



講演資料:

「UAVを用いた構造物点検について」

～ Skydio X10 テストデータの紹介 ～

 株式会社エアロ・フォト・センター

2026年6月

技術部 曾木 暁

【目次】

- 【1】 画像による「構造物点検」の現在地
点検の法制化と、画像点検に至るまでの経緯
- 【2】 画像による「ひび割れ自動抽出」
「写真測量の原則」に近づく撮影手法
- 【3】 UAV導入と、AI搭載機の登場
点検/調査現場に もたらされる変化
- 【4】 変化する「操縦士の役割」
AI搭載機が迫る質的転換
- 【5】 Skydio X10 テストデータの紹介
@福島ロボットテストフィールド試験用橋梁

【1】 画像による「構造物点検」の 現在地

点検の法制化と、画像点検に至るまでの経緯

転換点：笹子トンネル事故 (2012年)

トンネル天井板落下事故の概要

- ・発生日時：平成24年12月2日(日) 8:03頃
- ・発生場所：中央自動車道(上り)笹子トンネル内(延長4.7km、大月JCT～勝沼IC間)
- ・発生状況：東坑口から約1.7km付近において、トンネル天井板が落下。車両3台が下敷き、うち2台が火災となり焼損。死者9名、負傷者2名。
- ・通行止め：【上り線】大月JCT～一宮御坂IC 【下り線】大月JCT～勝沼IC
(12月29日13時より、下り線を用いた対面通行で開通、2月8日に上下線各2車線通行を予定)



国交省WEBサイト内文書

(中央自動車道笹子トンネル天井版の落下事故について <https://www.mlit.go.jp/common/000987373.pdf>) より

笹子トンネル事故以前

点検は「管理者ごとの裁量」に委ねられていた

- ＊ 笹子トンネル事故以前も、橋梁・トンネルの点検自体は実施されていた。
しかし、
 - ・どこまで構造物に近づくのか
 - ・どの頻度で行うのか
 - ・結果をどのように記録・活用するのかは、各道路管理者の点検要領や判断に委ねられていた。

- ＊ 近接目視や打音検査は「推奨」されてはいたが、法的義務はなかった。

問題は「構造」ではなかった 事故調査報告書が明らかにしたこと

＊ 調査報告書(2013年6月) では、以下の問題が指摘されている。

- ・天井板を支える構造に問題があった
- ・近接目視・打音検査が長期間実施されていなかった
- ・過去の点検・補修履歴が十分に活用されていなかった

＊ この事故により、

「点検をしていた」ことと

「状態を把握できていた」こととは別である、

という認識が国レベルで共有されるようになった。

事故後：点検は「説明できる業務」へ 法定化と記録重視への転換

- ＊ 道路法が改訂され、定期点検が法定化（2013年6月）
橋梁・トンネルなどの重要構造物は、5年に1回の頻度で実施
- ＊ 点検方法の基本は「近接目視」（目安距離5m以内）とされ、
「点検結果の記録と保存」も義務となった。
- ＊ 健全度区分（Ⅰ～Ⅳ）の統一など、その後も点検手法の体系化が進み、
単に損傷を列挙するのではなく、
「判断の技術的根拠を残すこと」が重視されるようになった。
「見る作業」から
「説明できる技術業務」へと位置づけが変わった。

点検は、「目で見える」から「画像で記録する」へ

画像点検が受け容れられるようになった背景

- ＊ 従来の「道路橋・トンネル等の点検」は、
技術者が構造物に近接し、
目視・打音で変状を確認する方法が基本だった。
- ＊ しかし、老朽化構造物の増加と人材不足を背景に、
「安全に近づけない箇所」や「広範囲を短時間で確認する手段」として
画像を用いた点検支援技術が導入され始めた。
- ＊ 初期段階の画像活用は、あくまで「目視点検を補助する“記録手段”」
という位置づけだったが、その後の定期点検要領の改訂（2019年）で、
「近接目視と同等の情報が得られる方法」を認める一文が追加された。

画像は、「測れるデータ」になった

画像点検が使えるようになった技術的な理由

- ＊ 画像点検が実務で使われるようになった背景には、
撮影技術と画像処理技術の進歩がある。
 - ・高解像度カメラの普及（肉眼に匹敵する鮮明さ）
 - ・正対撮影や重複撮影による幾何精度の向上
 - ・オルソ画像化や画像合成技術の進展
- ＊ これにより、画像は「見た目」だけではなく、
位置・形状・長さ・幅を持つ定量データ
として扱えるようになった。

【2】 画像による「ひび割れ自動抽出」

「写真測量の原則」に近づく撮影手法

ひび割れ抽出用の撮影 = 「写真測量」の手法

自動抽出アルゴリズムに共通する基本的なしくみ

＊ 表面解像度が重要

表面解像度によって、検出できる「ひび割れの最小幅」が決まる。

欲しい解像度が決まれば、撮影距離 (Sampling Distance) が求まる。

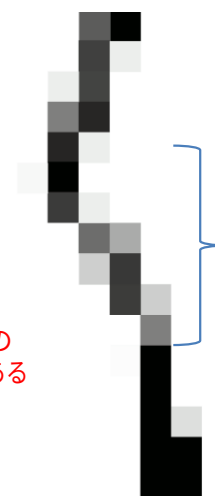
＊ ピントとコントラストが重要

隣接するピクセル間の濃度差で、
線状特徴 (長さ・幅) が決まる。

1画素幅に満たないひび割れでも、

濃度差で幅を推定できる。

ソフトウェアによるが、1画素寸法の
20%相当まで推定可とするものもある



例

1画素=1mm相当のとき、
この辺りのひび割れ幅は
「0.5mm」「0.8mm」のように、
具体的な数値で推定可能。

＊ 正対する撮影が重要

斜めからの撮影では、ひび割れが細く写るため、精度が低下。

オルソ画像で実施する「ひび割れ自動抽出」①

壁面オルソ画像化 (立面全体の正射投影化) のススメ

＊「ひび割れ抽出」は、「表面解像度」が一定のオルソ画像を使うのが原則。

撮影画像を撮影面に対してオルソ化する工程

- ① 画像のレンズ歪みを補正
- ② 撮影面に正対するように幾何補正

その後、位置を合わせ

簡易的にオルソモザイクすることもできるが、

SfM処理で完成されたデータセットならば、

必要な壁面単位でオルソ画像を出力できる。

(ただし、これが苦手なSfMソフトウェアもある)

オルソ画像で実施する「ひび割れ自動抽出」②

壁面オルソ画像化 (立面全体の正射投影化) のススメ

- ＊ 壁面ごとにオルソ画像を用意することのメリット
 - ・ 変状の位置関係が明瞭
 - ・ 図面の背景画像として使える
- ＊ 壁面オルソをSfMソフトウェアで作成するために必要なデータセット内容
 - ・ カメラパラメータ (カメラ諸元とレンズ歪みの補正計算式)
 - ・ 撮影画像の元データとその位置情報 (方向角を含む)
 - ・ 投影面となる3Dデータ (ポリゴンモデルやメッシュモデル)

【注意点】

- ・ 壁面オルソは、範囲・方向・画像解像度を定めてから、その都度作成する。
- ・ 基準解像度を満たす「正対方向からの撮影画像」のみを使う。
- ・ 3Dモデルの表面に貼られたテクスチャは、解像度が足りないので使えない。

AIの仕事は判断ではなく、「前処理」

ひび割れ自動抽出が「当たり前」になった現在

- ＊ 現在の点検業務では、
撮影画像から「ひび割れ等の変状を自動抽出する技術」
が広く使われている。
- ＊ こうした自動抽出は、
AIが変状の有無や健全度を「自動判断」するものではなく、
画像内の線状特徴を条件に基づいて機械的に抽出する処理。
- ＊ 点検作業者が自動抽出結果を確認・修正し、最終的な診断や判断を行う。
- ＊ 自動抽出は、
判断をAIに任せる技術ではなく、
点検作業者が見るべき範囲を劇的に減らすための前処理技術
として定着している。

【3】 UAV導入と、AI搭載機の登場

点検/調査現場に もたらされる変化

点検/調査用途で活用が進むUAV

UAV導入のメリットと課題

- ＊ 画像点検の普及とともに、
UAV (ドローン) の導入によってデータ取得の方法は大きく変化した。
 - ・高所・狭隘部でも安全に撮影が可能
 - ・足場や点検車を使わず、広範囲を短時間かつ低コストで取得
 - ・画像ベースの点検 (オルソ・3Dモデル) への展開が容易に

- ＊ 一方で、次のような課題も残っていた。
 - ・飛行ルートや撮影品質が操縦者に大きく依存
 - ・構造物全体を「均一な条件」で撮ることが難しい
 - ・撮り漏れや重複不足が後工程で発覚する可能性

AI搭載UAVの先駆け：Skydio X10

「UAVでの写真測量」に特化した機能の数々

＊ Skydio X10の特長

- ・360度ビジュアルセンサーを介した、常時SLAM飛行
(非GNSS環境下での運用を想定した設計)
- ・空間認識AIによる障害物自動回避機動
- ・SfM処理を前提とした、自律飛行での撮影
- ・バッテリー交換後に、中断した自律飛行を再開
- ・直上方向への撮影が可能なカメラユニット
- ・照明オプションパーツ装着で、暗所でも対応可能
- ・サーマルカメラ標準搭載、防塵・防水規格IP55

などなど

Skydio X10 基本性能①



SkydioX10 基礎スペック

プロペラ数	4枚	最大飛行時間(ハング状態)	35分
機体重量(バッテリー含)	2.11kg	最大水平速度	20m/s
サイズ(折り畳み時)	35.0 × 16.5 × 11.9cm	運用限界高度	4500m
サイズ(運用時)	78.9 × 65.0 × 14.4cm	最大風圧抵抗	12.8m/s未満
積載可能重量	2.49kg	電波到達距離	12km

Skydio X10 基本性能②

- * 機体上面に3個、下面に3個の計6個のナビゲーション用カメラ (視野角200°の魚眼レンズ) 搭載。
- * ビジュアルSLAM技術で周囲を認識、リアルタイムで自己位置を把握。細かな障害物を自動回避し、最適な撮影経路での自律飛行が可能。



機体上面のナビゲーション用カメラ (黄丸)



機体下面のナビゲーション用カメラ (黄丸)

運用例

【橋梁・ダム の点検】
GNSS受信状況が不安定な構造物付近での近接撮影。

【屋内倉庫の自動巡回】
施設内を自動でルート走行し、在庫管理やセキュリティ監視を実施。

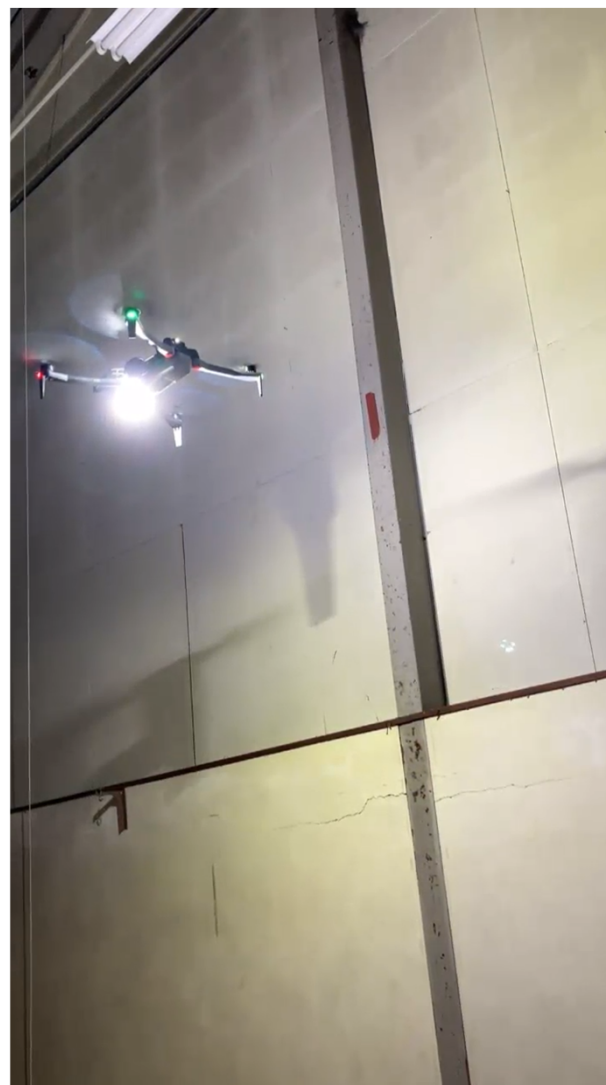
【災害調査】
崩落した建物内など、人が立ち入れない場所の自律的な状況把握。

豊富な公式オプションパーツ： 照明器具で暗所にも対応



2種類の外付け照明を装着した状態

スポットライトとNightSense
同時点灯飛行時



AI搭載UAVが 現場にもたらす変化

「操縦技量に依存しない」機材へ

＊ Skydio X10は、「飛行を自動化するUAV」というより、
データ取得条件を自動的に満たす仕組みを持つ機材。

- ・撮影距離や重複率が一定に保たれる
⇒ 観測条件が仕様として固定される
- ・構造物形状に応じて飛行経路が自動最適化される
⇒ 観測計画がその場で生成される
- ・取得データの欠損がその場で検出される
⇒ 品質確認が内業ではなく現場で閉じる

UAVはAI搭載により、「操縦者の技量で飛ばすもの」から、
条件を満たしたデータを取得する装置へ変わり始めている。

【4】 変化する「操縦士の役割」

AI搭載UAVが迫る 質的転換

AI搭載UAVは 操縦士の「役割」を変える ①

Skydio X10が 操縦士の負担を「大きく下げる点」

- ＊ 「ぶつけないために集中し続ける」負担からの解放
 - ・ 障害物回避・自己位置保持による 精神的負担の激減
 - ・ 接近撮影が「操縦スキル依存」ではなくなる
- ＊ 撮影位置・画角・ラップ率を微調整し続けることからの解放
 - ・ 要求基準を満たす飛行計画が
自動作成されることによる 作業負荷の平準化

AI搭載UAVは 操縦士の「役割」を変える ②

一方で、Skydio X10が操縦士に要求する「別の負担」

- ＊ 「飛ばす技術」より 判断力 が問われる局面が前面に
 - ・ データ化が必要な箇所を見極める能力
 - ・ 悪条件下で、飛行継続か断念するかを見極める能力

- ＊ 飛行中に非常事態に陥ったとき、高度な緊急対応力が求められる
 - ・ AIが対応できない事態 = ほぼ深刻な状況

- ＊ 現場での適宜設定能力が問われる (システム理解と設計・管理力)
 - ・ 設定画面の順序・構成を理解し、要求基準を正しく入力
 - ・ AI作成の飛行経路の安全確認、AI挙動の監視

AI搭載UAVは 操縦士の「役割」を変える ③

操縦士の「負担の中身」の 質的变化

＊ 操縦士の役割は、「飛ばす」技術者から「調査設計・品質管理」者へ。
従来UAVとの比較を、以下の表にまとめた。

観点	従来UAV	Skydio X10
接近時の緊張	非常に高い	低い
操縦連続負荷	高	低
撮影品質の再現性	操縦者依存	低依存
事前設計負荷	低	高
システム理解	中	高
トラブル対応	低レベル ～ 高レベル難度	(発生率は少ないが) ほぼ高レベル難度

【5】 Skydio X10 テストデータ紹介

@福島ロボットテストフィールド 試験用橋梁

Skydio X10 弊社導入時テストの概要

- 実施日 : 2026年2月9日(月) ~ 2026年2月10日(火)
- 場所 : 福島県南相馬市「福島ロボットテストフィールド」
- 人員 : (株)エアロ・フォト・センター 4名
- 主な内容
 - * 橋梁床板の下 (非GNSS環境) での飛行
 - * ひび割れ(テストピース)を撮影し、画像精度を確認
 - * 橋梁全体をSfM処理で3D化する、3D Capture機能の確認



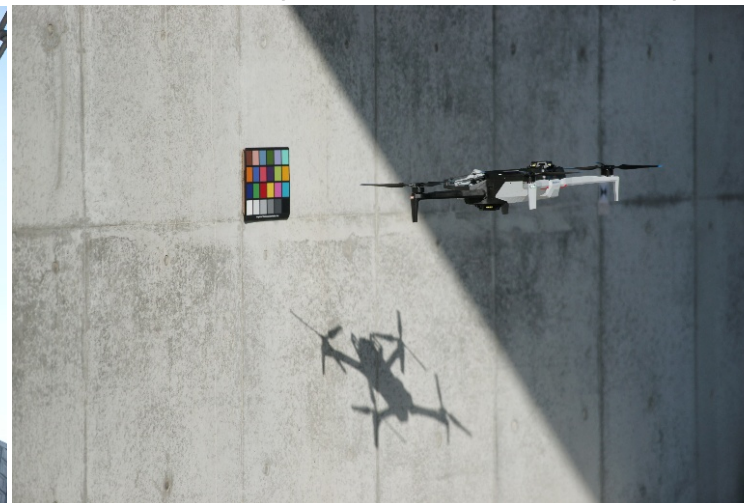
＊ 橋梁床板の下 (非GNSS環境) での飛行



壁面にある、ひび割れの入ったテストピースの近接撮影の様子 (壁面との最接近距離40cm)



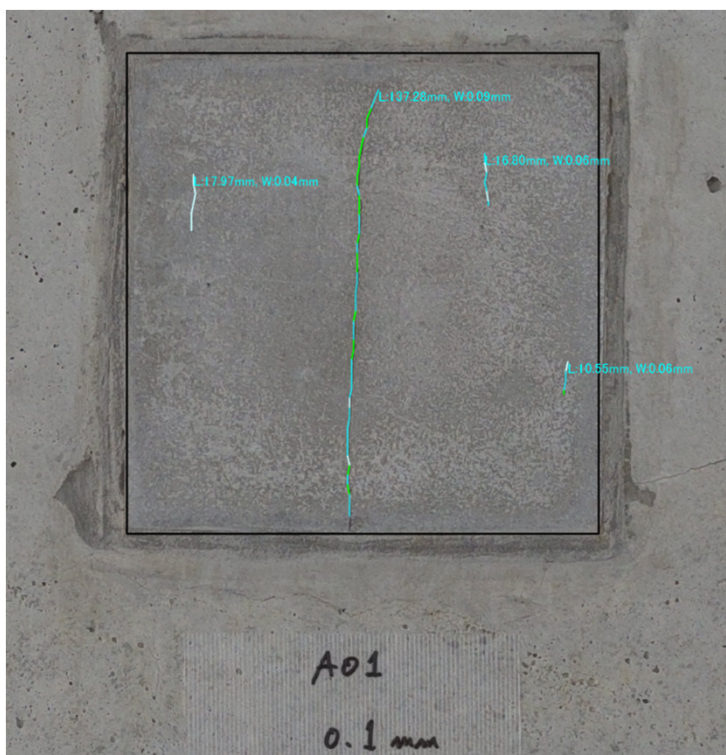
壁面にターゲットを張り、TSで中心座標を取得。
三次元モデル・オルソ画像の精度検証に使用。



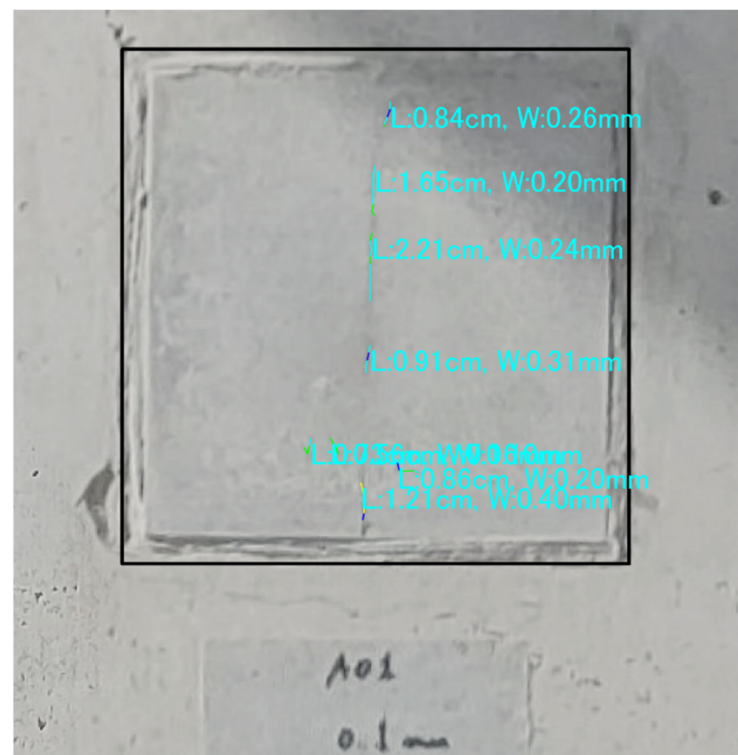
カメラの色精度確認のため、カラーチャートの
撮影も行った。

* ひび割れ (テストピース) を撮影し、画像精度を確認 ①

<0.1mmクラックの場合>

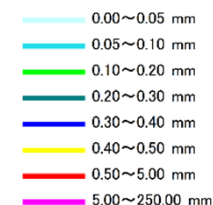


近接撮影画像 (表面解像度0.08mm相当)



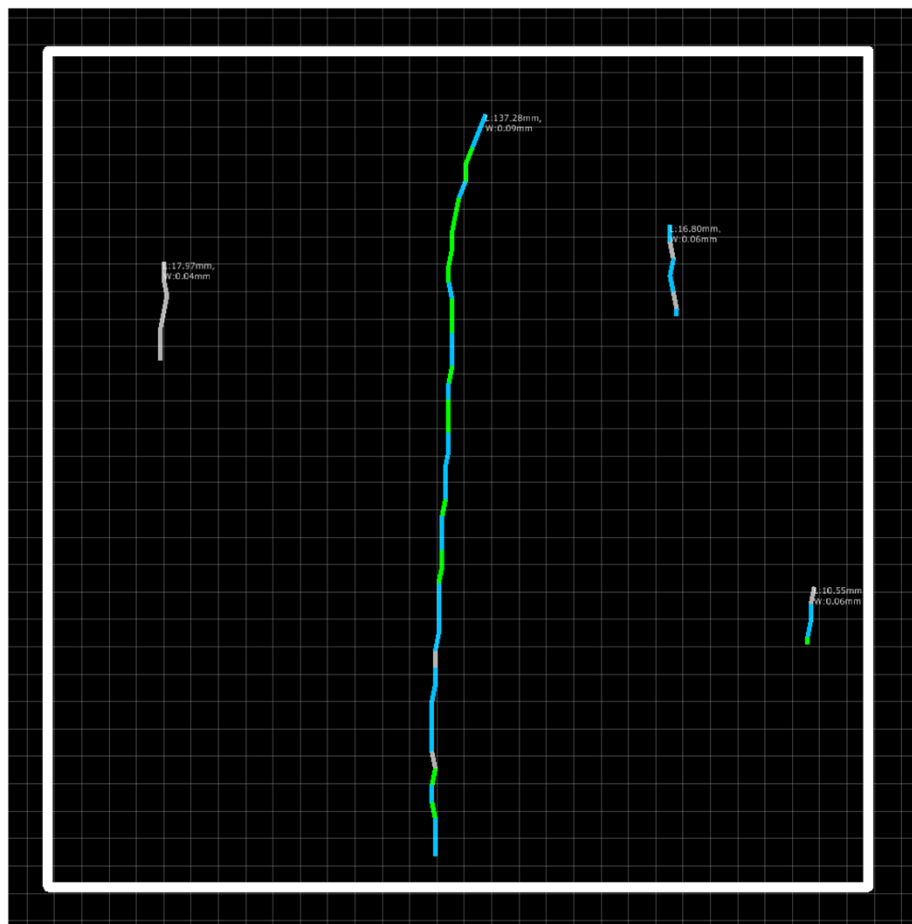
オルソ加工画像 (表面解像度0.5mm)

両画像とも位置・幅・長さの抽出が可能なことを確認した。
近接画像では、良好な精度で抽出できている。

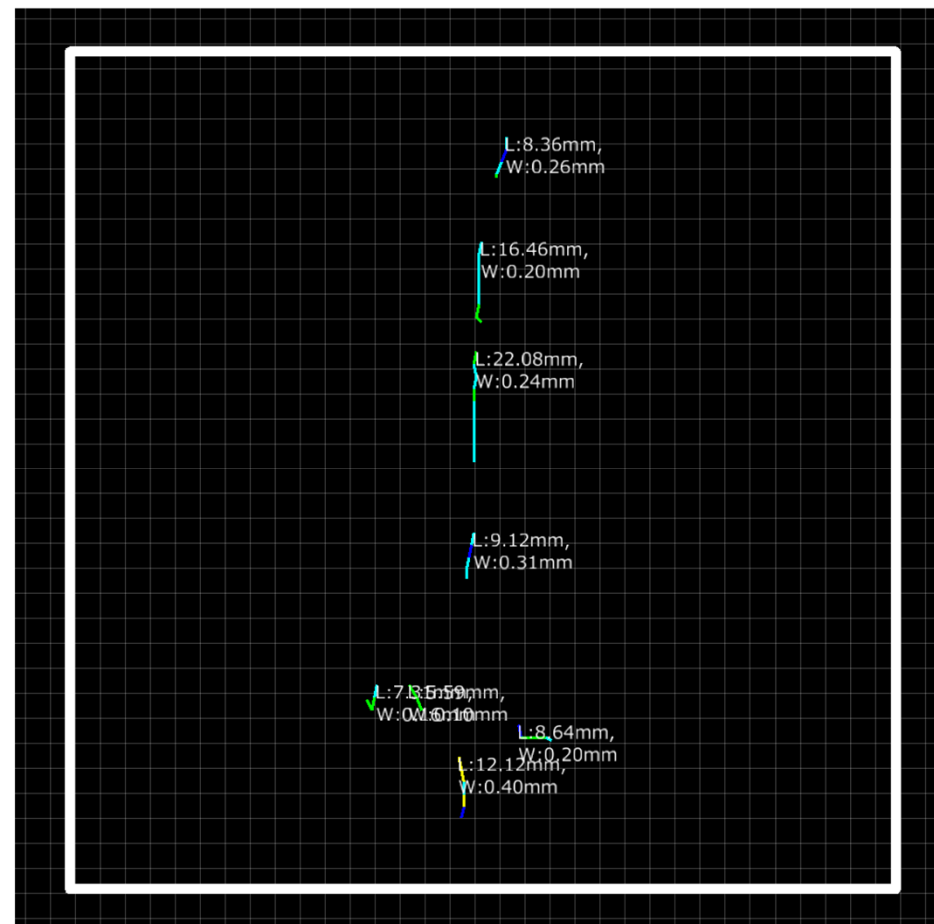


* ひび割れ (テストピース) を撮影し、画像精度を確認 ①

＜0.1mmクラック 抽出データのCAD表示＞



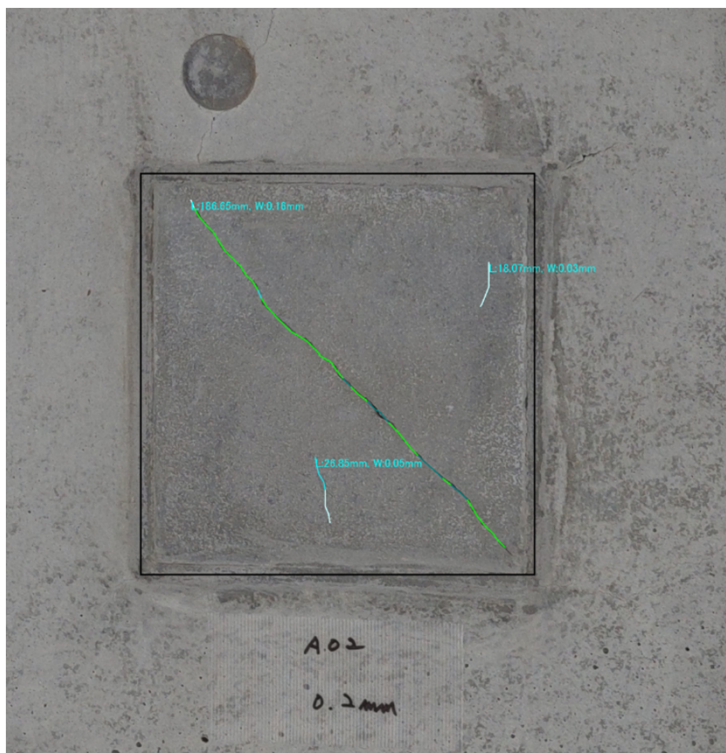
近接撮影画像 (表面解像度0.08mm相当)
から形状取得したDXFデータ



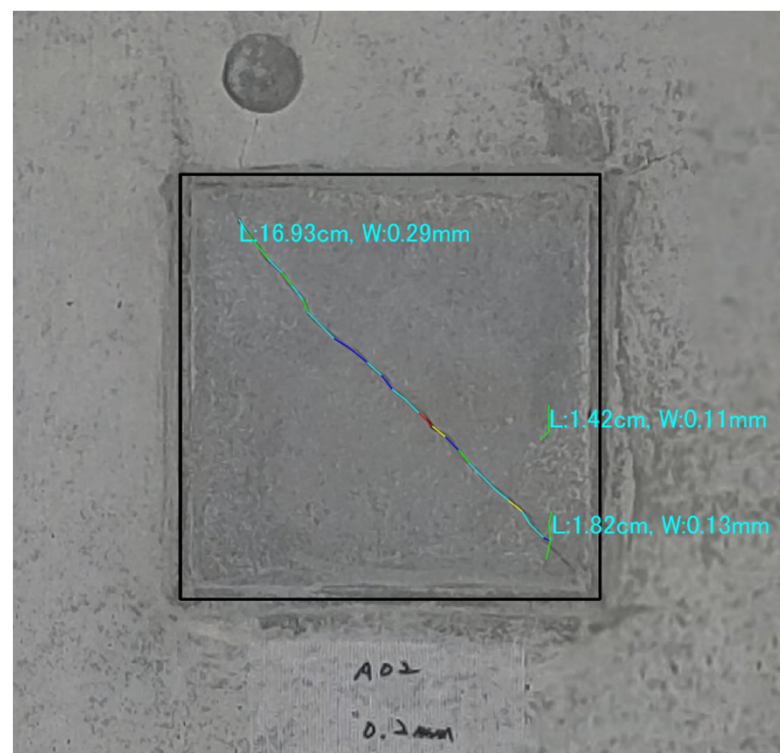
オルソ加工画像 (表面解像度0.5mm) から
形状取得したDXFデータ

* ひび割れ (テストピース) を撮影し、画像精度を確認 ②

<0.2mmクラックの場合>

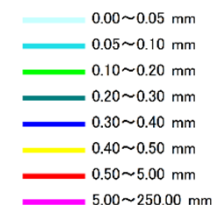


近接撮影画像 (表面解像度0.08mm相当)



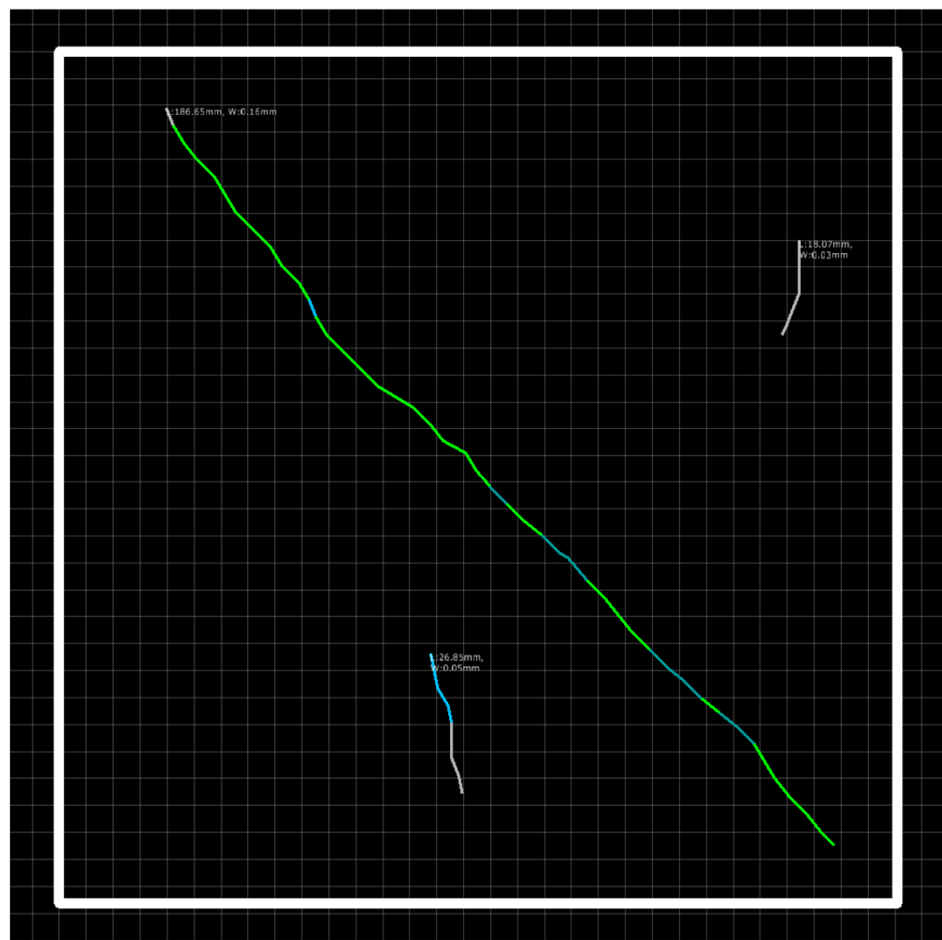
オルソ加工画像 (表面解像度0.5mm)

両画像とも位置・幅・長さの抽出が可能なことを確認した。
0.2mm以上のひび割れはオルソ画像でも同程度の抽出ができています。

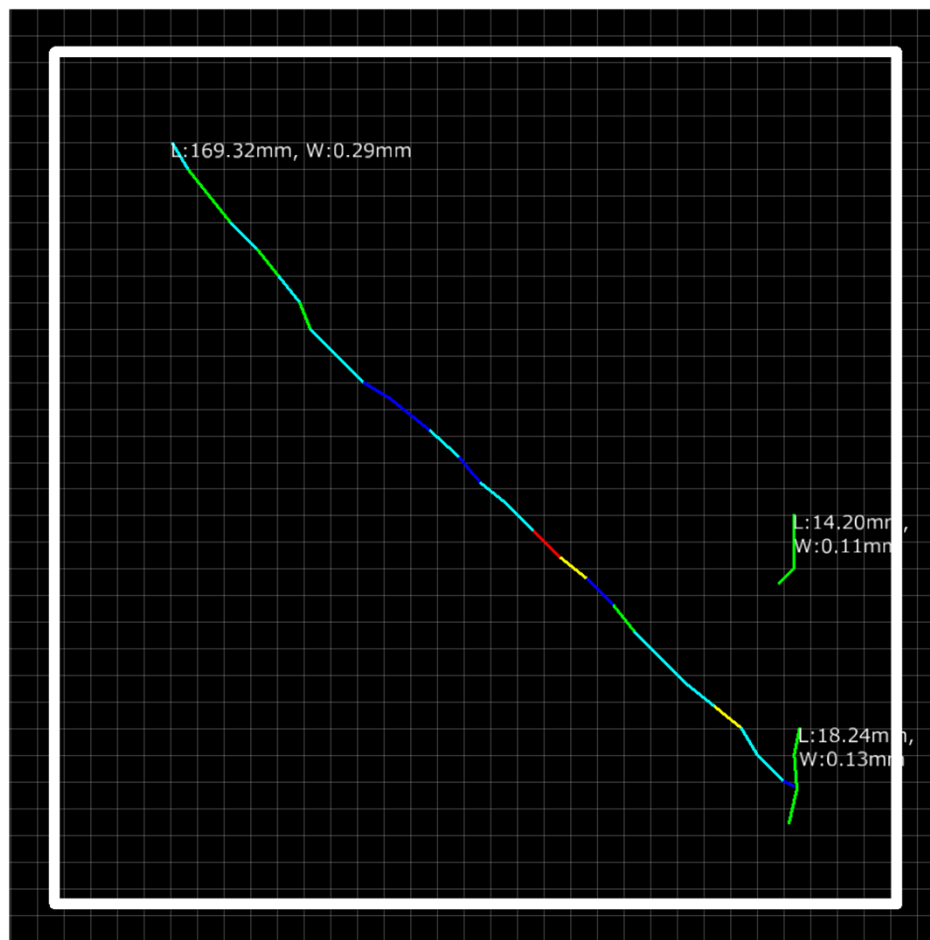


* ひび割れ (テストピース) を撮影し、画像精度を確認 ②

＜0.2mmクラック 抽出データのCAD表示＞



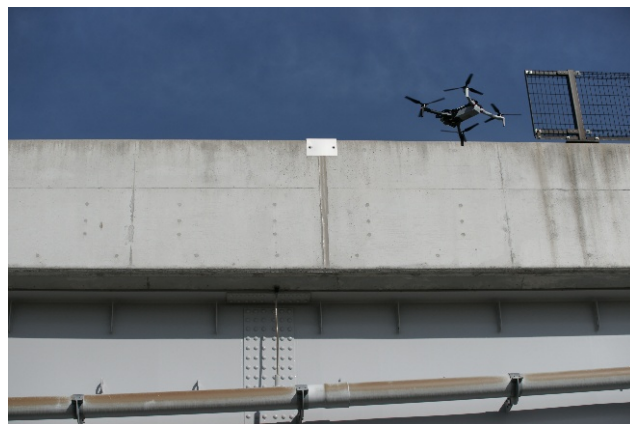
近接撮影画像 (表面解像度0.08mm相当)
から形状取得したDXFデータ



オルソ加工画像 (表面解像度0.5mm) から
形状取得したDXFデータ

＊ 橋梁全体をSfM処理で3D化する「3D Capture」機能の確認

Skydio X10の内蔵ソフトウェア「Skydio 3D Scan™」の機能テスト

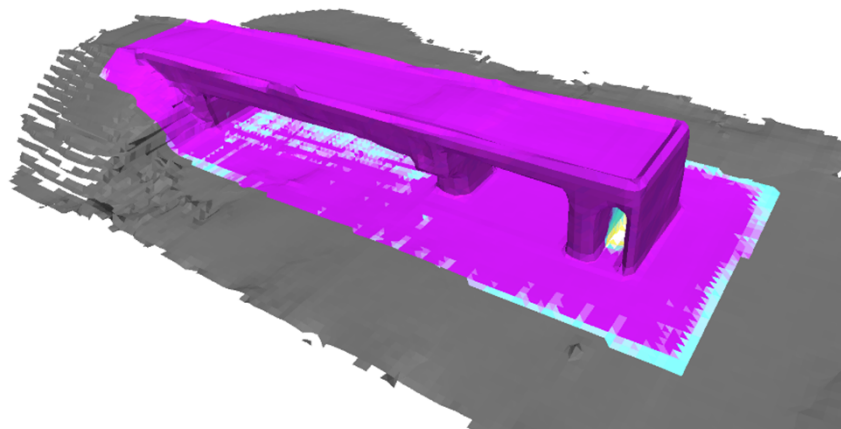


＊ 橋梁全体をSfM処理で3D化する「3D Capture」機能の確認

- ＊このスキャンプロジェクトでは、2回のバッテリー交換を挟み、1～2秒間隔で3278枚が撮影された。
- ＊非GNSS環境下であるはずの床板下での位置情報も得られている（右図参照）。
- ＊自己位置把握にはビジュアルSLAMが優先される仕様のため、この時点での撮影位置データは、計測中の自己位置情報が基になっているとみられる。



計測飛行後に自動作成された撮影位置情報



- ＊自律撮影飛行からの着陸後に、操縦士は左図のような「撮影画像の重複状況」の3Dモデルをプロポ画面で確認することができる。
- ＊重複が弱いと感じた箇所を、その後に手動撮影飛行で重点的に追加していくことも可能。

＊ 橋梁全体をSfM処理で3D化する「3D Capture」機能の確認

Skydio 3D Scan™ 機能の「3D Captureモード」工程

工程①. (操縦士による) 飛行範囲の設定・計測諸元の入力

工程②. (AIによる) 空間把握を目的とする自律飛行

工程③. (AIによる) 自律撮影飛行



撮影飛行の前に、範囲内の空間把握のために
行われる 自律飛行の記録動画

- ＊ 工程②では、③の本計測の前に、①で操縦士の設定した飛行範囲内を確かめるように飛ぶ。
- ＊ 空間把握を目的とした自律飛行であり、範囲内の構造物の大まかな形状と位置関係を認識。
- ＊ この飛行中の「撮影」データは静止画では出力されない。
- ＊ 当テストでは、10分弱でこの飛行工程を終えた。

＊ 橋梁全体をSfM処理で3D化する「3D Capture」機能の確認

Skydio 3D Scan™ 機能の「3D Captureモード」工程

工程①. (操縦士による) 飛行範囲の設定・計測諸元の入力

工程②. (AIによる) 空間把握を目的とする自律飛行

工程③. (AIによる) 自律撮影飛行



【注意】この動画は、撮影位置情報からカメラの向きと飛行軌跡を再現したものです。

自律撮影飛行の再現動画。ただし、実際は撮影ポイントでは一時停止して撮影する。

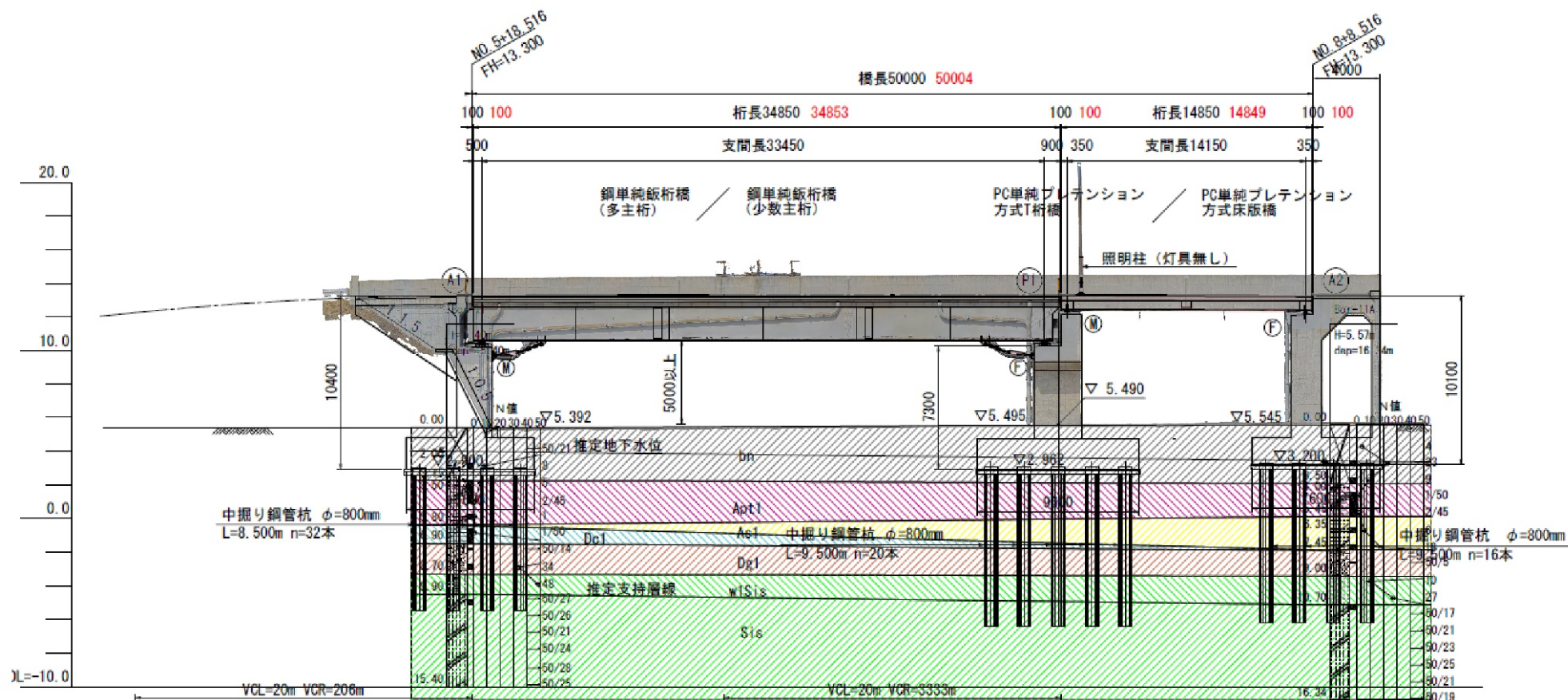
＊ 工程③の自律飛行撮影は、工程②の自律飛行が終了した後で（操縦士からの許可を求めて）実行可能になる。

＊ 工程①で入力された、撮影距離・重複率や、最大離隔距離などの設定を満たすように、AIが撮影コースを算出し、自律撮影飛行を実施していく。

＊ X・Y・Zの3方向を軸として、範囲内の構造物を中心に捉えた周回コースの組み合わせになる。

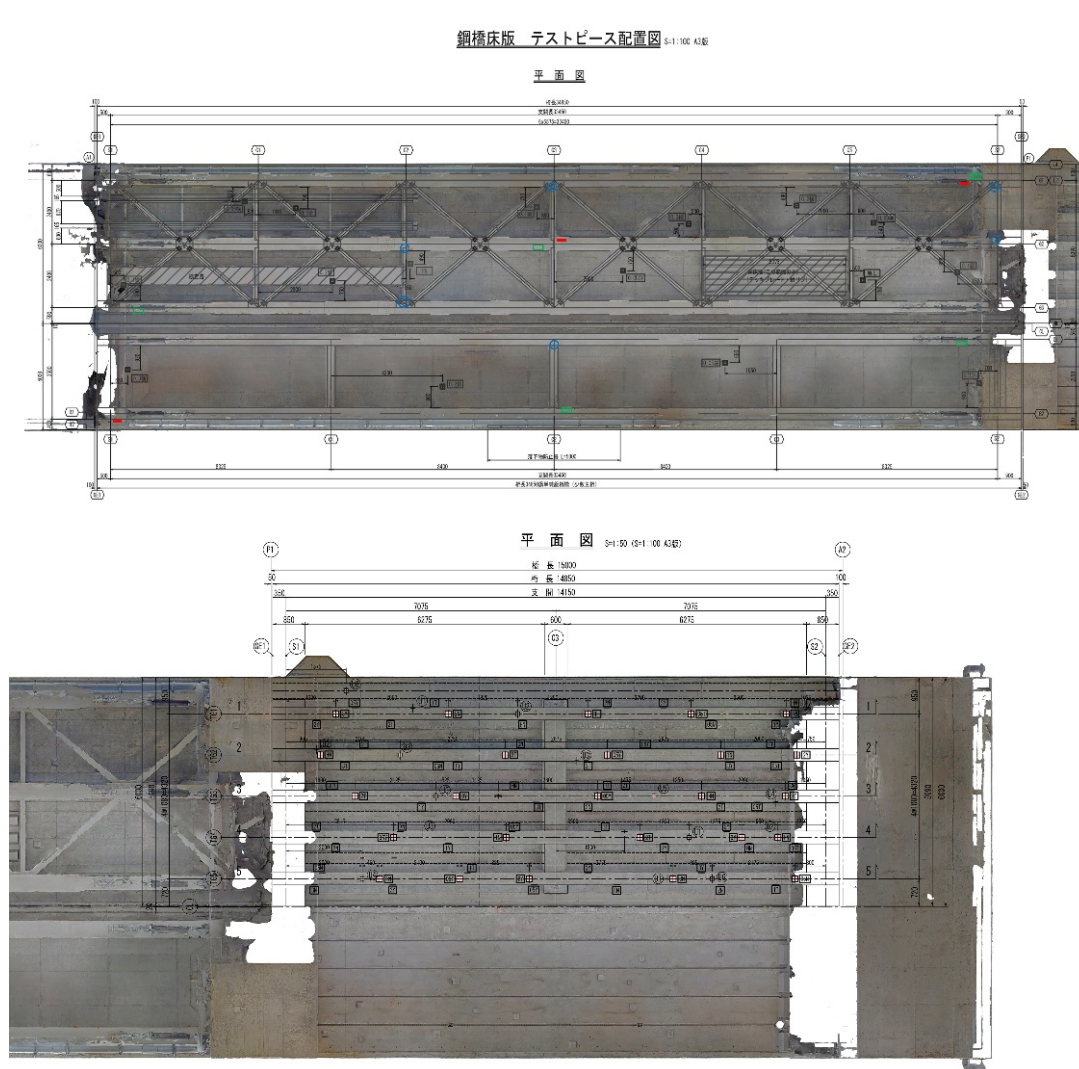
＊ 当テストでは、2回のバッテリー交換の着陸を挟み、約90分でこの飛行工程を終えた。

SfM処理の成果：壁面オルソ例 ①

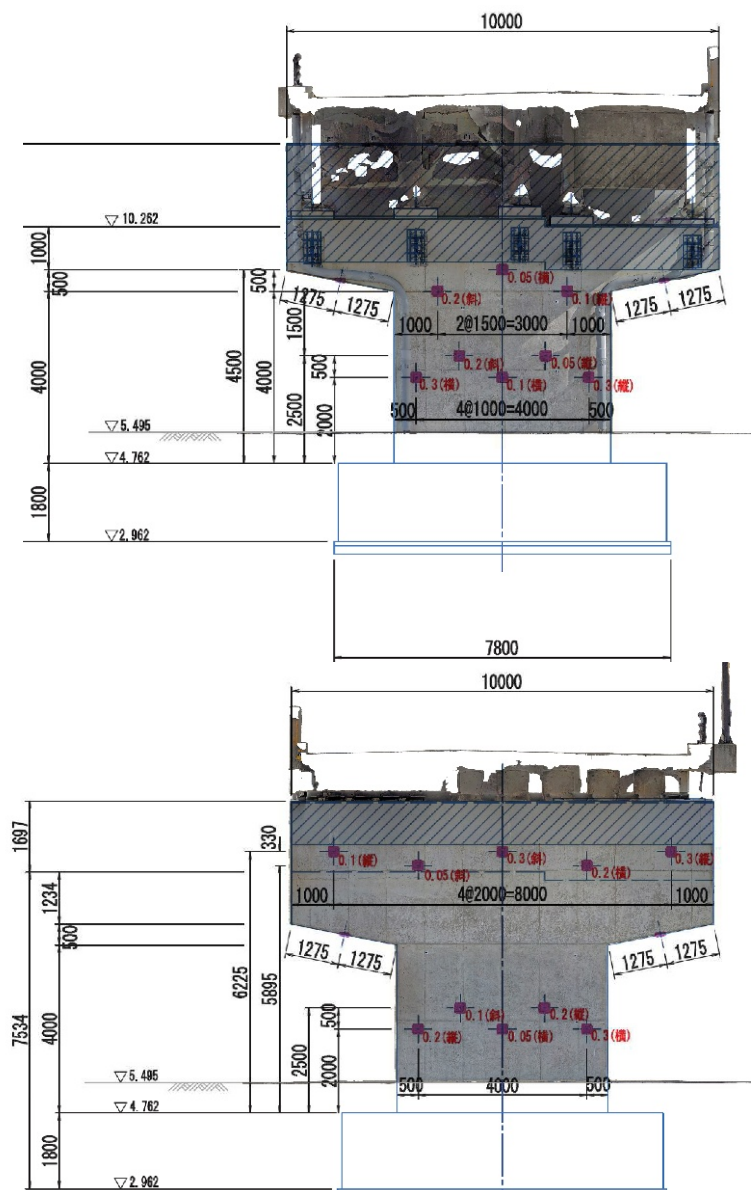


本テスト飛行での撮影データを処理した結果、防護柵や金網などのSfM処理が苦手とする箇所はあったが、図面の背景図として使える壁面オルソが作成できた。

SfM処理の成果：壁面オルソ例 ②

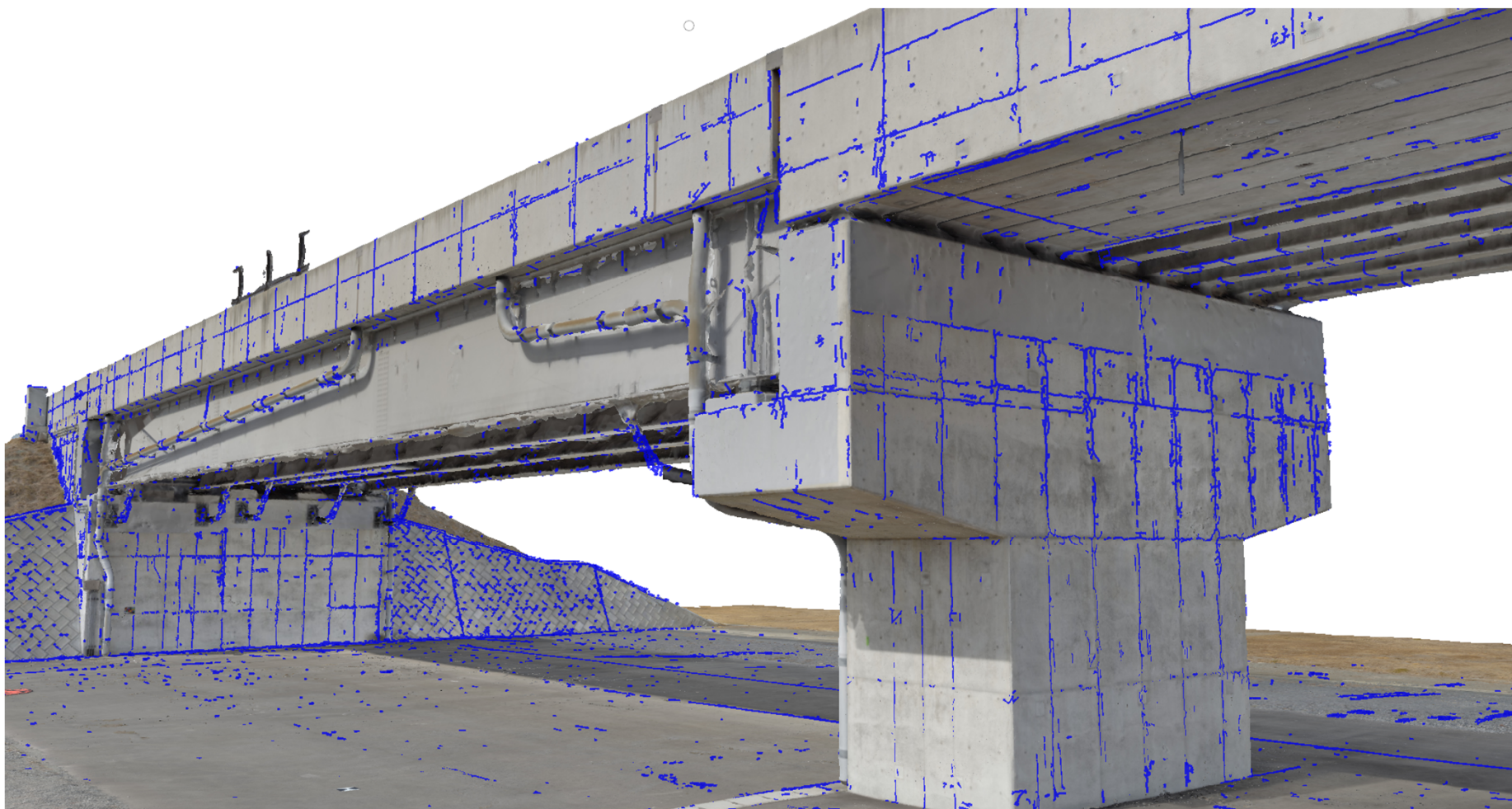


床板下面 (天井) も、必要な部分は漏れなく取得できている。



今後の予想：抽出結果の3D可視化 ……需要はあるのか？

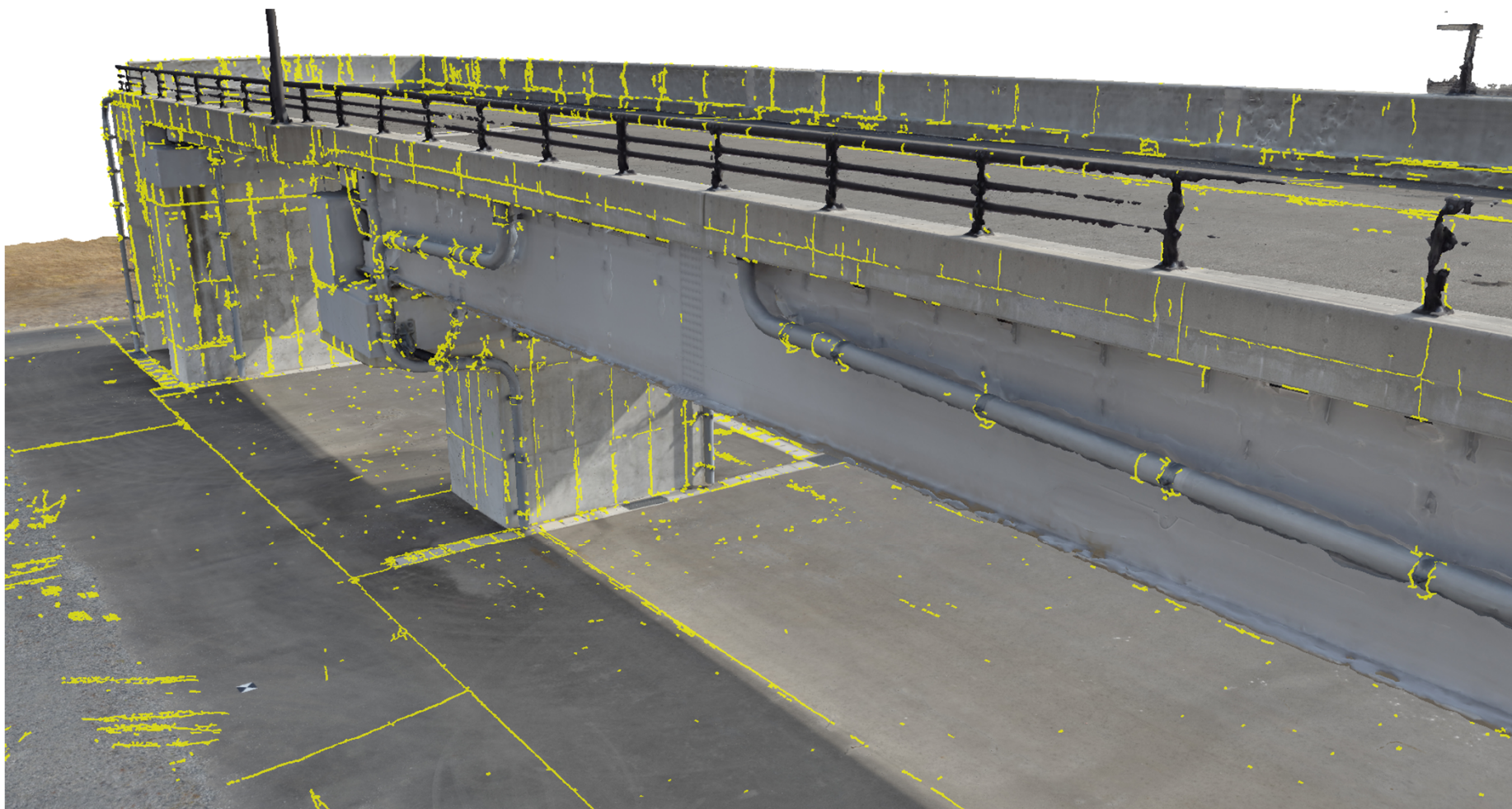
[注意] この図は、あえてコンクリ型枠なども「ひび割れ」と見立てて線形データを三次元投影している。



「ひび割れ自動抽出」アルゴリズムは基本的に、撮影画像をもとにして2Dで形状を検出するが、SfM処理での画像位置情報と連動させて座標を付与することができれば、3Dモデルに投影したマッピングが可能になる。

今後の予想：抽出結果の3D可視化

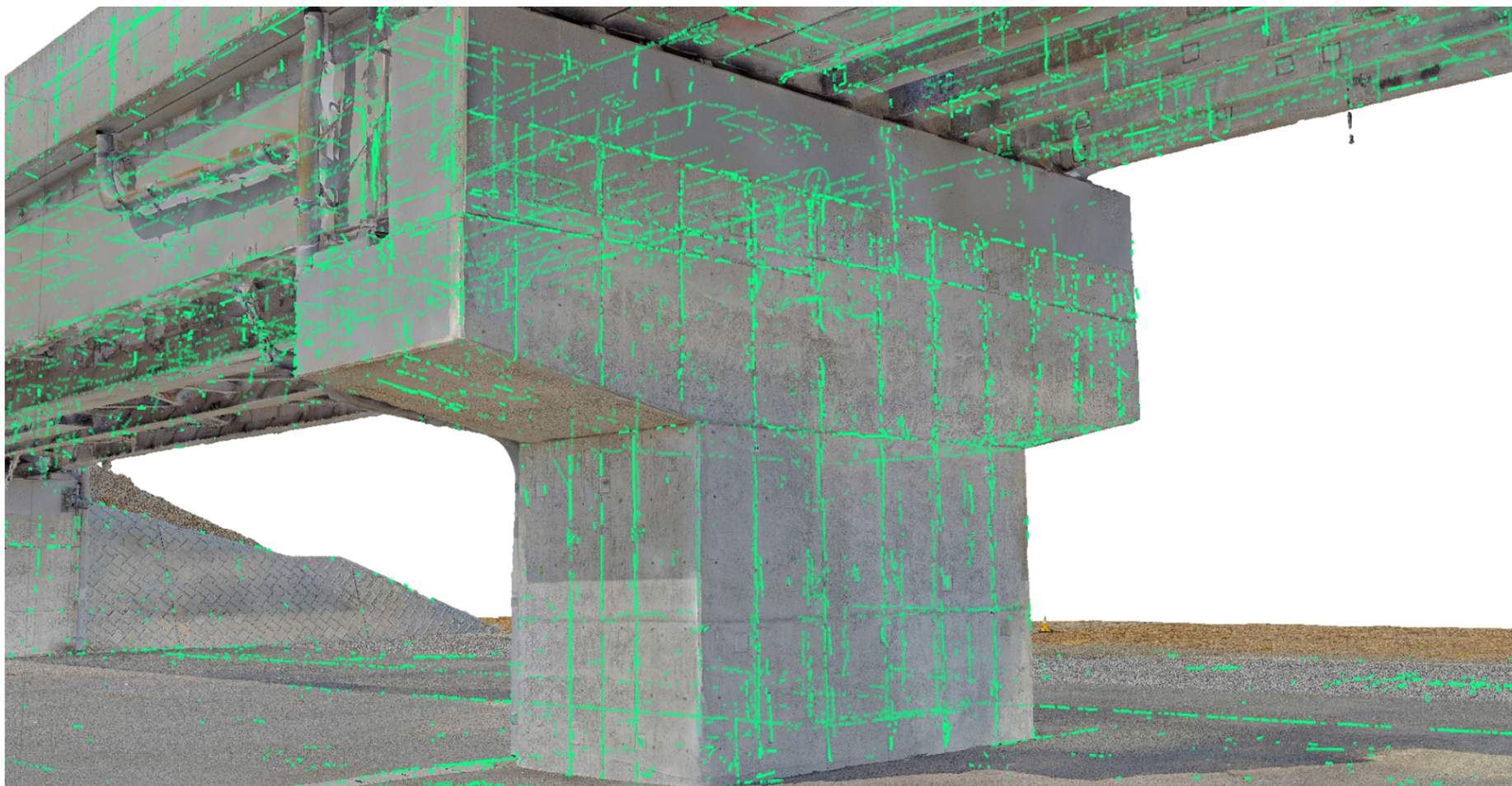
[注意] この図は、あえてコンクリ型枠なども「ひび割れ」と見立てて線形データを三次元投影している。



「ひび割れ抽出」は部材ごとに2Dで結果をまとめるのが基本だが、3D化すると、変状が集中している箇所を立体的に把握しやすい。足場の構築計画などに寄与する可能性があるが、3Dを扱わない顧客にはオーバースペックになるおそれも。

今後の予想：抽出結果の3D可視化

[注意] この図は、あえてコンクリ型枠なども「ひび割れ」と見立てて線形データを三次元投影している。



線形データのマッピングをスケルトン的な透過表示にすることで、部材の表示面と非表示面の「変状」の連続性を把握することも可能になりそうだが、静止画だとわかりづらい。

ご清聴ありがとうございました



AERO PHOTO CENTER CO.,LTD.

補足:

UAVによる「ひび割れ検査」を正式に行える技術者とは誰か - 国交省「道路橋定期点検要領」上の原則 -

- ＊ 点検・診断は「道路橋定期点検要領等を理解し、適切に履行できる技術者」が行うことが前提。
- ＊ 国交省は、点検業務に必要な資格を一つに限定していない。
 - 登録・推奨資格群で該当するのは、
◆ 道路橋点検士 ◆ 橋梁点検技術者 ◆ RCCM など

作業の種別	行為	資格要求の考え方
① 取得	UAV操縦・撮影	飛行資格・安全管理
② 解析	AI処理・表示・整理	原則資格不要
③ 判読	損傷の有無・程度の判断	技術者資格が必要
④ 報告	点検調書・健全度判定	技術者資格が必須 (法的責任)