) の通称。ランダムに配置されたレーザ計測点を結んで作成する三角形の網からなるモデル。ランダム点群である三次元座標データから格子状のデータを作成する際の内挿補間手法の 1 つで、オリジナルデータから DSM を、グラウンドデータから DEM を作成

する際に多く用いられる。

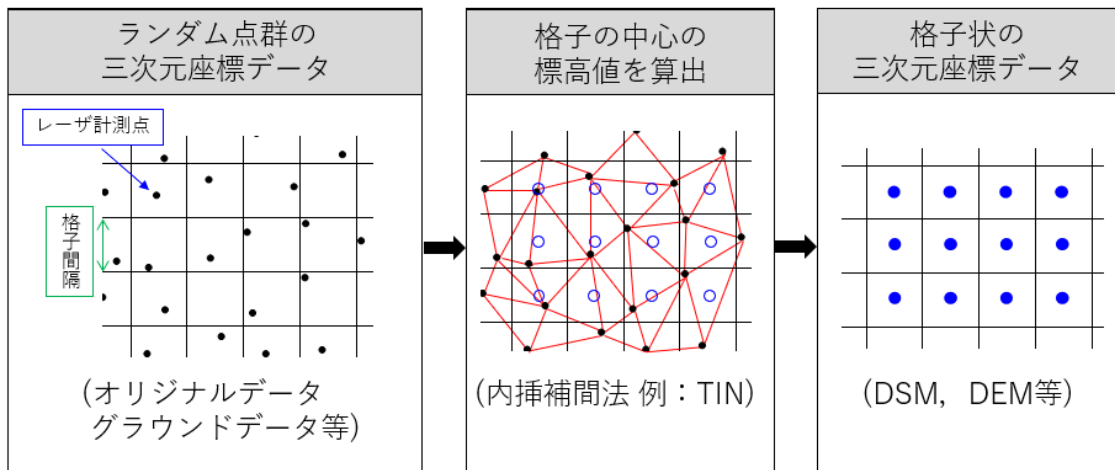


図 1.11 TINによるランダム点群の格子化イメージ

オルソフォト画像：

中心投影で撮影された写真などを数値化し、外部標定要素と地表面標高のみからなる DEM を使って正射投影に変換した画像。標高の違いや中心投影に伴う被写体の幾何学的な歪みが補正されており、地理座標を持ったあらゆる地図データに重ね合わせることができる。デジタルオルソと呼ばれることもあるが、本ガイドラインではオルソフォト画像と呼ぶ。

倒壊：

建築物全体が地震等で倒れて壊れること。

崩壊：

建築物全体または建築物の一部が地震等で崩れて壊れること。

建築物の傾斜：

不同沈下により建築物の平面上に生じた傾き。本ガイドラインでは被災後の被災前と比較した傾きをいう。

不同沈下：

建築物に生じた不揃いな沈下。均等な沈下と異なり、建築物に傾きが生じる。

屋根面：

建築物を上空から水平投影した際の投影面。航空レーザ計測で点群が照射される面。

長手方向：

屋根面を示す長方形の距離の長い方向。

1.4 計測および崩壊建築物の分布把握手法

(目的)

本節では、計測データを用いた崩壊建築物の分布把握の概要および計測に関連する情報として、関係法令や実施体制、使用機器などについて示す。

(データ計測・崩壊建築物の分布把握の流れ)

本ガイドラインで規定する航空レーザ計測・崩壊建築物の分布把握の流れは以下の通りである。

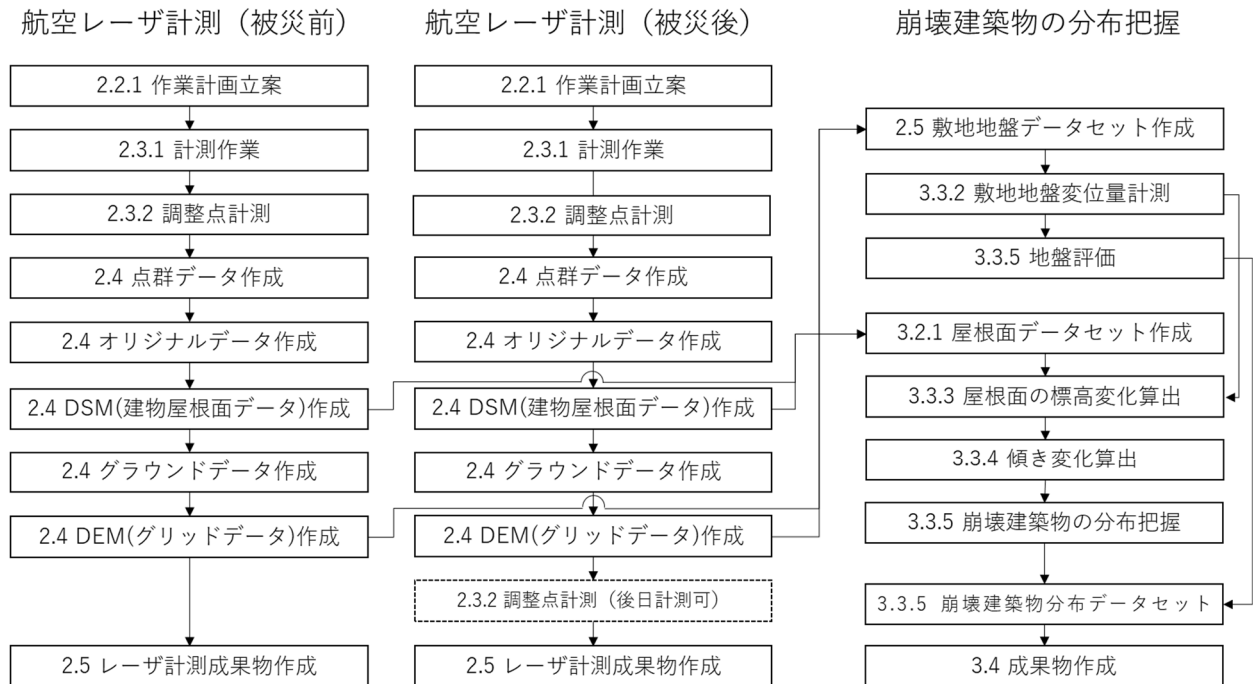


図 1.12 本ガイドラインで規定する崩壊建築物の分布把握の流れ

(作業規程の準則の運用)

本ガイドラインに定めるもの以外は作業規程の準則を準用する。

※令和 5 年 3 月 31 日の「作業規程の準則」の一部改正（令和 5 年国土交通省告示第 250 号）

(関係法令等)

計測は、下記の関係法令等に準拠して行うものとする。関連法令等が履行期間中に変更（更新）となった場合は、最新版を適用するものとする。ただし、発注者の承諾を得た場合、あるいは、指示を受けた場合はこの限りではない。

- (1) 測量法（令和 4 年 6 月改正）及び測量法施行規則（令和 5 年 2 月改正 国土交通省）
- (2) 航空法（令和 2 年 9 月改正）及び航空法施行規則（令和 2 年 9 月改正 国土交通省）
- (3) 応急危険度判定マニュアル（日本建築防災協会：1998 年 6 月 1 日（第 1 版））
- (4) その他関係法令、規則、通達等

(実施体制)

作業機関は、計測作業を円滑かつ確実に実行するため、適切な実施体制を整えなければならない。

作業機関は、作業計画の立案、工程管理および精度管理を総括する者として、主任技術者を選任しなければならない。

前項の主任技術者は、本ガイドラインで求める計測の高度な知識と十分な実務経験を有する者でなければならない。

計測に従事する作業者は、使用機器を適切に用いて計測を実施できる者でなければならない。

(安全の確保)

作業機関は、特に現地での計測作業において、作業者の安全の確保について適切な措置を講じなければならない。

(作業計画)

作業機関は、作業着手前に作業の方法、使用する主要な機器、要員、日程等について適切な作業計画を立案し、これを計画機関に提出して、その承認を得なければならない。作業計画を変更しようとする場合も同様とする。

(工程管理)

作業機関は、前条の作業計画に基づき、適切な工程管理を行わなければならない。

(精度管理)

作業機関は、計測の正確さを確保するため、適切な精度管理を行い、その結果に基づいて精度管理表を作成し、これを計画機関に提出しなければならない。

作業機関は、各工程別作業の終了時、その他適切な時期に所要の点検を行わなければならない。

(使用機器)

ここで用いる機器は以下の性能を満たすこととする。

1. 航空レーザ計測システム

- ・ レーザ測距装置のシングルパルスの最大発射パルス頻度がメーカー公表値で 10 万発/秒以上の機能を有すること。
- ・ デジタルカメラを同時搭載し、1800 万画素以上で R G B 画像が取得できること。

2. 航空機搭載の GNSS アンテナおよび GNSS 受信機

- ・ GNSS アンテナは、航空機の頂部に確実に固定できること。
- ・ GNSS 観測データを 1 秒以下の間隔で取得できること。
- ・ 2 周波で搬送波位相を観測できること。
- ・ キネマティック解析にて基線ベクトルの解析ができること。
- ・ 解析結果の評価項目を表示できること。

- ① 最少衛星数
- ② DOP 値

- ③ 位置の往復解の差（ルーズリーカップルド方式の場合）
- ④ 解の品質
- ⑤ 位置の標準偏差の平均値と最大値

・GNSS 測量機は次表に掲げるもの又はそれ以上の性能を有すること。

項目	性能
水平成分	0.3m
高さ成分	0.3m

3. IMU

・IMUは、センサ部のローリング、ピッチング、ヘディングの3軸の傾きおよび加速度が計測可能で、解析結果の標準偏差およびデータ取得間隔が次表に掲げるもの又はそれ以上の性能を有すること。

センサ部	性能
ローリング	0.015 度
ピッチング	0.015 度
ヘディング	0.035 度
データ取得間隔	0.005 秒

・IMUは、レーザ測距装置に直接装着できること。

4. レーザ測距装置

- ・ファーストパルスおよびラストパルスの2パルス以上計測できること。
- ・スキャン機能を有すること。
- ・眼等の人体への悪影響を防止する機能を有していること。
- ・安全基準が明確に示されていること。

表 1.2 レーザの安全基準 IEC 60825-1 : 2001 (JIS C 6802:200X) ⁵⁾

クラス 1	ルーペや双眼鏡を使用してレーザを集束させても安全。最大許容露光量を超えないレーザ。最大許容露光量とはレーザ光が眼に入ったり、皮膚に当たったりした時に許容できる安全なレベルのことをいう。
クラス 1M	裸眼では安全。波長 302.5~4000nm のレーザで光学機器(望遠鏡)を使用した場合は危険。
クラス 2	波長 400~700nm の可視光が対象。0.25 秒以下の露光制限。可視光レーザが目に入射した場合でも反射的に目を閉じる時間内(0.25 秒)であれば安全。
クラス 2M	クラス 2 で裸眼は安全と設定されたもの。つまり、光学機器を使用してビーム内観察することは潜在的に危険になるレーザ。
クラス 3R	波長 302.5~10 ⁶ nm のレーザ。光学機器を用いてビーム内を観察すると危険。裸眼では安全。パワーはクラス 1、2 の 5 倍だが、クラス 3B より小さい。大口径ビームや発散角レーザビームが当てはまる。
クラス 3B	裸眼によるビーム内観察は危険。直接光を見たり触れたりすると危険なレベル。拡散反射光は安全。
クラス 4	直接光でなく散乱光でも危険な高パワーレーザ。目に障害を与えるだけでなく、皮膚に損傷を与え、火災を発生させる危険性あり。

5. 三次元位置算出解析ソフトウェア

- ・レーザ計測点の三次元位置が算出できること。

(成果および資料等の様式)

本ガイドラインにおける計測の成果、資料等は標準的な様式で作成するものとする。
標準様式は公共測量作業規程によるものとする。

第2章 航空レーザ計測

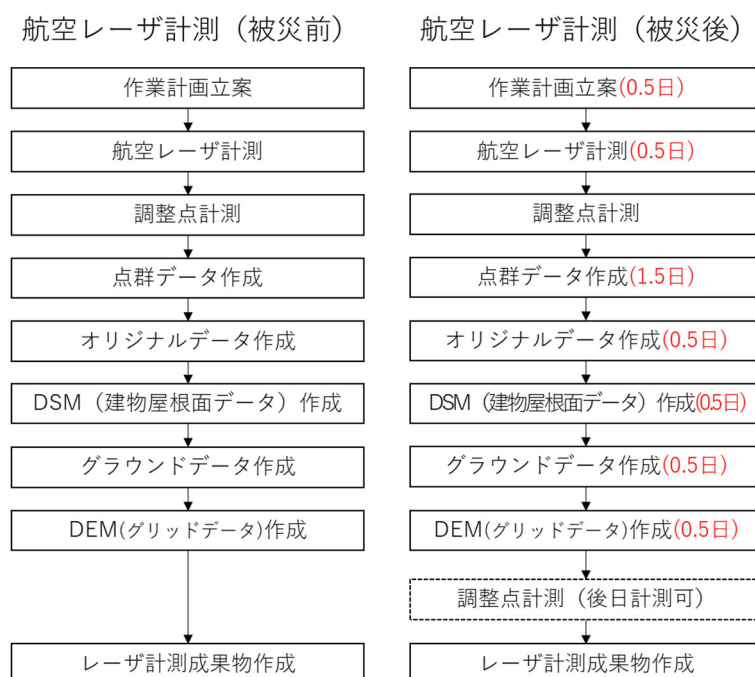
2.1 概説

(要旨)

建築物の崩壊分布を把握するために実施すべき航空レーザによる被災前、被災後の計測作業および計測成果を用いたグリッドデータや三次元点群データの作成作業について定める。

(航空レーザ計測の流れ)

本ガイドラインで規定する航空レーザ計測の流れは以下の通りである。



- ・赤字は計測範囲 100km²とした場合の作業日数の目安。投入可能な作業リソースにより変化する。
- ・グラウンドデータ作成は、機械による自動フィルタリングのみの場合とした
- ・航空レーザ計測は滞留を考慮しない値とした

図 2.1 航空レーザ計測の流れ

被災後すぐに計測を実施するために、調整点を後日計測としても良い。崩壊建築物の分布把握は水平位置の変位を補正した後に実施するため調整点のデータが無くても評価可能な手法としているが、以降の災害時に被災前データとして利用する際の精度を高めるため、調整点は後日計測することとしている。

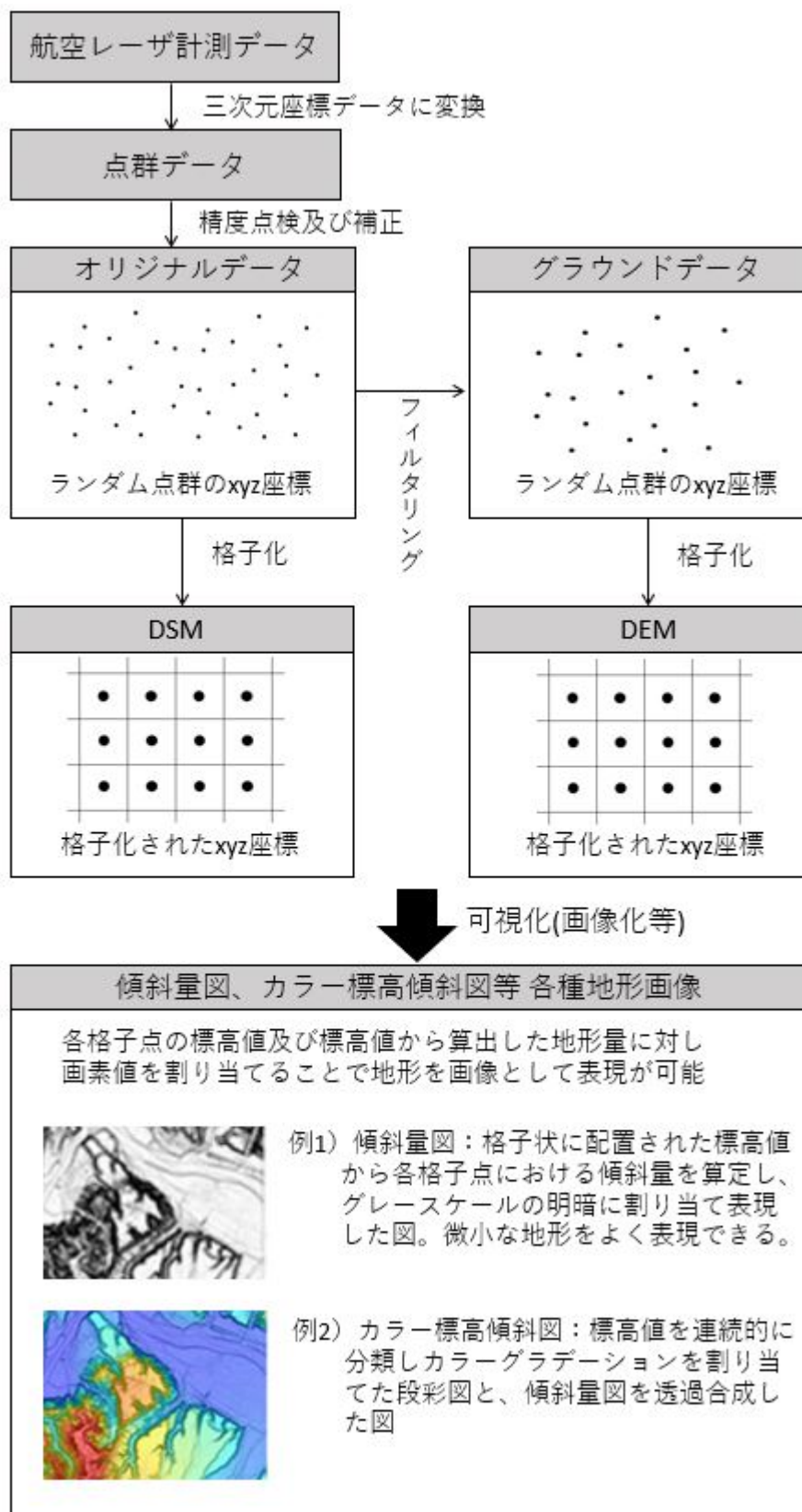


図 2.2 航空レーザ計測データ処理の流れ

2.2 計測のための準備作業

2.2.1 作業計画立案

(作業計画)

作業計画は第1章1.4の規定によるほか、工程別に作成するものとする。

なお、使用する IMU およびレーザ測距装置は6ヶ月以内にボアサイトキャリブレーションを行ったものを用いるものとし、計測前にキャリブレーション結果を計画機関に報告する。

2.3 計測作業

2.3.1 計測作業

(航空レーザ計測作業)

航空レーザ計測作業とは、航空レーザ計測システムを搭載した航空機にて、対象地域の崩壊建築物の分布把握に用いる地表面の三次元座標データを取得する作業をいう。

- ・ 計測密度は、4点/m²以上に設定する。
- ・ レーザスキャナの位置を連続キネマティック GNSS 計測で求めるため、地上の GNSS 基準局を選点し、レーザ計測との同時観測を行う。なお、GNSS 基準局として電子基準点を用いることができる。

<解説>

計測密度を4点/m²とするためグリッドデータの格子間隔を0.5mとして計画する。点群データ間隔は0.33~0.45mとなる。

GNSS 計測は、次のとおり行うものとする。

- ・ 固定局(GNSS 測量機を設置する観測点)および航空機上の GNSS 観測のデータ取得間隔は1秒以下とする。
- ・ GNSS 観測結果等は、GNSS 衛星の配置等を記載した手簿、記簿等の資料、基線解析結果等を記載した精度管理表に整理する。
- ・ 計測密度は航空機の高度や速度、レーザ測距装置のスキャン角度やスキャン回数などの計測諸元により決まる(図2.3)。

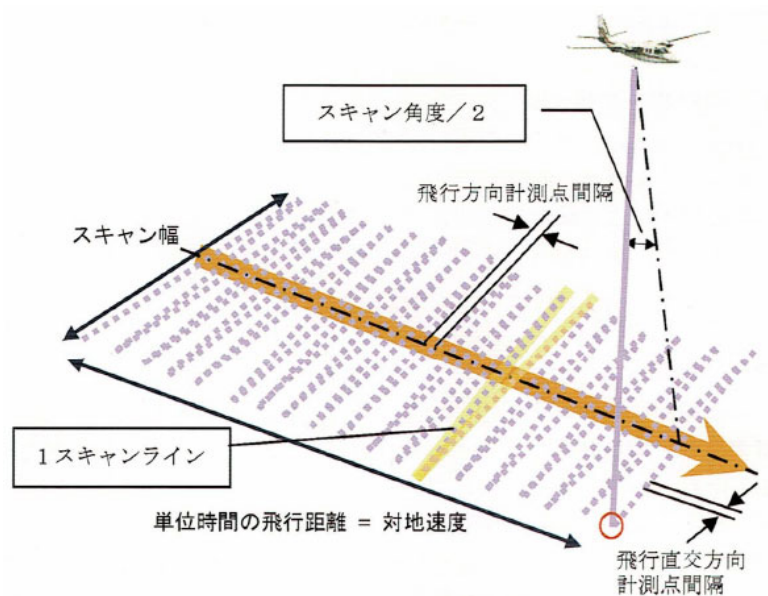


図 2.3 計測密度の概念図⁹⁾

2.3.2 調整点の計測

(調整点の計測)

点群データの座標値との標高誤差を調整するために使用する調整点を設置の上、トータルステーションやレベル（水準儀）、GNSS 測量機等を用いて位置座標の計測を行う。調整点は原則として道路などの広く平坦な箇所に設置するものとし、設置点数は 25 k m²に 1 点以上とする。

被災後の計測において、測量エリア内に過年度の調整点を入手でき且つ同一箇所が計測できる場合においては、1 点でも計測する。

<解説>

- ・ 隣接する計測区域と重なる調整点を計画し、計画機関職員もしくは発注者の承認を得るものとする。
- ・ 地形状況により、設置が不可能であると判断された場合は、計画機関職員と協議の上で計測区域外に設置を認めることとする。
- ・ 被災後の計測では、速やかな崩壊建築物の分布把握のため、調整点計測を実施せずに作成したデータを速報値として提供しても良い。その場合、調整点計測は後日に実施し、最終成果はデータ調整を行った計測成果とする。

2.4 データ処理作業

(点群データ作成)

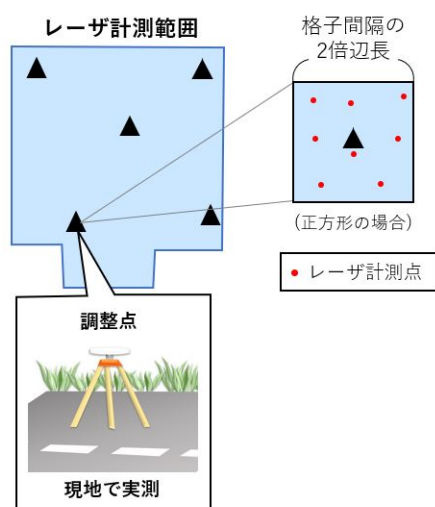
航空レーザ計測で取得したデータの照射角、ジャイロ回転角、加速度、空中 GNSS 情報および地上 GNSS 情報を統合させ、各計測ポイントの 3 成分 (XYZ) を解析し点群データを作成する。計測データについて、調整点との標高較差の比較点検および計測コース間の標高較差の比較点検を以下のように行い、規定値を超える場合は是正処置を講ずるものとする。

[調整点との比較点検]

- 調整点と比較する点群データは、計測点間隔と同一半径の円又は2倍辺長の正方形内の計測データを平均したものとする
- 各調整点において調整点と点群データとの較差を求め、その平均値と RMS 誤差を求める
- 全ての調整点において点群データの平均値との較差を求め、その平均値との RMS 誤差を求める

※ 是正処置を講じる基準

- 各調整点における点検の結果、較差の平均値の絶対値が 25cm 以上又は RMS 誤差が 30cm 以上の場合
- 全ての調整点での点検の結果、較差の平均値の絶対値が 25cm 以上又は RMS 誤差が 25cm 以上の場合



枠内に存在する点群データの標高値(h_i)と調整点の実測値(H)との較差($\Delta H_i = H - h_i$)から較差の平均値(m)、RMS誤差を算出

$$m = \sum_{i=1}^n \Delta H_i / n \quad RMS = \sqrt{m^2 + \sigma^2}$$

n : 枠内のレーザ計測点の数
 σ : 標準偏差

⇒ **較差の平均値の絶対値が25cm以上
又はRMS誤差が30cm以上なら是正**

各調整点において調整点の実測値と枠内に存在する点群データの標高の平均値との較差を算出、全ての調整点における較差の平均値、RMS誤差等を算出

⇒ **較差の平均値の絶対値が25cm以上
又はRMS誤差が25cm以上なら是正**

図 2.4 調整点を用いた点群データの点検

[コース間標高値の点検]

- 隣接するコースの重複部分に点検箇所を選定する
- 重複コースごとの各コースの点検箇所の標高値の較差を求め、較差の平均値を求める

※ 是正処置を講じる基準

- 重複コース毎の標高の較差の平均値の絶対値が 30cm 以上の場合

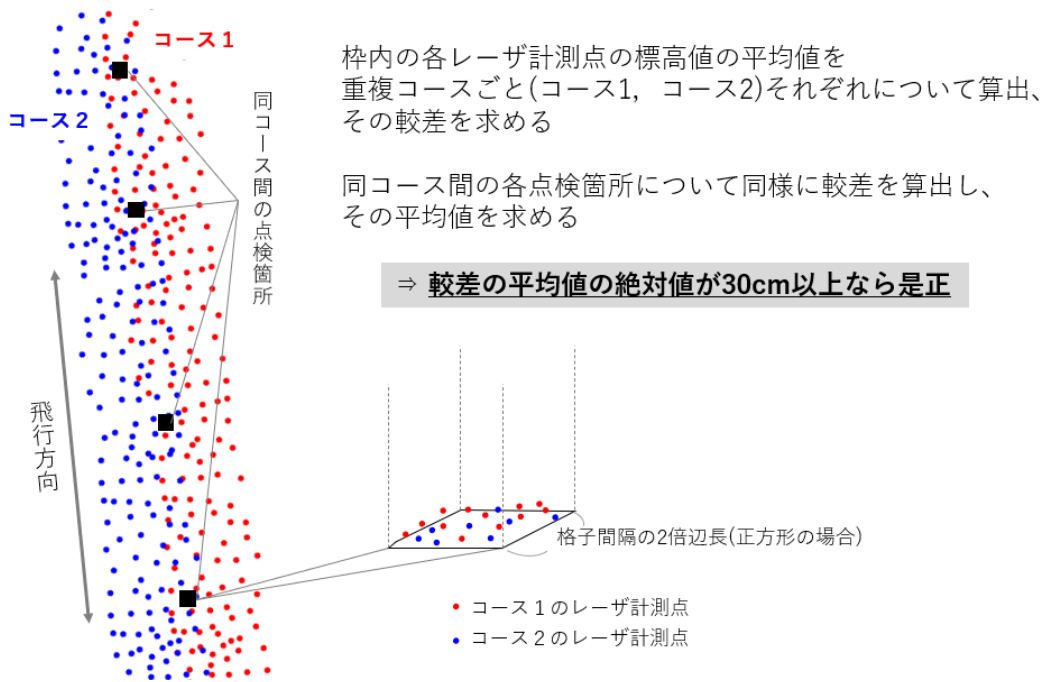


図 2.5 コース間標高値の点検

(オリジナルデータ作成)

オリジナルデータ作成は、点群データから調整点成果を用いて点検、調整した三次元点群データを作成する作業をいう。

- ・ オリジナルデータは 1/2, 500 国土基本図図郭 (2km×1.5km) 又は 1/2500 国土基本図郭の 1/4 図郭 (1 km×0.75 km) 毎に作成する。
- ・ データ形式はテキスト形式に加え、LAS 形式とする。フォーマットは LASver1.0 以上とする。
- ・ テキスト形式は、X、Y、Z をカンマ区切りで記録した CSV 形式 (メッシュ構造)、および XYZ をスペース区切りで記録したテキスト形式とする。
- ・ X、Y、Z 座標の記録する単位は m とし、小数点以下 2 桁まで表示すること。
- ・ 航空レーザ計測で同時に取得したデジタル空中写真から、航空レーザ用写真地図データ (地上画素寸法 25~50cm/pixel) を作成する。

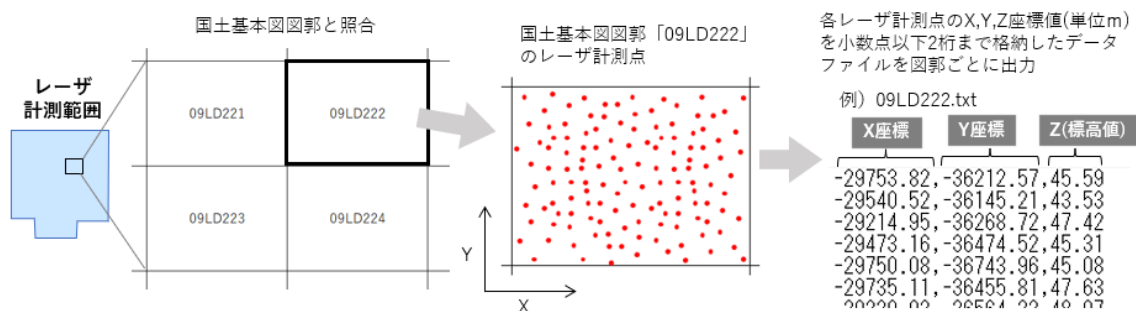


図 2.6 オリジナルデータのファイル形式のイメージ

(DSM 作成)

DSM 作成は、オリジナルデータを用いて、評価対象となる建築物屋根面を含む数値地表面モデルを作成

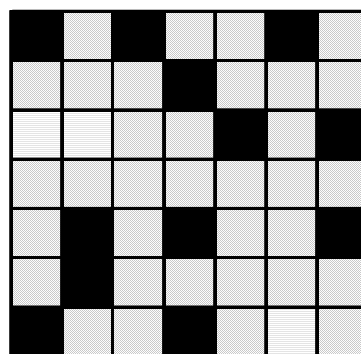
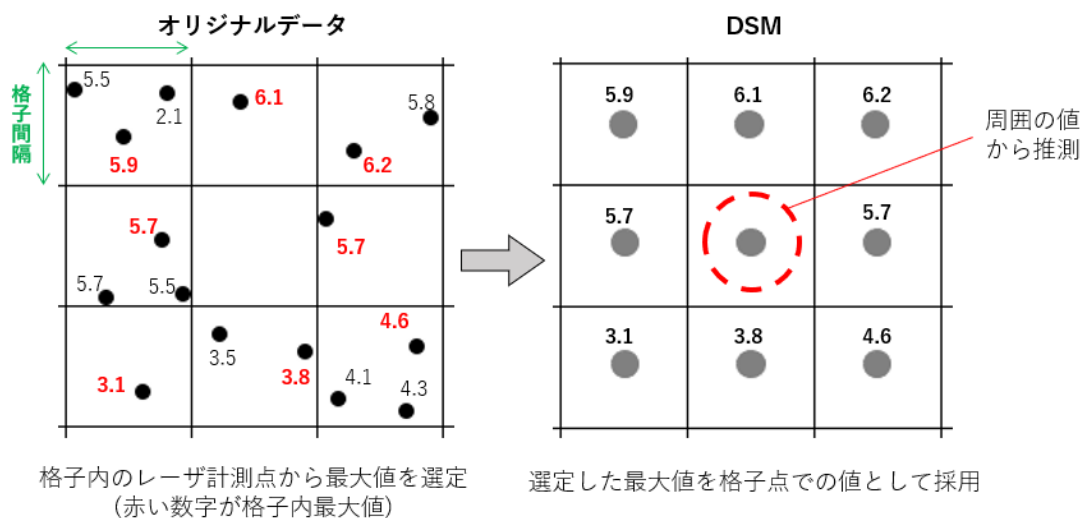
することをいう。

作成する DSM の格子間隔は、被災前計測密度が 1 点/㎡程度であれば 1m、4 点/㎡以上であれば 0.5m とする。

本ガイドラインで作成する DSM は、迅速なデータ作成を考慮し、鉄塔・送電線・電線等なども含んでも良いものとする。

<解説>

- ・ DSM の作成は格子内に位置する点群データ標高値の最大値を格子中心点の座標とすることを基本とするが、全ての点群を用いて TIN 等による内挿補間等によって作成しても良い。
- ・ 格子内の最大値を用いて DSM を作成した場合、格子内に点群が存在しない格子では周囲の値から内挿する。
- ・ 内挿処理は陸域の格子に標高データが与えられるまで繰り返す。
- ・ データ形式は、X、Y、Z をカンマ区切りで記録した CSV 形式（メッシュ構造）、および XYZ をスペース区切りで記録したテキスト形式とする。
- ・ X、Y、Z 座標を記録する単位は m とし、小数点以下 2 桁まで表示すること。



- データの存在した格子
- 1回目の処理で補間される格子
- 2回目の処理で補間される格子

図 2.7 最大値を採用した DSM 作成方法のイメージ

(グラウンドデータ作成)

グラウンドデータ作成とはオリジナルデータからフィルタリング処理を行い、地表面のデータを作成する作業をいう。フィルタリングには機械的に地物を判別する自動フィルタリングと、技術者が目視による判別をする手動フィルタリングがある。

- ・ グラウンドデータは地盤変動の影響を考慮する必要がある場合に作成する。
- ・ 自動フィルタリングを行い、その後に手動フィルタリングを行う。
- ・ 手動フィルタリングでは陰影図などの地形表現手法で地盤面形状の確認を行い精度向上に努めるものとする。
- ・ データ形式は、X、Y、Z をカンマ区切りで記録した CSV 形式（メッシュ構造）、および XYZ をスペース区切りで記録したテキスト形式とする。
- ・ X、Y、Z 座標の記録する単位は m とし、小数点以下 2 桁まで表示すること。

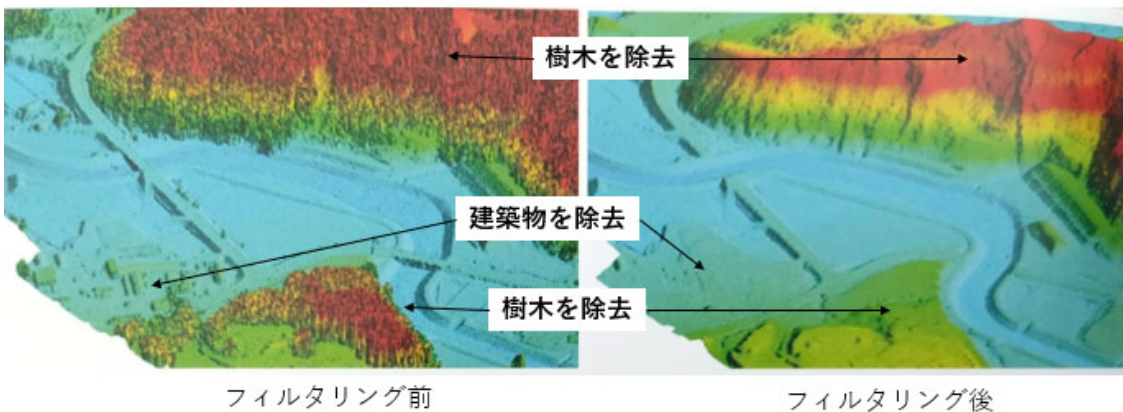


図 2.8 フィルタリングによる地物の除去 ¹⁰⁾に加筆

(DEM 作成)

DEM 作成は、グラウンドデータから内挿補間により格子データを作成する作業をいう。

- ・ データ形式は、X、Y、Z をカンマ区切りで記録した CSV 形式（メッシュ構造）、および XYZ をスペース区切りで記録したテキスト形式とする。
- ・ X、Y、Z 座標の記録する単位は m とし、小数点以下 2 桁まで表示すること。
- ・ DEM は地盤変動の影響評価に用いる。

<解説>

- ・ 作成する DEM の格子間隔は、被災前計測密度が 1 点/m²程度であれば 1m、4 点以上であれば 0.5m とする。

(成果データファイル作成)

成果データファイル作成とは、下記の航空レーザ計測による成果データファイルを作成するとともに、計画機関の定める製品仕様書に基づき作業記録、品質評価表、メタデータ等を作成する作業をいう。

- ① オリジナルデータ
- ② DSM

- ③ グラウンドデータ（必要な場合）
- ④ DEM（必要な場合）
- ⑤ 航空レーザ用写真地図データ
- ⑥ 位置情報ファイル
- ⑦ 格納データリスト

2.5 成果物について

（航空レーザ計測成果品）

- ① 成果データファイル
 - a. オリジナルデータ（LAS Data を含む）
 - b. DSM
 - c. グラウンドデータ（必要な場合）
 - d. DEM（必要な場合）
 - e. 航空レーザ用写真地図データ
 - f. 位置情報ファイル
 - g. 格納データリスト
- ② 作業記録・精度管理表
- ③ 品質評価表
- ④ メタデータ

<解説>

- ・ 点群データファイルは、発注者が示す仕様にしたがって作成するものとする。
- ・ 被災後の DSM は被災前と同じ手法で作成する。被災前の DSM の作成方法が不明な場合は、同一手法で再作成を行うものとする。
- ・ 固定局として利用する予定の電子基準点が地震による地殻変動の影響を受け、補正情報等が間に合わない場合、補正等を行う必要は無いが、その旨が分かる資料を添付する。
- ・ 本成果物は、通常の公共測量に規定された航空レーザ計測成果物から本ガイドラインに必要なものを抽出したものである。
- ・ 納入する成果は、検定機関の検定を受けることができるため、発注者は必要に応じ仕様に含めることができる。
- ・ 航空レーザ測量の成果の検定は令和 5 年 1 月現在、以下の検定機関で受けることができる。
（公社）日本測量協会、（一財）日本地図センター、（公社）全国国土調査協会、（公財）日本測量調査技術協会（正会員を除く）

第3章 航空レーザから得られる点群を用いた崩壊建築物の分布

把握のための評価

3.1 概説

被災後における復旧活動に資するため、人の判断を介さず崩壊建築物の分布を迅速に算定することを目的としており、そのための建築物全体の均一な沈下や傾斜の算定方法を示す。なお、被災後に速やかな崩壊建築物の分布把握を実施するためには、計測前に被災前の航空レーザ計測データを用いて評価のためのデータセットを事前に作成しておくことが必要である。

3.2 被災前に実施する崩壊建築物の分布把握のための評価手順

3.2.1 屋根面データセット作成

(目的)

被災前の崩壊建築物の分布把握のための評価では被災後計測実施後に分布が把握可能な屋根面を特定することを目的とする。

(評価対象建築物屋根面の特定)

評価対象建築物屋根面の特定とは、崩壊建築物の分布把握のための評価をするための建築物屋根面を特定することをいう。

<解説>

- ・ 国土地理院から国土基盤情報として提供されている建築物の水平位置を示す建築物屋根面データを用いても良い (図 3.1)。
- ・ 建築物屋根面は、DSM と DEM の差である建築物高から特定してもよい (図 3.2)。
- ・ 建築物当りのレーザ計測点が 4 点/m² 以上の建築物を崩壊建築物の分布把握のための評価対象とする。

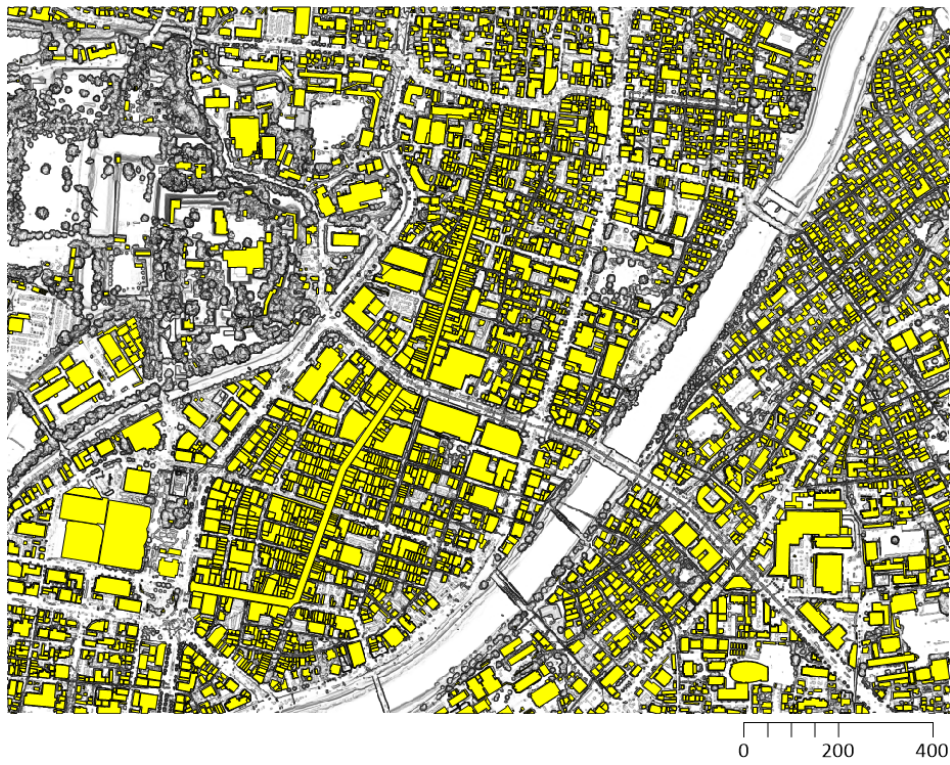
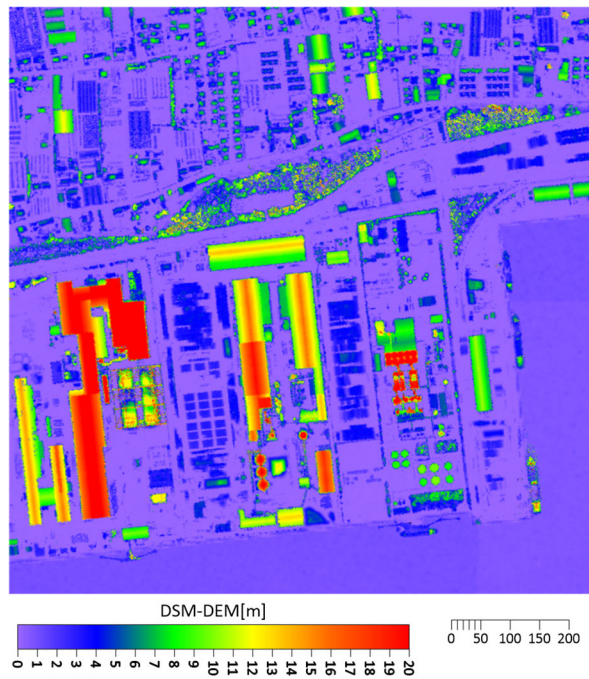


図 3.1 国土基盤情報による建築物屋根面抽出



DSM-DEM 分布図：建築物屋根面を抽出できる閾値を設定することで屋根面を推定可能

図 3.2 建築物屋根面抽出例

3.3 被災後に実施する建築物の崩壊建築物の分布把握のための評価手順

3.3.1 評価対象建築物屋根面の特定

(評価対象建築物屋根面の特定)

評価対象建築物屋根面の特定とは、崩壊建築物の分布把握のための評価をするための建築物屋根面を特定することをいう。

特定手法は「3.2.1 評価対象建築物屋根面の特定」と同様とする。

<解説>

- ・被災前、被災後共にデータ点数が4点/m²以上となる建築物を崩壊建築物の分布把握のための評価対象とする。

3.3.2 敷地地盤変位量計測

(敷地地盤変位量計測)

敷地地盤変位量計測とは、地殻変動等による影響を除外するため、2時期の航空レーザ計測データを用いて地盤変位量を計測することをいう。

<解説>

被災前、被災後の2時期のDEMから傾斜量図などの微地形が表現可能な画像(以降「微地形画像」とする)を作成し、画像解析によって水平方向の変位量を算出する。

算出手順の例を以下に示す。

<算出手順例>

- 1 被災前後の微地形画像の作成
 - 2 被災前の任意の座標を基準点とし、その点から一定範囲(検査領域)の矩形画像を抽出
 - 3 被災後の画像における同じ座標を中心として検査領域の画像を検索する範囲(走査範囲)を設定
 - 4 被災前画像から取得された検査領域画像と相関が最も高い画像を被災後画像の走査領域内から検索する
 - 5 検査領域と最も相関が高い画像の座標の東西、南北方向の座標差を変位量とする
 - 6 2~5までの手順を画像の全領域に適用する
 - 7 マッチングが上手くいかず追跡できなかった箇所、および周囲と比較して突出した値となった箇所(水平方向の変位量の上位5%等)は、周囲のデータから内挿することにより変位量を算出する(図3.3)。
- ・検査領域の画像サイズは64×64ピクセルを基本とするが、地盤の変位を表していると思われる画像サイズを用いる。
 - ・検査間隔は5mを基本とする。

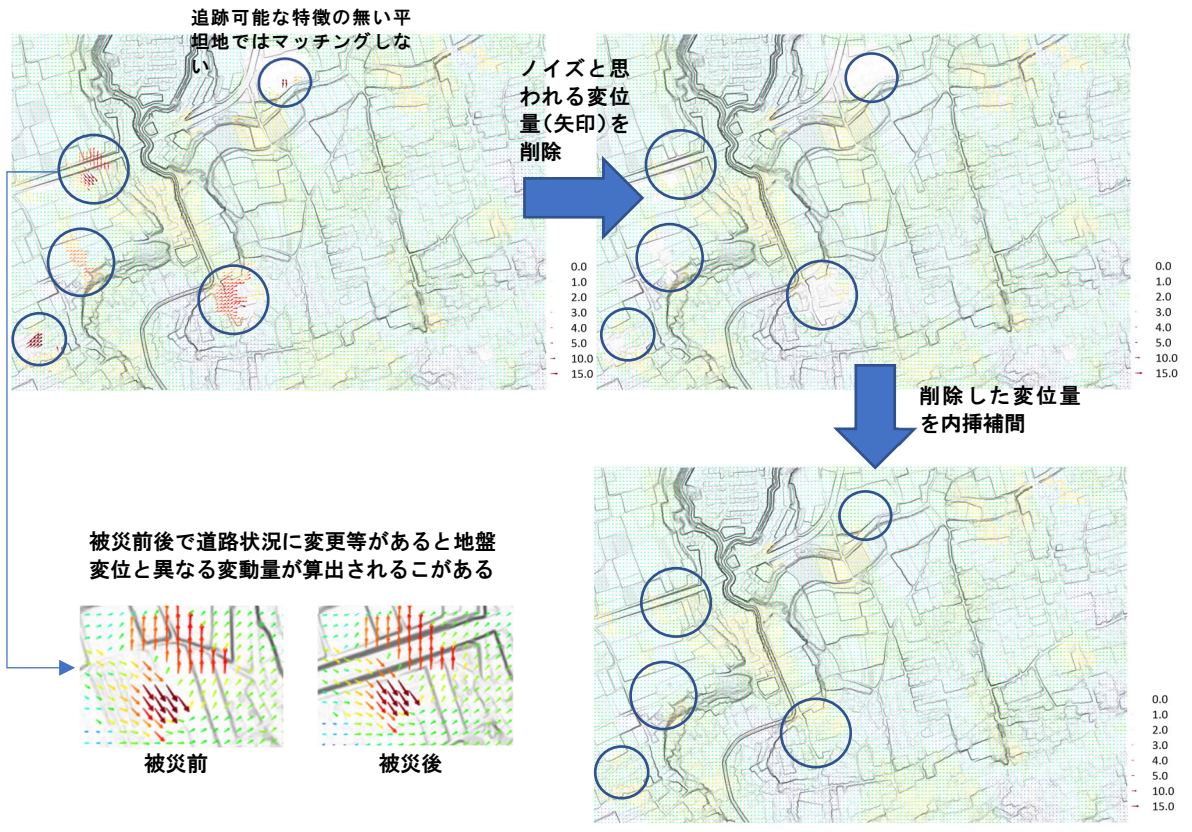


図 3.3 地盤変位量追跡での誤追跡の削除例

3.3.3 差解析による建築物屋根面沈下量計測

(差解析)

差解析とは被災前後の 2 時期の航空レーザ計測データから建築物の沈下量を標高変化から算出することをいう。

差解析実施には、同一建築物の同一箇所では差解析が実施できるよう、2 時期の地盤変動量を考慮して算出する。

<解説>

- ・地震により地殻変動が生じた場合、差解析結果には位置ずれの影響が含まれ建築物屋根面の正しい変化が示されない。差解析結果を斜面方位別に集計し、その傾向を分析することで地殻変動による影響の有無を判断することができる。位置ずれが認められる場合には、被災前のオリジナルデータに対し地殻変動による水平変位量分を水平補正し作成した DSM を用いて差解析を実施する。
- ・標高変化は屋根面内の点群データを用いて算出する。
- ・水平補正は差解析結果を確認し、斜面や屋根の異なる方位での差分の傾向が異なり、2 時期のデータ間に水平方向の位置ずれがあると考えられる場合に実施する。位置ずれの影響を受けた差解析結果には図 3.4 の①および②のような特徴が現れる。

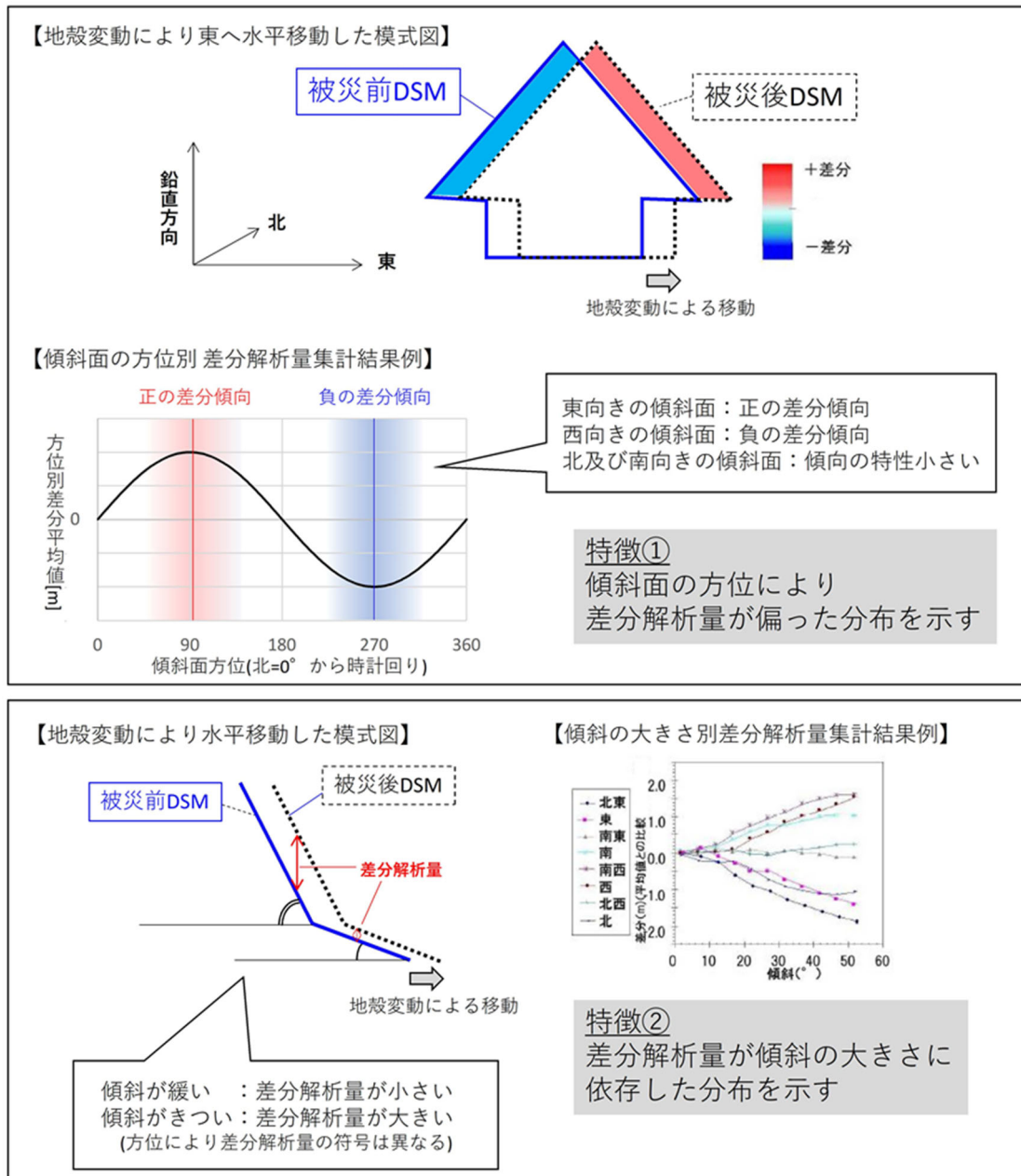
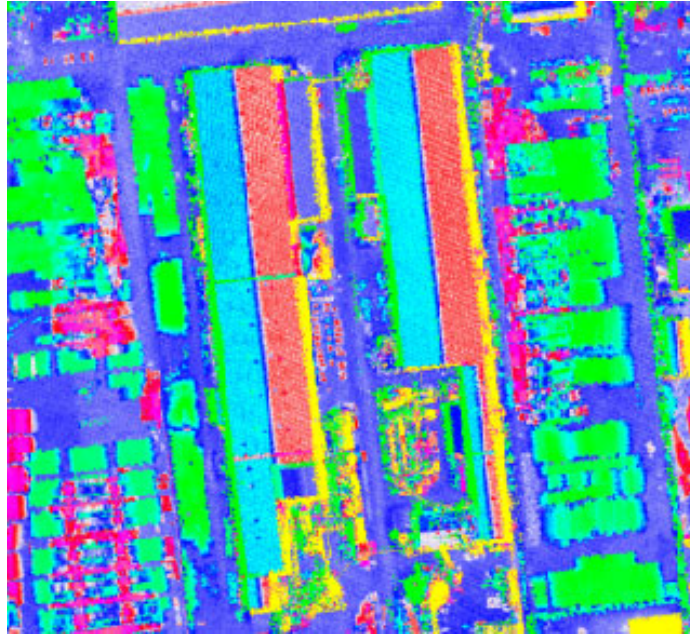
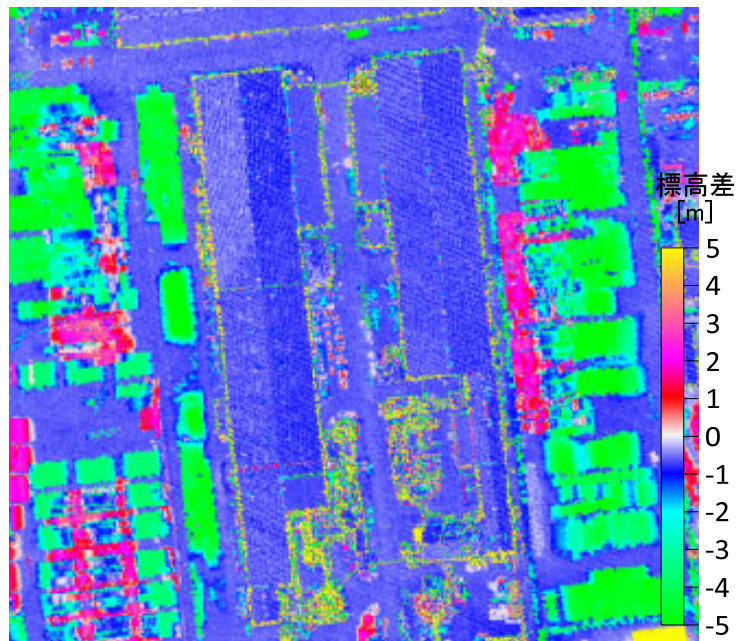


図 3.4 水平補正実施判断例

- 補正する水平変位量は「3.3.3 敷地地盤変位量計測」による手法を基本とするが、算出結果に局所的なノイズが出現する場合や、水平変位量が広域で一様と考えられる場合には、国土基本図図郭範囲などのまとまった範囲で補正を実施しても良い。
- DEM 作成前に崩壊建築物の分布を把握する場合には、個々の建築物屋根面データを用いて水平変位量を算出し補正しても良い。



水平補正「無」



水平補正「有」

補正無では建築物屋根の東西で標高差が大きく異なるが水平変位量を補正することにより、建築物の変化を計測することが可能となる。

図 3.5 水平補正の有無による建築物の標高差の違い

下図は水平位置補正前後の図郭単位での差分平均値である。水平位置に誤差が生じていた場合、差分平均値には方位特性が生じる。水平位置補正後に同様の集計を行うと方位特性が緩和される。方位別の差分平均値が 10cm 未満を目標に補正を実施する（図 3.6）。

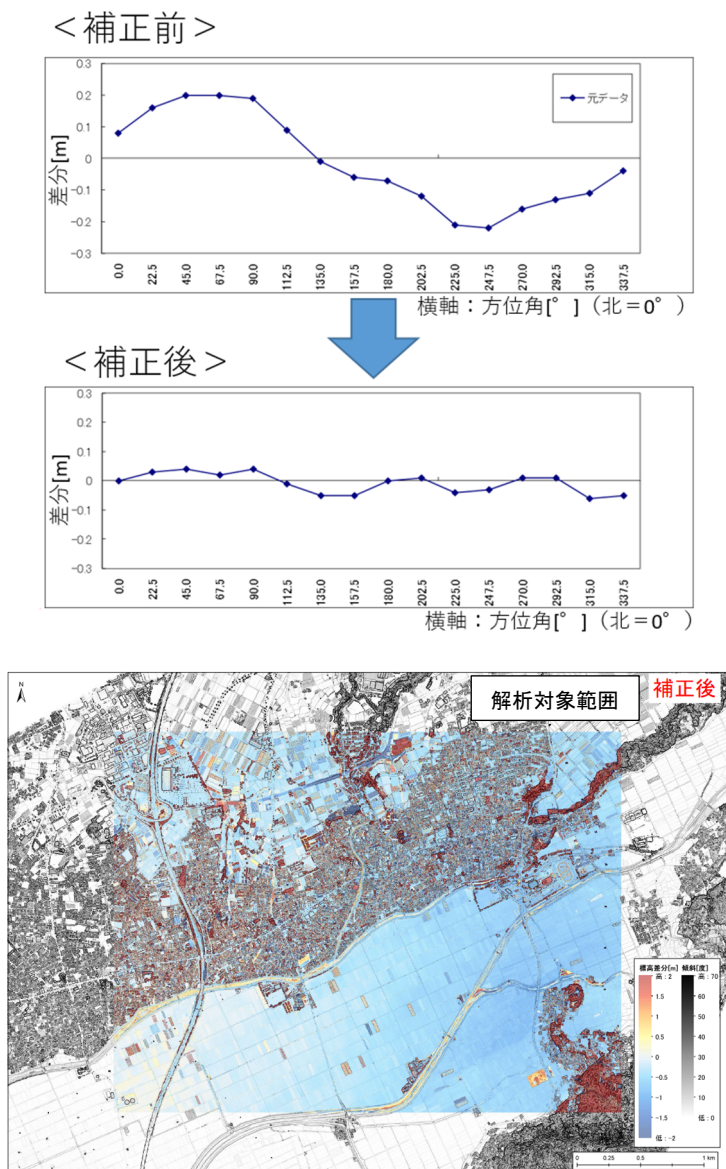


図 3.6 水平位置補正前後の方位別差分平均値
(熊本地震 益城町の例)

補正は、崩壊建築物の分布把握のために実施するもので、計測成果の修正は想定していない。地震により大きな地盤変動が生じ、国土地理院から補正情報が提供された場合には、その情報を被災後の計測データに適用することで、今後の災害時に被災前データとして活用することが可能となる。

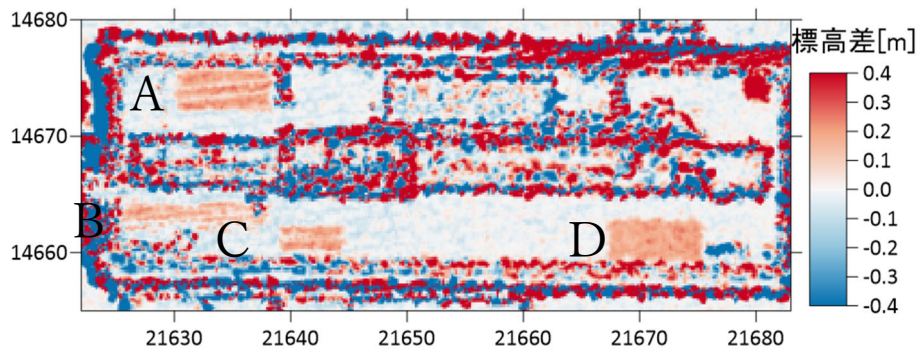






図 3.7 模擬損傷 (A~D) 配置時の航空レーザ計測による標高差検出結果

建築物屋上に模擬損傷 (表 3.1) を配置し、配置有、配置無の 2 時期で航空レーザ計測を実施した際の図 3.7 に示した標高差分布図 (損傷有-損傷無) では、模擬損傷が差分図に表現されている。

表 3.1 配置した模擬損傷諸元

	A	B	C	D
模擬 損傷				
大きさ	約 8m×3m	約 12m×2m	約 5m×2m	約 8m×3m
厚さ	11~62mm	12~22mm	38~45mm	12~45mm
点数	損傷有 : 522 点 損傷無 : 278 点	損傷有 : 186 点 損傷無 : 128 点	損傷有 : 175 点 損傷無 : 106 点	損傷有 : 134 点 損傷無 : 901 点
計測 密度	損傷有 : 21.8 点/m ² 損傷無 : 11.6 点/m ²	損傷有 : 7.8 点/m ² 損傷無 : 5.3 点/m ²	損傷有 : 17.5 点/m ² 損傷無 : 10.6 点/m ²	損傷有 : 5.6 点/m ² 損傷無 : 37.5 点/m ²

- 点数は模擬損傷に照射されたと想定されるレーザ計測点数
- 計測密度は模擬損傷配置時の値
- 11~62mm の模擬損傷の有無は確認可能
- 最小レーザ計測点数は 134 点、最小計測密度は 5.3 点/m²

(屋根面の標高変化算出)

屋根面の標高変化算出とは、作成した差分解析量を屋根面毎に集計する作業をいう。標高変化算出では、屋根面内の差分解析量を集計し、0.1m 間隔のヒストグラムを作成する。その最頻値を屋根面の差分解析結果として与えることとする。

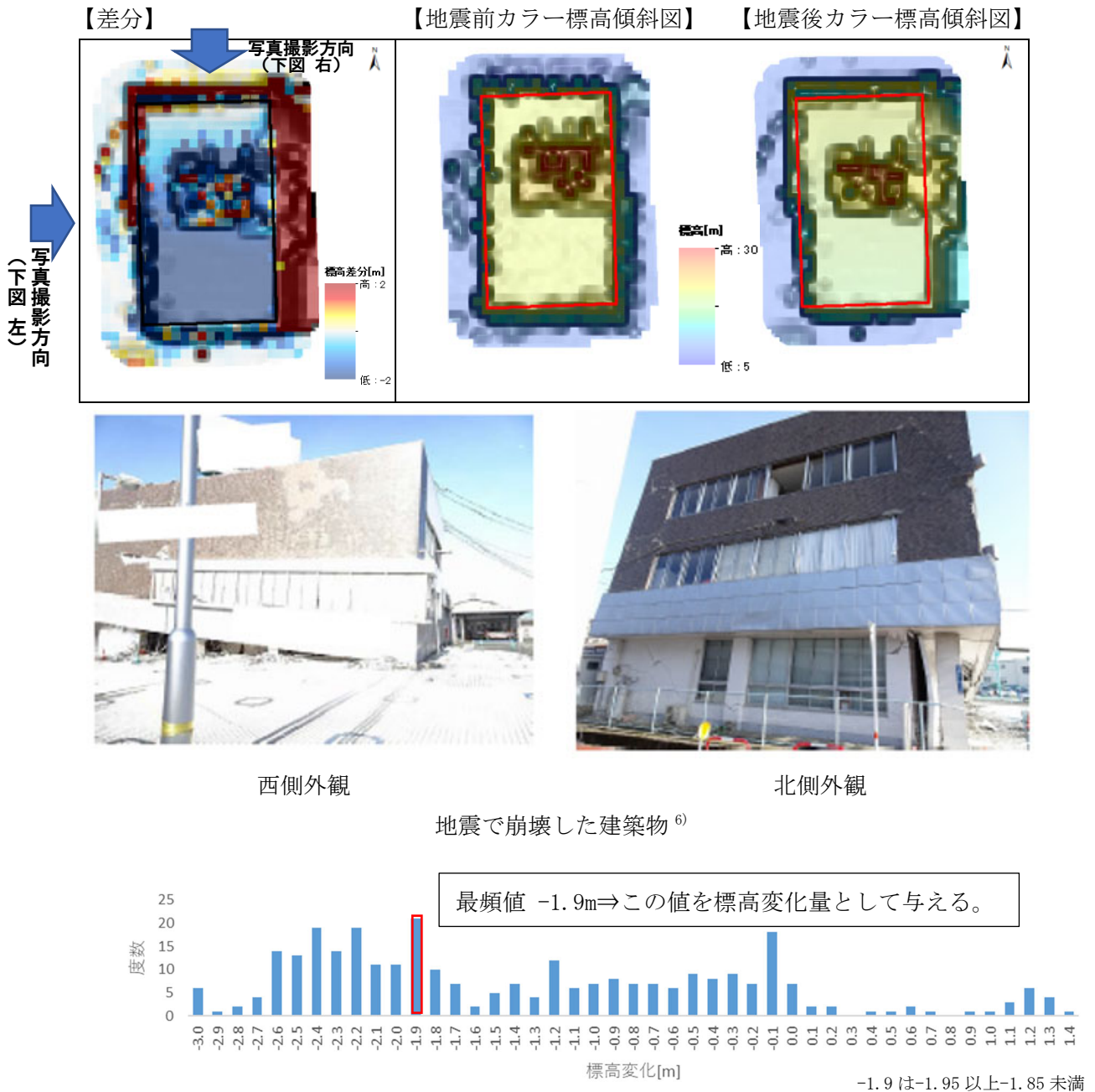


図 3.8 崩壊建築物のレーザ差分解析図と集計結果例

(傾き変化算出)

傾き変化算出とは被災前後の 2 時期の航空レーザ計測データから建築物屋根面の傾きの変化を算出することをいう。

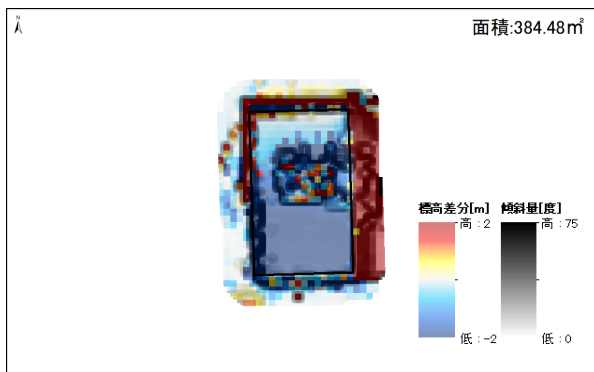
傾きは屋根面内の差分解析量を面として近似し、その傾きを算出する。

傾き算出は短期間でのスクリーニングのため、建屋全体の均一な沈下や傾斜の把握を目的としている。

<解説>

- 傾き変化算出は、屋根面内の格子点の差分解析量と座標値の回帰式により傾きを算出し、東西方向、南北方向の値をそれぞれ求め合成により求めても良い。
- 傾き変化算出の際には屋根面内の差分解析量を 0.1m 単位で集計しその最頻値から 1m 以上乖離するデータを除いた後に算出することを基本とする。
- 本ガイドラインに記載した熊本地震の解析事例では 50cmDSM を用いて概ね評価できている。50cm 間隔のデータ作成には 4 点/m²のデータが必要となるため、本ガイドラインでは 4 点/m²を基本としている。

【差分】



東西方向傾き : 1/73
 南北方向傾き : 1/14
 傾き : 1/13

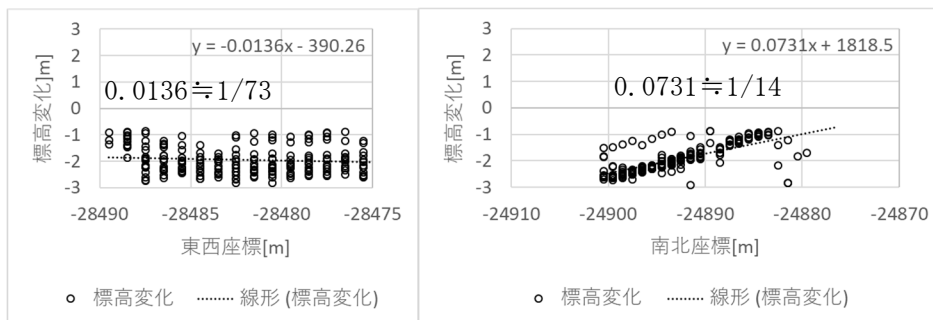
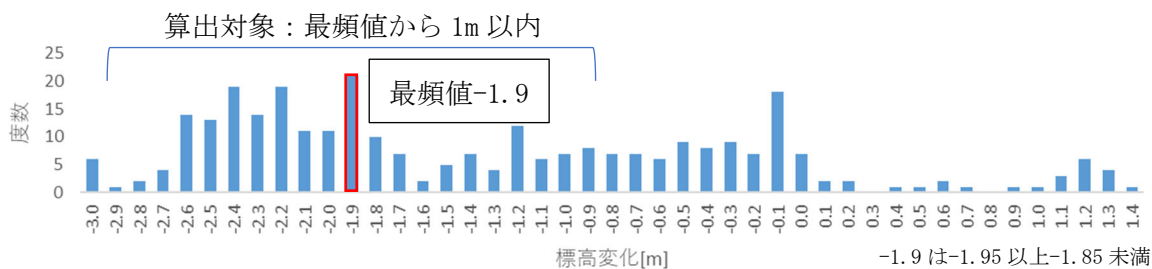


図 3.9 傾き変化算出例 (図 3.8 と同じ建築物での例)

3.3.4 差分解析による建築物の崩壊評価

(建築物の崩壊評価)

建築物の崩壊評価とは算出した被災前後の屋根面内の沈下量、傾き変化、および地盤変位量を用い建築物屋根面毎に建築物の崩壊危険性に関する評価結果を与えることをいう。

評価結果は以下とする。

評価結果 (着色)	沈下量	傾き変化	地盤変位量
C (赤) : 崩壊の危険性が高い	0.6m 以上	6.0%超	危険あり (1.0m 以上)
B (黄) : 崩壊の危険性がある	0.25~0.6m	2.5%~6.0%	不明確 (0.5~1.0m)
A (無) : 崩壊の危険性は少ない	0.25m 未満	2.5%未満	危険なし (0.5m 未満)
新築 (青)	(-5.0m 以上) : 被災前建築物無	—	—
撤去 (緑)	(5.0m 以下) : 被災後建築物無	—	—

沈下量は標高変化量の符号を反転した値。マイナスの標高変化をプラスの沈下量とする。

傾き変化は被災前後での傾きの変化を示す。被災前は 3/10 の傾きだった屋根が被災後に 4/10 に変化していた場合、 $1/10=10\%$ 傾きが変化したことを示す。

評価結果 B は数字として結果は得られるが、評価の精度により実際には崩壊・崩壊を生じていない可能性もある。

沈下量、傾き変化、地盤変位量の最も悪い評価を総合評価とする。

評価は個別の評価結果と総合評価をそれぞれ示す。

崩壊建築物の分布把握の結果図として、国土基本図図郭単位ごとに建築物屋根面を塗色した図面 (図 3.11) を作成する。

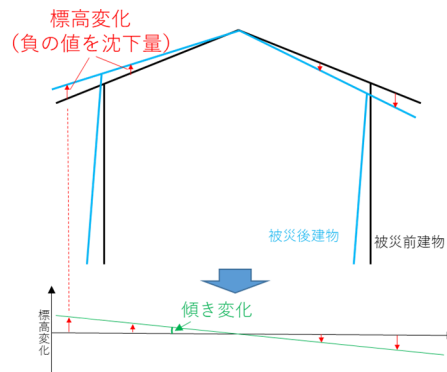
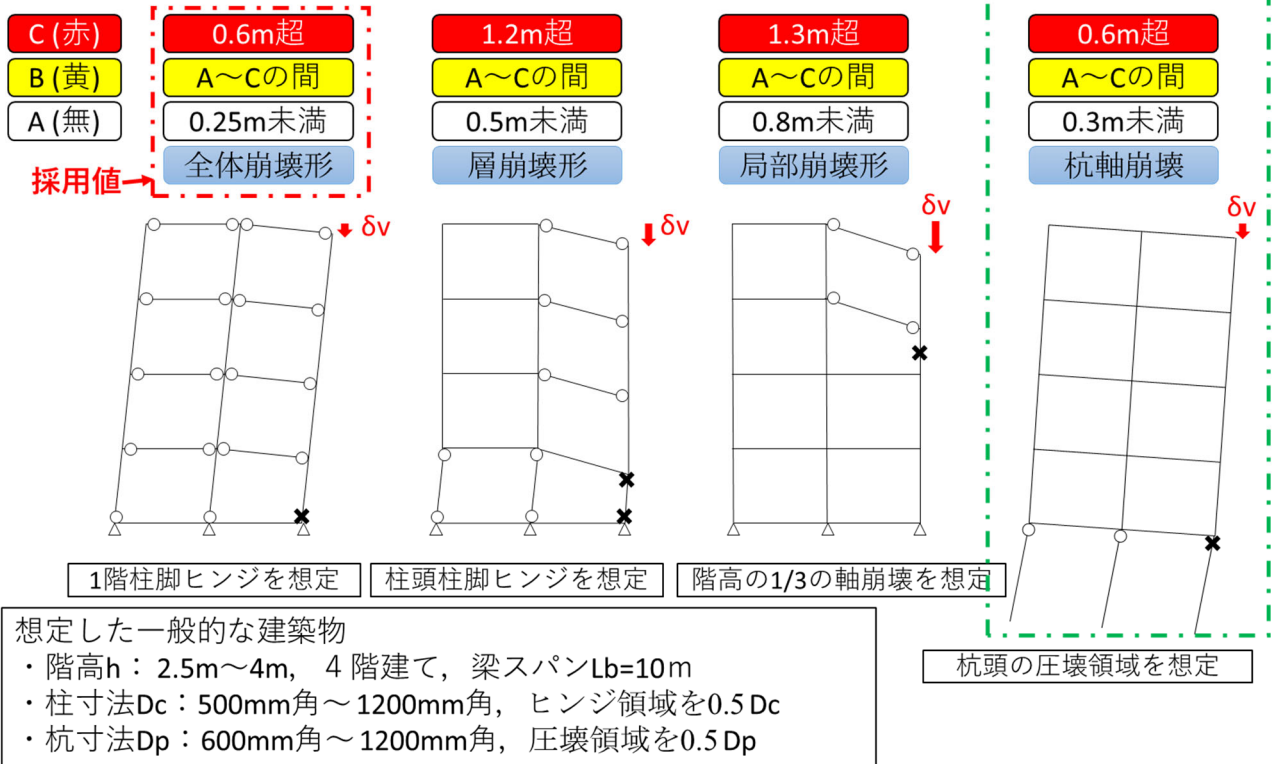
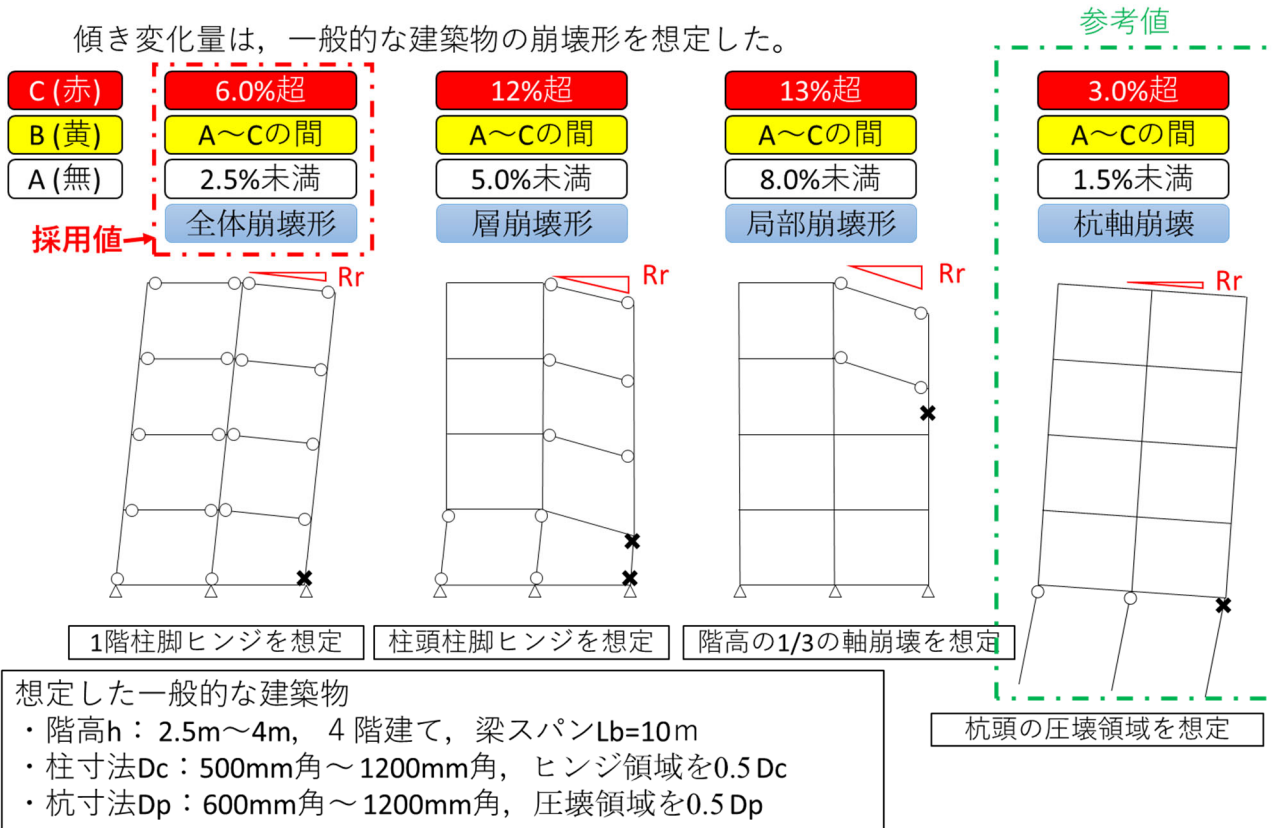


図 3.10 傾き変化の概要

沈下量は、一般的な建築物の崩壊形を想定した。



傾き変化量は、一般的な建築物の崩壊形を想定した。



「沈下量」と「傾き変化量」の閾値は図に示すように、一般的な建築物における崩壊形を想定したときの「沈下量」と「傾き変化量」を計算し決定した。ただし、建築物の崩壊形は事前に確認できないため、一番安全側の判定を行える全体崩壊形を想定した際の閾値を採用した。

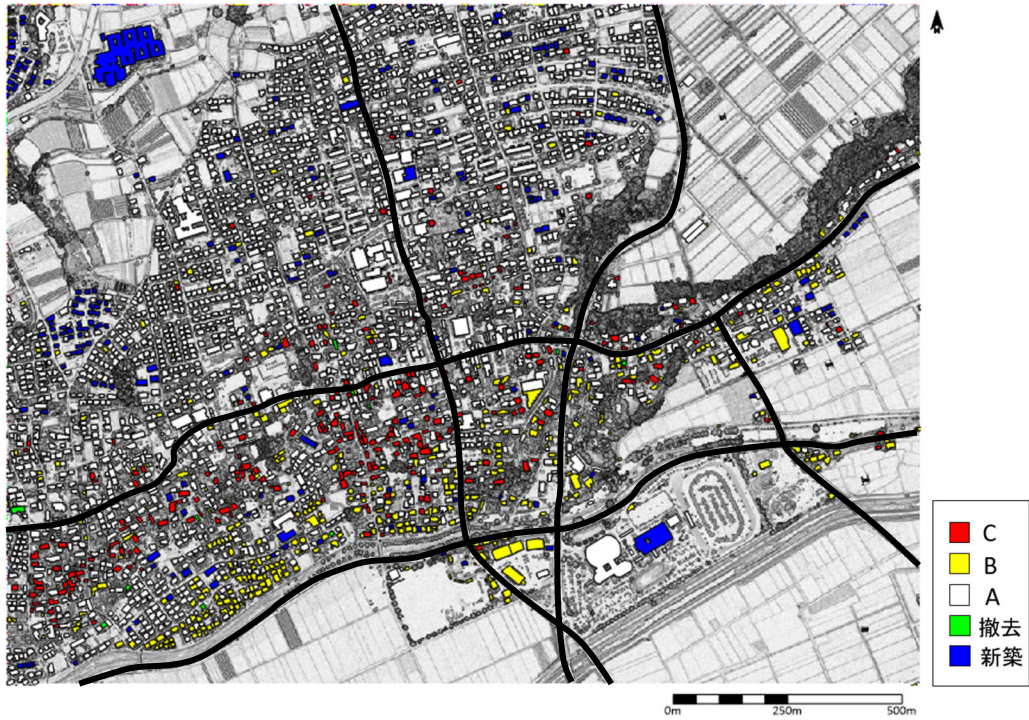


図 3.11 崩壊建築物の評価結果分布図（例：総合評価）

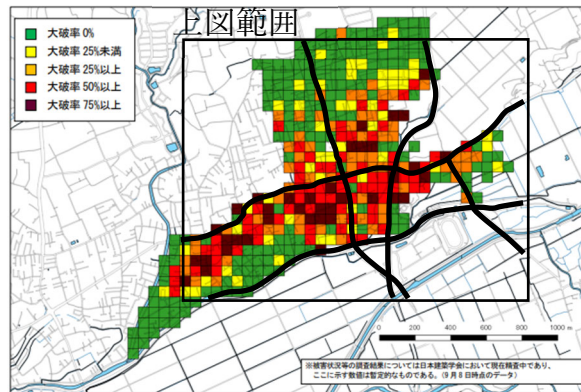


図 5.2-1 悉皆調査結果による大破率の分布（国土地理院地図を編集）

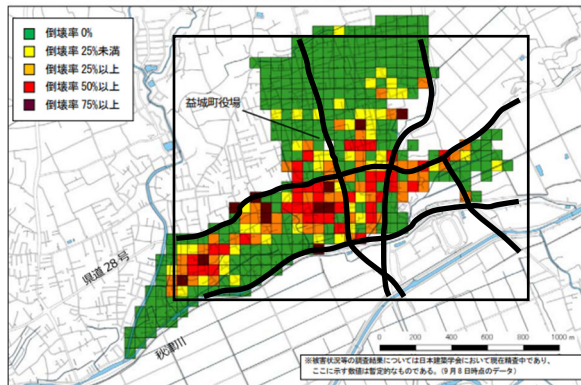


図 5.2-2 悉皆調査結果による倒壊率の分布（国土地理院地図を編集）

図 3.12 現地調査結果（上図：大破率、下図：崩壊率）¹¹⁾

3.3.5 崩壊建築物分布データセット作成

(崩壊建築物分布データセット)

崩壊建築物分布データセットとは、被災前後の航空レーザ計測データを用いて評価した建築物の崩壊建築物の分布把握結果を、建築物の位置が分かる形式で作成したデータセットをいう。

崩壊建築物の分布把握結果は対象建築物屋根面データに、差分解析量、傾き変化、地盤変位量を格納したデータセットとする。

データは shp 形式とし、平面直角座標系での位置情報を付したものとする。

3.4 成果物について

(評価対象建築物屋根面)

- ・崩壊建築物の分布把握対象建築物屋根面データファイル (shp 形式：被災前計測時成果物)
- ・分布把握対象建築物集計結果

(崩壊建築物の分布把握結果成果物)

- ・崩壊建築物の分布把握結果を格納した建築物屋根面データファイル (shp 形式)
- ・地盤面水平変位量算出結果 (x、y、z 変位量：テキスト形式)
- ・差分解析結果 (ラスターデータ)
- ・建築物敷地内点群データ (las もしくはテキスト形式)
- ・崩壊建築物評価結果分布図
- ・崩壊建築物の分布把握対象建築物屋根面データ (上記 shp 形式データの属性を示したもの)
- ・崩壊建築物の分布把握対象建築物屋根面位置図 (pdf 形式)
- ・崩壊建築物評価結果集計結果

<解説>

- ・崩壊建築物の分布把握対象建築物屋根面データファイルは平面直角座標系で作成された shp 形式のデータとする。
- ・分布把握対象建築物集計結果は、調査建築物数および調査対象建築物数 (4 点/m² 以上となった建築物数) の集計結果を示したデータとする。
- ・崩壊建築物の評価結果を格納した建築物屋根面データファイルは差分解析量、傾き、地盤変位量を格納した平面直角座標系で作成された shp 形式のデータとする。

例)

ID,	差分解析量[m],	傾き変化[1/x],	地盤変位量 X[m],	地盤変位量 Y[m],	地盤変位量 Z[m],	緯度, 経度, 住所
1,	-0.20,	15.21,	0.12,	-0.05,	-0.11	
2,	-0.10,	3.85,	0.09,	-0.12,	-0.25	

※住所は緯度経度から国土交通省の「街区レベル位置参照情報」等を用いて概略の地番等を目安として記載する。

- ・地盤面水平変位量算出結果は x、y、z の変位量をテキスト形式で格納したデータとする。変位量の有効数字は小数点以下 2 桁とする。

例)

X,	Y,	地盤変位量 X[m],	地盤変位量 Y[m],	地盤変位量 Z[m]
-20500,	11455,	0.10,	-0.44,	-0.18
-20500,	11460,	0.12,	-0.42,	-0.20

- ・差分解析結果（ラスターデータ）は被災前後の差分解析結果値を地理情報システムで閲覧可能な形式で作成したものとする。
- ・崩壊建築物評価結果分布図は、屋根面データを評価結果（C、B、A、新築、撤去）毎に塗色し国土基本図図郭毎に図示したものとする。背景には DEM 陰影図等、道路等の土地利用状況がわかる図面とする。
- ・崩壊建築物評価結果集計結果は、調査対象棟数と、分類後の建築物棟数を集計した結果を示すものとする。
- ・上記データセットの様式は任意とする。
- ・地震後計測では DEM の作成に時間がかかることが想定されるため、解析が完了した成果から段階的に提出するものとする。

参考文献

- 1) 空中計測・マッピング部会 レーザワーキング監修、「航空レーザ測量による災害対策事例集」（日本測量調査技術協会 2013）、p.13
- 2) 齊藤和也 監修、「図解航空レーザ計測」（日本測量調査技術協会 2008）、p.89
- 3) 齊藤和也 監修、「図解航空レーザ計測」（日本測量調査技術協会 2008）、p.90
- 4) 齊藤和也 監修、「図解航空レーザ計測」（日本測量調査技術協会 2008）、p.37
- 5) 国土地理院 HP (<https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/jpc.html>)
- 6) 国土地理院 HP (https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_senmon.html)
- 7) 応急危険度判定マニュアル（日本建築防災協会：1998年6月1日（第1版））
- 8) 齊藤和也 監修、「図解航空レーザ計測」（日本測量調査技術協会 2008）、p.19
- 9) 齊藤和也 監修、「図解航空レーザ計測」（日本測量調査技術協会 2008）、p.50
- 10) 齊藤和也 監修、「図解航空レーザ計測」（日本測量調査技術協会 2008）、p.118
- 11) 国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所、No.173号（2016(平成28年)9月）、平成28年（2016年）熊本地震建築物被害調査報告（速報）、国総研資料 No.929号・建築研究資料 No.173号、p.5.5-73

付録

付録 1. 発注仕様書例

発注仕様書例

第1章 総則

第1条 適用の範囲

本仕様書は、**年度■■航空レーザ測量及び建築物崩壊分布調査業務委託（以下、「本業務」という。）について適用する。

第2条 目的

業務箇所の別添に示す範囲（〇〇km²）の航空レーザ計測を行う。また、既存の航空レーザ計測データを収集し、収集データと計測データを用いて崩壊建築物の分布把握を行うものである。

第3条（関連法令等）

本業務の実施にあたっては、本仕様書、契約書によるほか、下記の関係法令等に準拠して行うものとする。関連法令等が履行期間中に変更（更新）となった場合は、最新版を適用するものとする。ただし、監督職員の承諾を得た場合、あるいは、指示を受けた場合はこの限りではない。

- (1) 測量法（令和4年6月改正）及び測量法施行規則（令和5年2月改正 国土交通省）
- (2) 〇〇県公共測量作業規程（公共測量作業規程の準則に準じる）
- (3) 航空法（令和2年9月改正）及び航空法施行規則（令和2年9月改正 国土交通省）
- (4) 〇〇県共通仕様書（令和 年 月）
- (5) 〇〇県林業土木調査等業務仕様書（令和 年 月）
- (6) 航空レーザを用いた崩壊建築物の分布把握に資する計測および評価手法ガイドライン（案）（令和5年7月 国立研究開発法人 建築研究所）
- (7) 応急危険度判定マニュアル（日本建築防災協会：1998年6月1日（第1版））
- (8) その他関係法令、規則、通達等

第4条 主任技術者

主任技術者については下記の1) 2)のいずれかの条件を満たす者とする。

1) 下記の実績を有する者。

a) 国、特殊法人等、地方公共団体、地方公社、公益法人又は大規模な土木工事を行う公益民間企業が発注した業務で、以下に記載する「同種業務」（元請けとして実施した業務）の実績を有するもの。

- ・同種業務：航空レーザ測量データを用いた建築物崩壊分布評価に関する業務

2) 下記の資格及び実績を有するもの

a) 下記の資格を有するもの

- ・ 測量法に基づく測量士の資格
- ・ 技術士法に基づく技術士（応用理学部門）の資格

b) 国、特殊法人等、地方公共団体、地方公社、公益法人又は大規模な土木工事を行う公益民間企業が

発注した業務で、以下に記載する「類似業務」（元請けとして実施した業務）の実績を有するもの。

- ・類似業務：航空レーザ測量の地表面モデルを利用した調査業務

第2章 業務内容

第1条 作業内容

- 被災前航空レーザデータの収集・屋根面抽出
 - 被災前航空レーザデータの収集
 - DSM 作成
 - 屋根面データセット作成
- 航空レーザ測量 1 式(〇〇km²)
 - 計測計画 1 式
 - 航空レーザ計測 1 式
 - 調整点の設置 1 式
 - 点群データ作成 1 式
 - オリジナルデータ作成 1 式
 - グラウンドデータ作成 1 式
 - DSM データ作成 1 式
 - グリッド（標高）データ作成 1 式
 - 成果データファイル作成 1 式
 - (10) 航空レーザ計測成果検定 1 式
- 崩壊建築物の分布把握調査 1 式
 - 評価対象建築物屋根面の特定 1 式
 - 敷地地盤変位量計測 1 式
 - 差分解析 1 式
 - 崩壊建築物分布把握 1 式
 - 崩壊建築物分布データセット作成 1 式

第1条 被災前航空レーザデータの収集・屋根面抽出

1. 被災前航空レーザデータの収集

対象範囲の被災前航空レーザデータを収集する。

2. DSM 作成

オリジナルデータから内挿補間により建築物屋根面を含む表層モデルを作成するものとする。

3. 屋根面データセット作成

崩壊建築物の分布把握が可能な屋根面を特定する。分布把握が可能な屋根面はレーザ計測が 4 点/m²で実施されている場合は、屋根面面積が 2.5 m² 以上、1 点/m²で実施されている場合は 100 m²とするものとする。

第2条 航空レーザ測量

1. 計測計画

(1) 計測計画は、GNSS衛星配置等を考慮して、計測諸元、飛行コース及びGNSS観測等について作成するものとする。

(2) データ間隔は1m×1mメッシュの範囲内に4点以上レーザ点が照射されるように設定するものとする。

2. 航空レーザ計測

(1) 使用機器は、GNSS/I MU装置、レーザ測距装置及び解析ソフトウェアから構成されたものを使用するものとする。使用機器は測量法の作業規程の準則による基準を満たすものとし、受注者が準備する。

(2) 計測を行うにあたっては安全に配慮して実施するものとする。

(3) レーザスキャナの位置を連続キネマティック GNSS 計測で求めるため、地上の GNSS 基準局を選点し、レーザ計測との同時観測を行う。なお、GNSS 基準局として電子基準点を用いることができる。

3. 調整点の設置

三次元計測データの点検及び調整を行うために調整点を設置するものとする。なお、GNSS 基準局の位置や計測範囲を考慮のうえ、できる限り公共用地に設置するものとする。調整点の測量に用いるトータルステーション、GNSS 測量機、レベル（水準儀）などの使用機器は、測量法の作業規程の準則による基準を満たすものとし、受注者が準備する。

4. 点群データ作成

航空レーザ計測データを統合解析し、点群データを作成するものとする。

5. オリジナルデータ作成

点群データから調整点成果を用いて点検・調整した三次元点群データを作成するものとする。

6. グラウンドデータ作成

オリジナルデータからフィルタリング処理により地表面の三次元点群データを作成するものとする。

7. DSM データ作成

オリジナルデータから内挿補間により建築物屋根面を含む表層モデルを作成するものとする。なお、内挿補間方法については、1(2)で作成した被災前での作成方法と同様とする。

8. グリッドデータ作成

グラウンドデータから内挿補間により標高データを作成するものとする。

なお、内挿補間方法については、地形に応じて最適なものを選択するものとする。

9. 成果データファイル作成

製品仕様書に従い成果データファイルを作成し、電磁的記録媒体に格納するものとする。

10. 成果検定

納入する航空レーザ測量に関する成果品については、検定機関の検定を受け、同機関の発行する検定証明書及び測量成果品検定記録書（品質管理図を含む）を提出することとする。

第3条 崩壊建築物の分布把握調査

1. 評価対象建築物屋根面の特定

崩壊建築物の分布把握をするための建築物屋根面を特定することとする。特定方法は第1条3と同様とする。

2. 敷地地盤変位量計測

地殻変動等による影響を除外するため、2 時期の航空レーザ計測データを用いて地盤変位を計測することとする。

3. 差分解析

被災前後の 2 時期の航空レーザ計測データから建築物の標高変化を算出することとする。標高変化は同一手法で作成された DSM を用いて算出し、標高変化・傾き変化を算出することとする。

4. 崩壊建築物分布把握

算出した被災前後の屋根面内の標高変化、傾き変化、及び地盤移動量を用い建築物屋根面毎に崩壊建築物の判定結果を与えることとする。

5. 崩壊建築物分布データセット作成

算出した建築物の崩壊建築物の分布把握結果を、建築物の位置が分かる形式で作成したデータセットを作成することとする。

第 4 条 成果物

本業務の成果物は以下とする。

- ① 成果データファイル
 - a. オリジナルデータ (LAS Data を含む)
 - b. DSM
 - c. グラウンドデータ (必要な場合)
 - d. DEM (必要な場合)
 - e. 航空レーザ用写真地図データ
 - f. 位置情報ファイル
 - g. 格納データリスト
- ② 作業記録・精度管理表 (付録様式による)
- ③ 品質評価表 (付録様式による)
- ④ メタデータ
- ⑤ 崩壊建築物の分布把握結果を格納した建築物屋根面データファイル (shp 形式)
- ⑥ 地盤面水平移動量算出結果 (x、y、z 移動量：テキスト形式)
- ⑦ 差分解析結果 (ラスターデータ)
- ⑧ 建築物敷地内点群データ (las もしくはテキスト形式)
- ⑨ 崩壊建築物判定結果分布図
- ⑩ 崩壊建築物の分布把握対象建築物屋根面データ (上記 shp 形式データの属性を示したもの)
- ⑪ 崩壊建築物の分布把握対象建築物屋根面位置図 (pdf 形式)