

2026年度河川技術シンポジウム

低コストなスクリーニング を目的とした自転車移動型 LiDAR-SLAM による堤防 天端の変状計測

Bicycle-based LiDAR-SLAM for low-cost screening of
levee crest deformation

山本 道輔^{1,2}・西山 哲³・吉田 圭介⁴

¹株式会社オーエスエー

²岡山大学大学院 環境生命科学研究科

³岡山大学 学術研究院 教授

⁴岡山大学 学術研究院 准教授



背景と適用スコープの明確化

評価軸を「絶対精度」ではなく「相対比較による変状候補の抽出」に置く

できること

- GCPを省略し，20 km/h程度で広域を反復計測
- 2時期間の局所的な相対形状差を面的に可視化
- 50 mm級の変状候補を抽出し，詳細調査へつなぐ

できないこと

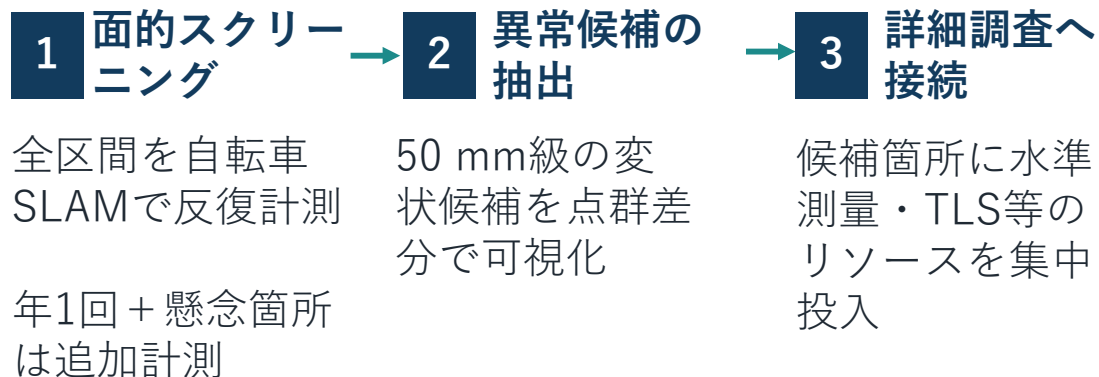
- mm級の絶対標高を保証する精密測量
- 水準測量やMMSの完全な代替
- 構造安全性の最終診断

この割り切りにより，現場で重要な「頻度・広域性・低コスト」を優先する

実務者レベルでの再現性と運用モデル

現場導入の障壁を下げる

- 専用解析コードを開発しない
- 高価な演算用サーバを前提にしない
- 市販ソフトウェアのGUI操作で完結
- 既存の巡視・点検・再調査フローに接続



トライアージ体制

広く・浅く・頻度高く把握し、深掘りすべき箇所を選ぶ

GCPレス

設置作業を省略

20 km/h

実務的パトロール速度

50 mm級

異常候補の抽出目標

基礎実験による相対精度の実証

検証概要

試験片（人工変状）設置前後の点群をICPによる位置合わせを行い、M3C2により点群距離を計算

速度／座標拘束方式／距離を要因計画法で評価

- 試験片厚：5 / 10 / 20 / 30 / 50 mm
- 速度：徒歩4 km/h, 自転車10 km/h
- 拘束方式：GNSS only, GNSS+GCP, GNSS OFF+GCP
- 距離：0.5 m, 4.0 m

約3.0 mm

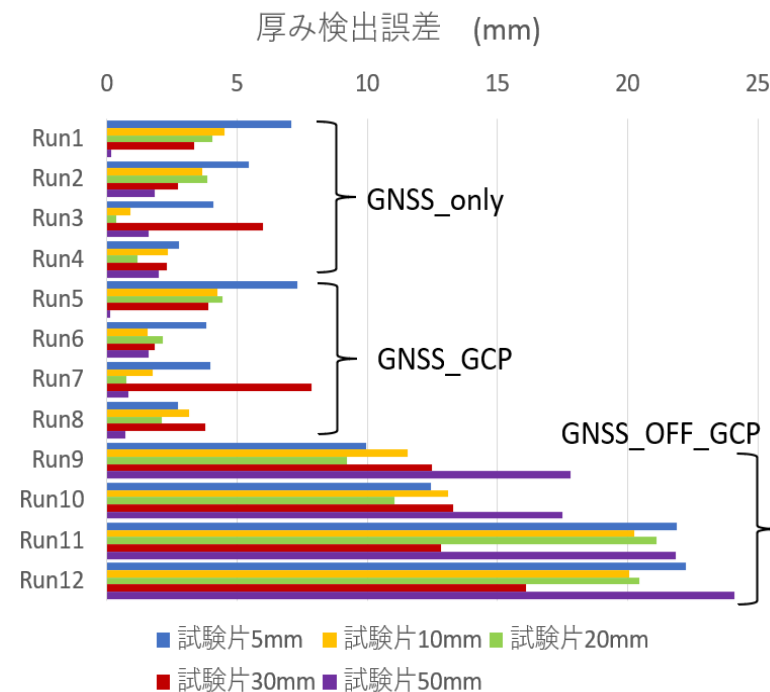
絶対検出誤差
(GCP併用時と同等)

20 mm

最小検出厚 (MDT)

有意差なし

速度差による相対精度劣化

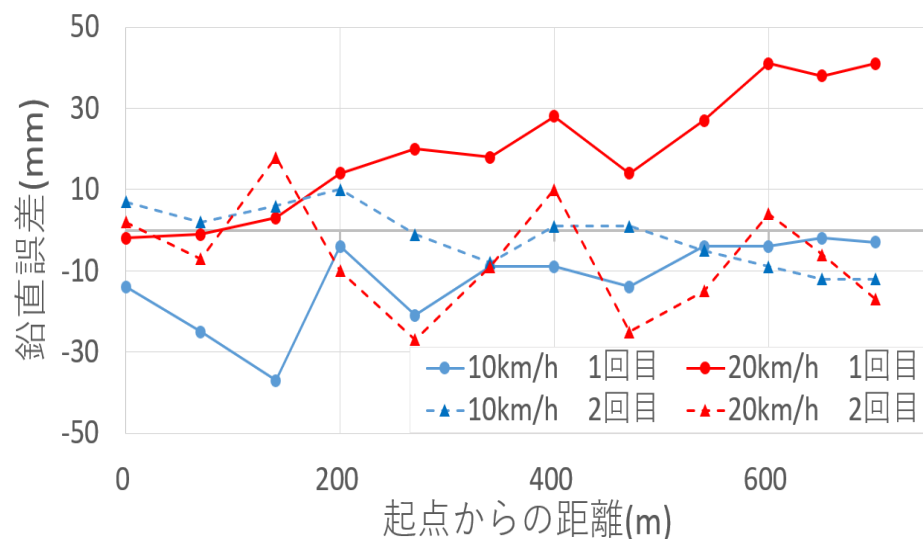


GCPレスであっても、絶対位置精度は低下するが、相対比較では変状抽出能力を確保できる

実地検証における課題：軌跡波状誤差

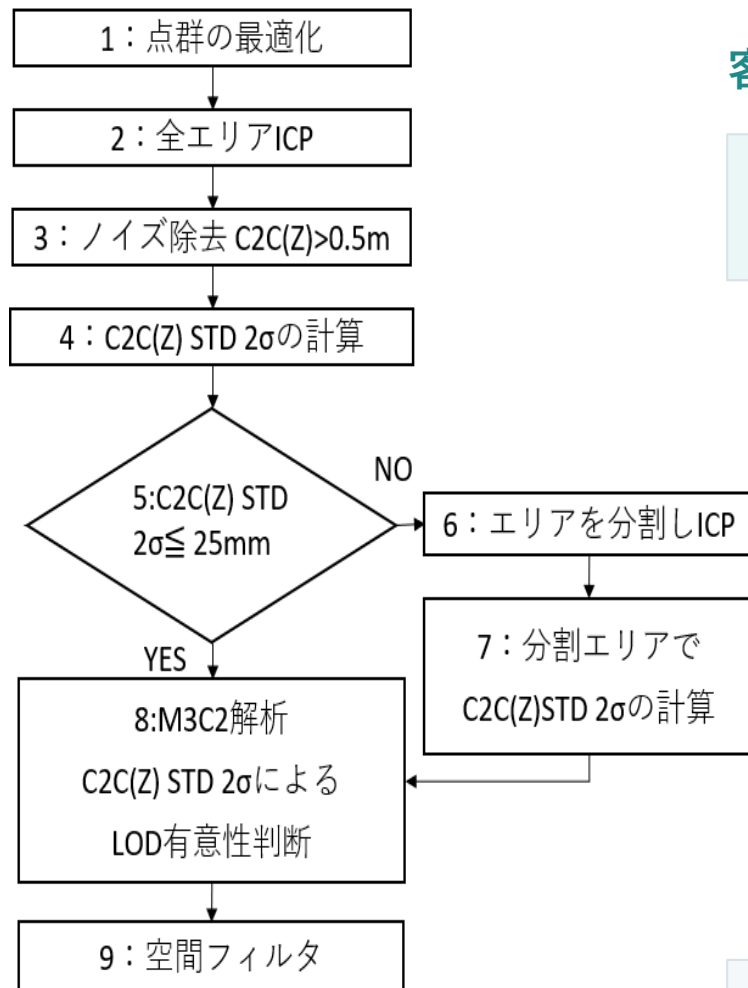
長距離実環境で顕在化する非線形な点群の「歪み」を
軌跡波状誤差（Trajectory Waviness Error : TWE）と定義

- 吉井川右岸 700 m区間で検証
- GNSS/IMU/SLAMの複合誤差が時变的に残留
- 700 m全体を一括で位置合わせをすると、局所的な歪みが残る



微小変状がノイズに埋没するためTWEを前提にした品質管理が必要

条件分岐型解析ワークフローの構築



客観的な品質管理プロセス

管理目標：50 mm級の変状を抽出

→ 登録誤差（位置合わせ誤差）の許容閾値を25 mmに設定

1 2σ基準による統計的最適化

植生等の外れ値を除去し，登録誤差を適正評価

2 分割ICP（局所補正）

25 mmを超過する場合，200 mごとに補正

3 空間フィルタ（連結成分）

孤立したノイズクラスタを機械的に除去

判定基準を明示することで，解析者の経験に依存しにくい運用へ

※ 注：本図における「STD 2σ」は，平均値±2σの範囲で抽出したデータ群の標準偏差（1σ相当）として定義している。

ワークフローの有効性検証：自己ノイズ評価

同一機器のSLAM点群で誤差低減効果を定量評価

検証データ：同一時期・機器で取得した2つのSLAM点群（700 m区間）

実変状は無視できるので、自己ノイズとして評価

登録誤差

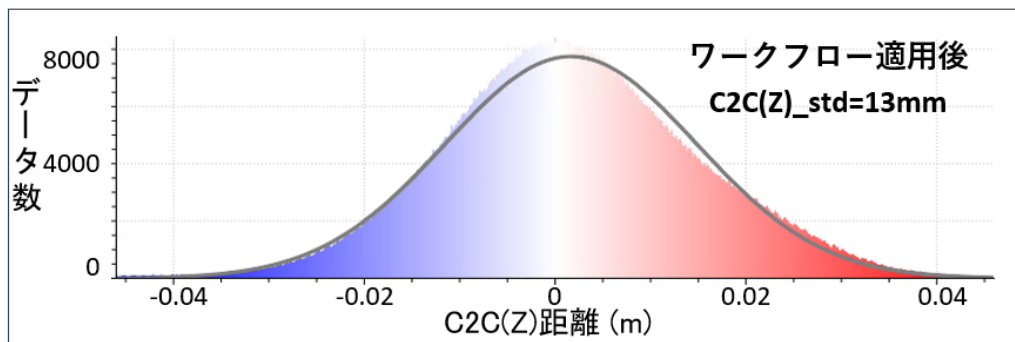
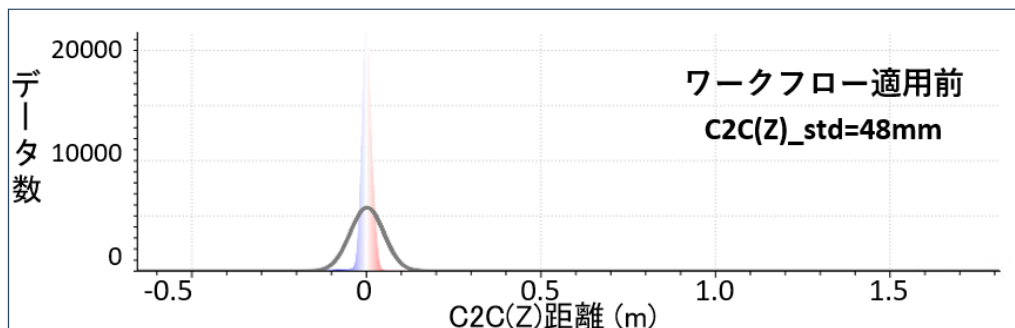
48 mm → **13 mm**

一括ICP

提案フロー

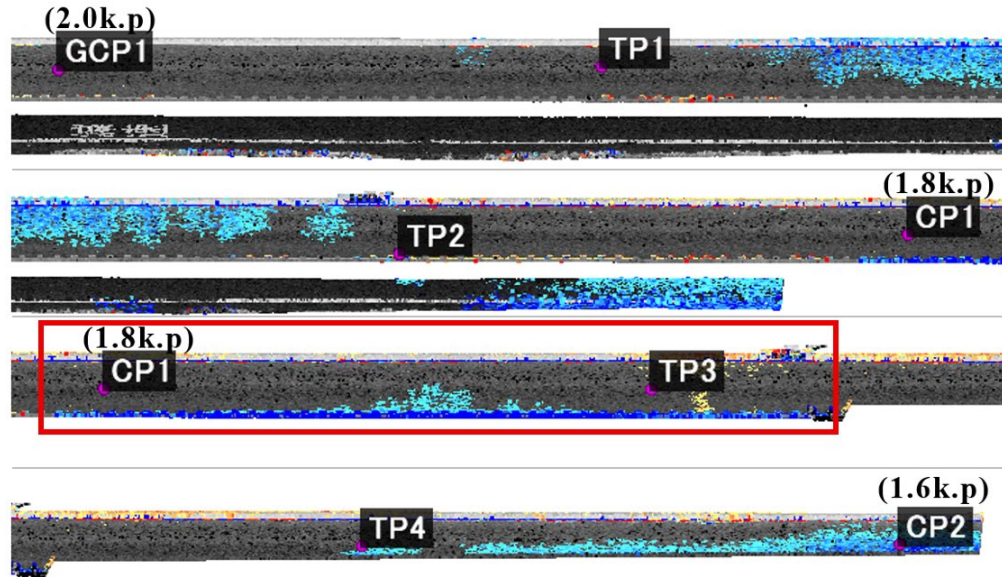
$\text{LOD95\%} \approx 13 \text{ mm} \times 1.96 \approx 25 \text{ mm}$

管理目標50 mmに対して十分な
検出感度

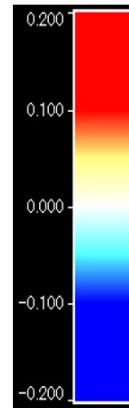


実変状の抽出事例：MMS（2017） vs SLAM（2025）

経年データ比較による局所的な相対変状の抽出



M3C2
距離(m)



- 基準点群：2017年MMS
- 比較対象：2025SLAM
- 改修工事影響のない400m区間に限定

赤枠：変状候補

約90 m

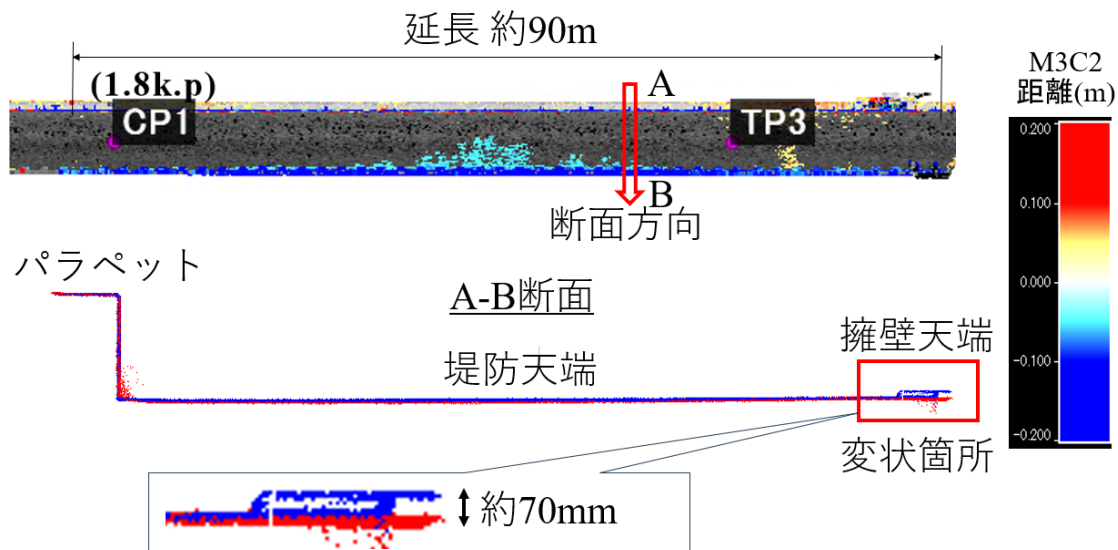
検出区間延長

約70 mm

局所的な形状変化

堤防天端と擁壁部境界における相対的な形状差を面的に抽出

結果の読み方と適用範囲



算出値は「最終診断」ではなく
詳細調査へ進む候補情報

広域的な一様沈下は検出困難

ICPの基準面によって変位方向の正負
が反転し得る

正負や厳密量を直読せず、「相対形
状差が生じた箇所」として扱う

実務上の扱い

- ・ 候補箇所を現地確認
- ・ 必要に応じて水準測量・TLS等を投入
- ・ 従来測量と役割を分担

上：2017年MMS 下：2024年SLAM

結論：一次スクリーニング手法としての有効性

1 相対比較に特化することで、GCPレス・自
転車移動による面的スクリーニングが可能

2 登録誤差を指標とした自己診断機能によ
り、客観的な実務運用モデルを構築

3 適用範囲を理解して従来測量と使い分け
ることで、予防保全サイクルに接続可能



「広く把握し、必要箇所の詳細測量を集中する」
河川管理の実務に接続しやすいトリアージ手法