

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 I

実施報告書

2026年3月

株式会社 アイ・エス・ピー（現社名：株式会社土木管理総合試験所 ISP 開発部）

国立研究開発法人 建築研究所

目次

1. 実施概要.....	1
1-1. はじめに	1
1-2. 目的	1
1-3. 期間.....	1
1-4. 実施項目	1
1-5. 参加者	2
2. 実施内容.....	3
2-1. 評価フロー	3
2-2. 実施内容	6
2-2-1. 「⑥複数データの読み込み」の開発と結果	6
2-2-2. 「①計測データの座標系(XY 平面)の調整機能」の開発と結果	12
2-2-3. 「②部材の損傷評価面の抽出機能」の開発と結果.....	16
2-2-4. 「③計測点群の真値推定機能」の開発と結果	20
2-2-5. 「④データの信頼性について確認する機能」の開発と結果	22
2-2-6. 「⑤被災前と被災後の差分解析を実施できる機能」の開発と結果.....	45
2-2-7. 「⑥損傷評価結果を算定に用いるデータ抽出機能」の開発と結果.....	51
2-3. 開発したソフトウェアを用いた作業フローに基づく被災建築物の損傷評価手法の検証	60
2-3-1. 概要	60
2-3-2. 検証結果 西面(ScanPos005).....	61
2-3-3. 検証結果 南面(ScanPos003).....	68
2-3-4. 検証結果 東面(ScanPos001).....	74
3. 3か年のまとめと今後の課題	88
3-1. まとめ	88
3-2. 今後の課題	91
付録 1. 使用したソフトウェアの特徴	93

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株式会社アイ・エス・ピー（現社名：株式会社土木管理総合試験所 ISP 開発部）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 I」（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、機能の開発や検証に用いたソフトウェアの概要については、付録 1 を参照されたい。

1-2. 目的

本資料は、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データを用いて被災建物の損傷評価手法の実施を行うための共同研究の内容を取り纏めたものである。本資料では、同損傷評価手法の今後の開発を進める上で必要となる機能の確認や問題点の把握等を行うことで、今後、同機能を有するソフトウェアが開発され、広く普及するように、その支援を行うことを目的としている。なお、上記の検証を行うため、本資料では損傷評価に必要な機能を付与したプロトタイプソフトを作成して検証を行った。

1-3. 期間

自) 2022 年 7 月 26 日 ～ 至) 2025 年 3 月 31 日

1-4. 実施項目

本研究の実施項目を、表-1 に示す。

表-1 実施項目

①複数データの読み込み
①計測データの座標系(XY 平面)の調整機能
②部材の損傷評価面の抽出機能
③計測点群の真値推定する機能
④データの信頼性について確認する機能
⑤被災前と被災後の差分解析を実施できる機能
⑥損傷評価結果を算定に用いるデータ抽出機能

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

株式会社アイ・エス・ピー 丹羽貴大、向博幸、松橋秀行、遠藤信乃、波場貴士

九州工業大学大学院 根本直行

株式会社 フィールドテック 村山盛行

2. 実施内容

2-1. 評価フロー

図- 1 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ためのフローを示す。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）」に準拠したものとしている。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。

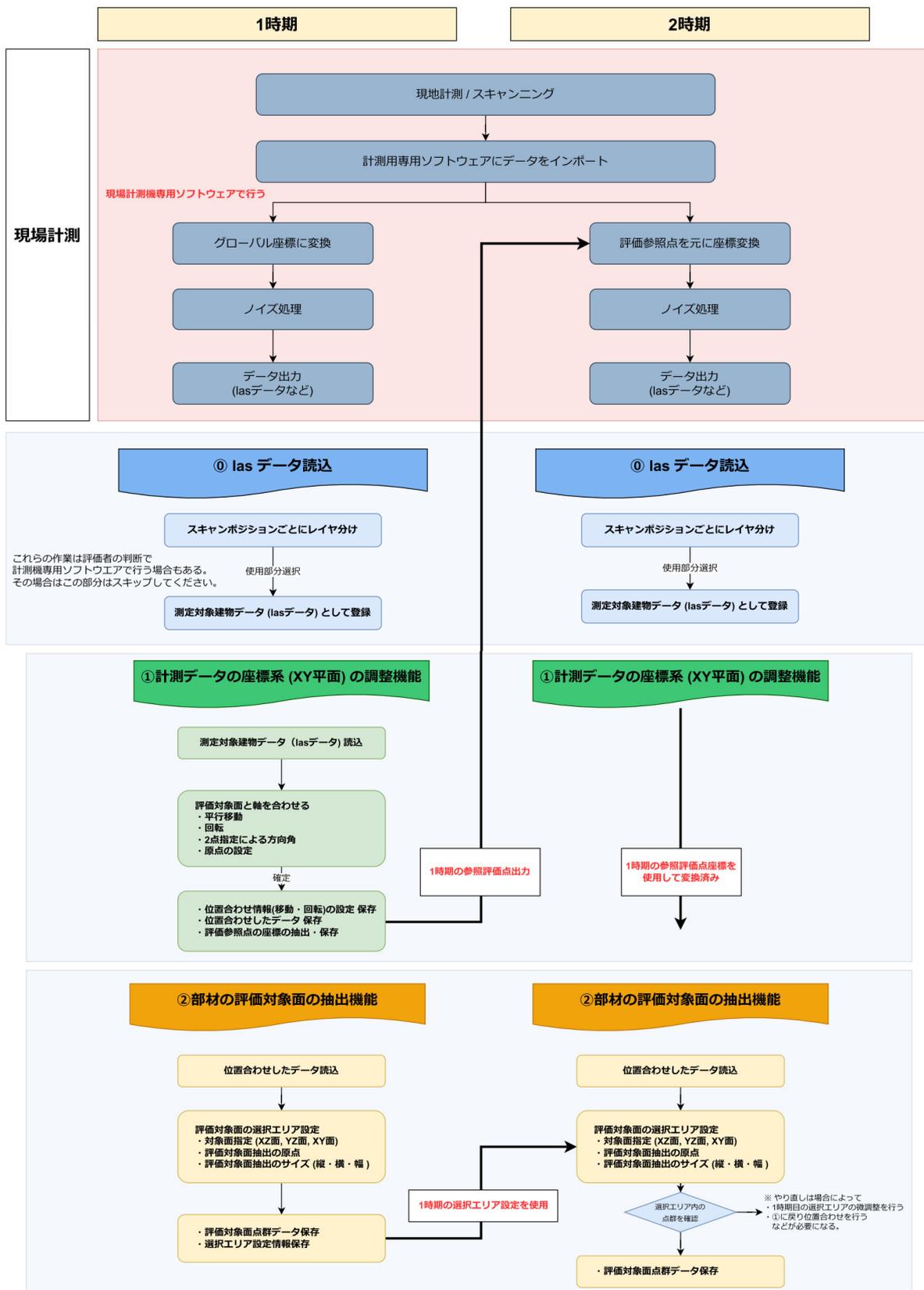


図- 1 評価フロー

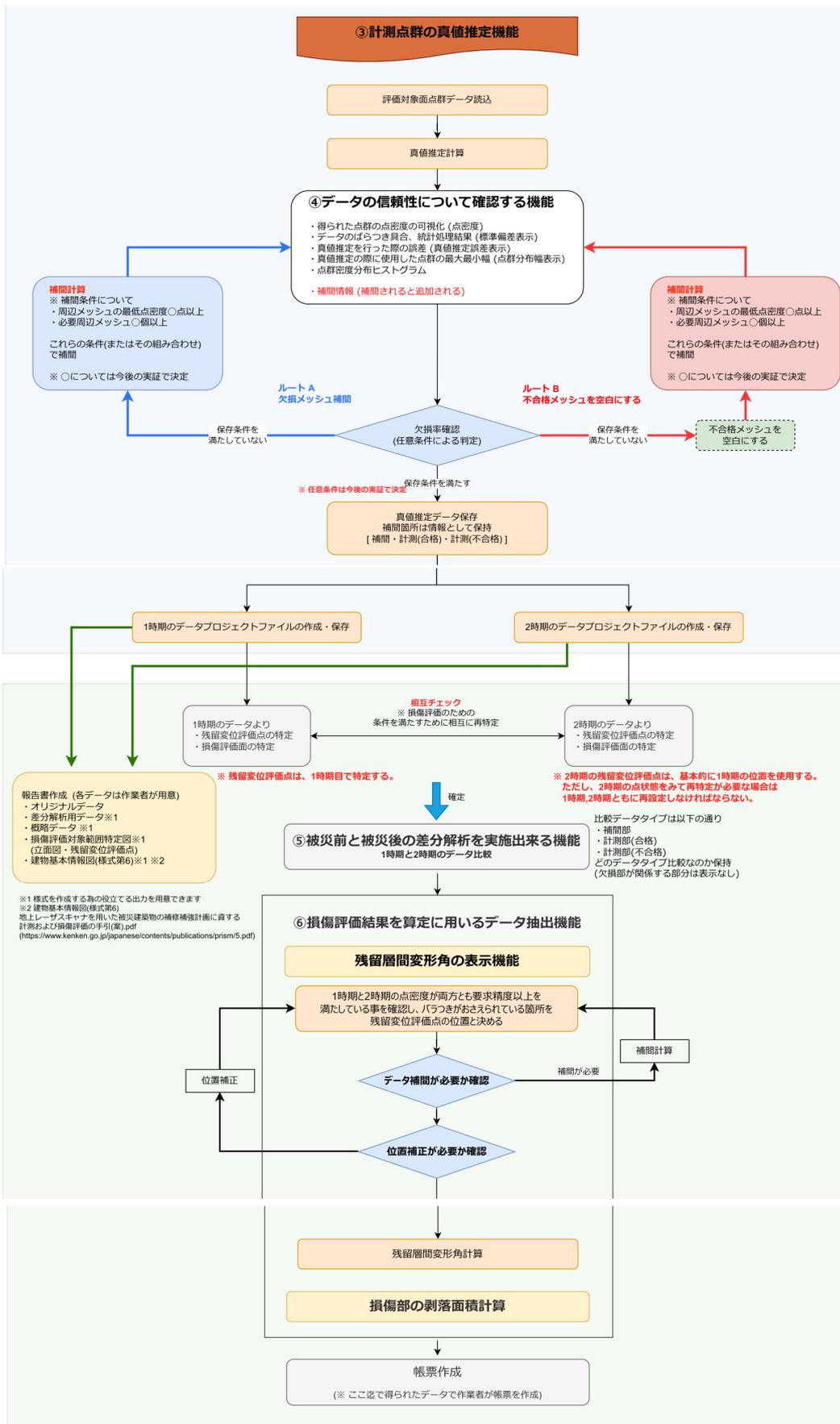


図-1 評価フロー

2-2. 実施内容

本共同研究では、3次元空間設計システム LandForms をベースに、損傷評価を目的とした以下の機能を構築し、必要となる機能を満足するかどうか検討した。

2-2-1. 「④複数データの読み込み」の開発と結果

a. 機能の内容

- ・ las データの読み込みが可能であること
- ・ 複数データを読み込んでプロジェクト作成が行えること

一般的な避難所と同等程度と思われる大型建物の計測を行い、その計測データを用いて大容量の点群データの読み込みが可能かどうか検証を進めた。計測データの概要については、以下の図-1~3 に示すとおりである。現地では壁面 1cm² あたり 25 点以上となるように計測を行っている。ノイズ処理前は約 5 億 6 千万点のデータであったが、周辺の建物や道路、敷地等の建物以外の点などをノイズ（不要点）として処理している。その結果、大幅なデータ容量の削減につながっている。なお、1cm²あたりの点数は、別ソフト「LandForms」の点密度判定機能で確認した。点間隔最小 1mm のデータである。



図- 2 計測対象（写真）

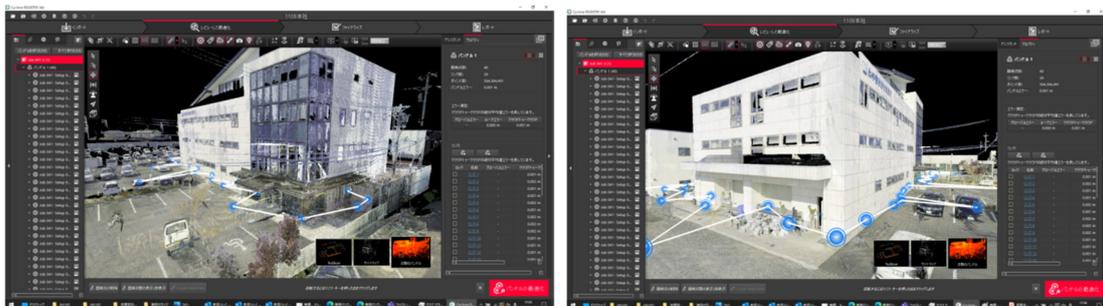


図- 3 レジストレーション状況

データ詳細	内容	
計測機器	地上レーザスキャナー Leica RTC360	
計測時間	5 時間	
点数	ノイズ処理前 : 562,615,141 点	ノイズ処理後 : 155,171,344 点
データ容量	las 14.2GB (pts 21.2GB)	pts 5.6GB
対象建物	R C造 (鉄筋コンクリート造 4 階) 用途 : 研究棟	
計測壁面	外壁 : 3 面 (北面・東面・南面)	

〔ノイズ処理済みの点群計測データ〕



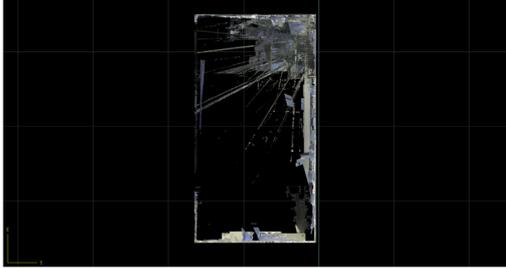
北東角より



南東角より



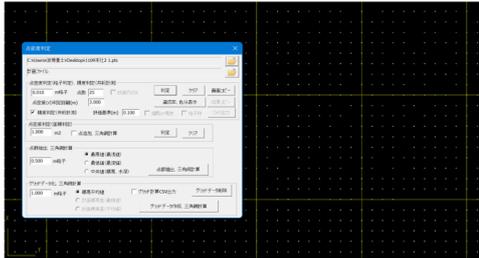
北西角より



上空より



壁面の点群データ状況



点密度判定した結果

図- 4 計測データの概要

b. 作業フロー

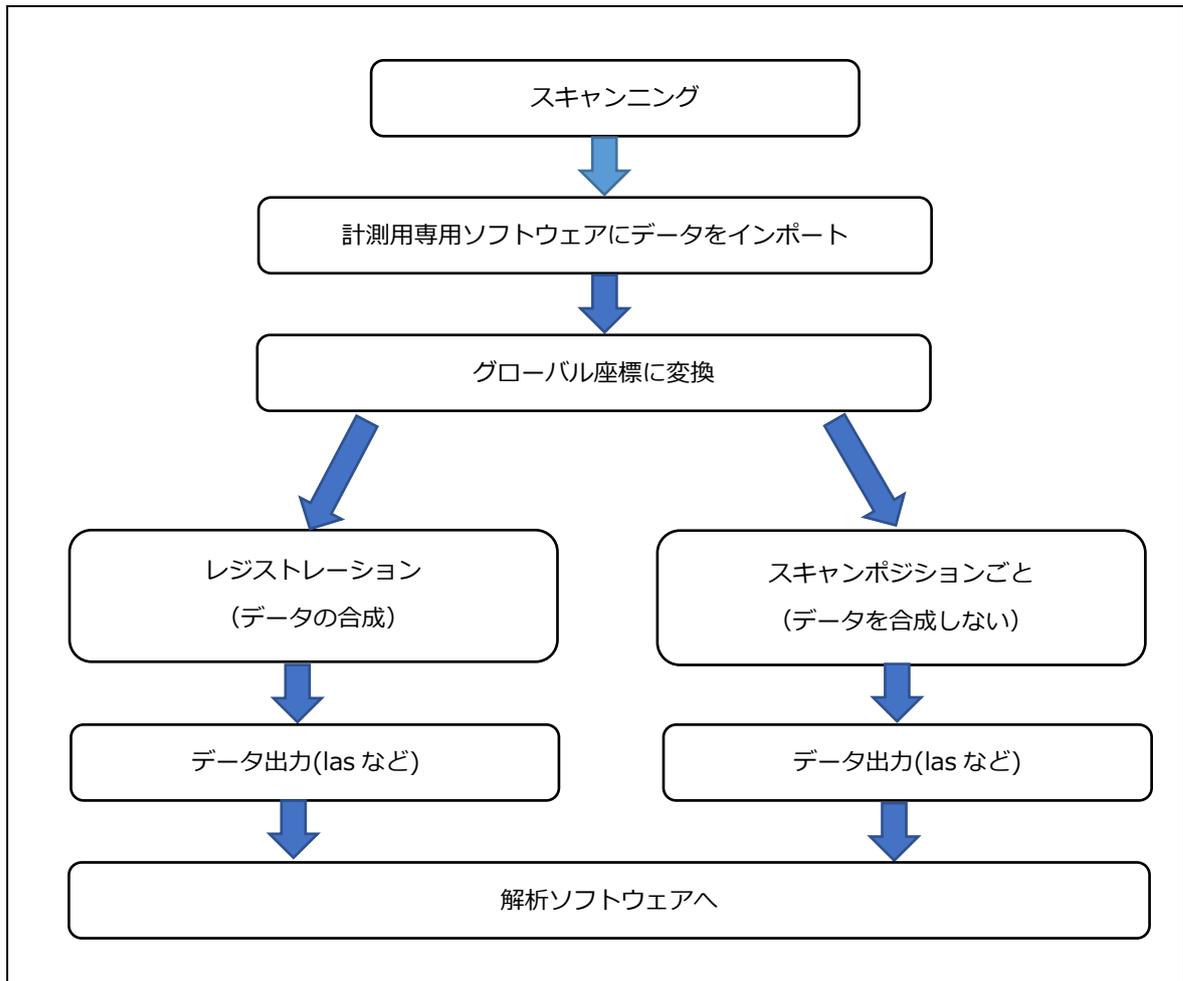


図- 5 現場計測側の作業フロー

プロトタイプ版でデータ読み込みを行った結果を図- 6 に示す。ここでは、インポート時間の確認を行っている。また、データ読み込みに使用したパソコンの仕様について図- 7 に示す。

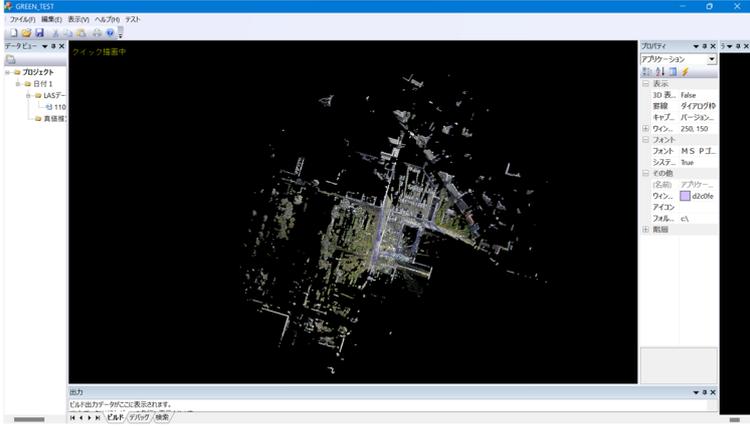
点 数	562,615,141 点
データ容量	las データ 14.2GB (ノイズ処理前のデータ)
インポート時間	51 秒
結果表示	

図- 6 インポート動作結果

プロセッサ	12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-1260P 2.10GHz
実装 RAM	32.0GB (31.7GB 使用可能)
システムの種類	64 ビット オペレーティングシステム、x64 ベースプロセッサ
Windows の仕様	Windows11 Pro

図- 7 使用したパソコンの仕様について

プロトタイプ版でのデータ読込テストを行った結果を図- 8 に示す。ここでは、最大読込可能容量の確認を行っている。データ読み込みに使用したパソコンの仕様について図- 9 に示す。

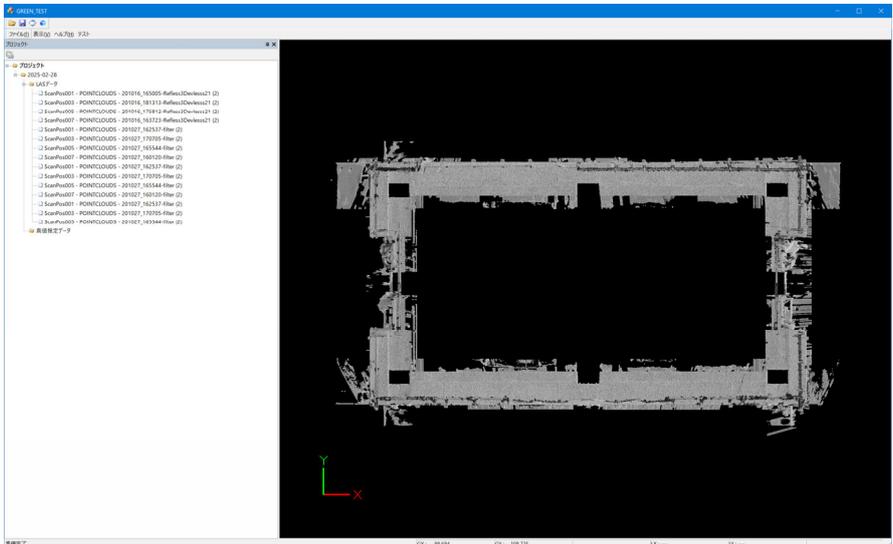
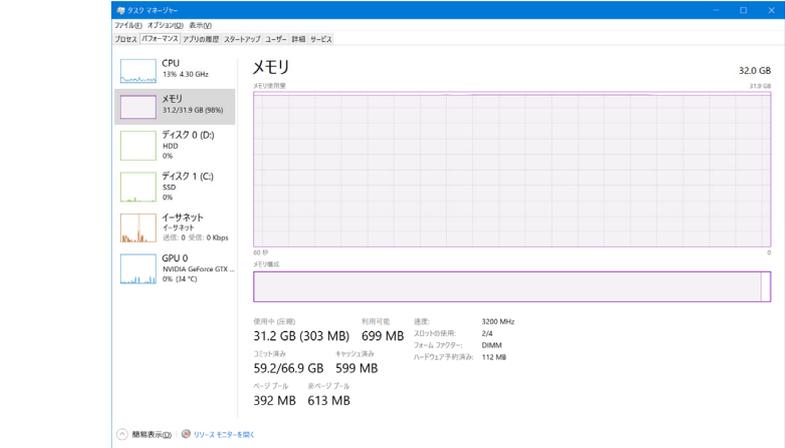
点 数	1,646,175,644 点(16.4 億)
データ容量	E-ディフェンスデータ 61.2GB (1 時期+2 時期×2 セット+d)
結果表示	 

図- 8 最大読込可能容量の結果

プロセッサ	Intel(R) Core(TM) i7-10700 CPU @ 2.90GHz (16 CPUs)
実装 RAM	32.0GB (31.5GB 使用可能)
システムの種類	64 ビット オペレーティングシステム、x64 ベースプロセッサ
Windows の仕様	Windows10 Pro

図- 9 使用したパソコンの仕様について

プロトタイプ版でのデータ読み込みテストを行った結果を図- 10 に示す。ここでは、E-ディフェンスデータを用いて損傷評価を一通り行い、プロジェクト作成の保存/読み込みが行えることを確認した。データ読み込みに使用したパソコンの仕様について図- 11 に示す。

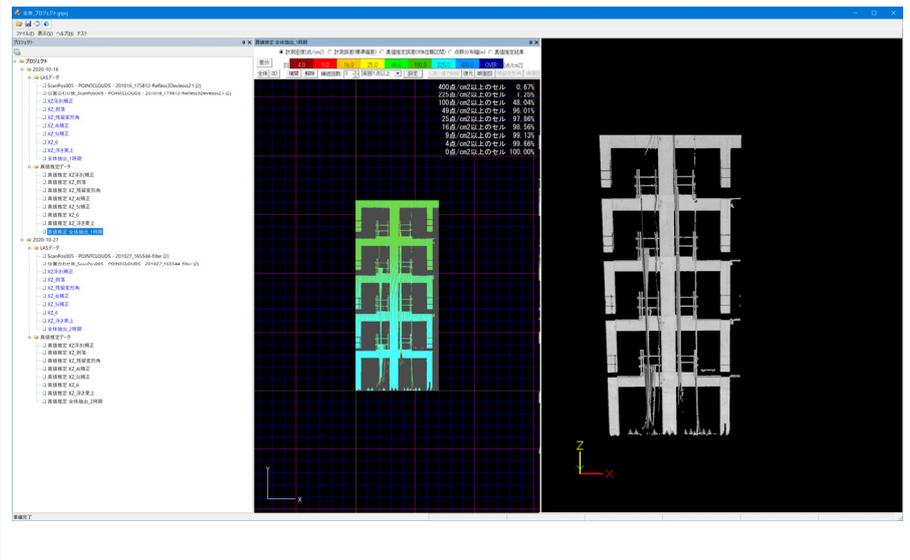
点 数	約 2 億点
データ容量	E-ディフェンスデータ scan005
結果表示	

図- 10 E-ディフェンスデータ読み込みの結果

プロセッサ	Intel(R) Core(TM) i7-10700 CPU @ 2.90GHz (16 CPUs)
実装 RAM	32.0GB (31.5GB 使用可能)
システムの種類	64 ビット オペレーティングシステム、x64 ベースプロセッサ
Windows の仕様	Windows10 Pro

図- 11 使用したパソコンの仕様について

2-2-2. 「①計測データの座標系(XY 平面)の調整機能」の開発と結果

a. 機能の内容

- ・ 現地座標系に基づいた値を利用した座標管理が行えること
- ・ 対象構造物の壁面が扱いやすいように、数学座標での建物の主軸に沿った座標系に変換できる機能を有すること

原則、計測データは現地座標系に基づいた値で取り扱われる。対象構造物の壁面が X 軸および Y 軸に平行になっていない場合があるため、読み込んだ las データからソフトウェア内部で対象構造物の面が扱いやすいように X 軸および Y 軸に沿った数学座標系に変換することができる機能が求められている。機能のイメージを以下の図- 12 に示す。

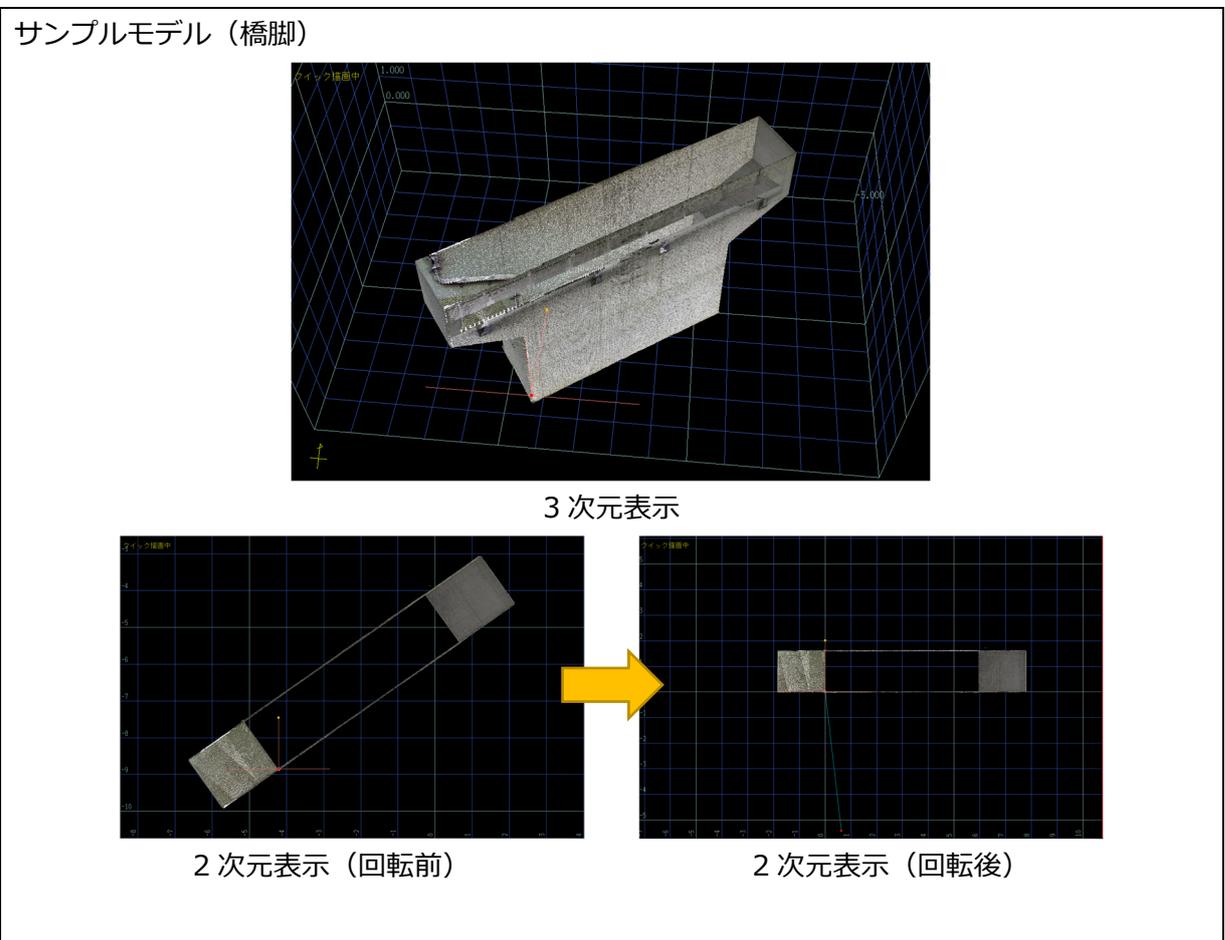


図- 12 機能のイメージ

b.作業フロー

機能内容を反映したプロトタイプを用いて座標軸回転の検証を行い、その際に出た意見や課題点を修正して、機能およびオペレーションの動作確認を実施した。以下に示す作業フローのキャプチャについては、プロトタイプ版をまとめたものである。計測データの座標系(XY平面)の調整機能についての作業フローを図- 13 に示す。

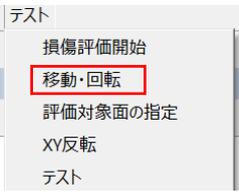
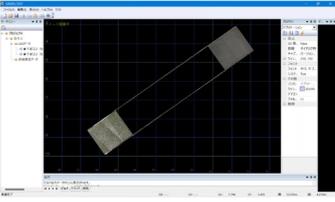
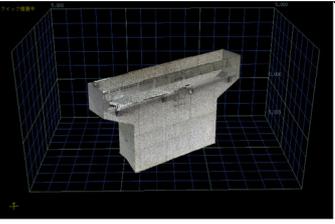
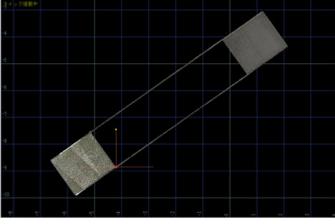
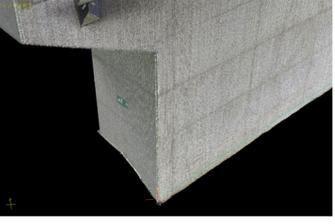
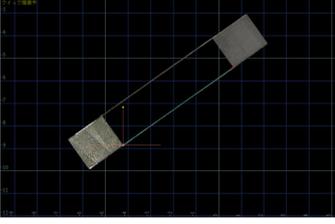
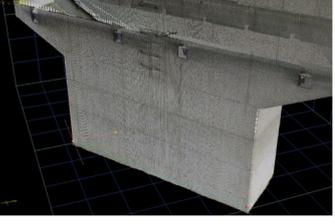
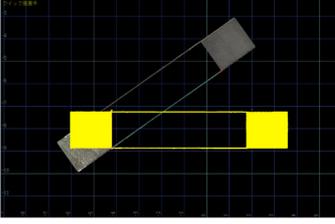
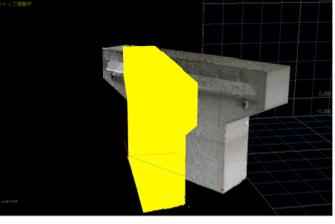
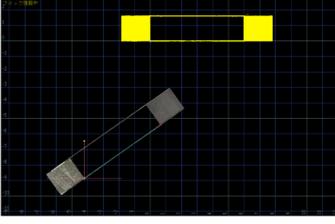
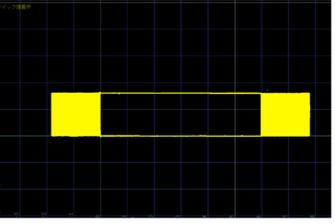
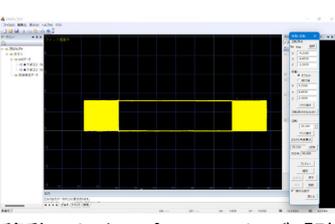
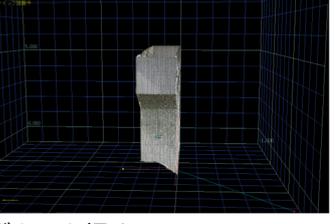
	作業内容	参考図	
		2次元表示	3次元表示
1	<p>lasデータをデータイン</p> 		
データ読み込後に「移動・回転」を選択する。			
2	<p>回転原点の選択</p> 		
「回転原点」ボタンを押して点をピックし、最後に「登録」を押す。			
3	<p>2点目をピックする</p> 		
「2点から角度算出」ボタンを押して2点目をピックする。			
4	<p>X軸へ移動</p> 		
回転「反映」ボタンを押して軸を回転させる。あとは角度ダイアログにより微調整を行っていく。			
5	<p>回転原点 0,0,0 へ移動</p> 		
軸があつていれば回転原点 (X,Y,Z=0,0,0) へ移動させる。			
6	<p>回転原点確定</p> 		
移動した点で合っていれば「確定」ボタンを押す。			

図- 13 作業フロー

設定メニュー内のボタン表示と機能については、**図- 14** を参照されたい。

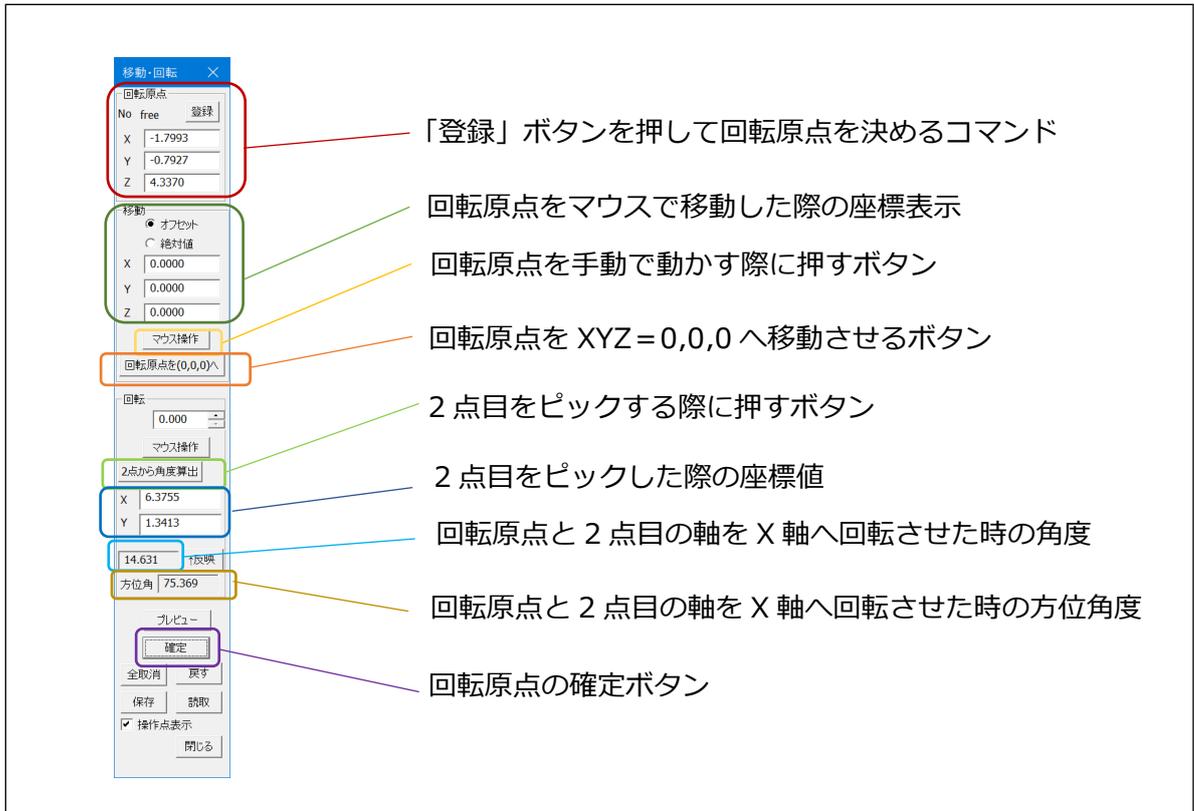


図- 14 設定メニューの内容

2-2-3. 「②部材の損傷評価面の抽出機能」の開発と結果

a. 機能の内容

- ・真正面と側面を抽出できる機能
- ・基準面に対して±0.05m(任意設定)のデータ抽出が行えること

メッシュ点のデータから評価対象面を定義し、点群を抽出して表示する機能が求められている。評価対象面の指定方法は座標値の範囲、視覚的に手動で選択など、特に決まった方法はないが、評価対象面の損傷を考慮した範囲(基準面±0.05m など)で点群を抽出する必要がある。機能のイメージを以下の図- 15 に示す。

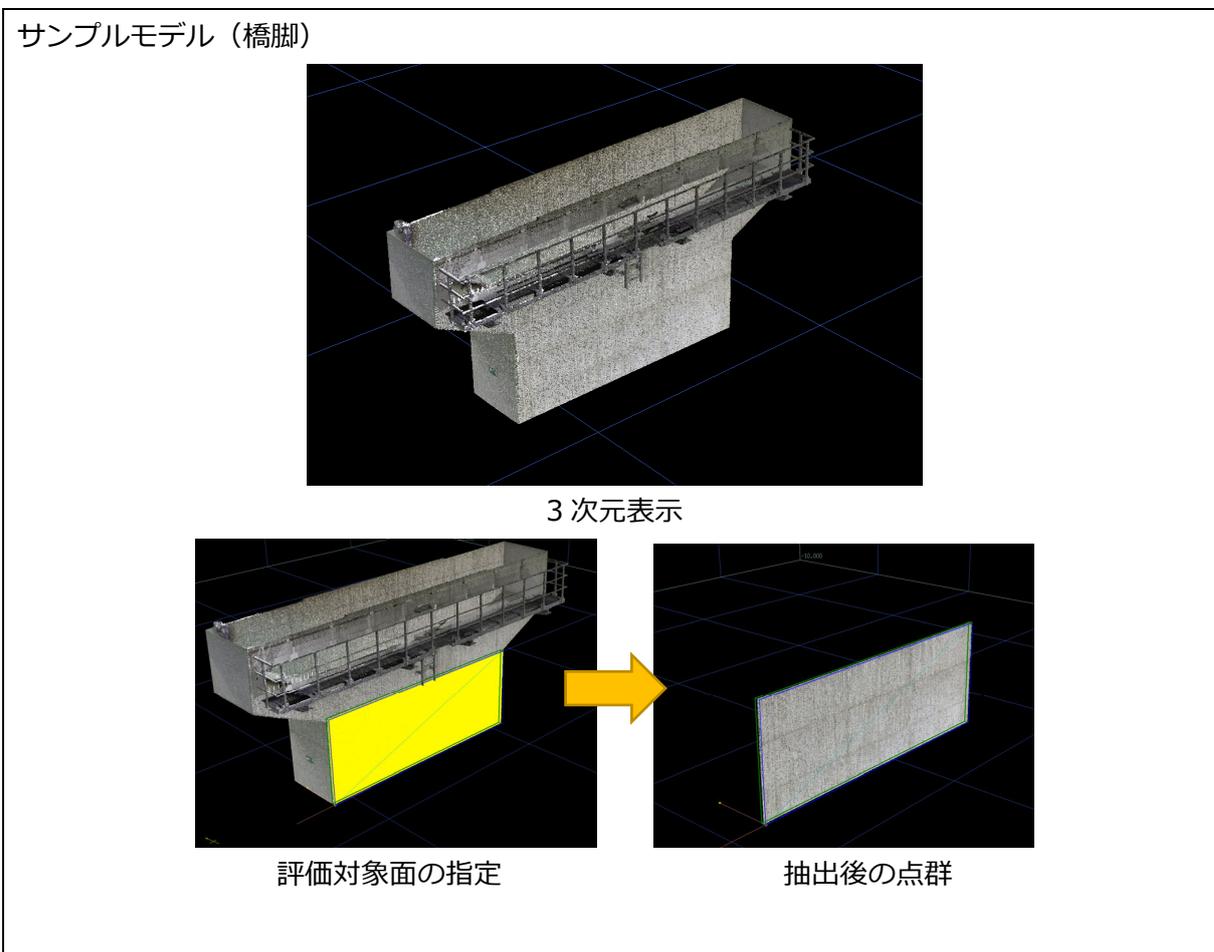


図- 15 機能のイメージ

b. 作業フロー

機能内容を反映したプロトタイプを用いて損傷評価面の抽出の検証を行い、その際に出た意見や課題点を修正して、機能およびオペレーションの動作確認を実施した。以下に示す作業フローのキャプチャについては、最終案のプロトタイプ版をまとめたものである。部材の損傷評価面の抽出機能についての作業フローを図- 16 に示す。

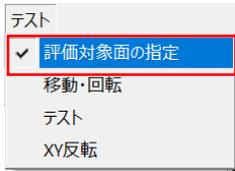
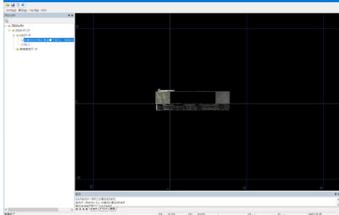
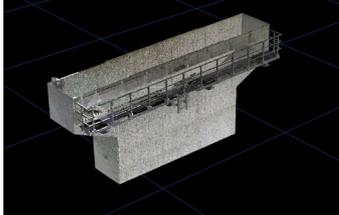
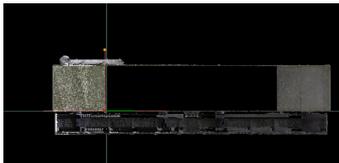
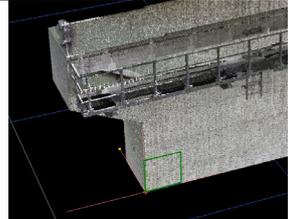
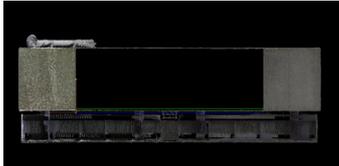
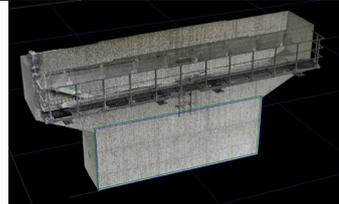
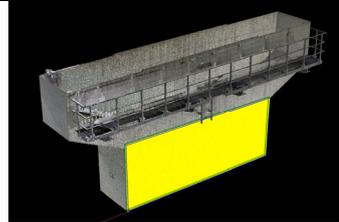
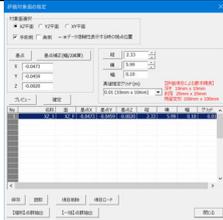
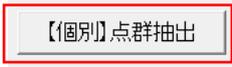
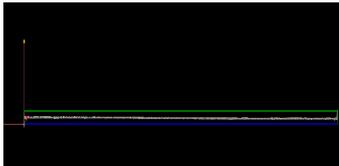
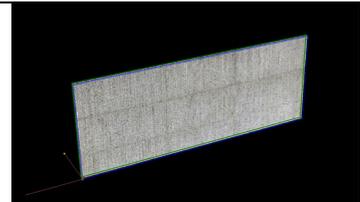
	作業内容	参考図	
		2次元表示	3次元表示
1	座標変換済データをロード 		
		データ読込後に「評価対象面の指定」を選択する。	
2	基点の選択 		
		「基点」ボタンを押して点をピックし、数値入力で位置の微調整をする。	
3	評価面をピックする 		
		「縦」「横」ボタンを押して評価面のサイズを合うようにピックする。	
4	基点位置を補正する 		
		「基点補正」ボタンを押して枠を調整する。 プレビューを見ながら点群が枠線の範囲内になるように調整する。	
5	プレビューを確認後確定 		
		「確定」ボタンを押すとリストへ追加される。	
6	評価面を抽出 		
		損傷評価面だけ抽出。あとは同様に面を抽出していく。	

図- 16 作業フロー

設定メニュー内のボタン表示と機能については、**図- 17** を参照されたい。

抽出する面の軸を選択

「基点」ボタンを押して抽出する基点座標を決めるコマンド

基準面±幅(m)のように抽出する為に基点を補正するボタン

「縦」「横」ボタンを押して抽出サイズを決めるコマンド

抽出面設定の確定ボタン(設定値をリストへ転記)

選択しているリストの設定値を上のダイアログへロードするボタン

載っているリスト全てに対して点群抽出を実行するボタン

選択しているリストで点群抽出を実行するボタン

【個別】点群抽出

【一括】点群抽出

項目ロード

項目削除

読み取り

保存

閉じる

プレビュー

確定

手前側

奥側

※データ信頼性表示する時の視点位置

対象面選択

XZ平面

YZ平面

XY平面

基点

X

-0.0473

Y

-0.0459

Z

-0.0020

基点補正(幅/2減算)

縦

2.33

横

5.99

幅

0.10

真値推定グリッド(m)

0.01 (10mm x 10mm)

【評価項目による要求精度】

浮き 10mm x 10mm

剥落 20mm x 20mm

残留変形 100mm x 100mm

No	名称	面	基点X	基点Y	基点Z	縦	横	幅	グリッド
1	XZ_1	XZ_F	-0.0473	-0.0459	-0.0020	2.33	5.99	0.10	0.01

図- 17 設定メニューの内容

2-2-4. 「③計測点群の真値推定機能」の開発と結果

a. 機能の内容

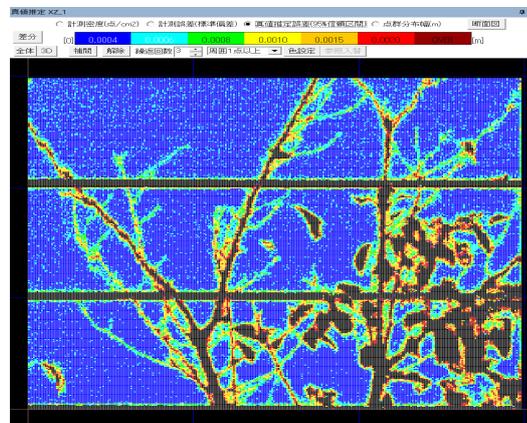
- ・外れ値を除いたエリア平均値を基にメッシュ点を計算する機能

3次元点群データから1cmのメッシュデータを作成する。この際、外れ値を除いたエリア平均値から信頼性の高いメッシュ点を作る（真値推定処理）。真値推定後のメッシュ点データが以後の解析に使用されるベースのデータとなる。機能のイメージを以下の**図-18**に示す。

サンプルデータ（咲洲庁舎）



3次元表示



真値推定の実行後

図- 18 機能のイメージ

b. 作業フロー

機能内容を反映した初回版のプロトタイプを用いて真値推定の検証を行い、その際に出た意見や課題点を修正して、機能およびオペレーションの動作確認を実施した。以下に示す作業フローのキャプチャについては、プロトタイプ版をまとめたものである。計測点群の真値推定機能についての作業フローを図- 19 に示す。

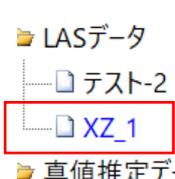
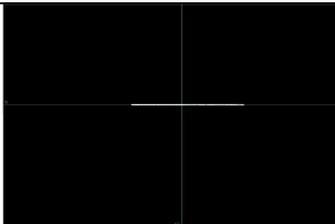
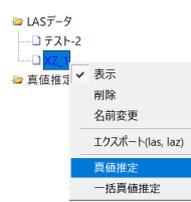
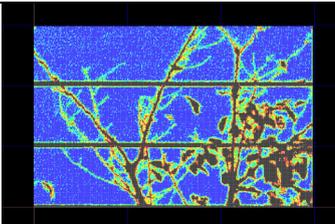
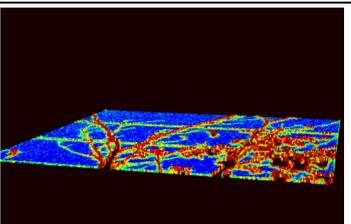
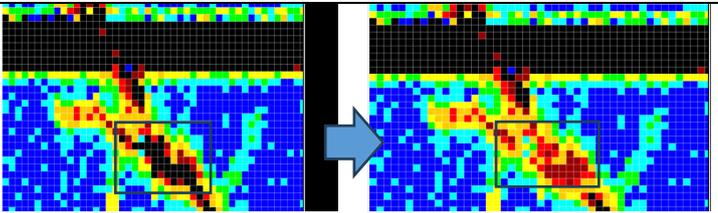
	作業内容	参考図	
		2次元表示	3次元表示
1	損傷評価面をデータイン 		
2	真値推定の実行 	 真値推定結果が表示される。	
3	(必要であれば)補間の実行 	 「補間」ボタンを押して、補間したい箇所を枠内にする。	

図- 19 作業フロー

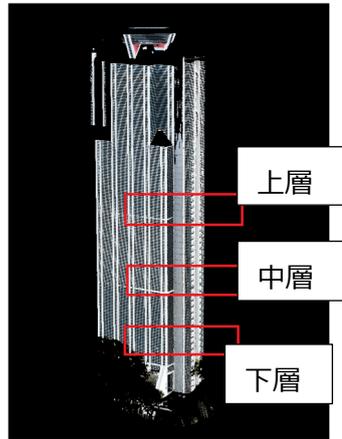
2-2-5. 「④データの信頼性について確認する機能」の開発と結果

a. 機能の内容

- ・ カラーバーの再設定とカラー選択ボタンの設置
- ・ 点密度表示（カラーグラデーション表示）
- ・ 標準偏差表示（カラーグラデーション表示）
- ・ 真値推定誤差表示（カラーグラデーション表示）
- ・ 点群分布幅表示（カラーグラデーション表示）
- ・ データ整合性の可視化表示（カラーグラデーション表示）

メッシュ点を求めた際に使用した点の数、その際の統計情報（標準偏差、最大値、最小値）をメッシュ点データに内部的に付加しておき、その情報を可視化できる機能を開発した。可視化の際には、カラーバー設定の選択により、目的に応じた表示ができる。機能のイメージを以下の図- 20 に示す。

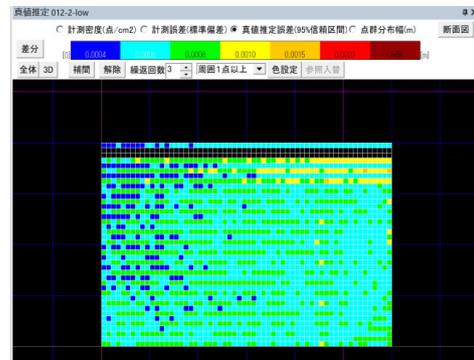
サンプルデータ（咲洲庁舎）



3次元表示



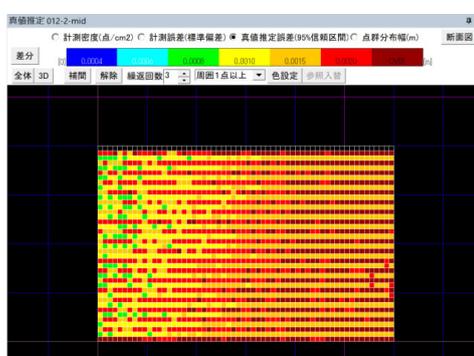
下層部分（単独ポジション）



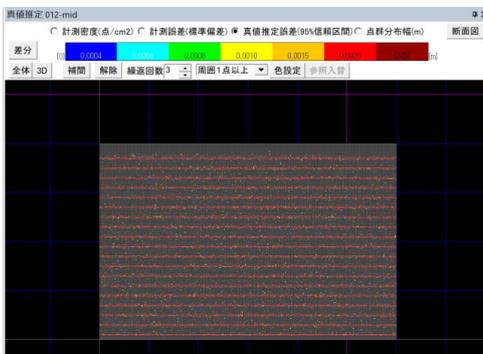
下層部分（複数ポジション）



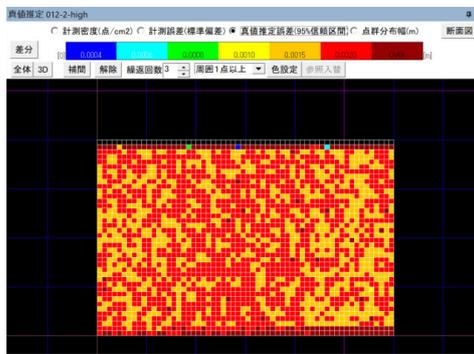
中層部分（単独ポジション）



中層部分（複数ポジション）



上層部分（単独ポジション）



上層部分（複数ポジション）

図- 20 機能のイメージ

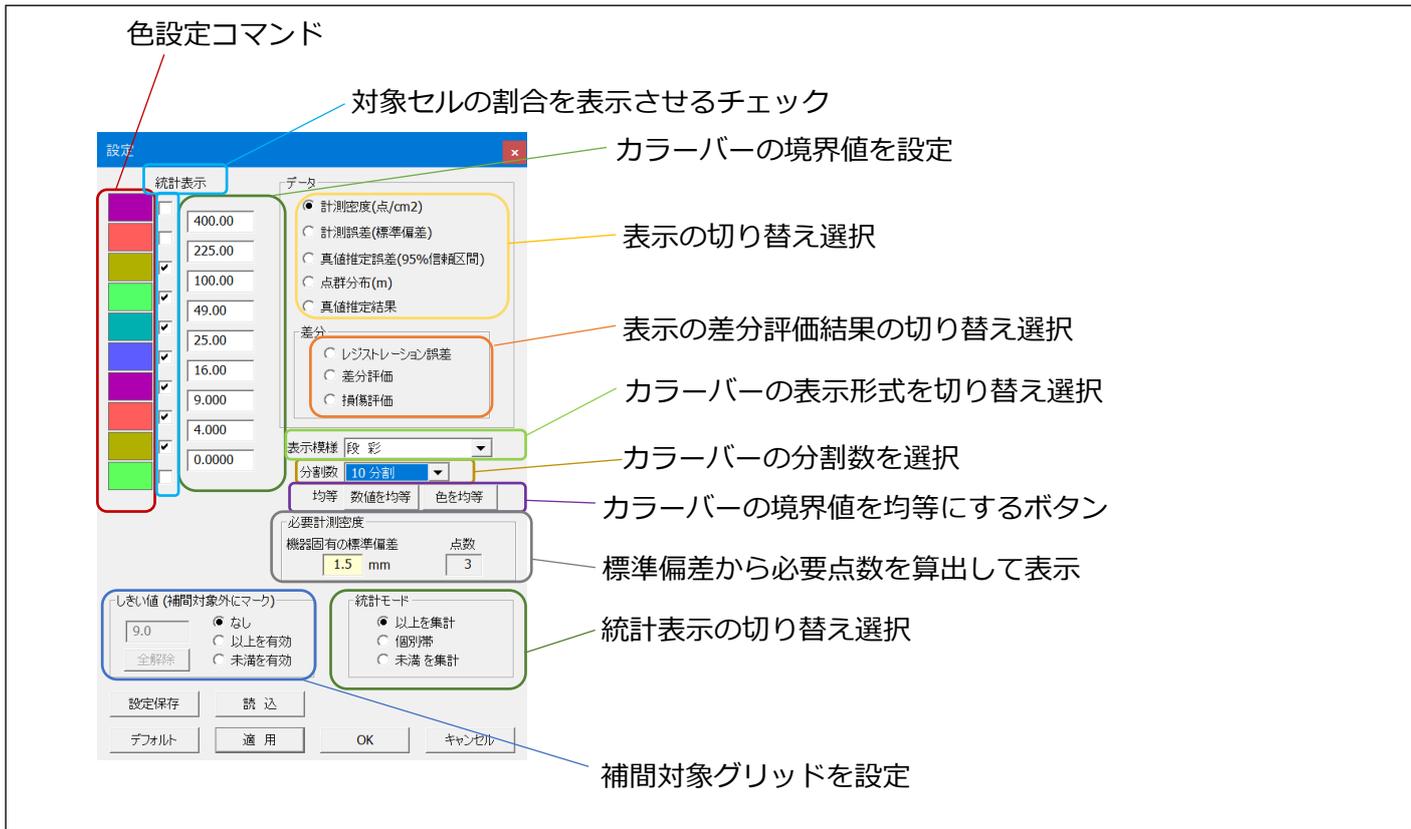


図- 22 設定メニューの内容

c. 検討の内容と結果

打ち合わせでの意見や懸念される課題点について、検証した結果を示す。

1) 表示模様について

●課題

「表示模様」の選択に「段彩」と「中央分割段彩」があるが違いは何かという疑問が上がった。

●対応

「中央分割段彩」は 0 を中央として 2 分割する変則的な段彩設定にする機能であるが、計測密度(点/cm²)の場合には 0 未満の表示は不要であり、分割数を 2 にすれば同様の表示ができる為、「中央分割段彩」の選択自体を無くすこととした。

2) 計数表示について

●課題

「計数表示」で個別の点割合を出したい時は、引き算して自分で算出するのかという懸念が上がった。

●対応

「計数モード」の「個別帯」を選択することで、表示できる機能を実装した（**図- 23** 参照）。

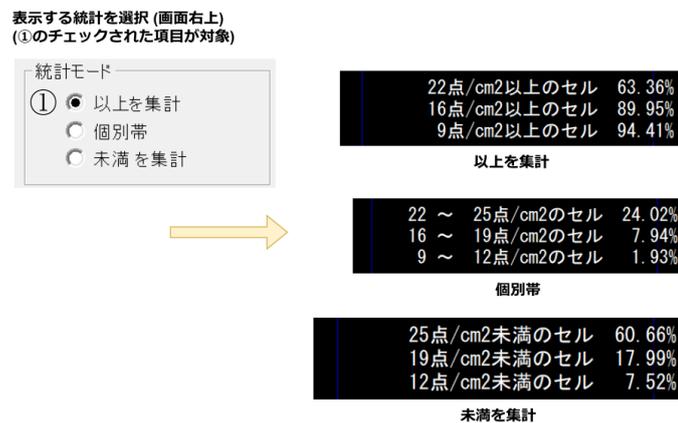


図- 23 計数モードの個別帯を選択

3) しきい値による削除について

●課題

ソフトウェアを実際に操作し、初めに要求点密度未満を消してから補間を行っていくという補間作業の手順を確認した。その際に以下の意見が出た。

- ① 周囲〇点以上あったら補間するなどのルール作りは必要。
- ② グリッドを上から補完していくのと、下から補完していくのでは結果が変わる。

●対応

補間に対してルール制限を設けることとし、制限値はパラメータで設定できるようにすることとした。以下が可変パラメータ項目となる。

- ・必要周辺メッシュ〇個以上
- ・周辺メッシュの最低点密度〇点以上

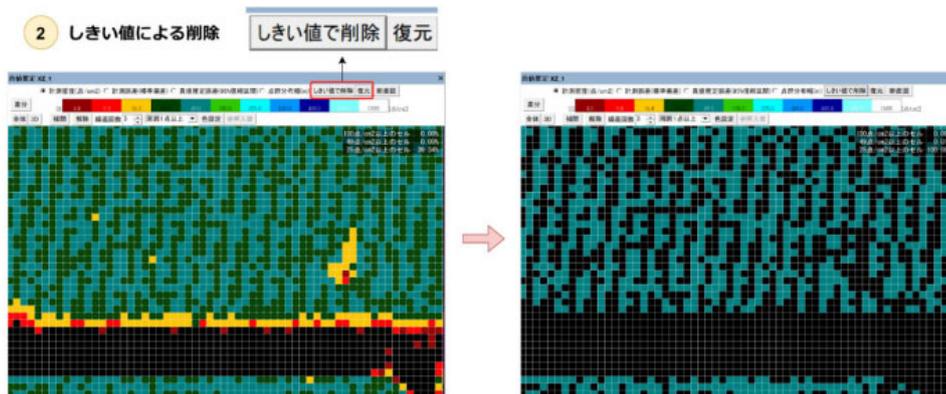


図- 24 しきい値による削除機能

※本機能は評価フローの B ルートに当る機能（しきい値未満のデータを全て消す機能）

4) 差分析の表示項目について

●課題、対応

表示仕様について、以下の確認・修正を行った。

- ・「レジストレーション誤差」は、同時期同士が対象となるのが正しい。
- ・「単体評価」は、差分析の項目ではなく、計測密度(点/cm²)などと同じ項目に移動する。また、名称を「単体評価」から「真値推定結果」とする
- ・「差分評価」は、1 時期と 2 時期の平均値（XZ 平面なら Y の値）の差
- ・「微分評価」と「表面性状評価」の項目は不要

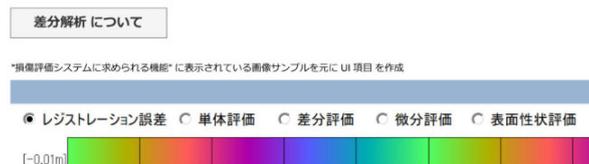


図- 25 差分析の表示項目

5) データのばらつきについて

●課題

「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)」の「図 2.17 合成データのばらつき」について、データの品質を確認する方法について議論を行った。

●対応

データの品質を確認する為には、同時期の 2 つのポジションにおいて、評価対象範囲で真値推定を行い、各メッシュ内の最頻値(例:XZ 平面なら Y 値)を求める必要があるが、レジストレーション誤差結果である程度判断できるので、無くて構わないという結論に至った。※プロトタイプソフトでデータのばらつき表示機能が無くてもよいとの意味であり、データの品質の確認は必要。

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。

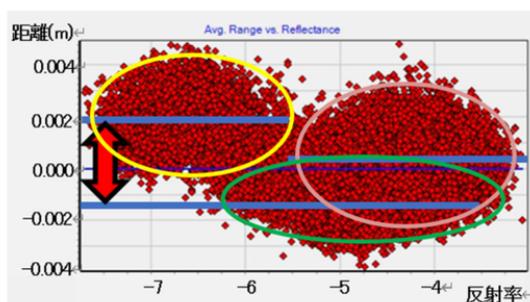


図 2.17 合成データのばらつき情報

図- 26 データのばらつき

6) グリッドのポップアップ情報について

●課題、対応

ポップアップ情報のうち、「真値推定誤差」、「点群の分布幅」、「真値推定結果」は、他の項目から判断できるため削除することとした。ポップアップ情報の各項目の算出式を図-27 に示す。

真値推定処理 (各メッシュ毎に以下を属性情報として保持)	
点密度 n	メッシュ内の点数 (境界上の点を含む) / 1メッシュ面積(cm ²)
平均値 \bar{x}	座標値の合計値 / 点数
グリッド内標準偏差 s	標準偏差 $s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$

図- 27 ポップアップ情報の算出式

7) 基準断面位置について

●課題、対応

枠で囲まれた点の平均値から算出した位置を基準断面位置として欲しいとの要望（図-28 参照）があった。なお、基準断面位置とは、枠内の全点の奥行方向の座標の平均値で決まる平面である。

追加の要望も踏まえ、グリッド化した後に、各グリッドの平均値から算出した位置を基準断面位置とすることとした（図-29 参照）。なお、変更前はグリッド化の前で基準面を算出していた。基準断面位置は断面を切った時の基準面とし、基準面の位置で断面の正負判定に使用する。

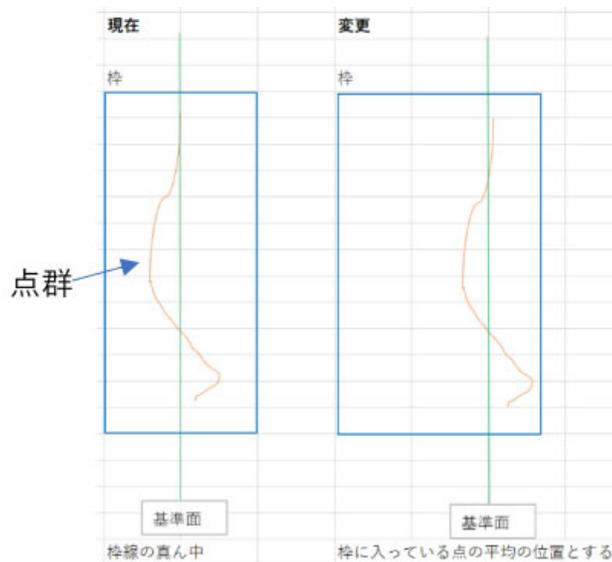


図- 28 基準断面位置の算出図 1

基準面について

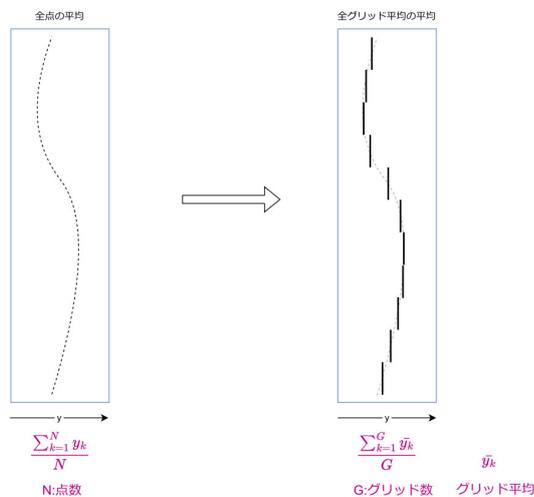


図- 29 基準断面位置の算出図 2

8) カラーバー表示した結果の las,csv 出力機能について

●課題、対応

それぞれの出力する項目について以下の確認・修正を行った。出力結果を図- 30 に示す。

- ・座標値 X,Y には単位 m を記載するようにする。
 - ・「標準偏差」の項目は「グリッド内真値推定誤差」と表記を変える。
- また、以下を確認し、出力項目について問題がないことを確認した。
- ・ csv 出力で平均受光強度は必要(補足:平均受光強度はグリッド内の平均値を出力)。
 - ・ las 出力は真値推定した後なのでリターン番号などは不要。
 - ・ csv 出力で色(RGB)項目は必要だが、項目を分けて例えば R だけ出力する機能は不要。

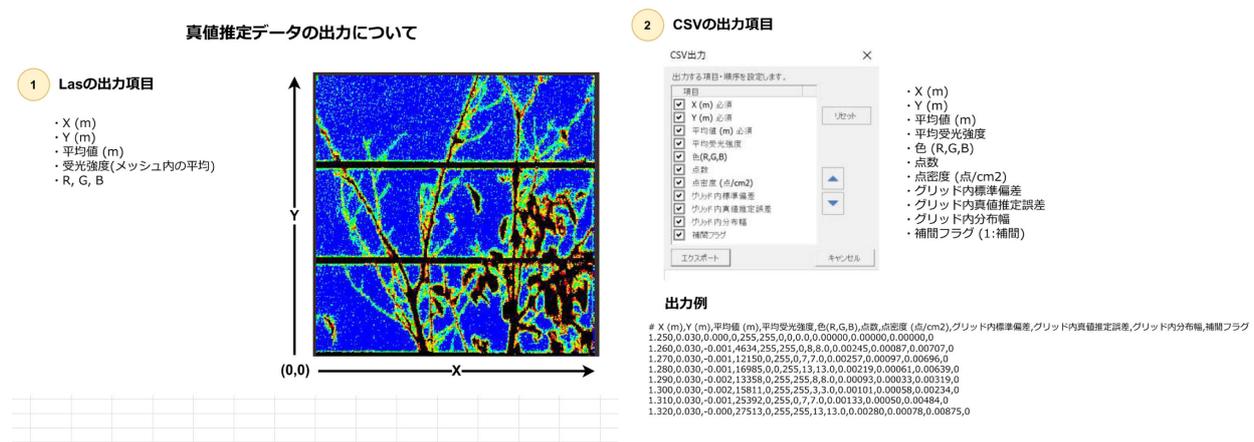


図- 30 カラーバー表示した結果の las,csv 出力

9) 損傷評価対象範囲特定図(立面図)を作成のアシストについて

●課題、対応

損傷評価対象範囲特定図(立面図)作成のアシストができることを、報告書に明記してほしいとの要望が出た。

損傷評価対象範囲特定図の作成は以下の手順で行える。

- ① 被災後に損傷評価可能な範囲を特定する為のデータが欠損している箇所がわかるように、点密度の規定値(25 点/cm²)以上が把握できる色設定で表示する。黒色が規定値未満の範囲である (図- 32 参照)。なお注意点として、事前に点群を本ソフトで読み込む前に別ソフトで損傷評価に無関係な点(遮蔽物など)は削除しておくとな作業が楽になる。
- ② 断面図を表示させて寸法を測れるようにする。寸法は1か所しか表示できないので、

エビデンス記録として残したい場合は手動でスクリーンショットを取る必要がある
(図- 33 参照)。

- ③ どこの箇所が損傷評価対象範囲かわかるように点密度表示の上から対象範囲を色塗して立面図を作成していく。遮蔽物や欠損でデータがない箇所は色塗の対象外となる。点密度表示を見ながらどこが損傷範囲かは自分で判断し、手動で色塗を行う必要がある。寸法を表記したい場合は②断面図で距離を測り、立面図の対象箇所に手動で記載を行う (図- 34 参照)。



図 2.18 損傷評価対象範囲の特定 (右図赤色部分)

図- 31 立面図

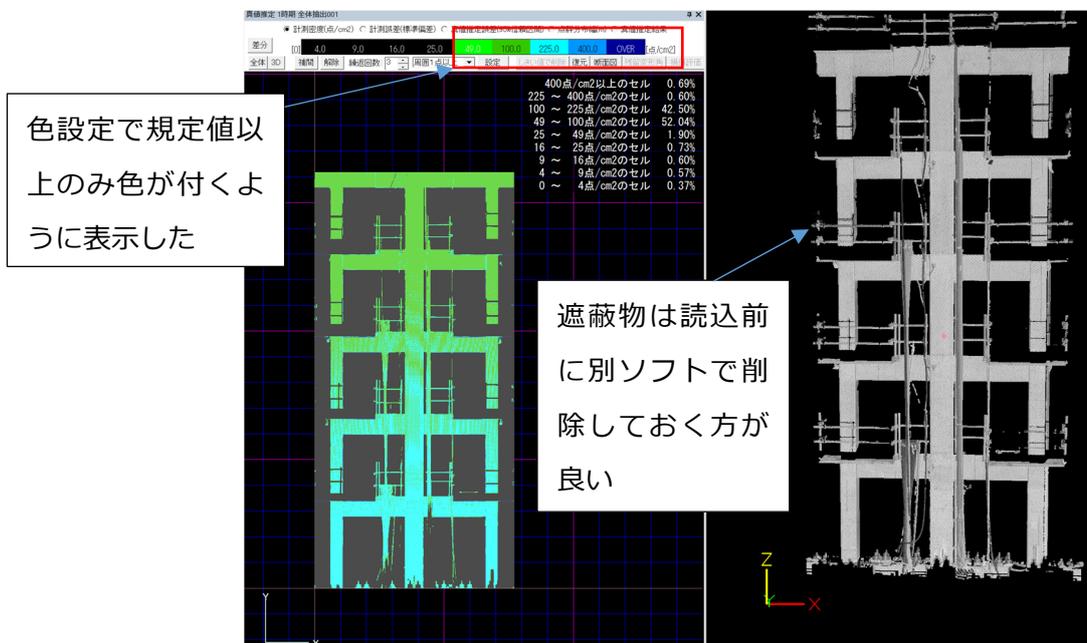


図- 32 点密度の規定値(25 点/cm²)以上を表示 グリッド 0.01m

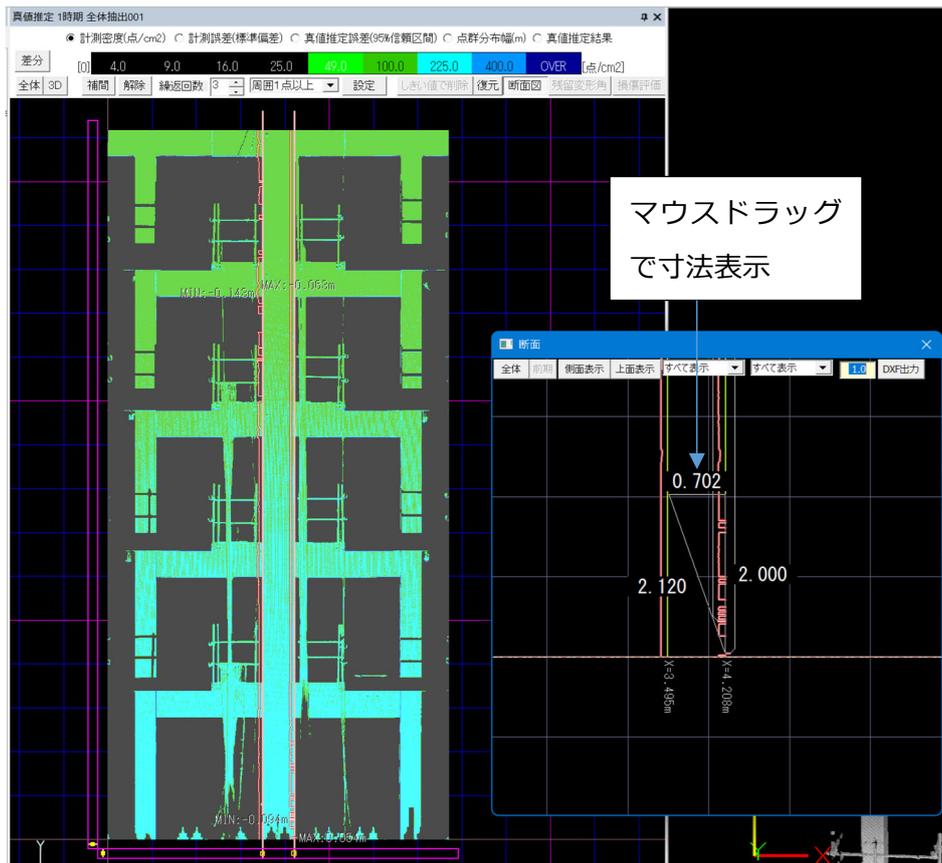


図- 33 断面図から寸法計測

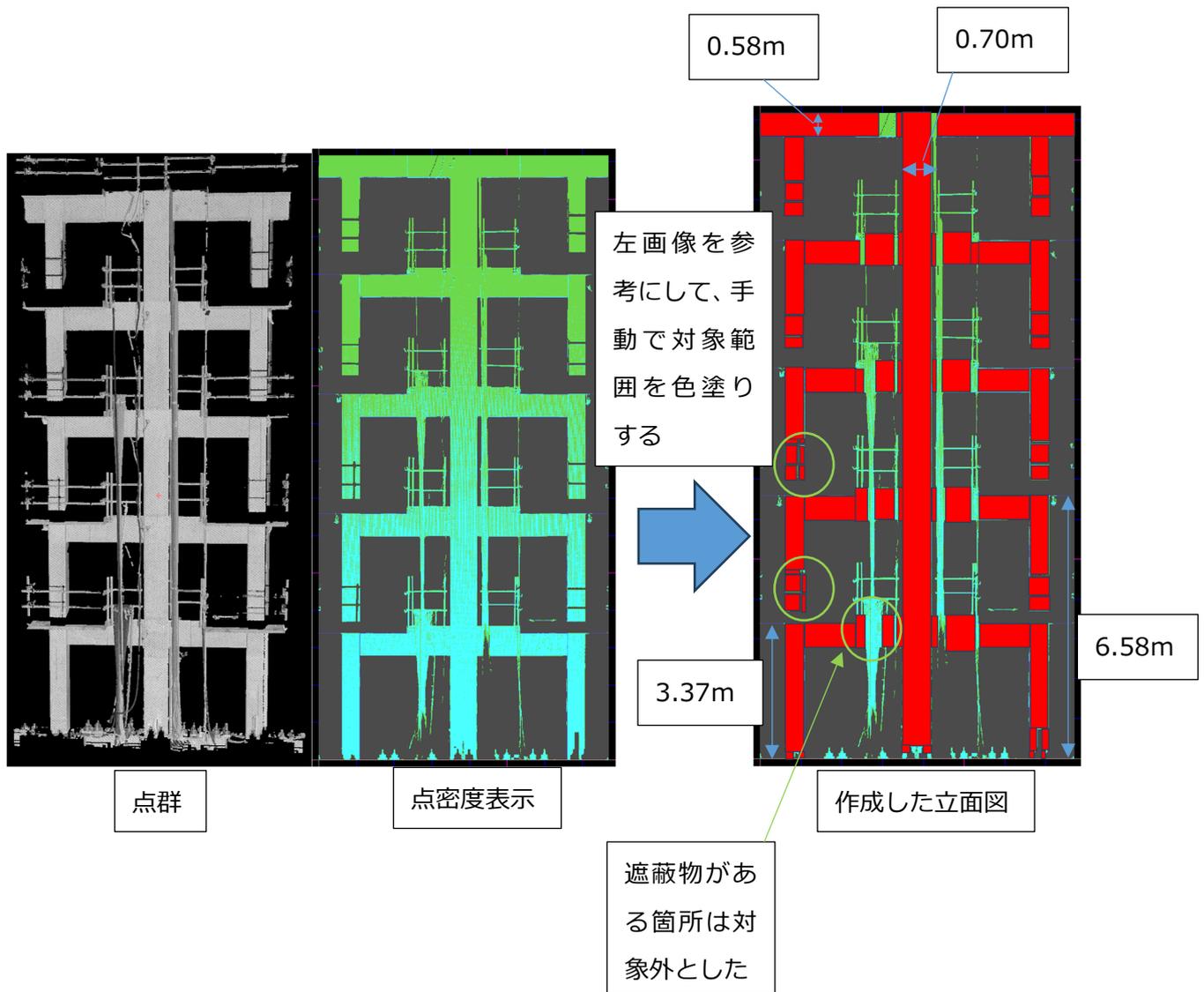


図- 34 点密度表示から立面図を作成

参考として点密度が低い咲洲庁舎のデータの結果も示す。規定値以上の範囲は赤で示す色設定にしている。上層に行くほど規定値を満たさなくなる。単位グリッドが大きくなるほど有効範囲が広がっていくが限界はある(シングルポジションデータの場合)。グリッド 0.01m の場合、10 層(30m)くらいまでは浮き剥落の損傷評価に使用できる。

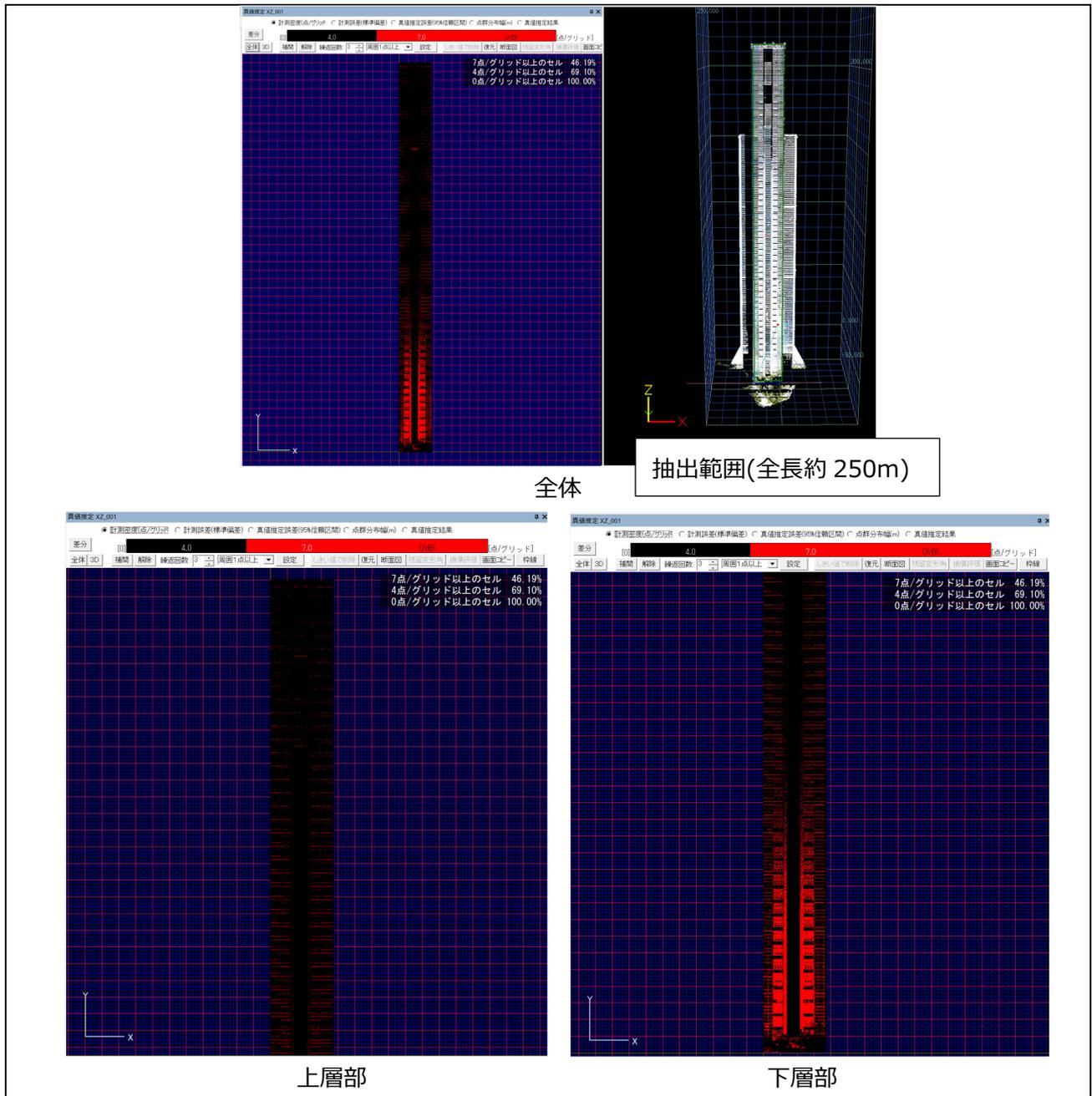


図- 35 計測密度 グリッド 0.01m

グリッド 0.02m の場合、15 層(45m)くらいまでは浮き剥落の損傷評価に使用できる。

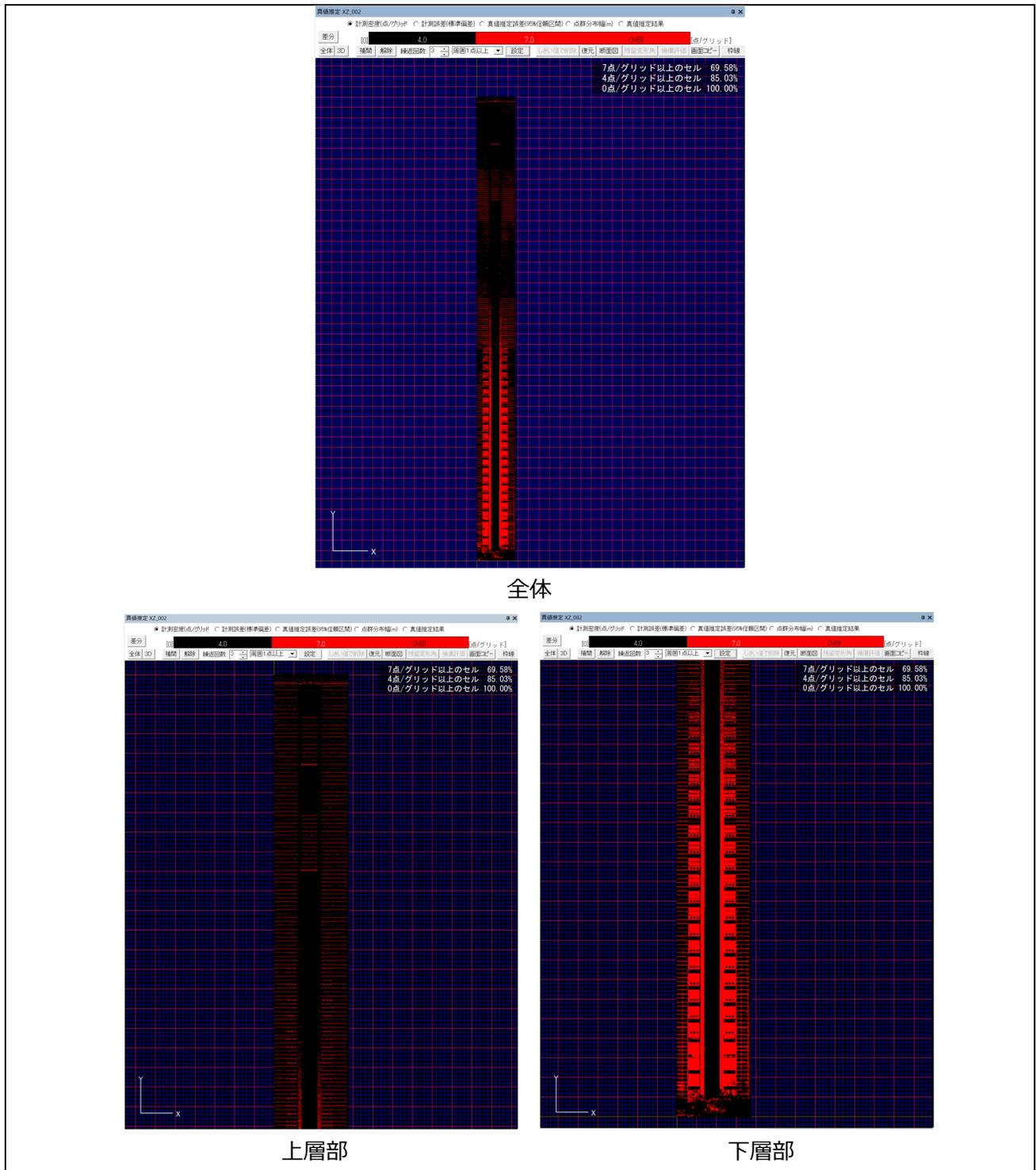


図- 36 計測密度 グリッド 0.02m

グリッド 0.1m の場合、建物の半分位置(125m)くらいまでは残留変形の損傷評価に使用できる。

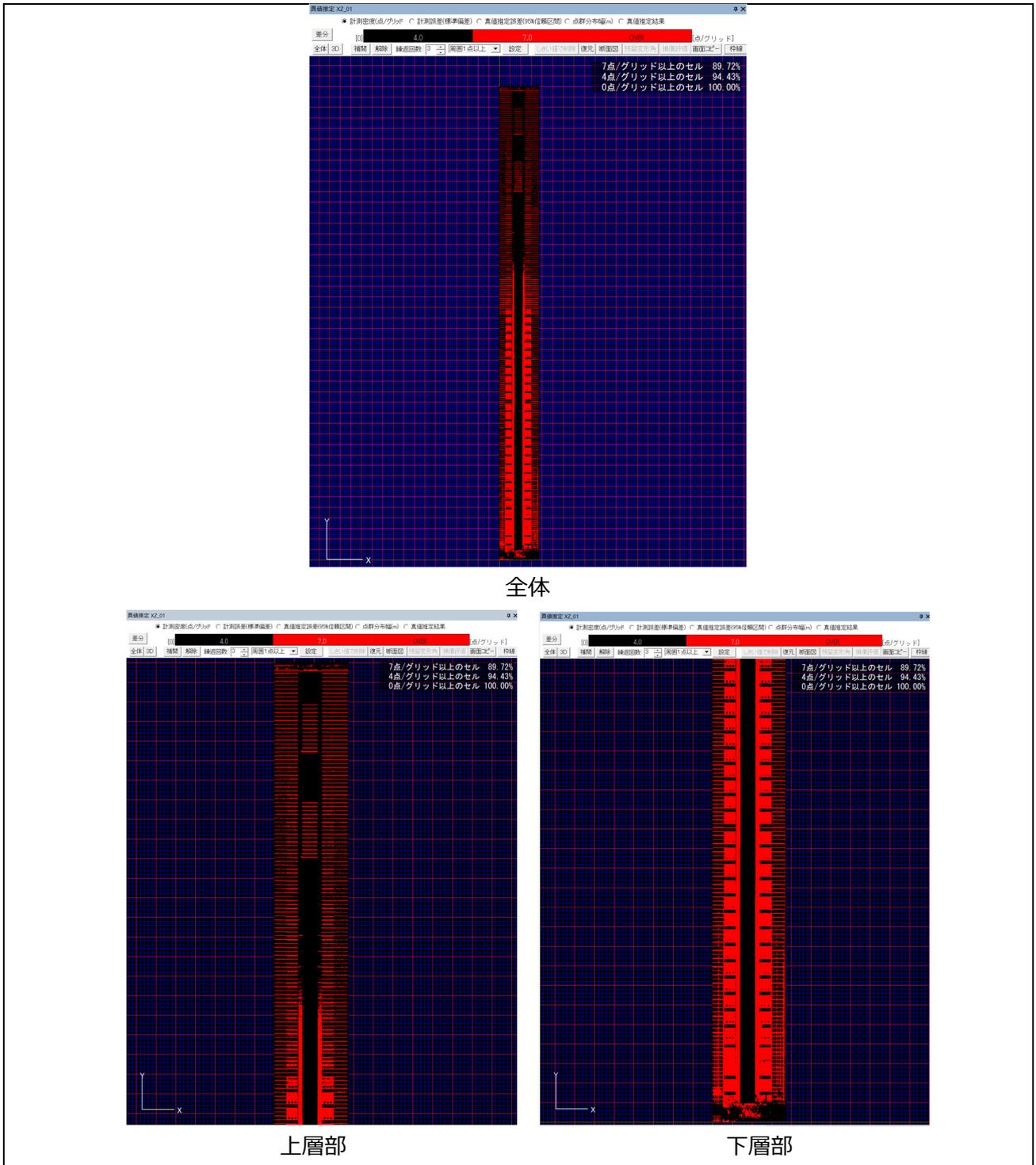


図- 37 計測密度 グリッド 0.1m

参考として、計測誤差(標準偏差)と真値推定誤差(95%信頼区間)の表示データを以下に示す。

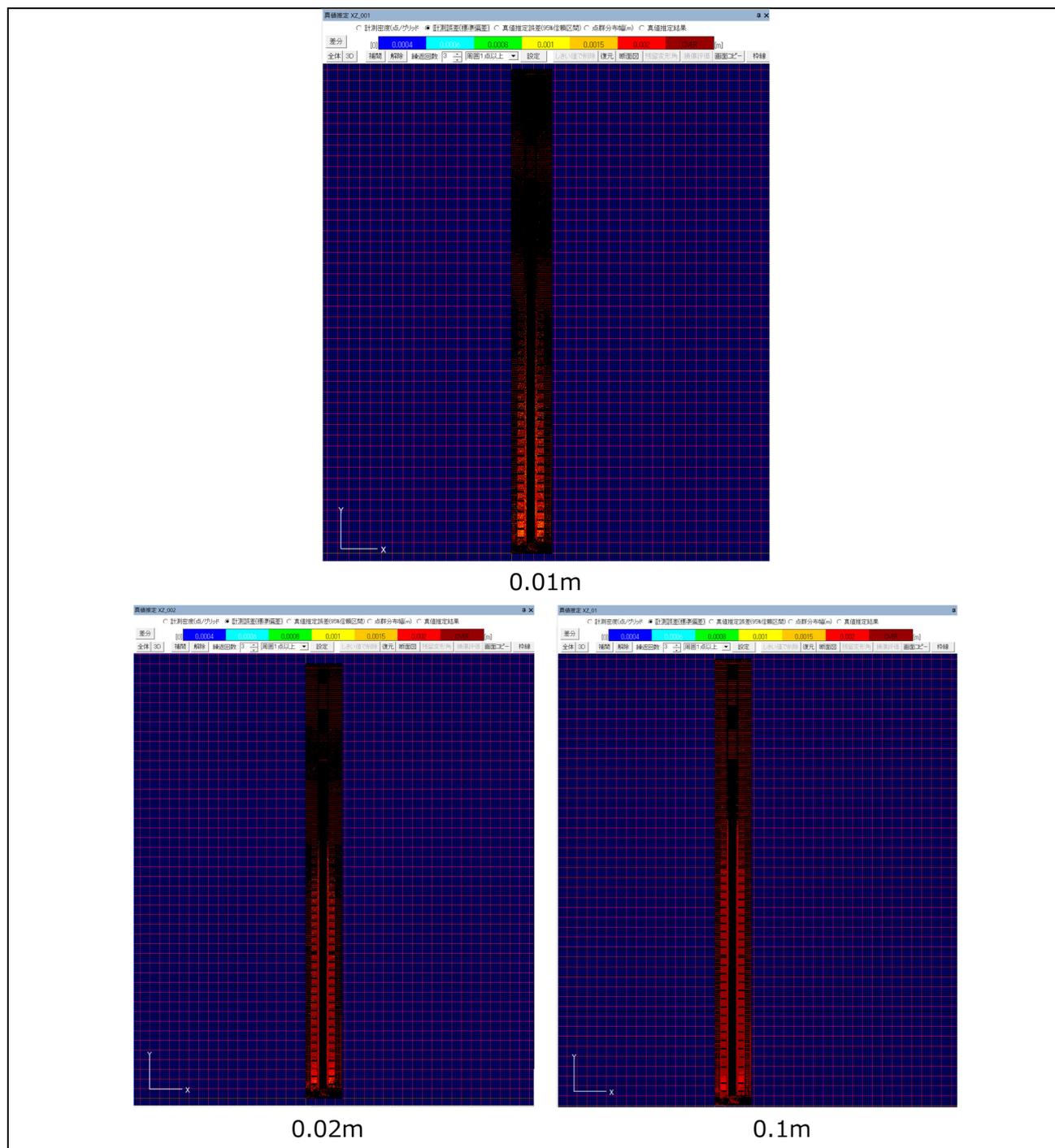


図- 38 計測誤差(標準偏差) 各種グリッド

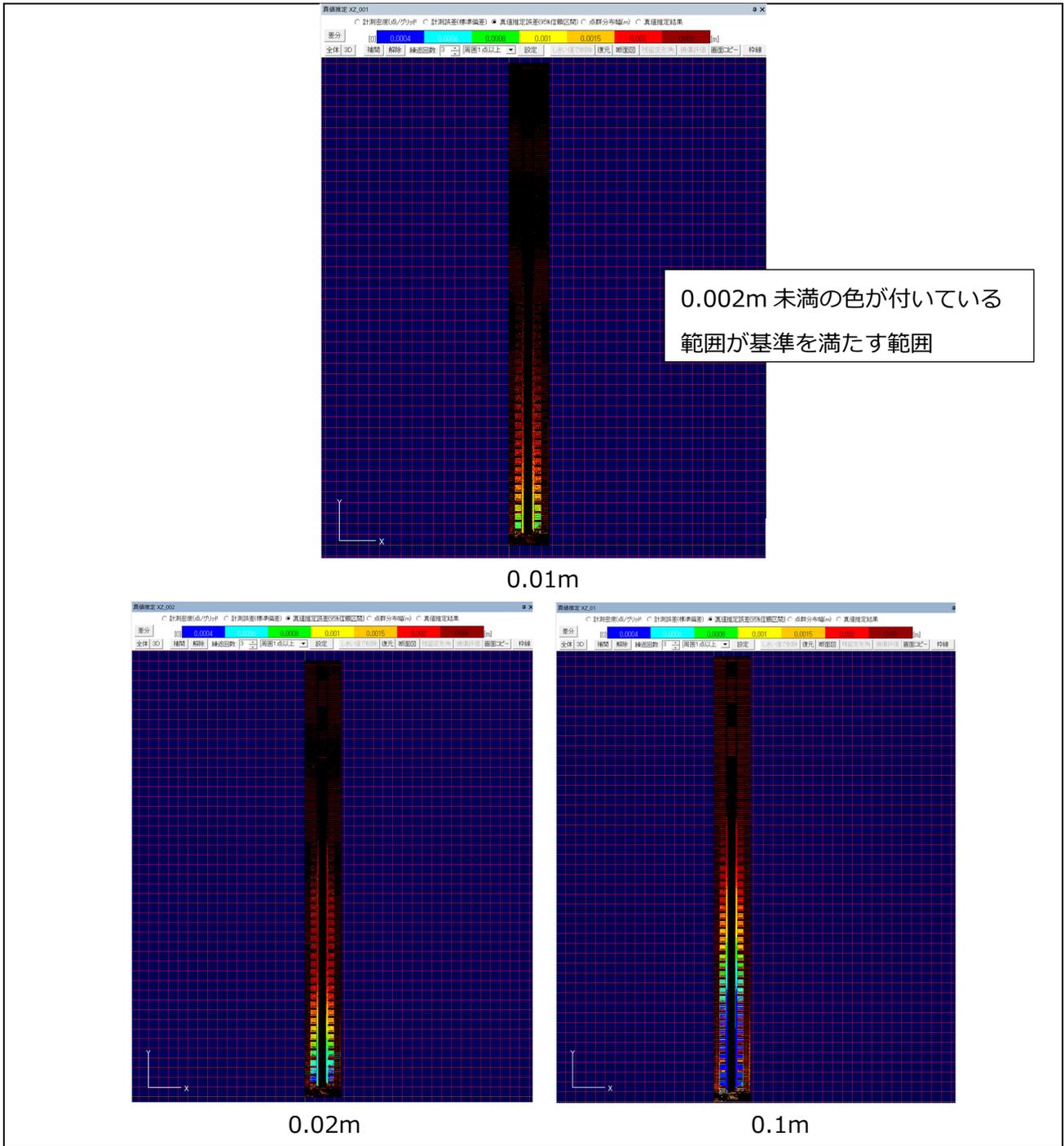


図- 39 真値推定誤差(95%信頼区間) 各種グリッド

複数ポジションを合成した咲洲庁舎のデータ(点密度が高いもの)の結果も示す。規定値以上の範囲は赤で示す色設定にしている。上層に行くほど規定値を満たさなくなる。点密度が高いので、シングルポジションのデータより使用できる範囲が広がっている(マルチポジションデータを合成した場合)。以下に示すように、グリッド 0.01m の場合でも、15 層(30m)くらいまでは浮き剥落の損傷評価に使用できる。

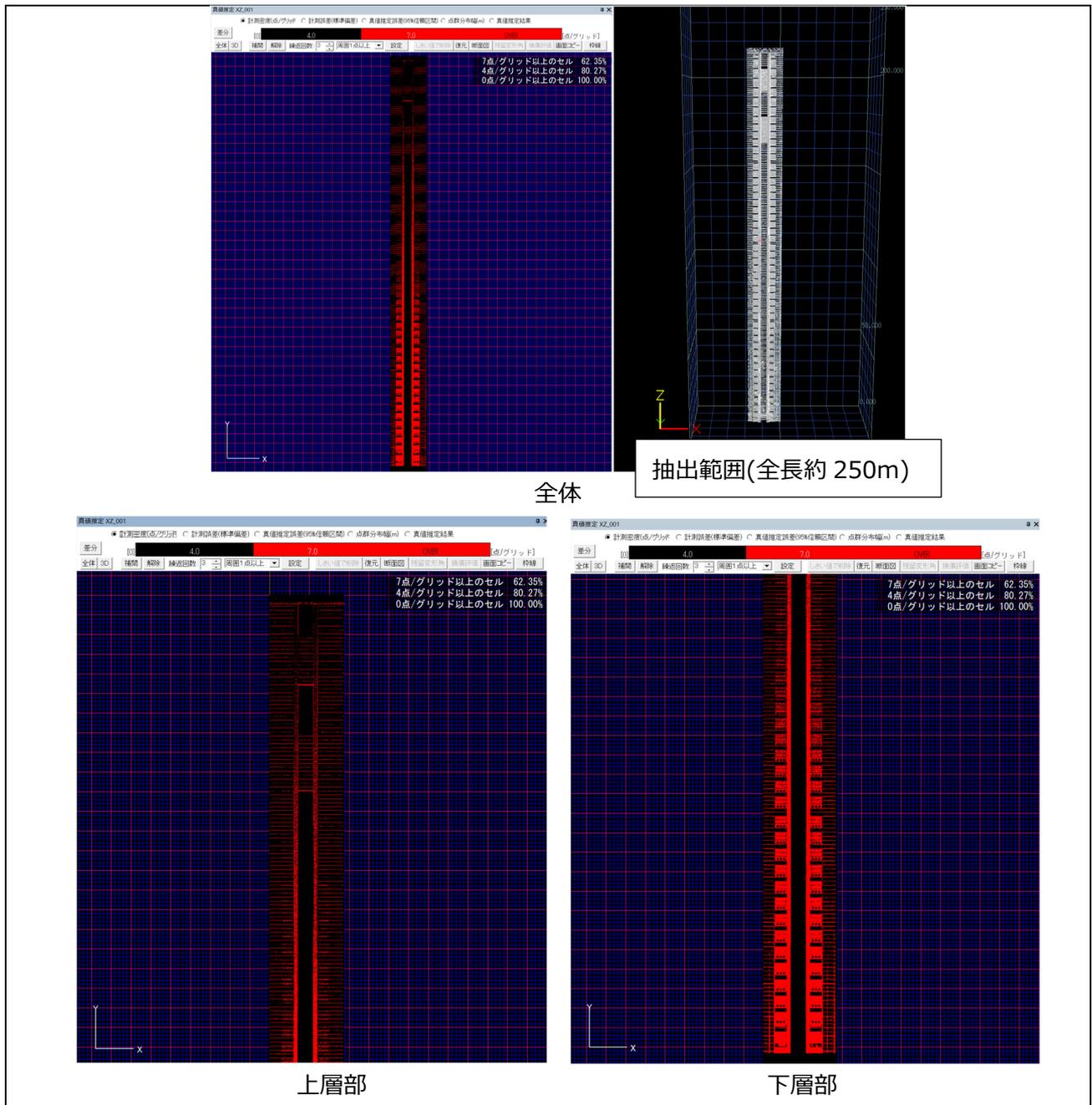


図- 40 計測密度 グリッド 0.01m 合成データ

グリッド 0.02m の場合、20 層くらいまでは浮き剥落の損傷評価に使用できる。

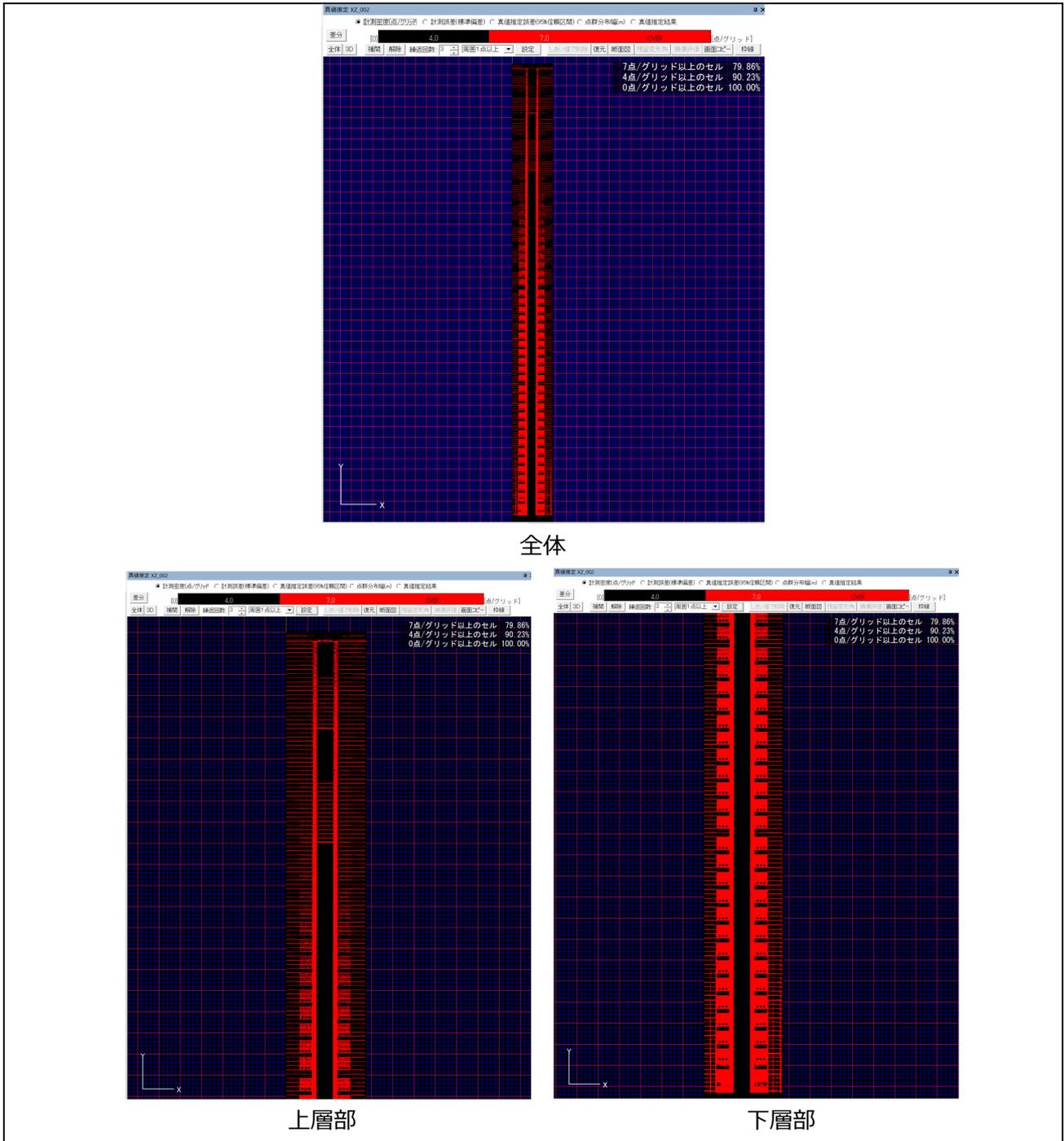
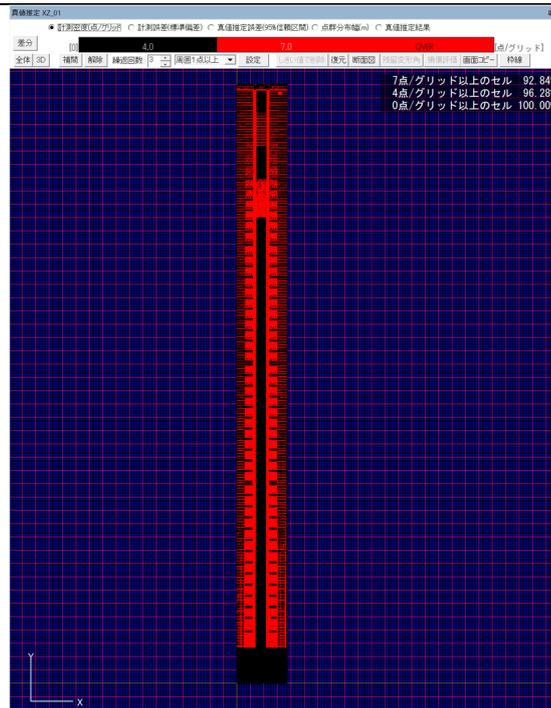
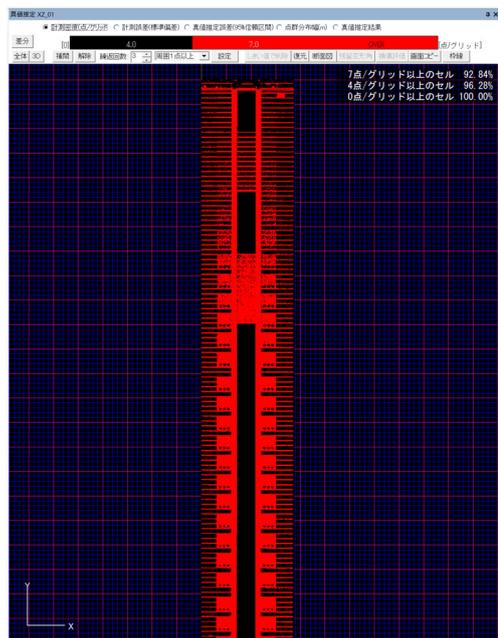


図- 41 計測密度 グリッド 0.02m 合成データ

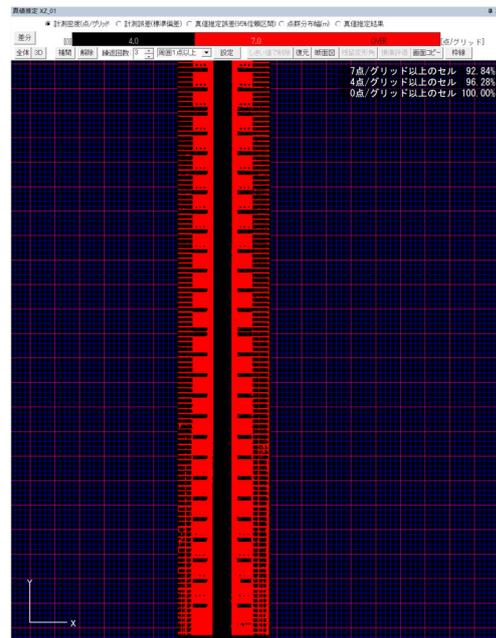
グリッド 0.1m の場合、上層の一部抜けている箇所以外は残留変形の損傷評価に使用できる。



全体



上層部



下層部

図- 42 計測密度 グリッド 0.1m 合成データ

参考として、計測誤差(標準偏差)と真値推定誤差(95%信頼区間)の表示データを以下に示す。

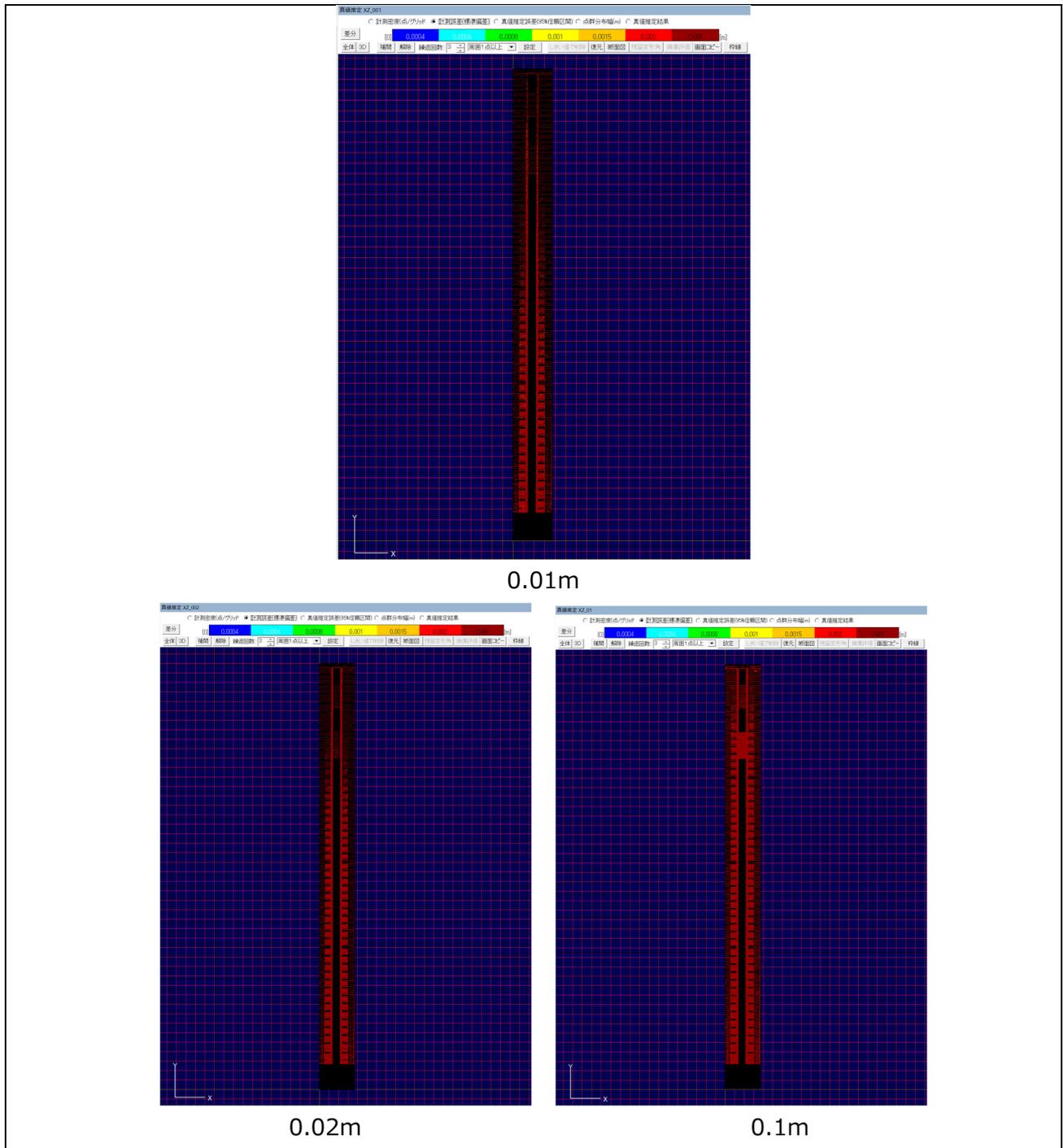


図- 43 計測誤差(標準偏差) 各種グリッド 合成データ

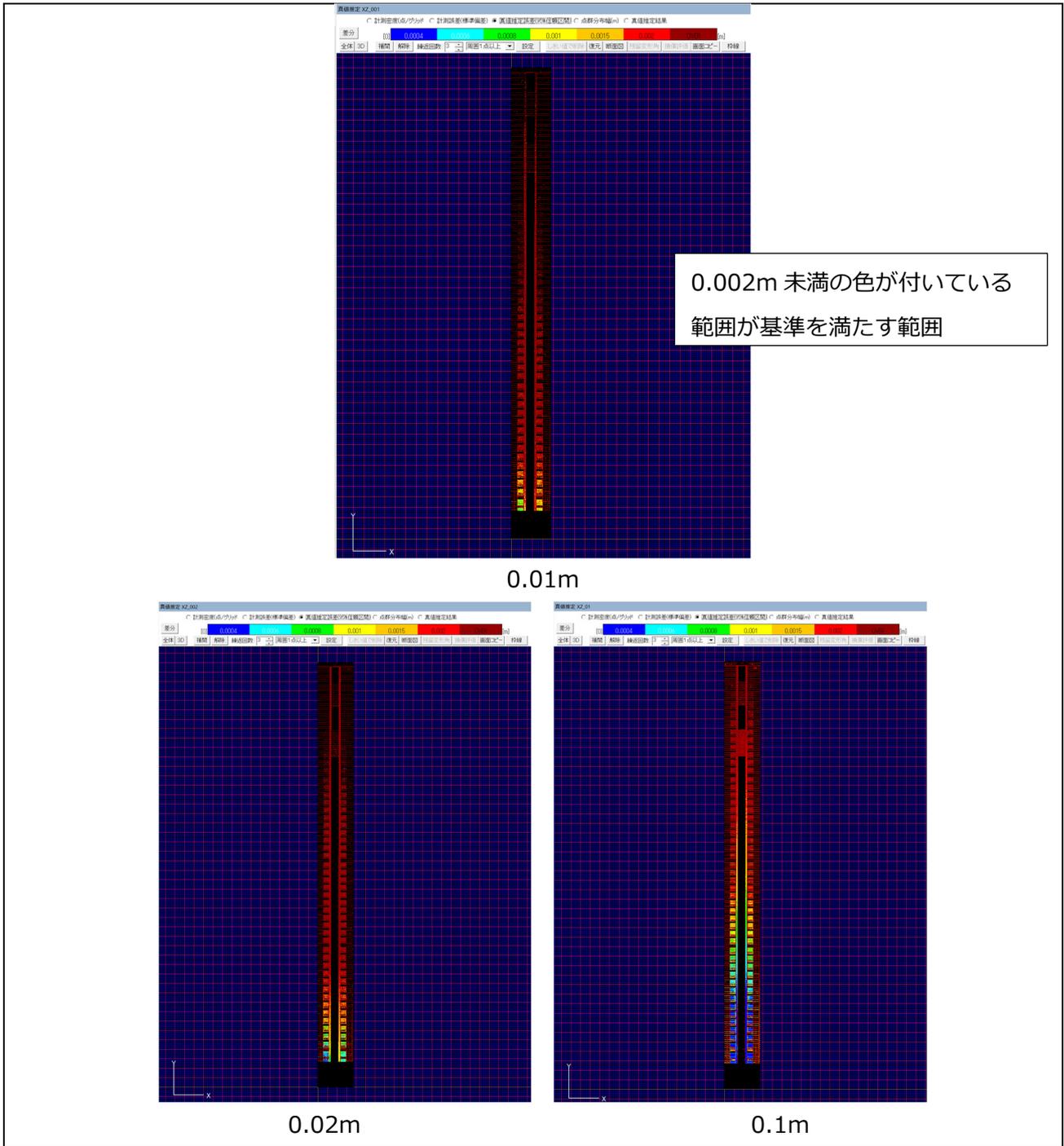


図- 44 真値推定誤差(95%信頼区間) 各種グリッド 合成データ

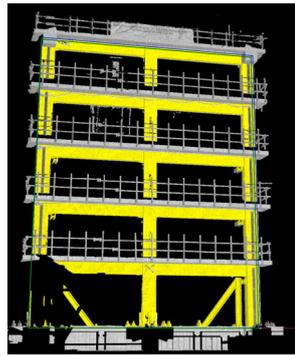
2-2-6. 「⑤被災前と被災後の差分解析を実施できる機能」の開発と結果

a. 機能の内容

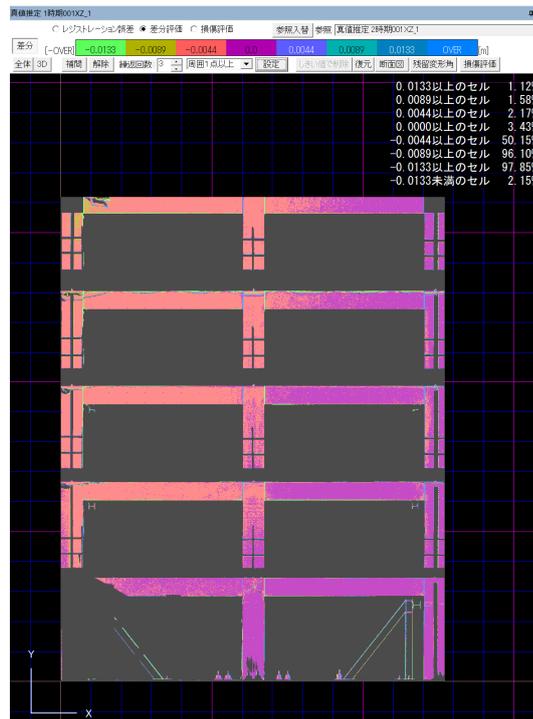
- ・ 1 時期と 2 時期の差分比較する機能開発
- ・ 任意位置の断面表示

1 時期目と 2 時期目のデータを重ね合わせ、その差分を表示することで損傷評価を実施する機能と、真値推定後の表現データ（段彩図など）において、マウスでクリックした任意位置の断面（メッシュ点群）を即座に表示できる機能を開発した。機能のイメージを図- 45 に示す。

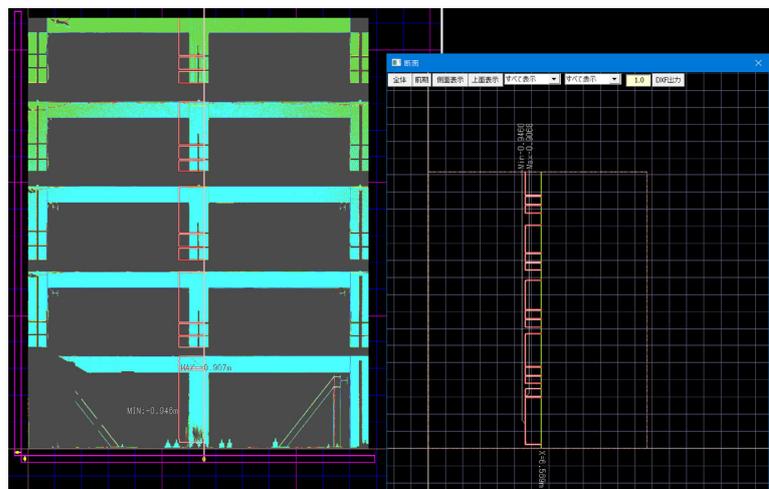
サンプルデータ (E-ディフェンス scan003)



3次元表示



差分評価結果



断面表示

図- 45 機能のイメージ

b. 作業フロー

機能内容を反映したプロトタイプを用いて差分評価と断面表示の検証を行い、その際に出た意見や課題点を修正して、機能およびオペレーションの動作確認を実施した。以下に示す作業フローのキャプチャについては、最終案のプロトタイプ版をまとめたものである。被災前と被災後の差分解析を実施できる機能についての作業フローを図-46に示す。

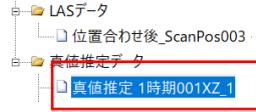
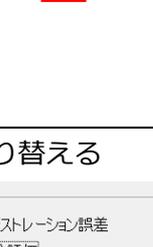
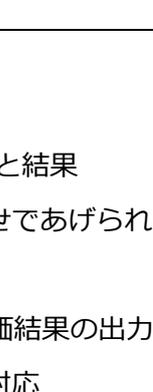
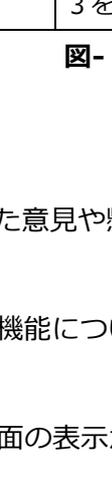
	作業内容	参考図	
		2次元表示	3次元表示
1	真値推定済みデータを用意 		
2	1 時期と 2 時期を指定		
3	色設定をカスタマイズ 		 <p>色設定、境界値、カラーバーの分割数を好きに変更可能。</p>
4	表示を切り替える 		 <p>3 を繰り返して表示の調整を行っていく。</p>

図-46 作業フロー

c. 検討の内容と結果

各打ち合わせであげられた意見や懸念される課題点について、以下に検証した結果を示す。

1) 差分評価結果の出力機能について

●課題、対応

差分結果の提示や断面の表示ができれば良いので、ファイル出力の機能は実装しないこととした。

2) 任意位置の断面を表示する機能について

●課題

断面表示機能については、以下のような様々な意見が出された。

- ・断面表示の任意位置の寸法を測りたい。断面表示にマウスで線を引いた時に2点間の距離表示が欲しい。
- ・shift 押しながらの場合は、鉛直方向距離の表示になるようにして欲しい。
- ・斜めの場合は、斜距離表示と共に XY 軸の補助線を描いて、X と Y の距離も表示して欲しい。
- ・CAD などを入力できるように出力機能が欲しい(DXF 出力で可)

●対応

要望に対応するための修正を行った (図- 47 参照)。

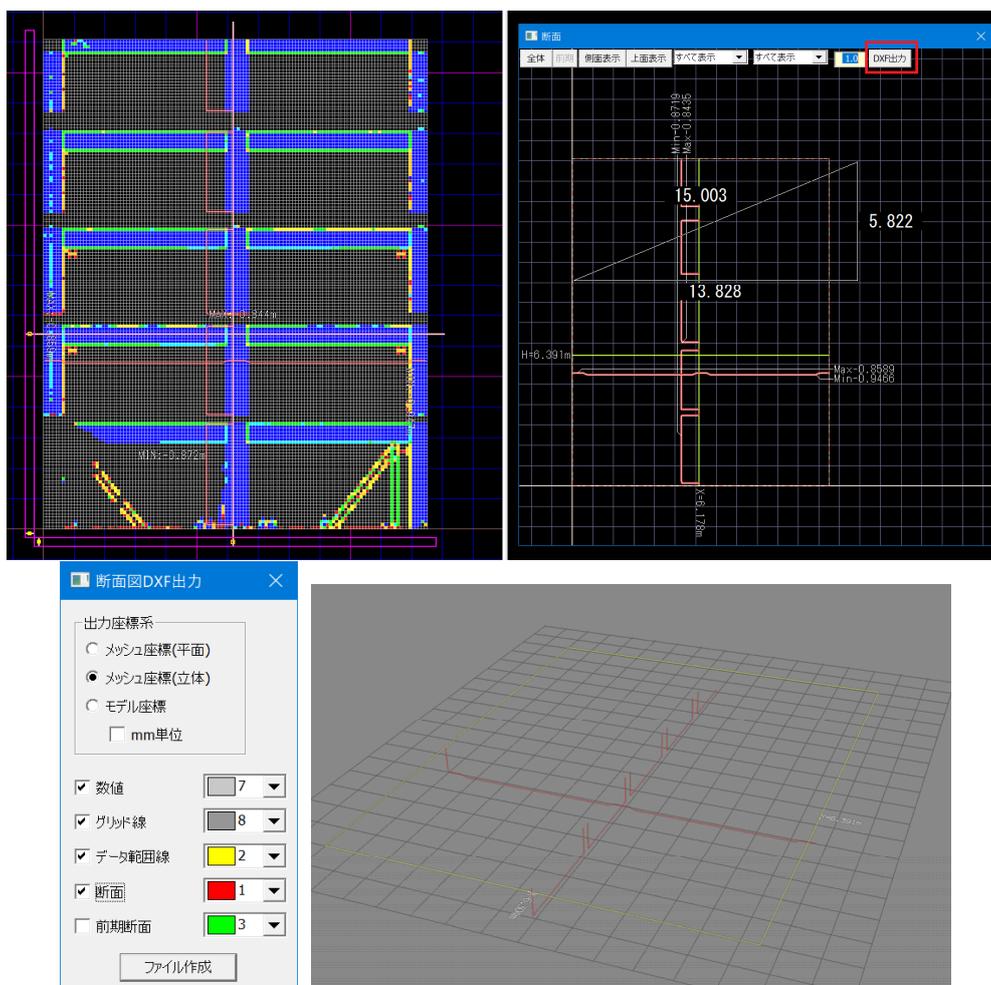


図- 47 任意位置の断面を表示する機能

3) 法線ベクトルを利用した損傷評価について

●課題、対応

背景として点のみの比較だと、被災後に壁自体が奥側に傾いた場合、一律引っ込んでいると見なして剥落と結果が出てしまう。その為、隣接するグリッドの値を使用して、法線ベクトルを計算した損傷評価についても検討を行った。検討した損傷評価の仕様を図- 48 に示す。

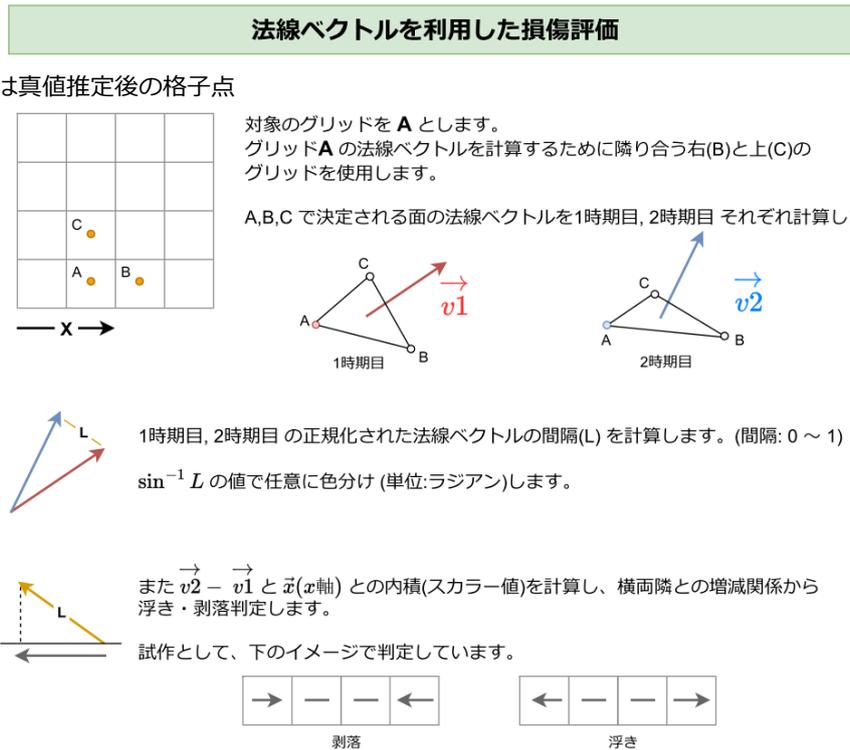


図- 48 法線ベクトルを利用した損傷評価の仕様

法線ベクトルを用いて浮き・剥落の判定をテストデータに試したが、全体の広範囲に浮き・剥落がバラバラに出てしまい上手く判定が出なかった。良い結果が出なかったので、この方式の損傷評価は見送ることとなった。

この方式で、浮き・剥落・損傷箇所をマーキングすると、細かな変更を感知するので図-36の様に混在した形になり、グルーピングすることが逆に困難になると結論された。そのため、当初の予定通り、差分評価を実装することとした。

検討結果を簡潔にまとめると以下の通りである (図- 49 参照)。

1. 格子点から求めた結果に対して、浮き・剥落と定義づけるのが困難だった
2. データを見ると無損傷箇所なのに、浮き・剥落と判定してしまうのが問題だった

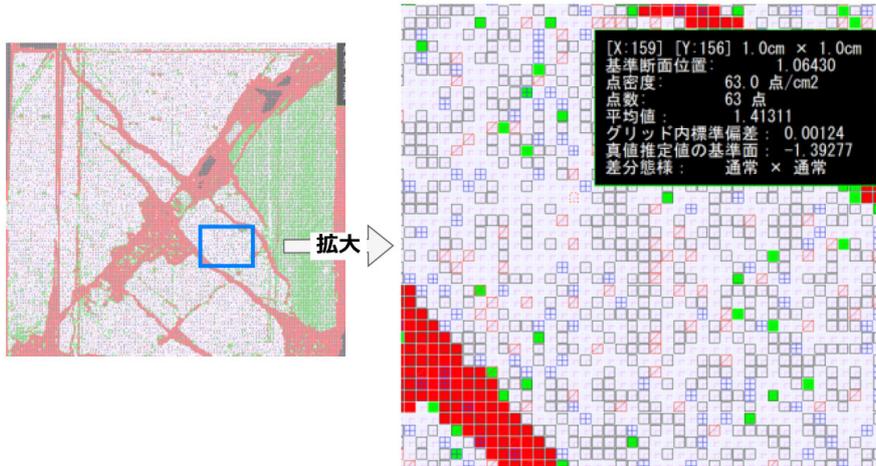


図- 49 法線ベクトルを利用した損傷評価の結果

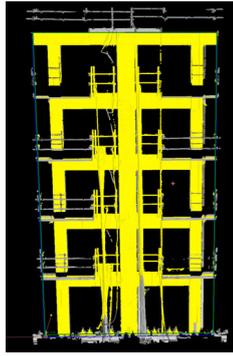
2-2-7. 「⑥損傷評価結果を算定に用いるデータ抽出機能」の開発と結果

a. 機能の内容

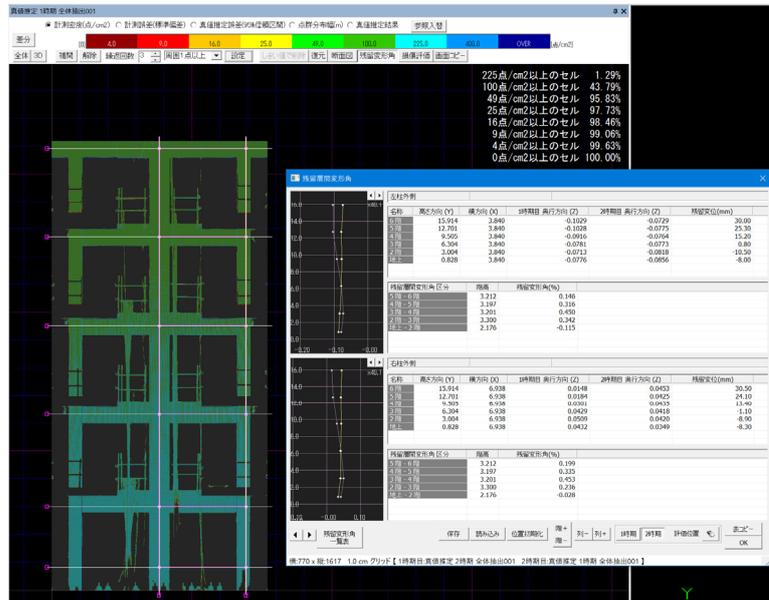
- ・ 残留層間変形角の表示
- ・ 浮き・剥落の面積

建物において各階の基準となる位置を指定（残留変位評価点）でき、その箇所における時系列の座標値の変化を抽出し、残留層間変形角を求め、それらの結果を一覧表示できる機能と、浮き・剥落箇所を抽出し、その面積（平面面積）を一覧表示できる機能を開発した。機能のイメージを以下の図- 50 に示す。

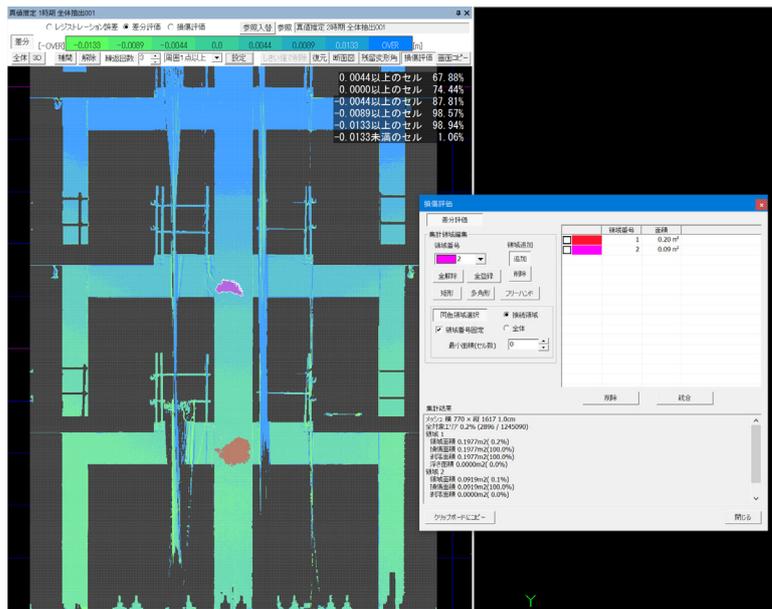
サンプルデータ (E-ディフェンス scan005)



3次元表示



残留層間変形角の表示



浮き・剥落の面積

図- 50 機能のイメージ

b. 作業フロー

機能内容を反映したプロトタイプを用いて残留層間変形角表示と浮き・剥落の面積の検証を行い、その際に出た意見や課題点を修正して、機能およびオペレーションの動作確認を実施した。以下に示す作業フローのキャプチャについては、最終案のプロトタイプ版をまとめたものである。損傷評価結果を算定に用いるデータ抽出機能についての作業フローを図- 52 に示す。

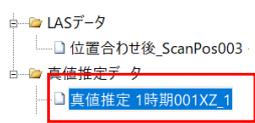
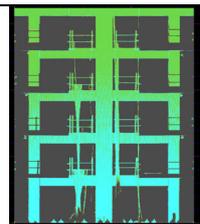
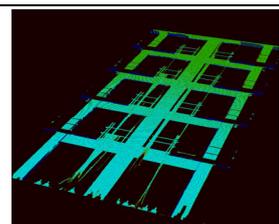
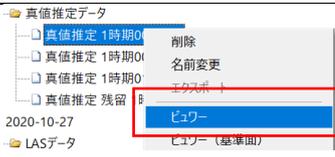
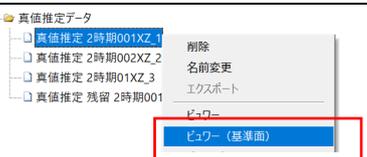
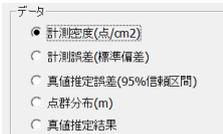
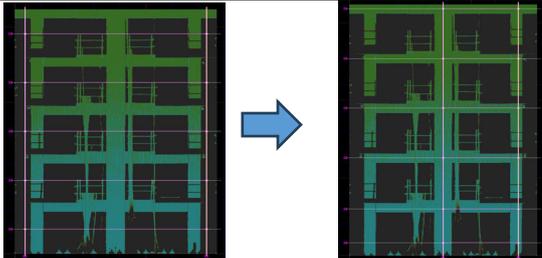
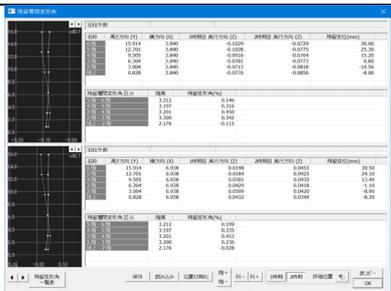
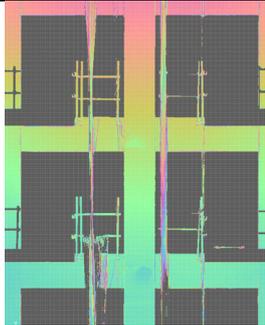
	作業内容	参考図	
		2次元表示	3次元表示
1	<p>真値推定済みデータを用意</p> 		
2	1 時期と 2 時期を指定		
3	<p>前準備として表示を計測密度へする</p> 	 <p>色設定、境界値、カラーバーの分割数を設定する。</p>	
5	<p>残留変形角へ切り替える</p> 	 <p>点密度が基準を満たしている位置へ残留変位評価点を調整する。</p>	
6	残留層間変形角の結果を確認する		

図- 51 作業フロー

7

損傷評価へ切り替える

復元 断面図 残留変形角 **損傷評価**



この時差分評価の色設定を調整する。

8

浮き・剥落の箇所範囲の指定方法を選ぶ。

差分評価

集計領域編集

領域番号 1 領域追加 追加

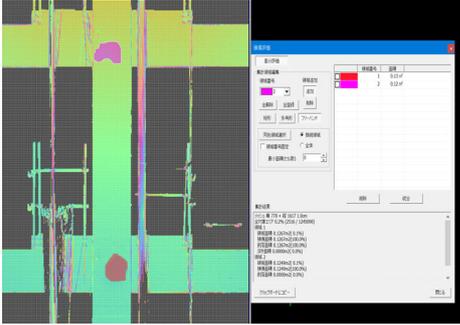
全解除 全登録 削除

矩形 多角形 **フリーハンド**

同色領域選択 接続領域

領域番号固定 全体

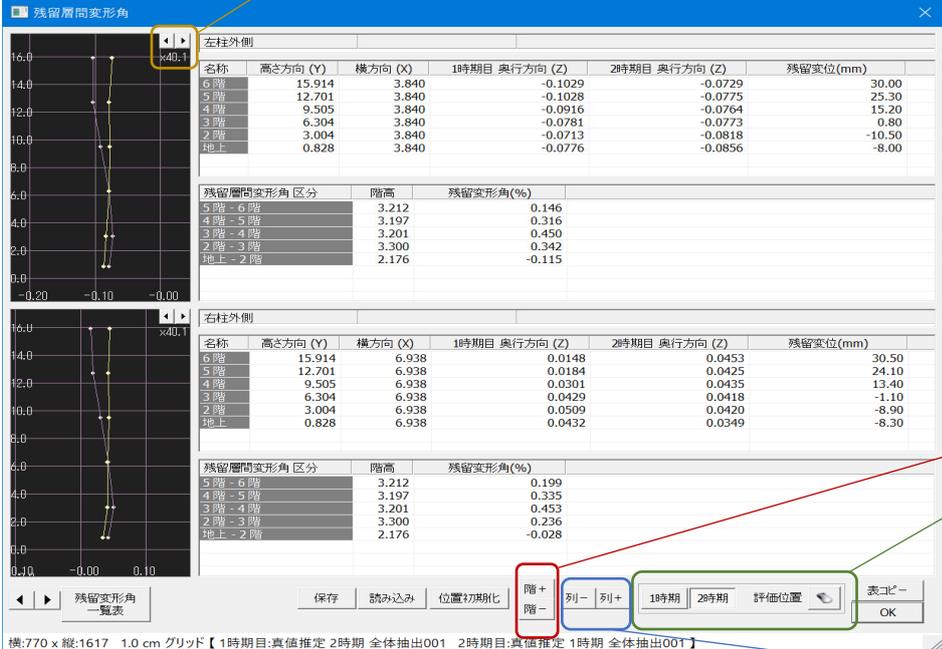
最小面積(セル数) 0



浮き・剥落の箇所を囲み面積を表示させる。
(周りとは急に变化差が出ている箇所を対象とする)

図- 52 作業フロー

倍率



残留変位評価点の縦位置増減

残留変位評価点の位置補正

残留変位評価点の横位置増減

残留変位評価点の縦位置増減

残留変位評価点の位置補正

残留変位評価点の横位置増減

図- 53 残留層間変形角メニューの内容

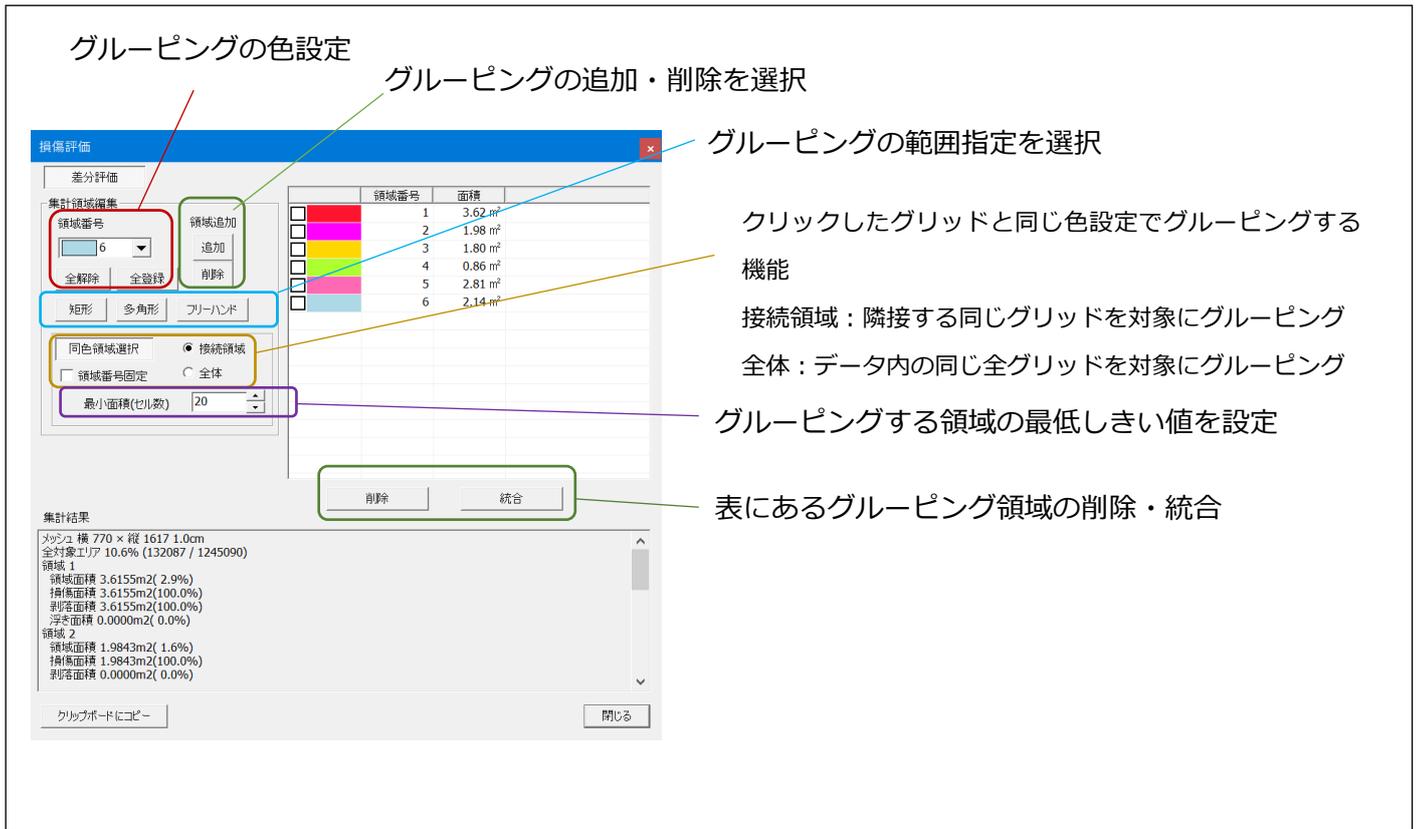


図- 54 浮き・剥落の面積メニューの内容

c. 検討の内容と結果

各打ち合わせであげられた意見や懸念される課題点について以下に検証した結果を示す。

1) 残留層間変形角の表示仕様について

●課題

残留層間変形角についてプロトタイプソフトを提示した際に、様々な意見が出された。以下に内容をまとめた。

- ・項目に階高が必要(床から床の差。高さ同士を引いて算出)。
- ・前期→1 時期目。後期→2 時期目と項目名を変更して欲しい。
- ・例としてXY平面では、Z、つまり奥行だけが変化するの正しい。横方向のズレは気にしないで良いので、奥行方向(Z)の項目が必要。
- ・項目表記で位置(X)、位置(Z)だけは違和感がある。横方向(X)と奥行方向(Z)にしてはどうだろうか。
- ・残留変位の項目を増やす(ガイドライン P38 参考)。
- ・残留変形角(%)は算出式が決まっている。項目は1つだけになる。

$$\text{例} : 6 \text{ 階の残留層間変形角} = (6 \text{ 階 } 2 \text{ 時期のズレ} - 6 \text{ 階 } 1 \text{ 時期のズレ}) - (5 \text{ 階 } 2 \text{ 時期のズレ} - 5 \text{ 階 } 1 \text{ 時期のズレ}) / (6 \text{ 階高} - 5 \text{ 階高})$$

●対応

要望に対応する修正を行った (図- 55 参照)。

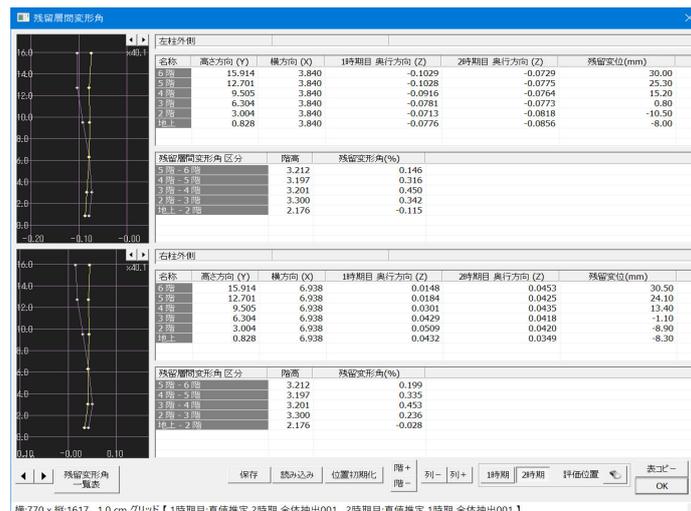


図- 55 残留変形角の結果出力

2) 残留層間変形角の評価点位置の補正について

●課題

評価点位置の補正について仕様検討を行った。

2 時期目の段階で 1 時期目と同じ平面座標がなかった時、その同じ評価点がないと判断された場合は、現在自分が見ている平面上で同じ点と思われる点を 1 時期目と 2 時期目で再特定し、その奥行方向のみの差分を取って残留変位を計算しなければならない。この時、斜めの距離を取ってはいけない。必ず奥行方向の鉛直な距離とする。

また、1 時期目と 2 時期目の残留評価位置は必ず同時に動かさないといけない。つまり、1 時期目と 2 時期目の高さ Z は同じにする必要がある。

●対応

2 時期目の評価点を補正してもいいが、階高の高さは 1 時期目の値を使用するということとした。

●課題

評価点位置の補正(ズラすこと)のできる範囲は、近傍としか示されていない。何かしらのルールが必要との意見が出た。

●対応

プログラムの評価点の補正できる位置の制限を設ける。制限範囲は評価点の上下左右 5cm とする(図- 56 参照)。また、評価点位置の補正の内容は、「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)」の 4.2.2 に追記することとした。

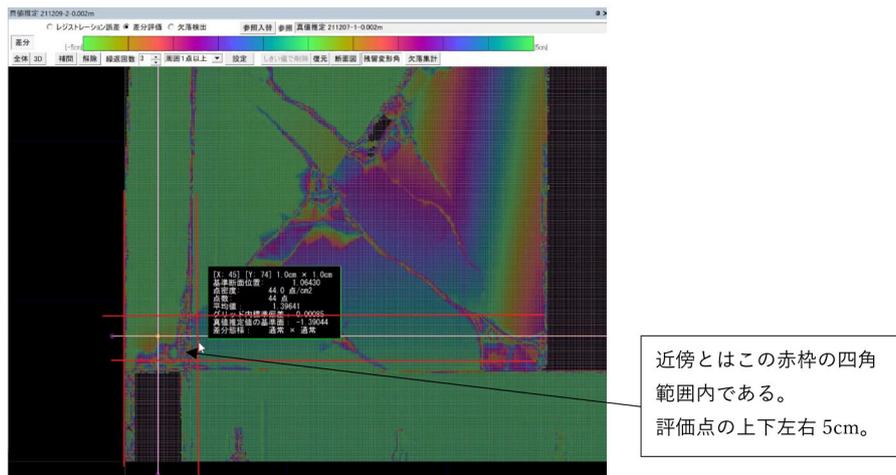


図- 56 評価点位置の補正

3) 残留変形角の結果出力について

●課題、対応

結果をテキスト形式で出力できるようにした (図- 57 参照)。

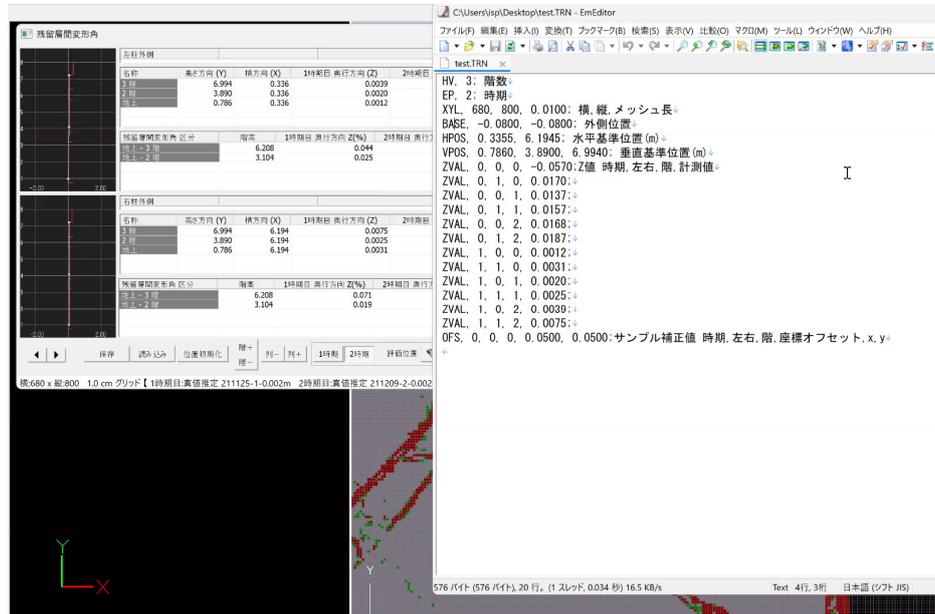


図- 57 残留変形角の結果出力

4) 浮き・剥落面積の仕様について

●課題

矩形で選択した範囲内の破損面積を表示する機能の提示を行い、必要機能について意見交換を行った。以下に内容をまとめた。

- ・範囲指定に多角形、フリーハンド(投げ縄)の選択が欲しい。
- ・損傷のレポート用に浮き・剥落面積の表が欲しい。必要な機能は下記である。
 1. 浮き・剥落の区別を付ける必要がある
 2. 浮き・剥落のグルーピングが必要
- ・手動で複数グルーピングして、エリア毎にクリップボードへ結果を出す形はどうだろうか。
- ・表示の差分評価で浮き・剥落は出せるか？色表示を 3 色(浮き、中間、剥落を想定)して色設定したら上手く出るかもしれないがあまり実用的ではない(被災後に壁自体が後ろへ傾いていたら一律剥落となる為)。

●対応

要望に対応する機能改修を行ったが、グルーピング機能についての改修要望が出たので再度改修することとなった (次項目 5 参照)。

5) 浮き・剥落面積のグルーピングについて

●課題

2段階目のプロトタイプソフトでは、グルーピングの名称付け(自動判定)はあるか？ユーザーに全て範囲指定させるのは作業量が多くなるという懸念が上がった。

●対応

浮き・剥落のしきい値未満の面積は対象外とするような同一領域の機械的なグルーピング機能での実装で問題ないと了承を得て、改修を行った(図-58参照)。

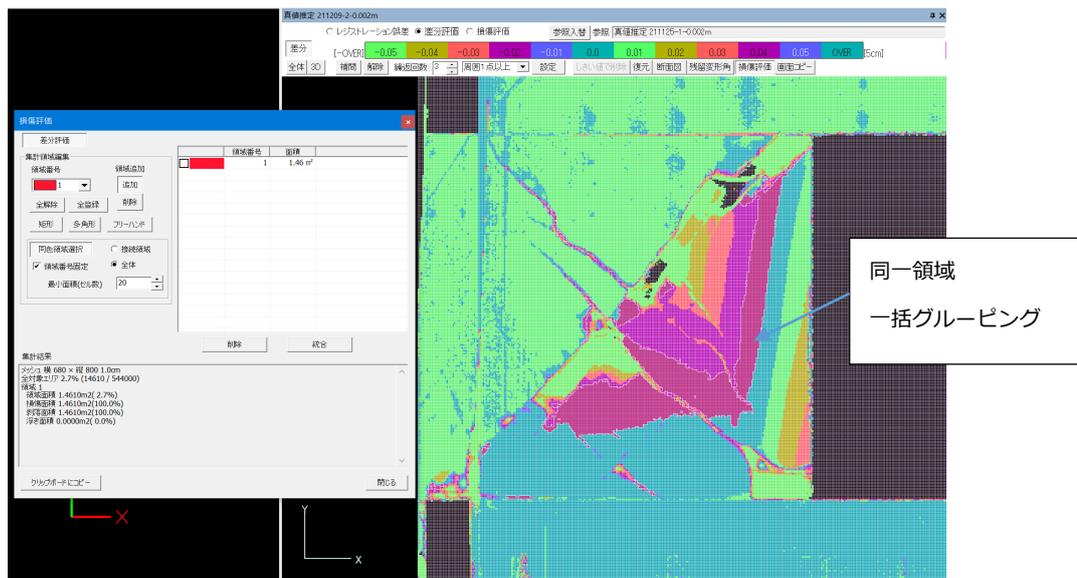


図-58 浮き・剥落面積のグルーピング

6) 浮き・剥落面積の帳票出力について

●課題

面積はグループ1として帳票(レポート)などの形で出力できるかとの確認があった。集計結果をクリップボードへコピーする形での出力となる。

●対応

浮き・剥落面積は帳票の出力はできないので、今後の課題として報告書へ記載する。

2-3. 開発したソフトウェアを用いた作業フローに基づく被災建築物の損傷評価手法の検証

2-3-1. 概要

被災により生じた損傷の評価方法の妥当性について開発ソフトウェアを用いて検証を行う。
大規模実験施設 Eーディフェンスのデータを用いて、実際の被災と同じ状況になるような点群データを
データを使用し手法の検証をした。

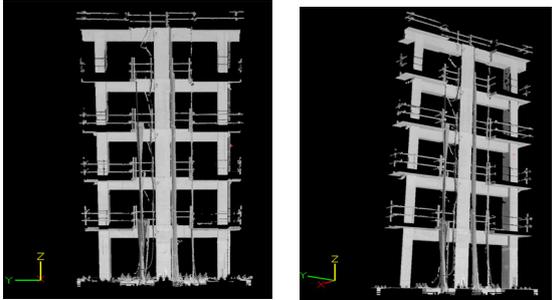
データ詳細	内容	
計測	Eーディフェンス (E-Defense)	
点数	1 時期: 61,143,928 点	2 時期: 65,224,492 点
データ容量	las 1 時期:2.27GB	2 時期:2.42GB
計測壁面	西面(ScanPos005)	
〔点群計測データ〕		
		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 西正面より 西北角より </div>		

図- 59 対象データの概要 西面(ScanPos005)

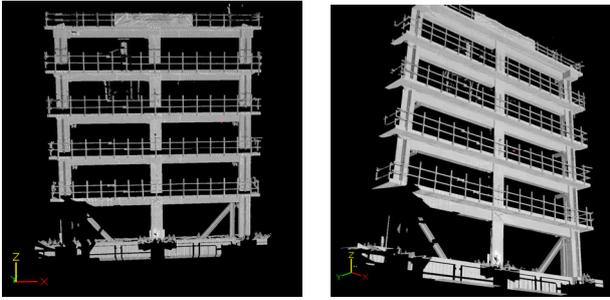
データ詳細	内容	
計測	Eーディフェンス (E-Defense)	
点数	1 時期: 150,440,648 点	2 時期: 133,268,681 点、
データ容量	las 1 時期:5.60GB	2 時期:4.96GB
計測壁面	南面(ScanPos003)	
〔点群計測データ〕		
		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 南正面より 南西角より </div>		

図- 60 対象データの概要 南面(ScanPos003)

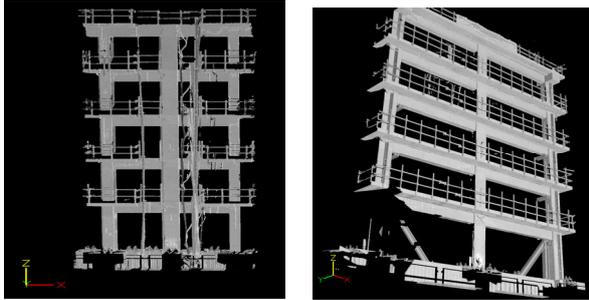
データ詳細	内容	
計測	E-ディフェンス (E-Defense)	
点数	1 時期: 88,601,480 点	2 時期: 83,284,551 点、
データ容量	las 1 時期:3.29GB	2 時期:3.10GB
計測壁面	東面(ScanPos001)	
〔点群計測データ〕		
		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> 東正面より 東南角より </div>		

図- 61 対象データの概要 東面(ScanPos001)

2-3-2. 検証結果 西面(ScanPos005)

1) 評価対象面について

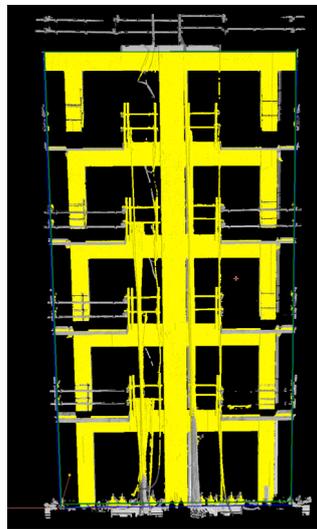


図- 62 評価対象面の抽出

2) 点密度の結果について(グリッド3パターン)

地面に近い点群がない箇所や配線ケーブル以外の壁面は点密度の要求精度(25 点/cm²)を満たしていることが観測できる。

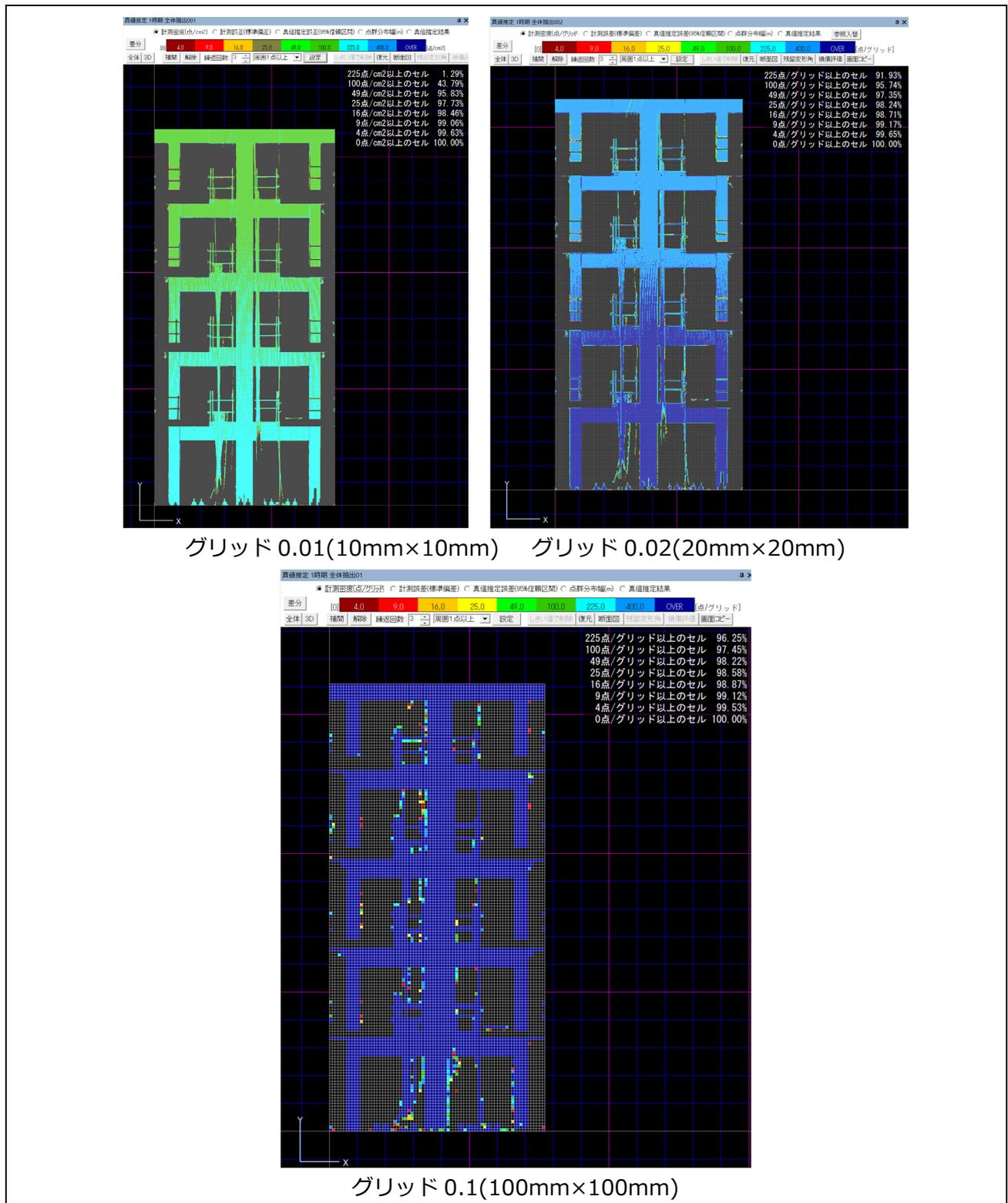
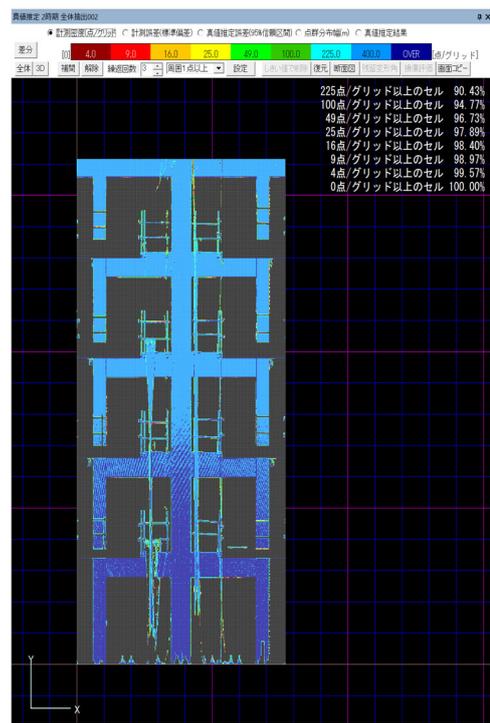
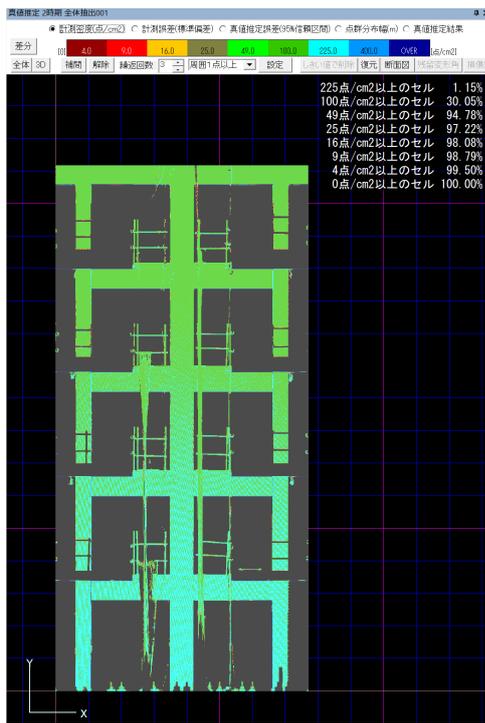
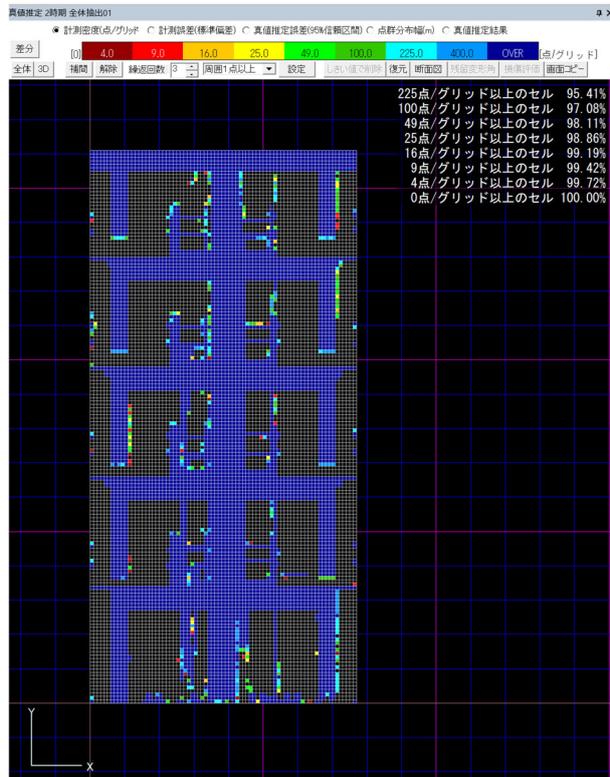


図- 63 1 時期データの点密度



グリッド 0.01(10mm×10mm) グリッド 0.02(20mm×20mm)



グリッド 0.1(100mm×100mm)

図- 64 2 時期データの点密度

3) 差分評価の結果について(1 時期と 2 時期比較)

上側ほど壁面が東側(奥側)にずれていることがデータから観測できる。ずれ量は-12.5mm～37.5mm(データ割合 97.27%)の範囲に入っていることが確認された。一般的にグラデーション設定は、差分評価結果の全体の上限值と下限値をそのまま設定すると周りと急に変化差が出ている浮き・剥落箇所が把握がしやすくなる。

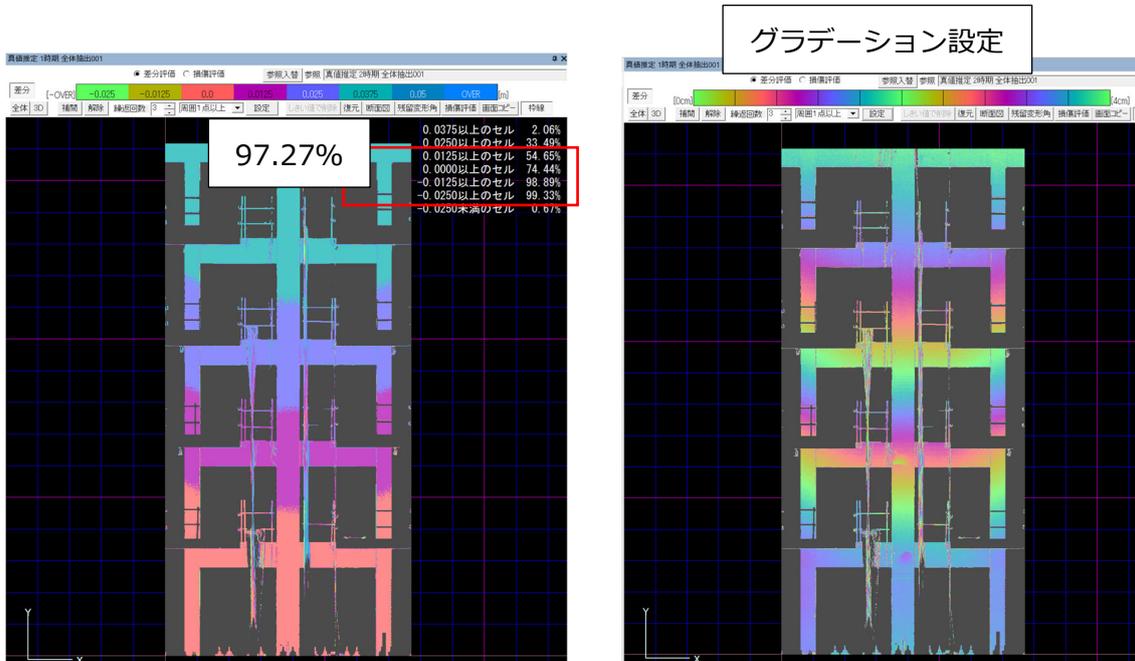


図- 65 差分評価の結果 グリッド 0.01(10mm×10mm)

4) 残留層間変形角の結果について

残留変位評価点の位置は、1 時期と 2 時期の点密度が両方とも要求精度以上を満たしている事を確認し、ばらつきがおさえられている位置にした。奥行方向の差を見ると下層は6mm ほど西側(手前側)へずれており、上層は34mm ほど東側(奥側)へずれて、上層ほどずれが大きくなっていることが観測できた。これは差分評価の結果と残留変位の結果が同じ傾向となり、評価結果が合致している。

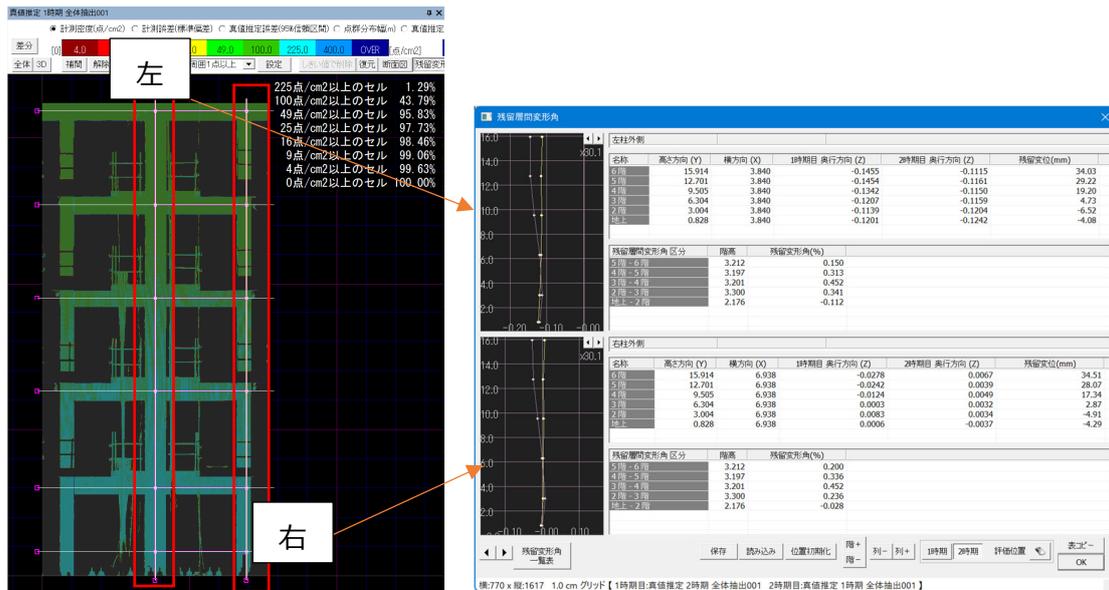


図- 66 残留層間変形角の結果 グリッド 0.01(10mm×10mm)

5) 浮き・剥落の面積の結果について

差分評価の結果のグラデーション表示より浮き・剥落と考えられる位置の把握はできていたので、周りと急に変化差が出ている箇所を浮き・剥落の箇所と認識するように、同一色をグルーピングして面積を算出したところ、2箇所の面積が検出できた。

残留変位の結果の数値が大きい場合、尚且つ、階丸ごと全体が浮き・剥落と判定される場合は、明らかに結果がおかしいものと考えられる。このような場合はその中に浮き・剥落が潜んでいる可能性があるため、差分評価のグラデーション表示で色設定を何パターンも試して、浮き・剥落箇所を探す必要がある。

一般的に浮き・剥落の面積を算出する時の色設定は、グラデーション設定で浮き・剥落と認識した箇所の差分評価結果が範囲内になるように設定すると上手く検出できる。

※色の詳細な設定方法は「テストデータを使用した作業フローに沿った手順書」を参照

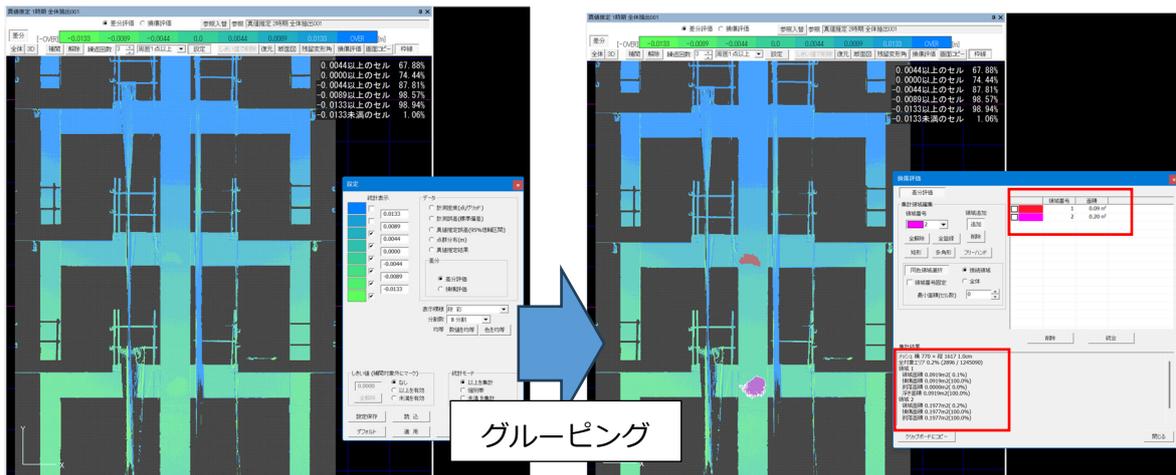
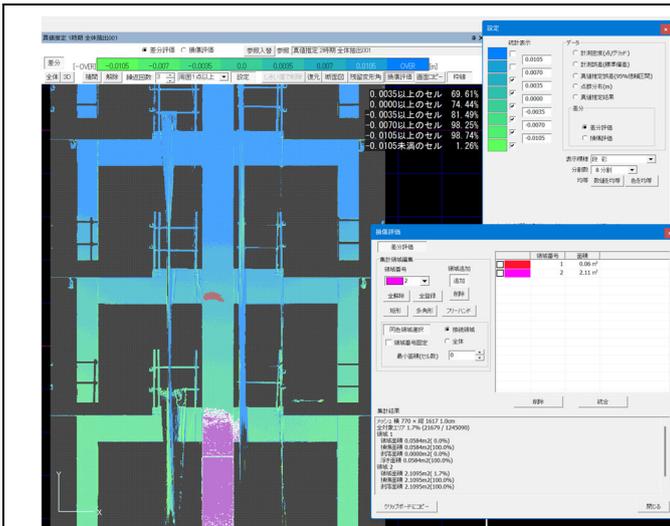


図- 67 残留層間変形角の結果 グリッド 0.01(10mm×10mm)

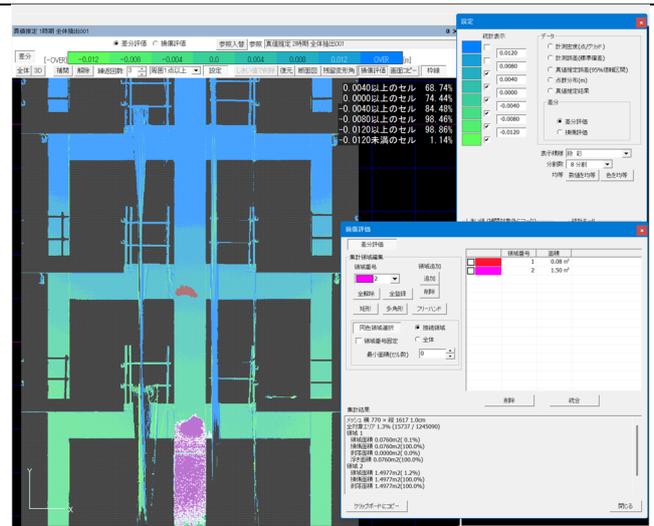
また、色設定により算出面積結果が変化するため、留意が必要である。図- 68 に示すように、領域 NG とならない最大面積が検出できるのは 0.0045m ピッチの時である。ルールとして、グラデーション表示より浮き・剥落と思われる箇所に対して、領域が繋がらない範囲設定にして最大値の面積を出せるような色設定を推奨すべきか議論の余地がある。

色設定の刻み(m)と レンジ最小値と最大値	面積(m ²)	
	上層箇所	下層箇所
0.0035(-0.0105~0.0105)	0.0584	領域 NG
0.0040(-0.0120~0.0120)	0.0760	領域 NG
0.0045(-0.0135~0.0135)	0.0939	0.1895
0.0050(-0.0150~0.0150)	領域 NG	0.1354
0.0055(-0.0165~0.0165)	領域 NG	0.1044

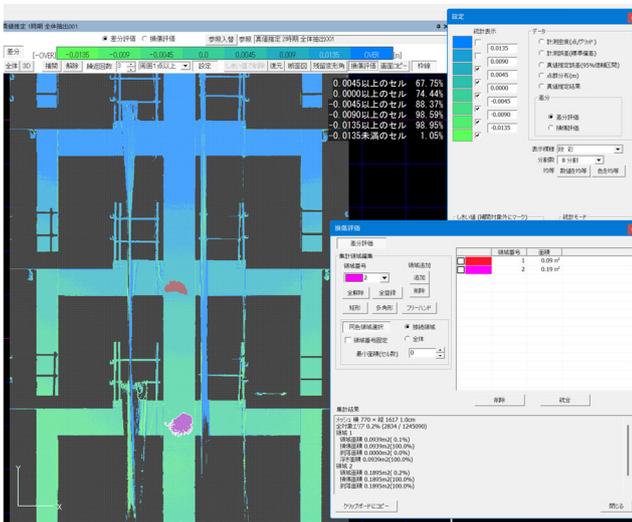
※領域 NG とは、同一色の領域が繋がってしまい意図する浮き・剥落の面積が出せない場合。



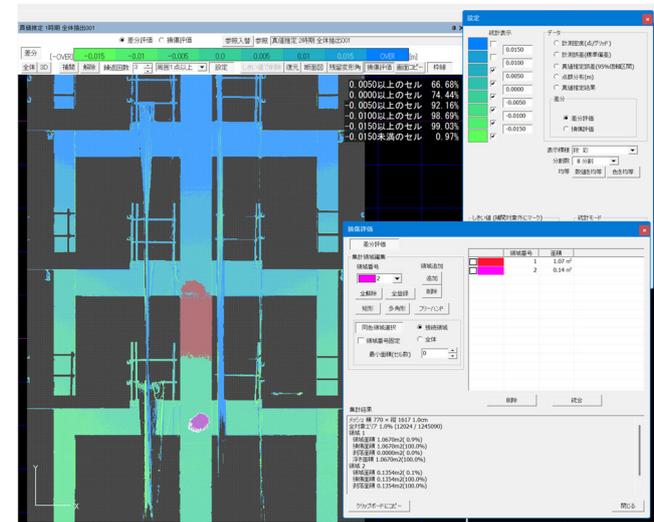
色設定ピッチ 0.0035m



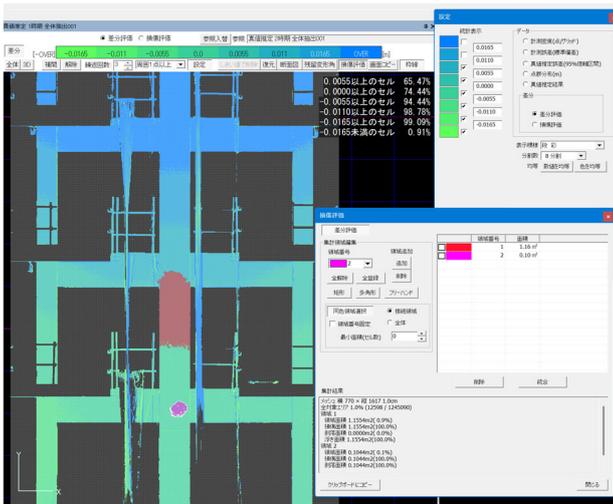
色設定ピッチ 0.0040m



色設定ピッチ 0.0045m



色設定ピッチ 0.0050m



色設定ピッチ 0.0055m

図- 68 色設定と浮き・剥落の面積 グリッド 0.01(10mm×10mm)

2-3-3. 検証結果 南面(ScanPos003)

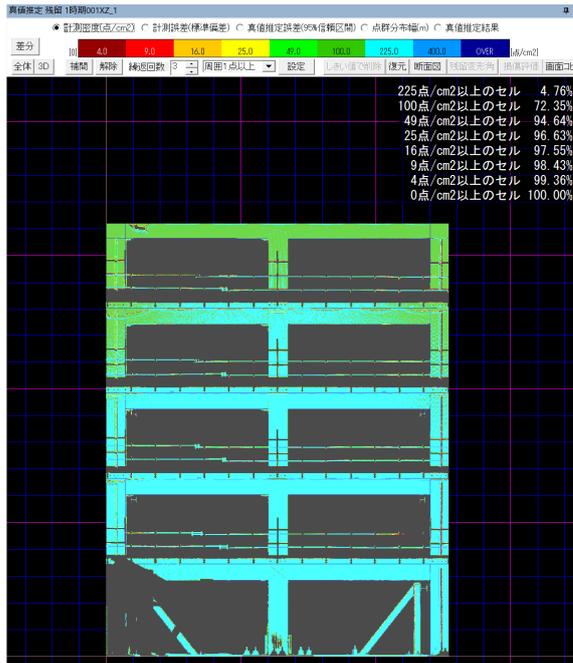
1) 評価対象面について



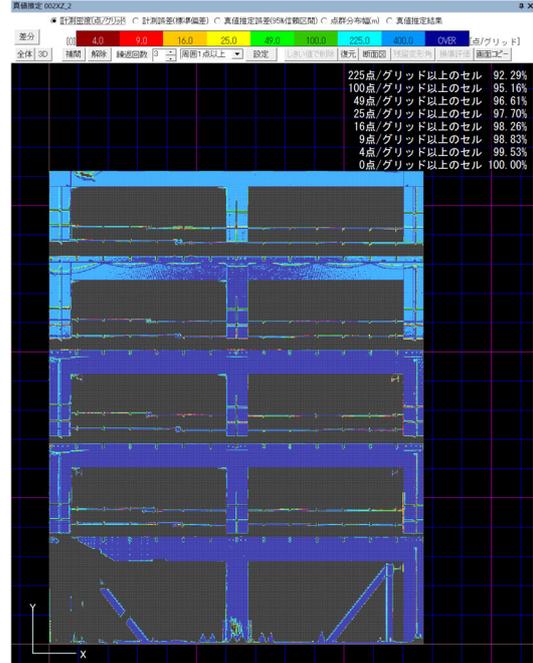
図- 69 評価対象面の抽出

2) 点密度の結果について(グリッド3パターン)

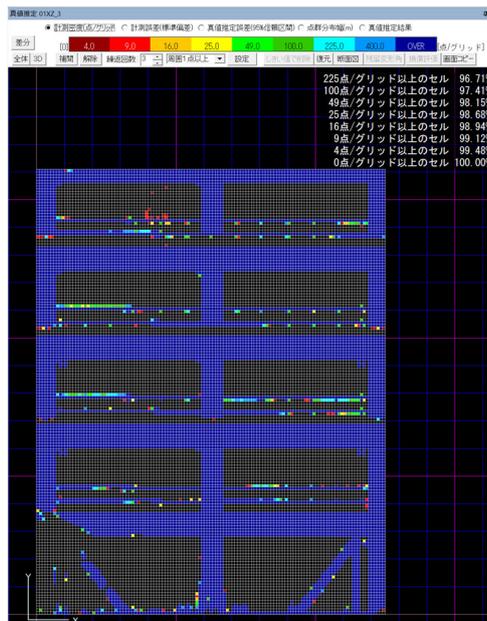
壁面が手すりの光学遮蔽物によってデータ欠損している箇所がある。その近傍以外の壁面は概ね点密度の要求精度(25 点/cm²)を満たしていることが観測できる。



グリッド 0.01(10mm×10mm)



グリッド 0.02(20mm×20mm)



グリッド 0.1(100mm×100mm)

図- 70 1 時期データの点密度

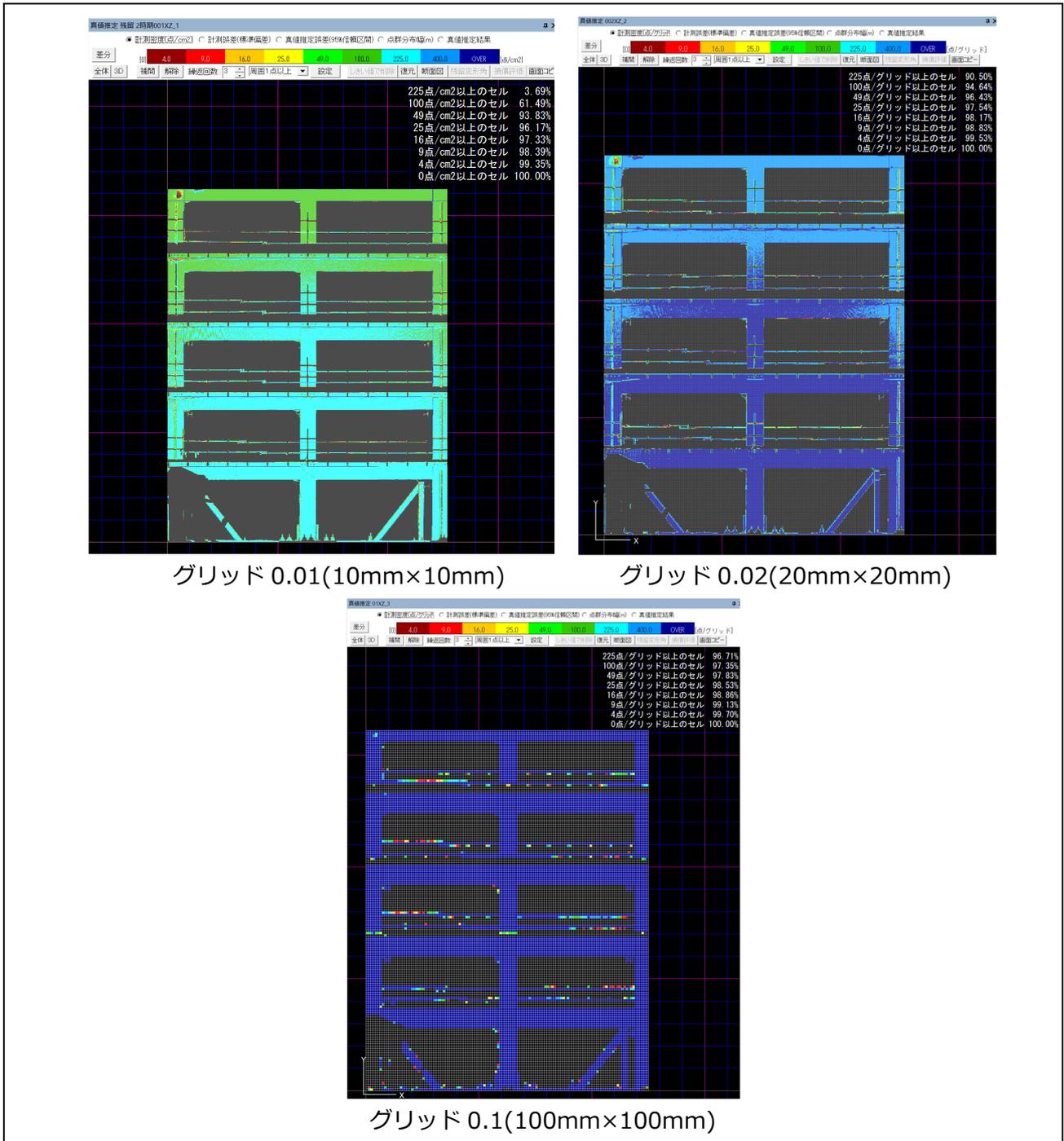


図-71 2 時期データの点密度

3) 差分評価の結果について(1 時期と 2 時期比較)

左上側壁面が南側(手前側)にずれていたことがデータから観測できる。ずれ量は-13.3m~13.3m(データ割合 89.18%)の範囲内に入っていることが確認された。但し、大半がマイナス側である。

一般的にグラデーション設定は、差分評価結果の全体の上限值と下限値をそのまま設定すると周りと急に変化差が出ている浮き・剥落箇所の把握がしやすくなる。

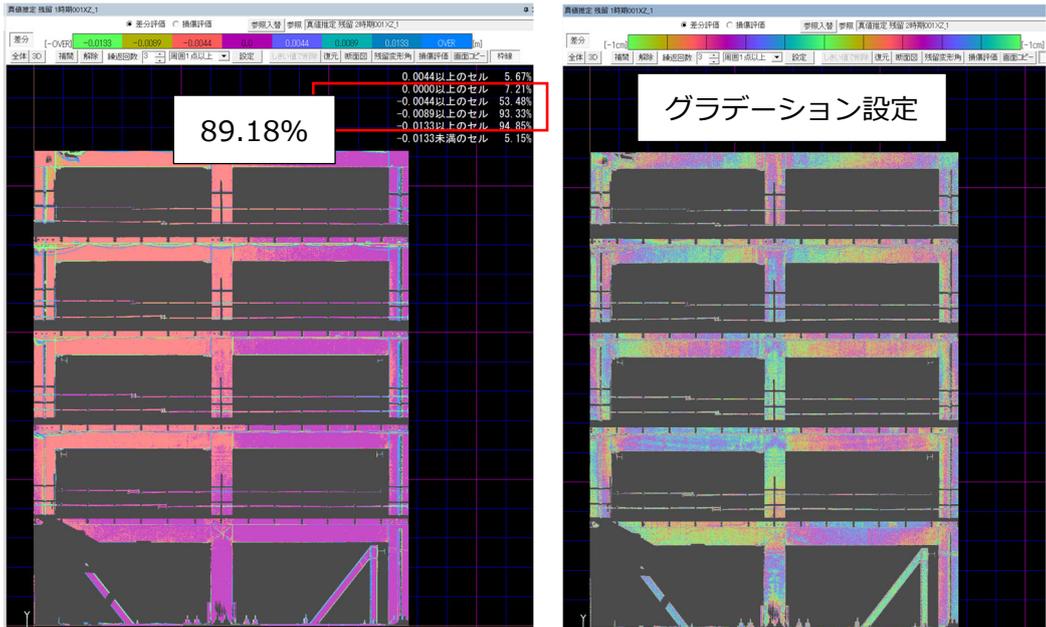


図- 72 差分評価の結果 グリッド 0.01(10mm×10mm)

4) 残留層間変形角の結果について

残留変位評価点の位置は、1 時期と 2 時期の点密度が両方とも要求精度以上を満たしている事を確認し、ばらつきがおさえられている位置にした。奥行方向の差を見ると全体でありずれがないことが観測できた。全体的にわずかに南側(手前側)に 6mm ずれている程度である。差分評価の結果と残留変位の結果が同じ傾向を示していることから、評価結果が合致していることが分かる。

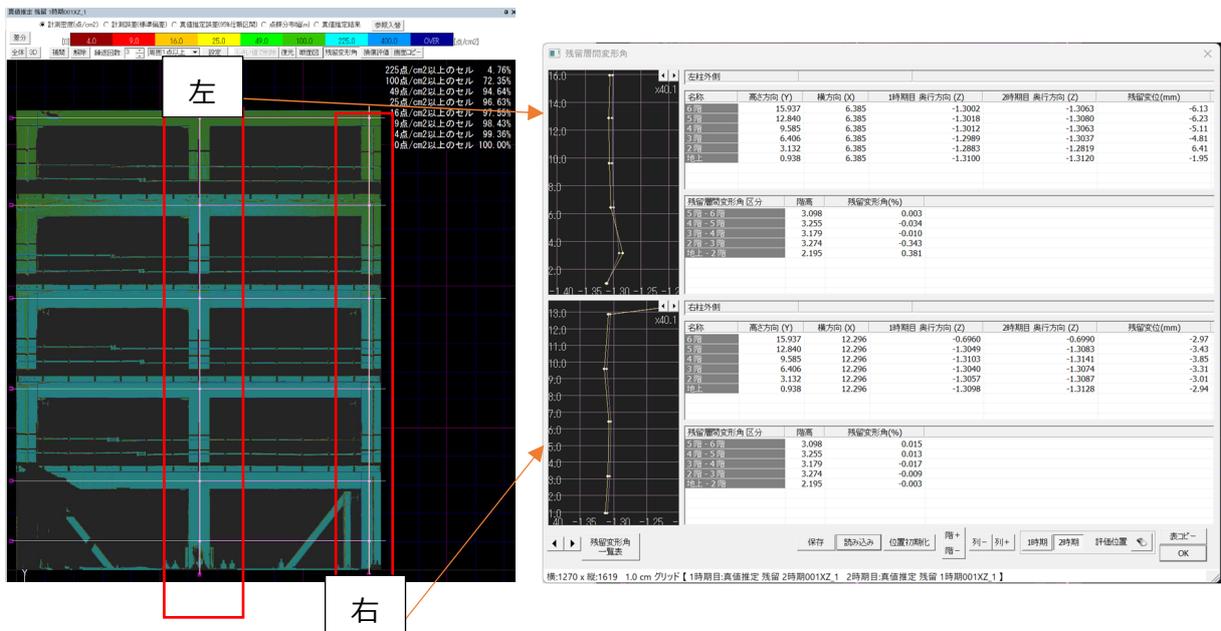


図- 73 残留層間変形角の結果 グリッド 0.01(10mm×10mm)

5) 浮き・剥落の面積の結果について

差分評価の結果のグラデーション表示も確認したが、周りと急に変化差が出ている浮き・剥落と考えられる箇所がつけられなかった(配線ケーブル箇所は除外)。色設定を変えても浮き・剥落がつけられなかった。図- 75 に結果を示す。

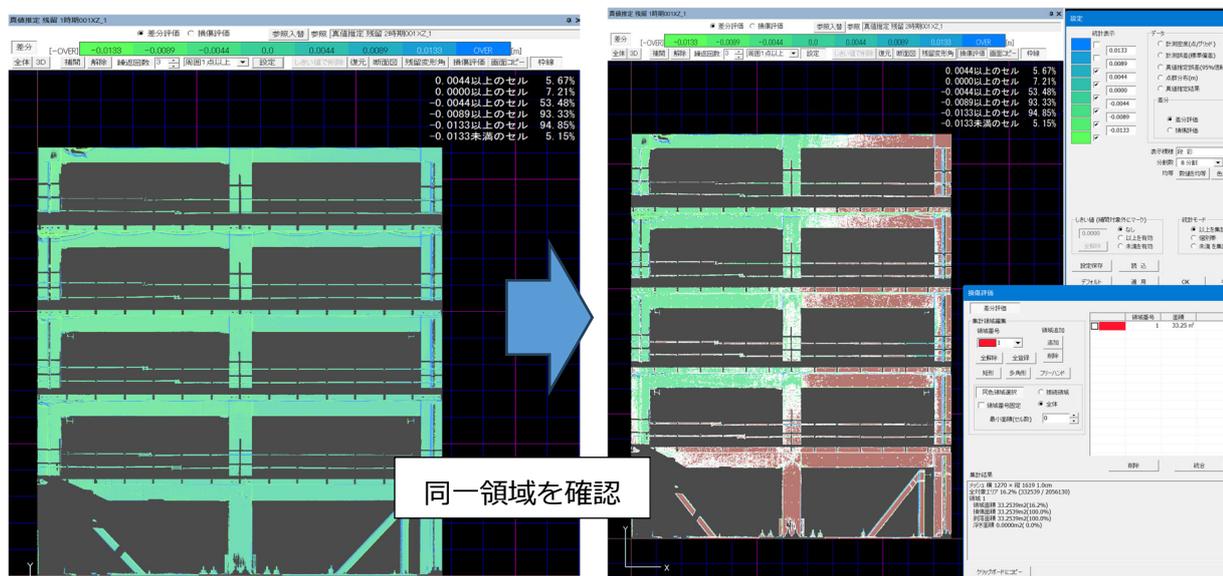
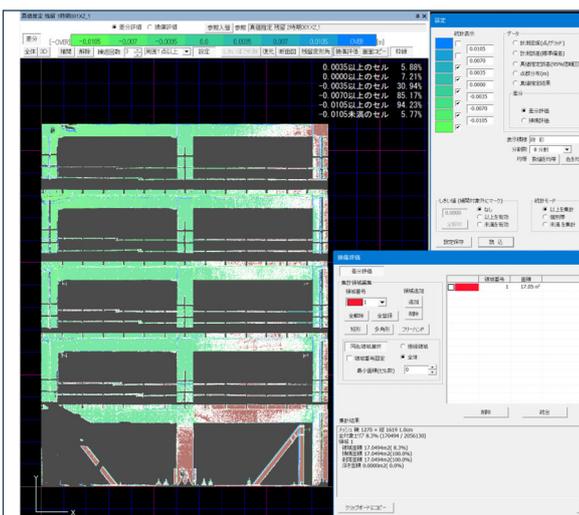


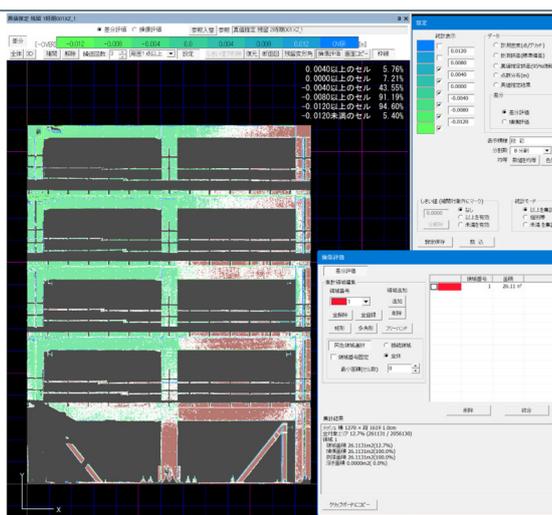
図- 74 全体の浮き・剥落の面積 グリッド 0.01(10m×10m)

色設定の刻み(m)とレンジ最小値と最大値	面積(m ²)
0.0035(-0.0105~0.0105)	領域 NG
0.0040(-0.0120~0.0120)	領域 NG
0.0045(-0.0135~0.0135)	領域 NG
0.0050(-0.0150~0.0150)	領域 NG
0.0055(-0.0165~0.0165)	領域 NG

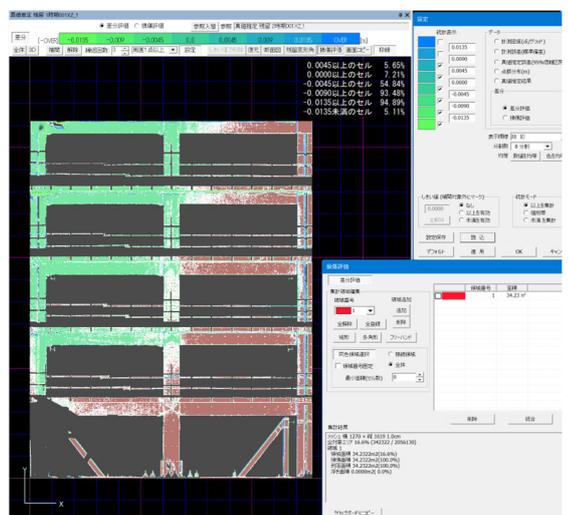
※領域 NG とは、同一色の領域が繋がってしまい意図する浮き・剥落の面積が出せない場合。(そもそも差分結果が小さくてデータ自体に浮き・剥落箇所がない場合も含む)



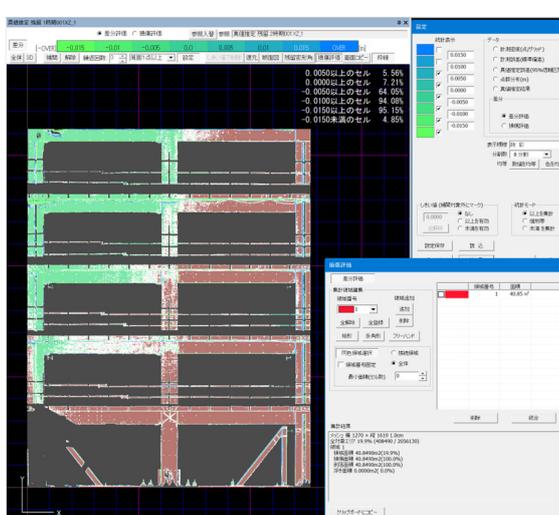
色設定ピッチ 0.0035m



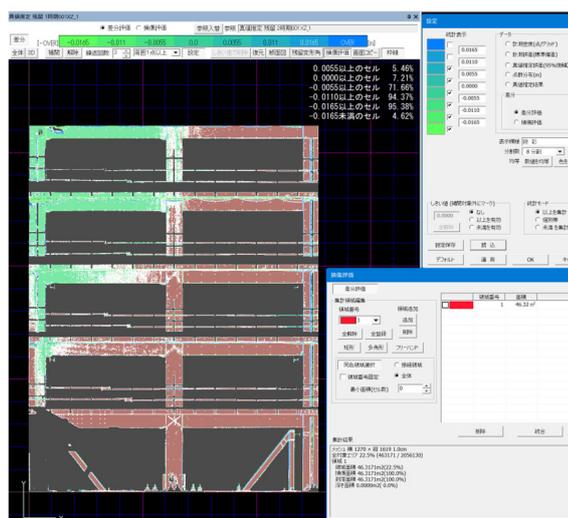
色設定ピッチ 0.0040m



色設定ピッチ 0.0045m



色設定ピッチ 0.0050m



色設定ピッチ 0.0055m

図-75 色設定と浮き・剥落の面積 グリッド 0.01(10m×10m)

2-3-4. 検証結果 東面(ScanPos001)

1)評価対象面について

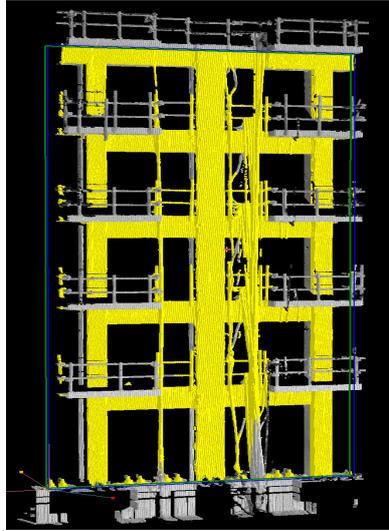
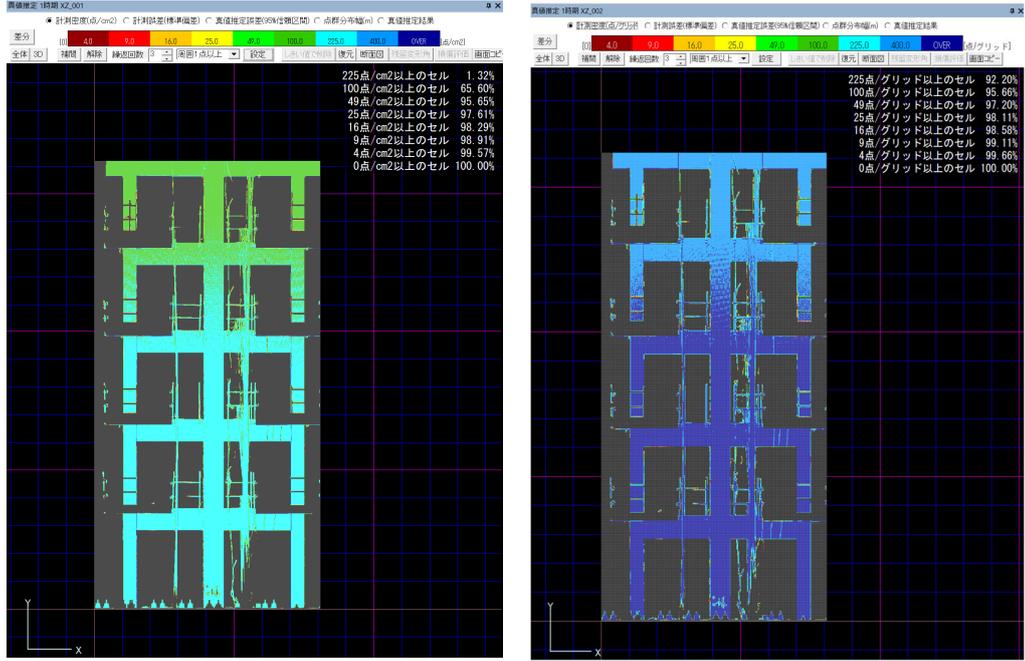


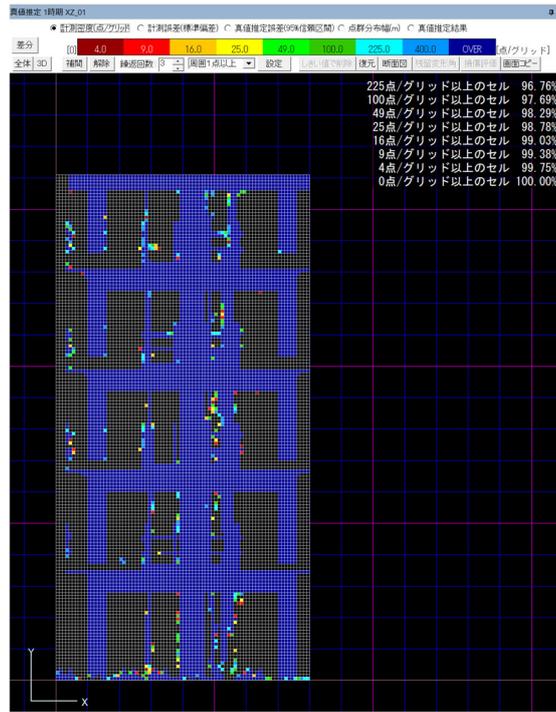
図- 76 評価対象面の抽出

2) 点密度の結果について(グリッド3パターン)

地面に近い点群がない箇所や配線ケーブル以外の壁面は点密度の要求精度(25 点/cm²)を満たしていることが観測できる。

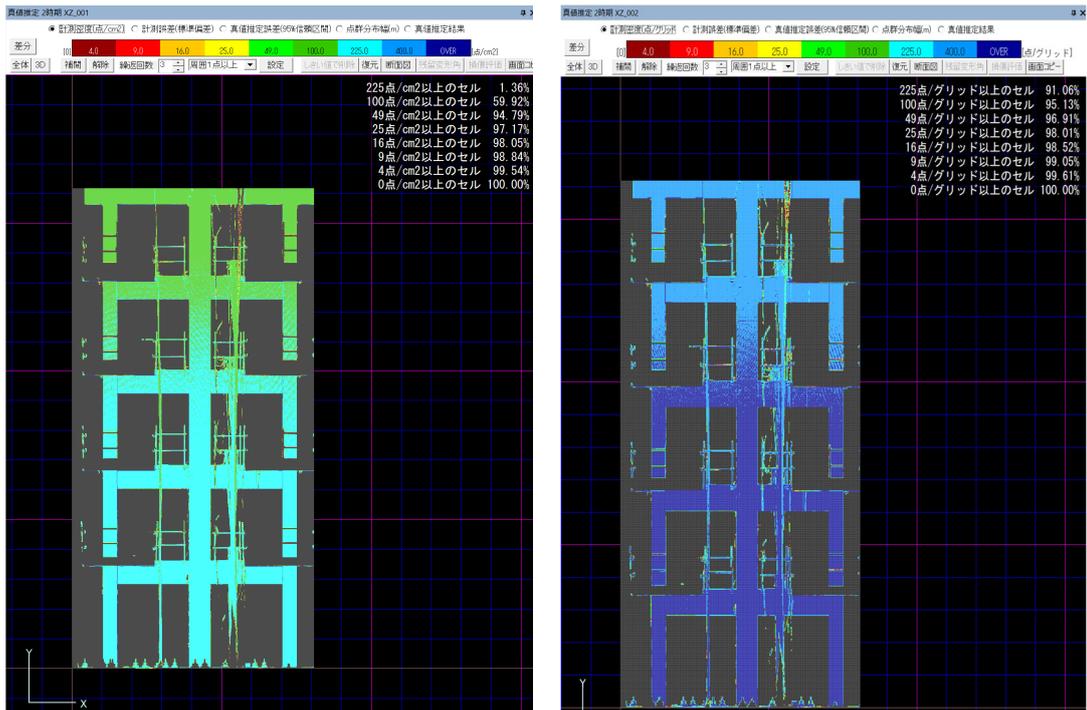


グリッド 0.01(10mm×10mm) グリッド 0.02(20mm×20mm)

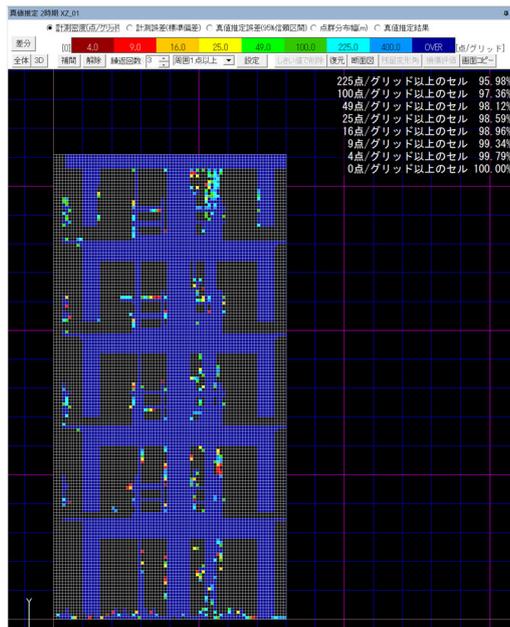


グリッド 0.1(100mm×100mm)

図- 77 1 時期データの点密度



グリッド 0.01(10mm×10mm) グリッド 0.02(20mm×20mm)



グリッド 0.1(100mm×100mm)

図- 78 2 時期データの点密度

3) 差分評価の結果について(1 時期と 2 時期比較)

全体的に壁面が東側にずれていたことがデータから観測できる。ずれ量は-40.0mm～10.0mm(データ割合 93.56%)の範囲内に入っていることが確認された。但し、大半がマイナス側である。上層はやや歪んでずれている。土台あたりの下層はやや西側にずれている。

西面(ScanPos005)も東側にずれていたため、西面と東面で被災後は大よそ同じ方向へずれており評

価結果に整合性がとれている。

一般的にグラデーション設定は、差分評価結果の全体の上限值と下限値をそのまま設定すると周りと急に变化差が出ている浮き・剥落箇所の把握がしやすくなる。

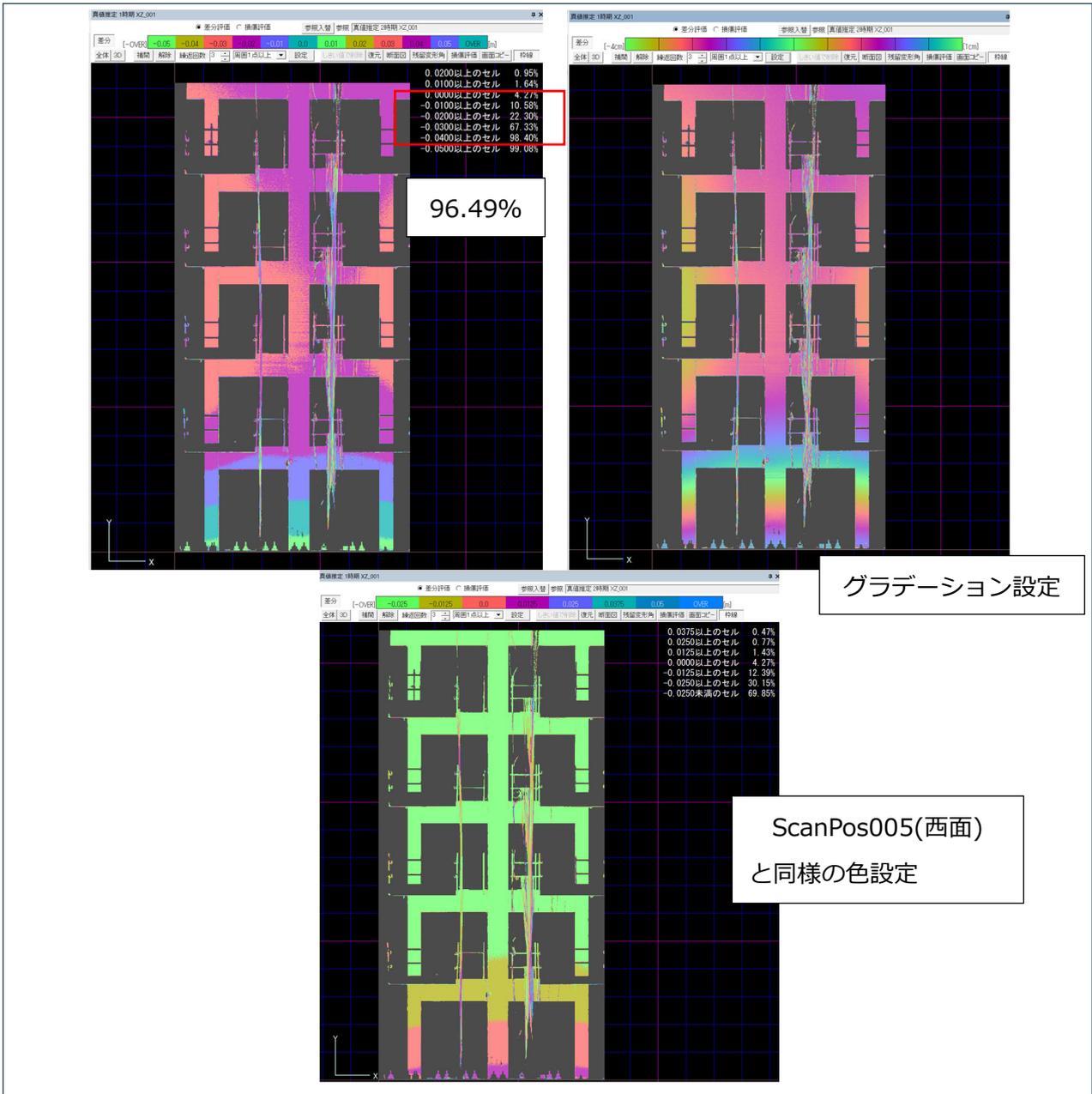


図- 79 差分評価の結果 グリッド 0.01(10mm×10mm)

4) 残留層間変形角の結果について

残留変位評価点の位置は、1 時期と 2 時期の点密度が両方も要求精度以上を満たしている事を確認し、ばらつきがおさえられている位置にした。奥行方向の差を見るとずれている箇所でも-30mm 程度(東側へズレ)ということが観測できた。下層はやや西側に-1mm ずれている程度であり、差分評価の結果と残留変位の結果が同じ傾向となり、評価結果が合致していることが分かる。

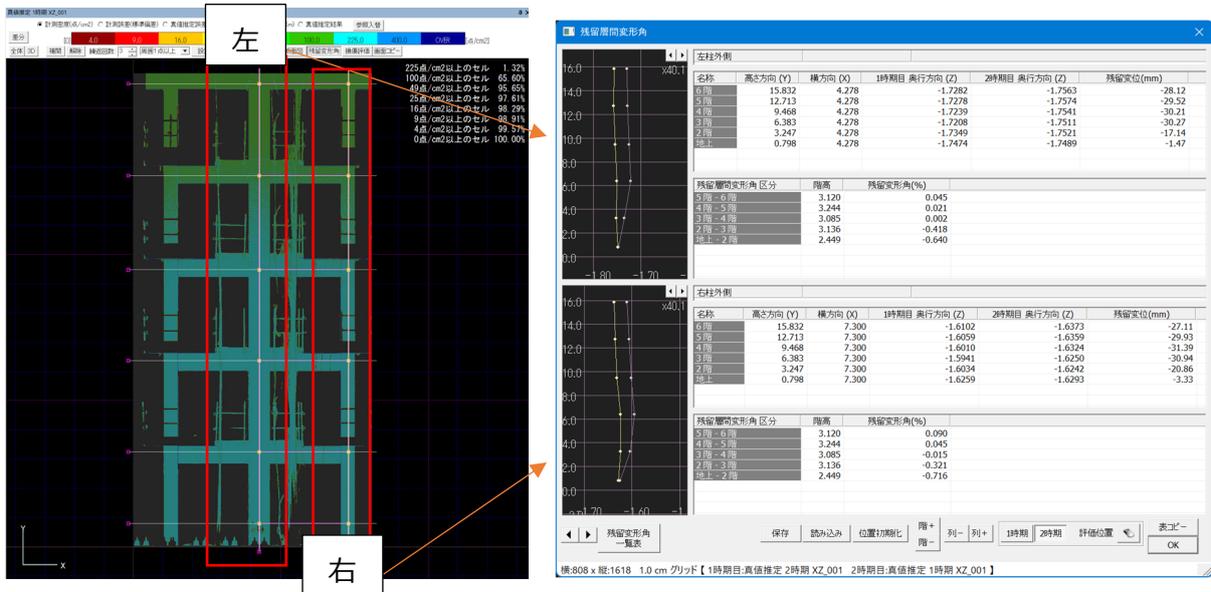


図- 80 残留層間変形角の結果 グリッド 0.01(10mm×10mm)

5) 浮き・剥落の面積の結果について

差分評価の結果のグラデーション表示も確認したが、周りと急に变化差が出ている浮き・剥落と考えられる箇所が見つけれなかった(配線ケーブル箇所は除外)。ただ、残留層間変形角の結果から推測される下層のずれたと思われる箇所は色分けして出てきた。

色設定を変えても浮き・剥落が見つけれなかった結果とグラデーション設定の試行結果を図- 82、図- 83 に示す。

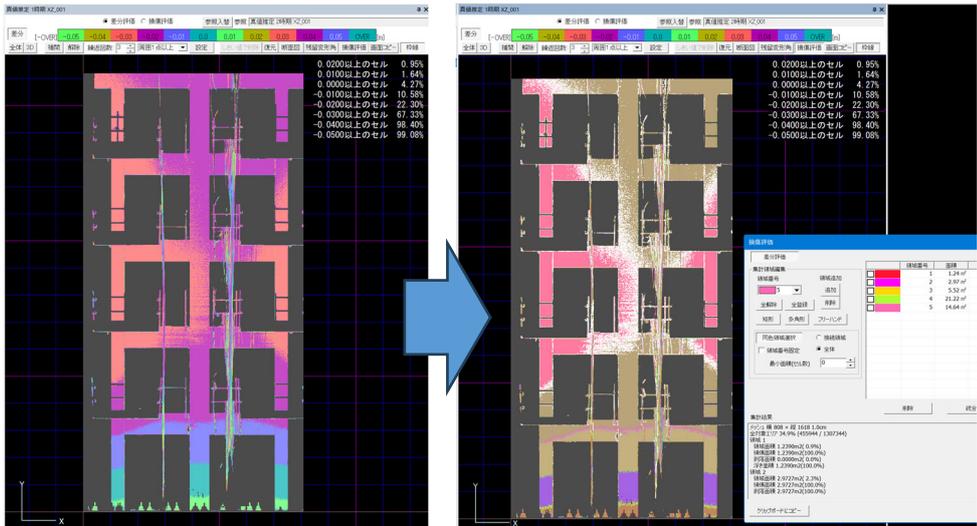


図- 81 全体の浮き・剥落の面積 グリッド 0.01(10mm×10mm)

色設定の刻み(m)と レンジ最小値と最大値	面積(m ²)
0.0060(-0.0180~0.0180)	周りと急激な変化は見つけれず
0.0065(-0.0195~0.0195)	周りと急激な変化は見つけれず
0.0070(-0.0210~0.0210)	周りと急激な変化は見つけれず
0.0075(-0.0225~0.0225)	周りと急激な変化は見つけれず
0.0080(-0.0240~0.0240)	周りと急激な変化は見つけれず

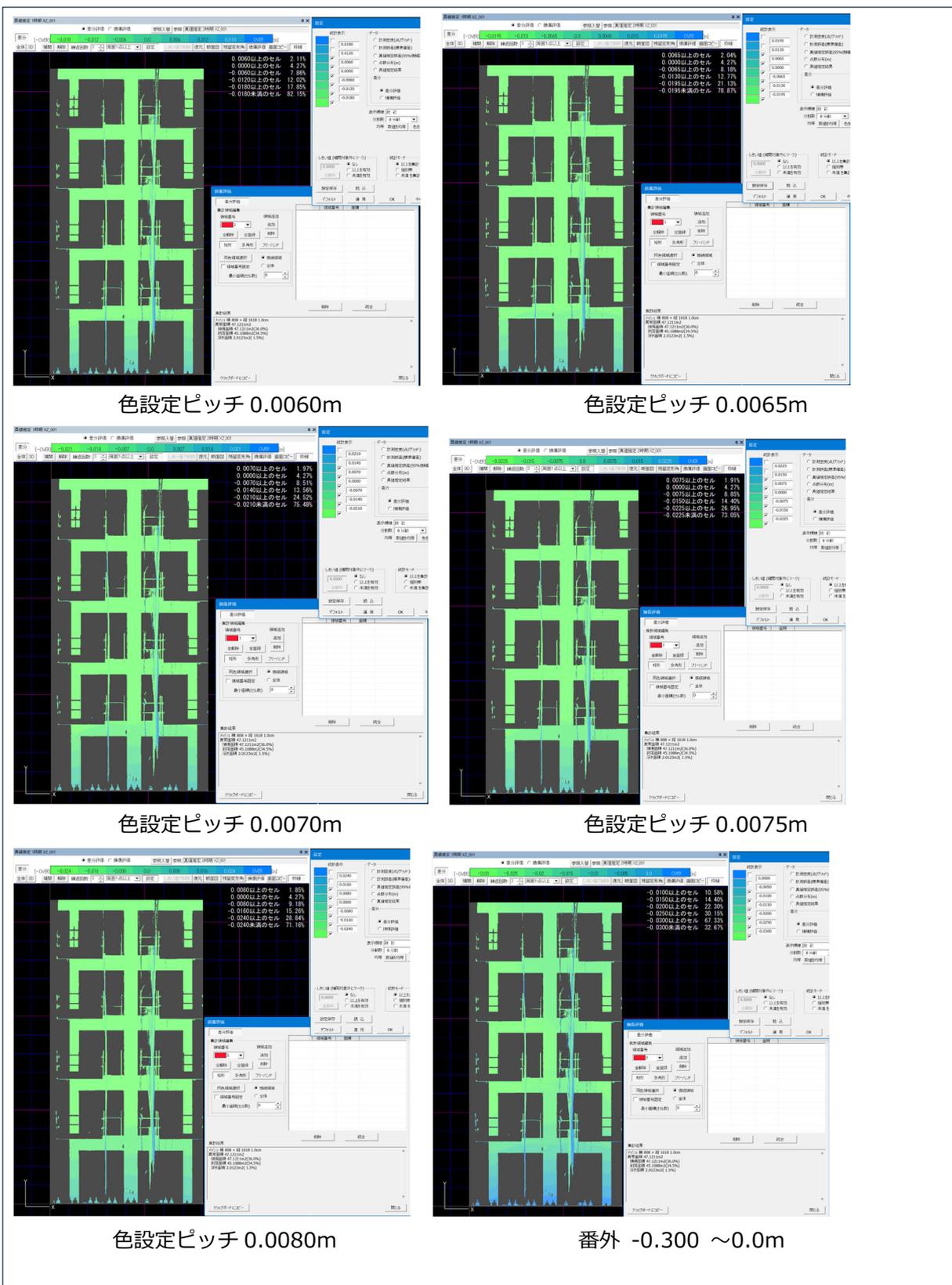


図- 82 色設定と浮き・剥落の面積 グリッド 0.01(10m×10m)



図- 83 グラデーション設定の試行結果

6) Scan005(西面)と Scan001(東面)の柱 3 本の比較結果について

a.北柱の結果

立体的に変化している箇所がわかり、被災前と後で損傷分布がわかる。他の柱も同様である。

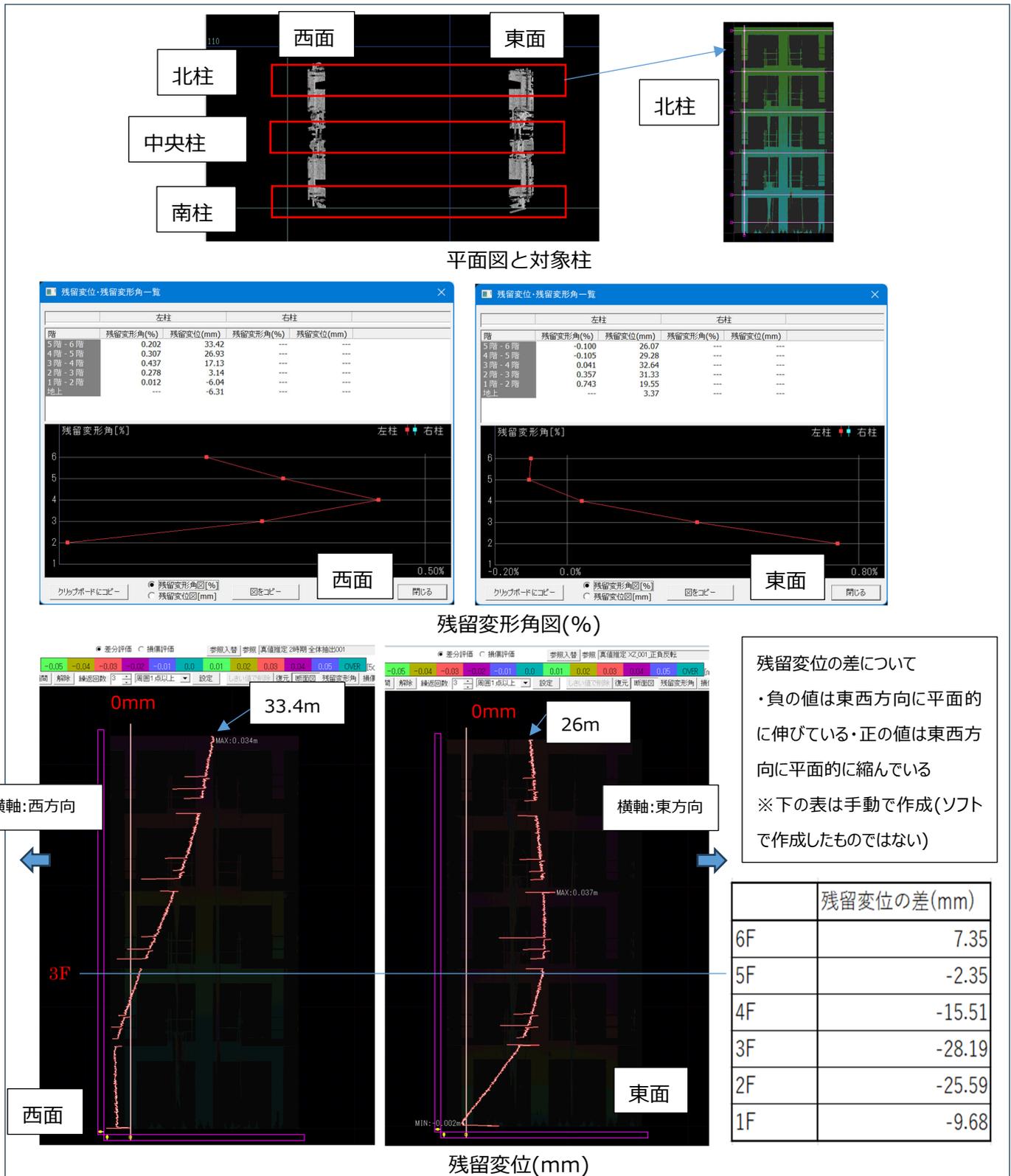


図- 84 Scan005(西面)と Scan001(東面)の北柱の比較結果

b.中央柱の結果

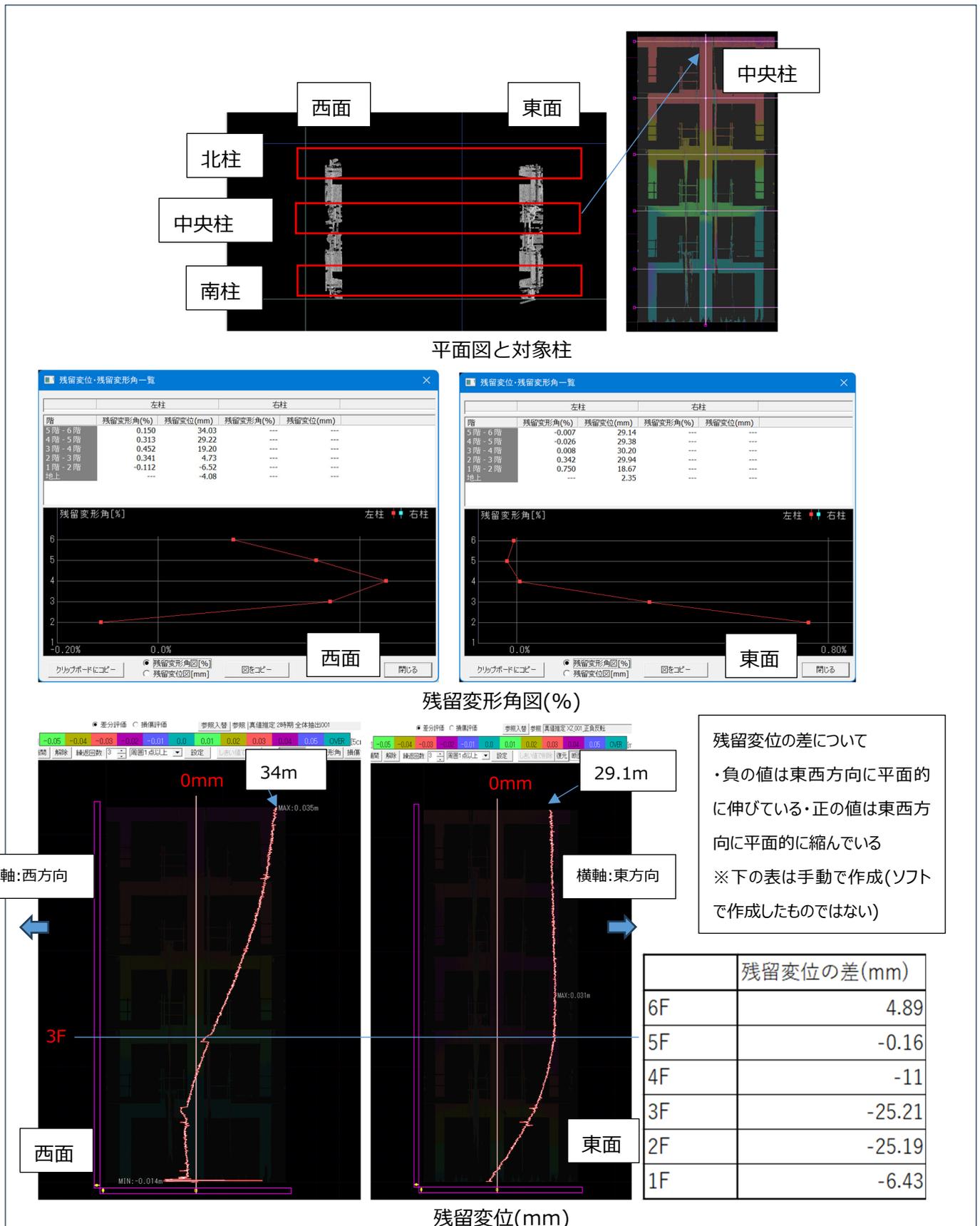


図- 85 Scan005(西面)と Scan001(東面)の中央柱の比較結果

c.南柱の結果

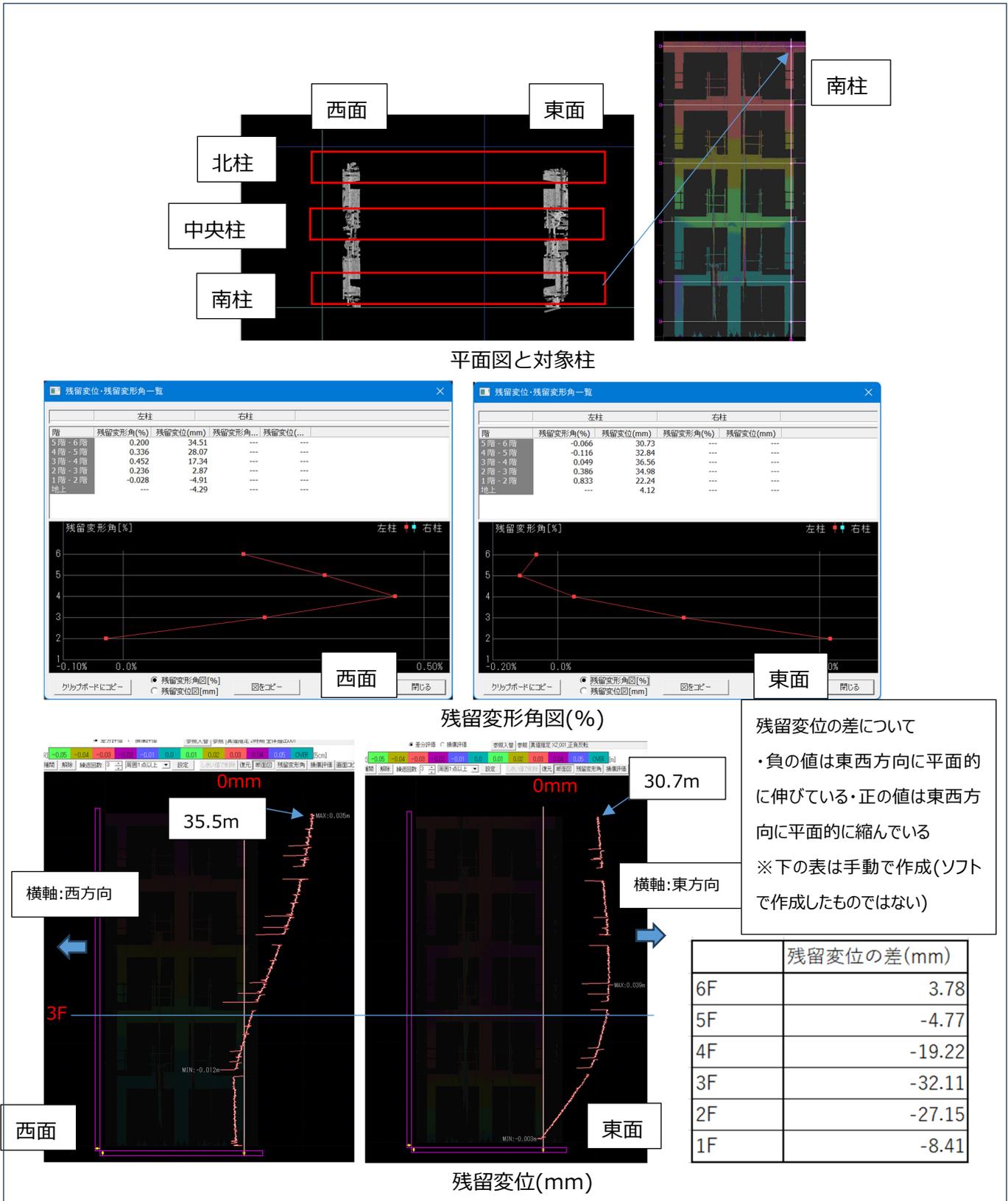


図- 86 Scan005(西面)と Scan001(東面)の南柱の比較結果

7) Scan003(南面)の柱 3 本の結果について

a.西柱の結果

立体的に変化している箇所がわかり、被災前と後で損傷分布がわかる。他の柱も同様である。

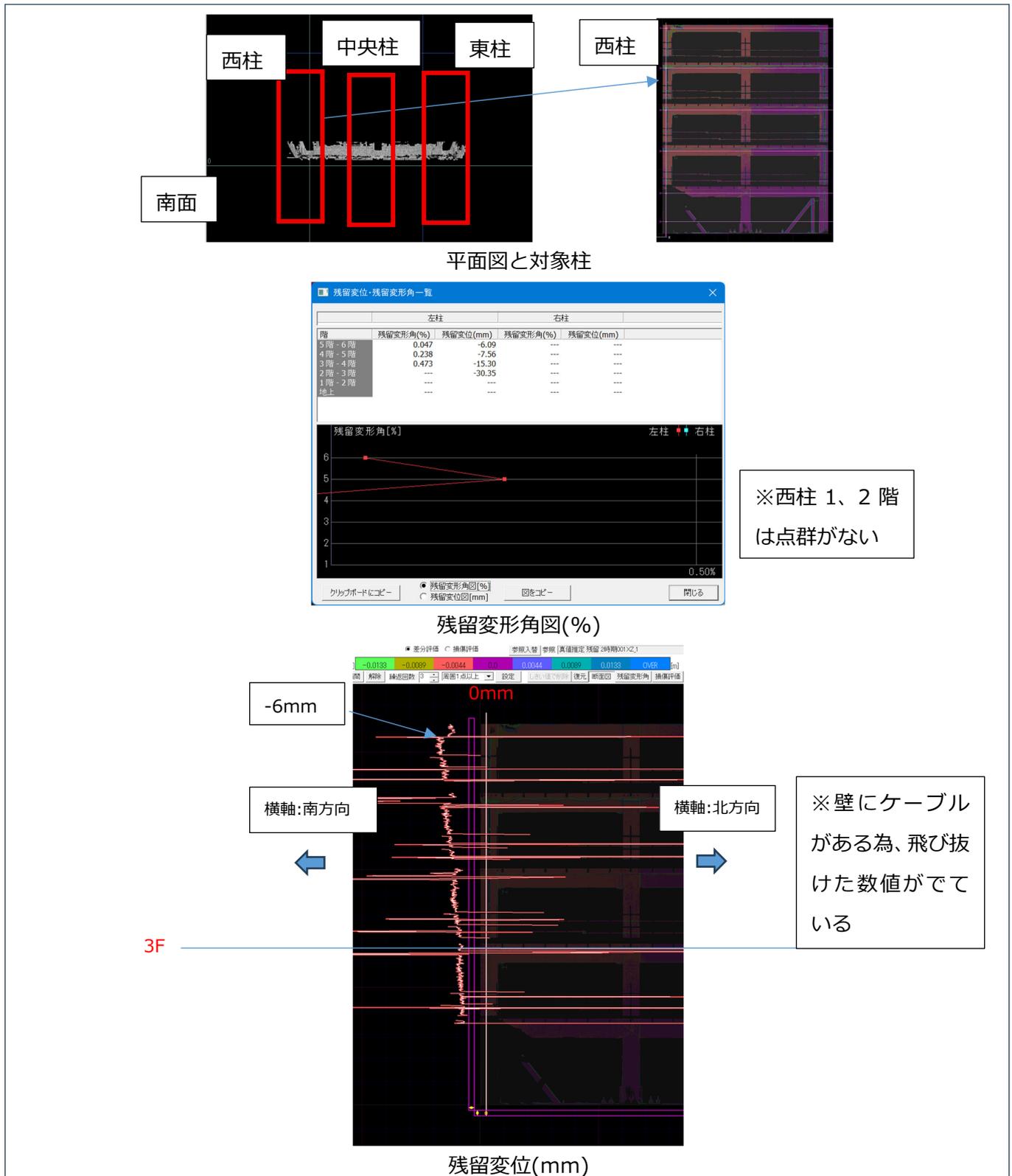


図- 87 Scan003(南面)の西柱の結果

b.中央柱の結果

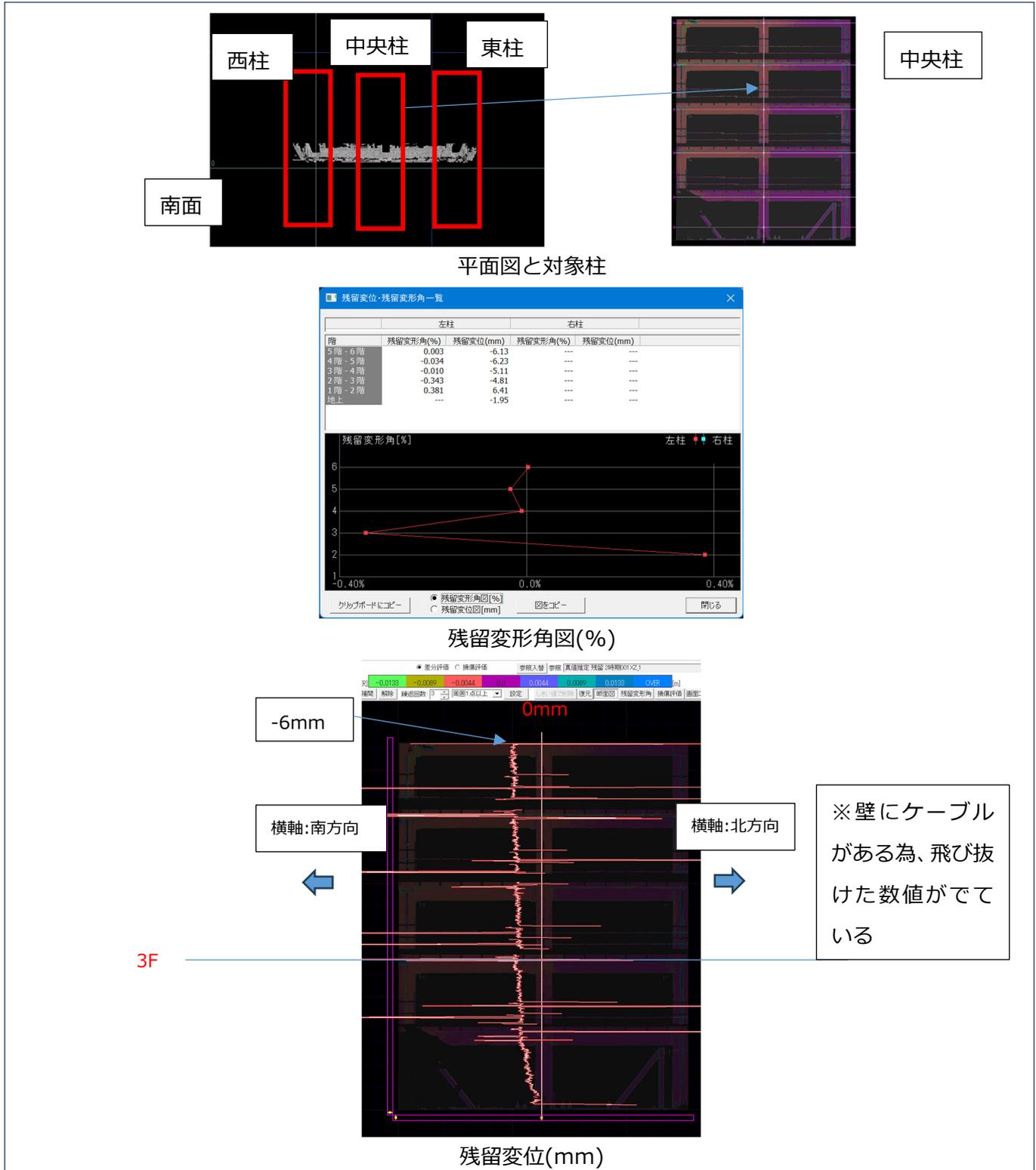


図- 88 Scan003(南面)の中央柱の結果

c.東柱の結果

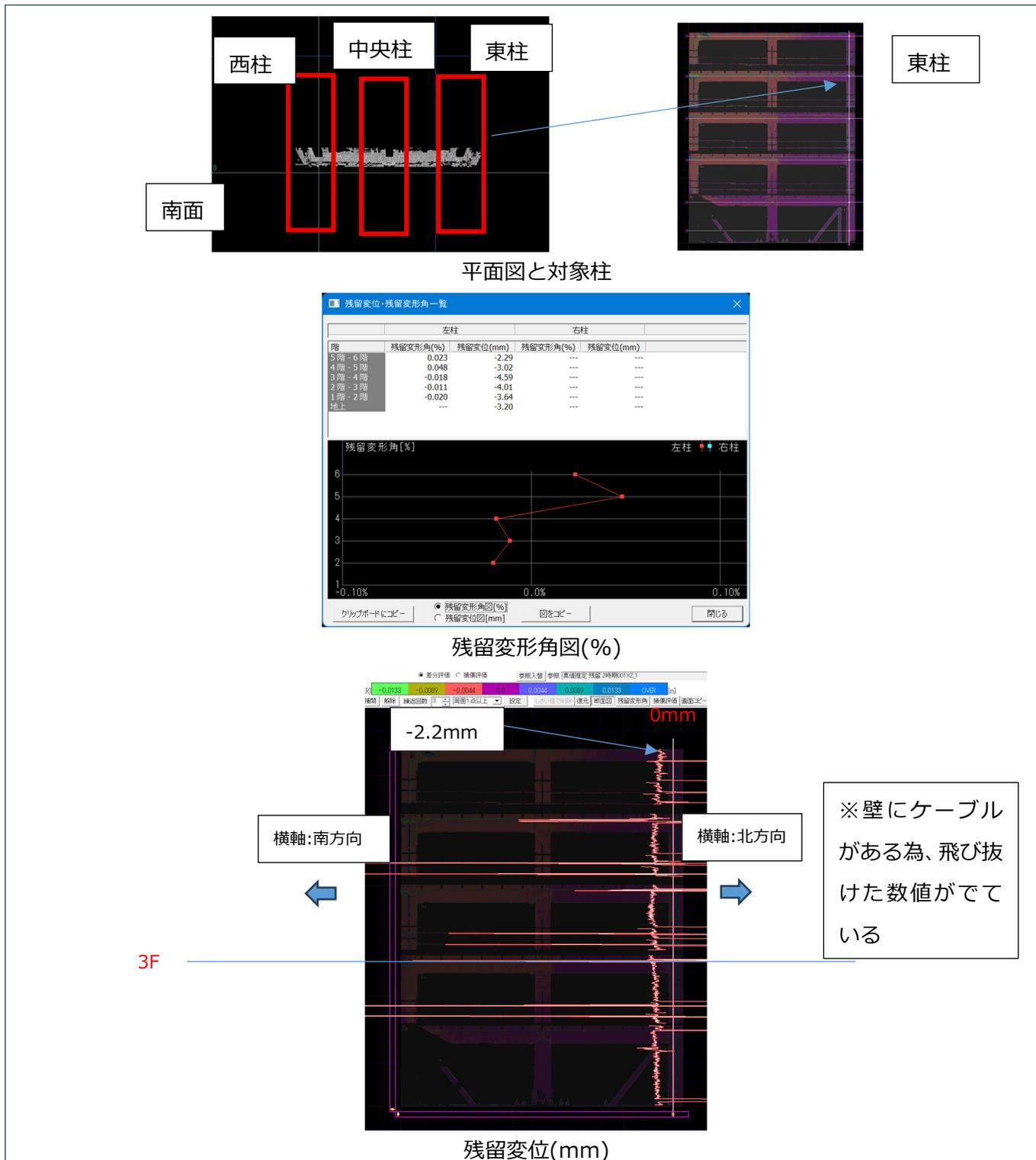


図- 89 Scan003(南面)の東柱の結果

3. 3か年のまとめと今後の課題

3-1. まとめ

1) 「①複数データの読み込み」について

- ・約 5.6 億点 (562,615,141 点) の las データ (容量:14.2GB) の読み込み時間の検証をした。インポート時間は 51 秒であり問題ないことを確認した。建物の規模は平面 30.0m×15.7m、高さ 10.2m である。
- ・複数 las データの読み込み検証を行い、メモリ 32GB で合計 16.4 億点のファイルサイズ約 60GB 分の las データ読み込みが可能であることを確認した。
- ・被災建物の損傷評価を想定して E-ディフェンスデータ読み込みを行い、複数データを読み込んでプロジェクト作成とセーブ/ロードが行えることを検証した。

2) 「②計測データの座標系(XY 平面)の調整機能」について

- ・回転原点の設定やマウスクリックでの 2 点目のピック、0,0,0 回転原点への移動、回転角度などが把握できる機能を実装することで、容易な操作が可能となる仕様となった。
- ・1 時期目と 2 時期目の座標合わせについて、1 時期目は公共座標にて座標を取得している為、本ソフト側で軸を合わせて座標変換を行うことになる。2 時期目は 1 時期目の評価参照点を使用して位置合わせする為、事前にレジストレーションを現場作業側で実施していれば、軸の調整は容易であるという結論に達した。

3) 「③部材の損傷評価面の抽出機能」について

- ・実用性を考慮し、抽出したい点群をプレビューで視覚的に確認しながら抽出できる機能を実装した。抽出用の立方体を操作することで、基準面に対して±0.05m(任意設定)のデータ抽出を行うことが可能である。損傷評価面リストのセーブ/ロード機能も盛り込み、評価面の管理が容易になるように配慮している。

4) 「④計測点群の真値推定する機能」について

- ・抽出した損傷評価面(外れ値を除いたエリア)から、平均値を基にメッシュ点を計算する真値推定機能を実装した。欠損箇所への補間機能も追加することで、作業者の意向をくみ取れる機能とした。
- ・真値推定の実行処理時間は、基本的に処理時間は点数に対して線形比例するので 1 億点でも 8 秒以内に計算が終わるため、実行処理スピードは問題ない。このことを検証で確認した。

5) 「④データの信頼性について確認する機能」について

- ・カラーバーの再設定とカラー選択ボタンの設置、結果表示 5 つ(点密度、計測誤差(標準偏差)、真値推定誤差、点群分布幅、真値推定結果)、差分表示 3 つ(レジストレーション誤差、差分評価、損傷評価)、点が持っている統計情報などを表示するポップアップ機能を実装した。
- ・カラーバーの色設定のセーブ/ロード機能も盛り込み、カラーバー表示した結果の las,csv 出力機能も実装しており、損傷評価の報告書を作成する際に活用できるようになっている。

6) 「⑤被災前と被災後の差分解析を実施できる機能」について

- ・任意の時期データを比較する差分解析機能と任意位置の断面表示機能の実装を行った。断面表示では、任意位置の寸法線表示が可能となっている(shift 押しながら鉛直方向距離の表示や、斜めの場合は斜距離表示と共に XY 軸の補助線を描いて、X と Y の距離も表示可能)。
- ・法線ベクトルを利用した損傷評価も試作したが、全体の広範囲に浮き・剥落がバラバラに出てしまう検証結果となり、満足いく結果を得られなかったので実装は見送った。

7) 「⑥損傷評価結果を算定に用いるデータ抽出機能」について

- ・残留層間変形角の表示機能として、層間変形角を求めるための残留変位評価点の位置を指定し、データ毎に座標値を抽出する機能の実装を行った。残留変位評価点の位置設定はセーブ/ロードできるようになっている。表示結果はテキスト形式で出力できる機能を有している。
- ・また、2 時期目の段階で 1 時期目と同じ平面座標にデータが無かった場合などに対して、残留層間変形角の評価点位置の補正機能を盛り込んだ。
- ・浮き・剥落箇所を抽出し、その面積(平面面積)を一覧表示できる機能を追加した。色設定での自動グルーピング機能はあるが、最終的に結果は人が判断する形になっている。浮き・剥落面積は帳票作成の為に手助けできる出力を行えるようになっている。

8) 実装機能のまとめ一覧

評価項目	実装/ 年度
① las 形式の複数の点群データが一括で読み込める機能	○ 2022 年
② 評価対象面を X 軸もしくは Y 軸方向としたローカル座標に変換できる機能	○ 2022 年
③ 一時期目と二時期目の点群計測データを同じプロジェクト内に読み込める機能	○ 2022 年
④ 一時期目および二時期目の点群計測データから真値推定処理により 1cm メッシュ点を生成する機能	○ 2023 年
⑤ 生成されたメッシュ点に真値推定時の統計データを保持する機能	○ 2023 年
⑥ 真値推定時に点を補間する機能	○ 2023 年
⑦ 評価対象面単位での真値推定処理機能	○ 2023 年
⑧ 真値推定結果表示の画面上から任意位置の断面(縦・横)を表示する機能	○ 2024 年
⑨ 真値推定結果を出力する機能および 1cm メッシュ点データを las 形式で出力する機能	○ 2024 年
⑩ 真値推定により得られた一時期目と二時期の差分評価結果の表示機能	○ 2024 年
⑪ 差分評価結果からコンクリート表面の浮き剥落面積を算出する機能	○ 2024 年
⑫ 真値推定により得られたメッシュ点で残留変位評価点を指定する機能	○ 2024 年
⑬ 指定した残留変位評価点を二時期目にも適用し、差分評価結果から残留層間変形角を求める機能	○ 2024 年
⑭ 差分評価結果の出力機能	△ 2024 年
⑮ 帳票出力機能	× 2024 年

※○：完了 △：一部未実装 ×：今後の課題

△について

- ・⑭差分結果を提示出来て断面を表示できれば問題ない為ファイル出力は必要ないことで合意済

×について

- ・ ⑮帳票作成をアシストできる機能は有している。

プロトタイプソフト機能	関連する帳票
計測密度(点/cm ²)規定値未満のカラーバー表示 (クリップボードへの画像コピー機能あり)	損傷評価対象範囲特定図(立面図)
残留層間変形角表の表示	損傷評価対象範囲特定図(残留変位評価点)
評価対象面の面設定	建物基本情報図(様式第 6)
損傷評価 浮き剥落の面積算出機能	浮き剥落の分布図・面積

本共同研究の成果として、大規模実験施設 E-ディフェンスのデータと開発したソフトウェアを用いて、浮き・剥落箇所の面積算出まで一連の工程を行って損傷評価を完遂できたことが挙げられる。人の判断に依存する工程もあるが、足場を用いず地上レーザースキャナの計測データだけで被災した損傷の度合いを数値化して可視化することができた。大量の点群データのままでなく、真値推定した軽量化データでも全体の損傷傾向と面積が掴めることが検証できた。

3-2. 今後の課題

1) 「④データの信頼性について確認する機能」について

- ・ 結果表示にて、スケールが入っていて 5 種類(計測点密度、計測誤差、真値推定誤差、点群分布幅、真値推定結果)を全部一括で出力(.bmp など)できる機能
- ・ 点密度が要求値を満たしていない場合に行う補間条件のルール決定 (周辺メッシュの最低点密度○点以上、必要周辺メッシュ○個以上 など)

2) 「⑤被災前と被災後の差分解析を実施できる機能」について

- ・ 断面図にスケールが入っているものを出力する機能

3) 「⑥損傷評価結果を算定に用いるデータ抽出機能」について

- ・ 浮き・剥落面積の帳票出力機能

4) 「地上レーザー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)」へ記載する内容の要望について

- ・ 損傷評価をするための面(非:評価対象面)、この「損傷評価面」を手引き (案) の用語の定義に記載する。

- ・ 残留層間変形角について

2 時期目の段階で 1 時期目と同じ平面座標がなかった時、その同じ評価点がないと判断された場合は、現在自分が見ている平面上で同じ点と思われる点を 1 時期目と 2 時期で再特定し、その奥行方向のみの差分を取って残留変位を計算しなければならない。

注) この時、斜めの距離を取ってはいけない。必ず奥行方向の鉛直な距離とする。

上記内容を「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)」の 4.2.2 評価手順に追記する。

- ・ 建物基本情報図(様式第 6)では、緯度・経度 又は、公共座標系を記載すれば良いこととする。

5) プロトタイプソフトの使用感について

- ・ 結果表示カラーバーで「画面コピー」のボタンがあるが、凡例がコピーされない。凡例も含めたコピー機能にして欲しい。
- ・ 差分表示をし直すとズームがデフォルトに戻るが、そのまま維持して欲しい。報告書などで同じズーム表示でデータをまとめたい。
- ・ プロジェクト読込後は全データの表示が ON になっていて動作が重くなる。1 つだけ表示 ON 又は、表示状態もプロジェクトに保存して覚えていて欲しい。

付録 1. 使用したソフトウェアの特徴

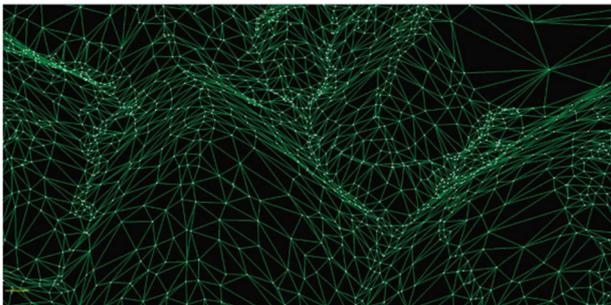
本共同研究で損傷評価機能の開発や検証に用いたソフトウェア(3次元空間設計システム LandForms)の特徴を示す。同ソフトウェアは土木系の測量設計支援システムであるが、被災建物の損傷評価を行う際に必要となる計測点群の LAS データ読込、計測データの座標系(XY 平面)の調整機能、部材の損傷評価面の抽出機能、データの信頼性に必要なカラーグラデーション表示、被災前と被災後の差分解析を実施できるといった機能を有している。本共同研究では、同ソフトウェアに開発した損傷評価用の機能を付与することで、検証を実施している。

現況地形を把握する

各種測量機や様々なセンサーで計測した座標(X,Y,Z)から3D地形モデルを作成します。
国土地理院基盤地図情報(5m/10m)やCS立体図・G空間情報センター公開のデータにも対応しており、3Dデータに航空写真や地理院タイル画像を組み合わせることでリアルな地形形状の再現が可能です。

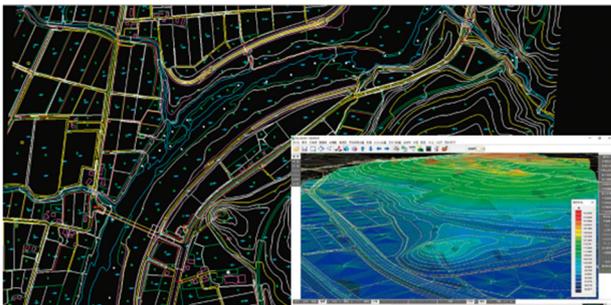
座標取込→地形モデル作成

X,Y,Zから三角網(TIN)を自動生成します。



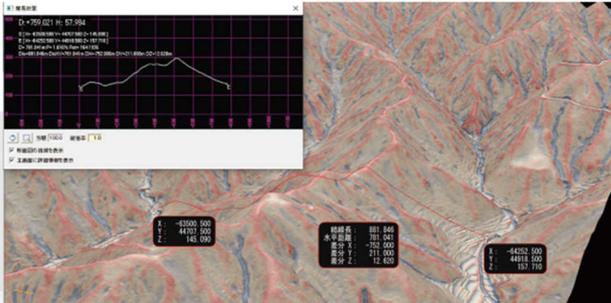
CADデータ(2D/3D)→地形モデル作成

ラスター図面・CAD図面(2D/3D)からX,Y,Zを作成します。



CS立体図

1mDEMデータとCS立体図を組み合わせることで表示し、簡易的に断面を計算します。



点群処理

近年、点群データを扱う事は必須となっています。点群処理は「取得した大量点群の中から、いかに必要なデータを抽出するか」が最も重要な問題です。目的によって処理方法は変わるため、様々なフィルタリング機能を用意しました。

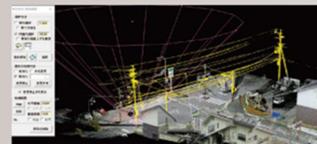
地表面抽出

パラメータを設定し独自のアルゴリズムで地表面を抽出します。



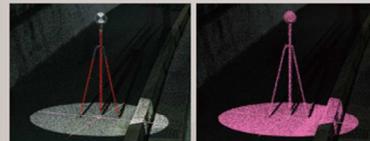
円錐内選択

逆円錐の中に入った点群のみを選択します。マウスクリックとマウスドラッグで連続的に選択する事が可能です。



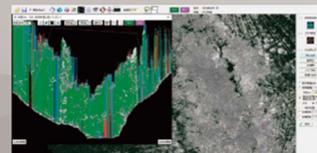
一括編集(3D範囲指定)

円形または矩形エリア内の点群を選択します。



断面からのフィルタリング

任意のピッチで点群から横断を取得し、自動ノイズ処理(円フィルター)や、前後の断面形状を確認しながらの点群処理が可能です。



※ソフトウェア提供：株式会社土木管理総合試験所 ISP 開発部 (旧社名：株式会社 アイ・エス・ピー)

付図-1 ソフトウェアの概要

3Dで設計する / 3Dビューワー

LandForms では3D 設計モデルを作成する事が可能です。大きく2つの方法があります。

①縦横断法による3D 設計モデル作成

任意のピッチで計算した縦横断データに対し、縦断計画を経て計画横断を入力します。
定規図・法形状を指定して連続した横断形状を自動作成します。

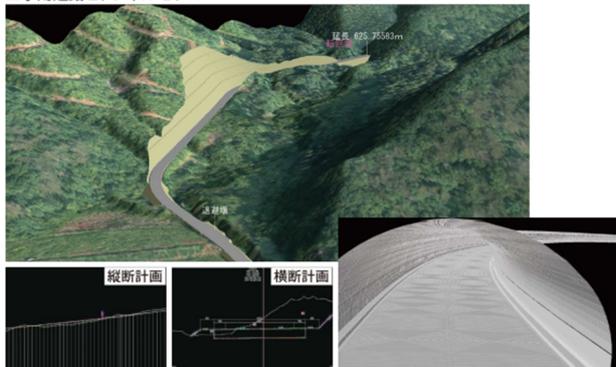
②CAD データから3D 設計モデル作成

計画平面図や縦断図・横断図を基に座標(X,Y,Z) を計算し、3D モデルを作成します。

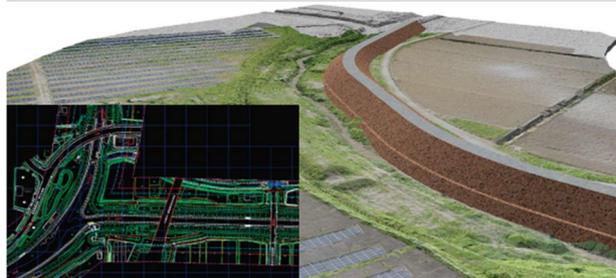
線形からの縦横断法による3D設計モデル作成

横断形状の拡幅・片勾配を自動計算することにより、横断図の無い断面についても現況との擦りつけ位置が明確になります。

工事用道路とトンネルモデル

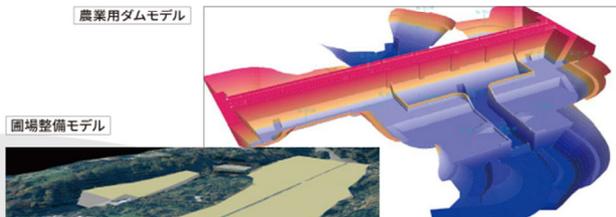


点群データから数値地形図作成と河川堤防の3Dモデル作成



CADデータから3D設計モデル

農業用ダムモデル



圃場整備モデル



3Dビューワー

「ビデオ鳥瞰」機能を使って様々な場面を演出します。

配置計画

地形データに3次元モデルを置いて配置計画を検討することができ、さらに公共座標も取得できます。



動画作成

車両やドローンなど動きのある物体の動画編集も簡単に作成できます。



オブジェクト配置

重機や車両などのオブジェクトモデルを自由に配置することができます。



テクスチャ登録

モデルに芝やコンクリート等の写真画像を貼り付けてリアルな表現が可能です。



※ソフトウェア提供：株式会社土木管理総合試験所 ISP 開発部 (旧社名：株式会社 アイ・エス・ピー)

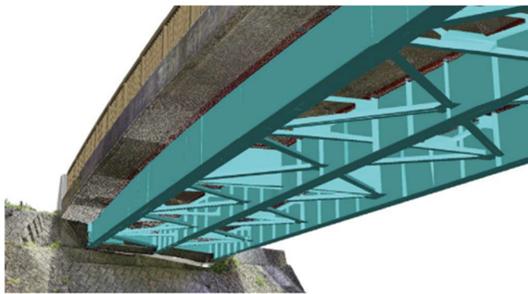
付図-2 ソフトウェアの概要

構造物を形にする

LandFormsは、あらゆる土木構造物の再現に対応しています。図面(DXF/SFC/P21)からでも、点群データからでも、シンプルな手法で3Dモデルが作成できます。実例としては、橋梁下部工(橋脚/橋台)、橋梁上部工(床版/鋼製梁トラス)、PC橋、函渠(ボックスカルバート/U型水路/アンダーパス/スノーシェッド)、トンネル、ダム(砂防ダム/谷止工)、水門樋門、浄化センター内部施設、架設構造物(架台/矢板/水上足場)などがあり、実績も豊富です。

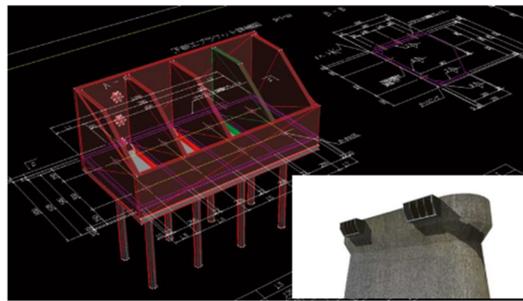
計測点群データからの3Dモデリング

計測した点群データから既設構造物の3Dモデリングを行うことができます。図面が無くても3D化することができ、計測漏れなどのデータ欠損があってもエッジの効いたモデルが作成できます。



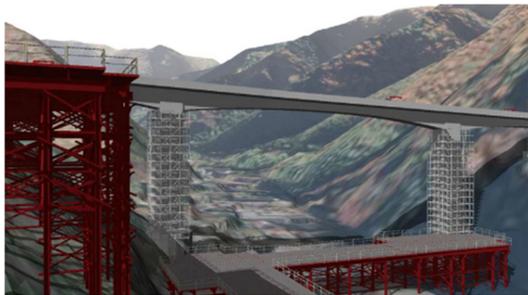
2D図面からの3Dモデリング

DXF(2D)などの図面から、3Dサーフェスモデルが作成できます。図面データに座標を与えてモデリングする方法で、あらゆる構造物に対応できます。



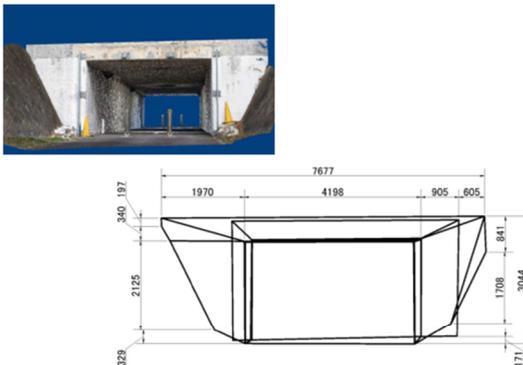
施工ステップの再現

施工の流れを再現し、現場内の課題や問題点を可視化できます。足場など架設構造物の表現も可能です。



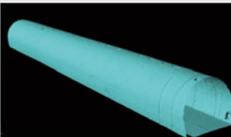
2D図面の作成支援

点群データから2D図面作成をアシストします。CADとの連携で図面を完成させます。



トンネルのモデリング

設計データ作成はもとより、独自アルゴリズムによる計測点群からの3Dモデリングも可能です。



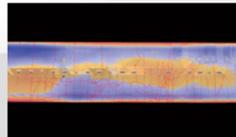
複雑な形状のモデリング

オーバーハングなど複雑な形状の3Dモデリングに対応しています。



変状図の作成支援

トンネルやインフラ構造物の変状図作成をアシストします。



3Dビューワ機能

現況と完成モデルを全方位から検証でき、打ち合わせや住民説明で合意形成がスムーズに進みます。



※ソフトウェア提供：株式会社土木管理総合試験所 ISP 開発部 (旧社名：株式会社 アイ・エス・ピー)

付図-3 ソフトウェアの概要