

地上レーザスキャナを用いた被災建築物の補修補強計画に資する

計測および損傷評価の手引き（案）

2023年（令和5年）7月

国立研究開発法人 建築研究所

本手引きについて

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、被災した鉄筋コンクリート系建築物を対象とし、これまでは生じた損傷を評価するために足場を組んで被災状態を人が直接確認することで実施されていたことに対して、足場を用いずにデータ計測に基づき損傷の状態を効率的に把握する手段を示すことを目的としています。具体的には、地上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、地震により生じた損傷を評価する方法の開発を実施しました。その後、この損傷評価法の普及のため、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「地上レーザスキャナを用いた被災建築物の補修補強計画に資する計測および損傷評価の手引き(案)」を作成しました。今後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、将来の新たな技術の導入や、みなさまからのご意見を踏まえ、本手引きも更新していきたいと思えます。

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 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
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
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
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
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

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	1
1.4 計測および損傷評価手法	7
第2章 地上レーザスキャナ計測/被災前.....	10
2.1 概説	10
2.2 計測のための準備作業	10
2.2.1 作業計画立案.....	10
2.2.2 建築基準点の設置	12
2.2.3 標定点の設置	14
2.2.4 評価参照点の設置	16
2.3 計測作業	17
2.4 データ編集作業	20
2.4.1 オリジナルデータの作成	20
2.4.2 差分解析用データの作成	26
2.4.3 標定点および評価参照点の座標変換.....	28
(成果物)	28
2.4.4 概略データの作成	28
2.4.5 損傷評価対象範囲特定図の作成.....	28
2.4.6 建物基本情報図の作成	30
2.5 成果物	30
第3章 地上レーザスキャナ計測/被災後.....	31
3.1 概説	31
3.2 計測のための準備作業	31
3.2.1 作業計画立案.....	31
3.2.2 評価参照点の確認	31
3.2.3 標定点の設置	31
3.3 計測作業	32
3.4 データ編集作業	34
3.4.1 オリジナルデータの作成	34
3.4.2 差分解析用データの作成	34
3.4.3 概略データの作成	34

3.4.4 損傷評価対象範囲特定図の作成.....	34
3.5 成果物	34
第4章 損傷評価	35
4.1 概説	35
4.2 評価項目および手順	35
4.2.1 評価項目	35
4.2.2 評価手順.....	35
4.3 成果物	36
参考文献	39

第1章 総則

1.1 目的

本手引きは、地上レーザスキャナ(Terrestrial Laser Scanner)を用いて中破程度以上の被害が事前に特定された建築物の損傷箇所を迅速に把握するため、現地において建築物計測を実施する際の標準的な作業内容および使用する機器等の仕様および、損傷評価精度の確保のための評価手順の明確化のためのものである。これらを参考にすることにより中破程度以上の損傷を有する建築物の被害箇所を迅速に把握し、その後の補修補強計画の立案に活用することを目的とする。ここでの評価項目は、柱部材など建築物外周構面における部材の残留変形、部材表面の浮きや剥落性状である。

1.2 適用範囲

本手引きでは、地上レーザスキャナを用いて建築物計測を実施する際の標準的な作業方法、使用する機器等の必要な事項について規定している。なお、本手引きを使用した計測は公共測量の適用範囲外であるため、以下に記載された方法に基づき適切な計測を行う必要がある。中破程度以上の建築物の損傷状態を評価することを目的として、現地における標準的な計測方法および計測されたデータの編集方法を定めており、原則建築物の外周部を対象としている。なお、被災前建築物の計測データは形状に明らかに変化がない限りは有効である。また、構造部材（柱、耐震壁）の主として残留変形、剥落、浮きの損傷評価を適切に行うために必要な点密度を規定（2.3 計測作業及び 3.3 計測作業参照）している。ただし地上レーザスキャナを用いた計測の特性上、以下の事項に注意して計測作業を行う必要がある。

※損傷評価には被災前後のデータが必要となる。被災前に当該損傷評価を目的とした計測を実施しておらず、かつ他の目的で計測したデータを用いる場合、当該データは計測密度等、点群の品質に加え、形状が現状と明らかに異なることが確保されていることを確認する必要がある。

※建築物と地上レーザスキャナの間には樹木等の障害物やベランダおよび手すりなどの光学遮蔽物により対象建築物において必要な点密度が確保できず、十分な評価を行えない可能性がある。

※高層建築物の上層部の場合で、点密度が不足していたり、常時数 mm オーダーで振動していたりする状態では、必要な点群品質が確保できず、十分な評価を行えない可能性がある。

※都市部などでは近隣建築物が密集していることもあり、対象建築物において必要な点密度を保証するための適切な距離、角度を確保出来ない可能性がある。

※ガラス面で予期せぬ鏡面反射が起きる可能性があり、意図しないノイズが発生する可能性がある。

※大規模地震発生後は、建築物に取り付けた各評価参照点（3.2.3 参照）の位置が大きく変化する場合は、損傷評価できない可能性がある。

1.3 用語の定義

三次元情報：

以下に三次元情報を構成する項目を示す。

- ・位置情報：ある座標系の相対的な平面位置（X、Y）の情報。

- ・三次元点群：ある座標系の相対的な平面および高さ位置（X、Y、Z）の情報。
- ・レーザ光：機器から発射されたレーザ発射光、対象建築物に反射した際のレーザ反射光、機器が受信したレーザ受信光の総称。
- ・受光強度情報：当該手引き内では大きく「レーザ反射強度（Intensity）」と「反射率(Reflectance)」の2種類を指す。「レーザ反射強度」は、対象建築物からのレーザ反射光の強度を言い、「反射率」は対象建築物の固有反射率を指す値である。
受光強度は対象建築物の固有反射率、対象建築物までの距離や入射角、視界距離や雨・霧・埃など気象にも影響され変動する。
一般的に受光強度は地上レーザスキャナの計測時に三次元点群などと同時に取得され、別途デジカメ撮影などで得られる画像情報と共に重要なデータとなっている。受光強度は、その値を基にグレースケールの画像で表現される場合が多く、三次元点群の属性と関連付けて表示・使用されることが多い。
- ・色情報：三次元点群が保有する色の情報。
- ・画像情報：計測箇所を撮影した画像の情報。
- ・偏差情報：レーザ発射光が対象建築物に当たった時の形状の変化した程度を表す情報で、変化がなければ0となる。
- ・マルチリターン情報：レーザ受信光が有する反射回数の情報。

作業規程の準則：

公共測量に関し機械の種類、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。

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。

JSIMA115¹⁾：

日本測量機器工業会（JSIMA）が作成した地上レーザスキャナの性能確認試験に関する手引きであり、当該試験は複数点のデータを計測して統計的な手法でその精度（面精度、測距精度、座標精度）を確認するものであり i-Construction（（国土交通省が推進する、「ICTの全面的な活用（ICT土工）」等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、魅力ある建設現場を目指す取組）の要領案でも採用されている。

使用機器：

本手引きで用いる機器を以下に示す。

- ・地上レーザスキャナ
- ・トータルステーション
- ・レベル（水準儀）
- ・GNSS（Global Navigation Satellite System）測量機

地上レーザスキャナ：

地上レーザスキャナ(TLS; Terrestrial Laser Scanner)は、特定の位置に機器を据え付け、前方に断面を測量するようにレーザ発射光（近赤外線）を発射すると同時に、機器本体を回転させることにより周囲に存在する地形・地物までの方向と距離を面的に計測する装置であり、計測結果を三次元点群とし

て表現している。図 1.1 に TLS の一例を示す。

レーザ光を用いた距離計測の方式で、建築分野に適応できる機種には、位相差方式と呼ばれる発射と受光の際の光の位相差を用いる方式と TOF (Time of Flight) 方式と呼ばれる発射から受光までの時間を計測する方式がある。



図 1.1 TLS の一例

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。図 1.2 にトータルステーションの一例を示す。

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。



図 1.2 トータルステーションの一例

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。

GNSS 測量機：

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) 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

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）²⁾に規定する世界測地系に従う直角座標のことで、本手引きで使用する高さは測量法施行令（昭和24年政令第322号）³⁾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、図1.3に示すように、平面直角座標系は日本では19系に分類されている。

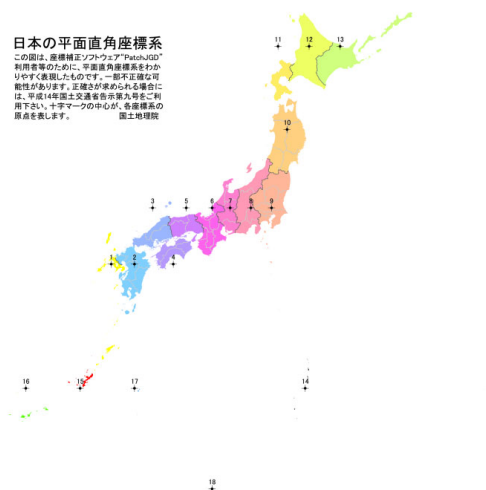


図 1.3 日本の平面直角座標系⁴⁾

現地座標系：

計測対象となる建築物に対する座標系で、評価参照点に基づき被災後に現地で再構築する座標をいう。

部位の局所座標：

評価対象部位の評価面とその奥行き方向に合致した座標をいう。例えば評価対象面を XZ 平面、奥行き方向を Y 軸とするなどがある。

建築基準点：

建築物を対象とした標定点（標識）の位置情報を計測するための基準となる点で地表面に固定された釘などにより特定される点。

標定点：

建築基準点が保有する座標系への座標変換により、地上レーザスキャナに位置情報と標高、方向を与えるための基準となる点で、対象建築物の周囲に設置された標識。

標識：

標識の種類は、次のようなものがある。

- ・チェッカ：拡散面に反射率の異なる領域を複数有するもの。
- ・レトロリフレクタ：再帰反射性を有する反射部を有するもの。
- ・スフィア：表面が拡散反射率90%以上の球体のもの。
- ・コーナキューブ：再帰反射性を有するプリズム。

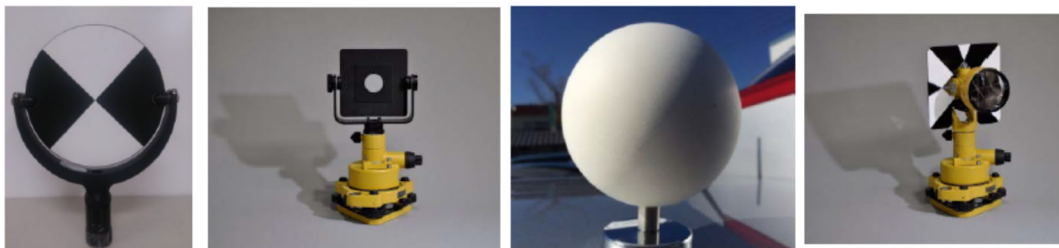


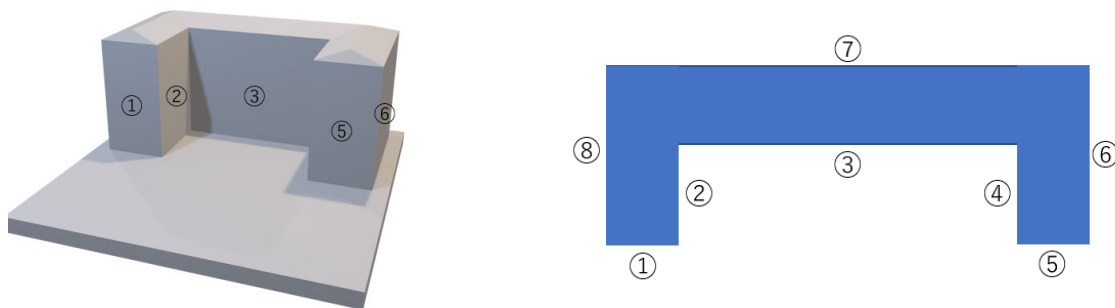
図 1.4 標識

評価参照点：

被災前後における建築物の位置情報を特定するために参照する点で、対象建築物に固定し設置された点。

評価対象面：

構造部材（柱、耐震壁）などの評価をする面のことで、図 1.5、1.6 のように各面毎に切り出して差分解析を行う。



(a) 斜めからみた対象面

(b) 平面における対象面

図 1.5 評価対象面



(a) 斜めからみた対象建築物

(b) 切り出された評価対象面

図 1.6 評価対象面

後方交会法：

既知点 2 点の座標値を利用して任意の位置の座標値を求める測量法。

任意位置に TLS を設置し、任意位置から既知点までの距離および既知点 2 点と任意位置との角度を計測することで既知点の座標系に準拠した任意位置の座標値を求めることができる。この座標値を元に TLS で周辺地形を計測することにより、既知点の座標系に準拠した点群を得る。

相似変換法：

座標算定方法のひとつで、複数の既知点の座標を用いて、三次元点群を移動・回転させ、座標を変換させる方法。ヘルマート変換・アフィン変換など。

部材：

建築物を構成する部位で、主として構造部材（柱、梁、耐震壁）と非構造部材がある。

損傷：

建築物が被災した際に部材に生じるもので、主として残留変形、剥落、浮きにより構成される。

残留変形：

建築物を構成する部材が被災後、元の形状から変位している状態。残留変形には柱の残留変形角と梁の残留回転角がある。

剥落：

建築物を構成する部材の表面から、コンクリートやタイルなどが損傷し剥がれ落ちている状態。

浮き：

建築物を構成する部材の表面から、下地材であるコンクリートなどが損傷し、下地材および仕上げ材が剥離しているものの、剥がれ落ちない状態。

真値推定誤差：

本手引きでは信頼係数が 95% の信頼区間を真値推定誤差と呼ぶ。

計測値の標準偏差 σ とし、 n を指定面積内に存在する三次元点群の最小数とすると、そのときの計測値の平均値の標準誤差は以下の式で表される。

$$\text{標準誤差} = \sigma / \sqrt{n} \quad (\text{式 1})$$

また、 σ の 1.96 倍で、95% の信頼区間となるので以下の式で真値推定誤差を算定できる。

$$\text{真値推定誤差} = 1.96 \times \sigma / \sqrt{n} \quad (\text{式 2})$$

差分解析：

被災前後に計測された三次元点群に一定の処理を行った両データの差分を評価する解析の事である。この際、被災後の三次元点群は被災前のそれと比べ、建築物そのものの位置情報が移動していることがあり得るため、その移動量を適切に評価する。

オリジナルデータ：

地上レーザスキャナで計測されたもので、特定された座標系に合致した三次元点群。またこれらのデータはノイズデータを取り除くなどして三次元点群の品質低下抑制のための処理を行ったデータである。

品質低下抑制処理：

三次元点群の品質低下を抑制するデータ加工方法として、①偏差情報フィルタリング、②反射率フィルタリング、③マルチリターンフィルタリングが挙げられる。①は主として対象物の輪郭部分に存在するノイズや入射角が鋭角なデータ等を削除できる。②は主として空気中の埃やガラスによる映り込み等によるゴーストノイズを削除できる。③はレーザビームが複数の物に反射して得られた点を削除できる。

1.4 計測および損傷評価手法

(目的)

本節では、計測データを用いた損傷評価手法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・損傷評価の流れ)

本手引きで規定する地上レーザスキャナ計測・損傷評価の流れは以下の通りである。

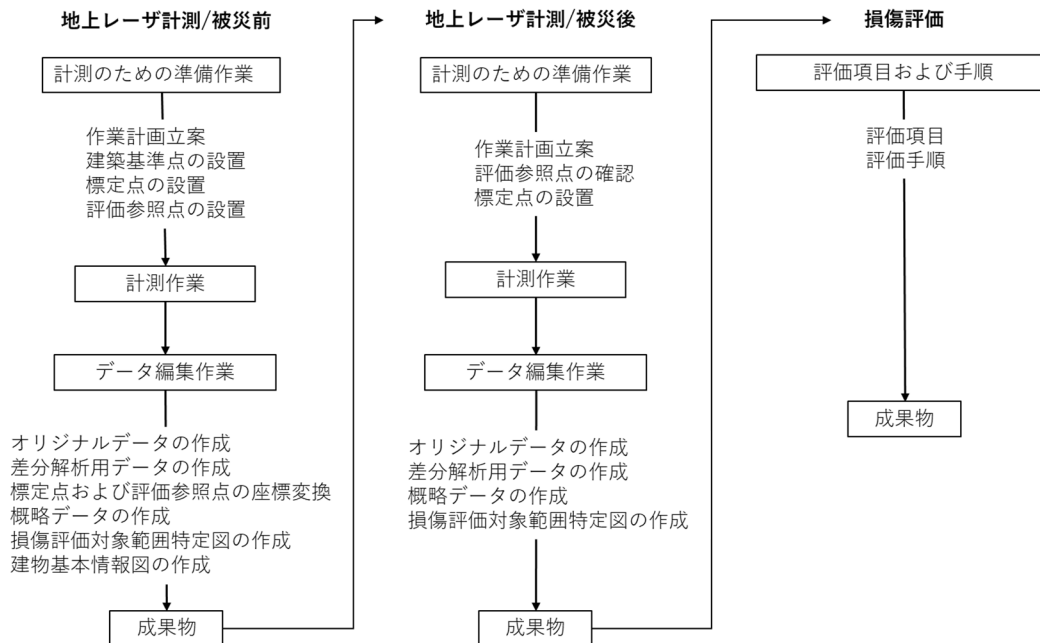


図 1.4 本手引きで規定する現地計測および損傷評価の流れ

(関係法令・基準の運用)

本手引きに定めるもの以外は以下を準用する。

- ・測量法（令和 4 年 6 月改正）²⁾ 及び測量法施行規則（令和 5 年 2 月改正 国土交通省）³⁾
- ・作業規程の準則（全文）⁵⁾
- ・被災建築物応急危険度判定ガイドライン⁶⁾
- ・2015 年改訂版 再使用の可能性を判定し、復旧するための震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針⁷⁾

(実施体制)

- 一 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。
- 二 作業機関は、作業計画の立案、工程管理及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。
- 三 前項の主任技術者は、本手引き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。例えば測量士かつ地上レーザスキャナを用いて測量業務を実施した経験を有する者が該当する。
- 四 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。
- 五 2 項の主任技術者は、本手引きで求める評価手法に関する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。例えば建築士かつ被災建築物の損傷判定業務に関する講習会を受講した者、若しくは損傷判定業務に従事したことがある者が該当する。

六 評価に従事する作業者は、用いるソフトウェアの特徴を十分に把握した上で適切に損傷評価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、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。また作業を公道で実施する場合など必要に応じて事前に許可を得て実施する必要があることに加え、建築物利用者へ配慮した形で計測を行うことが望ましい。

(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、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。

一. 地上レーザスキャナ

三次元点群を取得できる機器であり、以下の項目に留意して機器選定を行うこと。

- ・原則として用いるレーザの安全クラスはⅠとし、それ以外を用いる場合は発注者等と協議の上、決定する。
- ・使用機器はスキャナメーカーが推奨する性能確認試験を実施することとし、その実施頻度は各スキャナメーカーによる。
- ・日本測量機器工業会規格 JSIMA115 に基づく面精度および座標精度の試験結果を示すこととし、その実施は原則1年以内とする。ただし発注者との協議による場合はこの限りではない。
- ・評価対象面を認識することを目的とし、原則として受光強度情報が取得できる機器であることを確認する。
- ・発注者等の要望に応じて画像情報および色情報が取得できることを確認する。

二. その他の計測機器（トータルステーション、レベル、GNSS 測量機）

- ・使用機器の点検は適切に実施することとし、例えば作業規程の準則第14条（機器の検定等）に準ずることができる。同条では機器の検定や調整について記載されている。
- ・それぞれの機器は作業規程の準則第35条（機器）に適合しているものを用いる。同条では機器の性能について記載されている。

三. 損傷評価のためのソフトウェア

三次元点群を用いて本手引きで規定する損傷を評価できる機能を有するソフトウェアのことであり、具体的には以下の要件を満足すること。

- ・データの取り込み

大容量のデータ(1 プロジェクト当たり 1 Tbyte、1 グループあたり 150Gbyte、1 ファイルあたり 15Gbyte 程度はありうる)の読み込みと解析処理を実行できること(対象ファイルを一括で処理できること。人による作業は解析条件などの設定までで、その後の重たい処理はPC やサーバーがすべて実行できること)。

- ・損傷評価機能

被災前と被災後の二時期の差分を取ったデータ、被災後の単体データの2つを対象として実施できる必要がある。損傷評価方法としては、

①カラーグラデーション表示による表面の凹凸具合および傾斜、残留変位を定量的に算定および可視化。

- ・層間変形角の数値(水平変形量を対象となる高さで割った割合(例:1/200 など))
- ・層間変形角の位置(断面図)

②浮き剥落箇所の面積量を算出・表示

- ・浮き・剥落箇所の特定(対象範囲・2次元面積)
- ・浮き・剥落箇所の程度(凹凸具合の定量表現、カラーグラデーション、断面図)

ここでの損傷評価に関する解析処理はシステム側で自動的に実施されることが望ましい。また比較したい二時期のデータを作業者が選択すれば結果が自動的に表示される仕組みが望ましい。

(成果及び資料等の様式)

本手引き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。

本手引き付録にて標準様式を規定する。

第2章 地上レーザスキャナ計測/被災前

2.1 概説

(要旨)

中破程度以上の被災建築物の損傷が起きる前に実施すべき地上レーザスキャナによる被災前の計測作業について定める。

2.2 計測のための準備作業

2.2.1 作業計画立案

(要旨)

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。

事前計測を行い、作業計画を作成する。

<解説>

作業計画は実際の対象建築物の周辺環境や外形状を考慮して策定する必要がある。

以下に事前計測の例を示す。図2.1は対象建築物を上から見た図である。



図 2.1 対象建築物

図 2.2 から当該建築物の北面・東面には仮囲いがされているため、低層階部分の計測は出来ないことがわかる。さらには南側には樹木があり計測位置が制限されている。



図 2.2 建築物外壁面の一部（1層部分）が仮囲いされている場合

図 2.2 より、北面は仮囲いがあるため、黄色の星印（図 2.3）で示すように敷地外から建築物 1 層を除く部分の計測とした。さらに南東部は樹木があるため、赤色の星印で示すように建築物に近接して計測する計画とした（図 2.3）。赤色の星印の計測位置から計測した結果を図 2.4 に示す。この図 2.4 より、計測位置が建築物に近接したため建築物上層階がバルコニーによる光学遮蔽物によってデータが欠損している状況が分かる。このような部位については評価対象面にできないことをあらかじめ留意する必要がある。

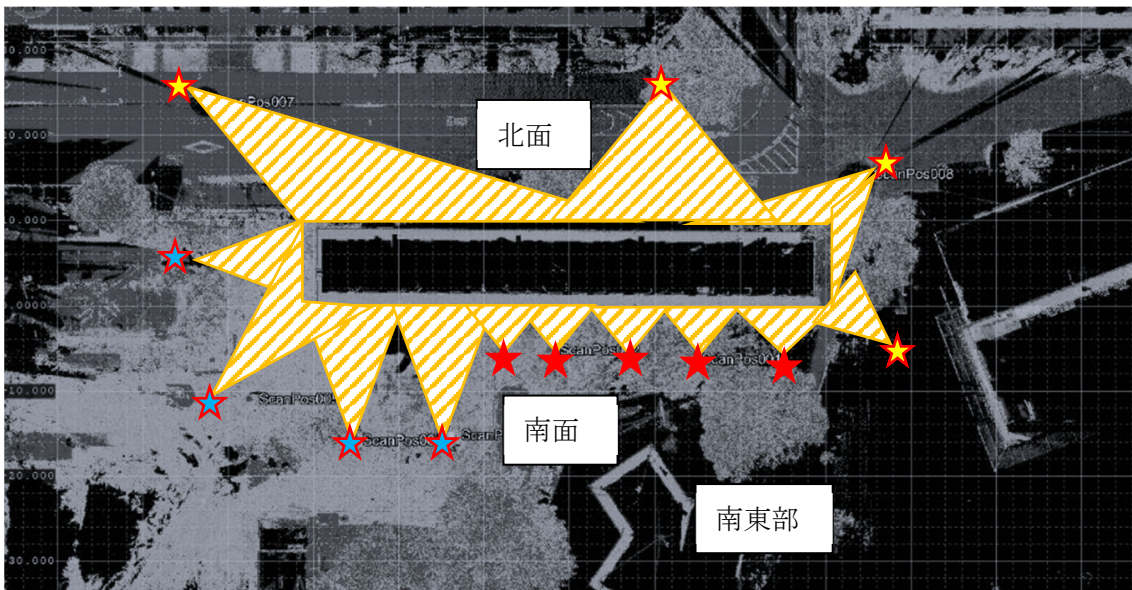


図 2.3 地上レーザスキャナの設置計画図

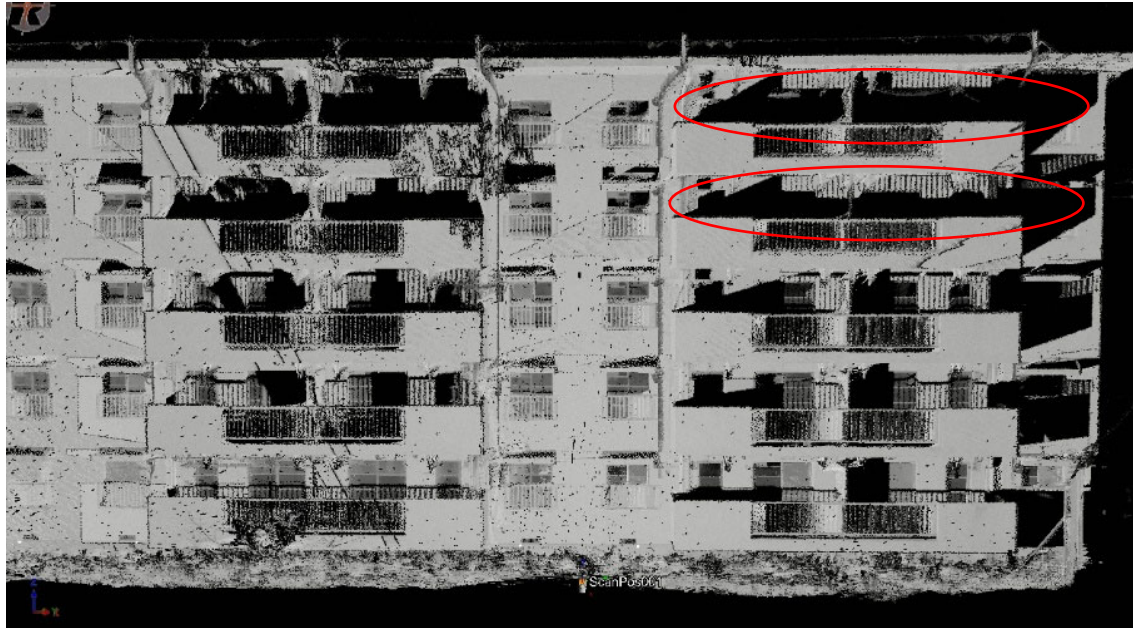


図 2.4 南面の死角となる場所（赤丸）

2.2.2 建築基準点の設置

（要旨）

建築物を対象として標定点設置の際の基準となる点を設置する作業をいう。

<解説>

測量法に基づく既存の基準点がすでにある場合はそれらの成果を建築基準点としてもよい。

（建築基準点の配置）

建築基準点の配置は、特段の理由がない限り、対象建築物の外周部に設置する。建築基準点の配点密度は、対象建築物の外周部に4点以上設置（図 2.5 参照）する。ただし、建築物の規模が大きい等の理由によりその配点密度を変更する場合においては、発注者と協議の上適切に決定する。

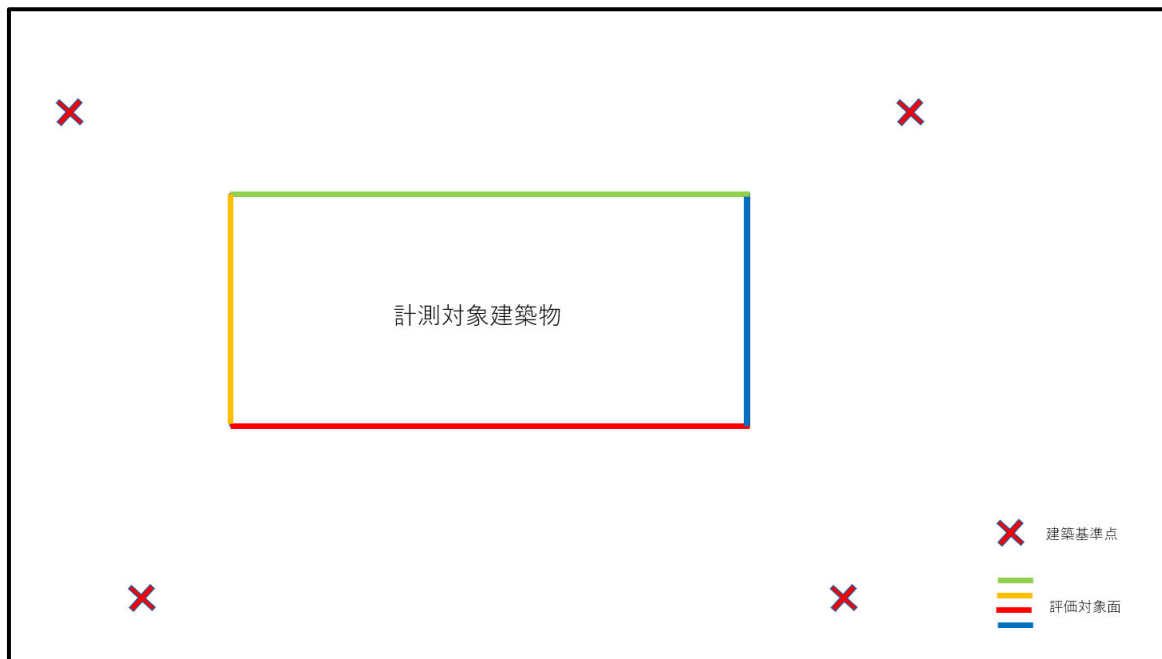


図 2.5 本計測に必要な建築基準点の配置イメージ

(建築基準点の座標精度)

建築基準点を新たに設ける場合は以下の精度を確保する。

- 一 位置情報は、作業規程の準則第 2 編基準点測量において定められた 4 級基準点以上の精度
- 二 高さは、作業規程の準則第 2 編基準点測量において定められた簡易水準点以上の精度

(方法)

- 一 位置については作業規程の準則第 5 編応用測量第 4 章用地測量第 6 節境界測量において定められた方法を用いる。
- 二 高さについてはトータルステーションを用いて間接水準測量を行うものとする。

<解説>

間接水準測量とは、図 2.6 のように観測区間の両端に固定点を設け、鉛直角観測と距離測定を行い、その後高低計算によって新点の標高を計算する方法である。図中記号は以下

- H：新点と既知点の標高差。
- D：器械とターゲット間の斜距離。
- I：既知点から器械までの高さ。
- F：新点からターゲットまでの高さ。
- L：新点と既知点の水平距離。
- θ ：器械からターゲットを見た際の鉛直角度。

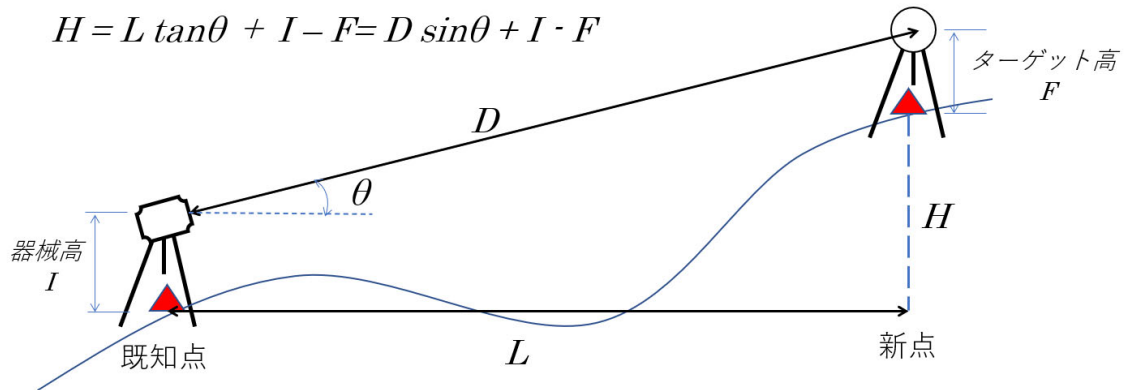


図 2.6 間接水準測量

(機器)

建築基準点の設置に用いる機器は、1.4 の使用機器にあるその他の計測機器に示すものを用いる。

(成果物)

成果物は、次の各号のとおりとする。

- 一 建築基準点成果表 (様式第 1)

2.2.3 標定点の設置

(要旨)

標定点の設置とは、座標変換により地上レーザスキャナに位置情報と高さ方向を与え、鉛直軸を適切に得るための基準となる標識を設置する作業をいう。

<解説>

- ・ 後方交会法を用いる場合、水平に設置されていることが条件である。
- ・ 標識を建築基準点から直接観測して標定点に代替できる場合は、標定点を設置しなくてもよい。ただし可否については発注者と協議すること。

(標定点の配置)

標定点は、地上レーザスキャナの設置位置とともに次の各号に配慮して適切に配置するものとする。

- 一 地上レーザスキャナの性能
- 二 平面直角座標系への変換方法

<解説>

- ・ 座標変換の方法 (相似変換及び後方交会による方法) に応じて、標定点の配置を決定する。
- ・ 標定点は、レーザ計測の有効範囲 (対象建築物を平面的に包含するエリア) の外に設置する (図 2.7 参照) ことを原則とする。
- ・ 建築基準点上に標識を設置することもできる。

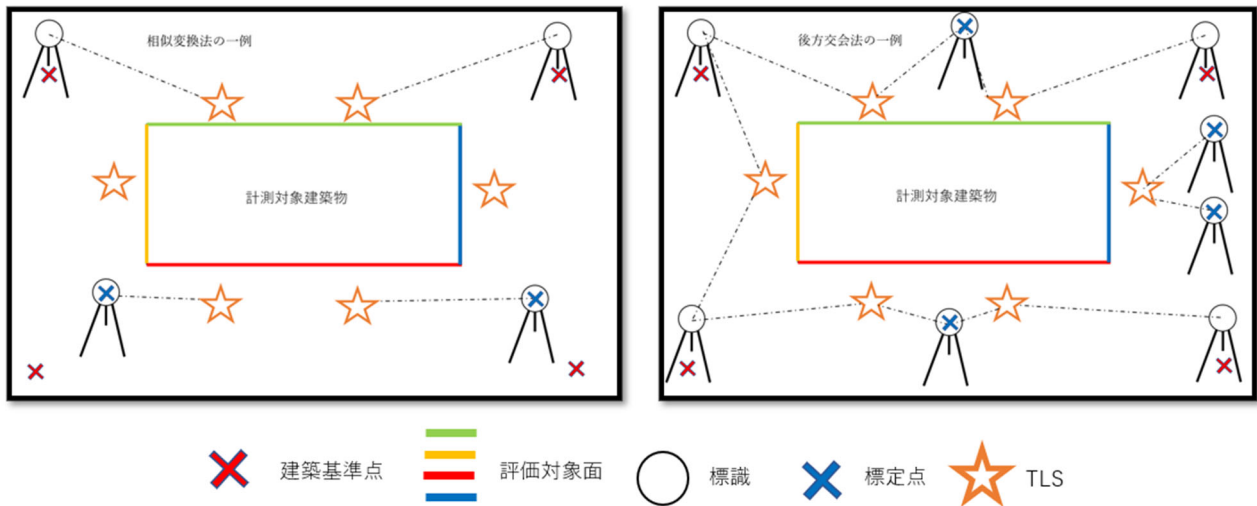


図 2.7 本計測に必要な標定点の配置イメージ

(標識の設置)

標定点の上には、標識を設置することを原則とする。

標識の形状及び大きさは、その中心が所定の精度で取得できるものでなければならない。

<解説>

- ・ 標識の形状及び反射特性は、地上レーザスキャナのメーカーが推奨するものを使用することを原則とする。
- ・ 標識の大きさは、地上レーザスキャナからの距離に応じて選択するものとする。
- ・ 標識は、地上レーザスキャナに正対して設置しなければならない。
- ・ 標識と同等の計測精度が得られる地物を標定点とする場合は、標識を設置しなくともよい。

(標定点の座標精度)

- ・ 標定点の座標精度は XYZ 成分で地上レーザスキャナの座標精度以内とする。

<解説>

- ・ 1 年以内に実施された JSIMA115 で求められた地上レーザスキャナの座標精度
- ・ 標定点の設置に用いる機器は、1.4 の使用機器にあるその他の計測機器で 2 級トータルステーション以上を用いる。

(方法)

標定点の計測方法は以下の通りとする

- 一 位置については作業規程の準則第 5 編応用測量第 4 章用地測量第 6 節境界測量において定められた方法を用いる。
- 二 高さについてはトータルステーションを用いて間接水準測量を行うものとする。

(機器)

標定点の設置に用いる機器は、1.4 の使用機器にあるその他の計測機器に示すものを用いる。

(成果物)

成果物は、次の各号のとおりとする。

- 一 標定点成果表 (様式第 2)
- 二 標定点配置図 (様式任意)

2.2.4 評価参照点の設置

(要旨)

評価参照点の設置とは、被災後計測データに対して、評価対象面の位置合わせを行うための基準となる点を設置する作業をいう。評価参照点は対象建築物に設置するものである。

(評価参照点の配置・設置)

評価参照点は、対象建築物に次の各号に配慮して適切に配置するものとする。

- 一 対象建築物の規模
- 二 対象建築物の形状
- 三 使用する地上レーザスキャナの性能
- 四 周辺環境
- 五 設置情報

<解説>

ここでは、対象建築物の特徴に応じた評価参照点の配置・設置情報を例示する。例えば、評価参照点は建築物基礎の立ち上がり部分などに施工アンカーを設置することなどの方法が挙げられる。その際、当該アンカー筋はコンクリート躯体に深く打ち込む必要がある。当該アンカー筋の端面上等に座標を設定することになるため、その場所を明確に記録することが必要である。

図 2.7 に標準規模の建築物の場合の評価参照点を示す。図 2.8 に示すように地震後に損傷がでないと思われる箇所へ設置することが必要である。ただし、当該部位に設置することが困難な場合は、なるべく高さの低い堅牢な部位を選定して設置する。

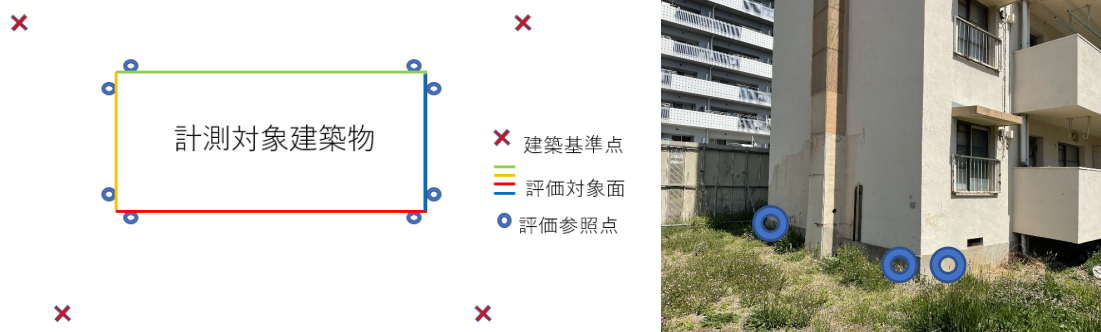


図 2.8 本計測に必要な評価参照点の配置イメージ

(評価参照点の座標精度)

評価参照点の座標精度は XYZ 成分で地上レーザスキャナの座標精度以内とする。

<解説>

- ・ 1 年以内に実施された JSIMA115 で求められた地上レーザスキャナの座標精度
- ・ 評価参照点の設置に用いる機器は、1.4 に示すもので 2 級トータルステーション以上を用いる。

(成果物)

成果物は、次の各号のとおりとする。

- 一 評価参照点配置図 (様式任意)

2.3 計測作業

(要旨)

計測作業とは、地上レーザスキャナにより対象建築物の形状を計測するとともに、2.1 に示す方法を用いて平面直角座標系に変換する作業をいう。

(地上レーザスキャナ)

地上レーザスキャナは、1.4 に示す所定の性能を有するものを使用しなければならない。

(三次元点群に求められる品質)

三次元点群に求められる品質として、真値推定精度、点密度に着目しており、それらは評価項目に応じて異なる精度や点密度が必要となる。

評価項目毎の要求精度は、以下の表 2.1 に示すように指定面積に対する必要点数 n は真値推定誤差の値に基づき設定する。

表 2.1 評価項目に応じた要求精度

評価項目	指定面積 (mm)	真値推定誤差 (mm)
残留変形	100×100	2.0
剥落	20×20	2.0
浮き	10×10	2.0

<解説>

使用する機器の計測値の標準偏差に対して、必要となる点間隔を確認する必要がある。その際、実際に計測点までの距離を想定しておく必要がある。

表 2.2、表 2.3、表 2.4 は各評価対象に対する現存する計測機器毎の標準偏差と点密度の関係を例示したものである。なお表内の必要点数 n (点) については小数点以下切り上げとして点間隔 (mm) については小数点以下切り捨てとする。計測値の標準偏差 σ は本手引きにおいては 1 年以内に実施された JSIMA115 で求められた面精度の値としなければならない。

真値推定誤差 $1.96 \times \sigma / \sqrt{n}$ (式 2) の値が 2mm 以内となる必要点数 n を決定する。

表 2.2 評価対象が残留変形の場合

計測機器	標準偏差 σ (mm)	必要点数 n (点)	指定面積 (mm)	点間隔 (mm)
A	0.4	1	100×100	100
B	0.5	1	100×100	100
C	2.2	5	100×100	44
D	2.5	7	100×100	37
E	2.7	8	100×100	35

表 2.3 評価対象が表面剥落の場合

計測機器	標準偏差 σ (mm)	必要点数 n (点)	指定面積 (mm)	点間隔 (mm)
A	0.4	1	20×20	20
B	0.5	1	20×20	20
C	2.2	5	20×20	8
D	2.5	7	20×20	7
E	2.7	8	20×20	7

表 2.4 評価対象が表面浮きの場合

計測機器	標準偏差 σ (mm)	必要点数 n (点)	指定面積 (mm)	点間隔 (mm)
A	0.4	1	10×10	10
B	0.5	1	10×10	10
C	2.2	5	10×10	4
D	2.5	7	10×10	3
E	2.7	8	10×10	3

(標識の計測)

地上レーザスキャナを用いて標識の中心座標を求める。

<解説>

地上レーザスキャナを用いた標識の計測には以下の方法がある。

- 一 標識自動計測：標識の中心座標を自動で決定するもので、その決定に必要な精度を確保して計測する方法。この方法では、専用の標識を用いるなど、使用するスキャナの性能に応じた標識の仕様を満足する必要がある。
- 二 標識手動計測：標識の中心座標を手動で決定するもので、主として三次元点群から標識の中心を目視判読して計測するもの。この方法では、計測者自らが計測点間隔、標識の大きさや模様、標識表面の素材などに留意しなければならない。

(評価参照点の計測)

評価参照点の計測は、トータルステーションを用いて行う。

<解説>

対象建築物に設置されている評価参照点はトータルステーションを用いることを原則とする。ただしそれが困難である場合は、標識を自動計測による方法などを利用して、相対的な位置情報を取得することができるものとする。なお評価参照点は建築物の主軸の決定に活用する場合、同一の器械点から計測することが望ましい。このトータルステーションは、作業規程の準則第 35 条に準ずるものとする。地上レーザスキャナの機能を用いる場合は座標精度が指定の性能を有すること。

座標精度については本手引き 1.2 適用範囲を参照

(平面直角座標系への変換)

三次元点群は、2.1 に示す方法を用いて平面直角座標系に変換する。

平面直角座標系への変換における標定点の残差は、標定点の精度を考慮して適切に設定しなければならない。

発注者指定の座標系がある場合はそれに従うこととする。

<解説>

- ・ 相似変換による方法及び後方交会による方法を用いる場合は標定点等を用いて平面直角座標系へ変換する。
- ・ 相似変換による方法及び後方交会による方法の平面直角座標系への変換における標定点の残差は、5mm を標準とするが以下の条件を満たす場合は発注者と協議の上、残差を変更しても良い。
上記の許容される残差として、対象建築物の高さHに対して1/1000 となる角度 θ を求め、標定点の最大距離において角度 θ から得られる値（図 2.9 参照）を用いることが挙げられる。

$$\tan\theta = D / H = 1 / 1000$$

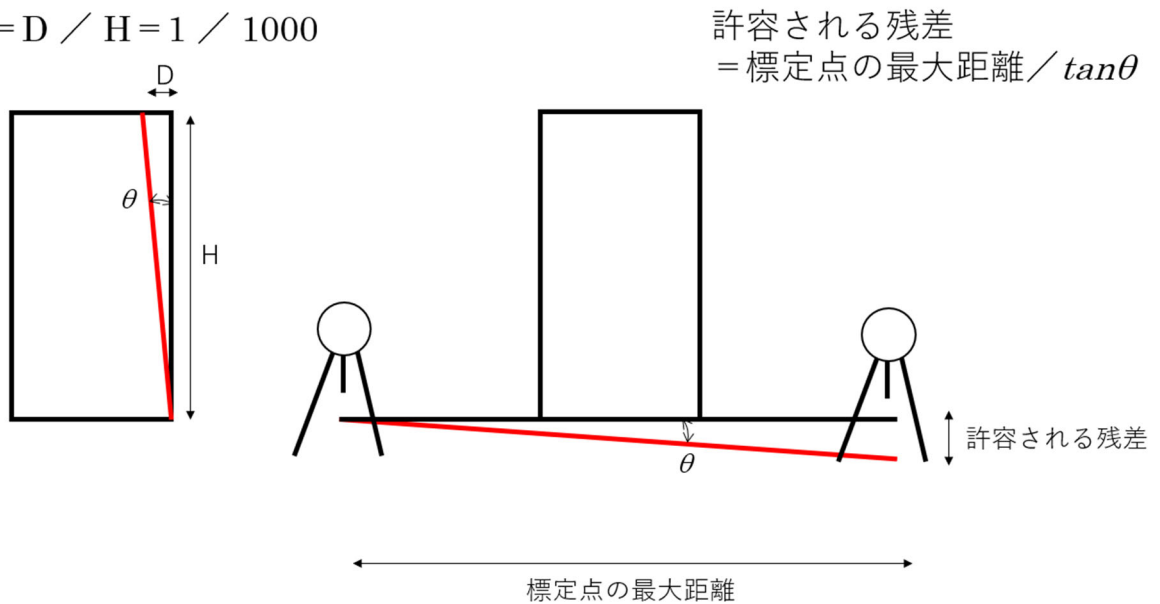


図 2.9 許容される残差

(成果物)

成果物は、次の各号のとおりとする。

- 一 評価参照点成果表（様式第3）
- 二 地上レーザスキャナ計測諸元表（様式4）
- 三 座標（平面直角座標系/任意座標系）の変換 精度管理表（様式第5）

2.4 データ編集作業

(要旨)

データ編集作業とは、取得した 3 次元三次元点群から対象建築物を捉えていない点を除去する作業に加え、損傷評価精度を向上させるための三次元点群の品質確保処理作業のことをいう。

(三次元点群編集システム)

三次元点群編集に使用するシステムは、次の各号の構成及び性能を有するものとする。

- 一 電子計算機、スクリーンモニター及びマウス等を有する。
- 二 任意の視点から 3 次元表示できる。
- 三 X、Y、Z の座標値の修正および記録できる。
- 四 座標系調整ができる。
- 五 評価対象面が設定できる。
- 六 データの信頼性を確認できる。

<解説>

座標系調整とは、損傷評価を行う建築物の評価対象面と座標系の各軸が同一となるよう、評価する点群の座標系を XY 平面による回転および平行移動量を指定する機能である。

評価対象面の設定とは、構造部材が含まれる範囲を座標値で最大最小範囲を指定して抽出し壁面や柱面といった属性情報を与えることである。

データの信頼性確認の指標としては以下が挙げられる。

- ① 得られた点群の点密度の可視化。
- ② そのデータのばらつき具合、統計処理結果。
- ③ 真値推定を行った際の誤差。
- ④ 真値推定の際に使用した点群の最大最小幅。
- ⑤ 点群密度分布ヒストグラム。

2.4.1 オリジナルデータの作成

(要旨)

オリジナルデータの作成とは、特定された座標系に合致した三次元点群に対してノイズデータを取り除くなどして三次元点群の品質低下抑制のための編集作業のことである。そのデータの拡張子は las もしくは txt とする。

<解説>

三次元点群の品質低下抑制処理（フィルタリング処理）の例を図 2.10 に示す。図 2.10 (a) はノイズが存在している生データである。このデータに対して、反射率を用いてフィルタリングしたもの（図 2.10 (b)）、偏差情報を用いてフィルタリングしたもの（図 2.10 (c)）、マルチターン情報を用いてフィルタリングしたもの（図 2.10 (d)）である。図 2.10 (b) より水色で示した三次元点群は除去される点で、主として物の輪郭や入射が鋭角な部分が削除されていることが分かる。図 2.10 (c) より赤色で示した三次元点群は除去される点で、主として空気中の埃などが削除されていることが分かる。図 2.10 (d) より黄色で示した三次元点群は除去される点で、複数の物に反射して得られた点が削除されていることが分かる。

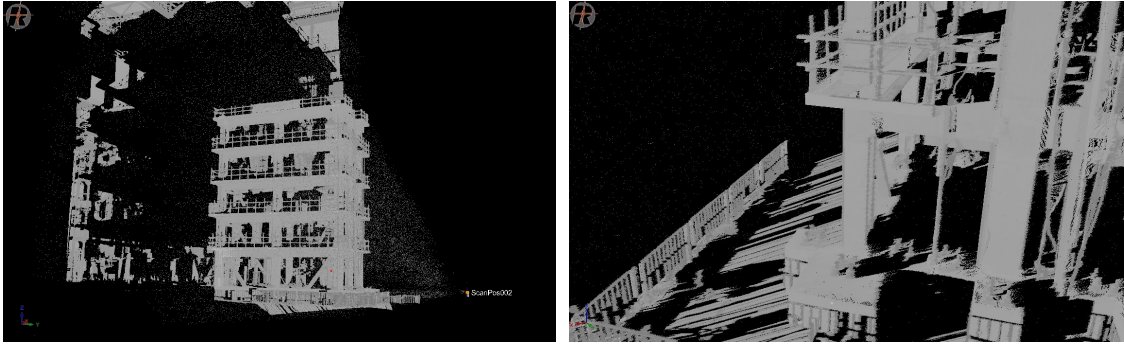


図 2.10 (a) 生データの三次元点群表示

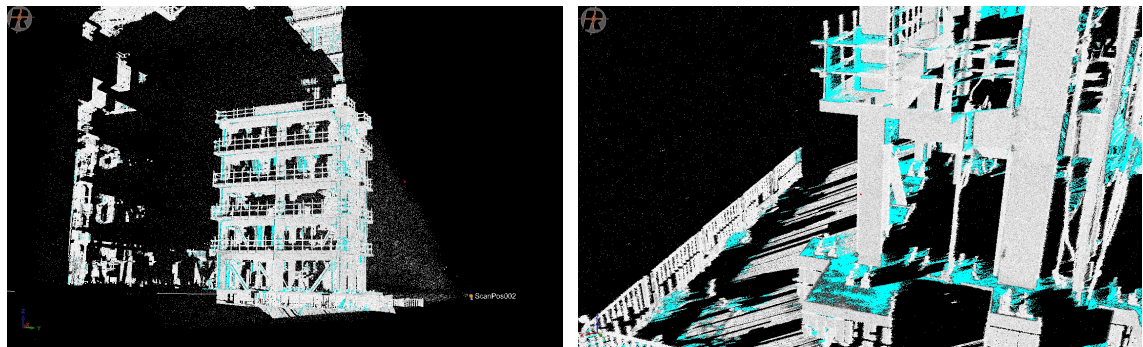


図 2.10 (b) フィルタ適用の三次元点群表示 (反射率)

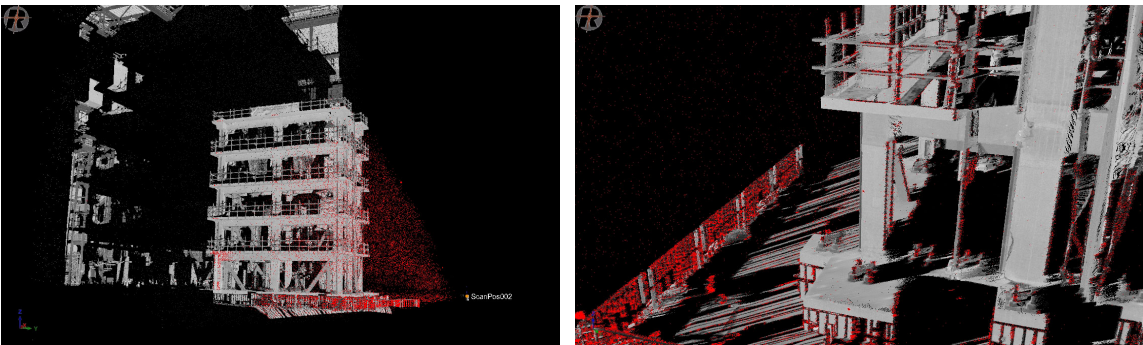


図 2.10 (c) フィルタ適用の三次元点群表示 (偏差情報)

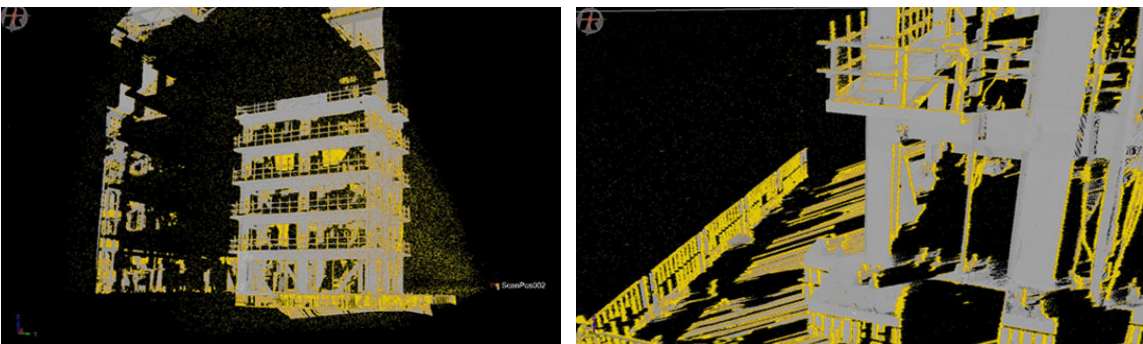


図 2.10 (d) フィルタ適用の三次元点群表示 (マルチリターン情報)

図 2.10 (b) や図 2.10 (c) のフィルタリング処理では、データに応じて設定範囲が異なる場合があるため一例を以下に示す。

図 2.11 はノイズが存在している生データ(a)に対して反射率を用いて処理した例となる。赤色で示しているデータが削除対象となったデータである。

フィルタリングの設定値（上下限值）によって以下のような処理を行うことができる。

(b)：良好な設定範囲を用いてフィルタリングしたもの。

(c)：設定範囲が大きいため、大きくフィルタがかかりすぎたもの。

(d)：設定範囲が小さいため、処理不足となっているもの。

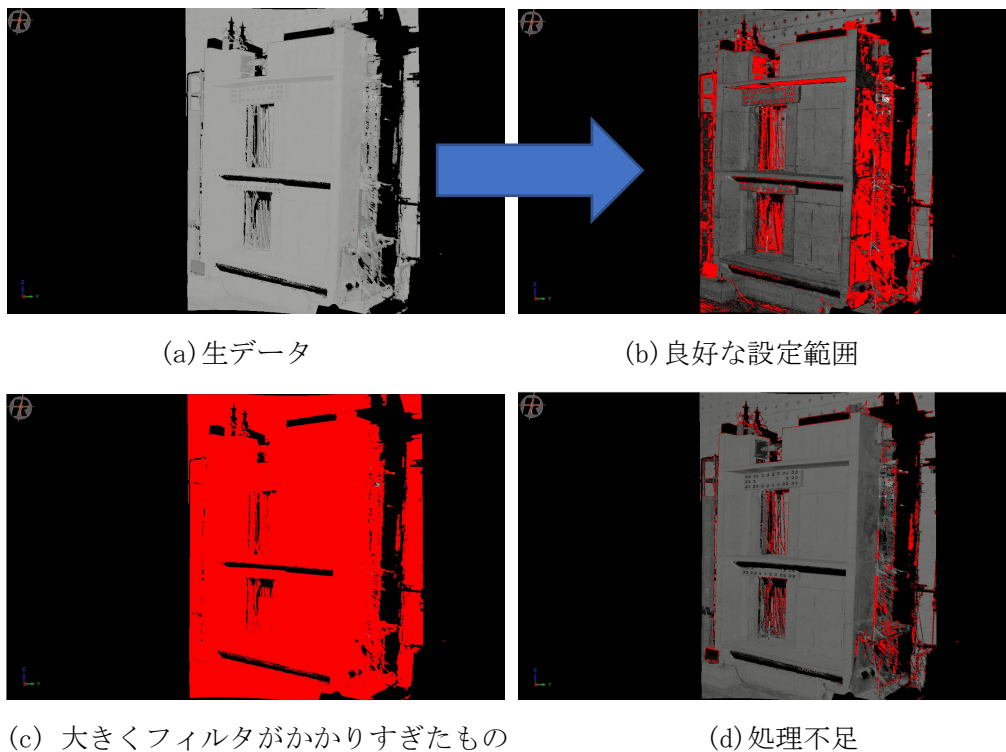
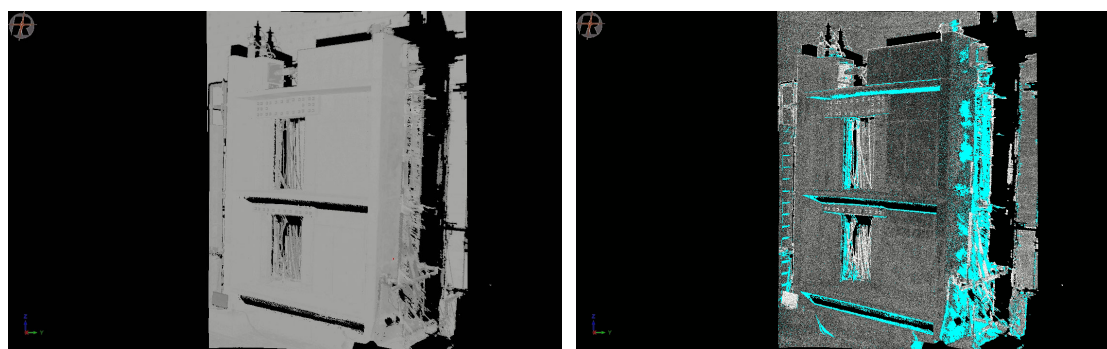


図 2.11 反射率による処理の例

図 2.12 はノイズが存在している生データ (a) に対して偏差情報を用いて処理した例となる。水色で示しているデータが削除対象となったデータである。

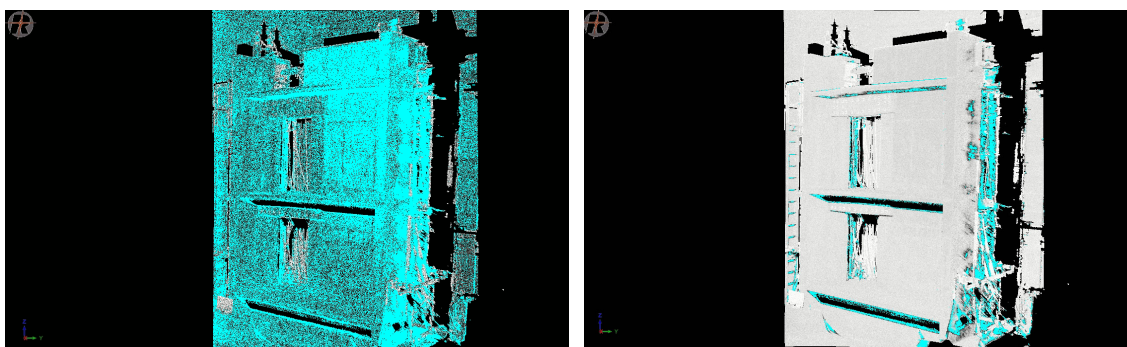
フィルタリングの設定値 (上下限值) によって以下のような処理が行われる。

- (b) : 良好な設定範囲を用いてフィルタリングしたもの。
- (c) : 設定範囲が大きいため、大きくフィルタがかかりすぎたもの。
- (d) : 設定範囲が小さいため、処理不足となっているもの。



(a) 元データ

(b) 良好な設定範囲



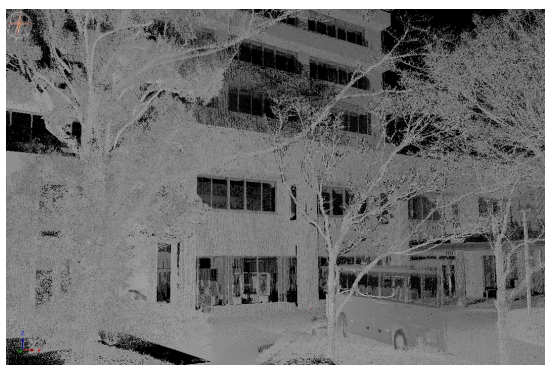
(c) 大きくフィルタがかかりすぎたもの

(d) 処理不足

図 2.12 偏差情報による処理の例

図 2.13 は車や歩行者など（静止しない）対象物をスキャンした点群を検出し特定する機能を使用した際の処理の事例である。この処理を行うためには他の計測データが存在し、かつそれらが合成済みであることが前提条件である。

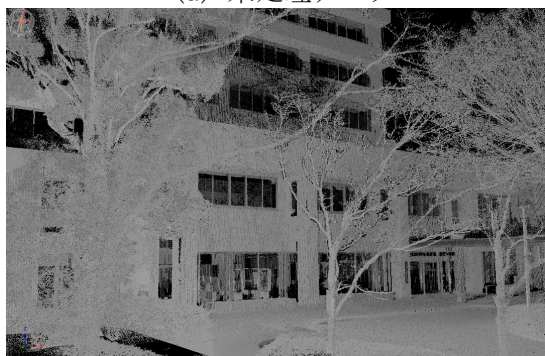
ノイズが存在している生データ(図 2.13(a))に対して、単独の計測データにしか存在しない、車や歩行者などを特定することが出来る(図 2.13(b))、それらのデータを消去する(図 2.13(c)) ことで単独ポジションにしか存在していない静止しない対象物を除去することが可能となる。



(a) 未処理データ



(b) 未重複データの特定



(c) 処理後のデータ

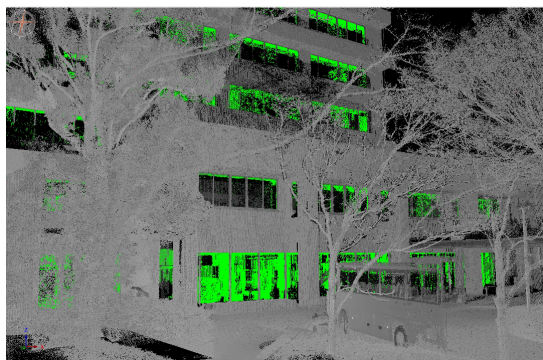


(d) 対象建築物写真

図 2.13 複数ポジションデータを利用したノイズ処理

図 2.14 は、図 2.13(a)のデータに対して窓ガラスなどに反射することで、それらの後部に生成される不要な点群を特定する機能を使用した際の処理の事例である。

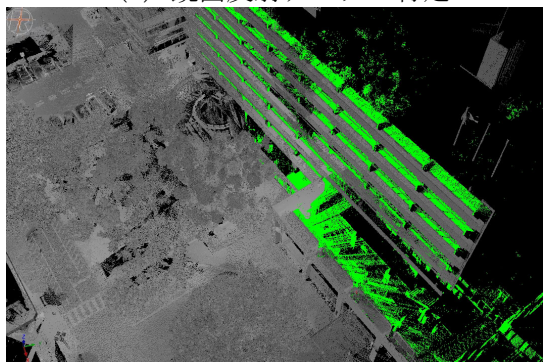
ノイズが存在している生データ図 2.13(a)に対して窓ガラスで反射した点群や窓ガラス後部に生成された点群を特定し (図 2.14(a)・(c))、それらのデータを消去する (図 2.14(b)・(d)) ことで、窓ガラス面で反射した点群を除去できる。



(a) 鏡面反射データの特定



(b) 処理後のデータ



(c) 鏡面反射データの特定



(d) 処理後のデータ

図 2.14 鏡面反射データから生じるノイズ処理

2.4.2 差分解析用データの作成

(要旨)

差分解析用データには部位の局所座標に変換を行った上で、単独ポジションおよび評価対象面(床面、壁面等)ごとに真値推定が行われたものを用いる必要がある。

差分解析用データの拡張子は las もしくは txt とする。

<解説>

部位の局所座標への変換とは平面直角座標系で取得された3次元データを対象建築物の平面上最下点部を原点としてXY軸を対象建築物に合わせて回転させた座標軸への変換を行う作業のことをいう。(図2.15参照)なお、座標軸の変換作業には評価参照点を用いることができる。

真値推定とは最頻値面を定義し、その面に対して $\pm 5\text{mm}$ に含まれる点群を用いて平均化処理したデータのこと、 10mm の正規メッシュデータとして構成されているもの(図2.16参照)である。



図 2.15 部位の局所座標への変換

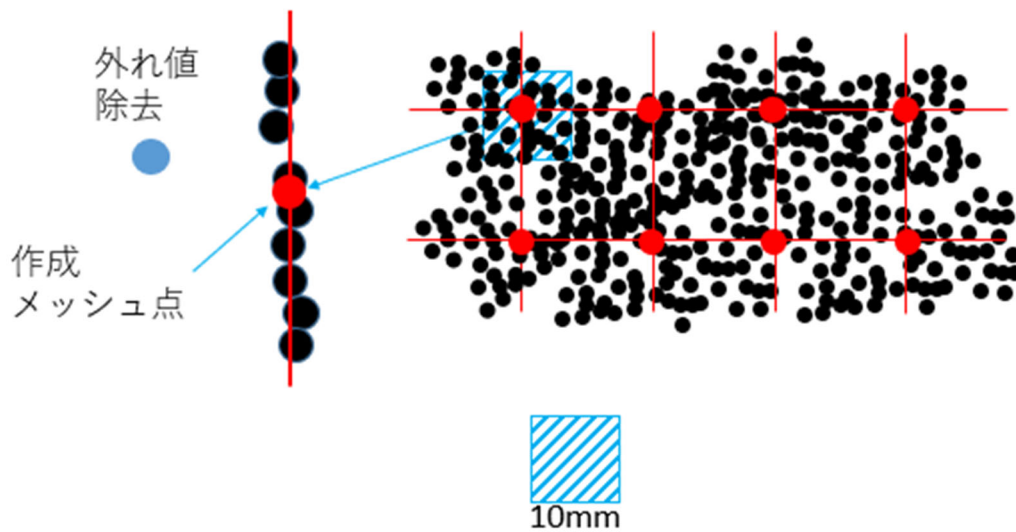


図 2.16 10mm の正規メッシュデータ作成

差分解析用データの取り扱いは基本、単独ポジションを原則とするが、合成データを扱う際には、合成データの点群分布性状が損傷評価に影響するため、合成データの分布を確認する必要がある。図 2.17 は 3カ所の計測データを合成したもので、点群の塊が 3つ存在する。各点群は青線で示した位置が平均位置（最頻値・中央値）で、図 2.17 で示した範囲でのばらつきであるが赤矢印で示すような差があった場合、TLS の計測精度が 5.0mm であった場合、合成処理の際に得られる標準偏差が 1.5mm 程度に収まっていれば、 3σ で 4.5mm 程度となり、TLS の計測精度 5.0mm と比べても許容範囲に収まっていると考えられる⁸⁾。このように合成データの確認を行い、その品質確認が重要である。

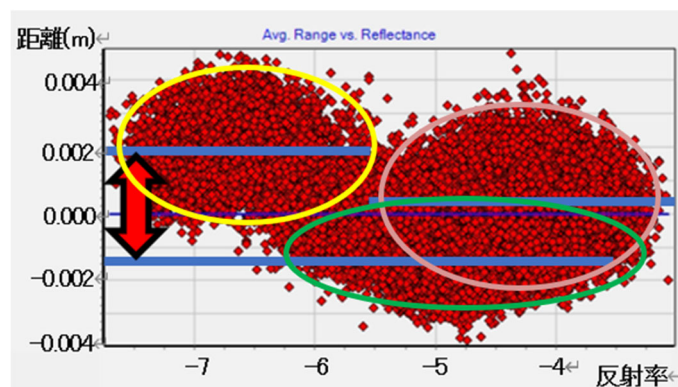


図 2.17 合成データのばらつき情報

2.4.3 標定点および評価参照点の座標変換

(要旨)

標定点のおよび評価参照点の座標変換とは、2.4.2 で変換した部位の局所座標における標定点と評価参照点の座標を求める作業をいう。

(成果物)

成果物は、次の各号のとおりとする。

- 一 標定点成果表（様式第2）
- 二 評価参照点成果表（様式第3）

2.4.4 概略データの作成

(要旨)

概略データとは、差分解析用データを用いて得られるもので、評価対象面の各データを合成して得られる対象建築物全体のことである。

2.4.5 損傷評価対象範囲特定図の作成

(要旨)

損傷評価項目の内、最も高い密度のデータを成果物とすればよい。本作業の結果、被災後に損傷評価可能な範囲が特定されるため、それらを図（図 2.18 右図参照）で示す。図 2.18 左図は点群で計測された状態であるが、上層階の壁部分や向かって右側の壁部分においてデータが欠損している箇所がある。それらを特定し、評価対象とできる面を明らかにするための図 2.18 右図のような図を作成することが必要である。なお損傷評価対象範囲が特定できるように必要な寸法や桁数、単位については建築物の立面図（図 2.19 参照）を参考に決定すればよく、縮尺や用いる単位は図の見やすさを勘案して評価に従事する作業者が適切に指定すればよい。



図 2.18 損傷評価対象範囲の特定（右図赤色部分）



図 2.19 立面図の例

残留変位評価点とは、被災後の建築物の残留変形を評価するための点情報のことで、それらは当該評価点の周辺にある点群データから平均化されて求まる代表点である。図 2.20 にその例を示す。これらは通常柱や壁の表面にある点となる。なお損傷評価対象範囲が特定できるように必要な寸法や桁数、単位については建築物の立面図（図 2.19 参照）を参考に決定すればよく、縮尺や用いる単位は図の見やすさを勘案して評価に従事する作業者が適切に指定すればよい。

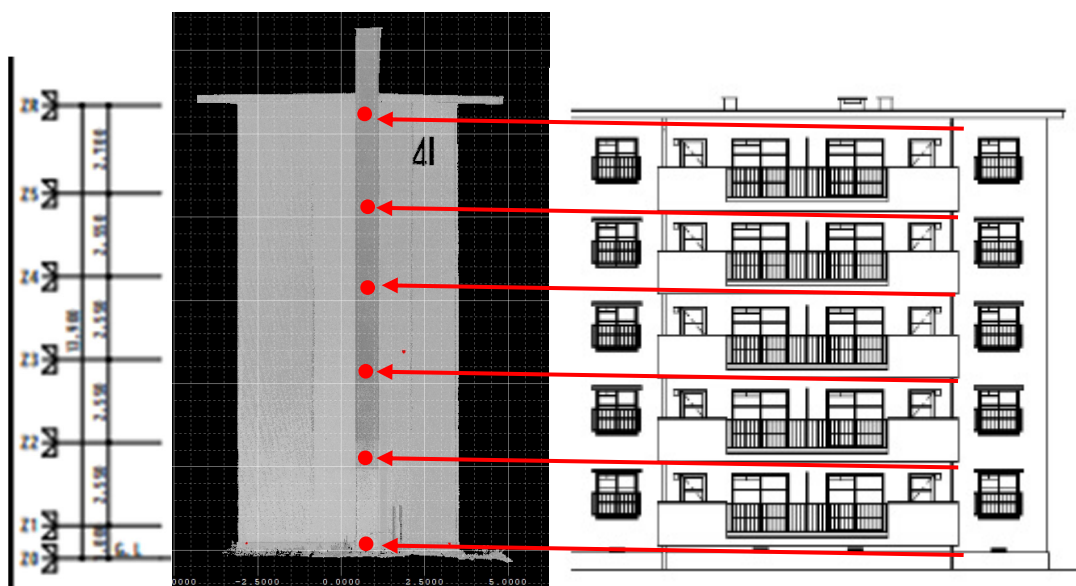


図 2.20 残留変位評価点の特定(赤丸の位置)

2.4.6 建物基本情報図の作成

(要旨)

建物基本情報図とは、当該建築物の位置情報と規模から建築物を特定する情報のことで、その情報は建築物の緯度経度、平面上における長辺短辺の長さ、建築物高さから構成される。なおこの建物基本情報図は竣工図(敷地境界から建築物の距離が示されているもの)を使用することも考えられる。

- ・緯度経度は平面直角座標から算出することとし、対象建築物の各隅角部の値を求める。
- ・長辺方向の長さ、短辺方向の長さ(それぞれ建築物の主要な直交する2軸のそれぞれの最大長さ):建築物平面上における各隅角部の各辺の長さ
- ・建築物高さ(地表面から建築物最高高さ):損傷評価対象範囲特定図から求める
- ・2.4.2で回転させた際の方位角

2.5 成果物

(三次元計測事前情報)

三次元計測事前情報は以下のものをいう。

- ・建築基準点成果表(様式第1)
- ・標定点成果表(様式第2)
- ・標定点配置図(様式任意)
- ・評価参照点配置図(様式任意)
- ・評価参照点成果表(様式第3)
- ・地上レーザスキャナ計測諸元表(様式第4)
- ・座標(平面直角座標系/任意座標系)の変換 精度管理表(様式第5)
- ・オリジナルデータ
- ・差分解析用データ
- ・概略データ
- ・損傷評価対象範囲特定図(立面図・残留変位評価点)
- ・建物基本情報図(様式第6)

第3章 地上レーザスキャナ計測/被災後

3.1 概説

(要旨)

中破程度以上の建築物の損傷が起きたことが特定された後に実施すべき地上レーザスキャナによる被災後の計測作業方法について示す。

3.2 計測のための準備作業

3.2.1 作業計画立案

(要旨)

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。

3.2.2 評価参照点の確認

(要旨)

事前に設置した評価参照点に異常が無いことを確認する。

<解説>

目視確認のうえ、対辺測定などに基づき評価参照点の使用の可否を決定する。対辺測定とは2点の座標間距離を計算によって求める方法のことである。ここでの測定結果については帳票に記録する。

(成果物)

成果物は、次の各号のとおりとする。

- 一 被災後における評価参照点報告書（任意）

3.2.3 標定点の設置

(要旨)

標定点の設置とは、座標変換により地上レーザスキャナに位置情報と標高、方向を与えるための基準となる点（以下「標定点」という。）を設置する作業をいう。

<解説>

- ・2.4.3にて変換した評価参照点を用いて現地座標系を構築する。
- ・2.4.3にて変換した事前に設置した標定点が評価参照点とズレが無いとみなせる場合は使用してもよい。
- ・評価参照点を用いてトータルステーションによる後方交会により標識を直接観測する場合は、標定点を設置しなくてもよい。ただし可否については発注者と協議すること。

(標定点の配置)

標定点は、地上レーザスキャナの設置位置とともに次の各号に配慮して適切に設置するものとする。

- 一 作業範囲の大きさ
- 二 地上レーザスキャナの性能
- 三 平面直角座標系への変換方法

<解説>

- ・標定点は、レーザ計測の有効範囲（対象建築物を平面的に包含するエリア）の外に設置することを原

則とする。

- ・評価参照点は、標定点を兼ねることができる。

(方法)

標定点の計測方法は以下の通りとする

- 一 位置については作業規程の準則第5編応用測量第4章用地測量第6節境界測量において定められた方法を用いる。
- 二 高さについてはトータルステーションを用いて間接水準測量を行うものとする。

(機器)

標定点の設置に用いる機器は、1.4に示すものを用いる。

(標識の設置)

標定点の上には、標識を設置することを原則とする。

標識の形状及び大きさは、その中心が所定の精度で取得できるものでなければならない。

<解説>

- ・標識の形状及び反射特性は、地上レーザスキャナのメーカーが推奨するものを使用することを原則とする。
- ・標識の大きさは、地上レーザスキャナからの距離に応じて選択するものとする。
- ・標識は、地上レーザスキャナに正対して設置しなければならない。
- ・標識と同等の計測精度が得られる地物を標定点とする場合は、標識を設置しなくともよい。

(成果物)

成果物は、次の各号のとおりとする。

- 一 標定点成果表（様式第2）
- 二 標定点配置図（様式任意）

3.3 計測作業

(要旨)

地上レーザスキャナ計測とは、地上レーザスキャナにより対象建築物の形状を計測するとともに、標定点を用いて事前計測の座標系に変換する作業をいう。

(地上レーザスキャナ)

地上レーザスキャナは、1.4に示す所定の性能を有するものを使用しなければならない。

<解説>

- ・震災前に計測した地上レーザスキャナと同等以上の性能を有すること
- ・器械設置位置はなるべく震災前に計測した位置に合わせる

(三次元点群に求められる品質)

三次元点群に求められる品質として、真値推定精度、点密度に着目しており、それらは評価項目に応

じて異なる精度や点密度が必要となる。

評価項目毎の要求精度は、以下の表 3.1 に示すように指定面積に対する必要点数 n は真値推定誤差の値に基づき設定する。

表 3.1 評価項目に応じた要求精度

評価項目	指定面積 (mm)	真値推定誤差 (mm)
残留変形	100×100	2.0
剥落	20×20	2.0
浮き	10×10	2.0

(標識の計測)

標識の中心座標を求める。

<解説>

標識の計測は、以下の方法がある。

- 一 地上レーザスキャナが標識を計測するための専用の機能を持ち、必要な精度を判断して計測する方法。この方法では、専用の標識を用いるなど、メーカーの仕様にしたがう必要がある。
- 二 通常と同じ計測をし、目視により三次元点群から標識の中心を判読して計測するもの。この方法では、計測者自らが計測点間隔、標識の大きさや模様、標識表面の素材などに留意しなければならない。

(現地座標系への座標変換)

三次元点群は、標定点を用いて現地座標系に変換する。

座標変換における標定点の残差（観測で得られた値とその観測値を用いて値を計算した結果との差）は、所定の範囲内でなければならない。

<解説>

- ・相似変換による方法及び後方交会による方法を用いる場合は標定点及び評価参照点を用いて事前計測時の座標系へ変換する。その場合の事前計測時の座標系への変換における標定点の残差は、50mm 以内とする。
- ・器械点後視点（特定された位置にレーザスキャナを設置した場合）による計測を行う場合は、器械点及び後視点は評価参照点より構築された標定点および評価参照点を用いて計測するものとする。

(成果物)

成果物は、次の各号のとおりとする。

- 一 地上レーザスキャナ計測諸元表（様式第 4）
- 二 座標（平面直角座標系/任意座標系）の変換 精度管理表（様式第 5）

3.4 データ編集作業

(要旨)

データ処理作業とは、取得した三次元点群から対象建築物を捉えていない点を除去する作業に加え、損傷評価精度を向上させるための三次元点群の品質確保処理作業のことをいう。

(三次元点群編集システム)

2.4と同様のシステムとする。

3.4.1 オリジナルデータの作成

2.4.1と同様のデータを作成する。

3.4.2 差分解析用データの作成

2.4.2と同様のデータを作成する。

3.4.3 概略データの作成

2.4.4と同様のデータを作成する。

3.4.4 損傷評価対象範囲特定図の作成

原則、2.4.5と同様の図を作成する。ただし、事前の特定図の情報から損傷評価が困難と判断された場合においては、発注者と協議の上、損傷評価を実施できる特定図を作成する必要がある。

<解説>

事前の特定図の情報から損傷評価が困難と判断された場合には、事前に特定されていた残留変位評価点を新たに特定する必要があること、事前に特定されていた評価対象面が異なること等を留意する必要がある。

3.5 成果物

(三次元計測事後情報)

三次元計測事後情報は以下のものをいう。

- ・被災後における評価参照点報告書（任意）
- ・標定点成果表（様式第2）
- ・地上レーザスキャナ計測諸元表（様式4）
- ・座標（平面直角座標系/任意座標系）の変換 精度管理表（様式第5）
- ・オリジナルデータ
- ・差分解析用データ
- ・概略データ
- ・損傷評価対象範囲特定図（立面図・残留変位評価点）

第4章 損傷評価

4.1 概説

(要旨)

損傷評価とは、被災建築物の外周部における部材が損傷した箇所を特定した上で、定量的に損傷量を評価するもので、具体的には各部位に対して残留変形、浮き剥落損傷を算定し表示するものである。

4.2 評価項目および手順

4.2.1 評価項目

損傷評価項目は被災建築物の構造部材（柱や梁、壁部材等）の残留変位および変形角（地震後に部材に残留している損傷）と構造部材表面の浮き剥落面積である。

4.2.2 評価手順

差分による損傷評価：

- ・柱や壁の残留変位および残留変形角（部材の傾斜角）：二時期の差分量を求め、柱の残留変位（単位は mm、整数で表記）および変形角（部材の残留変位を部材高さで除した値、単位は%、小数点二桁で表記）の算定を行う。
- ・浮き剥落面積：差分解析用データを用いて、評価面に対して奥行き方向の残留変位量の算定（単位は mm²、小数点一桁で表記）を行う。なお、原則として差分計算は被災前後の損傷評価面の同一評価面上の同一点を用いること。ただし、上記以外の適切な方法による場合には、その手法の妥当性を示すこと。

<解説>

柱の残留変形角：

各層のスラブ位置の除荷時水平変位を各層の残留変位とする。また残留変位をその階の高さで除したものを各層の残留変形角とする。その際、あらかじめ特定された残留変位評価点の値を用いる必要がある。

例えば 3F の残留変位は図 4.1 の 3F δ (単位:mm)と記載されている変位でこれを 3F 高さ 3200mm で除した値が 3F の残留変形角である。

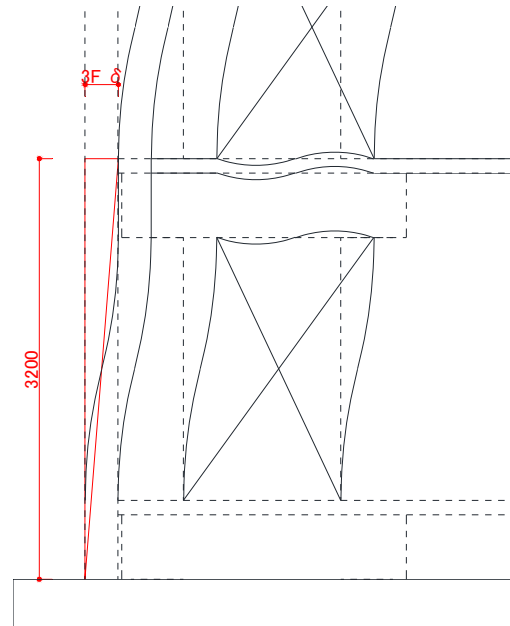


図 4.1 3F 残留変位の例(単位:mm)

浮き剥落面積：

浮き面積(mm²)は図 4.2 のように試験体の初期状態から比較してコンクリートが浮き出している部分の面積で、剥落面積は元のコンクリートから浮きの部分が離れ落ちた部分の面積とする。

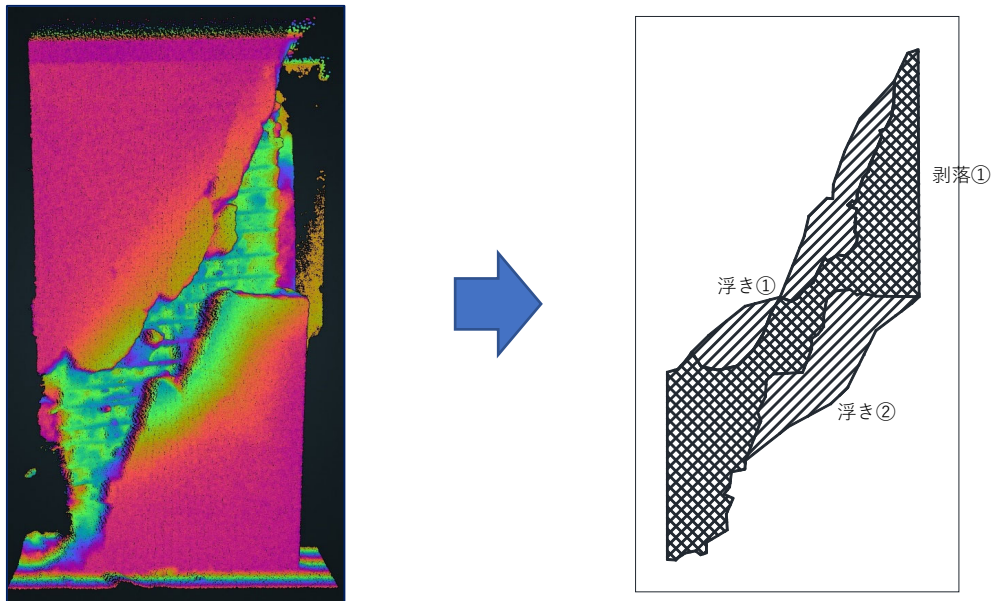


図 4.2 浮き・剥落面積の例

4.3 成果物

(建築物の被災情報)

建築物の被災情報は以下のものをいう。ここで被災情報を成果物として纏めるにあたり、損傷箇所を特定しておく必要がある。そこでまず評価対象面を図面上で特定する(図 4.3)。次に、特定された評価対象面において各階各方向の残留変形角と浮き剥落の分布図およびそれらの値の一覧表を示す。残留変形角一覧表に示す値は、各階各方向の残留変形角の最大値を記載するものとし、残留変位評価点におけ

る値を用いて算定する。なお、以下に示す図の縮尺や用いる単位は図の見やすさを勘案して評価に従事する作業者が適切に指定すればよい。

- 評価対象面特定図 (図 4.3)
- 各階各方向の残留変形分布図 (図 4.4)
- 各階各方向の残留変形角一覧表 (表 4.1)
- 各階各方向の浮き剥落分布図 (図 4.5)
- 各階各方向の浮き剥落面積一覧表 (表 4.2)



図 4.3 評価対象面の位置 (X0 構面の場合)

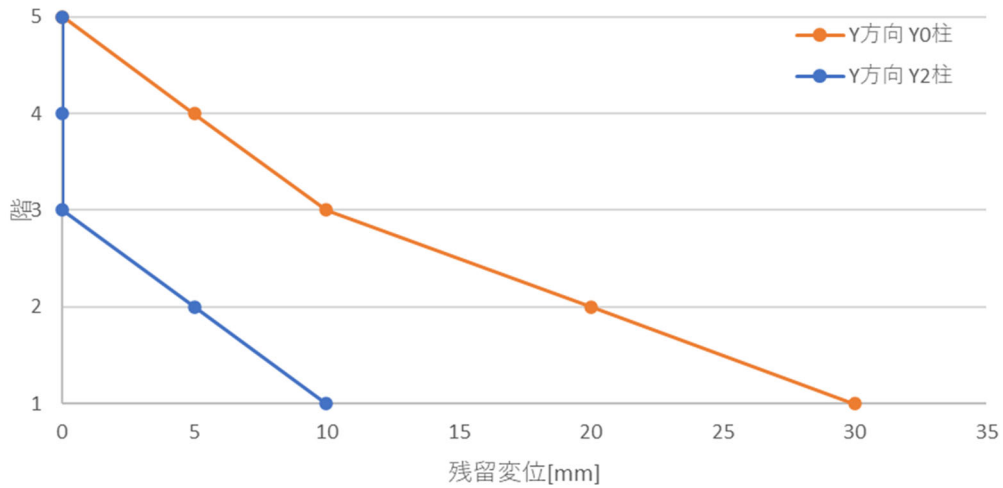
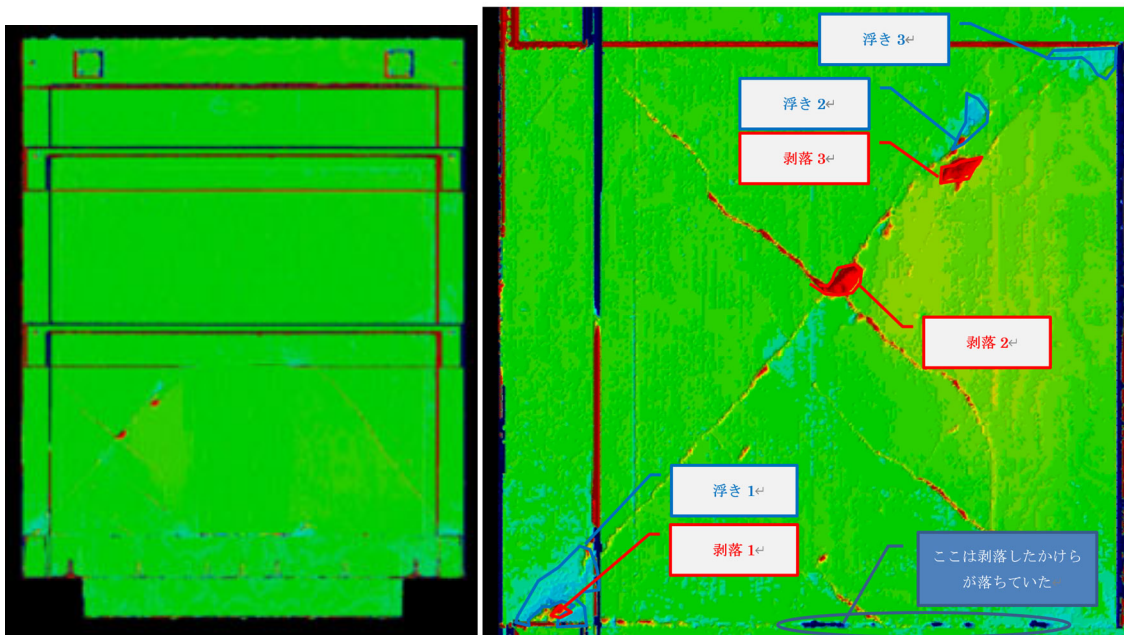


図 4.4 評価対象面 (X0 構面) のY方向の各階柱の残留変位分布図

表 4.1 評価対象面 (X0 構面) のY方向各階柱の残留変形角の一覧表

階	Y方向 Y0柱		Y方向 Y2柱	
	残留変形角[%]	残留変位[mm]	残留変形角[%]	残留変位[mm]
1	1.18	30	0.39	10
2	0.78	20	0.20	5
3	0.39	10	0.00	0
4	0.20	5	0.00	0
5	0.00	0	0.00	0



(a) 試験体全体図

(b) 浮き剥落拡大図

図 4.5 評価対象面の各階各方向の浮き剥落分布図の例

表 4.2 評価対象面の浮き剥落面積一覧の例

構面X0	浮き面積(mm2)	面積 1	面積 2	面積 3	面積 4	面積 5
	16,350.0	350.0	10,000.0	6,000.0	-	-
1 F	剥落面積(mm2)	面積 1	面積 2	面積 3	面積 4	面積 5
	66,000.0	34,000.0	17,000.0	15,000.0	-	-
構面X1	浮き面積(mm2)	面積 1	面積 2	面積 3	面積 4	面積 5
	2,950.0	210.0	660.0	600.0	820.0	660.0
1 F	剥落面積(mm2)	面積 1	面積 2	面積 3	面積 4	面積 5
	2,390.0	340.0	380.0	860.0	510.0	300.0

参考文献

- 1) 日本測量機器工業会：地上レーザスキャナの性能確認試験に関する手引き
- 2) 測量法：令和元年六月十四日施行
- 3) 測量法施行規則：令和元年十二月十六日施行
- 4) 国土地理院：わかりやすい平面直角座標系、(2022年4月確認、
https://www.gsi.go.jp/sokuchiki_jun/jpc.html)
- 5) 国土地理院：作業規程の準則(全文)、2021.06(2022年4月確認、
<https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/index.html>)
- 6) 日本建築防災協会：被災建築物応急危険度判定ガイドライン、1998.06
- 7) 日本建築防災協会：2015年改訂版 再使用の可能性を判定し、復旧するための震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針、2016.03
- 8) 根本直行、向井智久、中村聡宏、村山盛行：1層のみに新設開口を設けたRC造実大連層耐力壁架構の耐震性能に関する実験的研究(その4:TLSを用いた分析)、日本建築学会 2022年度大会(北海道) 学術講演梗概集 pp.561-562、2022.9

付録

付録 1. 成果物様式例

- ・ 建築基準点成果表（様式第 1）
- ・ 標定点成果表（様式第 2）
- ・ 評価参照点成果表（様式第 3）
- ・ 地上レーザスキャナ計測諸元表（様式第 4）
- ・ 座標（平面直角座標系/任意座標系）の変換 精度管理表（様式第 5）
- ・ 建物基本情報図（様式第 6）

付録 2. レーザ入射角の違いが回帰平面の作成精度に与える影響

付録 3. 3次元点群から生成される鉛直軸の検証実験

付録 4. 損傷評価に関する情報

付録 5. 発注仕様書例

付録 6. 建築物を対象とした現地計測に要する労務量

付録1 成果物様式例

- ・ 建築基準点成果表（様式第1）
- ・ 標定点成果表（様式第2）
- ・ 評価参照点成果表（様式第3）
- ・ 地上レーザスキャナ計測諸元表（様式第4）
- ・ 座標（平面直角座標系/任意座標系）の変換 精度管理表（様式第5）
- ・ 建物基本情報図（様式第6）

建築基準点成果表

世界測地系 (測地成果○○○○)

ジオイド・モデル○○○ Ver.○

調製 年 月 日

座標系：

点の 番号	緯度	経度	X	Y	標 高
	B	L			H
	° / ' / '' .	° / ' / '' .	m .	m .	m .

用紙の大きさはA4判とする。

標 定 点 成 果 表

世界測地系（測地成果〇〇〇〇）
ジオイド・モデル〇〇〇 Ver.

○

座標系：

調製 年 月 日

点の 番号	緯度	経度	X	Y	標 高
	B	L			H
	° / ' //	° / ' //	m	m	m

用紙の大きさはA 4判とする。

評価参照点成果表

世界測地系（測地成果〇〇〇〇〇）

ジオイド・モデル〇〇〇 Ver. 〇

座標系：

調製 年 月 日

点の 番号	緯度	経度	X	Y	標 高
	B	L			H
	° / ′ ″	° / ′ ″	m	m	m

用紙の大きさはA4判とする。

地上レーザスキャナ計測諸元表

作業名		レーザスキャナ名		計画機関名		主任技術者	㊟
観測年月日		機器番号		作業機関名		点検者	㊟

器械点名					
器械高					
照射数(点/秒)					
観測範囲(水平)		deg	deg	deg	deg
観測範囲(鉛直)		deg	deg	deg	deg
最小観測間隔(水平)		deg	deg	deg	deg
最小観測間隔(鉛直)		deg	deg	deg	deg
計測時間					

地上レーザスキャナ配置図

注 1. 配置図には、記号と名称（例：基準点：△123 標定点：○1 器械点：☆1）を記載する。

用紙の大きさはA4判とする。

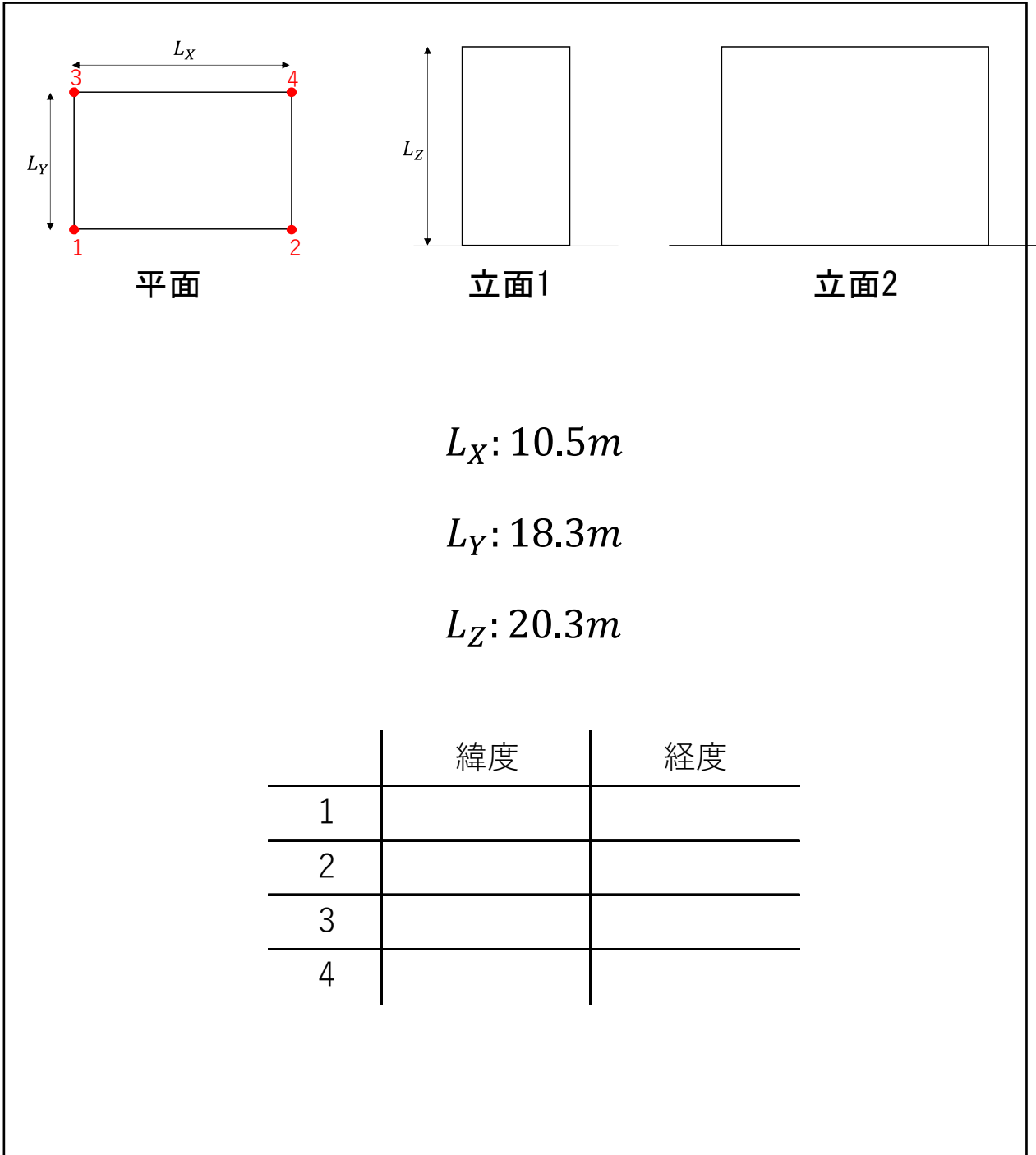
座標（平面直角座標系/任意座標系）の変換 精度管理表

作業名		レーザスキャナ名		計画機関名		主任技術者	⑨
観測年月日		機器番号		作業機関名		点検者	⑨

点 名	標定点 (m)			観測座標 (m)			残差 (m)			備 考
	X	Y	Z	X'	Y'	Z'	ΔX	ΔY	ΔH	
許容範囲										

1. 観測方法が、器械点と後視点による方法の場合は不要とする。
用紙の大きさはA4判とする

建物基本情報図



付録2 レーザ入射角の違いが回帰平面の作成精度に与える影響

以下の検証は、入射角により平坦性（バラツキ）に影響があるかを確認したものである。

検証方法は以下の図 A2.1 の配置で計測を行い、各入射角 5° 10° 20° 30° 40° 50° 60° における点群から $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ の範囲内の点群（図 A2.2）から回帰平面を求め、点群の各 3 次元座標の回帰平面に対する法線方向の距離誤差を標準偏差で表した値を表 A2.1～表 A2.3 で示す。

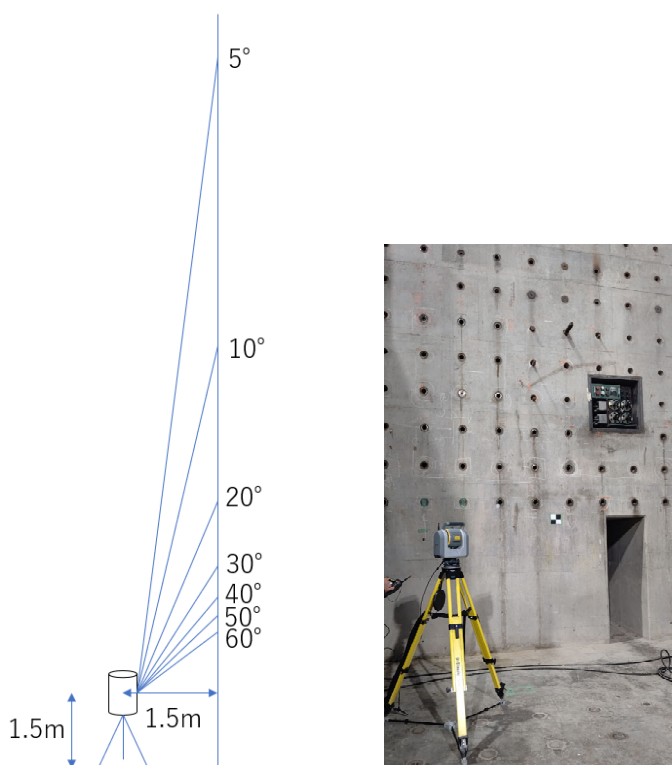


図 A2.1 計測配置

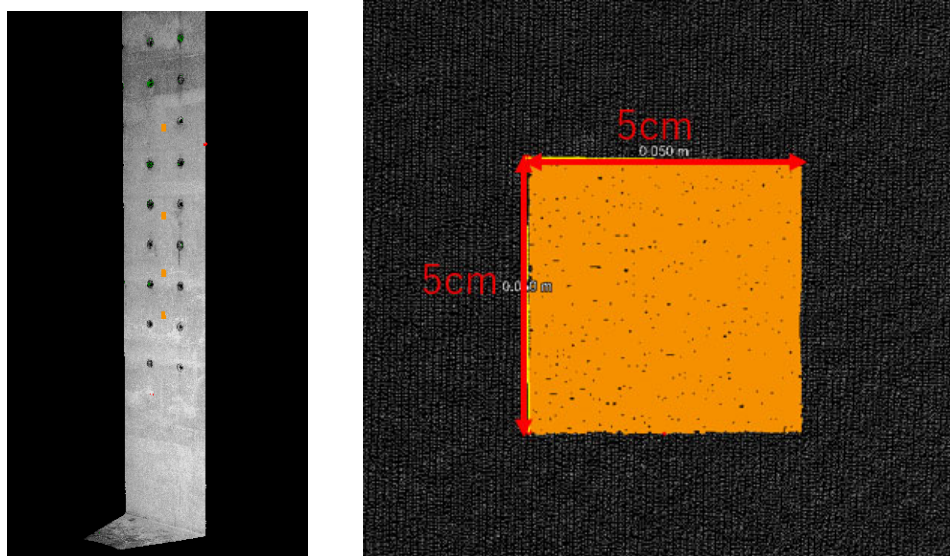


図 A2.2 点群データ

表 A2.1 器械 A の各入射角における平坦性

	点数	回帰平面に対する 法線方向の距離誤 差の最小値[mm]	回帰平面に対する法 線方向の距離誤差の 最大値[mm]	標準偏差[mm]
5°	84	-0.35	0.52	0.24
10°	330	-0.66	0.85	0.31
20°	3069	-0.97	0.60	0.20
30°	6950	-0.64	0.68	0.19
40°	11541	-0.86	0.80	0.25
50°	16376	-0.85	1.49	0.24
60°	20824	-1.19	1.10	0.27

表 A2.2 器械 B の各入射角における平坦性

	点数	回帰平面に対する 法線方向の距離誤 差の最小値[mm]	回帰平面に対する法 線方向の距離誤差の 最大値[mm]	標準偏差[mm]
5°	150	-0.88	0.91	0.42
10°	1165	-1.21	1.58	0.45
20°	9306	-1.95	2.25	0.50
30°	157	-1.65	1.26	0.62
40°	337	-2.10	2.21	0.88
50°	581	-3.02	3.14	1.19
60°	846	-3.43	3.61	1.33

表 A2.3 器械 C の各入射角における平坦性

	点数	回帰平面に対する 法線方向の距離誤 差の最小値[mm]	回帰平面に対する法 線方向の距離誤差の 最大値[mm]	標準偏差[mm]
5°	134	-0.58	0.44	0.25
10°	529	-1.12	1.72	0.39
20°	2018	-1.89	2.19	0.63
30°	4447	-3.15	3.43	0.88
40°	7243	-3.79	3.48	0.99
50°	10280	-3.80	4.31	1.07
60°	13232	-4.67	4.45	1.20

表より、回帰平面に対する法線方向の距離誤差を確認したところ、いずれの器械においても 60 度に対する 5 度の標準偏差がいずれも小さい値であることから、レーザの入射角の違いによる回帰平面の作成精度に与える影響は小さいことを確認した。

以上のことから、JSIMA115 による方法で面精度を評価すればよいことを確認した。

付録3 3次元点群から生成される鉛直軸の検証実験

A3.1 実験概要

(1) 実験の目的

トータルステーション（以下、TS と表記）と地上型レーザースキャナ（以下、TLS と表記）の計測データについて、鉛直軸の精度を検証する。

(2) 実施概要

下記の通り、計測実験を行った。

- 1) 実験場所： 国立研究開発法人建築研究所 実大構造物実験棟
茨城県つくば市立原1番地
- 2) 日時： 平成31年4月12日（金）PM
- 3) 作業員： 株式会社フィールドテック 村山、清水

(3) 実施方法

高さ15mの試験構造物の壁面を対象とし、15m離れた位置からTSとTLSで計測を行う。作業の手順は下記の通りとする。

- 1) 壁面に下げ振りを垂らし、鉛直軸上の壁面に標定点を上下2点設置する。下げ振り糸から標定点2点までの距離を測定し壁面の傾きを示す。
- 2) TLSの計測値を実験棟内部の仮座標系に整合させるため、周辺に標定点を5点設置する。
- 3) TSを用いて①で設置した壁面の標定点（2点）と②で設置した標定点（5点）を測定する。
- 4) TLSを用いて壁面を計測する。また、①で設置した壁面の標定点と座標変換用に設置された周囲の標定点（5点）も測定する。
- 5) TSとTLSで測定した標定点の傾きと①の結果を比較する。また、TLSにより計測された壁面の点群データから断面データを作成し、①の結果と比較する。



図 A3.1 実験の様子

(4) 使用機器

使用する機器の主な仕様を下記に示す。

1) 地上型レーザースキャナ (TLS)

表 A3.1 TLS の主な仕様

製品名	VZ-400i (Riegl 社製)
測定距離	0.5m~800m (最長最短距離は条件により異なる)
測定範囲	100度 (鉛直方向) 360度 (水平方向)
測定精度	±5mm
計測レート	250,000点/秒 (600kHzの場合)



2) トータルステーション (TS)

表 A3.2 TS の主な仕様

製品名	Trimble S6 (Nikon-Trimble 社製)
規格	2級トータルステーション
角度	5"
測定精度	±(3mm + 2ppm)

図 A3.2 TLS



図 A3.3 TS

A3.2 実験状況

実験の状況を下記に示す。



図 A3.4 下げ振りの設置状況



図 A3.5 壁面の標定点（上部）



図 A3.6 壁面の標定点（下部）



図 A3.7 壁面からの離れ

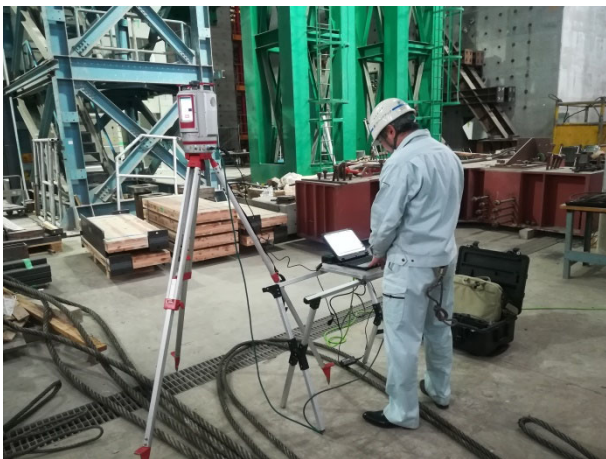


図 A3.8 TLS の計測状況

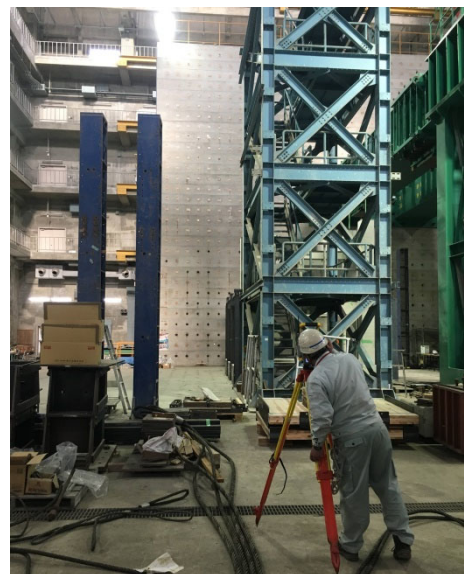


図 A3.9 TS の計測状況

A3.3 TLS 計測データ

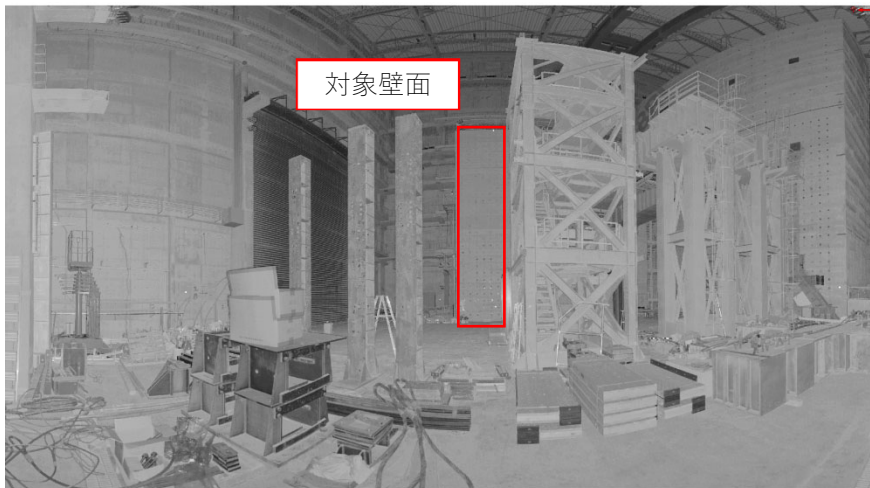


図 A3.10 TLS 計測データ (2D 表示)

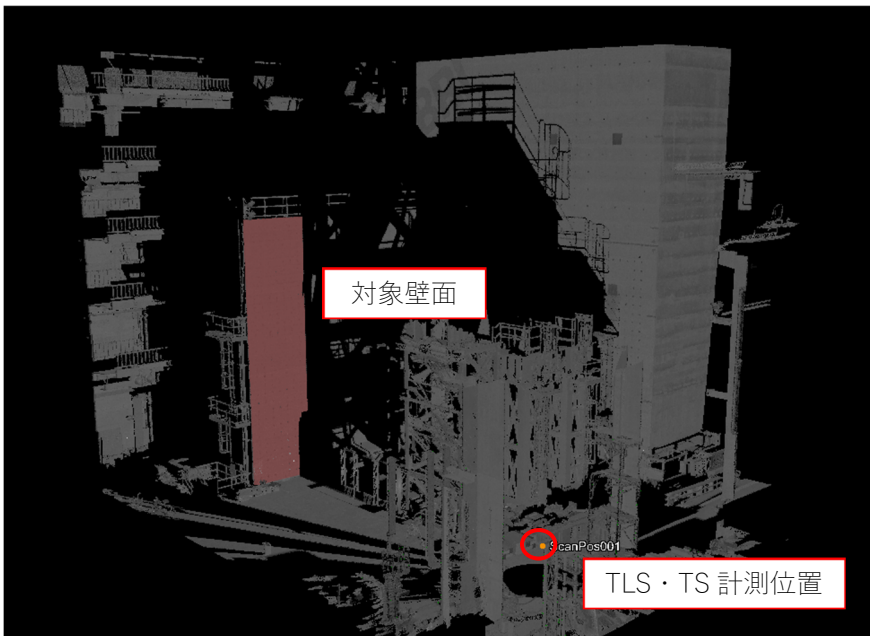


図 A3.11 TLS 計測データ (点群の 3D 表示)

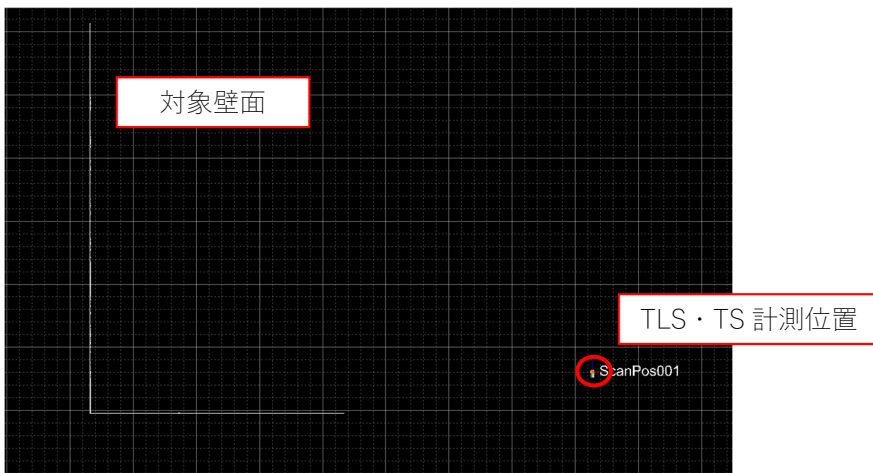


図 A3.12 TLS 計測データ (断面表示)

A3.4 実験結果

下記に、TLS と TS の計測結果を示す。

表 A3.3 TLS と TS の計測結果 (座標値)

点名	TLS			TS			差(TLS-TS)			
	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	dX[m]	dY[m]	dZ[m]	dS[m]
P1	30.193	9.996	25.309	30.195	10.000	25.311	-0.002	-0.004	-0.002	0.005
P2	30.187	10.002	11.018	30.192	10.000	11.018	-0.005	0.002	0.000	0.005

TLS と TS の座標差は、5mm 以内であった。

次に、下げ振りで求めた傾き量に対して TLS と TS の結果から算出した傾きを比較した結果を示す。

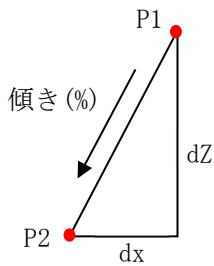


表 A3.4 標定点間の傾き

	下げ振りの測定値	TLSの計算値	TSの計算値
dx	3mm	6mm	3mm
傾き	0.021%	0.042%	0.021%

P1 から P2 の高低差(dZ)を 14.293m とし、傾きを計算した。下げ振りの測定値と TS の結果は一致した。TLS の結果も dx で 3mm の差であった。

TLS の計測データから壁面の点群データを抽出し、5cm 範囲で平均化処理を行ったものから断面図を作図した (図 A3.13 青線参照)。また、断面から推定される傾き線を赤線で示した。

傾き線を確認すると、全体で dx=3mm 程度の傾きが見られ、下げ振りの測定値 (黒線) と一致した。

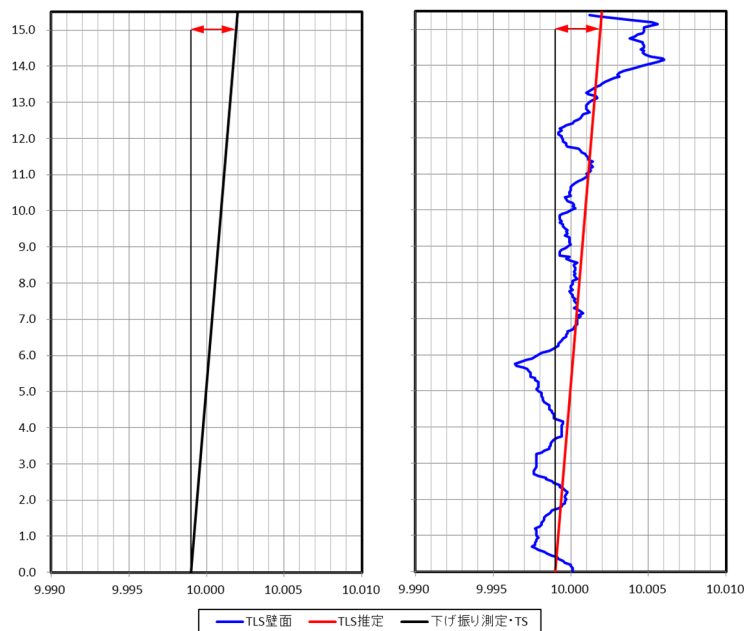


図 A3.13 TLS 断面図

付録4 損傷評価に関する情報

A4.1 各層残留変位・柱の残留変形角

各層のスラブ位置の除荷時水平変位を各層の残留変位とする。また残留変位をその階の高さで除したものを各層の残留変形角とする。

例えば3Fの残留変位は図A4.1の3F δ (単位:mm)と記載されている変位でこれを3F高さ3200mmで除した値が3Fの残留変形角である。

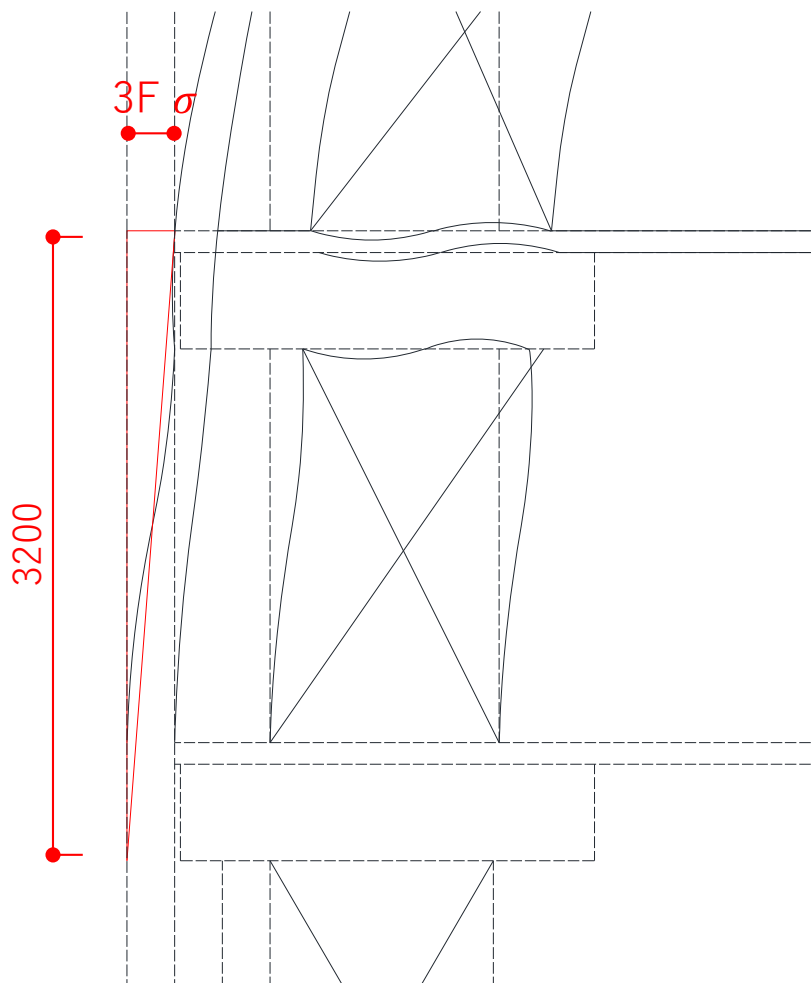


図 A4.1 3F 残留変位の例

A4.2 梁の残留回転角

図 A4.2 にあるように梁端部(左端もしくは右端)から 150mm の位置のたわみ δ (単位:mm) を 150mm で除したものを梁の回転角とする。(変位計を取り付けているインサートの位置が梁端部から 150mm の位置であるため)

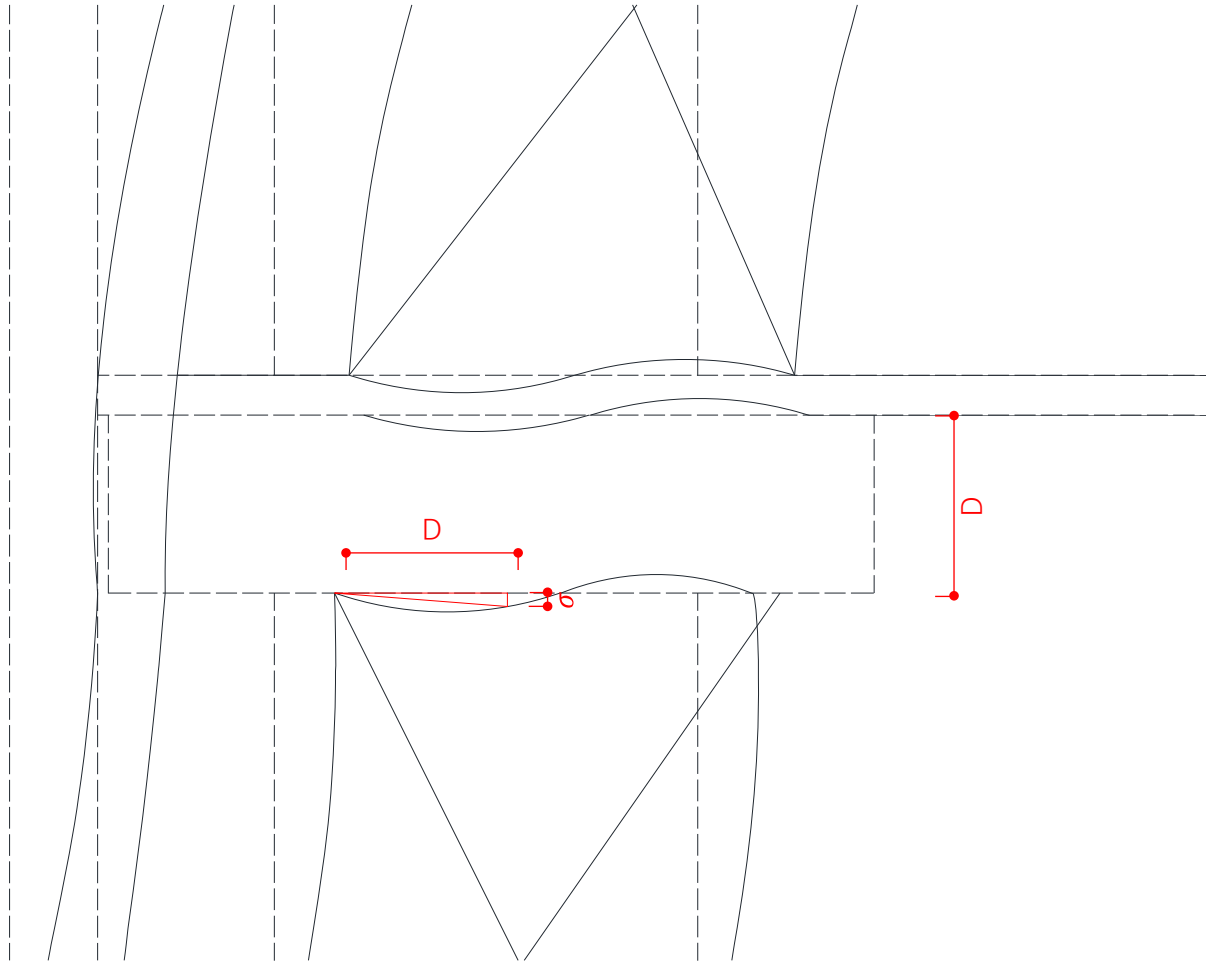


図 A4.2 梁回転角の例

A4.3 浮き・剥落面積

浮き面積(mm²)は図 A4.3 のように試験体の初期状態から比較してコンクリートが浮き出している部分の面積で、剥落面積は元のコンクリートから浮きの部分が離れ落ちた部分の面積とする。

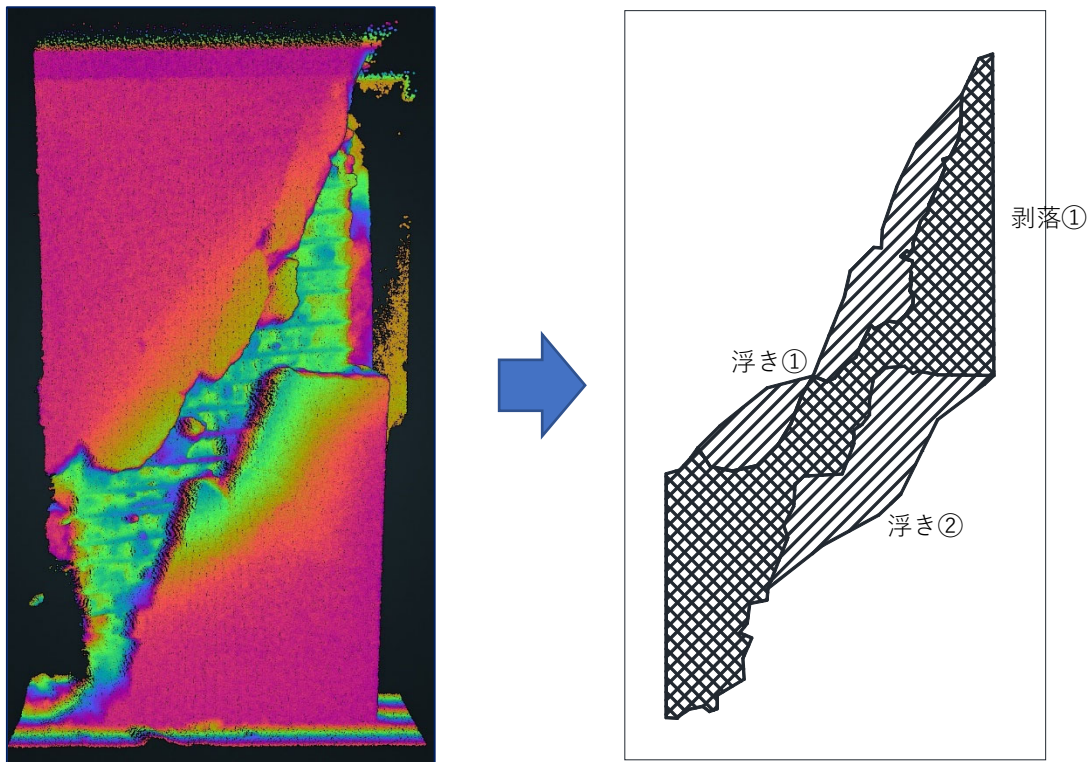


図 A4.3 浮き・剥落面積の例

付録 5 発注仕様書例

発注仕様書例（被災前計測）

第1章 総則

第1条 適用の範囲

本仕様書は、** 年度■■地上レーザスキャナを用いた被災前建築物の計測業務（以下、「本業務」という。）について適用する。

第2条 目的

本業務は、地上レーザスキャナを用いて被災前建築物の三次元計測を行い、損傷評価を行うための損傷前の一時期データを取りまとめるものである。

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) ○○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) ○○県共通仕様書（令和 年 月）
- (4) 地上レーザスキャナを用いた被災建築物の補修補強計画に資する計測および損傷評価の手引き（令和5年3月 国立研究開発法人 建築研究所）
- (5) 被災建築物応急危険度判定ガイドライン（日本建築防災協会：1998年6月1日（第1版））
- (6) 2015年改訂版 再使用の可能性を判定し、復旧するための震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針（日本建築防災協会：2016年3月11日（第1版））
- (7) その他関係法令、規則、通達等

第4条 協議等

業務遂行上疑義が生じた場合は、速やかに監督職員と協議すること。

第5条 主任技術者

主任技術者については下記の1)、2)の両方の条件を満たす者とする。

- 1) 国、特殊法人等、地方公共団体、地方公社、公益法人又は公益民間企業が発注した業務で、地上レーザスキャナを用いて測量業務を実施した経験を有するなど、測量士として計測の高度な知識と十分な実務経験を有するもの。
- 2) 国、特殊法人等、地方公共団体、地方公社、公益法人又は公益民間企業が発注した業務で、被災建築物の損傷判定業務に関する講習会を受講、若しくは損傷判定業務に従事したことがあるなど、建築士として被災建築物の損傷評価手法に関する高度な知識と十分な実務経験を有するもの。

第6条 作業員

作業員については下記の1)、2)の条件を満たす者とする。

- 1) 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こと。
- 2) 評価に従事する作業者は、用いるソフトウェアの特徴を十分に把握した上で適切に損傷評価を実施できること。

第2章 業務内容

第1条 作業構成

業務の内容は、〇〇敷地内における建築物を実施する。計測対象は以下の通り。

- ① 〇〇棟
- ② △△棟

上記を対象に三次元計測を実施し、①②のデータについては損傷解析における被災前の一時期目のデータとして解析を実施する。作業日は現地踏査および本計測を含め合計〇日とし、具体的な実施日は別途監督職員が指示する。

I. 座標系構築	1 式
II. 評価参照点の設置および計測	1 式
III. 点群計測	1 式
IV. データ処理	1 式
IV-II. 差分解析用データの作成	1 式
IV-III. 概略データの作成	1 式
IV-IV. 損傷評価対象範囲特定図の作成	1 式
IV-V. 建物基本情報図の作成	1 式

第2条 作業内容

業務にあたっては、以下の要求を満たすこと。

(1) 使用機器は、地上レーザスキャナ、トータルステーション、レベル（水準儀）、GNSS（Global Navigation Satellite System）測量機から構成されたものを使用するものとする。これら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。地上レーザスキャナは上記に加え、以下の性能を有するものを用いること。

- ・原則として用いるレーザの安全クラスはIとする。それ以外を用いる場合は監督職員等と協議の上、決定する。
- ・使用機器はスキャナメーカーが推奨する性能確認試験を実施すること。
- ・評価対象面を認識することを目的とし、原則として受光強度情報が取得できる機器であること。
- ・計測の精度は〇〇mm以内の性能を有すること。
- ・計測対象壁面の表面粗度の違いを計測できること。
- ・画像情報および色情報が取得できること。

(2) 実際の計測においては以下の条件を満足すること

I. 座標系構築

- ・地上レーザスキャナを用いて前述の計測対象である①②に対し、標定点を用いて鉛直軸の精度を確保した任意の施設内座標系を構築すること。また、GNSSを利用して地上レーザスキャナで取得するデータに世界測地系に準拠した座標値も与えること。

II. 評価参照点の設置および計測

- ・計測対象①②もしくはその周辺において、評価参照点（被災前後における建築物の位置を特定するために参照する点）となるリフレクターを設置することとし、その際評価参照点の点間距離が離れる位置を選定すること。リフレクターは相対的な位置関係に変化がないと想定される位置に設置すること。上記の位置選定については現地踏査に基づき実施すること。
- ・トータルステーションを用いて、計測対象の座標系に準拠した評価参照点の座標値を与えること。なお、リフレクター設置位置および設置方法については、監督職員と協議の上、決定する。

III. 点群計測

- ・計測対象①②について、点密度が高密度（25 点/cm² 以上程度）となるよう設置位置を計画した上で、最終的な計測密度については現地における機器の設置位置および作業可能な時間を考慮して監督職員と協議の上、決定する。
- ・各計測において計測漏れや光学遮蔽による欠損が少なくなるよう複数の計測ポジションから計測する。

IV. データ処理

IV-I. オリジナルデータの作成

- ・各ポジションで計測した個別のデータに対して、ノイズ等本来存在しないデータを削除し、監督職員が指示する点群データに編集する。また各ポジションで計測したデータから3次元形状が表現できるよう合成する。ただしその合成において、極力データは削除しないこととする。
- ・合成した点群データは施設内座標系に基づいた座標値と世界測地系の座標値の2通りで表現できること。
- ・計測対象①②について、計測ポジションデータ毎に施設内座標系に基づいた座標値としてLASデータに出力すること。

IV-II. 差分解析用データの作成

- ・計測対象①②のLASデータを使用して、以下に示す項目を満足した損傷評価用データを作成すること。
- ・差分解析用データを評価対象面（床面、壁面等）毎に作成すること。差分解析用データは、単独ポジションおよび評価対象面のデータから最頻値面を定義し、その面に対して±5mmに含まれる点群を用いて平均化処理した上で、10mmの正規メッシュデータとして構成されているものを指す。

IV-III. 概略データの作成

- ・上記で作成した差分解析用データを用いて、評価対象面の各データを合成して得られる対象建築物全体のデータを作成すること。

IV-IV. 損傷評価対象範囲特定図の作成

- ・上記で作成した概略データを用いて損傷評価対象範囲特定図を作成する。損傷評価対象特定図とは三次元点群を用いた立面図であり、光学遮蔽などによりデータが欠損している箇所を特定し、評価対象とできる面を明らかにするために作成するものである。また残留変位を評価する

ための点を当該図上で表現する。

IV-V. 建物基本情報図の作成

- ・上記で作成した概略データを用いて建物基本情報図を作成する。建物基本情報図とは、当該建築物の位置情報と規模から建築物を特定する情報のことで、その情報は建築物の緯度経度、平面上における長辺短辺の長さ、建築物高さから構成される。図の記載内容については発注者と協議して決定すること。

第3条 成果物

本業務の成果物は以下とする。SSDなどの記録媒体に収録すること。

1. 業務報告書

- ・評価参照点配置図
- ・評価参照点成果表
- ・地上レーザスキャナ計測諸元表
- ・損傷評価対象範囲特定図（立面図・残留変位評価点）
- ・建物基本情報図

2. 点群データファイル一式

- ・差分解析用データ（LASファイル）
- ・Web公開用三次元データ（LASファイル・Potreeデータ）
- ・概略データ（LASファイル）

発注仕様書例（被災後計測）

第1章 総則

第1条 適用の範囲

本仕様書は、** 年度■■地上レーザスキャナを用いた被災後建築物の計測業務（以下、「本業務」という。）について適用する。

第2条 目的

本業務は、地上レーザスキャナを用いて被災後建築物の三次元計測を行い、損傷評価を行った結果を取りまとめるものである。

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) ○○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) ○○県共通仕様書（令和 年 月）
- (4) 地上レーザスキャナを用いた被災建築物の補修補強計画に資する計測および損傷評価の手引き（令和5年3月 国立研究開発法人 建築研究所）
- (5) 被災建築物応急危険度判定ガイドライン（日本建築防災協会：1998年6月1日（第1版））
- (6) 2015年改訂版 再使用の可能性を判定し、復旧するための震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針（日本建築防災協会：2016年3月11日（第1版））
- (7) その他関係法令、規則、通達等

第4条 協議等

業務遂行上疑義が生じた場合は、速やかに監督職員と協議すること。

第5条 主任技術者

主任技術者については下記の1)、2)の両方の条件を満たす者とする。

- 1) 国、特殊法人等、地方公共団体、地方公社、公益法人又は公益民間企業が発注した業務で、地上レーザスキャナを用いて測量業務を実施した経験を有するなど、測量士として計測の高度な知識と十分な実務経験を有するもの。
- 2) 国、特殊法人等、地方公共団体、地方公社、公益法人又は公益民間企業が発注した業務で、被災建築物の損傷判定業務に関する講習会を受講、若しくは損傷判定業務に従事したことがあるなど、建築士として被災建築物の損傷評価手法に関する高度な知識と十分な実務経験を有するもの。

第6条 作業員

作業員については下記の1)、2)の条件を満たす者とする。

- 1) 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こと。
- 2) 評価に従事する作業者は、用いるソフトウェアの特徴を十分に把握した上で適切に損傷評価を実施できること。

第2章 業務内容

第1条 作業構成

業務の内容は、〇〇敷地内における建築物を実施する。計測対象は以下の通り。

- ① 〇〇棟
- ② △△棟

上記を対象に三次元計測を実施し、①②のデータについては損傷解析における被災前の一時期目のデータとして解析を実施する。作業日は現地踏査および本計測を含め合計〇日とし、具体的な実施日は別途監督職員が指示する。

I. 評価参照点の確認	1 式
II. 標定点の設置および計測	1 式
III. 点群計測	1 式
IV. データ処理	1 式
IV-II. 差分解析用データの作成	1 式
IV-III. 概略データの作成	1 式
IV-IV. 損傷評価対象範囲特定図の作成	1 式
V. 損傷評価	1 式

第2条 作業内容

業務にあたっては、以下の要求を満たすこと。

- (1) いずれの計測においても地上レーザスキャナとして以下の性能を有するものを用いること。
 - ・原則として用いるレーザの安全クラスはIとする。それ以外を用いる場合は監督職員等と協議の上、決定する。
 - ・使用機器はスキャナメーカーが推奨する性能確認試験を実施すること。
 - ・評価対象面を認識することを目的とし、原則として受光強度情報が取得できる機器であること。
 - ・計測の精度は〇〇mm以内の性能を有すること。例えば、日本測量機器工業会規格JSIMA115に基づく面精度および座標精度の試験結果を示すこととし、その実施は原則1年以内とする。ただし発注者との協議による場合はこの限りではない。
 - ・画像情報および色情報が取得できること。
- (2) 実際の計測においては以下の条件を満足すること
 - I. 評価参照点の確認
 - ・事前に設置した評価参照点に異常が無いことを確認する。
確認方法は目視確認のうえ、対辺測定などに基づき評価参照点の使用の可否を決定する。ここでの測定結果については帳票に記録する。

II. 標定点の設置および計測

- ・評価参照点より座標系の再構築を行うこと。

III. 点群計測

- ・計測対象①②について、点密度が高密度（25 点/cm² 以上程度）となるよう設置位置を計画した上で、最終的な計測密度については現地における機器の設置位置および作業可能な時間を考慮して監督職員と協議の上、決定する。
- ・各計測において計測漏れや光学遮蔽による欠損が少なくなるよう複数の計測ポジションから計測する。

IV. データ処理

IV-I. オリジナルデータの作成

- ・各ポジションで計測した個別のデータに対して、ノイズ等本来存在しないデータを削除し、監督職員が指示する点群データに編集する。また各ポジションで計測したデータから3次元形状が表現できるよう合成する。ただしその合成において、極力データは削除しないこととする。
- ・合成した点群データは施設内座標系に基づいた座標値と世界測地系の座標値の2通りで表現できること。
- ・計測対象①②について、計測ポジションデータ毎に施設内座標系に基づいた座標値としてLASデータに出力すること。

IV-II. 差分解析用データの作成

- ・計測対象①②のLASデータを使用して、以下に示す項目を満足した損傷評価用データを作成すること。
- ・差分解析用データを評価対象面(床面、壁面等)毎に作成すること。差分解析用データは、単独ポジションおよび評価対象面のデータから最頻値面を定義し、その面に対して±5mmに含まれる点群を用いて平均化処理した上で、10mmの正規メッシュデータとして構成されているものを指す。

IV-III. 概略データの作成

- ・上記で作成した差分解析用データを用いて、評価対象面の各データを合成して得られる対象建築物全体のデータを作成すること。

IV-IV. 損傷評価対象範囲特定図の作成

- ・上記で作成した概略データを用いて損傷評価対象範囲特定図を作成する。損傷評価対象特定図とは三次元点群を用いた立面図であり、光学遮蔽などによりデータが欠損している箇所を特定し、評価対象とできる面を明らかにするために作成するものである。また残留変位を評価するための点を当該図上で表現する。

V. 損傷評価

- ・損傷評価項目は被災建築物の構造部材（柱や梁、壁部材等）の残留変位および変形角（地震後に部材に残留している損傷）と構造部材表面の浮き剥落面積である。

第3条 成果物

本業務の成果物は以下とする。SSDなどの記録媒体に収録すること。

3. 業務報告書

- ・評価参照点配置図
 - ・評価参照点成果表
 - ・地上レーザスキャナ計測諸元表
 - ・損傷評価対象範囲特定図（立面図・残留変位評価点）
 - ・建物基本情報図
4. 点群データファイル一式
- ・差分解析用データ（LASファイル）
 - ・概略データ（LASファイル）
 - ・評価対象面特定図
 - ・各階各方向の残留変形分布図
 - ・各階各方向の残留変形角一覧表
 - ・各階各方向の浮き剥落分布図
 - ・各階各方向の浮き剥落面積一覧表

付録 6 建築物を対象とした現地計測およびデータ加工に要する労務量

ここでは実際の建築物を対象に実施した 3 次元計測およびその計測されたデータの加工に要した作業量を記載し、実際の作業における労務の目安を示すことを目的とする。

A6.1 対象建築物

東京都内に建設された 5 階建て RC 造共同住宅



写真 A6.1 対象建築物外観と用いた計測装置

A6.2 計測方法（計測機器）

RIEGL社製 VZ-400i（写真 A6.1）を用いている。特徴としては、整準不要のため現場の計測において効率化を実現している。最大 1.2MHz の高いレーザーパルスの繰り返しレートにより、最大 500,000 点/秒の高速データ収集を実現している。またレーザークラス 1 を採用している。鉛直角 100°、水平角 360° の計測視野角を有し、測定距離は最大 800m である。計測精度として±5mm 以内に収まる性能を有する。受光強度情報については反射強度だけでなく反射率についても取得できる。また画像情報および色情報についても取得できる。また日本測量機器工業会規格 JSIMA115 に基づく面精度および座標精度の試験結果を以下の表 A6.1 に示す。

表 A6.1 JSIMA115 に基づく試験結果

（1）距離精度

No	反射率 80%以上			反射率 約 20%		
	測定距離 [m]	基準値 [m]	差 [mm]	測定距離 [m]	基準値 [m]	差 [mm]
L ₁	3.576	3.578	-2	3.576	3.579	-3
L ₂	20.094	20.096	-2	20.095	20.096	-1

本試験は日本測量機器工業会規格（JSIMA 115：2017）に定められた測定方法に従って行われています。

（2）面精度（レンジノイズ）

No	反射率 80%以上		反射率 約 20%	
	試験距離 [m]	面精度 [mm] (レンジノイズ)	試験距離 [m]	面精度 [mm] (レンジノイズ)
L ₁	3.5	2	3.5	2
L ₂	20	1	20	2

本試験は日本測量機器工業会規格（JSIMA 115：2017）に定められた測定方法に従って行われています。

（3）座標測定精度

d_{max}	4mm
-----------	-----

本試験は日本測量機器工業会規格（JSIMA 115：2017）に定められた測定方法に従って行われています。

A6.3 計測結果（3次元画像）

計測した位置とその結果得られた画像を以下に示す。道路に沿って一部仮囲いがあるため光学遮蔽されている箇所があるが、概ね適切に対象建築物の色が認識できる3次元点群が得られている事が分かる。

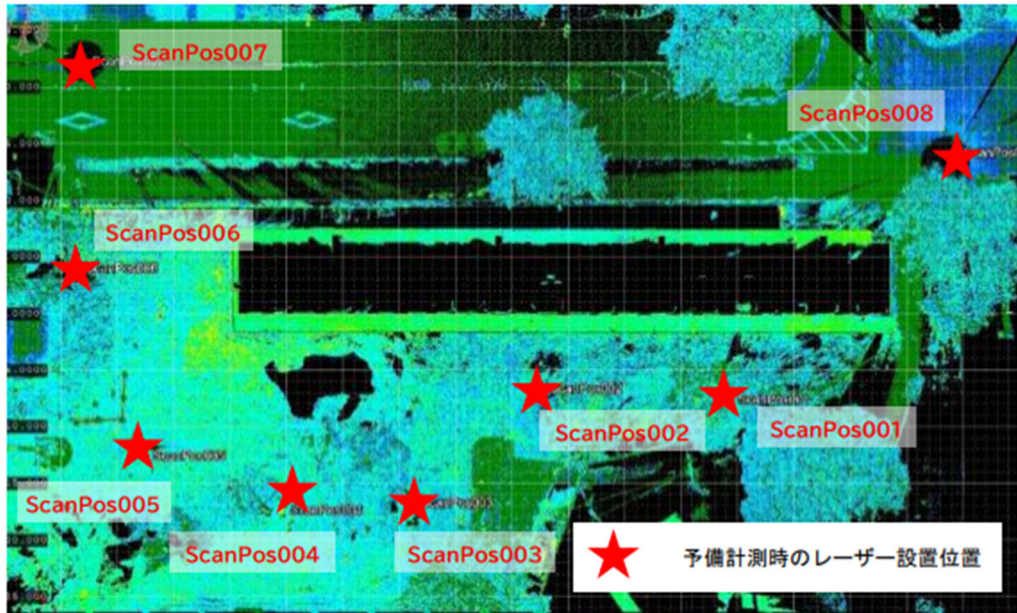


図 A6.1 計測位置（上図）と計測結果より得られた3次元カラー点群（下図）

A6.4 計測およびデータ加工に要した作業量（人工・時間）

以下に被災前の計測として要した作業日数を示す。合計 5.5 日・7 人を要していることが分かる。

- ・ 作業計画立案のための現地踏査として 0.5 日・2 人（内 1 名は主任技術者、もう 1 名は計測に従事する作業員）
- ・ 建築基準点設置・標定点の設置・評価参照点の設置のための予備計測として 1 日・2 人（内 1 名は主任技術者、もう 1 名は計測に従事する作業員）
- ・ 3 次元点群取得のための本計測として 1 日（レーザ計測：15 カ所）・2 人（内 1 名は主任技術者、もう 1 名は計測に従事する作業員）
- ・ 必要なデータ加工（オリジナルデータ・差分解析用データ作成、ノイズ処理、評価参照点などの座標変換、損傷評価対象範囲特定図の作成等）の作成として 3 日・1 人（評価に従事する作業員）