

# 点群データを用いた被災建物の損傷評価手法 の普及に資する検討 A

## 実施報告書

令和8年3月

アイサンテクノロジー株式会社  
国立研究開発法人 建築研究所

## 目次

1	実施概要	2
1.1	はじめに	2
1.2	目的	2
1.3	期間	3
1.4	実施項目	4
1.5	参加者	6
1.6	ミーティング開催日	6
2	損傷評価機能の実装と検証	8
2.1	損傷評価までのプロセス	8
2.2	検討対象とした機能と検討内容	10
2.3	必要機能のプログラムへの実装結果	42
2.4	試験体を利用した損傷評価の検証	68
2.5	追加検討(令和7年度)	89
2.6	まとめ	92
3	令和4～6年度のまとめ	96
3.1	令和4～6年度のまとめ	96
3.2	令和4～6年度 WingEarth 機能改修	96
3.3	今後に対する課題	97
付録1	使用したソフトウェアの特徴	99
付録2	UAVレーザ点群を用いた損傷評価の概要と課題	106
付録3	構造解析ソフトウェアとの連携模索	109

# 1 実施概要

## 1.1 はじめに

本資料は、国立研究開発法人建築研究所とアイサンテクノロジー株式会社との共同研究「点群データを用いた被災建物の損傷評価手法の普及に資する検討 A」(実施期間:令和 4~6 年度)において、検討された内容を取りまとめたものである。なお、共同研究の期間後に、本資料の取り纏めを行う際に行った追加の検討は 2.5 節で整理している。また、機能の開発や検証に用いたソフトウェアの概要を付録 1 に、UAV レーザ点群を用いた建築物の損傷評価の可能性について検討した資料を付録 2 に、構造解析ソフトウェアとの連携について検討した資料を付録 3 に示す。

## 1.2 目的

本資料では、既存鉄筋コンクリート系構造を対象として、レーザスキャナで計測された点群を用いて、被災により生じた損傷を評価する方法の普及に資する検討を行っている。この検討では、被災した鉄筋コンクリート系の建築物を対象とした補修・補強計画の策定において、従来では発生した損傷の評価のため、足場を組んで人が直接確認することで実施されていた内容に対し、足場を必要としないデータ計測に基づいた評価を行い、損傷の評価を効率的に把握することができる手段の確立を目的としている。

具体的には、被災前と被災後の建築物の状態を、地上レーザスキャナを用いて計測した点群データを用いて比較・計算・検討を行い、どれくらいの損傷が発生しているかを評価する方法について開発・検証を実施し、評価を行う際に必要となる機能の確認や問題点の把握等を行っている。

- ・対象建築物の比較用データの算出（真値推定）
- ・被災前と被災後の差分解析
- ・損傷状態の評価（浮き・剥落・残留層間変形角）
- ・評価レポートの作成支援（解析画像・比較データの出力）

その他、点群欠損箇所の補完の手法や、評価に必要な点群データの信頼性についての検討を行い、評価を判定する際の基準についても検証を実施した。その結果として、

- ・真値推定の格子の位置情報を利用した構造解析化モデルへの応用
- ・点群からの建築図面化

を今後の展開として計画している。これにより、耐震診断、増改築計画、長寿命化検討等において大きな効果が期待される。

### 1.3 期間

令和4年8月2日から令和7年3月31日(3年間)。

表1に本検討の工程を示す。概ね当初の予定通り検討を実施した。

表1 工程

研究項目 及び 研究細目	工程		
	令和4年度	令和5年度	令和6年度
(1)調査研究の計画	●→		
(2) 点群を用いた被災建物の損傷 評価手法の提示	●→		
(3) 点群を用いた被災建物の損傷 評価の実施		●→	→

#### 1.4 実施項目

表 2 に実施項目を示す。また、表 3 に年度ごとの実施項目の詳細を示す。

表 2 実施項目

研究項目
損傷評価結果を算定に用いるデータ抽出機能 ①一時期目点群計測と基本処理 ②二時期目点群計測(…N 時期目点群計測)と基本処理
計測点群の真値推定する機能 ①残留変位評価点等の損傷評価用真値推定点生成 ②残留変位評価点等の損傷評価用真値推定領域の決定
計測点群の欠損を補間する機能 ①欠損点群の補間
データの信頼性について確認する機能 ①真値推定情報の出力
被災前と被災後の差分解析を実施できる機能 ①差分量算出(浮き、剥落の算出) ②浮き、剥落の範囲指定 ③差分算出(残留層間変形角) ④差分出力(浮き、剥落)

表 3 実施項目詳細

(a) 令和 4 年度

	令和 4 年									令和 5 年		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
公募		● →										
業者選定			● →									
点群を用いた被災建物の 損傷評価手法の提示			● →									
WingEarth※機能開発			● →				▶					
点群を用いた被災建物の 損傷評価の実施							● →					▶
WingEarth 機能改良							● →					▶

(b) 令和 5 年度

	令和 5 年									令和 6 年		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
点群を用いた被災建物の 損傷評価の実施	● →											▶
WingEarth 機能改良	● →											▶

(c) 令和 6 年度

	令和 6 年									令和 7 年		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
点群を用いた被災建物の 損傷評価の実施	● →											▶
WingEarth 機能改良	● →											▶

※WingEarth : 市販点群処理ソフトウェア

## 1.5 参加者

本検討の参加者は以下の通り。

(団体名・企業名、参加者。以下、敬称略)

国土技術政策総合研究所	向井 智久
建築研究所構造研究グループ	坂下 雅信、渡邊 秀和
フィールドテック	村山 盛行
九州工業大学	根本 直行
シンワ技研コンサルタント	倉繁 仁、片山 崇、末久 由香子、松本 嵐
アイサンテクノロジー	早川 和志、小野 彰、稲垣 雄太、富成 英樹

## 1.6 ミーティング開催日

表 4 に本共同研究のミーティング実施日の一覧を示す。

表 4 ミーティング実施日

(a) 令和 4 年度

日時	内容
令和 4 年 8 月 2 日	キックオフミーティング
令和 4 年 8 月 25 日	令和 4 年度 第 2 回ミーティング
令和 4 年 10 月 25 日	令和 4 年度 第 3 回ミーティング
令和 4 年 11 月 24 日	令和 4 年度 第 4 回ミーティング
令和 4 年 12 月 19 日	令和 4 年度 第 5 回ミーティング
令和 5 年 1 月 11 日	令和 4 年度 第 6 回ミーティング
令和 5 年 2 月 15 日	令和 4 年度 第 7 回ミーティング
令和 5 年 3 月 17 日	令和 4 年度 第 8 回ミーティング

(b) 令和 5 年度

日時	内容
令和 5 年 4 月 19 日	2023 キックオフミーティング
令和 5 年 6 月 6 日	令和 5 年度 第 2 回ミーティング
令和 5 年 7 月 11 日	令和 5 年度 第 3 回ミーティング
令和 5 年 8 月 8 日	令和 5 年度 第 4 回ミーティング
令和 5 年 9 月 21 日	令和 5 年度 第 5 回ミーティング
令和 5 年 10 月 26 日	令和 5 年度 第 6 回ミーティング
令和 5 年 11 月 29 日	令和 5 年度 第 7 回ミーティング
令和 6 年 1 月 10 日	令和 5 年度 第 8 回ミーティング
令和 6 年 2 月 20 日	令和 5 年度 第 9 回ミーティング
令和 6 年 3 月 19 日	令和 5 年度 第 10 回ミーティング

(c) 令和 6 年度

日時	内容
令和 6 年 4 月 23 日	2024 キックオフミーティング
令和 6 年 5 月 30 日	令和 6 年度 第 2 回ミーティング
令和 6 年 7 月 8 日	令和 6 年度 第 3 回ミーティング
令和 6 年 8 月 6 日	令和 6 年度 第 4 回ミーティング
令和 6 年 9 月 18 日	令和 6 年度 第 5 回ミーティング
令和 6 年 11 月 1 日	令和 6 年度 第 6 回ミーティング
令和 6 年 12 月 10 日	令和 6 年度 第 7 回ミーティング
令和 7 年 1 月 17 日	令和 6 年度 第 8 回ミーティング
令和 7 年 2 月 10 日	令和 6 年度 第 9 回ミーティング
令和 7 年 3 月 26 日	令和 6 年度 第 10 回ミーティング

## 2 損傷評価機能の実装と検証

### 2.1 損傷評価までのプロセス

以下に既存鉄筋コンクリート系構造を対象にレーザスキャナで計測された点群データを用いて、被災により生じた損傷を評価する手順を示す。なお、評価手法は、国立研究開発法人建築研究所が公表している「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)」に準拠したものであり、市販点群処理ソフトウェアである Wing Earth のコマンドを利用した流れを示している。点群データとしては、被災前(一時期目)と被災後(二時期目)を使用する。



## 2.2 検討対象とした機能と検討内容

本共同研究では、損傷評価に必要となる以下の機能について、検討を実施した。

### 2.2.1 計測点群の真値推定する機能(令和4年度)

#### ① 残留変位評価点等の損傷評価用真値推定点生成

##### 1. 点群評価対象

(目的)

被災前後で点群の密度や形状が変わるため、評価対象を検討する必要がある。

(検討)

真値推定において面推定を行う際、RANSACを使用した場合に1つの評価領域に最低3点以上必要だが、点群は被災前後で存在、被災前点群において上の方がまばらとなるため、面推定できなかったのか、剥落しているのかの区別がつかなくなる。

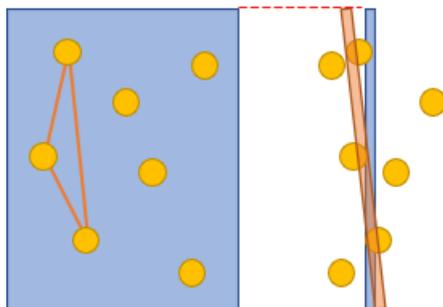


図 1. 面推定

上記を区別するため、点群は被災前後で存在、被災前点群において上の方がまばらな場合は評価対象から外す事とする。また、面推定の手法として、標準、RANSAC1、RANSAC2 の手法を試した。

標準: 面推定領域内の点群において、対象面から点の離れ値を計算し、標準偏差から離れている点を除去して対象面を作成した。

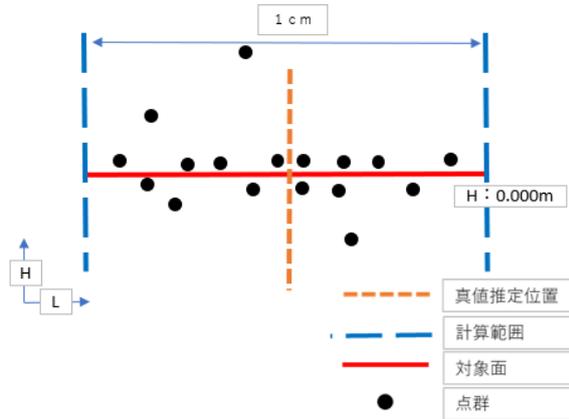


図 2. 標準

RANSAC1: 面推定領域内の点群において、点群から面を推定し推定面から離れている点を除去して対象面を作成。推定面の中心が推定位置となる。

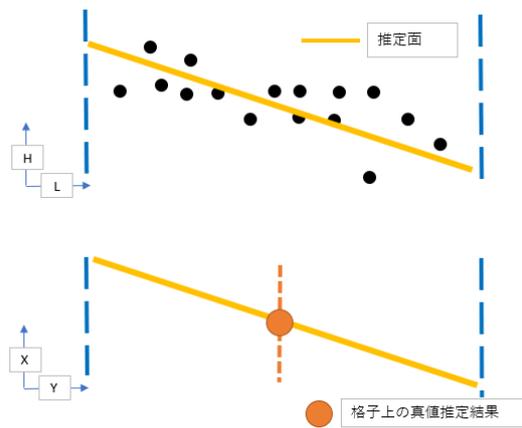


図 3. RANSAC1

RANSAC2: 面推定領域内の点群において、RANSAC1 手法から代表点に加えて法線ベクトルを保持しておき法線ベクトルの差異を使用する。

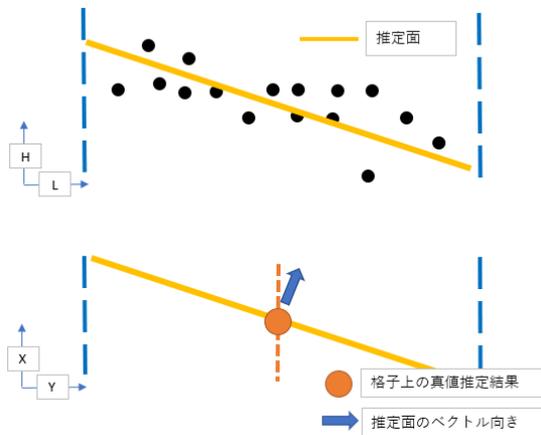


図 4. RANSAC2

標準は基準面の中心位置の標高を使用。RANSAC1 は面に沿った代表点、RANSAC 2 は法線面同士を使用するため、RANSAC 1 のほうが点の集中による面のずれが出にくくなる一方で、RANSAC2 のほうが点群のエッジが現れやすくなる。

検証した結果、RANSAC 2 は推定面内の点群位置が近い場合、値が極端に偏るため、推定面が 1cm と小さかったり、計測した点群の密度が薄い場合は結果が暴れてしまったりしたため、検証に適さない事が分かった。そのため、今回は標準と、RANSAC 1 の手法を用いて検証を行う事となった。

## 2. 比較面評価密度

(目的)

損傷評価に使える真値推定点の評価密度を決める必要がある。

(検討)

比較面を評価する際、密度の最小値がどれくらいあれば良いかを検討。WingEarth では、BIM/CIM の出来形管理に応じて 10cm 四方が最小範囲となる。

信頼性評価は領域の残留変位評価点として使用するため、1cm 四方が最小範囲となる。信頼性評価が今回の評価対象となるため、比較面評価密度は 1cm を最小領域として使用する事となった。

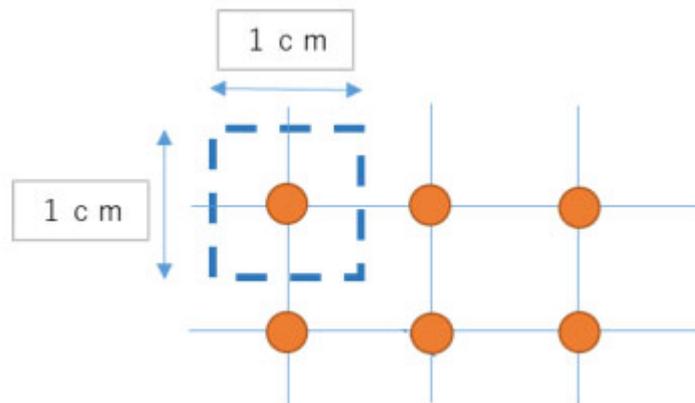


図 5. 比較面評価密度

## 3. 断面確認

(目的)

断面は縦と横の確認が必要。

(検討)

真値推定の座標点に対して、被災前後の二時期差分を確認する事(縦の比較)と、被災前の状況、被災後の状況とそれぞれの時期に対して近隣の面の変化を確認(横の比較)する必要がある。真値推定の座標点を確認することができれば、縦と横の断面比較を行う事ができる。

#### 4. 残留変位評価点の決定手法

(目的)

残留変位評価点を決めるために真値推定の点数、点密度を利用する必要がある。

(検討)

残留変位評価点を決めるために真値推定の点数、点密度を利用する必要がある。WingEarth上で、真値推定の点数、点密度を視覚的に確認できる機能が必要となるため、ヒートマップ表現を用いて点群上で点数、点密度を可視化できる機能を実装。

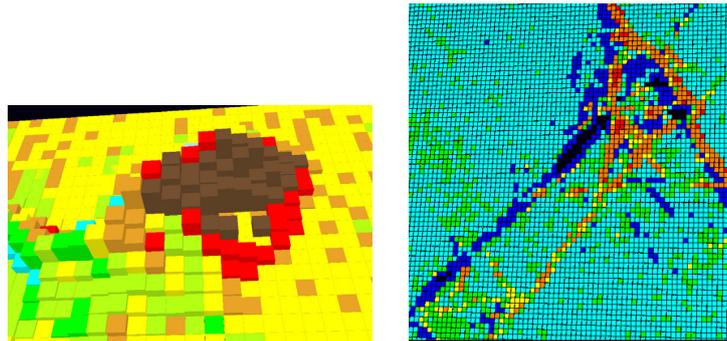


図 6. ヒートマップ表示  
左:三次元、右:二次元

#### 5. 浮き剝落の体積

(目的)

浮き剝落は面積だけでなく体積も計算できれば良い。

(検討)

現在の WingEarth 機能では、浮き剝落は面積表示となっているが、体積も確認したい。一覧上では体積を計算して表示する機能を実装。ビュー上での表示は今年度中に実装する。

#### 6. 真値推定処理時間

(目的)

真値推定処理に時間が掛かりすぎる。

(検討)

真値推定処理は、1cm 単位で実施した場合、処理が十数時間以上かかっている。計算処理が 10m×10m で百万回に対して真値推定計算処理が行われるため、と大量のメモリ消費と計算時間がかかっている状態。処理のマルチスレッド化を実施。効果があったことを確認。また、帰宅時に処理を走らせて翌日処理できるよう、メモリ残量が少なくなった場合に表示している確認メッセージを外す処理を追加する。

## 7. 真値推定結果の表現

(目的)

真値推定結果の表現は現在ヒートマップを用いて三次元的に表示されているが、二次元の方が見易い。

(検討)

真値推定結果の表現は、現在図 6 のヒートマップを使用しているが二次元の方が見易い。密度や標準偏差を三次元的に表現する必要はないと思われる。メッシュ点に色がつけば良い、という意見があがる。上記に対して、ヒートマップ表現に対して、立体/平面を切り替える機能を実装して二次元表現を実装した。

## 8. 残留評価点の数値表示

(目的)

真値推定する場合にプロット点を指定しているが、数値が表示できないか。

(検討)

WingEarth の機能として真値推定する場合にプロットを指定しているが、数値が表示できないか、という意見があがった。

上記に対して、構成点や計算に使用した情報を出力する機能を次年度実施する。

## ② 残留変位評価点等の損傷評価用真値推定領域の決定

### 9. 真値推定の領域指定方法

(目的)

真値推定の領域指定方法の機能改善。

(検討)

現在の WingEarth 機能では、真値推定の領域指定を 3 点画面上から指定するようになっているが、最大最小矩形範囲を座標値で修正できるようにする事が望ましい。

WingEarth 上でプロットを配置してプロット編集機能で任意座標値に設定可能。また、領域の範囲を手入力で設定できる機能を実装。

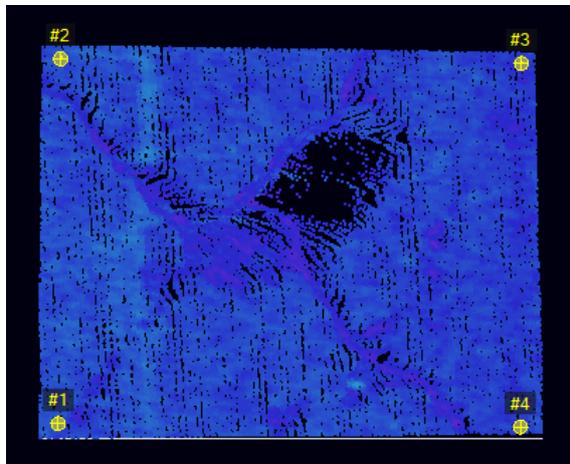


図 7. 真値推定の領域指定

## 10. 点群評価対象

(目的)

真値推定は全体で実行して、実行後に抽出幅を設定したい。

(検討)

現在、真値推定領域を点群から直接指定しているが、真値推定は全体で実行して、実行後に真値推定の情報を元に抽出幅を設定したいという意見があがった。

上記に対して、真値推定実施結果を元に再度領域を設定する機能を実装した。

### 2.2.2 計測点群の欠損を補完する機能(令和4年度)

#### ① 欠損点群の補完

##### 11. データ補完

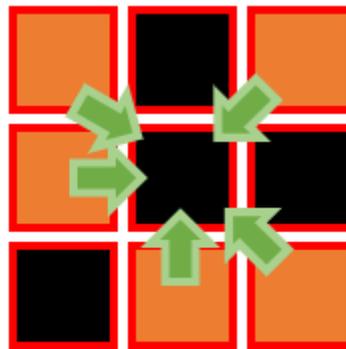
(目的)

点群密度が薄い場合、データがぼやけてしまう。補完できないか。

(検討)

点群密度が薄い場合、データがぼやけてしまう。補完できないかという意見があがった。

上記に対して、周囲の点群から補完する機能を実装した。欠落点で周囲8点のうち、たとえば3点以上存在する場合は、それらの平均から補完する機能を追加し、その機能を3回繰り返して補完する機能を実装して検証を実施した。



周囲の点から欠落点を補完

図8. 補完処理

その結果、点密度が十分でないときに穴埋めを行う事ができた。また、今回は3点以上3回繰り返して実施したが、最適なパラメータの設定検証は次年度実施する。

## 2.2.3 データの信頼性について確認する機能(令和4年度)

### ① 真値推定情報の出力

#### 12. PDFレポート

(目的)

レポートはCSVデータ化に加えてPDFレポートも欲しい。

(検討)

真値推定情報出力に際して、レポートはCSVデータ化に加えてPDFレポートも欲しいという意見が上がった。

上記に対して、EXCEL等で読み込んでPDF出力することが可能なため、今回はEXCEL上での変換で対応する事となった。

#### 13. 出力内容

(目的)

信頼性評価を行う事ができる項目を出力する必要がある。

(検討)

真値推定情報出力に際して、信頼性確認で使用する情報を協議した。その結果、以下の内容を出力する事となった。

「X, Y, Z, Intensity, RGB, 点密度、標準偏差、最大値、最小値、真値推定誤差」

最大値、最小値の実際の値での出力とする機能、ならびに推定面の距離の追加を今年度実施。  
検証は次年度実施。

## 2.2.4 被災前と被災後の差分解析を実施できる機能(令和4年度)

### ① 差分量算出(浮き、剥落の算出)

#### 14. 浮きや剥落を確認する機能

(目的)

建屋の残留変形とコンクリートの浮きや剥落を確認する機能が必要。

(検討)

建屋の残留変形とコンクリートの浮きや剥落を確認する機能が必要という意見があがった。

上記に対して、浮きや剥落の状況が分かるよう図6のヒートマップ表現を用いて表示して情報をファイル出力する機能を実装。

#### 15. 欠損が分かる機能

(目的)

始めのデータにあって二時期目がないデータの表現(点の欠損状態確認)が必要。

(検討)

始めのデータにあって二時期目がないような点の欠損状態確認ができる機能が必要という意見があがった。

上記に対して、図6のヒートマップ表現を用いて欠損が分かる機能を実装。

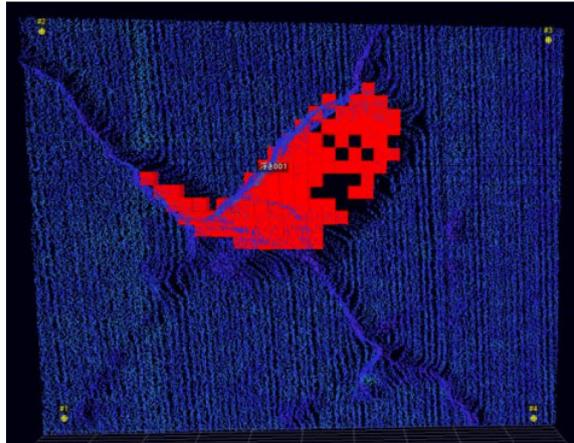


図 9. 浮きや剥落のヒートマップ表現

## 16. 差分解析一覧表の修正

(目的)

WingEarthにおいて、差分解析一覧表の種別等のコメントを修正したい場合に修正できない。

(検討)

WingEarthの機能で差分解析一覧表の種別等のコメントを修正かけたい場合に修正できないという意見があがった。

上記に対して、コメントを編集する機能を実装し、真値推定のコメントを変更することで差分解析のコメントも変更されるように機能を改修した。

## ② 浮き、剥落の範囲指定

### 17. 損傷評価対象範囲の抽出真値推定

(目的)

損傷評価対象範囲の抽出を行いたい。

(検討)

ユーザが浮き、剥落に対しての損傷評価対象となる範囲を設定したいという意見があがった。

上記に対して、浮き、剥落の対象範囲を設定する機能を実装した。確認は次年度実施する。

### 18. 浮き剥落判定の自動実施

(目的)

浮き剥落は一度に自動的に実施したい。

(検討)

浮き剥落は一度に自動的に実施したいという意見があがった。上記に対して、ユーザが選択した範囲から浮き剥落の判定を自動的に実施する手法の検討から次年度実施する。

## 19. 差分解析一覧等での表示/非表示一括設定

(目的)

WingEarth において、差分解析一覧等で○が 1 つずつしか選択できないため、一括設定できる事が望ましい。

(検討)

WingEarth の機能で差分解析一覧等において○が 1 つずつしか選択できない。一括設定できないかという意見があがった。

上記に対して、右クリックのポップアップメニューで表示/非表示画面で一括設定できる機能を実装し、同機能が有効な事を確認した。

## ③ 差分算出(残留層間変形角)

### 20. データ区別

(目的)

データを区別できるようタイプと領域名の属性がある事が望ましい。

(検討)

データを区別できるようタイプと領域名の属性がある事が望ましいという意見があがった。上記に対して、場所と属性を入力する機能を実装した。次年度確認を実施する。

### 21. 残留層間変形角の計算手法

(目的)

残留層間変形角の計算手法の検討が必要。

(検討)

残留層間変形角は、その階の残留水平変位をその階の高さで割る。X 軸だけでなく Y 軸も同様に計算するという意見があがった。

上記に対して、残留層間の対象となる建物に対して、階の属性設定ができる機能を実装した。次年度確認を実施する。

## ④ 差分出力(浮き、剥落)

### 22. 浮きと剥落のレポート出力

(目的)

浮きと剥落を分けてレポート出力したい。

(検討)

浮きと剥落を分けてレポート出力する必要があるという意見があがった。上記に対して、出力対象を「浮き」「剥落」と選択できる機能を実装した。次年度確認を実施する。

## 2.2.5 計測点群の真値推定する機能(令和5年度)

### ① 残留変位評価点等の損傷評価用真値推定点生成

#### 1. 断面確認

(目的)

断面は縦と横の確認が必要。

2点指定による任意の断面の機能も欲しい。

(検討)

真値推定の座標点に対して、被災前後の二時期差分を確認する事(縦の比較)と、被災前の状況、被災後の状況とそれぞれの時期に対して近隣の面の変化を確認(横の比較)する必要がある。真値推定の座標点を確認することができれば、縦と横の断面比較を行う事ができる。

真値推定の面に対して格子を1つ指定し、横方向か縦方向化を選択させて、断面図にして表示させる機能を実装。断面区間に穴があった場合の結線をどうするか、という意見があがったが、最終的には点群が1cmピッチの場合は点のサイズを大きくした場合に見えなくなるため、結線は不要との結論となった。

また、床面の場合など斜めに断面を切りたい場合もあるため、任意の2点を指定し、2点間の線分と格子との交点を利用して断面を表示する機能及び、断面図の画像と断面情報をCSVに出力する機能を実装。

#### 2. 点群の備考入力

(目的)

真値推定処理で用いた点群を備考に自動的に入力して欲しい。

(検討)

真値推定処理で用いた点群を備考に自動的に入力して欲しい、との意見があがった。

上記に対して、真値推定の登録時に計算の対象とする点群グループまたはフォルダを選択できる機能を追加し、真値推定の一覧表示に表示する機能を実装。これにより、真値推定の登録時に点群グループの表示・非表示を切り替える必要がなくなった。

#### 3. 真値推定の基準軸にZ軸を追加

(目的)

基準軸にX軸、Y軸だけでなくZ軸も選択できるようにして欲しい。

(検討)

屋上階の凹み(真上から見た時の屋上の床の凹み)で使用するため、真値推定の「軸固定」の登録時にX軸、Y軸だけでなくZ軸も選択できるようにして欲しいという意見があがった。

上記に対して、真値推定の「軸固定」の基準軸に「標高軸」の設定を実装。

#### 4. 点密度分布の値による表示

(目的)

密度がXX点以上の点を表示する、しないのON/OFFの仕組みが欲しい。

(検討)

真値推定において、点密度分布の値による表示の ON/OFF 機能(点の密度が XX 点以上の点を表示する、しないの切り替え)ができないかとの意見があがった。

上記に対して、点密度分布の値による表示の切り替え機能を次年度実装する。

## ② 残留変位評価点等の損傷評価用真値推定領域の決定

### 5. 真値推定の一括作成

(目的)

点群と真値推定面位置をストックして、一括で計算する仕組みが欲しい。

(検討)

真値推定の指定において、点群と真値推定面位置をストックして、一括で計算する仕組みが欲しい、との意見があがった。

上記に対して、真値推定の範囲を複数回指定した後に、一括で計算・登録する機能を実装。

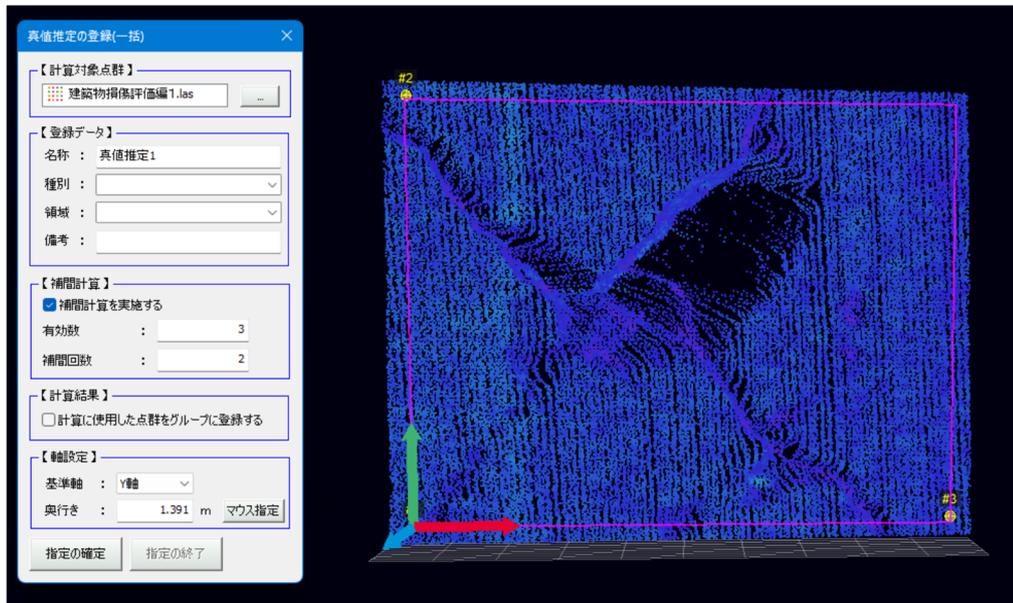


図 10. 真値推定の一括作成

また、真値推定の範囲を指定する際、面に対しての表・裏の面が分かりにくいという意見があがった。

上記に対して、真値推定の登録時に面座標の軸を表示する機能を実装。

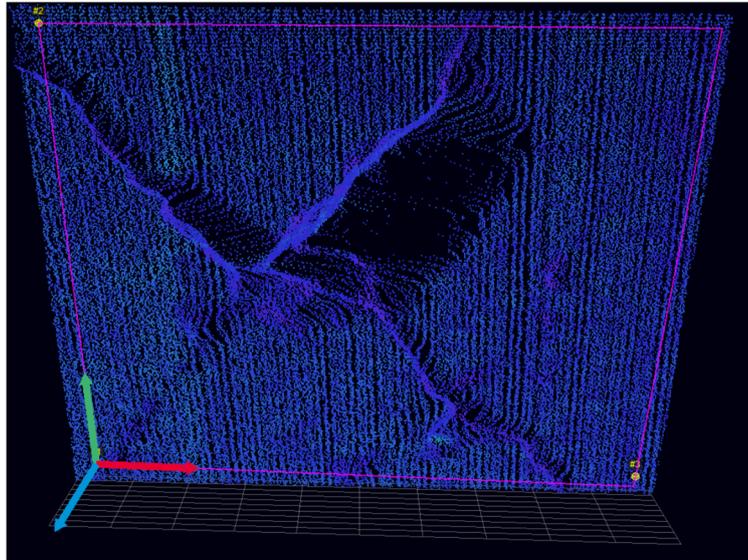


図 11. 面座標の軸の表示

## 2.2.6 計測点群の欠損を補間する機能(令和 5 年度)

### ① 欠損点群の補間

#### 6. データ補間

(目的)

補間計算の手順、最適なパラメータ設定について検討を行った。

(検討)

前年度、点群密度が薄い場合に対して周囲の点群から補間する機能を実装したが、今年度、補間計算の手順について以下の検討を行った。

#### ① 真値推定の結果は以下の 3 種類に分類される。

1. 必要点密度から作成された点(合格した点)
2. 必要点密度を満たしていない点(不合格の点)
3. 点が存在しない

補間計算は 2.と 3.を 1.の点を使用して補間計算行うこととする。

ここで、2.の点については計算には使用せず、元の形を残すために保存は行うようにして欲しいとの意見があがった。

上記に対して、データの保存は 2.の点も対象とし、プロセスとして確認してから削除する機能を次年度実装する。

#### ② 隣接点が何点あれば補間計算を実行しても良いか、繰り返し回数は何回までしても良いか。

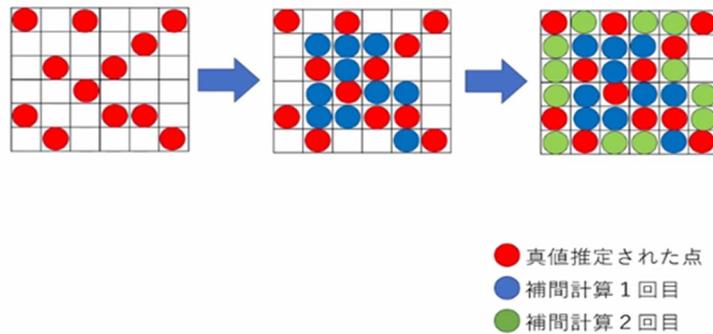


図 2.17 補間計算（穴埋め）一周四 3 点で補間計算を 2 回行った場合

図 12. 補間計算

次年度も引き続き検証を実施し、マニュアルに記載する数値を決めることとする。

- ③ 真値推定についての議論は、これまで「浮き」の評価に必要な一番評価の厳しい指定面積 10mm の場合のみで行われている。

上記に対して、

1. 10mm で真値推定を実行
2. 剥落・残留変形の評価ができていない場合は 20mm で真値推定を実行  
(浮きは確認しない)
3. 残留変形の評価ができていない場合は 1000mm で真値推定を実行  
(浮き・剥落は確認しない)

と言う手順になるように、フローを制御するコマンドを次年度実装する。

## 2.2.7 データの信頼性について確認する機能(令和 5 年度)

### ① 差分量算出(浮き、剥落の算出)

#### 7. 差分量算出時の警告メッセージの表示。

(目的)

データ補間を行った真値推定を用いて差分量を算出する際に警告メッセージを表示。

(検討)

データの補間を行った真値推定を用いて差分量の計算結果を登録する際に、警告メッセージを表示して欲しいという意見があがった。

上記に対して、真値推定の一覧にデータの補間計算を実行したデータかどうかの表示を追加し、差分量の計算時に警告メッセージを表示するよう実装。

#### 8. 真値推定の画像

(目的)

点群の表示状態の各表示を画像で出力して欲しい。

(検討)

真値推定において、点群の表示状態の各表示を画像で出力して欲しいとの意見があがった。PDF ファイルより JPG ファイルの方が報告書の WORD ファイルに貼り付けやすいため。

上記に対して、断面の登録後に4種類すべて(密度や標準偏差など)の画像を出力する機能を次年度実装する。

## 9. 断面作成機能

(目的)

複数断面を自動抽出できる機能が欲しい。

区画結線の SIMA から断面を作成したい。

(検討)

断面の作成において、複数の断面を自動抽出できる機能が欲しいとの意見があがった。また、合わせて区画結線の SIMA ファイルから断面を作成したいとの要望があがった。現状の機能でできなくはないが、処理に時間が掛かるためである。

上記に対して、複数断面を自動抽出する機能の実装ならびに、区画結線 SIMA から断面を作成する機能を次年度実装する。

※SIMA ファイル

座標や路線、区画データなどの各種測量アプリケーション・CAD における相互間でのデータ交換を目的としたフォーマットファイル。1行1レコードのテキスト形式のデータとなっている。

## 10. 断面表示の比率調整

(目的)

断面の表示で目盛の比率を調整できるようにして欲しい。

(検討)

断面の表示において、縦横の目盛の値の比率を調整できるようにして欲しいとの意見があがった。

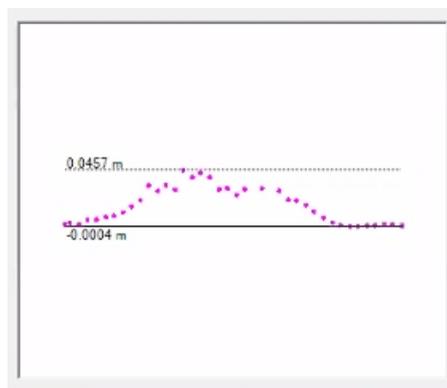


図 13. 断面図

現状では断面の表示のサイズは領域でフィッティングしているため、断面の長さでサイズが変わってしまい、すべての断面で共通とはならない。

上記に対して、縦横の軸の最大値・最小値を変更できる機能を次年度実施する。

## 11. 2点指定時の断面表示

(目的)

2点指定(斜め)で断面を指定する際に、メッシュの交点を利用して断面を表示して欲しい。

(検討)

2点指定で斜めの断面を指定する際に、メッシュの交点を利用して断面を表示して欲しいという意見があがった。

現在、2点指定で断面を指定した際には各点の標高は線分から垂線の足を下ろし、その位置にある格子の値を採用している。

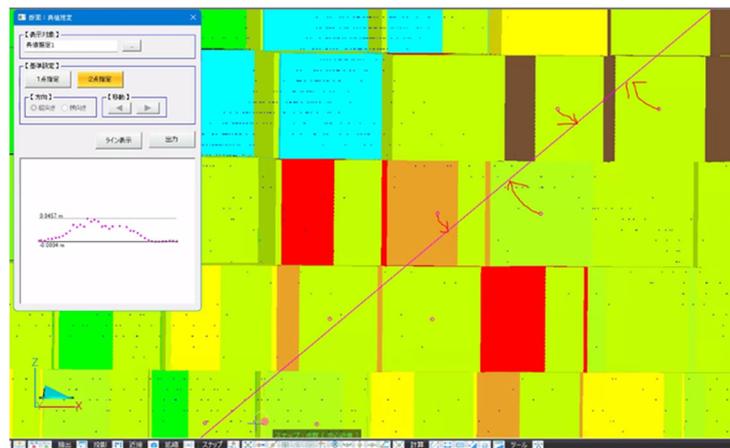


図 14. 線分からの垂線足の位置の格子の値を採用

これを、格子の中心線を結んだ線分との交点を求め、その位置の標高を比例計算で算出し、その値を採用するように変更することとなった。

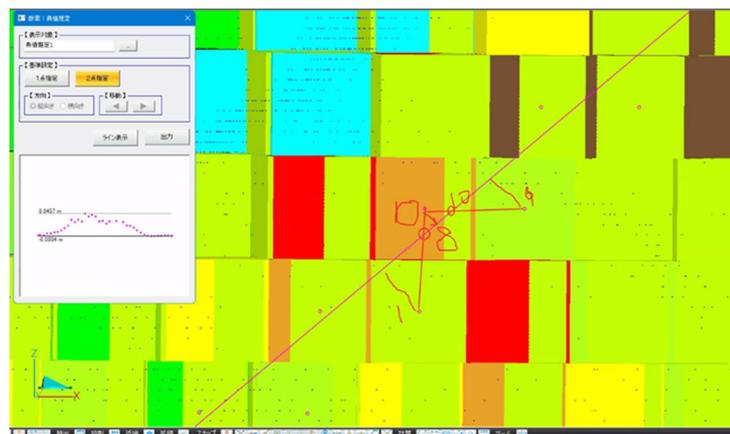


図 15. 比例計算にて標高を算出

上記に対して、比例計算で標高を計算するような変更を次年度実施する。

## 12. 断面表示の CSV 出力

(目的)

作成した断面の情報を CSV で出力して欲しい。

(検討)

断面の表示において、断面の情報を CSV ファイルに出力して欲しいとの意見があがった。

断面図をレポートに入れたい時などに使用したいが、CSV ファイルで出力しておくとは画像と違い後から加工ができるため。

上記に対して、CSV ファイルに出力できる機能を次年度実装する。

## 13. 真値推定の一括出力

(目的)

真値推定の一覧画面から詳細をまとめて出力したい。

(検討)

真値推定・差分量計算において、計算結果の詳細情報を一度に複数出力できないかとの意見があがった。

現在は真値推定の一覧から詳細情報へ入り、そこから出力するため 1 つずつしか出力ができない。

上記に対して、真値推定・差分量計算の計算結果の詳細を複数出力する機能を次年度実装する。

## 14. 投影機能の回転ロック

(目的)

真値推定の際に指定した値で表示方向を固定したい。

(検討)

投影表示の「回転ロック」機能において、ロックする角度の設定が欲しいとの意見があがった。真値推定の際に、指定した軸で表示方向を固定するため、角度の調整を計算軸の方向で固定したいという内容のもの。

上記に対して、角度の設定を行える機能を次年度実装する。

## 15. 陰影表示の機能

(目的)

「点群」タブにある陰影表示の機能を「損傷評価」のタブにも追加して欲しい。

(検討)

「点群」タブにある陰影表示の機能を「損傷評価」のタブにも追加して欲しいとの意見があがった。タブを切り替えずに陰影の表示を変更したいというもの。

上記に対して、画面上を右クリックして表示されるメニューから陰影表示の ON/OFF を切替できる機能を新しく実装。

## 16. 文字サイズの変更

(目的)

プロット文字と注釈文字の表示サイズが共通になっているのを分けて欲しい。

(検討)

画面の表示において、プロット文字と注釈文字の表示サイズが共通の設定となっているため、それぞれサイズを設定できると使いやすいという意見があがった。

上記に対して、それぞれ文字のサイズを変更できる機能を次年度実装する。

### 2.2.8 被災前と被災後の差分解析を実施できる機能(令和5年度)

#### ① 差分量算出(浮き、剥落の算出)

## 17. 浮き、剥落の分類設定

(目的)

浮き・剥落の構面ごとに分類し、それぞれの浮き・剥落の合計値を表として出力して欲しい。

(検討)

浮き、剥落の判定において、構面ごとに分類し、それぞれの浮き、剥落の合計を表として出力したいとの意見があがった。

表 4.2 評価対象面の浮き剥落面積一覧の例

構面	浮き面積(mm <sup>2</sup> )	面積 1	面積 2	面積 3	面積 4	面積 5
構面X0	16,350.0	350.0	10,000.0	6,000.0	-	-
1 F	剥落面積(mm <sup>2</sup> )	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	2,950.0	210.0	660.0	600.0	820.0	660.0
1 F	剥落面積(mm <sup>2</sup> )	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

図 16. 浮き剥落の面積一覧

上記に対して、以下の書式で雛型を作成した。

No.	名称	基準：名称	比較：名称	1層：残留変位(mm)	1層：残留層間変形角(%)	2層：残留変位(mm)	2層：残留層間変形角(%)	3層：残留変位(mm)	3層：残留層間変形角(%)
1	Y方向Y0柱	B001	B002	○○	○○	○○	○○	○○	○○
2	Y方向Y0柱	B001	B003	○○	○○	○○	○○	○○	○○
3	Y方向Y2柱	B001	B002	○○	○○	○○	○○	○○	○○

図 17. 浮き剥落の面積一覧 雛形

この雛形の形式で浮き、剥落の面積を構面ごとに分類し、それぞれの合計値を出力する機能を次年度実装する。

## ② 浮き、剥落の範囲指定

### 18. 浮き剥落判定の自動実施

(目的)

浮き剥落の判定は一度に自動的に実施したい。

(検討)

浮き、剥落の判定は一度に自動的に実施したいという意見があがった。

上記に対して、ユーザが選択した範囲から浮き剥落の判定を自動的に実施する手法を検討し、指定した範囲内の浮き・剥落のうち、隣接していない浮き・剥落を自動で分割し登録する機能を新しく「浮き・剥落(自動分割)」コマンドとして実装。

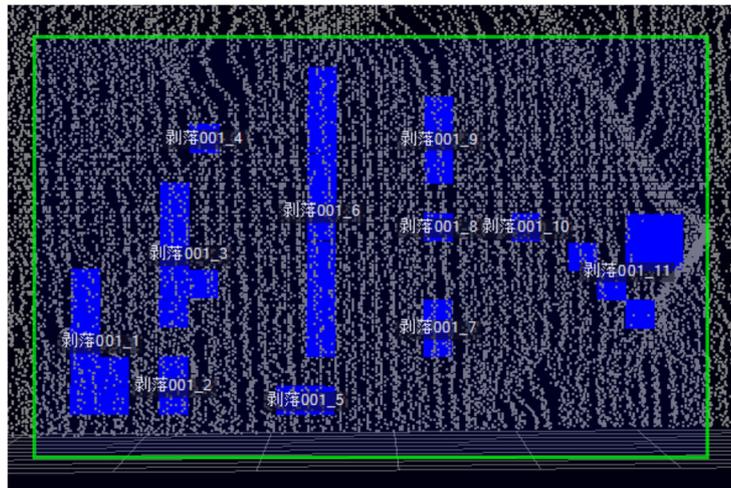


図 18. 浮き・剥落の自動分割

形状によっては大量の浮き・剥落のデータが作成されてしまう場合があるため、従来の指定した範囲内の浮き・剥落をすべてまとめて1つの浮き・剥落として登録する機能は残し、別に実装を行った。

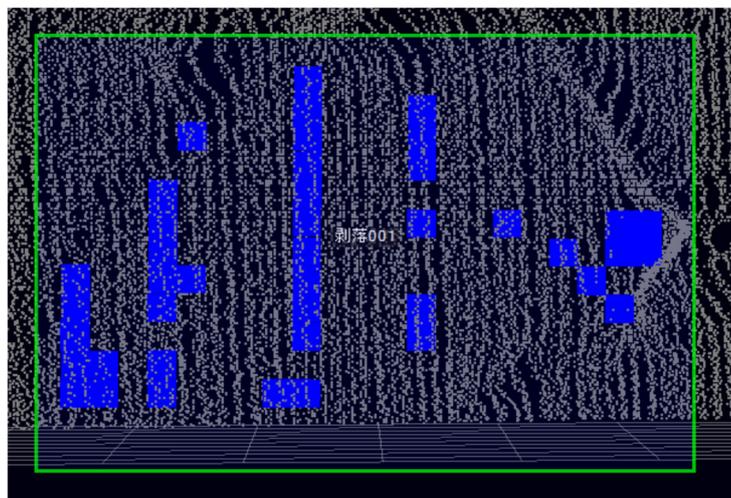


図 19. 浮き、剥落面積一覧表

### ③ 差分算出(残留層間変形角)

#### 19. データ区別

(目的)

データを区別できるようタイプと領域名の属性がある事が望ましい。

(検討)

データを区別できるようタイプと領域名の属性がある事が望ましいという意見があがった。

上記に対して、層間比較の一覧を階の一覧と層の一覧の表示に分割し、層の情報の一覧に表示される項目を基準軸によって変更する機能を実装した。これにより、計算に使用している情報をすべて表示し、手計算での確認ができるようになった。

#### 20. 残留層間変形角の計算手法

(目的)

残留層間変形角の計算手法の検討が必要。

(検討)

残留層間変形角の計算手法に対して、残留層間変形角の高さは、その階の高さで割る。1階と2階との高さの差、2階と3階との高さの差のように。X軸だけでなくY軸も同様。という意見があがった。

上記に対して、残留層間の対象となる建物に対して、階の属性設定ができる機能を実装したが、プログラムを検証したところ、残留層間比較において「1階」と「N階」の比較で計算していたため、「N-1階」「N階」の比較となるよう機能の変更を実装した。

#### 21. 残留変位分布図

(目的)

評価対象面の各階柱の残留変位分布図を出力して欲しい。

(検討)

「層間比較の詳細」から層と階の情報を出力できるが、ここに評価対象面の各階柱の残留変位分布図を出力して欲しいとの意見があがった。

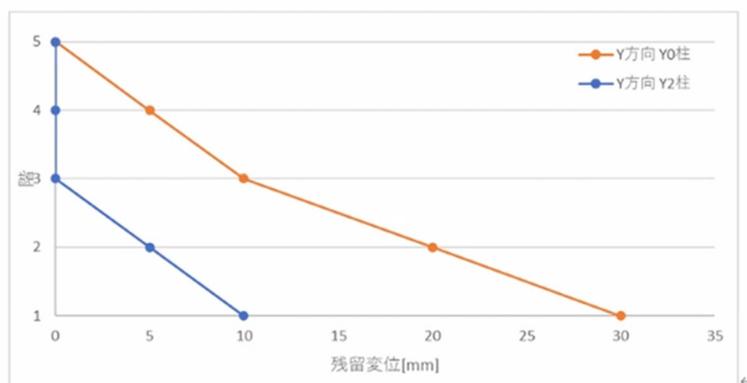


図 4.3-2 評価対象面 (X0 構面) の Y 方向の各階柱の残留変位分布図

図 20. 手引き記載の表 4-2

上記に対して、層間比較の一覧表示に上図を表示する機能を次年度実装する。

## 22. 残留層間変形角の一覧表

(目的)

評価対象面の各階柱の残留変位角の一覧表を出力して欲しい。

(検討)

「層間比較の詳細」から層と階の情報を出力できるが、ここに評価対象面の各階柱の残留変位角の一覧表を出力して欲しいとの意見があがった。

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

図 21. 手引き記載の表 4-1

この場合、横方向の列数が幾つになるかは使用者の選択次第となる。上記に対して、層間比較の一覧表示に上図の表を出力する機能を次年度実装する。

## 23. 差分計算時間の短縮

(目的)

差分計算に時間がかかるため、計算時間を短縮する。

(検討)

差分量の計算に時間がかかるため、計算時間を短縮できないかとの意見があがった。格子点が多くなると計算時間が増大し、真値推定の計算はできるが、差分計算ができないパターンも存在した。

表 1：格子幅と計算時間（全棟計測）

	格子間隔（480m×158m）			
	0.1m	0.3m	0.5m	1m
格子数	672万点	85万点	29万点	80,000点
真値推定	2時間?	50分	5分	3分
差分計算	1時間程度	1時間程度	20分	10分

表 2：格子幅と計算時間（30号棟 詳細計測）

	格子間隔（27m×23m）			
	0.01m	0.03m	0.05m	0.1m
格子数	620万点	60万点	21万点	55,000点
真値推定	5分	2分	2分	1分
差分計算	不可?	15分	5分	3分

図 22. 計算時間

差分計算ができない場合は GIS による画像解析で差分計算を行う。上記に対して、1 時間程度とあるものが短縮できないか、次年度検討を行い実装。

④ 差分出力（浮き、剥落）

24. 浮きと剥落のレポート出力

（目的）

浮きと剥落を分けてレポート出力したい。

（検討）

浮きと剥落を分けてレポート出力する必要があるという意見があがった。

上記に対して、浮き・剥落の一覧に「浮き」のみ、「剥落」のみの項目を追加し出力項目を選択できる機能を実装した。

25. 差分解析の画像

（目的）

点群の表示状態の各表示を画像で出力したい。

（検討）

差分解析の差分算出において、点群の表示状態の各表示を画像で出力して欲しいとの意見があがった。

上記に対して、差分解析の算出後に点群表示の画像を出力する機能を次年度実装する。

26. 表示切り替えボタン

（目的）

真値推定のみ表示、差分計算のみ表示するボタンが欲しい。

(検討)

真値推定と差分量計算の表示設定において、現状は同時に表示することが可能となっているが、間違いやすいためどちらかが ON の時はもう片方は OFF になるよう表示を切り替える形式にして欲しいとの意見があがった。

上記に対して、真値推定のみ、差分量計算のみを表示する機能を次年度実装する。

## 2.2.9 計測点群の真値推定する機能(令和 6 年度)

### ① 残留変位評価点等の損傷評価用真値推定点生成

#### 1. 真値推定の画像

(目的)

点群の表示状態の各表示を画像で出力して欲しい。

(検討)

真値推定において、点群の表示状態の各表示を画像で出力して欲しいとの意見があがった。PDF ファイルより JPG ファイルの方が報告書の WORD ファイルに貼り付けやすいため。

上記に対して、「真値推定一覧」に「画像書き込みボタン」を追加し、断面の登録後に 4 種類すべて(密度や標準偏差など)の画像を出力する機能を実装。

#### 2. 真値推定の一括出力

(目的)

真値推定の一覧画面から詳細をまとめて出力したい。

(検討)

真値推定・差分量計算において、計算結果の詳細情報を一度に複数出力できないかとの意見があがった。現在は真値推定の一覧から詳細情報へ入り、そこから出力するため 1 つずつしか出力ができない。

上記に対して、真値推定の一覧から詳細情報を一括出力する機能を実装。

#### 3. 真値推定登録時の点密度による制限

(目的)

真値推定登録時に点密度による制限を設定し、基準に満たない格子を登録しないようにしたい。

(検討)

真値推定登録時に点密度による制限を設定し、基準に満たない格子を登録しないようにして欲しいとの意見があがった。現在は 1 点でもあれば計算できるようになっており、基準を満たすかどうかの判定を行っていない。

上記に対して、真値推定の登録コマンドに「必要点数」の項目を追加し、その点数に満たない格子を登録しないようにする機能を実装。

#### 4. 真値推定の統計情報の確認方法

(目的)

画面上の真値推定の格子の位置をマウス指定して、詳細の情報をリアルタイムに確認できる機能が欲しい(詳細画面が大きくなるので簡略表示できるように)。

(検討)

画面上の真値推定の格子の位置をマウスで指定して、詳細の情報をリアルタイムに確認できる機能が欲しいとの意見があがった。

現在、真値推定により得られた格子点は推定処理時の点群から得られた統計情報(点群密度、標準偏差、最大値、最小値、点群分布幅、真値推定誤差)を持っており、その詳細は真値推定の一覧で表示される各結果の詳細を見ることで確認できるが、評価対象面のどの位置のデータなのかを確認することが難しいため。

上記に対して、真値推定の一覧コマンドに設定を追加し、マウス位置の格子の詳細を表示する機能を実装。

#### 5. 点密度による制限の表記の変更

(目的)

「標準偏差」の表記を「機器の標準偏差」に変更して欲しい。

(検討)

「標準偏差」の表記について、「標準偏差」は一般的な数学用語のため、どんな値を入れたらよいかを記載した方が良いとの意見があがった。

上記に対して、「標準偏差」の記載を「機器の標準偏差」の記載に変更。

#### 6. 格子間隔のプリセットの設定

(目的)

真値推定登録時の格子間隔設定にプリセットを用意して、浮き・剥落等の成果物を選択して格子間隔を設定できるようにして欲しい。

(検討)

真値推定の格子間隔の設定において、プリセットに無いものを使用したいとの意見があがった。手引きに沿ったものであれば手引きの表 2.2 にある 3 つのみでも良いが、汎用的にしたいのであれば任意の設定も必要との意見も合わせてあがった。

上記に対して、真値推定の設定にプリセットの設定ができる機能を実装。

#### 7. 真値推定の設定画面の改良

(目的)

一括設定の画面で格子間隔などの計算設定をするが、ここで設定した条件が次の 3 点指定の設定画面からは戻れないため、確認や変更ができない。一括処理の設定画面に全ての設定項目を盛り込むようにして欲しい。

(検討)

真値推定の登録コマンドにおいて、真値推定の一括処理の設定画面に全ての設定項目を搭載して欲しいとの意見があがった。現在、一括設定の画面で格子間隔などの計算設定をするが、ここで設定した条件が次の 3 点指定の設定画面からは戻れないため、確認や変更ができない。

上記に対して、真値推定に設定画面の改良を実施。

#### 8. 真値推定の断面の現場保存

(目的)

作成した断面を保存できるようにして欲しい。

(検討)

真値推定から断面表示の機能において、時系列で比較する場合にどの格子からどの格子までで作成したのかの情報を残したいとの意見があがった。

上記に対して、作成した真値推定の断面データを保存する機能を実装。

#### 9. 座標変換

(目的)

損傷評価用の座標変換を WingEarth 内でできるようにして欲しい。

(検討)

真値推定の計算時、現在は局座標で実施しているが、例えば建物の北面と東面では軸の方向が違うため、その座標変換をソフト側で行って欲しいとの意見があがった。

上記に対して、原点と軸を指定して点群を移動・回転機能を実装。

#### 10. 点群移動

(目的)

点群移動コマンドで、任意に入力した座標値に基準点を移動するようにして欲しい。

(検討)

点群を移動するコマンドにおいて、任意の点を原点として設定できること、その後にその原点を中心に長辺・短辺を合わせて軸を微調整できる機能は欲しいとの意見があがった。

上記に対して、点群移動コマンドに移動後の基準点の座標値を数値指定できる機能を実装。

### 2.2.10 データの信頼性について確認する機能(令和 6 年度)

#### ① 差分量算出(浮き、剥落の算出)

#### 11. 真値推定・差分量計算の画像出力

(目的)

画像出力時、スケールが分かるように目盛りを出力して欲しい。

(検討)

真値推定・差分量計算の画像出力機能において、出力された画像内で真値推定・差分量計

算のスケールが分かるように目盛を表示して欲しいという意見があがった。

上記に対して、真値推定・差分量計算の画像出力時に目盛の表示を追加する機能を実装。

#### 12. 真値推定・差分量計算の画像出力の修正

(目的)

画像出力時に格子の数が多くても画質が劣化しないようにして欲しい。

(検討)

真値推定・差分量計算の画像出力において、格子の数が多い場合に出力したが画像の表示が崩れてしまうとの意見があがった。

上記に対して、画像出力時の画像のサイズを調整する機能を実装、ならびに検証を実施。

#### 13. 真値推定・差分量計算の画像出力の修正

(目的)

画像出力時にサイズや解像度を調整できるようにして欲しい。

(検討)

真値推定・差分量計算の画像出力において、建物の形状によっては画像サイズがかなり大きくなる場合があり、WingEarth のメイン機能にある平面オルソの Tiff 出力機能のように、解像度を見ながら調整ができる機能が欲しいとの意見があがった。

上記に対して、真値推定・差分量計算の画像出力時に画像のサイズを調整できる機能を実装。

#### 14. 差分量計算の真値推定の位置による判定

(目的)

真値推定の位置が一致しない場合に差分量計算を行わないように制限して欲しい。

(検討)

差分量計算において、真値推定の位置が一致しない場合に差分量計算を行わないように制限して欲しいとの意見があがった。

まず 1 時期目と 2 時期目の全体が重なっているかどうかをチェックしてから、その範囲内で差分量計算の領域を指定する機能があれば良い。手順として、

- ① 1 時期目の真値推定の範囲を指定
- ② 2 時期目の真値推定の範囲を指定(同じ範囲)
- ③ プログラムで①②が一致しているかどうかを判定、一致していたら④へ
- ④ 差分量計算の領域を指定
- ⑤ 差分量計算の実行

というステップを踏むようにする。

上記に対して、1 時期目と 2 時期目の範囲を確認する機能を実装。

## 15. 損傷評価面一覧の浮き・剥落の表の出力

(目的)

損傷評価面一覧の浮き・剥落の表を CSV 出力して欲しい。

(検討)

損傷評価面の一覧からの書き込み処理は上側の表(浮きと剥落の総面積・総体積のみ)を出力しているが、手引きの表 4.2 では個別の浮き・剥落の面積も出力しているため、下側の浮き・剥落のデータも出力して欲しいとの意見があがった。

上記に対して、個別の浮き・剥落のデータも出力する機能を実装。

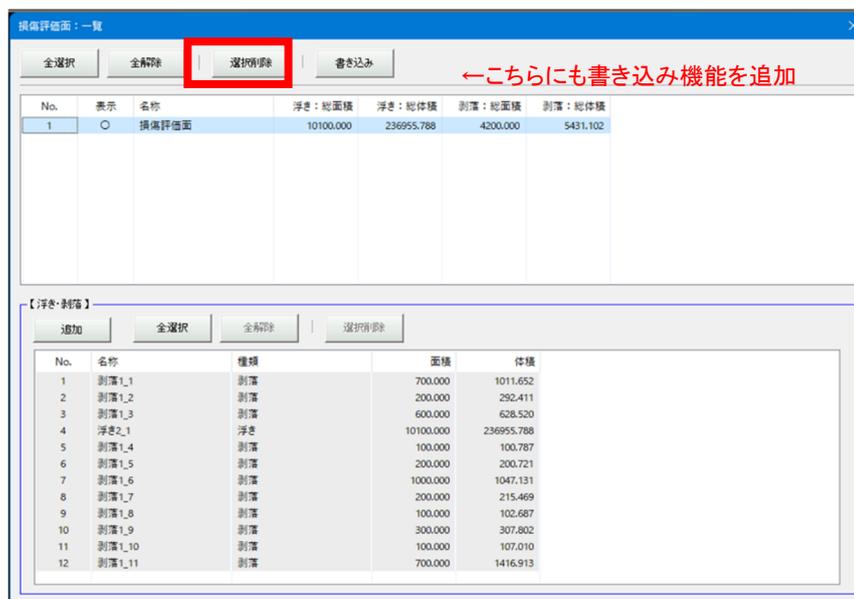


図 23. 損傷評価面一覧の浮き・剥落の表の出力

## 16. 差分量計算の範囲指定

(目的)

浮き・剥落のように範囲を選択して差分量計算を登録できるようにして欲しい。

(検討)

差分量の計算において、損傷がある部分のみをピックアップして計算を行う場合があるため真値推定の範囲内から差分量計算を行う領域を指定できるようにして欲しいとの意見があがった。

上記に対して、差分量計算時に範囲を指定して、その範囲内で差分量計算を行う機能を実装。

## 17. 基準位置の指定の簡素化

(目的)

手順として基準位置のプロット点登録→層間の登録と2回同じような指定を行う必要があるため、基準点登録と層間の登録を同時に行いたい。

(検討)

残留変位評価点の指定方法について、手順として基準位置のプロット点登録から層間の登録と 2 回同じような指定を行う必要があり手間が掛かること、指定を修正したい場合にプロット点と層間の両方を修正する必要があるため、手順を簡素化できないかとの意見があがった。

上記に対して、基準位置と層間を同時に指定できる機能を実装。

#### 18. 一時期・二時期同時の基準位置登録

(目的)

真値推定の格子を指定して一時期目・二時期目の基準位置を同時に登録したい。

(検討)

残留変位評価点の指定時に、現在は対象の真値推定は1つだけだが、ここで1時期目・2時期目の2つを対象にして登録時に両方登録できるようにとの意見があがった。

上記に対して、真値推定の格子を指定して、1 時期目・2 時期目を同時に基準位置で登録できる機能を実装。

#### 19. 投影機能の回転ロック

(目的)

真値推定の際に指定した値で表示方向を固定したい。

(検討)

投影表示の「回転ロック」機能において、ロックする角度の設定が欲しいとの意見があがった。真値推定の際に、指定した軸で表示方向を固定するため、角度の調整を計算軸の方向で固定したいという内容もの。

上記に対して、角度の設定を行える実装。

### 2.2.11 被災前と被災後の差分解析を実施できる機能(令和6年度)

#### ① 差分量算出(浮き、剥落の算出)

#### 20. 浮き、剥落の分類設定

(目的)

浮き・剥落の構面ごとに分類し、それぞれの浮き・剥落の合計値を表として出力して欲しい。

(検討)

浮き、剥落の判定において、構面ごとに分類し、それぞれの浮き、剥落の合計を表として出力したいとの意見があがった。

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

図 24. 浮き剥落の面積一覧

上記に対して、以下の書式で雛型を作成した。

No.	名称	基準：名称	比較：名称	1層：残留変位(mm)	1層：残留層間変形角(%)	2層：残留変位(mm)	2層：残留層間変形角(%)	3層：残留変位(mm)	3層：残留層間変形角(%)
1	Y方向Y0柱	B001	B002	○	○	○	○	○	○
2	Y方向Y0柱	B001	B003	○	○	○	○	○	○
3	Y方向Y2柱	B001	B002	○	○	○	○	○	○

図 25. 浮き剥落の面積一覧 雛形

この雛形の形式で浮き、剥落の面積を構面ごとに分類し、それぞれの合計値を出力する機能を実装。

## 21. 浮き・剥落の自動分割登録時の順番

(目的)

自動分割での登録時に一覧で見づらいため、浮き→剥落の順で登録されるようにしてほしい。

(検討)

「浮き・剥落(自動分割)」コマンドで浮き・剥落を登録した際、現在はデータを領域の左下から順番に確認して行きその順番で並べているため、浮きと剥落の登録順番が混在しており、表記を揃えて欲しいとの意見があがった。

上記に対して、表記を揃える機能を実装。

## ② 浮き、剥落の確認

### 22. 浮き・剥落が手引きに準拠しているかどうか

(目的)

登録した浮き・剥落が手引きに準拠しているかどうかを浮き・剥落一覧に記載してほしい。

(検討)

「差分解析(浮き・剥落)」において、浮き・剥落の元になった真値推定の点密度が必要点数の基準を満たしているかの判定をして欲しい、との意見があがった。

上記に対して、浮き・剥落が手引きの基準に準拠しているかどうかの判定・結果を表示する機能を実装。

## 23. 欠落の登録

(目的)

浮き・剥落に欠落を追加して欲しい。

(検討)

浮き・剥落の登録において、欠落箇所について元々壁面が無い箇所なのか、点が欠落しているのかの区別が付かないため、欠落の属性を追加して欲しいとの意見があがった。

上記に対して、欠落の属性を追加・登録できる機能を実装。

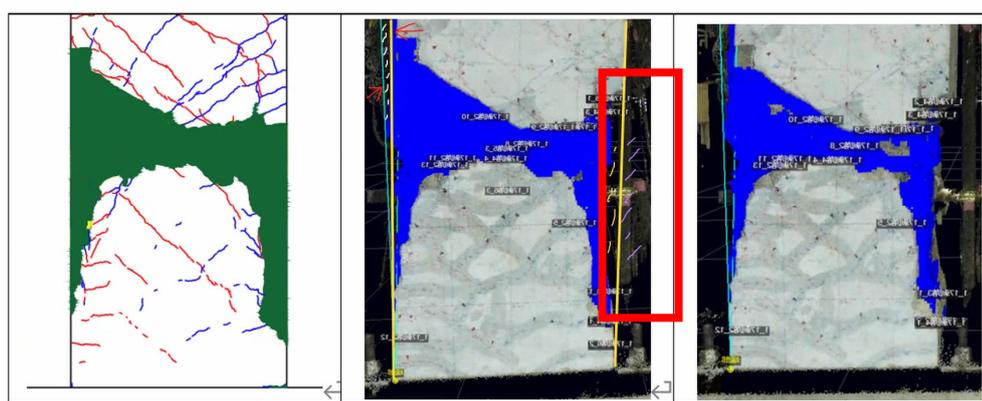


図 26. 欠落データの例

上図の中央のデータに対して、黄色の枠と青色の部分(剥落)との隙間が欠落してしまっている(赤枠部分、本来はコンクリートが存在)。黄色の枠の外側には元々コンクリートは無く、黄色の枠の内側部分のみを欠落として区別する機能が欲しい。

### ③ 差分算出(残留層間変形角)

## 24. 層間比較一覧の表記の変更

(目的)

「残留変位」の表記を「残留層間変位」に変更して欲しい。

(検討)

手引きの表 4.1 において、表記内容を「残留変位」→「残留層間変位」、「残留変形角」→「残留層間変形角」へ修正する必要があり、それに合わせて WingEarth 上での表記も修正して欲しいとの意見があがった。

上記に対して、それぞれ表記内容の変更を実施。

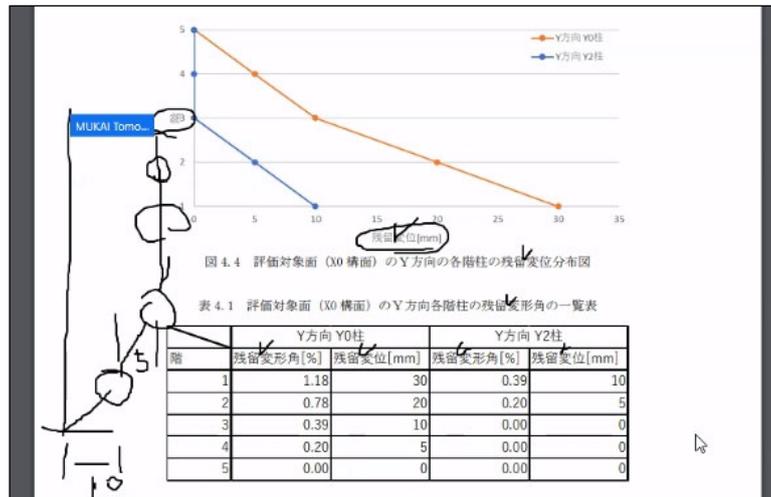


図 27. 層間比較の一覧

## 25. 残留変位分布図

(目的)

評価対象面の各階柱の残留変位分布図を出力して欲しい。

(検討)

「層間比較の詳細」から層と階の情報を出力できるが、ここに評価対象面の各階柱の残留変位分布図を出力して欲しいとの意見があがった。

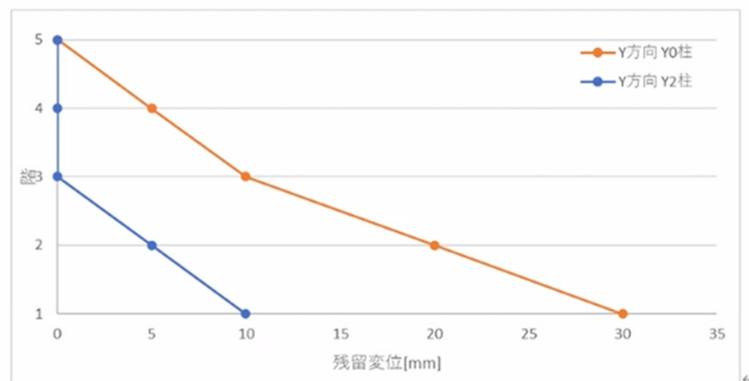


図 4.3-2 評価対象面 (X0 構面) の Y 方向の各階柱の残留変位分布図

図 28. 手引き記載の図 4.3.2

上記に対して、層間比較の一覧表示に上図を表示する機能を実装。

## 26. 残留層間変形角の一覧表

(目的)

評価対象面の各階柱の残留変位角の一覧表を出力して欲しい。

(検討)

「層間比較の詳細」から層と階の情報を出力できるが、ここに評価対象面の各階柱の残留変

位角の一覧表を出力して欲しいとの意見があがった。

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

図 29. 手引き記載の表 4.1

この場合、横方向の列数が幾つになるかは使用者の選択次第となる。上記に対して、層間比較の一覧表示に上図の表を出力する機能を実装。

#### 27. 残留層間変形角の出力

(目的)

残留層間変形角の一覧出力と残留層間変位のグラフの画像出力を追加して欲しい。

(検討)

「残留層間変形角一覧」コマンドにおいて、残留変位分布図(グラフ)及び、残留変位、残留層間変形角の一覧表示の内容を出力して欲しいとの意見があがった。

上記に対して、それぞれを出力する機能を実装。

#### 28. 差分量計算時間の短縮

(目的)

差分量計算に時間がかかるため、計算時間を短縮する。

(検討)

差分量の計算に時間がかかるため、計算時間を短縮できないかとの意見があがった。格子点が多くなると計算時間が増大し、真値推定の計算はできるが、差分量計算ができないパターンも存在した。

表 1：格子幅と計算時間（全棟計測）

	格子間隔（480m×158m）			
	0.1m	0.3m	0.5m	1m
格子数	672 万点	85 万点	29 万点	80,000 点
真値推定	2 時間?	50 分	5 分	3 分
差分量計算	1 時間程度	1 時間程度	20 分	10 分

表 2：格子幅と計算時間（30 号棟 詳細計測）

	格子間隔（27m×23m）			
	0.01m	0.03m	0.05m	0.1m
格子数	620 万点	60 万点	21 万点	55,000 点
真値推定	5 分	2 分	2 分	1 分
差分量計算	不可?	15 分	5 分	3 分

図 30. 手引き記載の表 1, 2

差分量計算ができない場合は GIS による画像解析で差分量計算を行う。上記に対して、差分量計算のアルゴリズムを見直し、計算時間の短縮を実装。

④ 差分出力（浮き、剥落）

29. 損傷評価面の画像出力

（目的）

浮き・剥落を画像出力して欲しい。

（検討）

損傷評価面に紐付けされている浮き・剥落の画像を出力したいという意見があがった。

上記に対して、損傷評価面の選択から紐付けられている浮き・剥落の画像を出力できる機能を実装した。

30. 差分解析の画像

（目的）

点群の表示状態の各表示を画像で出力したい。

（検討）

差分解析の差分量計算において、点群の表示状態の各表示を画像で出力して欲しいとの意見があがった。

上記に対して、「真値推定一覧」に「画像書き込みボタン」を追加し、断面の登録後に画像を出力する機能を実装。

### 31. 表示切り替えボタン

(目的)

真値推定のみ表示、差分量計算のみ表示するボタンが欲しい。

(検討)

真値推定と差分量計算の表示設定において、現状は同時に表示することが可能となっているが、間違いやすいためどちらかが ON の時はもう片方は OFF になるよう表示を切り替える形式にして欲しとの意見があがった。

上記に対して、真値推定のみ、差分量計算のみを表示する機能を実装。

## 2.3 必要機能のプログラムへの実装結果

2.2 節で示した対象機能に関して、開発・検証を行い、WingEarth に機能実装を行ったものを以下に示す。

### 2.3.1 計測点群の真値推定する機能(令和 4 年度)

#### ① 残留変位評価点等の損傷評価用真値推定点生成

##### 1. 点群評価対象

今年度、計算条件を満たさないデータを除外するよう機能を実装、ならびに検証を実施。  
用途に応じた点群評価対象を設定する事を実現。

##### 2. 比較面評価密度

今年度、1cm 平方グリッドでの比較ができる機能を実装、ならびに検証を実施。  
信頼性評価に使用可能なグリッド単位での評価を実施する事を実現。

##### 3. 断面確認

次年度、真値推定の座標点を確認できる機能を開発、ならびに検証を実施。

##### 4. 残留変位評価点の決定手法

今年度、ヒートマップ表現を用いて点群上で点数、点密度を可視化できる機能を実装ならびに検証を実施。残留変位評価点を視覚的に設定する事を実現。

##### 5. 浮き剝落の体積

今年度、一覧上で表示機能体積を計算して表示する機能を実装、ならびに検証を実施。また、今年度ビュー上での表示を実装、次年度に検証を実施。

##### 6. 真値推定処理時間

今年度、マルチスレッド化による高速化処理機能を実装、ならびに検証を実施。  
次年度も継続的に手法を含めて対策案の検討、改修を実施する。

7. 真値推定結果の表現

今年度、ヒートマップ表現を立体/平面を切り替える機能を実装、ならびに検証を実施。真値推定結果を視覚的に分かりやすく表現する事を実現。

8. 残留評価点の数値表示

次年度、構成点や計算に使用した情報を出力する機能を実施する。

② 残留変位評価点等の損傷評価用真値推定領域の決定

9. 真値推定の領域指定方法

プロットを配置してプロット編集機能を用いる事で任意座標値に設定可能。また今年度、領域の範囲を手入力で設定できる機能を実装、ならびに検証を実施。

真値推定の領域指定を効率的に設定する事を実現。

10. 点群評価対象

今年度、真値推定実施結果を元に再度領域を設定する機能を実装、ならびに検証を実施。点群評価対象を的確に設定する事を実現。

2.3.2 計測点群の欠損を補完する機能(令和4年度)

① 欠損点群の補完

11. データ補完

今年度、周囲の点群から補完する機能を実装、ならびに検証を実施。

次年度、最適なパラメータの設定検証を実施する。

2.3.3 データの信頼性について確認する機能(令和4年度)

① 真値推定情報の出力

12. PDFレポート

EXCEL等、表計算ソフト上に存在するPDF変換で対応する。

13. 出力内容

今年度、当初予定していた項目に加えて、最大値、最小値の実際の値での出力とする機能、ならびに推定面の距離の機能追加を実装。次年度、上記に関する検証を実施する。

2.3.4 被災前と被災後の差分解析を実施できる機能(令和4年度)

① 差分量算出(浮き、剥落の算出)

14. 浮きや剥落を確認する機能

今年度、浮きや剥落の状況が分かるようヒートマップ表現を用いて表示して情報をファイル出力する機能を実装、ならびに検証を実施。

15. 欠損が分かる機能  
今年度、ヒートマップ表現を用いて欠損が分かる機能を実装、ならびに検証を実施。欠損箇所を視覚的に確認できる事を実現。
  16. 差分解析一覧表の修正  
今年度、コメントを編集する機能を実装し、真値推定のコメントを変更することで差分解析のコメントも変更されるように機能を改修、ならびに検証を実施。  
差分解析のコメントを編集する事を実現。
- ② 浮き、剥落の範囲指定
17. 損傷評価対象範囲の抽出  
今年度、浮き、剥落の対象範囲を設定する機能を実装。  
次年度、上記に関する検証を実施する。
  18. 浮き剥落判定の自動実施  
次年度、ユーザが選択した範囲から浮き剥落の判定を自動的に実施する機能に対して手法から検討を実施する。
  19. 差分解析一覧等での表示/非表示一括設定  
今年度、右クリックのポップアップメニューで表示/非表示画面で一括設定できる機能を実装、ならびに検証を実施。  
表示/非表示の一括設定する事を実現。
- ③ 差分算出(残留層間変形角)
20. データ区別  
今年度、場所と属性を入力する機能を実装。  
次年度、上記に関する検証を実施する。
  21. 残留層間変形角の計算手法  
今年度、残留層間の対象となる建物に対して、階の属性設定ができる機能を実装。  
次年度、上記に関する検証を実施する。
- ④ 差分出力(浮き、剥落)
22. 浮きと剥落のレポート出力  
今年度、出力対象を「浮き」「剥落」と選択できる機能を実装。  
次年度、上記に関する検証を実施する。

### 2.3.5 計測点群の真値推定する機能(令和5年度)

#### ① 残留変位評価点等の損傷評価用真値推定点生成

##### 1. 断面確認

今年度、真値推定の座標点を確認できる機能を実装。次年度に検証を実施。

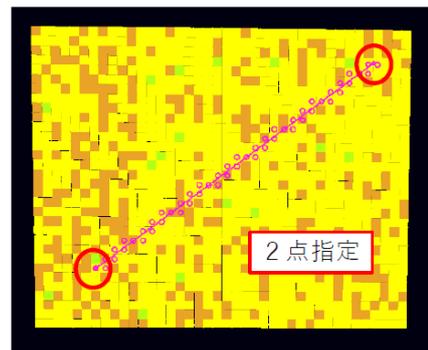
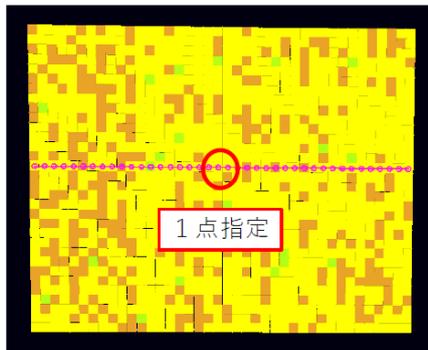


図 31. 断面確認機能

## 2. 点群の備考入力

今年度、真値推定の登録時に計算の対象とする点群グループまたはフォルダを選択できる機能及び、真値推定の一覧表示に表示する機能を実装。

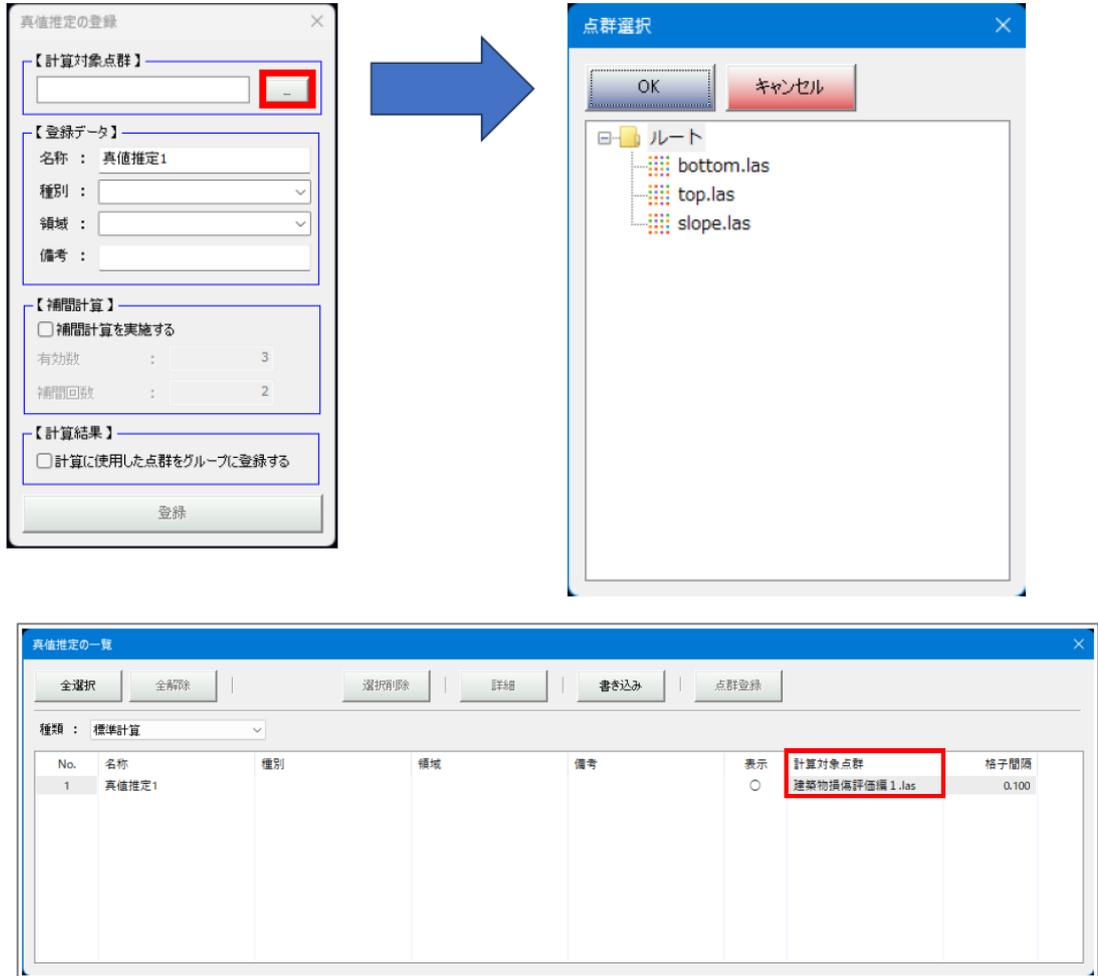


図 32. 点群の備考入力

3. 真値推定の基準軸にZ軸を追加

今年度、真値推定の「軸固定」の基準軸に標高軸の設定を実装、ならびに検証を実施。

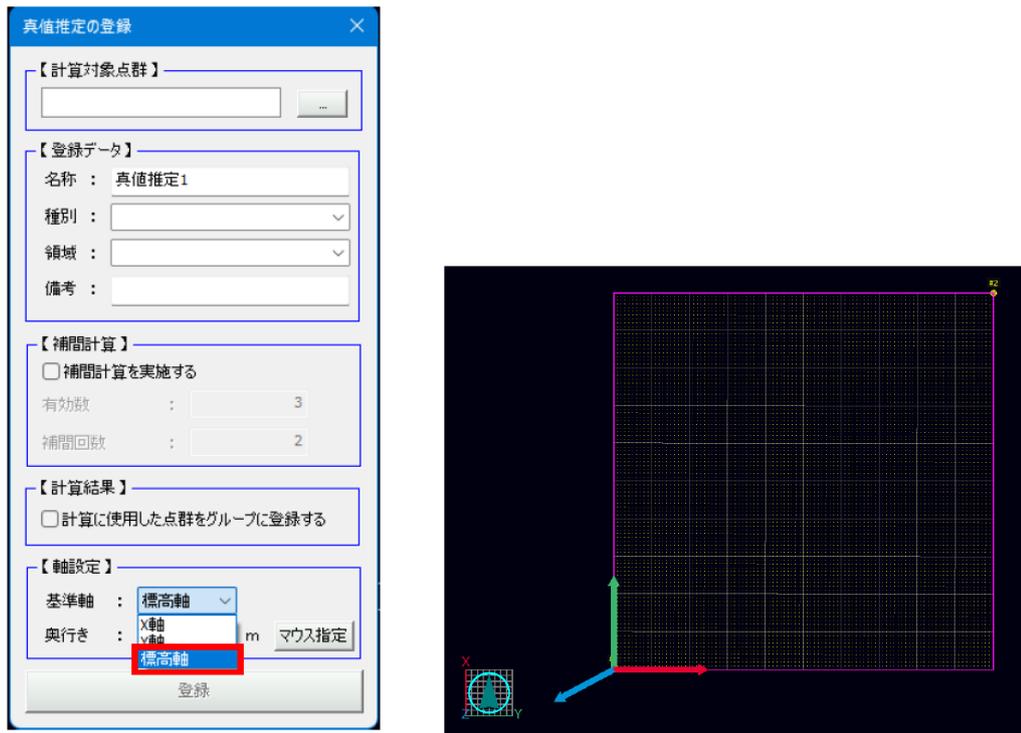


図 33. 真値推定の基準軸にZ軸を追加

4. 点密度分布の値による表示

次年度、点密度分布の値による表示の切り替え機能を実装、ならびに検証を実施。

② 残留変位評価点等の損傷評価用真値推定領域の決定

5. 真値推定の一括作成

今年度、真値推定の範囲を複数回指定し、登録を一括で行う機能を実装、ならびに検証を実施。

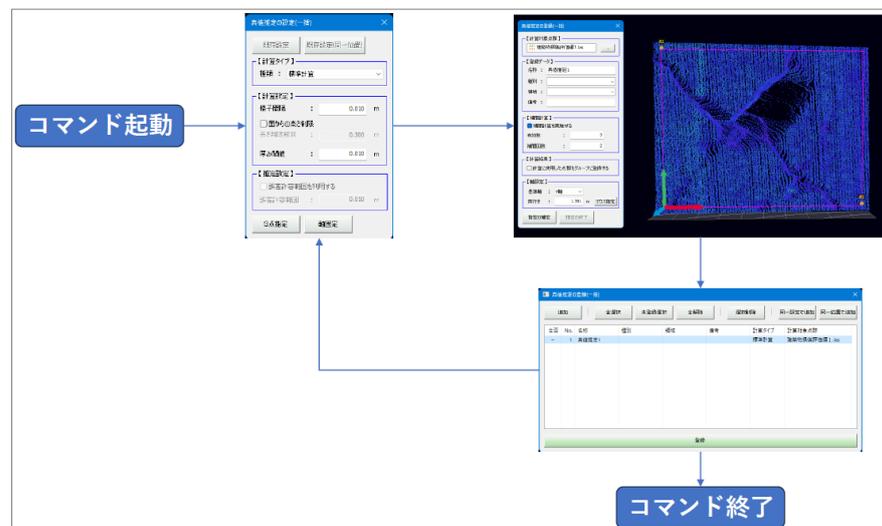


図 34. 真値推定の一括作成

### 2.3.6 計測点群の欠損を補間する機能(令和 5 年度)

#### ① 欠損点群の補間

##### 6. データ補間

今年度、周囲の点群から補間する機能について最適なパラメータの設定検証を実施。

次年度も引き続きパラメータ設定の検証を実施するとともに、真値推定の不合格の点を計算で使用しないように、また点密度の段階によって真値推定の計算フローを制御する機能を実装ならびに、検証を実施。

### 2.3.7 データの信頼性について確認する機能(令和 5 年度)

#### ① 差分量算出(浮き、剥落の算出)

##### 7. 差分量算出時の警告メッセージの表示

今年度、データの補間を行った真値推定を用いて差分量の計算結果を登録する際に警告メッセージを表示する機能を実装。

次年度、上記に関する検証を実施。

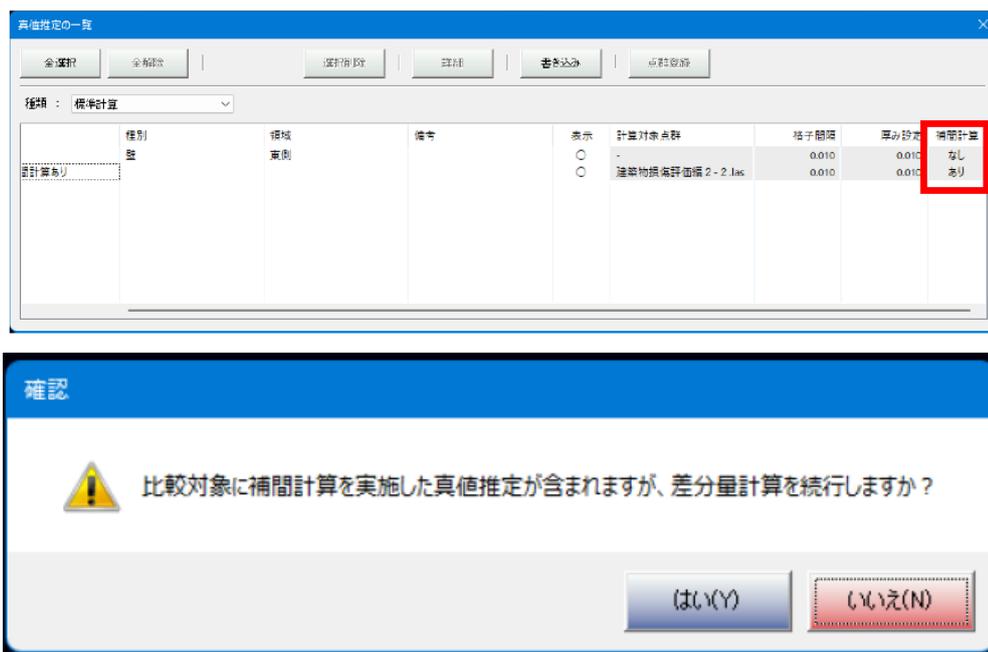


図 35. 差分量算出時の警告メッセージの表示

#### 8. 真値推定の画像

次年度、点群の表示状態の各表示を画像で出力する機能を実装、ならびに検証を実施。

#### 9. 断面作成機能

次年度、複数断面を自動抽出できる機能ならびに、区画結線の SIMA ファイルから断面を作成する機能を実装、ならびに検証を実施。

10. 断面表示の比率調整

次年度、断面を表示する際の縦横の軸の最大値・最小値を変更できる機能を実装、ならびに検証を実施。

11. 2点指定時の断面表示

次年度、比例計算で標高を算出する機能を実装、ならびに検証を実施。

12. 断面表示の CSV 出力

次年度、断面の情報を CSV ファイルに出力する機能を実装、ならびに検証を実施。

13. 真値推定の一括出力

次年度、真値推定・差分計算の計算結果の詳細を複数出力する機能を実装、ならびに検証を実施。

14. 投影機能の回転ロック

次年度、回転ロックの角度を入力できる機能を実装、ならびに検証を実施。

15. 陰影機能の表示

今年度、画面上を右クリックして表示されるメニューから陰影表示の ON/OFF を切替できる機能を実装、ならびに検証を実施。



図 36. 陰影機能の表示

16. 文字サイズの変更

次年度、プロット文字と注釈文字の表示サイズをそれぞれ変更できる機能を実装、ならびに検証を実施。

2.3.8 被災前と被災後の差分解析を実施できる機能(令和 5 年度)

① 差分算出(浮き、剥落の算出)

17. 浮き、剥落の分類設定

次年度、浮き・剥落を構面ごとに分類し、それぞれの浮き・剥落の合計値を表として出力する機能を実装、ならびに検証を実施。

② 浮き、剥落の範囲指定

18. 浮き剥落判定の自動実施

今年度、ユーザが選択した範囲から浮き剥落の判定を自動的に実施する機能を実装、ならびに検証を実施。

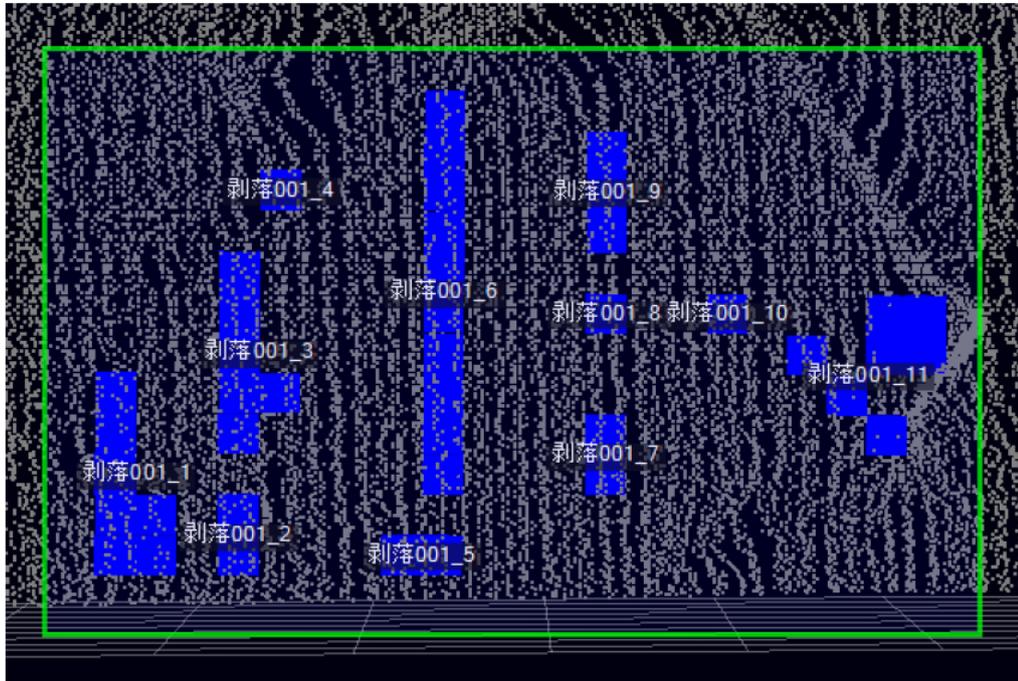


図 37. 浮き・剥落の自動実施

③ 差分算出(残留層間変形角)

19. データ区別

今年度、「層間比較の詳細」の一覧表示を階の一覧と層の一覧の表示に分割して表示する機能を実装、ならびに検証を実施。

No.	名称	備考	階数
1	B002	確認	3

比較する層間の一覧  
(基準軸による内容の違いなし)

階	基準：名称	基準：X座標(m)	基準：Y座標(m)	基準：標高(m)	比較：名称	比較：X座標(m)	比較：Y座標(m)	比較：標高(m)	X座標：差分(mm)	Y座標：差分(mm)	標高：差分(mm)
3	B001_3階	6.403	1.148	5.550	B002_3階	6.427	1.150	5.550	24	2	0
2	B001_2階	6.403	1.151	3.099	B002_2階	6.404	1.149	3.099	21	-2	0
1	B001_1階	6.398	1.146	0.700	B002_1階	6.415	1.147	0.700	17	1	0

階の情報の一覧  
(基準軸による項目の違いなし)

階	基準：X座標の差分(mm)	比較：X座標の差分(mm)	残留変形(mm)	基準：標高の差分(mm)	X座標計算：残留層間変形角(%)
2	0	3	3	2451	0.12
1	5	0	4	2399	0.17

層の情報の一覧  
(基準軸による項目の違いあり)

図 38. データ区別

20. 残留層間変形角の計算手法

今年度、残留層間の対象となる建物に対して、階の属性設定ができる機能を実装、ならびに検証を実施。

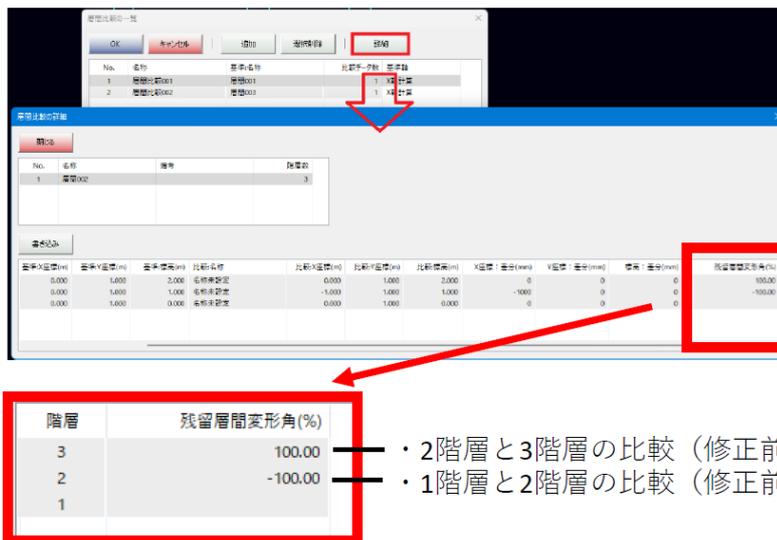


図 39. 残留層間変形角の計算手法

21. 残留変位分布図

次年度、層間比較の一覧表示に評価対象面の各階柱の残留変位分布図を出力する機能を実装、ならびに検証を実施。

22. 残留層間変形角の一覧表

次年度、層間比較の一覧表示に評価対象面の各階柱の残留層間変形角の一覧表を出力する機能を実装、ならびに検証を実施。

23. 差分量計算時間の短縮

次年度、差分量の計算に時間が掛かっているものにつて短縮できるよう検討・実装、ならびに検証を実施。

④ 差分出力(浮き、剥落)

24. 浮きと剥落のレポート出力

今年度、出力対象を「浮き」「剥落」と選択できる機能を実装、ならびに検証を実施。

浮き・剥落の一覧

全選択 全解除 | 選択削除 | 書き込み

種類： 浮き・剥落

No.	表示	種類	名称	浮き:総面積(mm)	浮き:総体積
1	<input type="radio"/>	浮き	浮き001	82800.0	4280
	<input type="radio"/>	剥落	剥落002		

浮き・剥落の一覧

全選択 全解除 | 選択削除

種類： 浮き・剥落

No.	表示	種類	名称
1	<input type="radio"/>	浮き	浮き001
2	<input type="radio"/>	剥落	剥落002

↓

浮き・剥落の一覧

全選択 全解除 | 選択削除

種類： 浮き

No.	表示	種類	名称
1	<input type="radio"/>	浮き	浮き001

図 40. 浮きと剥落のレポート出力

25. 差分解析の画像

次年度、点群の表示状態の各表示を画像で出力する機能を実装、ならびに検証を実施。

26. 表示切り替えボタン

次年度、真値推定のみ、差分量計算のみを表示する機能を実装、ならびに検証を実施。

2.3.9 計測点群の真値推定する機能(令和6年度)

① 残留変位評価点等の損傷評価用真値推定点生成

1. 真値推定の画像

今年度、点群の表示状態の各表示を画像で出力する機能を実装、ならびに検証を実施。

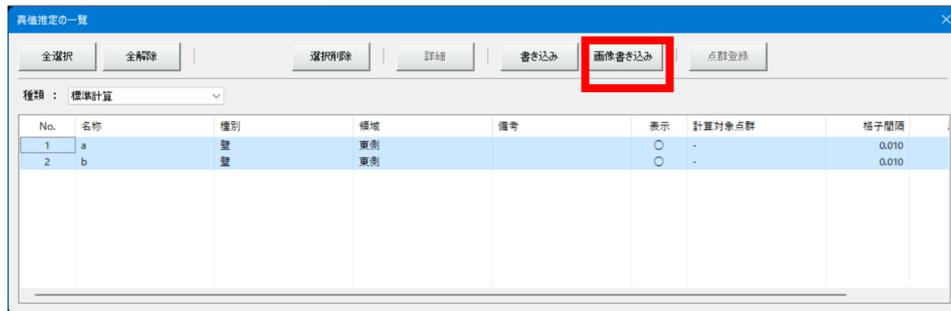


図 41. 真値推定の画像出力

## 2. 真値推定の一括出力

今年度、真値推定の一覧画面に「詳細書き込み」ボタンを追加し、一覧画面で選択している真値推定の詳細情報をまとめて書き込むことができる機能を実装、ならびに検証を実施。



図 42. 真値推定の一括出力

## 3. 真値推定登録時の点密度による制限

今年度、真値推定の登録コマンドに「必要点数」の項目を追加し、その必要点数に満たない格子を登録しないようにする機能を実装、ならびに検証を実施。

手引きの表 2-2 から表 2-4 を参考に、標準偏差を入力して必要点数を算出する機能を実装。

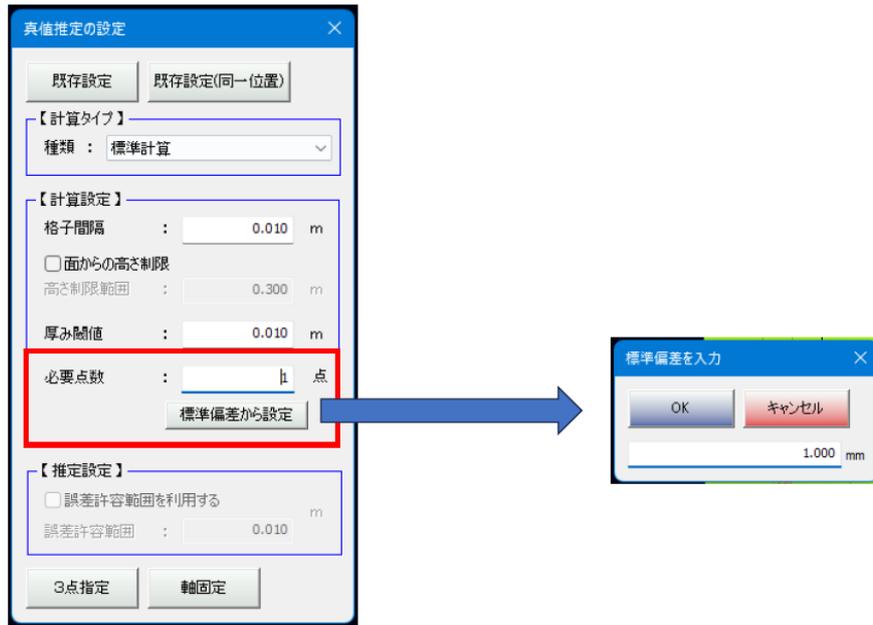


表 2.2 評価対象が残留変形の場合

計測機器	標準偏差 $\sigma$ (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

図 43. 真値推定の点密度による制限

#### 4. 真値推定の統計情報の確認方法

今年度、真値推定の一覧に「選択中の真値推定の詳細をマウス位置に表示する」設定を追加し、マウス位置の格子の詳細が表示されるように機能を実装、ならびに検証を実施。

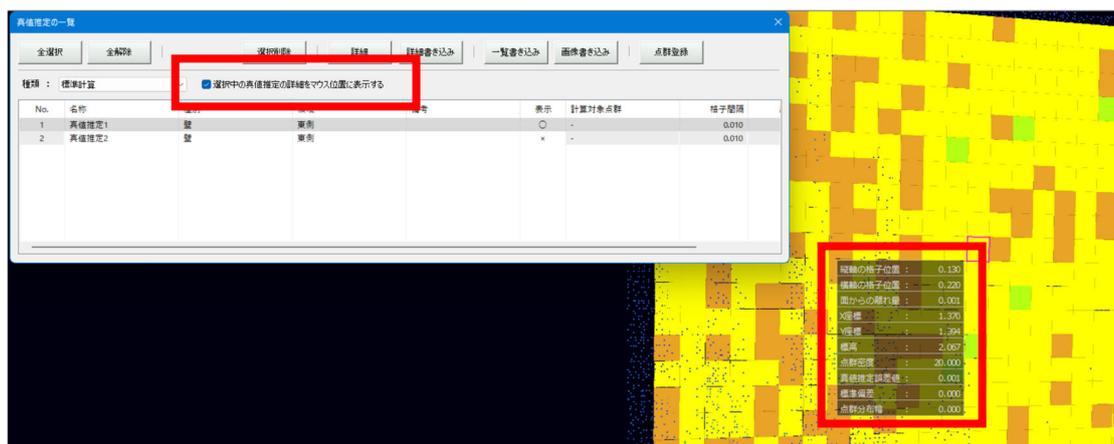


図 44. 真値推定の統計情報の確認

5. 点密度による制限の表記の変更

今年度、「標準偏差」の記載を「機器の標準偏差」の記載に変更。

6. 格子間隔のプリセットの設定

今年度、真値推定の「格子間隔」の設定において、評価対象のプリセットから選択または任意の設定を行える機能を実装、ならびに検証を実施。

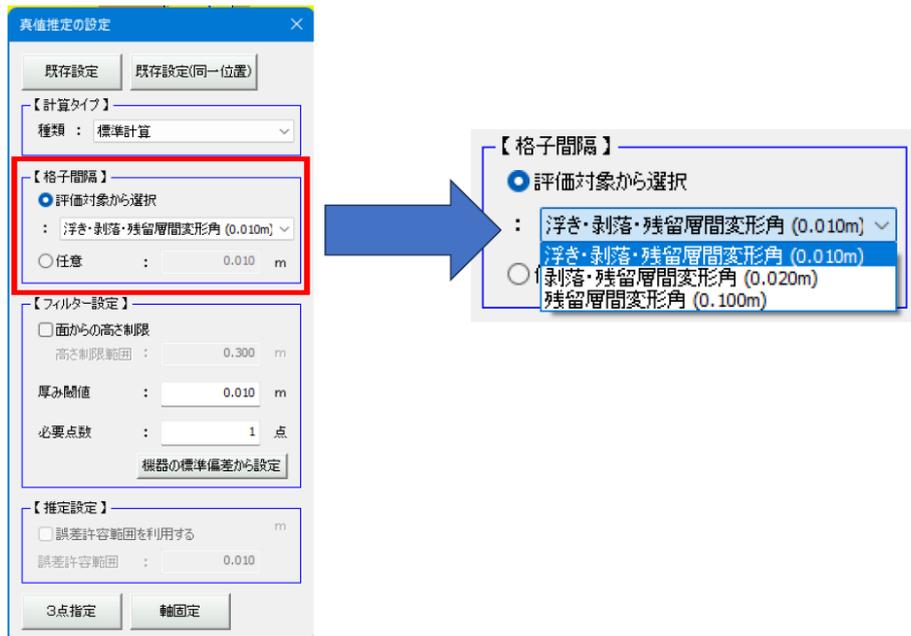


図 45. 格子間隔のプリセットの設定

7. 真値推定の設定画面の改良

今年度、真値推定の登録において、一括処理の設定画面にすべての設定項目を搭載するよう画面を変更。



図 46. 真値推定の設定画面

## 8. 真値推定の断面の現場保存

今年度、真値推定の「真値推定断面」コマンドに「登録」ボタンを追加し、断面データを現場へ保存する機能を実装、ならびに検証を実施。

合わせて、WingEarth 標準機能の「断面」と区別を付けるため、建築物損傷評価の「断面」名称を「真値推定断面」へ表記を変更。

## 9. 座標変換

今年度、「点群移動」コマンドを追加し、原点と軸を指定して点群を移動・回転する機能を実装、ならびに検証を実施。

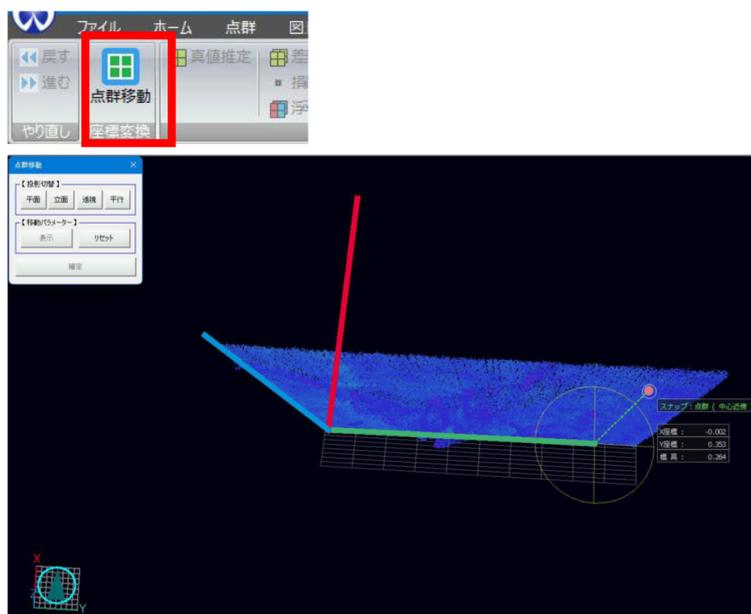


図 47. 座標変換

## 10. 点群移動

今年度、点群移動のコマンドに点群の移動後の基準点の座標値を数値指定できる機能を実装、ならびに検証を実施。

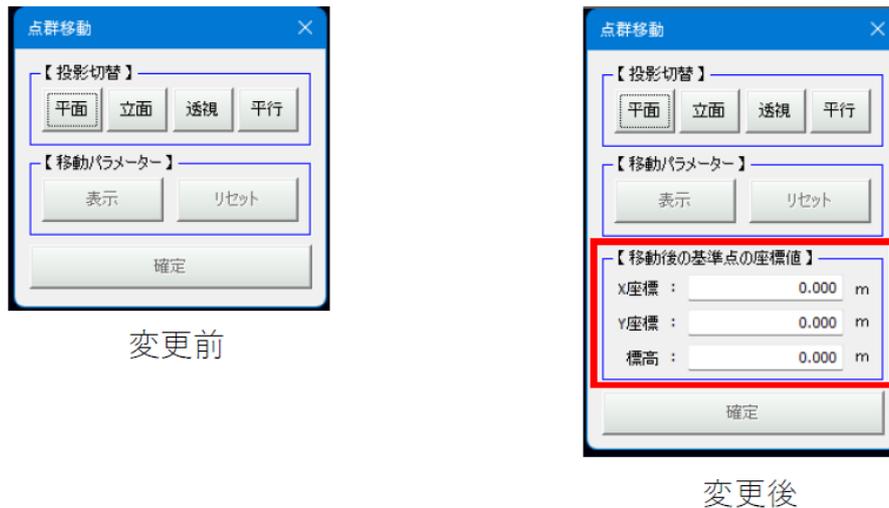


図 48. 点群移動

### 2.3.10 データの信頼性について確認する機能(令和6年度)

#### ① 差分算出(浮き、剥落の算出)

##### 11. 真値推定・差分量計算の画像出力

今年度、真値推定・差分量計算の画像出力機能において、目盛を表示する機能を実装、ならびに検証を実施。

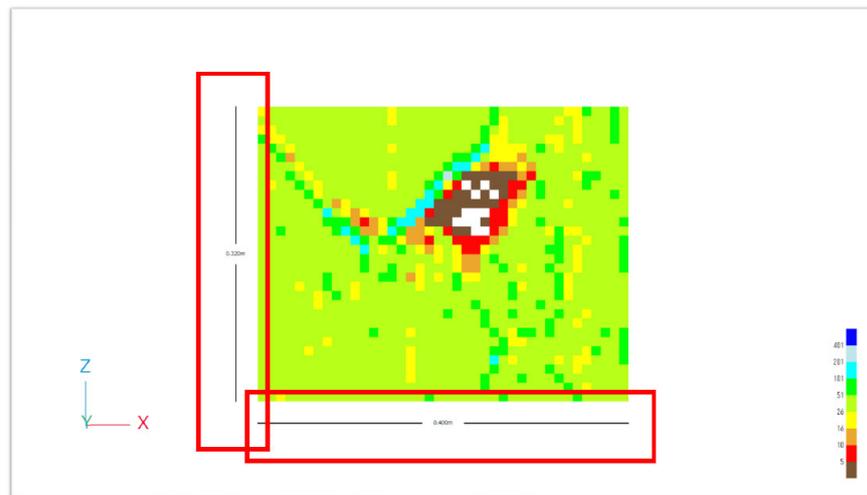


図 49. 真値推定・差分量計算の画像出力

##### 12. 真値推定・差分量計算の画像出力の修正

今年度、真値推定・差分量計算の画像出力機能において、格子の数が多く場合は画像のサイズを調整する機能を実装し、合わせて出力形式を JPG 画像から BMP 画像へ変更し、格子の数が多く場合でも出力した画像が崩れないよう修正を実装、ならびに検証を実施。

元々は 1920×1080 で固定サイズとしていたが、例えば格子間隔:0.010m、10m×10m の真値推定の画像を出力した場合、画像のサイズは 2800×2400 となる。

### 13. 真値推定・差分計算の画像出力の修正

今年度、真値推定・差分計算の画像出力において、「格子当たりの画素数」と「圧縮率」の設定を追加し、出力する画像のサイズを調整する機能を実装、ならびに検証を実施。

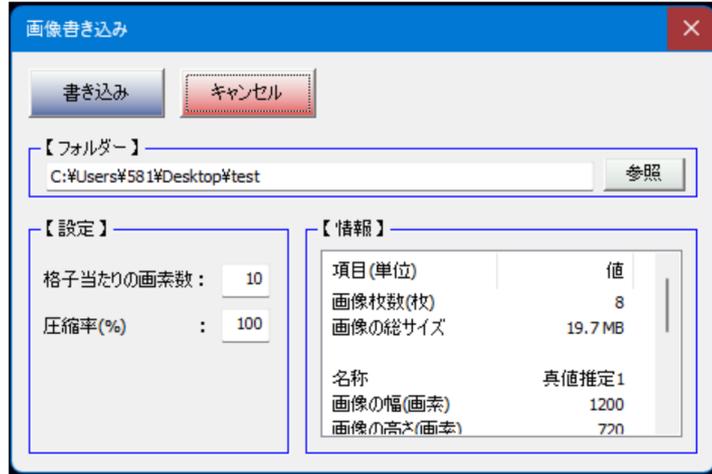


図 50. 画像出力の設定画面

### 14. 差分計算の真値推定の位置による判定

今年度、差分計算時に真値推定の1時期目と2時期目の範囲を確認し、以下のいずれかの場合にエラーメッセージを表示し、差分計算を行わない機能を実装、ならびに検証を実施。

- ・1時期目と2時期目の真値推定の基準点(4点)の位置が異なる場合
- ・1時期目と2時期目の真値推定の格子間隔が異なる場合

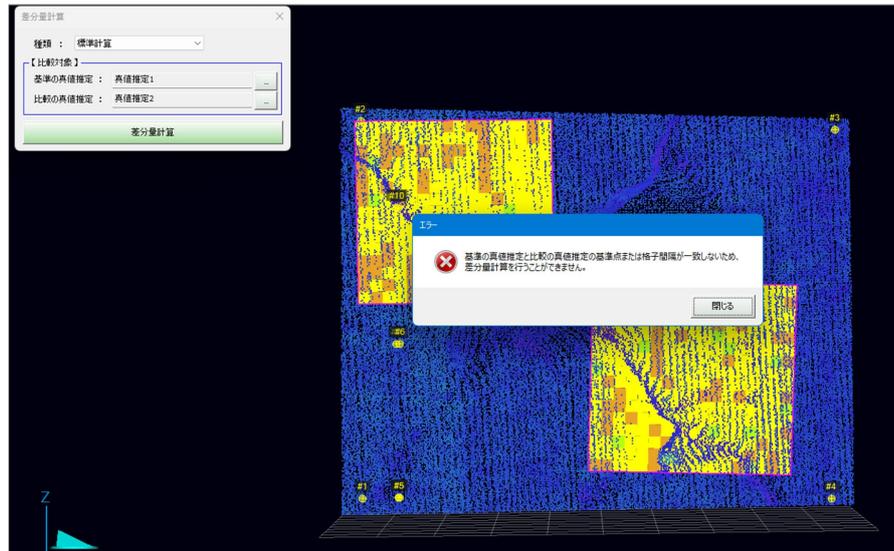


図 51. 真値推定の位置による判定

15. 損傷評価面一覧の浮き・剥落の表の出力

今年度、損傷評価面一覧に「詳細書き込み」ボタンを追加し、選択中の損傷評価面の詳細の一覧を CSV 形式で出力機能を実装、ならびに検証を実施。

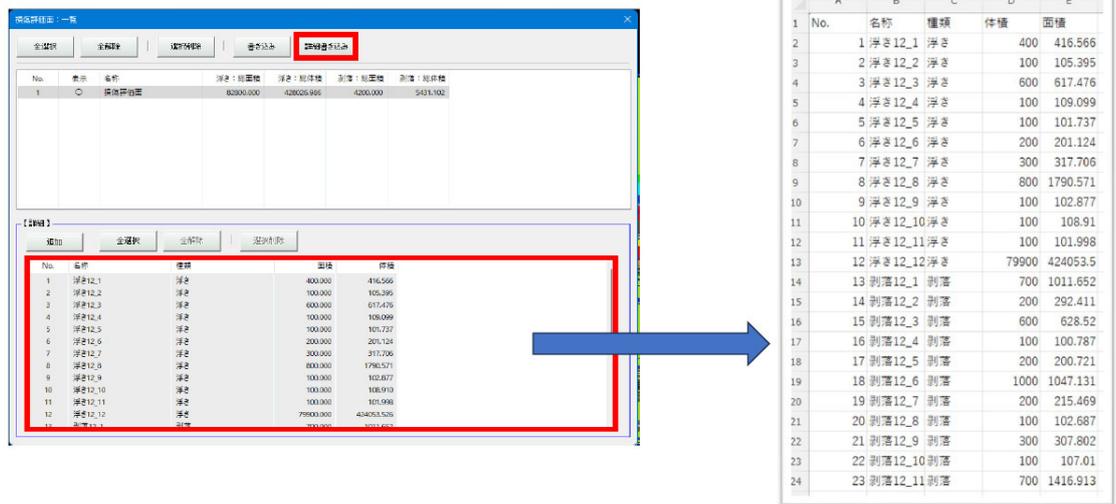


図 52. 損傷評価面一覧の浮き・剥落の出力

16. 差分計算の範囲指定

今年度、差分計算のコマンドに「範囲指定」の項目を追加し、指定した範囲内のみで差分計算を行う機能を実装、ならびに検証を実施。

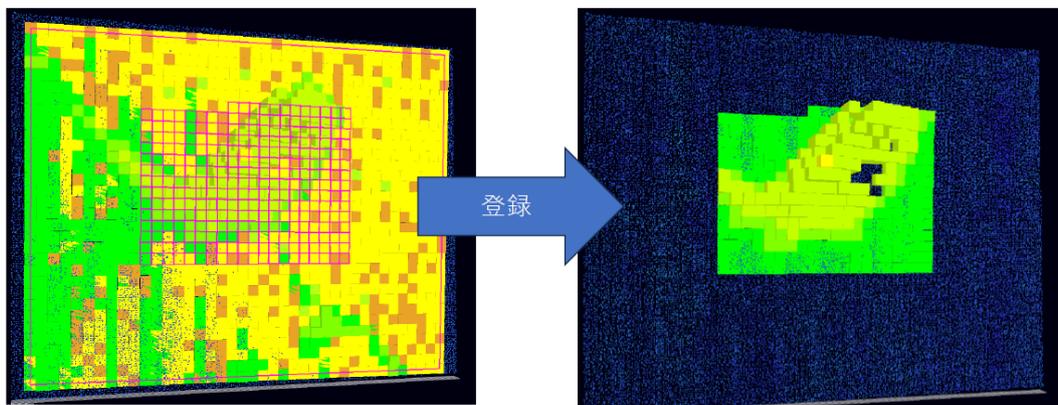
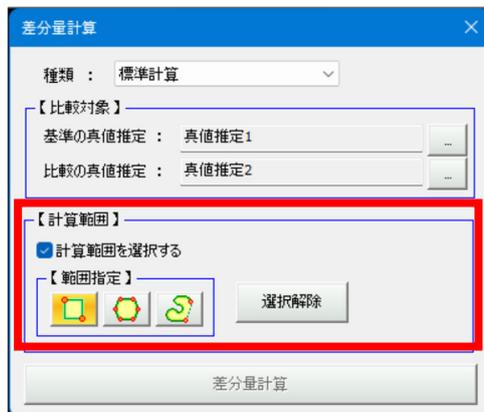


図 53. 差分算出の範囲指定

## 17. 基準位置の指定の簡素化

今年度、差分析(残留層間変形角)のコマンドに「基準位置・層間同時登録」コマンドを追加し、残留変位評価点の基準位置及び層間を同時に登録できる機能を実装、ならびに検証を実施。



図 54. 残留変位評価点の基準位置

合わせて「基準位置・層間同時登録」コマンドの「格子をスナップする」にチェックを付けた場合、マウス位置の格子点を基準点に指定することができ、真値推定の点群登録を行う手順を省略できる機能を実装、ならびに検証を実施。

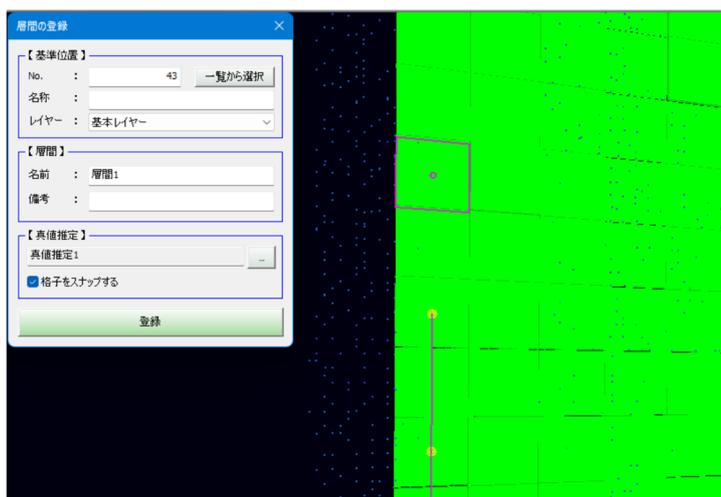


図 55. 基準位置・層間同時登録

## 18. 1 時期・2 時期同時の基準位置登録

今年度、差分析(残留層間変形角)のコマンドに「基準位置・層間・残留層間変形角同時登録」コマンドを追加し、「基準位置登録」→「層間登録」→「層間比較」と 3 つのコマンドで行っていた残留層間変形角の登録を、1 つのコマンドで行うことができる機能を実装、ならびに検証を実施。



図 56. 基準位置・層間・残留層間変形角の同時登録

## 19. 投影機能の回転ロック

今年度、WingEarth の標準機能に「回転」コマンドを実装、ならびに検証を実施。コマンド実行時に方向(角度)を指定する。指定する方向角は数学座標系の場合は Y 軸方向を  $0^\circ$ 、測地座標系の場合は X 軸を  $0^\circ$  として時計回りに指定する。

### 2.3.11 被災前と被災後の差分解析を実施できる機能(令和 6 年度)

#### ① 差分量算出(浮き、剥落の算出)

## 20. 浮き、剥落の分類設定

今年度、「差分解析(浮き・剥落)」に「損傷評価面」「損傷評価面一覧」コマンドを追加し、損傷評価面の登録からその損傷評価面毎に浮き・剥落を分類し、それぞれの浮き・剥落の合計値を表として出力する機能を実装、ならびに検証を実施。



図 57. 浮き・剥落の登録

損傷評価面一覧

No.	表示	名称	浮き・総面積	浮き・総体積	剥落・総面積	剥落・総体積
1	○	損傷評価面	10100.000	236955.788	4200.000	5431.102

【浮き・剥落】

No.	名称	種類	面積	体積
1	剥落1.1	剥落	700.000	1011.652
2	剥落1.2	剥落	200.000	292.411
3	剥落1.3	剥落	600.000	628.520
4	浮き2.1	浮き	10100.000	236955.788
5	剥落1.4	剥落	100.000	100.787
6	剥落1.5	剥落	200.000	200.721
7	剥落1.6	剥落	1000.000	1047.131
8	剥落1.7	剥落	200.000	215.469
9	剥落1.8	剥落	100.000	102.687
10	剥落1.9	剥落	300.000	307.802
11	剥落1.10	剥落	100.000	107.010
12	剥落1.11	剥落	700.000	1416.913

図 58. 損傷評価面毎の浮き・剥落の一覧表示

## 21. 浮き・剥落の自動分割登録時の順番

今年度、「浮き・剥落(自動分割)」で浮き・剥落を登録した際に、浮き→剥落の順で登録されるように機能を実装、ならびに検証を実施。

No.	表示	種類	名称	浮き:総面積(m <sup>2</sup> )	浮き:総体積(m <sup>3</sup> )	剥落:総面積(m <sup>2</sup> )	剥落:総体積(m <sup>3</sup> )
7	<input type="radio"/>	浮き	浮き12_7	300.0	317.7	-	-
8	<input type="radio"/>	浮き	浮き12_8	800.0	1790.6	-	-
9	<input type="radio"/>	浮き	浮き12_9	100.0	102.9	-	-
10	<input type="radio"/>	浮き	浮き12_10	100.0	108.9	-	-
11	<input type="radio"/>	浮き	浮き12_11	100.0	102.0	-	-
12	<input type="radio"/>	浮き	浮き12_12	79900.0	424053.5	-	-
13	<input type="radio"/>	剥落	剥落12_1	-	-	700.0	-
14	<input type="radio"/>	剥落	剥落12_2	-	-	200.0	-
15	<input type="radio"/>	剥落	剥落12_3	-	-	600.0	-
16	<input type="radio"/>	剥落	剥落12_4	-	-	100.0	-

図 59. 浮き・剥落の一覧表示

② 浮き、剥落の範囲指定

22. 浮き剥落判定の自動実施

今年度、「浮き・剥落一覧」コマンドに「準拠判定」ボタンを追加し、浮き・剥落の元になった真値推定が手引きの表 2.2 の基準(点密度)を満たしているかを判定し、判定結果を表示する機能を実装、ならびに検証を実施。

Jo.	表示	種類	名称	縦面積(m <sup>2</sup> )	縦体積(m <sup>3</sup> )	差分算計用 基準の高値推定:名称	差分算計用 比較の高値推定:名称	準拠
1	<input type="radio"/>	剥落	剥落4_1	500.0	801.2	真値推定1	真値推定2	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	剥落	剥落4_2	300.0	397.2	真値推定1	真値推定2	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	剥落	剥落4_3	800.0	811.0	真値推定1	真値推定2	<input type="radio"/>
4	<input type="radio"/>	剥落	剥落4_4	1200.0	1230.4	真値推定1	真値推定2	<input type="radio"/>
5	<input type="radio"/>	剥落	剥落4_5	100.0	103.0	真値推定1	真値推定2	<input type="radio"/>
6	<input type="radio"/>	剥落	剥落4_6	100.0	100.9	真値推定1	真値推定2	<input type="radio"/>
7	<input type="radio"/>	剥落	剥落4_7	300.0	305.6	真値推定1	真値推定2	<input type="radio"/>
8	<input type="radio"/>	剥落	剥落4_8	100.0	102.4	真値推定1	真値推定2	<input type="radio"/>
9	<input type="radio"/>	剥落	剥落4_9	100.0	101.2	真値推定1	真値推定2	<input type="radio"/>

図 60. 浮き・剥落の一覧表示

23. 欠落の登録

今年度、「浮き・剥落(自動分割)」コマンドにおいて、欠落データを登録できる機能を実装、ならびに検証を実施。

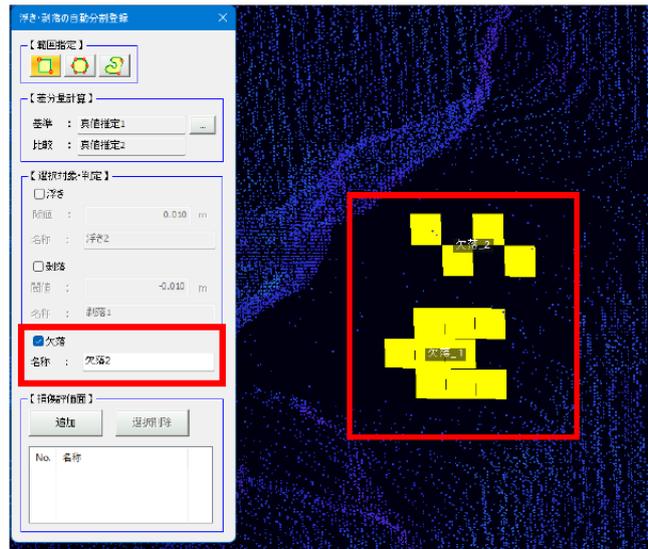


図 61. 欠落データの登録

③ 差分算出(残留層間変形角)

24. 層間比較一覧の表記の変更

今年度、手引きの表 4.1 の表記修正に伴い、「層間比較」コマンドの「残留変位」の表記を「残留層間変位」へ変更。

層	基準：名称	基準：X座標(m)	基準：Y座標(m)	基準：標高(m)	比較：名称	比較：X座標(m)	比較：Y座標(m)	比較：標高(m)	X座標：差分(mm)	Y座標：差分(mm)	標高：差分(mm)
10	名称未設定	1.341	1.394	2.107	名称未設定	1.341	1.395	2.107	0	1	0
9	名称未設定	1.341	1.394	2.087	名称未設定	1.341	1.395	2.087	0	1	0
8	名称未設定	1.340	1.394	2.067	名称未設定	1.340	1.395	2.067	0	1	0
7	名称未設定	1.340	1.394	2.047	名称未設定	1.340	1.399	2.047	0	5	0
6	名称未設定	1.340	1.394	2.027	名称未設定	1.340	1.412	2.027	0	18	0
5	名称未設定	1.340	1.394	2.007	名称未設定	1.340	1.395	2.007	0	1	0

層	基準：Y座標の差分(mm)	比較：Y座標の差分(mm)	残留層間変位(mm)	基準：標高の差分(mm)	Y軸計算：残留層間変形角(%)
9	0	0	0	20	-0.05
8	0	0	0	20	0.02
7	0	-4	-4	20	-19.78
6	0	-13	-13	20	-65.89
5	0	17	17	20	85.44
4	0	0	0	20	-0.22
3	0	-7	-7	20	-8.77

図 62. 層間比較一覧の表記変更

25. 残留変位分布図

今年度、「差分解析(残留層間変形角)」に「残留層間変形角一覧」コマンドを追加し、「層間比較」コマンドで追加した層間比較の残留層間変位の分布図を出力する機能を実装、ならびに検証を実施。

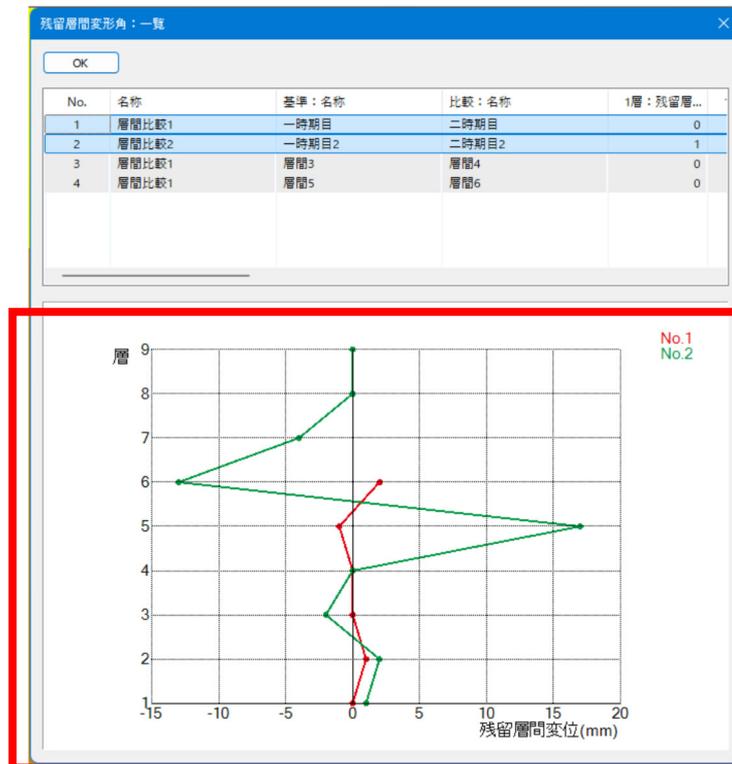


図 63. 残留変位分布図

26. 残留層間変形角の一覧表

今年度、「差分解析(残留層間変形角)」に「残留層間変形角一覧」コマンドを追加し、「層間比較」コマンドで追加した層間比較の一覧表示に残留層間変位、残留層間変形角を表示する機能を実装、ならびに検証を実施。

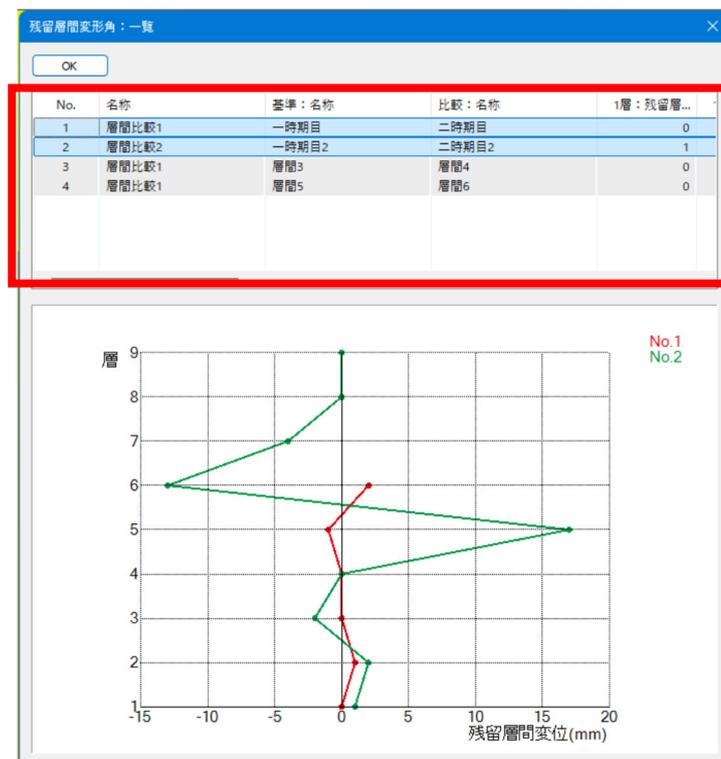


図 64. 残留層間変形角の一覧表

## 27. 残留層間変形角の出力

今年度、「残留層間変形角一覧」コマンドにおいて、「一覧出力」(残留変位と残留層間変形角の一覧を CSV ファイルへ出力する)機能及び、「グラフ画像出力」(残留変位分布図の画像ファイル出力)機能を実装、ならびに検証を実施。

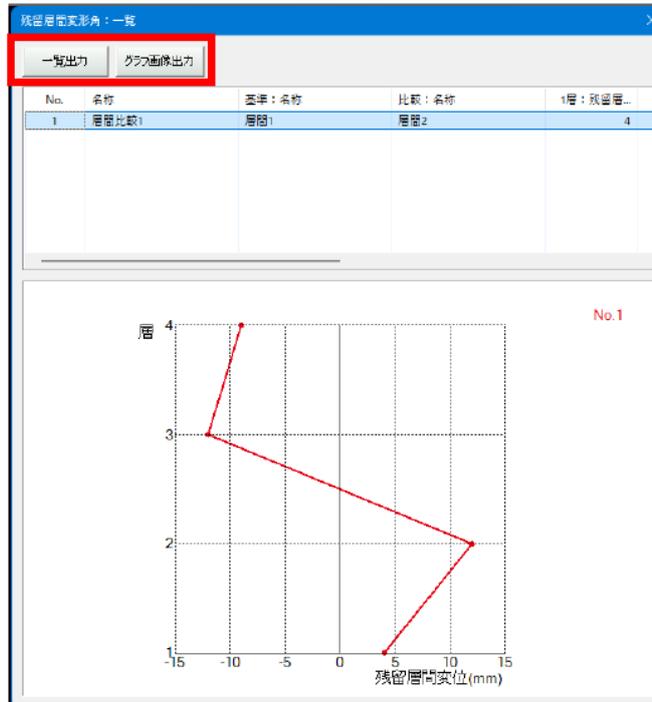


図 65. 残留層間変形角の出力

## 28. 差分量計算時間の短縮

今年度、差分量の計算に時間が掛かっているものについて短縮できるように計算アルゴリズムの調査・検討・改善を実施、ならびに検証を実施。

### ④ 差分出力(浮き、剥落)

## 29. 損傷評価面の画像出力

今年度、「損傷評価面一覧」コマンドに「画像出力」ボタンを追加し、損傷評価面及び、損傷評価面に紐づけられている浮き・剥落・欠落を画像出力する機能を実装、ならびに検証を実施。

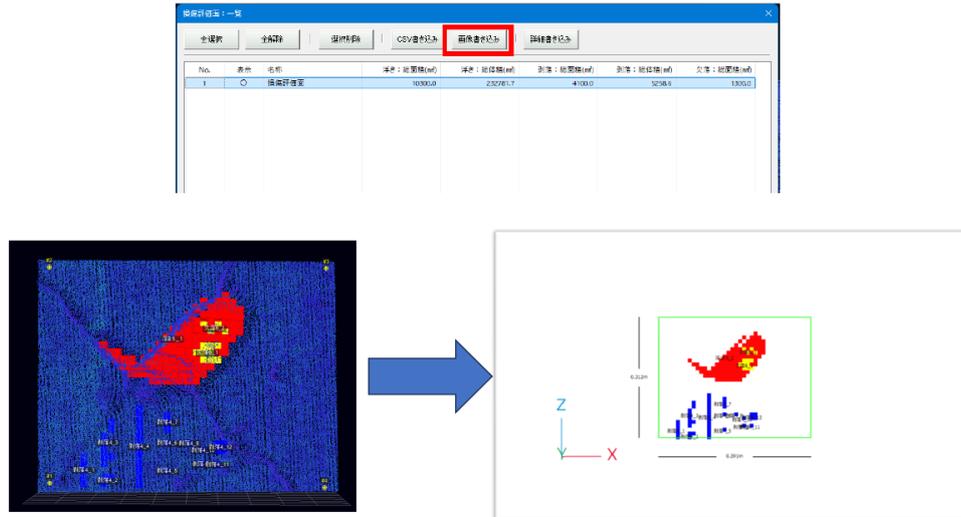


図 66. 損傷評価面の画像出力

### 30. 差分解析の画像

今年度、点群の表示状態の各表示を画像で出力する機能を実装、ならびに検証を実施。

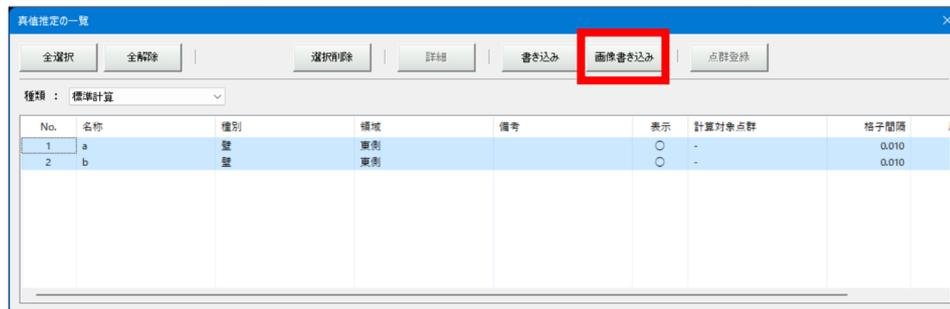


図 67. 差分解析の画像出力

### 31. 表示切り替えボタン

今年度、真値推定のみ、差分計算のみ、浮き・剥落のみを表示する機能を実装、ならびに検証を実施。



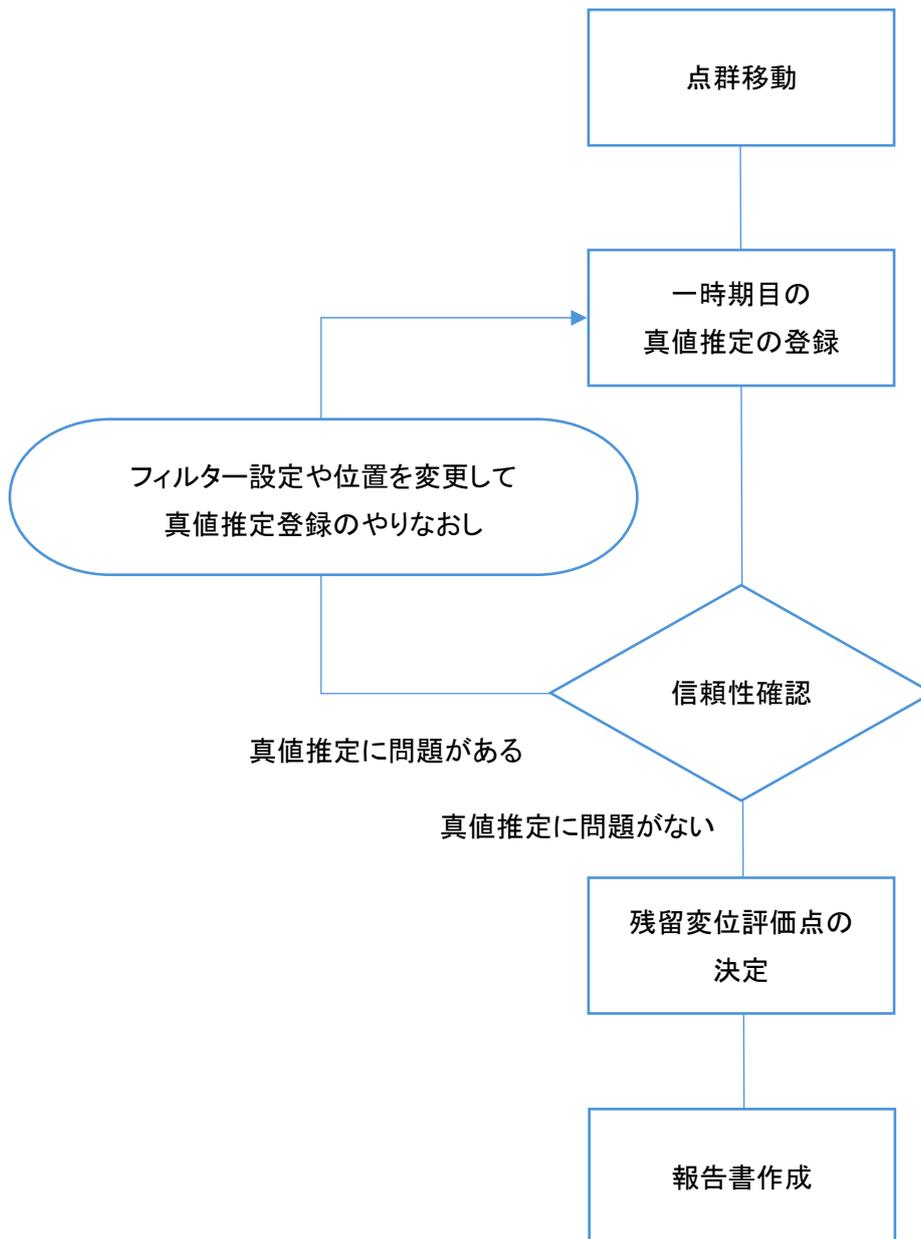
図 68. 表示の切り替え

## 2.4 試験体を利用した損傷評価の検証

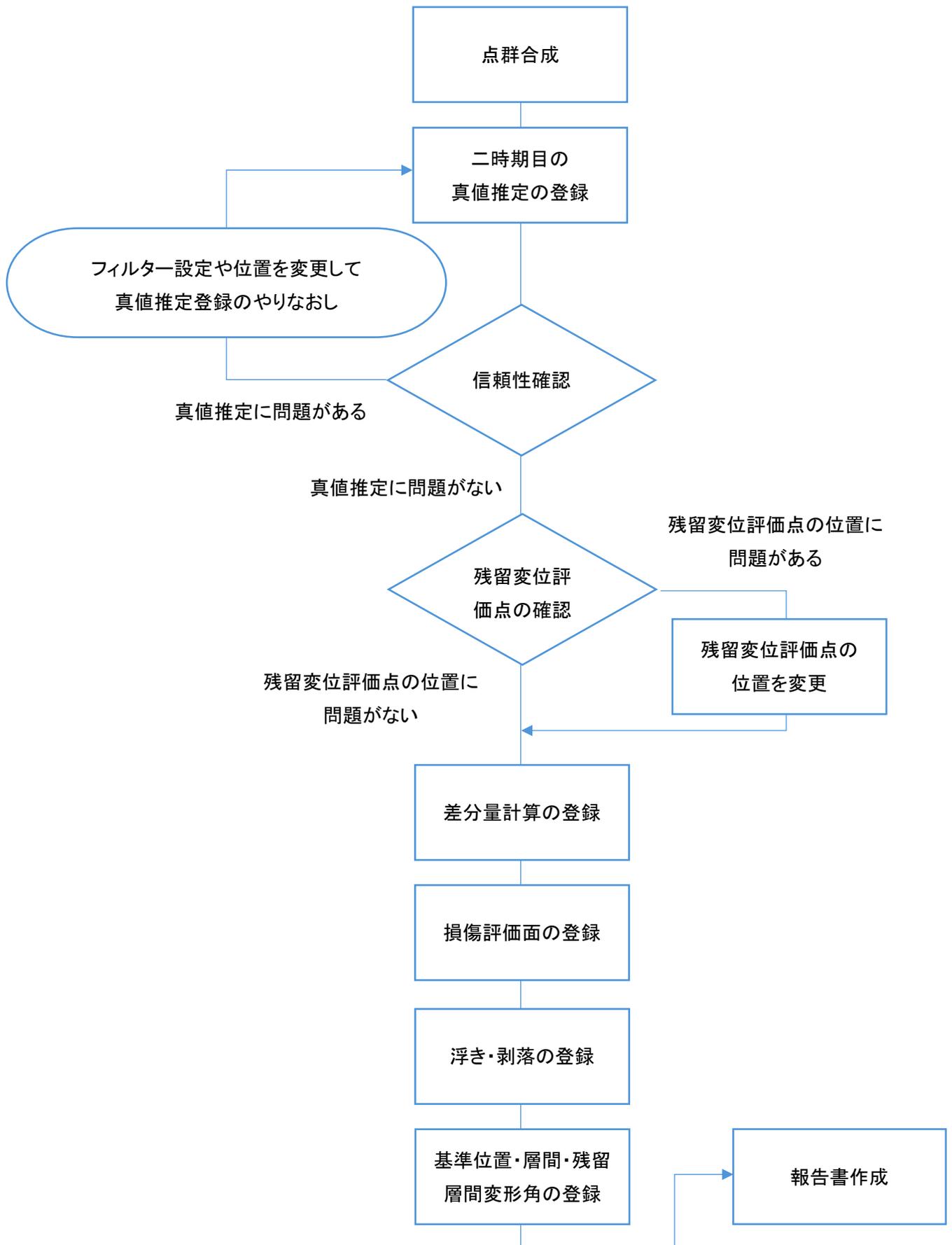
### 2.4.1 架構試験体を利用した損傷評価の検証

#### 2.4.1.1 損傷評価のフロー図

・被災前(一時期目)



・被災後(二時期目)



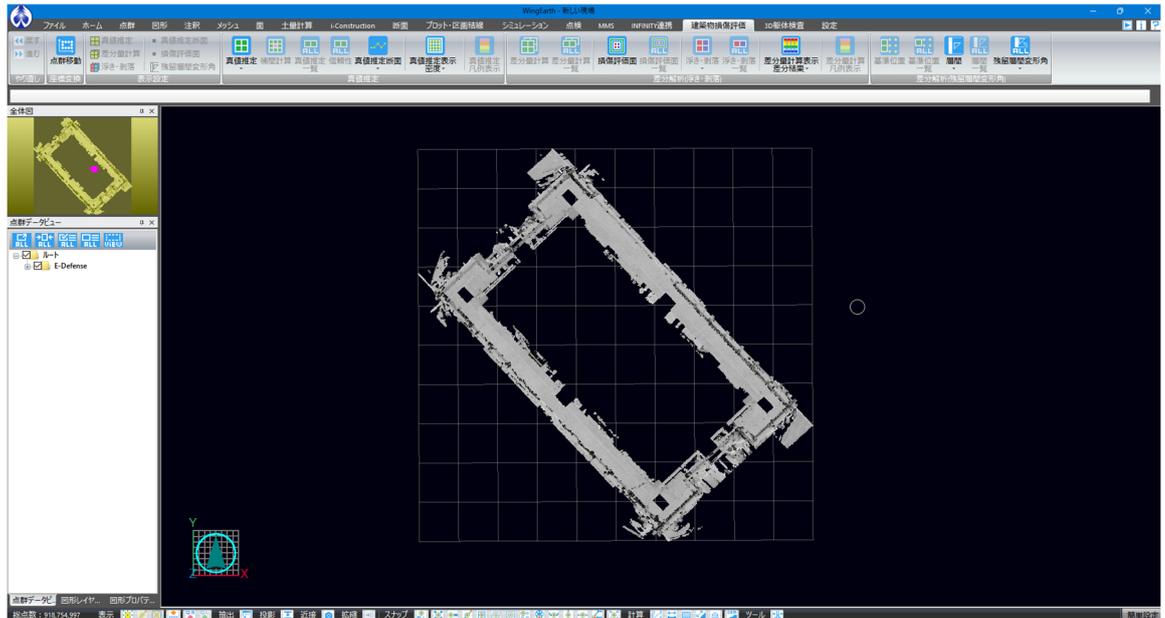
### 2.4.1.2 損傷評価の手順

WingEarth を利用した損傷評価手順例は以下の通り。

#### 被災前の損傷評価手順(一時期目)

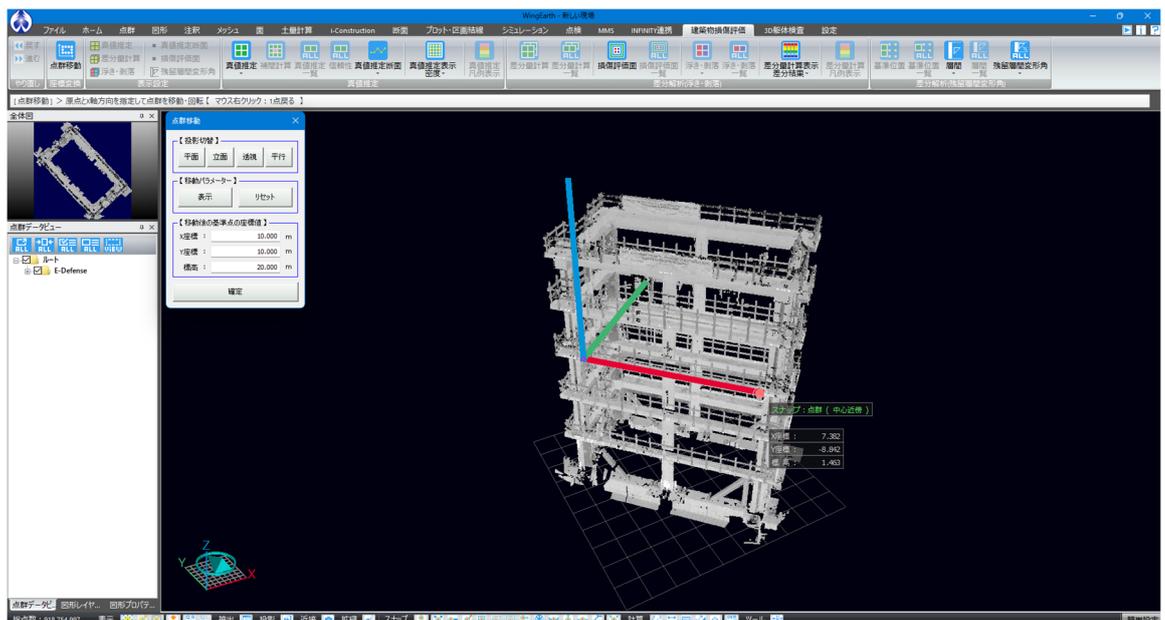
##### 点群移動

点群に対して評価参照点に基づく建屋全体の長辺と短辺の 2 軸を基準とするローカル座標系へ変換する。

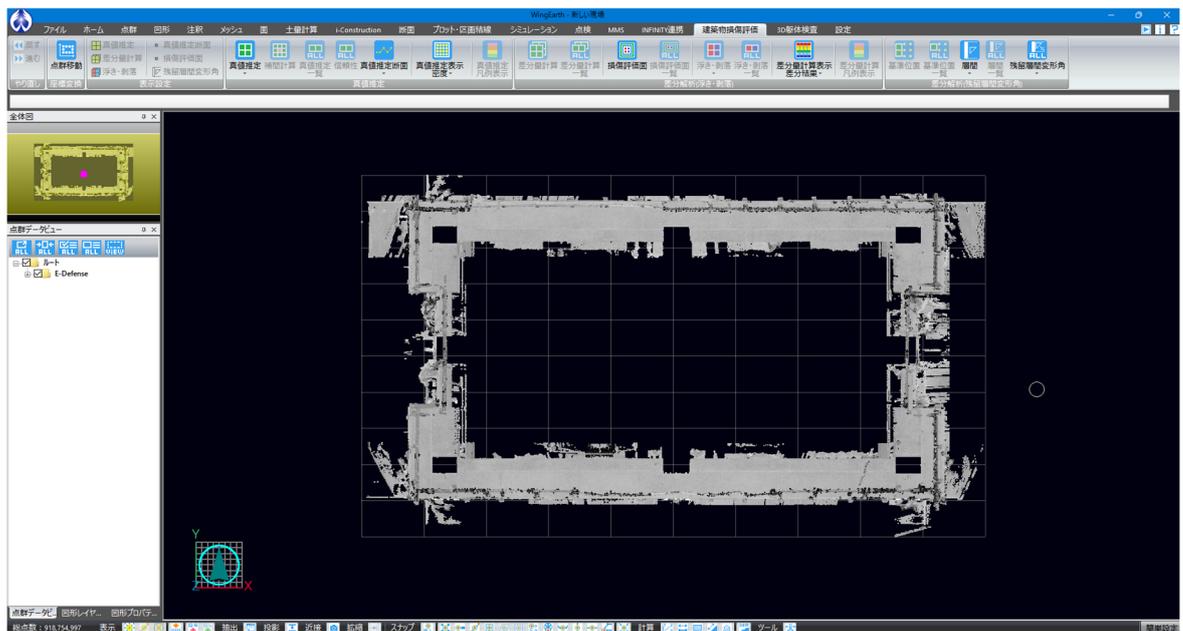


(座標変換前の点群を上から見下ろした画像、現場の座標軸と建物の壁面が平行になっていない)

「点群移動」コマンドにて、建物全体の長辺上の二点を指定して座標変換を行う。座標変換後、指定した 2 点が現場座標系の X 軸方向となる。



座標変換後、長辺が X 軸に平行になるように点群が移動している。

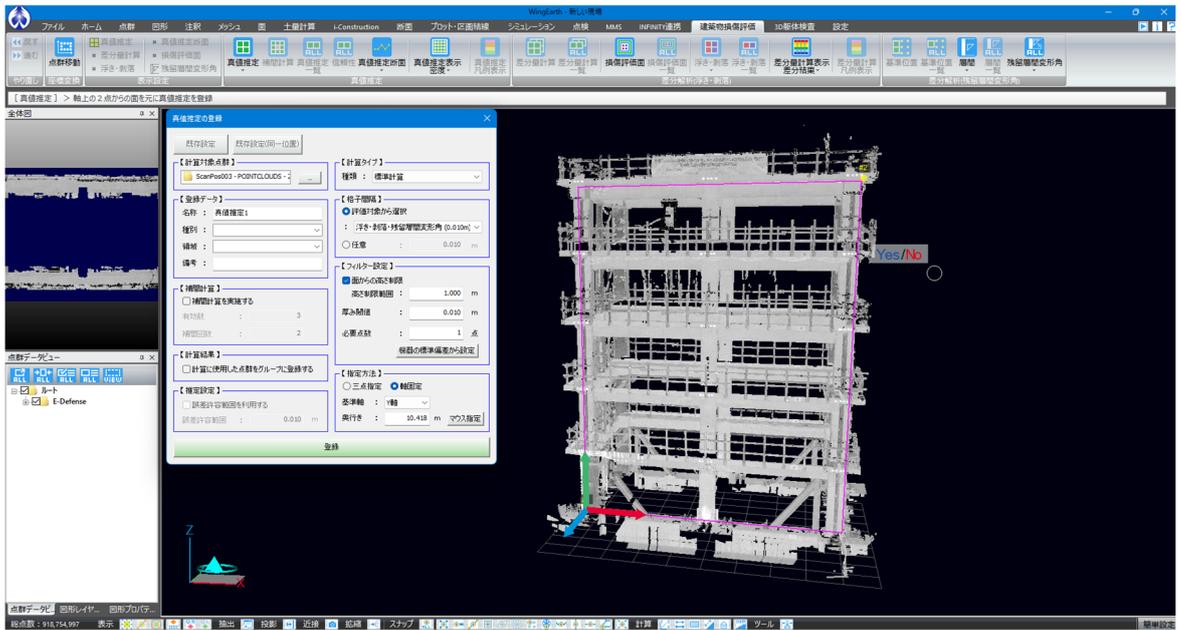


### 真値推定の登録

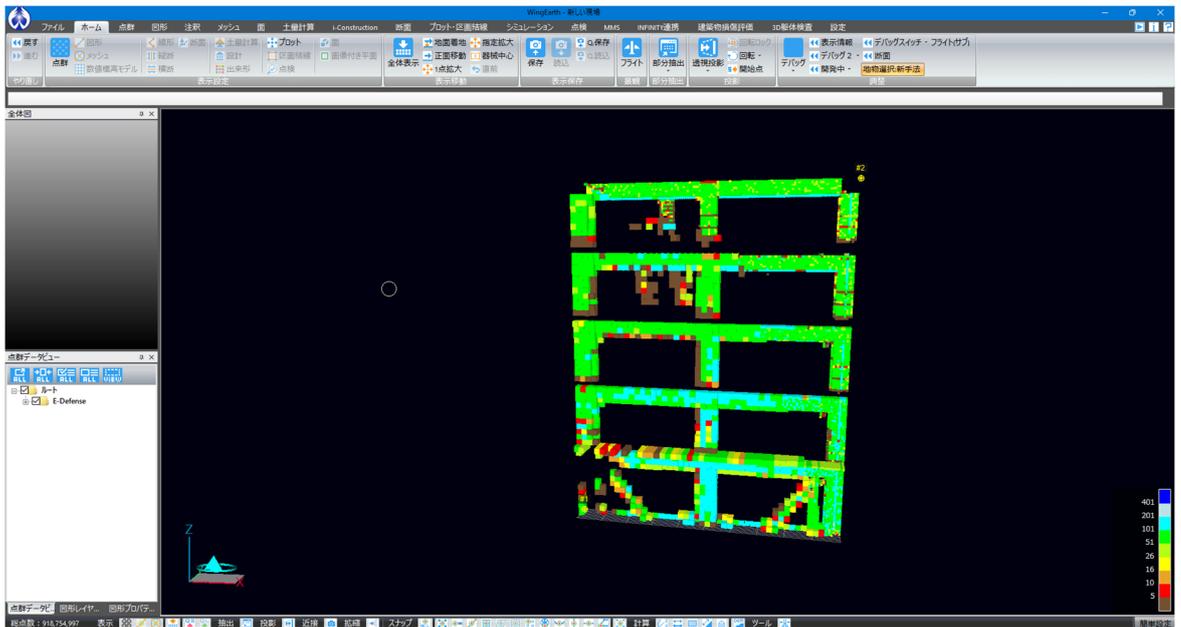
「真値推定」コマンドにて、一時期目の点群に対して真値推定を行う。真値推定を登録する面の左下と右上にプロットを登録する。



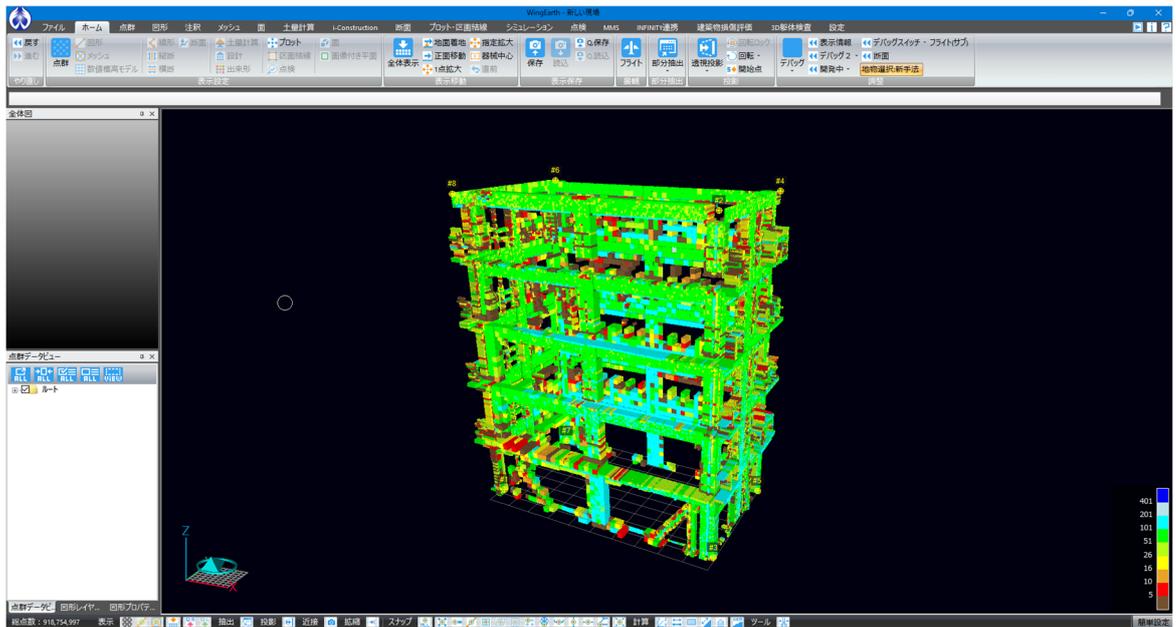
点群グループを指定し、プロットをクリックして領域を指定する。



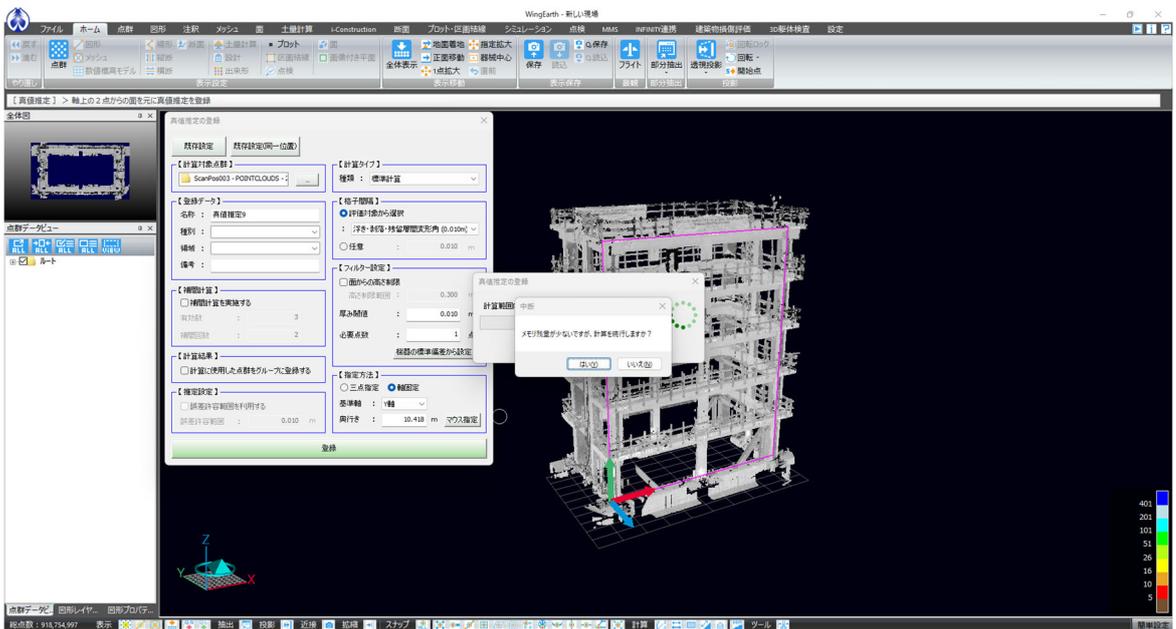
真値推定を登録する。



同様の手順で建物の四面全てに真値推定を登録する。



また、真値推定計算中にメモリが不足する場合は警告が表示され、計算が途中で止まる。警告の表示タイミングについては今後の改善事項となる(計算を実行する前に使用メモリ量を推定し、不足しないか確認できた方が良い)。



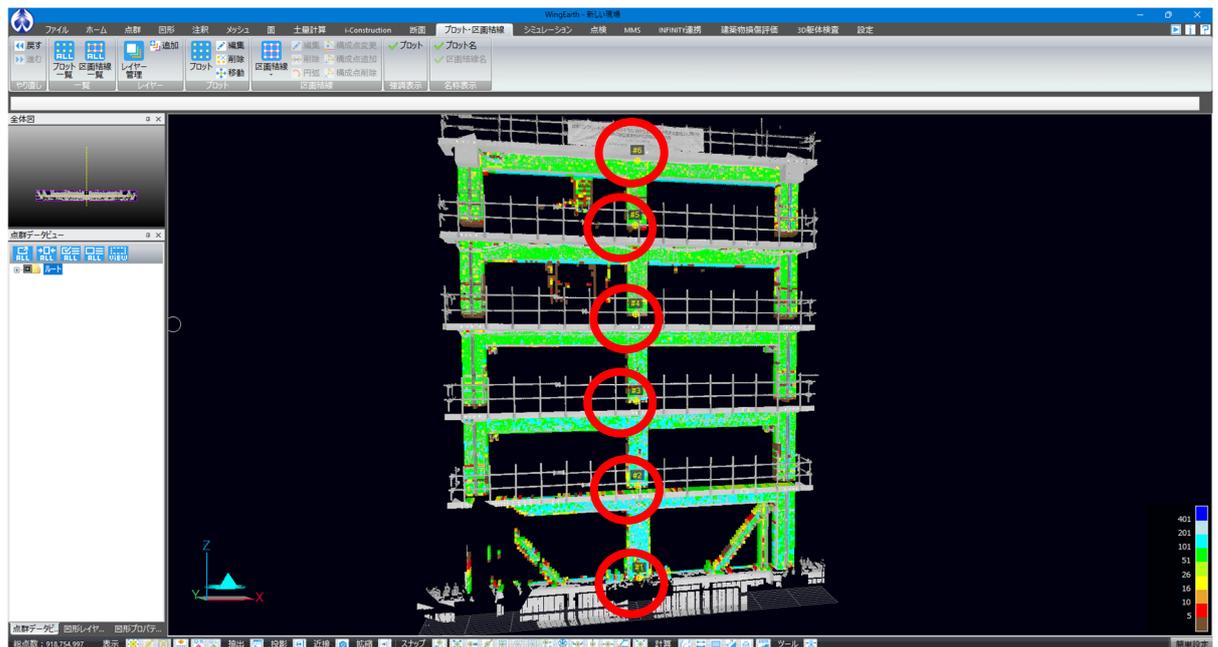
## 信頼性の確認

真値推定の登録後は「信頼性」コマンドから真値推定の信頼性確認を行うことができる。真値推定に問題がある場合は、フィルター設定や位置を変更して登録をやり直す。

No.	縦軸の格子位置	横軸の格子位置	面からの離れ量	X座標	Y座標	標高	反射強度	R(RGB)	G(RGB)	B(RGB)	点群密度	標準偏差	最大値	最小値	点群分布幅	真値推定誤差値
1	0.000	0.000	0.4839	9.2345	9.9340	10.6440	49574	211	211	211	91	0.0031	0.0020	0.0030	0.0050	0.0063
2	0.010	0.000	0.4819	9.2345	9.9360	10.6540	50053	213	213	213	71	0.0012	0.0010	0.0010	0.0020	0.0023
3	0.020	0.000	0.4819	9.2345	9.9360	10.6540	48686	208	208	208	62	0.0012	0.0010	0.0010	0.0020	0.0024
4	0.030	0.000	0.4809	9.2345	9.9370	10.6740	48791	208	208	208	67	0.0012	0.0010	0.0010	0.0020	0.0024
5	0.040	0.000	0.4809	9.2345	9.9370	10.6840	48503	207	207	207	69	0.0013	0.0010	0.0010	0.0020	0.0027
6	0.050	0.000	0.4829	9.2345	9.9350	10.6840	48993	209	209	209	72	0.0028	0.0020	0.0020	0.0040	0.0055
7	0.060	0.000	0.4849	9.2345	9.9330	10.7040	49976	213	213	213	50	0.0041	0.0030	0.0030	0.0080	0.0082
8	0.070	0.000	0.4879	9.2345	9.9300	10.7140	48900	209	209	209	26	0.0037	0.0030	0.0030	0.0060	0.0074
9	0.080	0.000	0.4829	9.2345	9.9350	10.7240	43782	189	189	189	69	0.0039	0.0030	0.0030	0.0060	0.0079
10	0.090	0.000	0.4819	9.2345	9.9360	10.7340	43718	189	189	189	61	0.0013	0.0010	0.0010	0.0020	0.0027
11	0.100	0.000	0.4814	9.2345	9.9365	10.7440	43532	188	188	188	60	0.0015	0.0015	0.0015	0.0020	0.0029
12	0.110	0.000	0.4819	9.2345	9.9360	10.7540	44091	190	190	190	59	0.0014	0.0010	0.0010	0.0020	0.0028
13	0.120	0.000	0.4809	9.2345	9.9370	10.7640	44446	191	191	191	59	0.0016	0.0010	0.0010	0.0020	0.0031
14	0.130	0.000	0.4819	9.2345	9.9360	10.7740	44558	192	192	192	53	0.0016	0.0010	0.0010	0.0020	0.0031
15	0.140	0.000	0.4829	9.2345	9.9350	10.7840	45088	194	194	194	65	0.0019	0.0010	0.0010	0.0020	0.0038
16	0.150	0.000	0.4869	9.2345	9.9310	10.7940	48032	205	205	205	51	0.0045	0.0030	0.0030	0.0080	0.0089
17	0.160	0.000	0.4899	9.2345	9.9280	10.8040	52623	216	216	216	25	0.0040	0.0030	0.0030	0.0080	0.0081
18	0.170	0.000	0.4839	9.2345	9.9340	10.8140	44995	194	194	194	69	0.0038	0.0030	0.0030	0.0060	0.0076

## 残留変位評価点の決定

登録した真値推定の格子ごとの密度や標準偏差を確認しながら、残留変位評価点を決定する。真値推定の表示色は密度や標準偏差の値による表示に変更することができる。決定した残留変位評価点の位置にはプロットを登録すると後に残留層間変位を登録する際の目印となる。



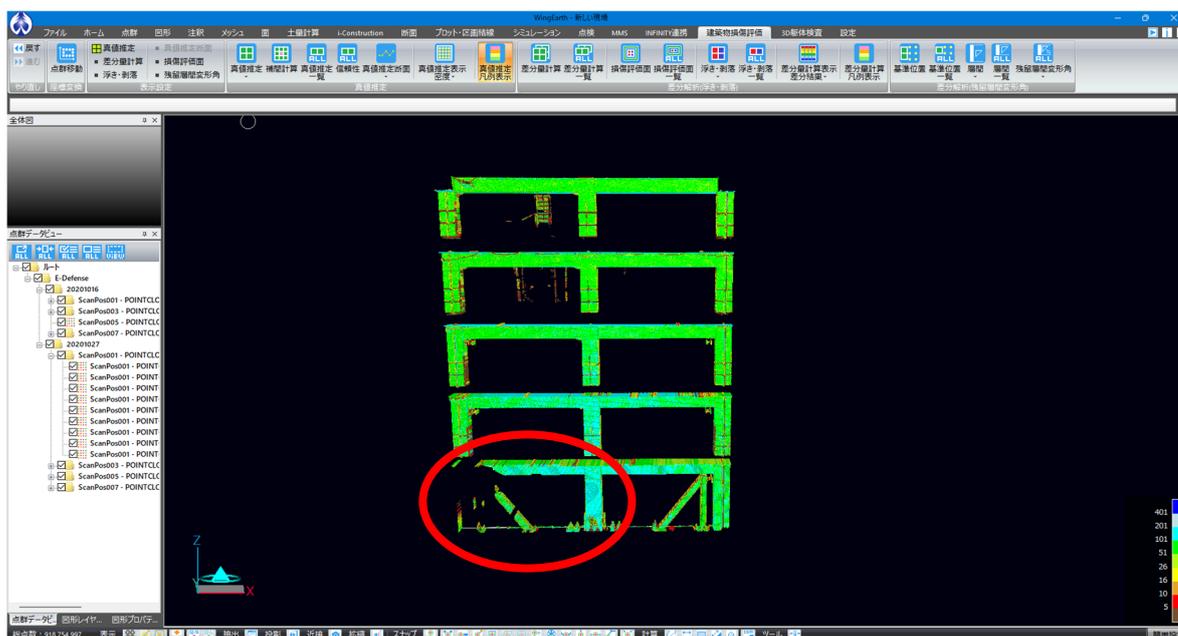
## 報告書の作成

損傷評価対象範囲特定図の作成に活用できる WingEarth の機能について記載する。

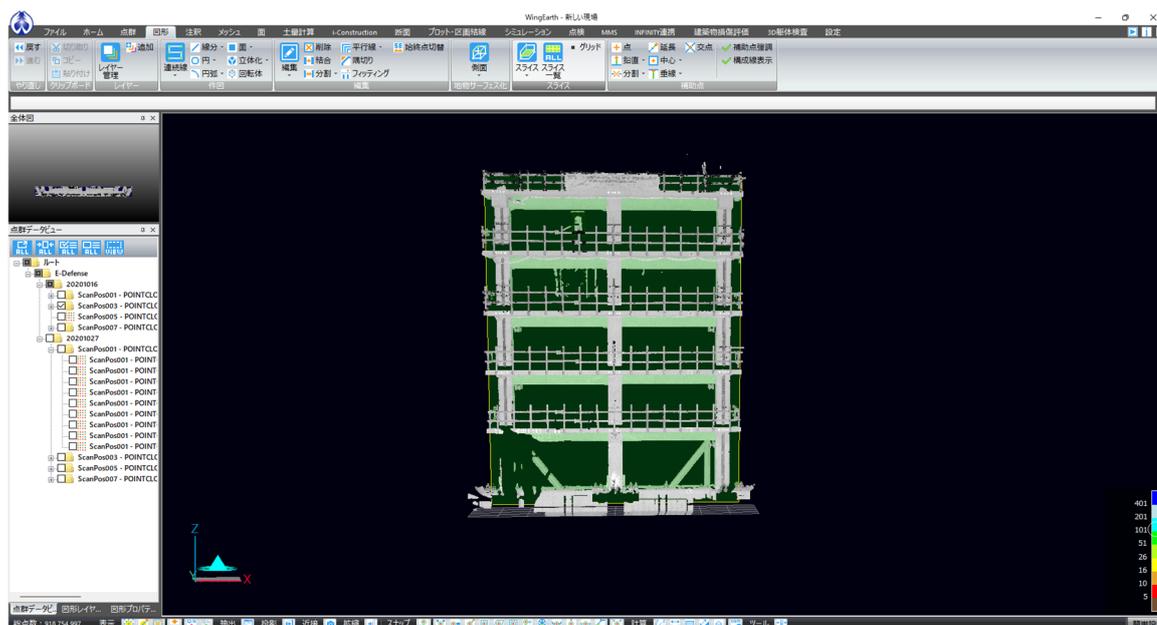


(損傷評価対象範囲特定図の例)

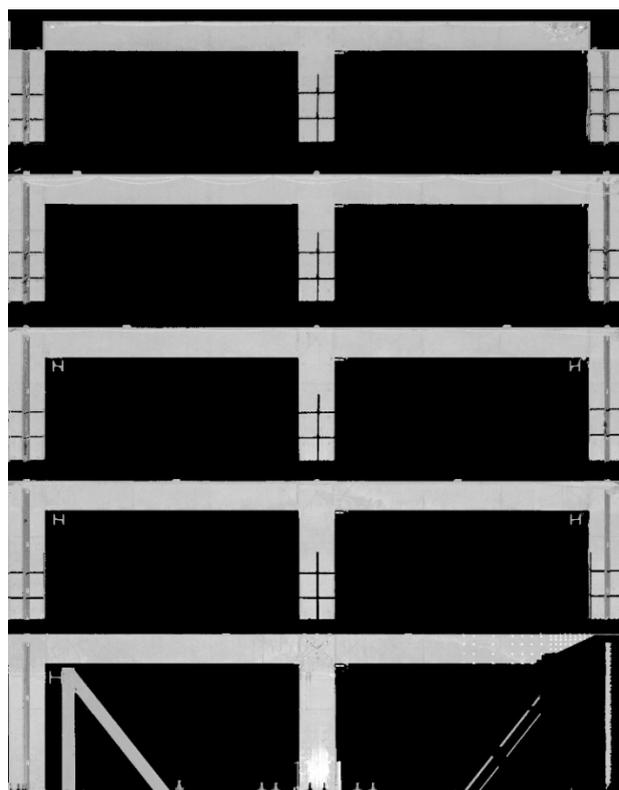
真値推定の形状を確認することで、欠損箇所を確認することができる。



スライスを登録しオルソ画像出力することで、点群のオルソ画像を出力することもできる。

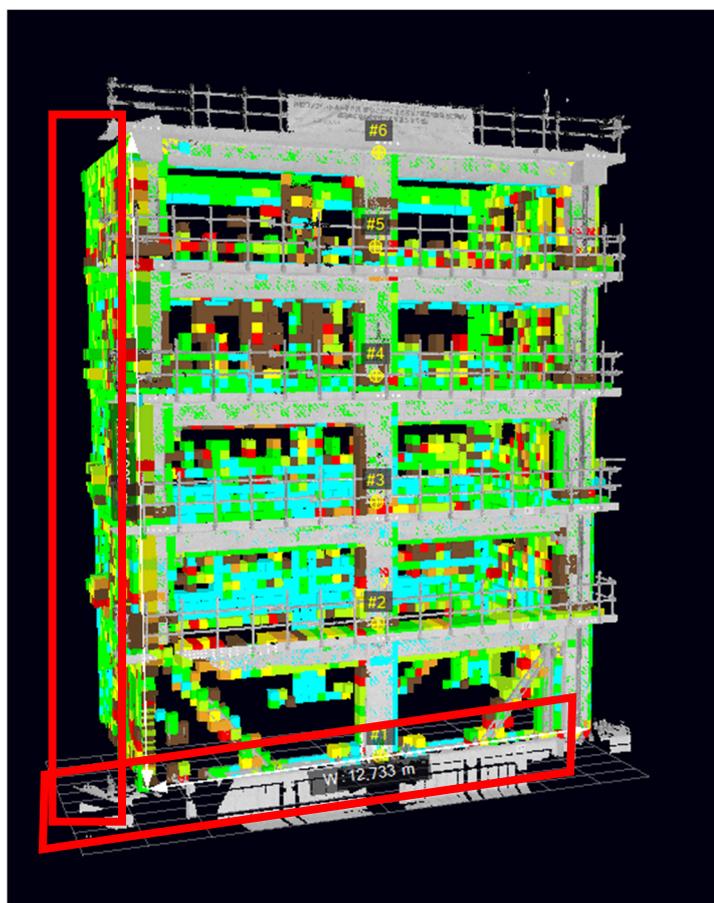


(壁面上に登録したスライス)



(スライスから作成したオルソ画像)

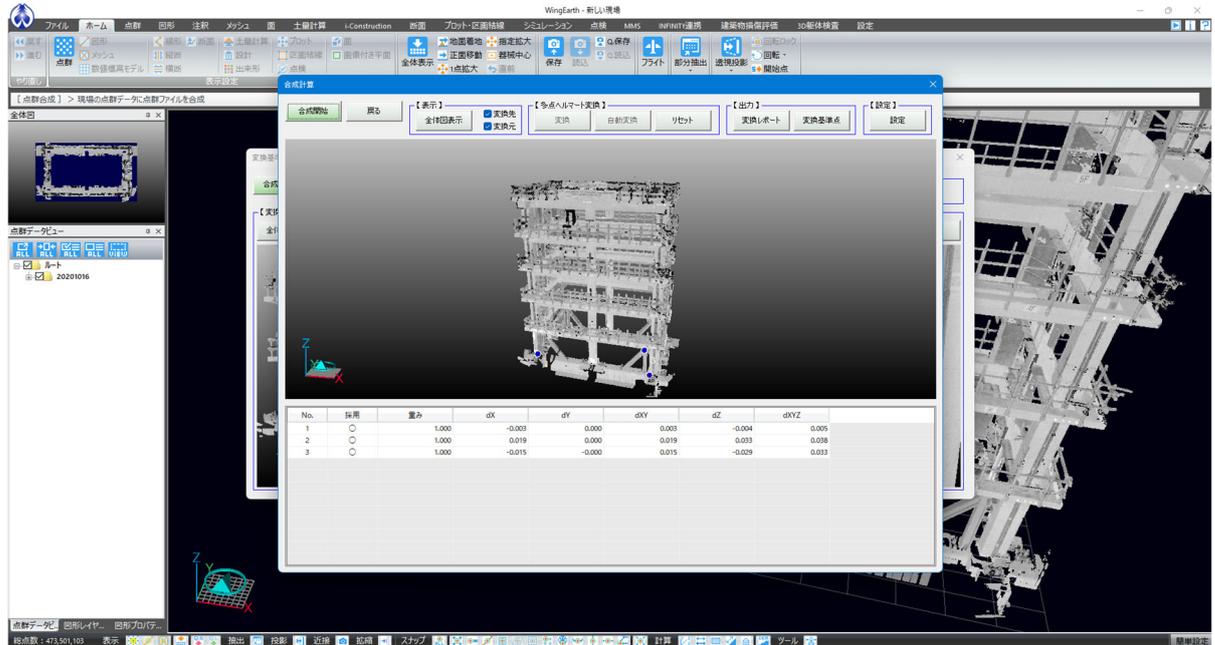
距離注釈を登録することで建物や光学遮蔽箇所を測ることや、建物基本情報図の作成に活用することができる。



## 被災後の損傷評価手順(二時期目)

### 点群の合成

一時期目で真値推定を登録した現場に二時期目の点群を合成する。



一時期目と二時期目の点群で基準となる三点をクリックして指定し、点群を合成する。

### 真値推定の登録

二時期目の点群を用いて、一時期目と同様に建物の四面に真値推定を登録する。

### 信頼性の確認

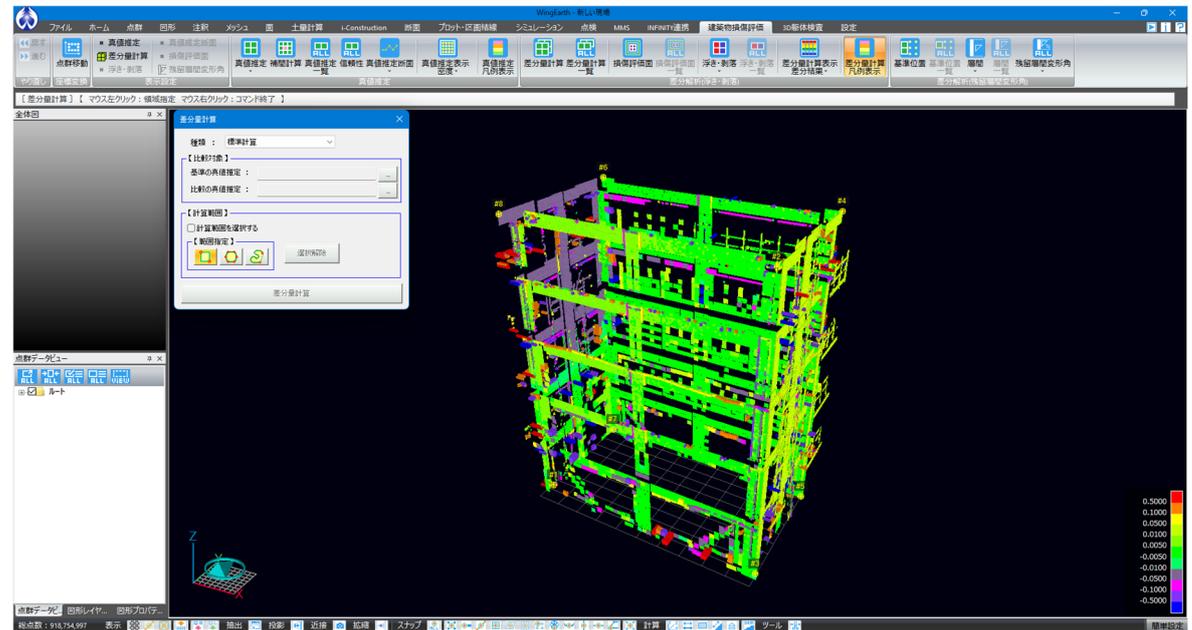
二時期目の真値推定について問題がないか、一時期目と同様に信頼性を確認する。問題がある場合は二時期目の真値推定の登録をやり直す。

### 残留変位評価点の確認

一時期目で決定した残留変位評価点について、その位置が二時期目で真値推定が欠落していないかなどの問題ないかを確認する。問題がある場合は二時期目の真値推定を考慮した上で残留変位評価点の位置を変更する。

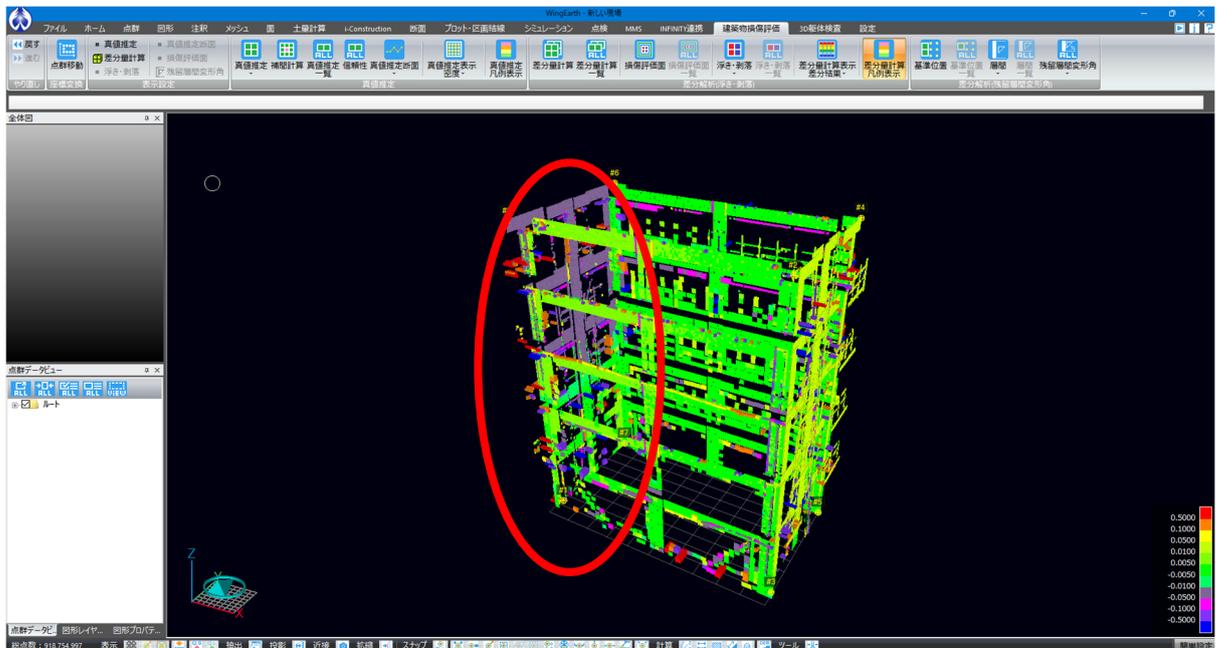
## 差分量計算を行う

「差分量計算」コマンドにて、建物の四面それぞれで一時期目と二時期目の真値推定の差分値を計算する。

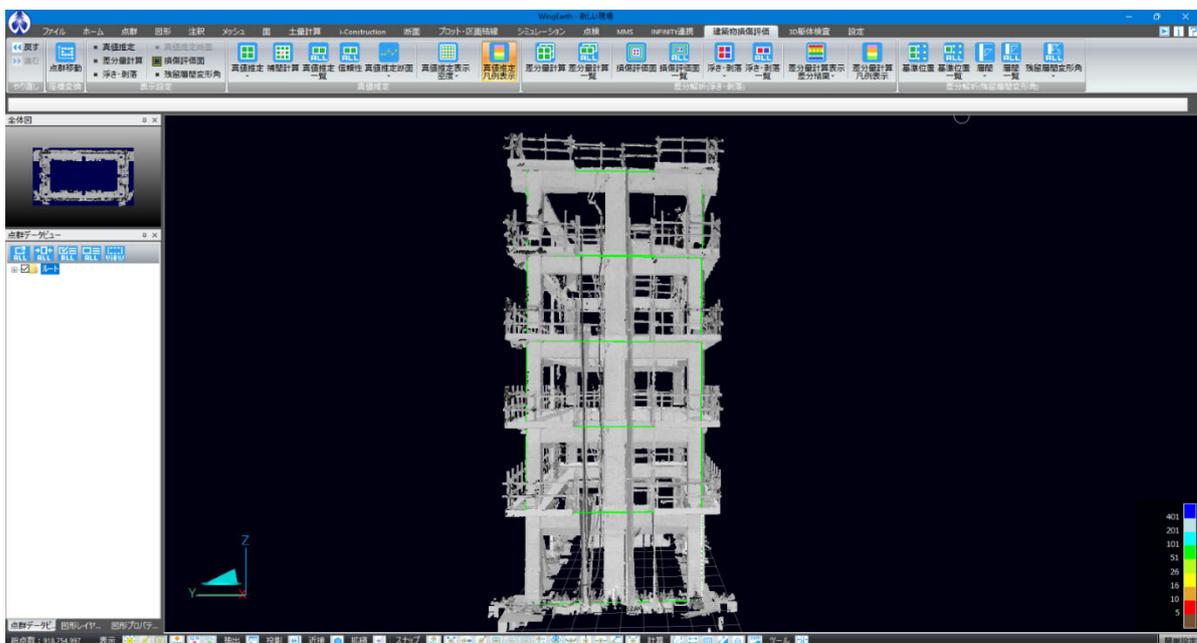


## 損傷評価面を登録する

「損傷評価面」コマンドにて、損傷評価を行う面を登録する。例として差分量計算で差分量が大きい画像赤枠部分(西面)に損傷評価面を登録する。



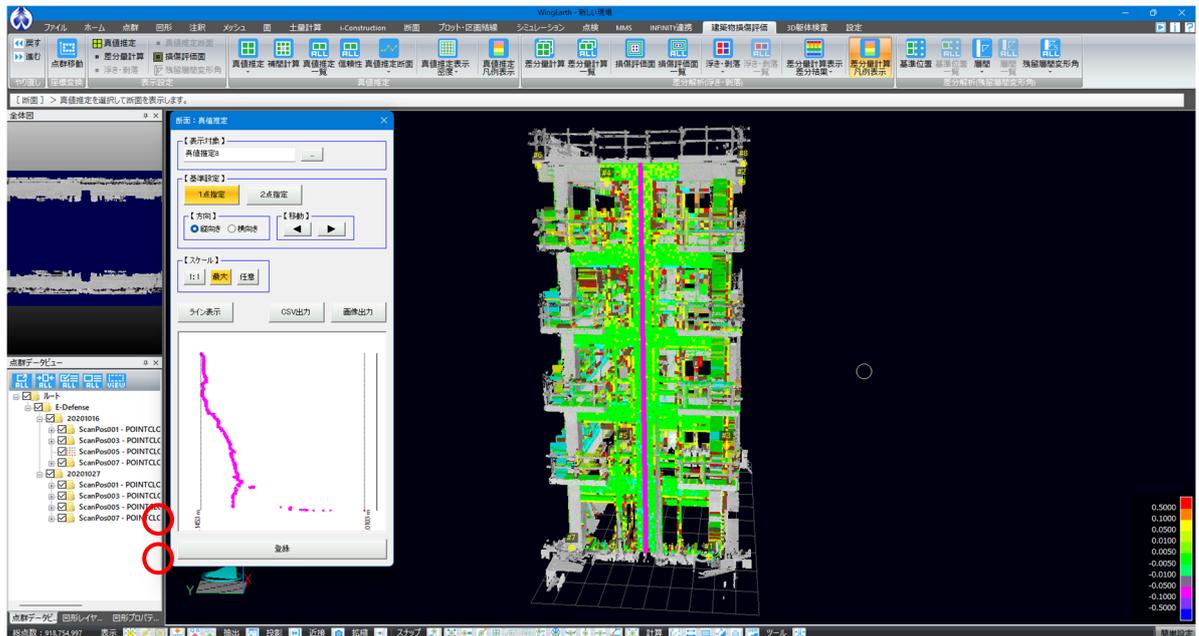
損傷評価面を登録することで、浮き・剥落の出力時に結果を損傷評価面ごとに集計して出力することができる。今回は西面の各階をそれぞれ損傷評価面として登録する。



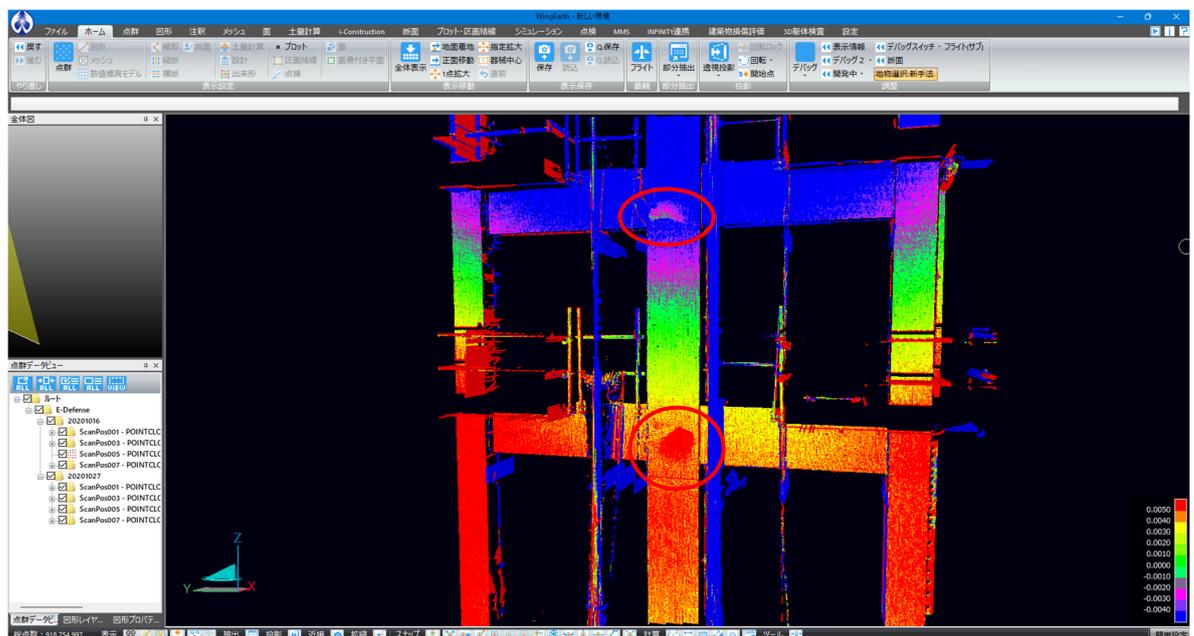
(緑色の矩形が損傷評価面)

## 浮き・剥落を登録する

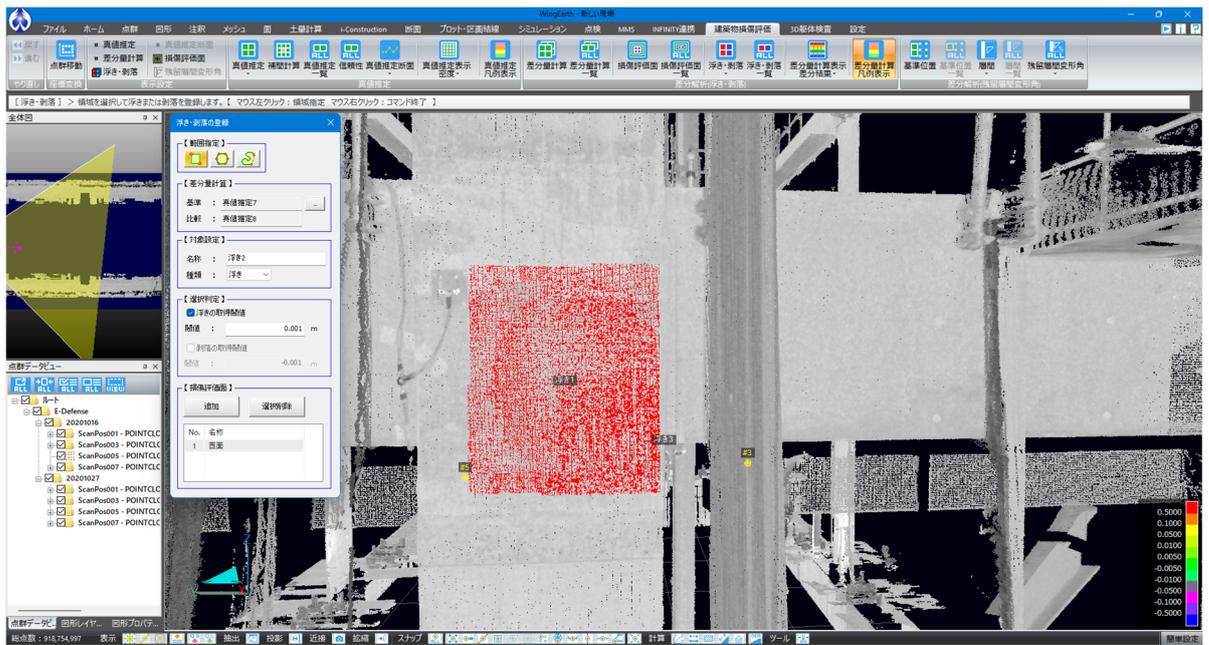
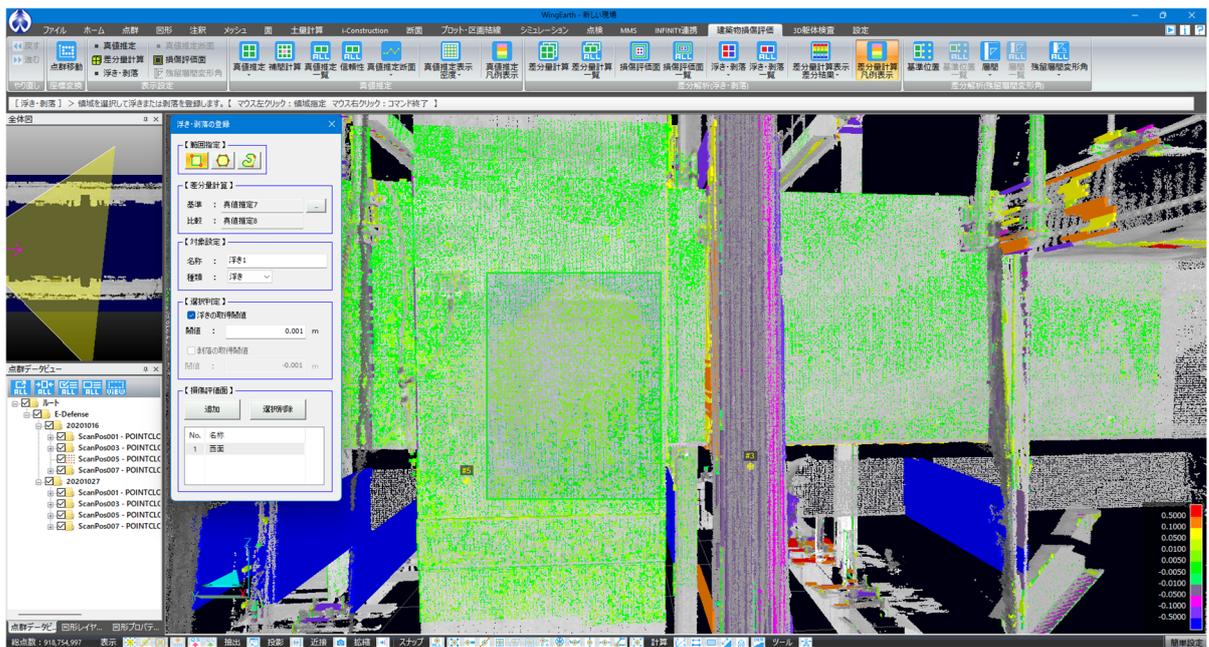
「真値推定断面」コマンドにて西面の二時期目の真値推定の断面から浮き・剥落のある位置を確認する。



差分計算の凡例表示の値を調節する。該当する位置に浮きがあることが目視にて分かる。

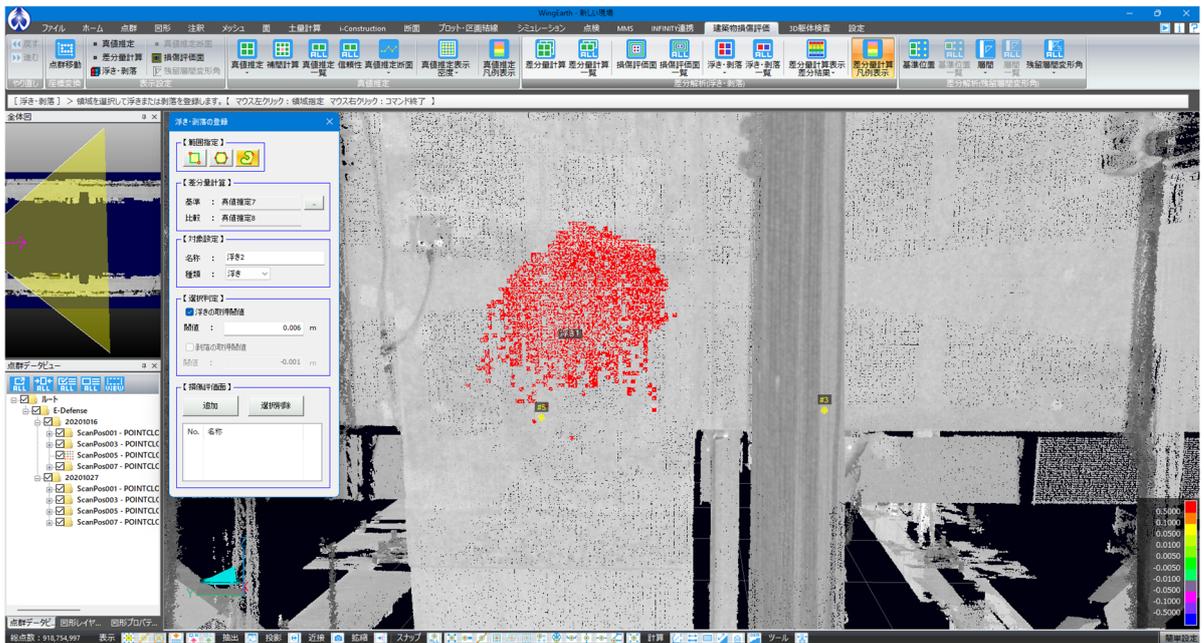


「浮き・剥落」コマンドで浮きを登録する。



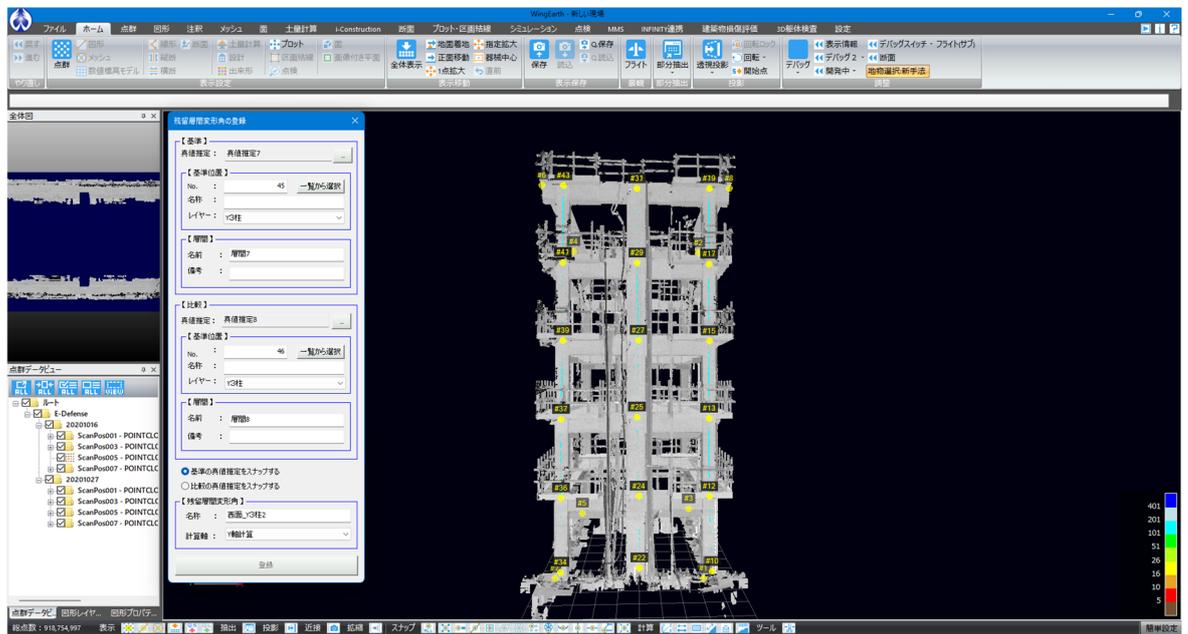
閾値が小さすぎるため、選択した範囲全体が浮きとして登録されてしまっている。

閾値を適切な値に調節して登録しなおす。



### 残留層間変形角を登録する

「基準位置・層間・残留層間変形角同時登録」コマンドにて、各階の残留層間変形角に近い格子を選択して残留層間変形角を登録する。



登録後、各層の残留層間変形角を確認することができる。

層間比較の詳細

閉じる

No.	名称	備考	階数
1	層間2		6

書き込み

階	基準：名称	基準：X座標(m)	基準：Y座標(m)	基準：標高(m)	比較：名称	比較：X座標(m)	比較：Y座標(m)	比較：標高(m)	X座標：差分(mm)	Y座標：差分(mm)	標高：差分(mm)
6	名称未設定	9.204	10.150	26.769	名称未設定	9.238	10.150	26.769	34	0	0
5	名称未設定	9.210	10.170	23.599	名称未設定	9.237	10.170	23.599	27	0	0
4	名称未設定	9.207	10.160	20.399	名称未設定	9.224	10.160	20.399	17	0	0
3	名称未設定	9.207	10.180	17.199	名称未設定	9.212	10.180	17.199	5	0	0
2	名称未設定	9.206	10.170	13.999	名称未設定	9.201	10.170	13.999	-5	0	0
1	名称未設定	9.217	10.070	10.939	名称未設定	9.212	10.070	10.939	-5	0	0

書き込み

層	基準：X座標の差分(mm)	比較：X座標の差分(mm)	残留層間変位...	基準：標高の差分(mm)	X軸計算：残留層間変形(%)
5	-6	1	7	3170	0.22
4	3	13	10	3200	0.31
3	0	12	12	3200	0.38
2	1	11	10	3200	0.31
1	-11	-11	0	3060	0.00

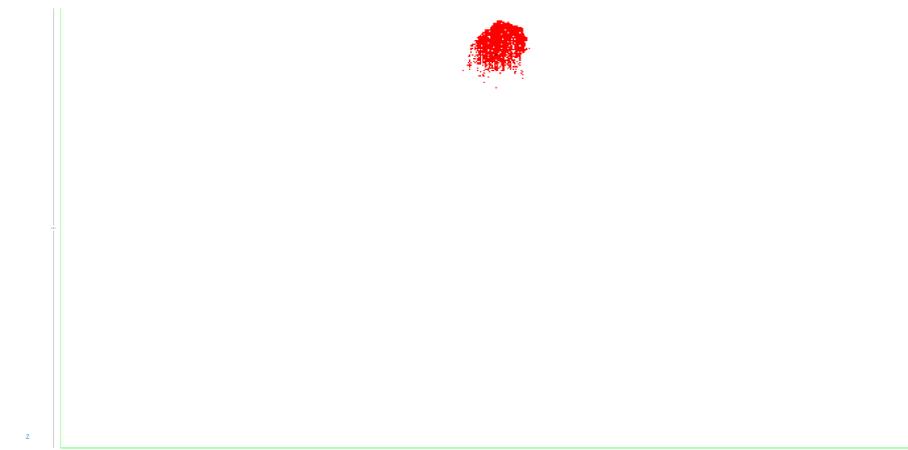
### 損傷評価の結果

上記の損傷評価の後、WingEarth から結果をファイル出力することができる。

#### CSV ファイル出力(表形式)

	A	B	C	D	E	F	G
1	No.	名称	浮き：総面積(mm <sup>2</sup> )	浮き：総体積(mm <sup>3</sup> )	剥落：総面積(mm <sup>2</sup> )	剥落：総体積(mm <sup>3</sup> )	欠落：総面積(mm <sup>2</sup> )
2	1	西面1F	105500	670150	0	0	0
3	2	西面2F	0	0	0	0	0
4	3	西面3F	0	0	0	0	0
5	4	西面4F	0	0	0	0	0
6	5	西面5F	0	0	0	0	0

損傷評価面ごとに面積・体積が集計される。



#### 画像ファイル出力

損傷評価面ごとに画像出力される。

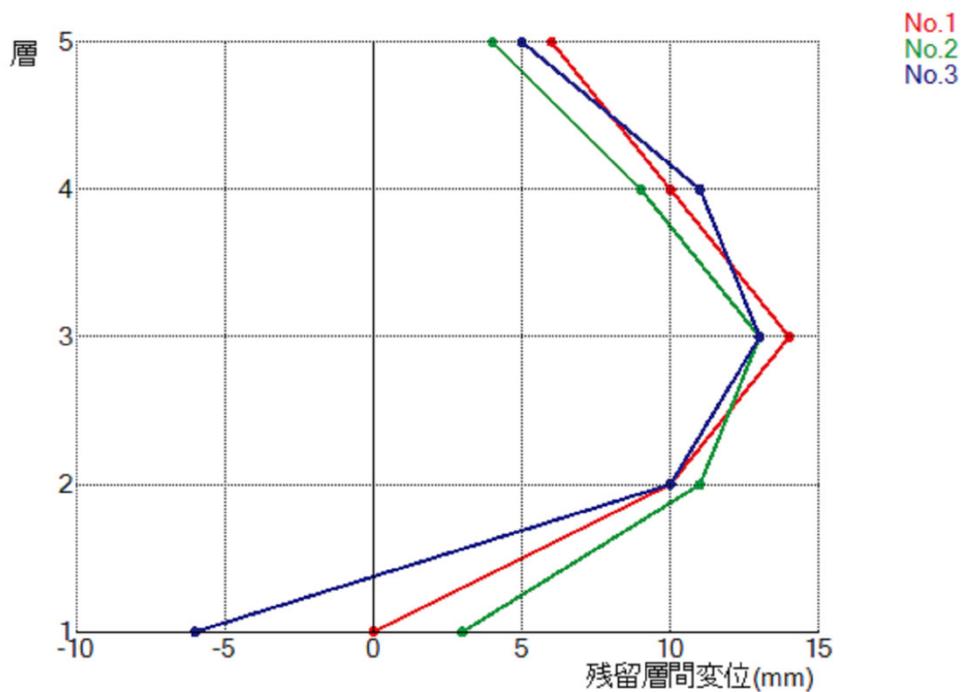
## 損傷評価(残留層間変形角)の結果

### CSV ファイル出力(表形式)

No.	名称	基準:名称	比較:名称	1層:残留層間変位(mm)	1層:残留層間変形角(%)	2層:残留層間変位(mm)	2層:残留層間変形角(%)	3層:残留層間変位(mm)	3層:残留層間変形角(%)	4層:残留層間変位(mm)	4層:残留層間変形角(%)	5層:残留層間変位(mm)	5層:残留層間変形角(%)
1	層間比較1	層間1	層間2	0	0	10	0.31	14	0.44	10	0.31	6	0.19
2	層間比較2	層間3	層間4	3	0.1	11	0.35	13	0.4	9	0.28	4	0.13
3	層間比較3	層間5	層間6	-6	-0.2	10	0.31	13	0.41	11	0.35	5	0.16

層ごとの残留層間変位・残留層間変形角が出力される。

### 画像ファイル出力(グラフ形式)



層ごとの残留層間変位が出力される。

## 推奨スペック

	読み込み対象点数			
	100億点前後	60億点前後	20億点前後	数千万～1億点前後
対象OS (2023年3月現在)	Windows 10 Pro 64bit Windows 11 Pro 64bit Windows Server 2016 ※64bit OSのみ対応、32bit OSでは動作いたしません。			
プロセッサ(CPU)	インテル Xeon 3.0GHz以上 コア数8以上 三次キャッシュ20MB 以上	インテル Core i7 3.0GHz以上 コア数6以上 三次キャッシュ 15MB 以上	インテル Core i7 3.0GHz以上 コア数4以上 三次キャッシュ 8MB 以上	
メモリ(RAM)	64GB以上	32GB以上	24GB以上	16GB以上
グラフィック(Graphics)	4GB以上			2GB以上
ハードディスク(HDD)	1TB以上の空き容量		250GB以上の空き容量	50GB以上の空き容量
ディスプレイ	1920×1080以上の解像度 (High Color 32bit以上) ※ワイド型推奨			
その他	USB3.0ポート インターネット接続環境			

※現場データ等の領域は別途必要になります。

上記の WingEarth の基本スペックに加えて、真値推定を保持するためのメモリ容量が追加で必要になる。

(格子間隔は 0.01m を想定)

- ・10m×10m の真値推定:真値推定1つあたり 0.22GB
- ・100m×100m の真値推定:真値推定1つあたり 22GB

## 2.4.2 部材試験体を利用した損傷評価の検証

2.4.1 項では、地上型レーザスキャナで得た点群データを用いて地震時に被災した鉄筋コンクリート造の建物の損傷を評価する方法を示しているが、真値推定時の格子間隔や差分解析時の閾値に関する検証が不足している。ここでは以下の文献で行われた部材試験体を利用した検証結果の概要を示す。なお、同検証には 2.1～2.3 節で示した損傷評価の開発機能を用いている。

(検討が行われた文献)

須貝真由香、望月勇杜、向井智久、坂下雅信、渡邊秀和、衣笠秀行：地上レーザスキャナを用いた鉄筋コンクリート部材の浮き剥落面積の評価に関する基礎的検討、日本地震工学会年次大会梗概集、2025.12

同文献では、以下の 2 体の試験体に対して、格子間隔、差分解析時の閾値を変数とした検証を行っている。なお、いずれの試験体も、「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)」で示されている点密度と格子間隔に関する表面浮き、表面剥落の要求精度を概ね満足している。

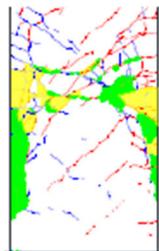
表 試験体概要

	柱試験体	梁試験体
縮尺	1/3	実大
格子間隔	5mm	5mm、10mm
差分解析時の閾値	1～10mm	1～10mm
評価対象とした損傷	浮き、剥落	剥落

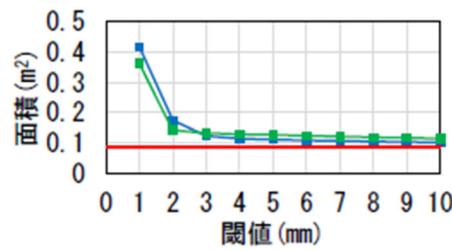
柱試験体では、浮き面積、剥落面積に対する検討が行われているが、浮きは閾値 2～3mm、剥落は閾値 3mm 以上とすると実験結果との整合がよい。浮きに関しては、閾値を大きくすると識別ができなくなるため、閾値を小さく設定する必要があるが、ノイズが多く発生するようになる。浮きが生じた箇所を予測するためには、1～2mm と閾値をさらに小さくする必要があるため、ノイズを適切に処理する方法を考える必要がある。

梁試験体では、剥落面積に対する検討が行われている(下図)。柱試験体と同様に閾値が小さい(1～3mm)とノイズが多く発生し、実験結果との整合が悪くなるが、ある閾値(4mm)を超えると実験結果との整合が良くなる。また、格子間隔を小さくすることで、実験結果との整合が良くなることも確認されている。

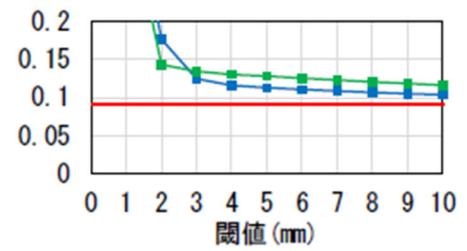
以上より、本検証の範囲では、剥落面積を精度よく評価するための格子間隔は 5mm、閾値は 3～4mm であり、試験体の縮小率に依存しなかった。また、浮きの面積や箇所を精度よく評価するためには、閾値を小さくする必要があるが、ノイズの適切な除去や、計測時や処理時におけるより高密度な点群データの取り扱いを考える必要がある。



実験における  
損傷性状  
(■ : 剥落)



全体



拡大

閾値-剥落面積関係 R=3.0%  
(— : 格子間隔5mm, — : 格子間隔10mm, — : 実験値)

図 梁試験体の変形角 3%時の剥落状況(左図)と変数を変えた場合の剥落面積の変化(右図)

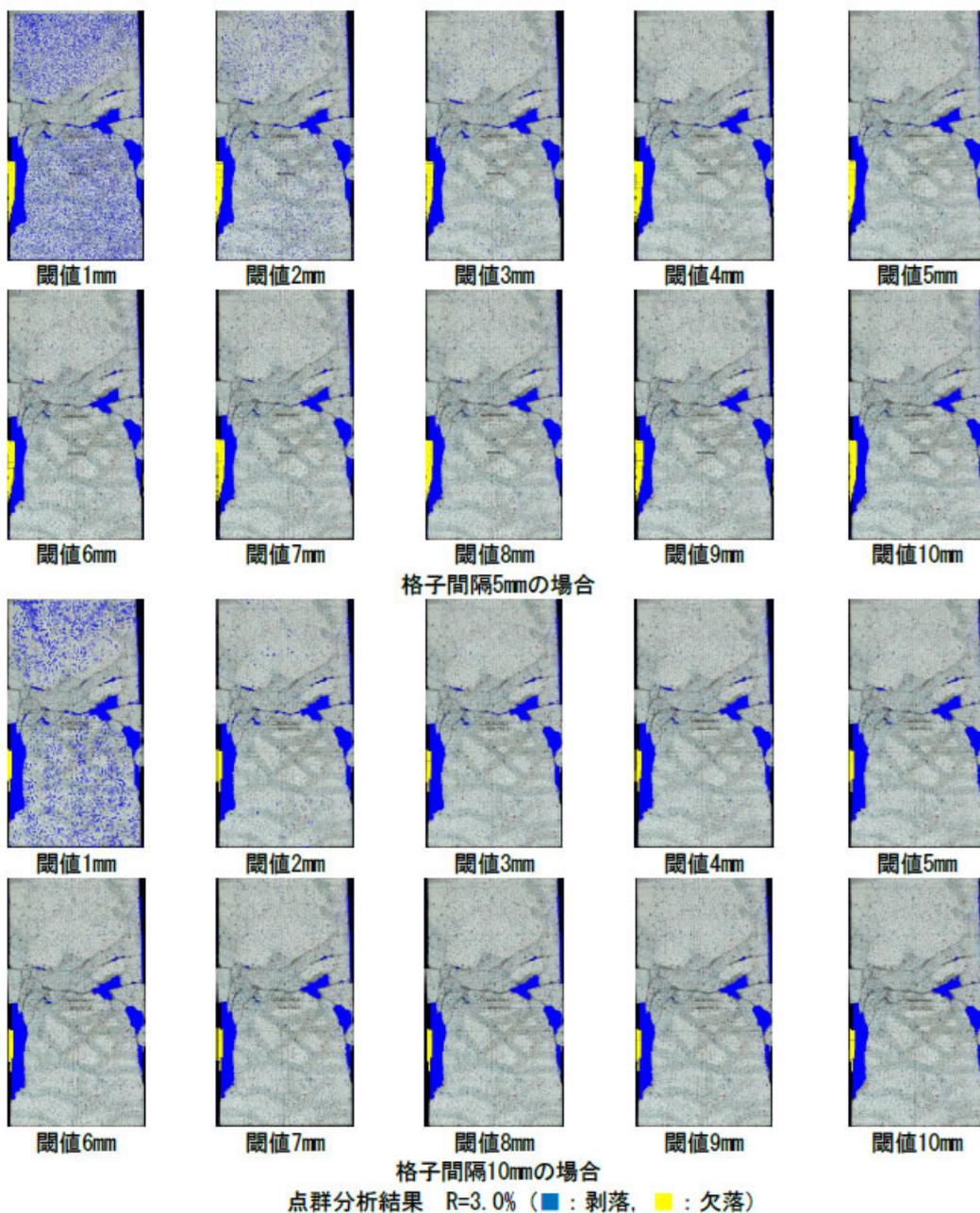


図 差分解析による梁試験体の変形角 3%時の剥落箇所の推定

## 2.5 追加検討(令和7年度)

### 2.5.1 被災による傾きを考慮した差分計算方手法の検討

コンクリートの浮きや剥落は、一時期目に対する二時期目の位置関係で判断するため、二時期目に建築物の傾斜が生じると、以下の図の赤丸部分に示すように、実際には剥落が生じている箇所が浮きと判断される可能性がある。そこで、対応として以下の案1~3を考案し、改善に向けた課題を整理した。

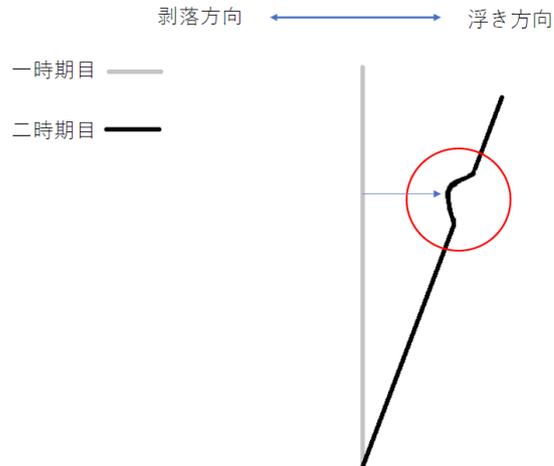


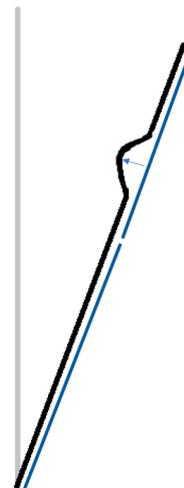
図 建築物に傾斜が生じた場合の問題

案1~3のうち、案2は建築物の傾きが高さ方向に一定である(残留変形が高さに比例する)であることが前提となっている。また、案3は、法線ベクトルの情報を一時期目から二時期目に引き継ぐことができれば実現可能と思われるが、今後はそれぞれの案について、このような処理を行うことが本当に可能かどうかをより詳細に検討する必要がある。

#### 面を作成して差分を計算する

壁面上に一定間隔で面を登録し(面推定または手動)、面との差分を計算する。

- ・二時期差分ではない(今までのコンセプトとは異なる)浮き・剥落を計算するのに二時期差分を利用する必要はあるか?
- ・一時期目の壁面が平らという前提であれば二時期差分である必要はないのではないか
- ・複雑な形状の場合は面推定が正しくできない場合がある

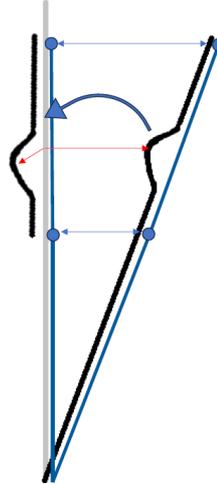


(案1)

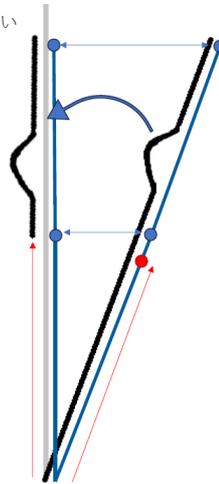
## 残留層間変形角を利用する

残留層間変形角の角度と基準位置間の距離から  
二時期目の真値推定に補正をかけて差分を計算する。

- ・単に傾きを補正するだけでは真値推定値の方向  
(右図赤線部分) がずれる、これを回避するには  
補正をかけて差分量をするのではなく、補正をかけて  
真値推定登録をやり直す必要がある



- ・そもそも残留層間変形角の登録に傾きが考慮されていない  
→一・二時期目の真値推定はZ軸に平行な位置を  
同一位置とみなしているが、傾きがある場合に  
実際に壁面上で同一位置なのはもう少し下側になる  
(右図赤点位置)  
→これを考慮した計算をするなら真値推定登録時に  
傾きを考慮する必要がある



(案 2)

## 二時期目の真値推定を 傾いた壁面に沿って登録する

二時期目の真値推定はZ軸に平行な面ではなく  
壁面に沿って傾いた面を登録する。

- ・真値推定がZ軸に平行でなくて問題はないか
- ・一時期目と同じ壁面上の基準位置を目視で  
指定しなければならない  
→一時期目の真値推定の基準面の下辺を固定して  
傾けるなど、指定方法に工夫はできそう



(案 3)

## 2.5.2 ノイズ発生時の物質による性質の違い

コンクリートが剥がれた部分をモルタルで補修した場合など、材質によってノイズの分布が変わるという現象が確認されている。材質毎に閾値を設定することでノイズの除去ができるか議題となったが、点群からは材質を判別することは難しく、また測定時の距離や角度が変わるだけで影響が出る。また、反射が強いものはばらつきが大きい傾向があるが、ばらつきも一律ではないので、一律での判別は難しいとの結論に至った。将来的には機械学習を用いた AI による判別方法などを検討する必要がある。

## 2.5.3 FEM(有限要素法)解析との連携

FEM 解析ソフトとして世界的に使用されている「DIANA」、「FINAL」等へデータを受け渡すための検討を行った。関係者へのヒアリング等を行い、どこまでの処理を点群ソフトウェアで行い、どのように FEM 解析側へデータを受け渡すか(どういうインターフェースにするか)を協議した。FEM 解析で必要となるのは図形ではなく座標情報であり、真値推定の結果から各節点の情報を点群に受け渡す必要がある(格子の点座標の置き換え)。今後の対応としては以下が考えられる。なお、FEM 解析を含めた構造解析ソフトウェアとの連携については、付録 3 でも取り上げているので参照されたい。

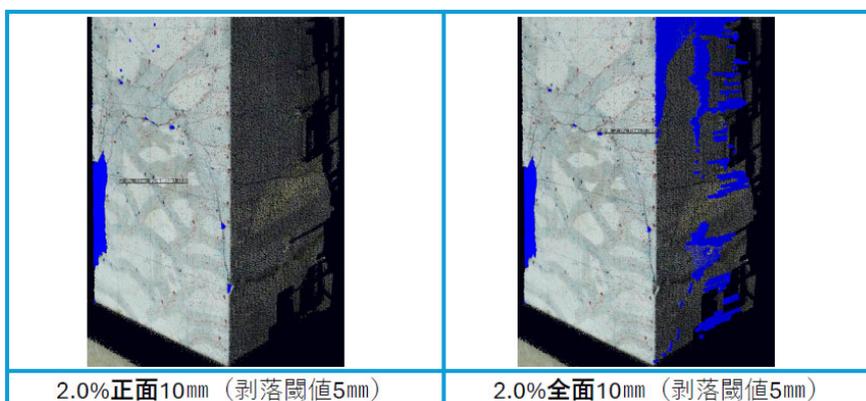
- ・点群ソフトウェア側で、STP ファイルを作成し、出力を行う
- ・点群ソフトウェアの DXF ファイルの出力機能の活用

(WingEarth は同機能を既に有している。FEM 解析側で受け取りが可能か確認が必要。)

## 2.5.4 検出範囲の選択時の問題点

剥落面積の算定時に、正面から見た時の輪郭に沿うように剥落検出範囲の点をプロットしたものの、側面の点群も一部剥落として算出されるため、正面のみのデータを用いた時よりも剥落面積が増加する可能性がある。このような剥落と認知された領域の内、不要な箇所をまとめて削除できるような機能があるとよいとの意見が挙がった。

真値推定の面からの高さ制限の設定を深くすると側面も拾ってしまうため、図の側面のノイズを一括で削除する必要がある。スライス面の機能を利用した抽出では真値推定の高さ制限の設定と同じであり、点群をグループ化して対象だけ選択するという、点群に対しての処理を事前に行うしかないという結論に至った。そこで、予め面を抽出してから真値推定を行う手順の取り纏めを行った。



## 2.6 まとめ

### 2.6.1 普及のための活動

#### ① プレスリリース

・2022年8月8日

国立研究開発法人 建築研究所「点群データを用いた被災建物の損傷 評価手法の普及に資する検討」  
共同研究参加のお知らせ

<https://www.aisantec.co.jp/ir/information/2022/08/post-60.html>

・2023年7月18日

WingEarth 建築物損傷評価オプションリリースのお知らせ

<https://www.aisantec.co.jp/products-services/informations/2023/07/wingearth.html>

PR TIMES

<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000102.000050415.html>

#### ② Web 記事への掲載

・2023年10月31日

CADJapan.com(大塚商会)トピックス「WingEarth 建築物損傷評価オプション」

[https://www.cadjapan.com/topics/cim/blog/2023/231031\\_01.html](https://www.cadjapan.com/topics/cim/blog/2023/231031_01.html)

#### ③ 今後の展開

今後の展開に関して、関係者内で協議を行い、以下の内容を今後検討していくこととなった。

・自治体向けの展開

震災等の発生時に備え、データを整備することを検討

・建築業界での利活用

アーカイブ+BCP にかかわる情報を計測データとして用意し、マニュアル(手引き)の特記仕様書への適用を検討

・国土交通省 PLATEAU 連携

本マニュアルのユースケースを実施して PLATEAU データ整備と合わせて展開を検討

### 2.6.2 損傷評価結果のまとめ

#### ① 真値推定

・真値推定において面推定を行う際、点群は被災前後で存在、被災前点群において上の方がまばらとなるため、面推定できなかったのか剥落しているのかの区別がつかない。これを区別するため、点群は被災前後で存在、被災前点群において上の方がまばらな場合は評価対象から外す事とした。

・比較面を評価する際、密度の最小値がどれくらいあれば良いかの検討を行った。信頼性評価は領域の残留変位評価点として使用するため、1cm 四方が最小範囲となる。信頼性評価が今回の評価

対象となるため、比較面評価密度は 1cm を最小領域として使用する事とした。

- ・ 残留変位評価点を定めるために真値推定の点数・点密度を利用する必要があり、真値推定の点数・点密度を視覚的に確認できる機能が必要となるため、ヒートマップ表現を用いて点群上で点数・点密度を可視化できる機能を WingEarth に実装した。
- ・ 真値推定の座標点に対して、被災前後の二時期差分量を確認する事(縦の比較)と、被災前の状況・被災後の状況とそれぞれの時期に対して近隣の面の変化を確認(横の比較)する必要がある。真値推定の座標点を確認することができれば、縦と横の断面比較を行う事ができるため、真値推定の面に対して格子を1つ指定し、横方向か縦方向化を選択させて、断面図にして表示させる機能を WingEarth に実装した。
- ・ 真値推定の登録時に必要点数(点密度)を満たしているかどうかを標準偏差の値から判定を行い、最低密度を満たしていない格子は登録しないようにすることにより、使用する点群データの精度のばらつきを抑え、均一の精度で真値推定を行うことが可能。
- ・ 点群密度が薄い場合に対して周囲の点群から補間する機能について、補間計算の手順について以下の検討を実施した。

真値推定の結果は以下の 3 種類に分類される。

  1. 必要点密度から作成された点(合格した点)
  2. 必要点密度を満たしていない点(不合格の点)
  3. 点が存在しない

補間計算は 2と 3を 1の点を使用して補間計算行うこととした。
- ・ 点群が欠損している箇所に対して、周囲の点群から補間する機能について最適なパラメータ値の設定を検証すると共に、真値推定の必要密度を満たさない点を補間計算時に使用しないよう制御を行うことにより、確度の高い補間計算を行うことが可能。
- ・ 真値推定についての議論は、「浮き」の評価に必要な一番評価の厳しい指定面積 10mm の場合のみで行われていたが、
  1. 10mm で真値推定を実行
  2. 剥落・残留変形の評価ができていない場合は 20mm で真値推定を実行  
(浮きは確認しない)
  3. 残留変形の評価ができていない場合は 1000mm で真値推定を実行  
(浮き・剥落は確認しない)という手順で行うようフローを改良
- ・ 真値推定結果の表現は現在ヒートマップを使用しているが、二次元の方が見易い。密度や標準偏

差を三次元的に表現する必要はないと思われるため、メッシュ点に色がつけば良いという意見がありヒートマップ表現に対して立体/平面を切り替える機能を実装して二次元の表現を実装。

- ・現在の WingEarth 機能では、真値推定の領域指定を 3 点画面上から指定するようになっているが、最大最小矩形範囲を座標値で修正できるようにする事が望ましいため、WingEarth 上でプロットを配置してプロット編集機能で任意座標値に設定を可能とした。また、領域の範囲を手入力で設定できる機能を実装。
- ・真値推定領域を点群から直接指定しているが、真値推定は全体で実行して、実行後に真値推定の情報を元に抽出幅を設定したいという意見があり、真値推定実施結果を元に再度領域を設定する機能を実装。
- ・真値推定処理を 1cm 単位で実施した場合、処理が十数時間以上かかっていた。計算処理が 10m × 10m で百万回に対して真値推定計算処理が行われるため、大量のメモリ消費と計算時間が掛かっている状態であった。これに対し、真値推定計算時のメモリ使用量の目安を算出した。

真値推定領域内に含まれる点数 × 36 バイト

これはあくまで計算時に一時的に使用するメモリとなり、メモリ使用量を想定する上では真値推定の登録を行う面の中で一番点数の多い面で計算を行えばよい。それに加え現場登録後の真値推定データ自体にもメモリを使用しており、こちらの目安は

真値推定の格子数 × 227 バイト

となる。

例)E-ディフェンスの点群で四面に一時期目と二時期目の計 8 つの真値推定を登録する場合  
(計算時に一時的に使用するメモリ)

1.5 億点 × 36 バイト = 約 5 ギガバイト

(登録後の真値推定に使用するメモリ)

221 万個 × 227 バイト = 約 0.47 ギガバイト

130.9 万個 × 227 バイト = 約 0.28 ギガバイト

※大きい面の大きさが 13m × 17m で格子数が 221 万個、

小さい面の大きさが 7.7m × 17m で格子数が 130.9 万個

(登録に必要な合計メモリの目安)

5 + 0.47 × 4 + 0.28 × 4 = 8 ギガバイト

となる。

## ② 差分量計算(浮き、剥落)

- ・データの補間を行った真値推定を用いて差分量の計算結果を登録する際に、真値推定の一覧にデータの補間計算を実行したデータかどうかの表示を追加し、差分量の計算時に警告メッセージを表示するよう実装した。これにより、補間計算を行ったデータによるものかどうかの判別が行えるようになった。

- ・ 差分量の計算時に真値推定の 1 時期目と 2 時期目の範囲を確認し、以下のいずれかの場合にはエラーメッセージを表示し、差分量計算を行わないこととした。
  - ・ 1 時期目と 2 時期目の真値推定の基準点(4 点)の位置が異なる場合
  - ・ 1 時期目と 2 時期目の真値推定の格子間隔が異なる場合
- ・ 浮きや剥落の状況が分かるようにヒートマップ表現を用いて表示した情報をファイルに出力する機能を実装した。これにより、建屋の残留変形及びコンクリートの浮きや剥落を確認することが可能となった。
- ・ 浮き、剥落の判定において、ユーザが選択した範囲から浮き剥落の判定を自動的に実施する手法を検討し、指定した範囲内の浮き・剥落の中で隣接していない浮き・剥落を自動で分割し登録する機能を「浮き・剥落(自動分割)」コマンドとして実装した。これにより、一度に一括して実施することが可能となった。
- ・ 差分量計算の画像出力において、画像出力時に画像のサイズを調整できる機能を実装した。これにより、建物の形状により画像サイズが大きくなる場合でも、解像度を確認しながら調整を行うことが可能となった。

## ② 差分算出(残留層間変形角)

- ・ データを区別できるようタイプと領域名の属性がある事が望ましいという意見があがった。上記に対して、層間比較の一覧を階の一覧と層の一覧の表示に分割し、層の情報の一覧に表示される項目 9 を基準軸によって変更する機能を実装した。これにより、計算に使用している情報をすべて表示し、手計算での確認ができるようになった。
- ・ 残留層間変形角の計算手法に関して、残留層間の対象となる建物に対して階の属性設定ができる機能を実装した。また、残留層間比較において「1 階」と「N 階」の比較で計算を行っていたため、「N-1 階」「N 階」の比較となるよう機能の変更を実装
- ・ 「層間比較の詳細」画面から層と階の情報を出力できるが、手引き 図 4.3.2 にあるような評価対象面の各階柱の残留変位分布図を同画面の一覧表示に表示する機能を追加  
また同様に、手引き 表 4.1 にある評価対象面の各階柱の残留変位角の一覧表を出力する機能を実装(この場合、横方向の列数が幾つになるかは使用者の選択次第)
- ・ 「残留層間変形角一覧」コマンドにおいて、残留変位分布図(グラフ)及び、残留変位、残留層間変形角の一覧表示の内容を出力する機能を実装

### 3 令和 4～6 年度のまとめ

#### 3.1 令和 4～6 年度のまとめ

- ・ 点群を用いた被災建物の損傷評価手法の検討を実施。
- ・ 上記手法を WingEarth(市販点群製品)上へ搭載。搭載した機能を用いて検証を実施。
- ・ ミーティングを 26 回実施し、点群を用いた被災建物の損傷評価手法のブラッシュアップ、ならびにソフトウェアの機能改修を実施。
- ・ 評価手法の検証は 2 か所の点群データを用いて実施。建物の側面と上面に対してそれぞれ検証を実施。
- ・ 上記検証において、課題や追加機能を協議して WingEarth 機能改修を実施。
- ・ 再度検証を実施し、点群を用いた被災建物の損傷評価手法の手順を一通り実現。
- ・ 本共同研究の点群を用いた被災建物の損傷評価の実施に使用した機能を点群処理ソフトウェア WingEarth 上に搭載し、令和 5 年 3 月 22 日に建築物損傷評価オプションとしてリリース。  
令和 5 年 8 月 25 日に機能改良版をリリースした。

#### 3.2 令和 4～6 年度 WingEarth 機能改修

- ・ 真値推定
  - ・ 真値推定高速化処理機能の実装
  - ・ 周囲の点群から補間する機能の実装
  - ・ 真値推定の登録後に任意の箇所を補間計算する機能の実装
  - ・ 複数の真値推定を作成、また登録済みのデータから設定を用いて新たに計算する機能の実装
  - ・ 登録時に計算の対象とする点群グループまたはフォルダを選択できる機能の実装
  - ・ 真値推定の一覧表示に計算の対象とする点群グループまたはフォルダを表示する機能の実装
  - ・ 真値推定の登録時に点密度による制限を設定し基準に満たない格子を登録しない機能の実装
  - ・ 真値推定の「軸固定」の基準軸に標高軸の設定を実装
  - ・ 真値推定の座標点を確認できる機能(断面出力)の実装
- ・ 差分解析
  - ・ 真値推定の一覧にデータの補間計算を実行したデータかどうかの表示を追加し、差分量の計算時に警告メッセージを表示する機能の実装
  - ・ 画面上を右クリックして表示されるメニューから陰影表示の ON/OFF を切替できる機能の実装
  - ・ ユーザが選択した範囲から、浮き剥落の判定を自動的に実施する機能の実装
  - ・ 「層間比較の詳細」の一覧表示を階の一覧と層の一覧の表示に分割して表示する機能の実装
  - ・ 残留層間の対象となる建物に対して、階の属性設定ができる機能の実装
  - ・ 差分出力において出力対象を「浮き」「剥落」と選択できる機能の実装
  - ・ 浮き・剥落を構面毎に分類しそれぞれの合計値を表として出力する機能の実装
  - ・ 残留層間変形角の一覧出力及び残留層間変位のグラフの画像を出力する機能の実装

### 3.3 今後に対する課題

#### 3.3.1 真値推定

- ・ 真値推定の計算時間の短縮

真値推定登録時にかかる時間を短縮する。

- ・ 真値推定のメモリ使用量の削減

真値推定登録時にメモリ不足で処理が中断されることを回避する。

(対応方法)

仮想メモリの設定を大幅に増やして実行したところ、10m×10mの領域で10分程度、100m×100mの領域で1.5時間程度の計算時間であったため、領域に含まれる点群の点数別、ストレージ環境(SSD/HDD)による検証を実施し、それぞれの推奨スペックを例示する。

#### 3.3.2 断面機能の改良

- ・ 複数の時期で同じ位置に断面を作成したい。

断面コマンドのビューのサイズ、目盛り等を全体的に改善する。

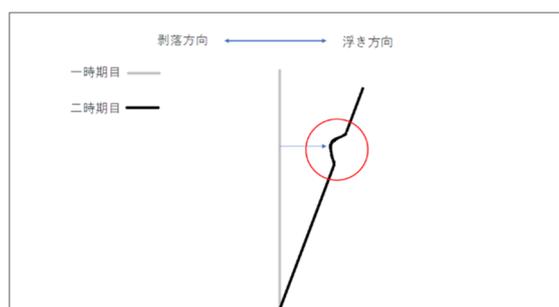
(対応方法)

断面登録のコマンドダイアログにボタンを追加し、断面の始点・終点をプロット登録する機能を追加する。1時期目の断面の始点・終点を登録することにより、2時期目以降の断面作成時に同じ位置を指定することが可能となる。

#### 3.3.3 差分計算

- ・ 被災による傾きを考慮した差分計算

下図の赤丸部分は実際には剥落しているが、建築物の傾きにより浮き方向にあるため、現時点では剥落として認識することが出来ない。



(対応方法)

法線ベクトルの情報を一時期目から二時期目へ移して行ければ可能との結論に至り、現時点では機能が不足しているため、実際にプログラムを試し計算が可能かどうかの検証を実施した上で、可能な範囲で進めることとする。

#### 3.3.4 その他

- ・ 文字サイズの変更(プロット文字と注釈文字を個別に変更可能に)

プロット文字と注釈文字の表示サイズが共通になっているので、それぞれサイズを変更できるよう

にしたい。

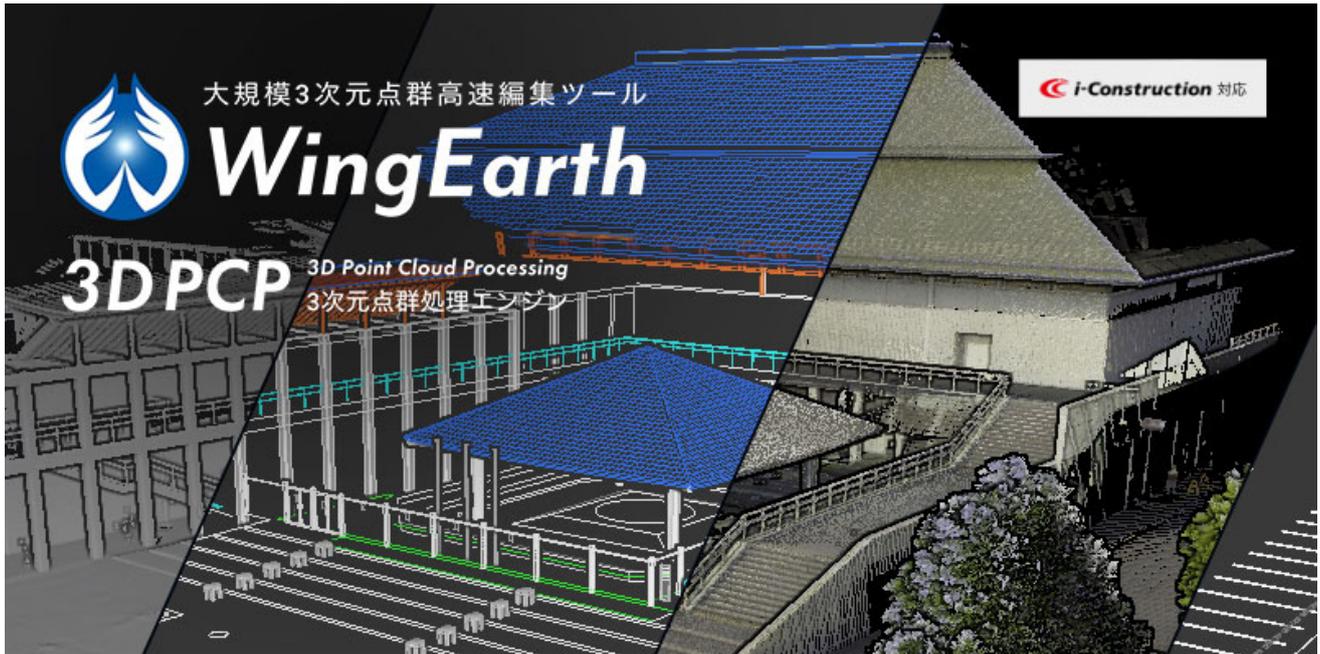
(対応方法)

環境設定の項目に、プロット文字と注釈文字のサイズを設定できる項目を追加する。

上記のプログラム改修に加え、本資料で検討した結果を、今後、「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)」にも反映することが期待される。

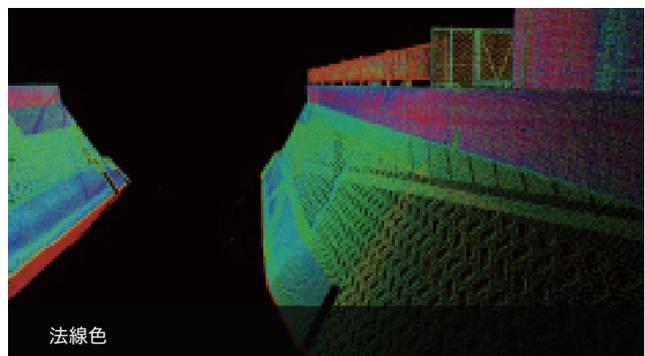
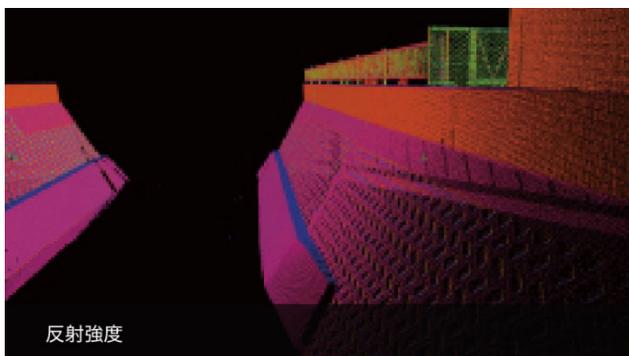
## 付録 1 使用したソフトウェアの特徴

本共同研究で損傷評価機能の開発や検証に用いたソフトウェア(大規模点群処理ツール WingEarth)の特徴を以下に示す。同ソフトウェアは、土木・測量設計、建築物や文化財、品質検査など業務や目的を限定せず、3次元点群処理を実施できるツールであり、被災建物の損傷評価を行う際に必要となるフィルタリング、面作成、点群合成の機能を有している(付図 1.1~1.4 参照)。本共同研究では、同ソフトウェアに開発した損傷評価用の機能を付与することで、検証を実施している。なお、本共同研究で開発された機能の一部は、建築物損傷評価(オプション)として既に実装されている(付図 1.5~1.6 参照)。



- 100 億点を超える点群データの利用を支える高速 3 次元点群処理機能を搭載。
- ワンクリックで点群を自動物体認識、エッジ抽出機能(特許取得)を搭載。
- 土木・測量設計、建築物や文化財、品質検査など業務や目的を限定せず、3 次元点群処理を身近な技術とした活用が可能。onstruction に対応した土量計算、ヒートマップの作成、出来形合否判定総括表などの成果物に対応。

・多彩な表示モード



- 目的に合わせた表示機能で作業環境を快適化。
- 点群の表示モード切り替えで 目的の点群にすばやくアクセス。視点を変えることなく物体同士の境を明確にし、わずかな凹凸を視覚で把握。集合体に影を付けたり、点群サイズの変更も自在で点群データを常に分かり易く把握が可能。

付図 1.1 ソフトウェアの概要

## ・グラウンドフィルタリング



フィルタリング前



フィルタリング後

- 点群から地表面・床面を瞬時に抽出。
- 点群から草木、車両や通行人、いすやテーブル・雑多に置かれているものの除去、グラウンドフィルタリングは簡単な指定だけでこれらをまとめて解決する。主なフィルタリング対象のパターン選択機能も搭載。

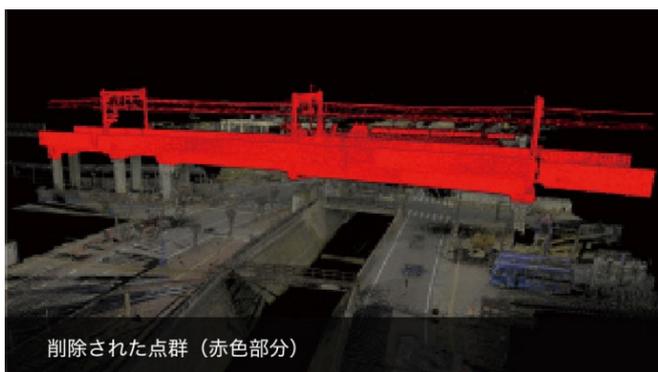
## ・グループ化



地物の種類・不要点群をグループで管理

- 点群をグループに分けることで点群を整理・管理。
- 点群全体から目的に合わせて点群をグループ化。地物属性ごとの分類や左岸・右岸、断面を構成する点群、不要な点群と必要な点群など、自在に名前付けして現場を「見える化」。

## ・削除復元

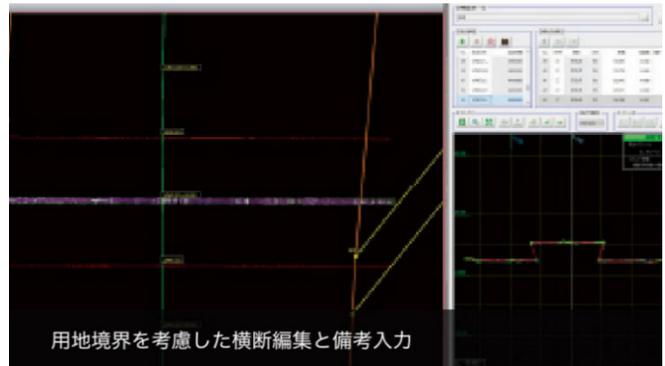


削除された点群（赤色部分）

- 削除した点群の履歴管理、いつでも欲しい点群だけ復元。
- 削除した点群であっても必要な点群のみを削除の履歴からいつでも復元可能。失敗を恐れることなく点群の利用ができるのは初めて点群を活用される方にも大きなメリットとなる。

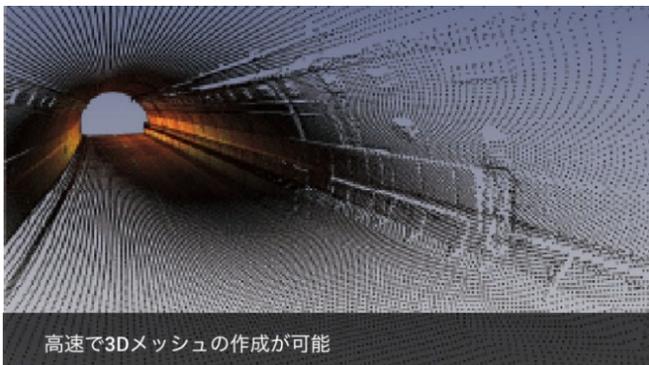
付図 1.2 ソフトウェアの概要

### ・測量データの融合



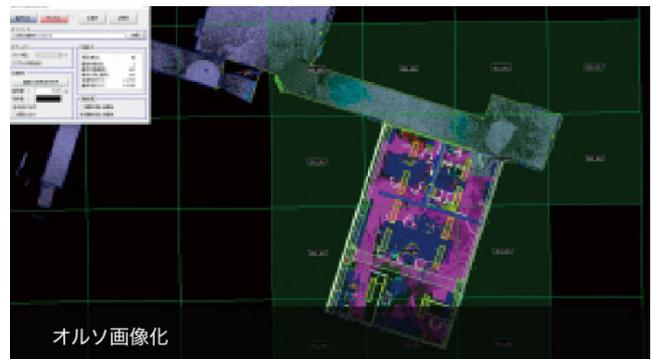
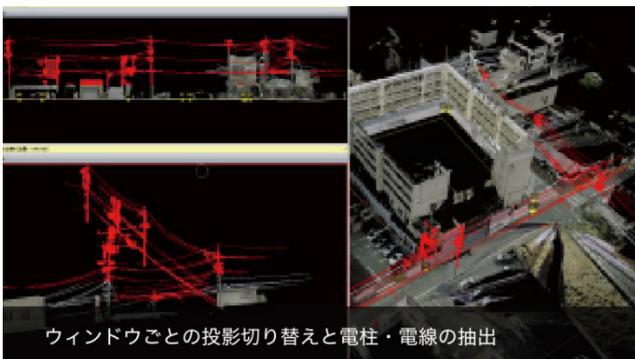
- 測量プロット・区画結線の重ね利用が可能。
- 用地測量や土地登記データ、地籍調査や災害復旧計測など、測量業務で扱う座標や土地形状(区画結線)のデータを重ねることで、点群と測量データを融合し、測量・登記・設計・土木の垣根を越えた利活用が可能。

### ・メッシュ・等高線



- トンネル対応の高速 3D メッシュや等高線の作図が可能。
- メッシュ作成方法に関する特許によってオーバーハングやトンネル形状に対応した 3 次元メッシュを素早く作成可能。縦横断現況の切り出しや CAD 図形として出力するなど 3 次元モデリングの基礎データとして活用が可能。グリッド状のメッシュ作成にも対応し、等高線の自動作成が可能。

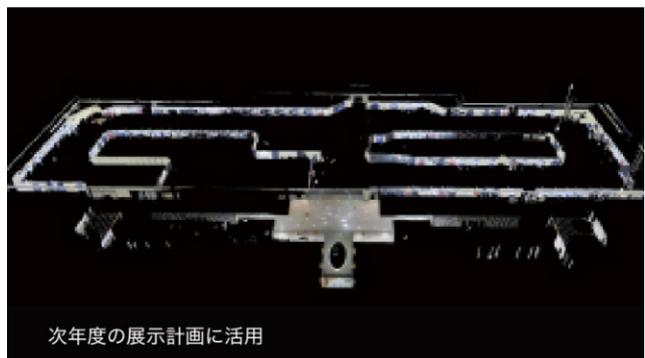
### ・投影とオルソ画像化



- 3 次元空間を自由に移動可能。
- 点群や図形を重ねた 3 次元空間での作業を快適にする4つの投影モード(平面・立面・透視・平行)を切り替え、マウスの直感操作だけで 3 次元空間を自由に移動可能。図形を重ね、点群表示モードを切り替えた状態でのオルソ画像化にも対応し、建築物・構造物の正面や面ごとの画像化、傾斜のある壁面、上空から見た様子などをすばやく利用できる。

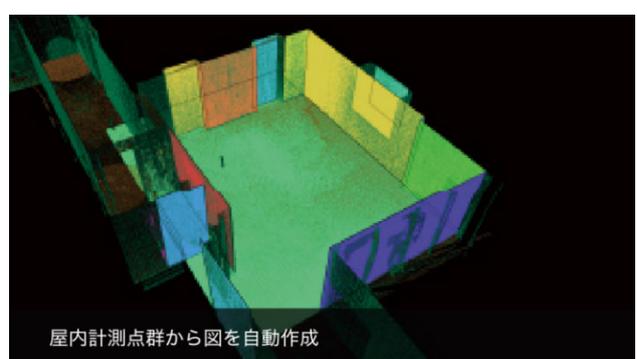
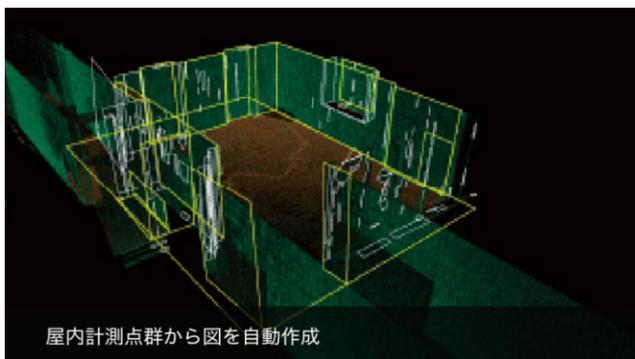
付図 1.3 ソフトウェアの概要

## ・スライス



- 点群を縦横、斜め、自在のスライス切り出しが可能。
- スライス「厚さ」のある四角形内にある点群をグループ化・画像化するツールで、建築物の外壁を構成する点群を方向別に取り出し、床・天井・壁面ごとに点群をグループ分けするのに最適なツールとなっている。橋脚の断面形状や横断面の構成点群の抜き出しなどにも活用が可能。

## ・面作成



- 壁面・床・天井の面データの高速生成が可能。
- 施設の屋内計測や外壁・看板・構造物などの点群から面の自動作成が可能。面は3次元図形として活用できるほか、スライス形状に転送でき、壁面ごとの画像化や座標値管理を可能にする。認識面の水平・鉛直補正や小面積面の自動除外、面同士のフィッティングによって管理データ作成を自動化可能。

付図 1.4 ソフトウェアの概要

# 建築物損傷評価

**WingEarth 新オプション** 本オプションは、「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)」に沿い、震災発生後、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に新設しました。建て替えの必要性や補修の判断において、現在は現場に足場を用意し計測・数値化している作業を、TLS を用いて短期間かつ安全に実施する事が可能となります。

本オプションソフトウェアは、国立研究開発法人 建築研究所「点群データを用いた被災建物の損傷 評価方法の普及に資する検討」プロジェクトへの共同研究参加から (令和 4 年 8 月 弊社 Web サイト発表) 被災建築物の損傷評価方法の妥当性の確認、その知見を取りまとめ損傷評価手法のマニュアルに沿った機能を実現しています。



災害・被災建築物に対するアイサンテクノロジーの取り組み

## 活用 idea

二時期差分による多彩な形状変化の分析が可能に

過去の計測点群と被災直後の計測点群を活用した補修補強計画用解析

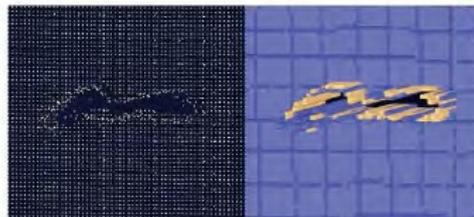
ひび割れ箇所からの浮き・剥落、建物階層形状の変形を解析・数値化

## 建築物損傷評価リボン



## ポイント — 真値とは？

建築物損傷評価オプションでよく出てくる言葉に「真値」があります。3次元計測の結果である点群は測定値であり、対象そのものの位置や大きさ(真値)ではありません。建築物損傷評価オプションは建物・擁壁等の壁・階構成を計測して求めた点群を使い、それら対象の真値を推定(本来の正常であるべき壁として扱い)、理論上の真値と実際の点群を比較することで損傷状態を数値化します。



評価対象の壁面点群と 真値推定面との比較



## 真値推定 一点群をもとにした差分算出のための基本数値整理

### 真値推定 --- ①

壁面領域を指定し点群の傾向から本来の壁面を推定します。推定壁面と実際の点群のスレを格子単位で数値化し、被災建築物の評価に活用します。X軸・Y軸に絞った算出が可能な〔真値推定(軸固定)〕も搭載します。

### 真値推定一覧・信頼性 --- ②・③

①の計算は②〔真値推定一覧〕③〔信頼性〕に名前(東側・壁面等)ごとに保存・管理されます。

②〔真値推定一覧〕: 名前や種別・領域など編集可能な一覧

③〔信頼性〕: 編集機能を持たず真値推定内容の確認・出力用の一覧  
それぞれ真値推定データの表示 ON/OFF 切り替えや〔書き込み〕による一覧・〔詳細〕の CSV 出力ができます。



### 真値推定表示・真値推定凡例表示 --- ④・⑤

④〔真値推定表示〕では①の結果を「密度」や「標準偏差」など4種のグラフィック表示を切り替えられます。

⑤〔真値推定凡例表示〕は作業空間右下に④の着色凡例を表示(または非表示)します。



真値推定の信頼性 CSV ファイル出力



## 差分量計算 2期の計測点群から「浮き」「剥落」を解析・数値化

### 差分量計算・差分量計算一覧 --- ⑥・⑦

⑥〔差分量計算〕では2期の計測点群(例: 震災前と震災後の建物)それぞれの真値推定から差を求めます。

⑦〔差分量計算一覧〕には⑥の結果が保存・管理され、XYZ位置ごとの差分データを CSV 出力できます。

### 浮き・剥落・浮き・剥落一覧 --- ⑧・⑨

⑧〔浮き・剥落〕では差分量計算を使用して壁面の「浮き」「剥落」を算出します。

⑨〔浮き・剥落一覧〕では⑧の結果が保存・管理され、XYZ位置ごとの差分データを CSV 出力できます。

### 差分量計算表示・差分量計算凡例表示 --- ⑩・⑪

⑩〔差分量計算表示〕では差分量計算の結果を「差分結果」と「欠落状況」の2種類のグラフィックで表示します。

⑪〔差分量計算凡例表示〕は⑩の着色凡例を作業空間右下に表示(または非表示)します。



## 残留層間の解析 複数期の計測点群から階層の変形や傾斜を解析・数値化

### 基準位置・基準位置一覧 --- ⑫・⑬

⑫〔基準位置〕建物の各階層に基準位置を設け層間を比較するための基準位置とします。

⑬〔基準位置一覧〕は⑫で登録した基準位置を一覧管理します。

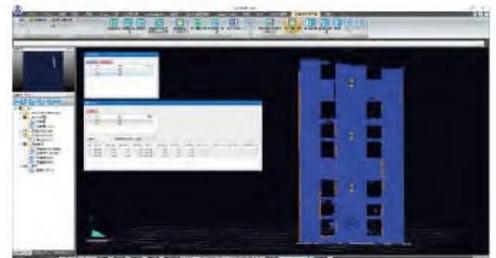
### 層間・層間一覧 --- ⑭・⑮

⑭〔層間〕では⑫の基準位置をもとに建物の階層構成を登録します。

⑮〔層間一覧〕では⑭で登録した層間の一覧保存・管理と、各階層のデータ確認ができます。

### 層間比較 --- ⑯

⑯〔層間比較〕では⑭で登録した層間データ同士を比較し、XY 標高の差分算出や残留層間変形角(%)を算出でき、〔書き込み〕から CSV やクリップボードへの出力が可能です。



階層間の変形を解析

## 付録 2 UAV レーザ点群を用いた損傷評価の概要と課題

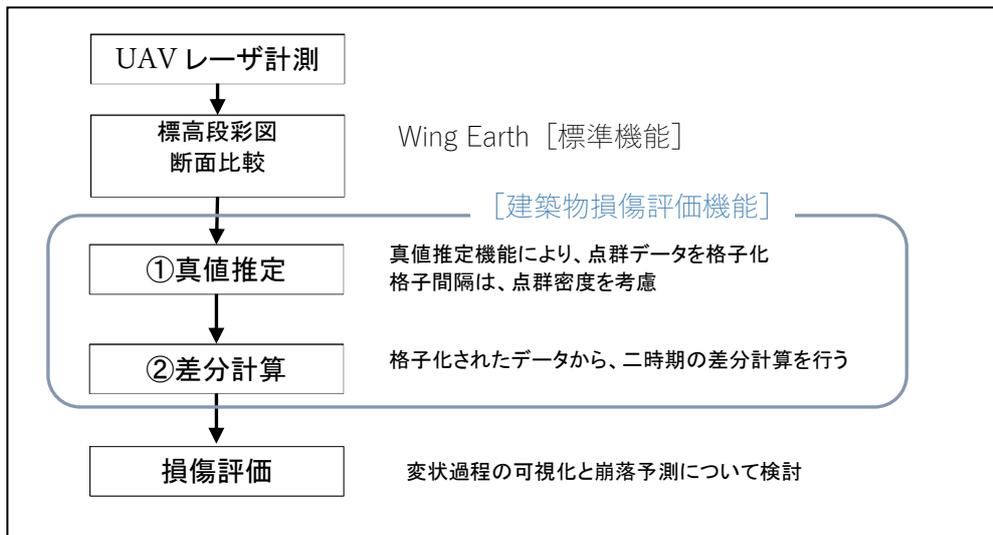
### ・概要

震災時に UAV レーザ点群を用いて建築物の損傷判定の可能性について検討するため、2020 年から 2025 年、長崎県端島(通称:軍艦島)のコンクリート建築群屋上面を計測対象として UAV レーザ計測点群による屋上面の損傷判定について検討を行ってきた。この検討の軸となる建築研究所が 2023 年(令和 5 年)7 月に策定した二つのガイドラインがある。①『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)』は、航空レーザ点群を用いて地震により生じた崩壊建築物の分布を把握するための手法について記載している。②『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)』は、主に被災した鉄筋コンクリート系建築物の壁面を対象として、被災状態の確認作業を地上レーザスキャナ計測によって代替する手法を記載している。

UAV レーザ点群を用いた損傷評価はこの二つのガイドラインの間に位置付けされ、建築物屋上面の損傷評価を行うものである。

### ・Wing Earth「損傷評価機能」の活用

UAV レーザ点群を用いた損傷評価には、アイサンテクノロジー社の点群処理ソフト Wing Earth「建築物損傷評価機能」を利用し、損傷度および経年変化等を可視化し、崩落予測について検討を行った。UAV 計測点群を用いた建築物損傷評価手順を付図 2.1 に示す。



付図 2.1 UAV レーザ点群による Wing Earth 損傷評価

・活用例(屋根マップの作成)

1) Wing Earth 建築物損傷評価機能を利用した屋上面経年変化の可視化手順

UAV レーザ計測は中域(0.1k m<sup>2</sup>未満)を対象とした①全棟計測と狭域(建物一棟)を対象とした②詳細計測を行い、屋上面の経年変化について屋根マップを作成した。

付表 2.1に屋根マップ作成に使用した Wing Earth 機能を示す。

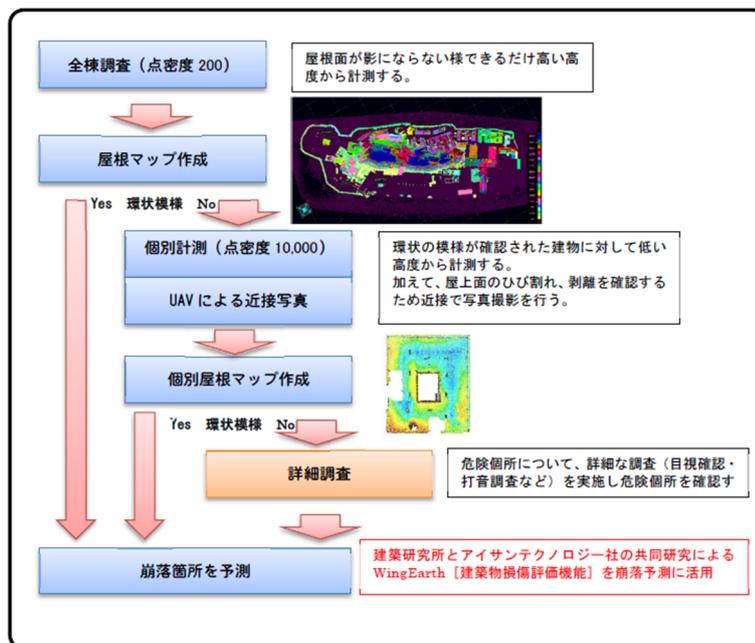
付表 2.1 Wing Earth 機能(屋根マップ作成)

Wing Earth	機能	備考
標準機能	標高段彩図	屋根面の標高分布(勾配等)可視化
損傷評価機能	真値推定	点群のノイズ外れ値除去・平均化
損傷評価機能	差分解析	二時期の変状分布について可視化
標準・損傷評価	断面図	断面比較(変状の進行度等を可視化)

・全棟屋根マップ・詳細屋根マップの概要

端島全域を計測対象とする①全棟屋根マップは屋上面の計測点密度を1 m<sup>2</sup>あたり200点を標準とし、②詳細屋根マップは屋上面の計測点密度を1 m<sup>2</sup>あたり1万点を標準としてUAVレーザ計測を実施し、屋根面の崩落予測を行うものである。(付図 2.2)

- ① 全棟計測:端島全域(東西約 150m×南北約 500m)の建築物屋上面  
計測点密度:1 m<sup>2</sup>あたり 200 点を標準とする。
- ② 詳細計測:端島 30 号棟を対象  
計測点密度:1 m<sup>2</sup>あたり 1 万点を標準とする。



付図 2.2 屋根マップによる建築物損傷評価フロー

## ・課題

屋根マップによる崩落予測に Wing Earth の有用性が認められる結果が得られた。2025 年より実施している UAV 計測点群の品質評価に Wing Earth を利用しているが、現在の損傷評価機能は地上レーザ点群に最適化されているため、UAV レーザ点群を真値推定処理する際に、外れ値として過大に評価され除外される点群が発生することを確認した。このため、UAV レーザ用の閾値の最適化など損傷評価機能の改善が望まれる。

## ・WingEarth による検討

共同研究が始まる前からの検討事項・ルールとして、外れ値は外すということになっていたため、WingEarth の機能もそれを前提として搭載されている。UAV レーザ点群を処理する場合、格子の大きさが大きい場合に除外されてしまう点が多くなるとの観点もあることから、閾値の設定等で対応が可能か引き続き検討することとなった。

### 付録 3 構造解析ソフトウェアとの連携模索

土木分野で利用が進んでいる点群データを建築分野においても広く展開するためには、CAD や FEM(有限要素法)といった建築系のソフトウェアとの連携が不可欠である。点群技術は実測によって得られる建築物の形状データを時系列に沿って取り扱うことができるため、本報告書で主題としている被災建築物の損傷評価に加え、建築物の施工時には出来形確認、建築物の使用時には維持管理や改修等に活用することが考えられるが、ここでは有限要素解析に点群データを活用することを考える。

有限要素解析は、構造物を小さな要素(メッシュ)に分割し、これらの要素の集合体として構造解析を行う手法であり、構造物の挙動をより精緻に再現する手法として、建築分野においてもその利用が進んでいる。点群による実測データを用いて有限要素解析に用いるモデルを作成することができれば、設計図面だけでは考慮できない寸法の誤差や地震で生じた残留変形や損傷箇所(浮き・剥落等)の反映など、より詳細な分析を実施できる可能性がある。

「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)」では、被災建築物の外周面を対象に損傷評価のための計測を行うことを想定している。計測できるデータが外周面のみの場合、付表 3.1 に示すように部材幅の情報が不明であるため、有限要素解析で再現できるモデルは四辺形要素に限られ、部材幅の情報を別途与える必要がある。一方、被災建築物の外周面に加え、内周面の計測を行うことができれば、2 構面の距離から部材幅を推定することができ、六面体要素を用いたモデル化を行うことも可能となる。

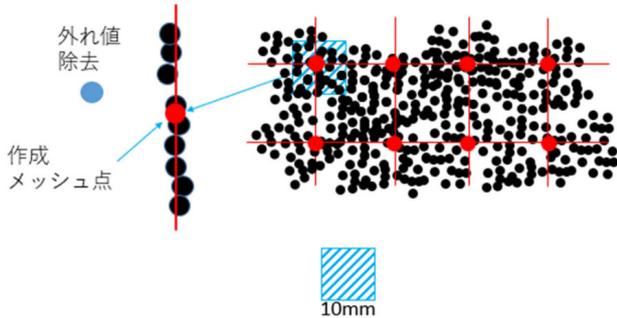
付表 3.1 点群データの計測方法と生成可能な有限要素解析モデル

点群データの計測方法	生成可能な有限要素解析モデル
外周面、内周面のいずれか (隅柱等を除くと、部材幅の情報は不明)	平面要素や積層シェル要素といった四辺形要素によるモデル化 (部材幅は条件として別途与える必要がある)
外周面、内周面の両方 (2 面間の距離から、部材幅が推定可能)	四辺形要素に加え、六面体要素を用いたモデル化も可能

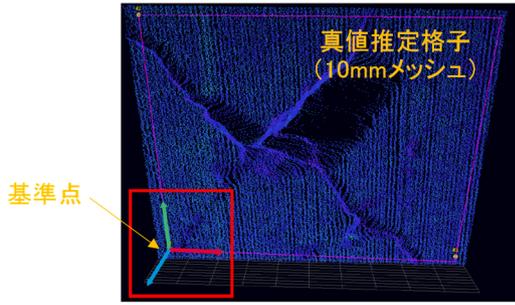
また、「地上レーザスキャナを用いた被災建築物の補修補強計画に資する計測および損傷評価の手引き(案)」では、地上レーザスキャナで計測した点群データそのものではなく、評価対象面における真値推定を行ったデータ(付表 3.2 参照)を損傷評価に用いている。真値推定とは、最頻値面を定義し、その面に対して±5mm に含まれる点群を用いて平均化処理したデータのことで、付図 3.1 に示すように、10mm の正規メッシュデータとして構成されている。また、付図 3.2 に示すように、格子点の座標に加え、基準点からの格子位置や離れ量といった情報も保有している。

付表 3.2 点群データの種類

種類	情報
点群データ	座標
真値推定データ	座標、基準点からの位置、基準面からの離れ量等



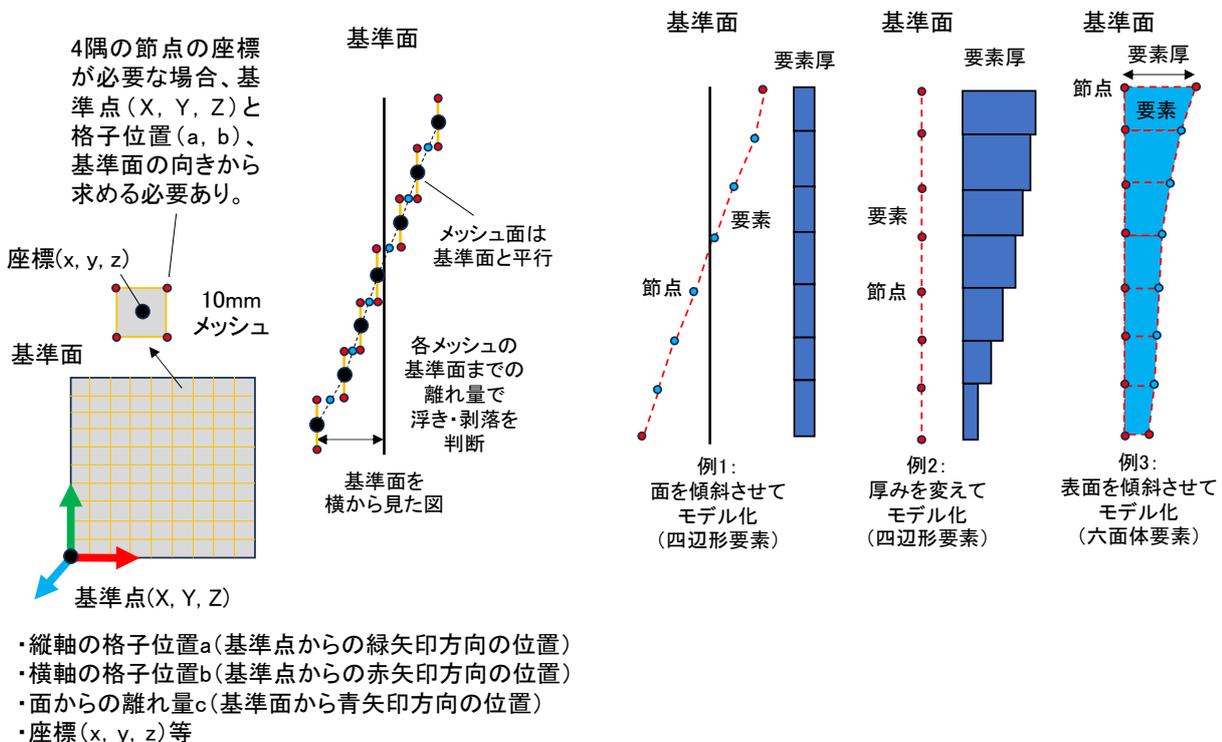
付図 3.1. 手引き(案)に記載されている  
10mm の正規メッシュデータ



- ・縦軸の格子位置(基準点からの緑矢印方向の位置)
- ・横軸の格子位置(基準点からの赤矢印方向の位置)
- ・面からの離れ量(基準面から青矢印方向の位置)
- ・座標(X, Y, Z)等

付図 3.2 真値推定されたメッシュの情報

有限要素解析で用いるメッシュ寸法は、真値推定データのメッシュ寸法(10mm)よりも通常大きいため、真値推定データのばらつきや、局所的な損傷の状況(剥落の範囲等)を複数のメッシュで統合して、モデル化を行う必要がある。付図 3.3 に例を示すが、真値推定データは基準面に対して並行であり、基準面までの離れ量が別途定義されることから、真値推定データから有限要素解析モデルを構築するには、基準面までの離れ量を基に四辺形要素を傾斜してモデル化する方法(例 1)や、四辺形要素を傾斜させずに要素厚のみを変更してモデル化する方法(例 2)、六面体要素の一面のみを傾斜してモデル化する方法(例 3)などが考えられる。なお、有限要素解析で四辺形要素や六面体要素をモデル化するには、要素を構成する節点の座標を定義した上で、各要素を構成する節点や中間節点を決められた順で指定する必要がある。



付図 3.3 有限要素解析モデルの構築

なお、市販の有限要素解析のソフトウェアには、インポートした CAD 形式のファイル情報からメッシュを自動生成する機能を持つものがあることから、真値推定データを CAD 形式に変換して、有限要素解析ソフトウェアに読み込ませる方法も考えられる。有限要素解析のソフトウェアが読み込み可能な CAD の形式\*としては、中間ファイル形式 (stp、step、igs、iges) や AutoCAD 形式 (dwg、dxf) が挙げられる。

\* DIANA User's Manuals:

<https://manuals.dianafea.com/d107/en/1181807-1181856-import-files.html> (2026 年 2 月 17 日閲覧)