

3D レーザースキャナー(3DLS)を用いた 高精度トンネル変形モニタリング手法の開発

横浜国立大学 都市イノベーション研究院 崔瑛 (CUI, Ying)

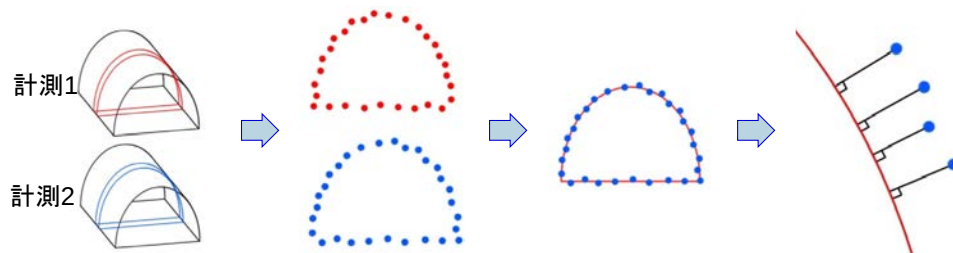
YNU 横浜国立大学 IUI 都市イノベーション研究院
YOKOHAMA NATIONAL UNIVERSITY Institute of Urban Innovation, Yokohama
Initiative for Global Arts & Sciences

2. 研究の目的

3DLSを用いたトンネル変形計測

3

3DLSによるトンネル変形計測と誤差要因



1. 計測 (複数回)

- 計測機器・設定
- 計測位置
- 計測環境 (温度・湿度変化)
- 計測対象 (表面性質)

2. 点群取得・合成

- ターゲット
- スキャン密度
- ノイズ処理
- 欠損データ

3. 位置合わせ

- ターゲット (設置誤差)
- 座標系 (不整合)

4. 差分計算

- 差分手法 (C2C, C2M, M3C2)
- 点群密度
- ノイズ
- Mesh精度

目的: 3DLSを用いた高精度トンネル変形モニタリング手法を開発

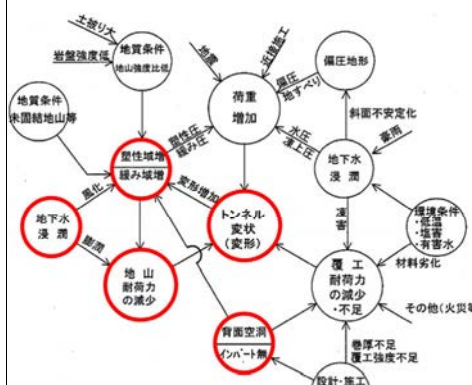
1. 研究の背景

トンネルの変状原因と変形計測基準

2

研究の背景: 近年, トンネルを含むインフラ構造物の老朽化が進行しており, 現状の調査および効率的な維持・管理技術の開発が急務となっている。

トンネルの変状原因



土木学会: トンネル変状メカニズム研究小委員会, 2003

トンネルの変形速度と対策区分

道路トンネル定期点検要領(2019): 変形速度に応じた対策区分の目安

変形速度				対策区分
10mm/年 以上	3~10mm/年	1~3mm/年	1mm/年 未満	
		○	○	IIa, IIb
	○	○		IIa
		○		III
○				IV

付表-2.8 変形、移動、沈下に対する対策区分

I	変形、移動、沈下等が生じていない、またはあっても軽微で、措置を必要としない状態
IIa	変形、移動、沈下等しており、その進行が停止しているが、監視を必要とする状態
IIb	変形、移動、沈下等しており、その進行が緩慢であるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
III	変形、移動、沈下等しており、その進行が見られ、構造物の機能低下が予想されるため、早期に措置を講じる必要がある状態
IV	変形、移動、沈下等しており、その進行が著しく、構造物の機能が著しく低下しているため、緊急に対策を講じる必要がある状態

道路トンネル定期点検要領, 2019

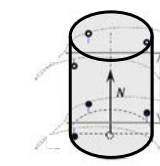
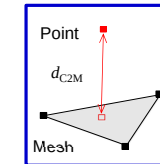
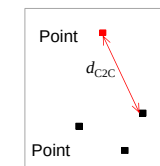
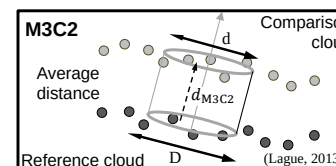
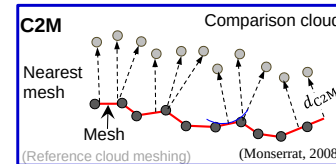
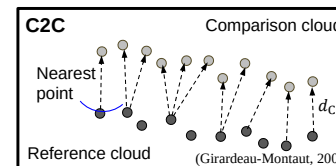
2. 研究の目的と構成

3DLSを用いたトンネル変形計測

4

目的: 3DLSを用いた高精度トンネル変形モニタリング手法を開発

差分計算方法



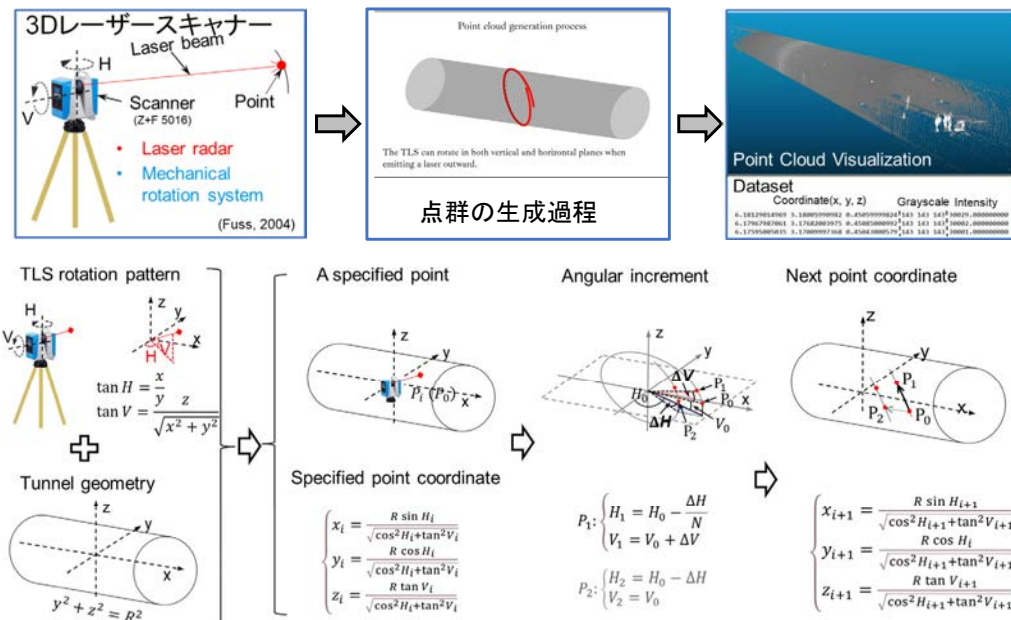
研究の流れ

- C2M(Cloude-to-Mesh) アルゴリズムにおける誤差の発生メカニズムを整理
- 点群の分布特性に基づく比較誤差評価手法 (CEE法) を提案
- 実トンネルでの現場実験によってその妥当性を検証
- 誤差を事前に制御する最適化手法を構築

3. トンネル点群特性に基づく比較誤差評価手法の提案

5

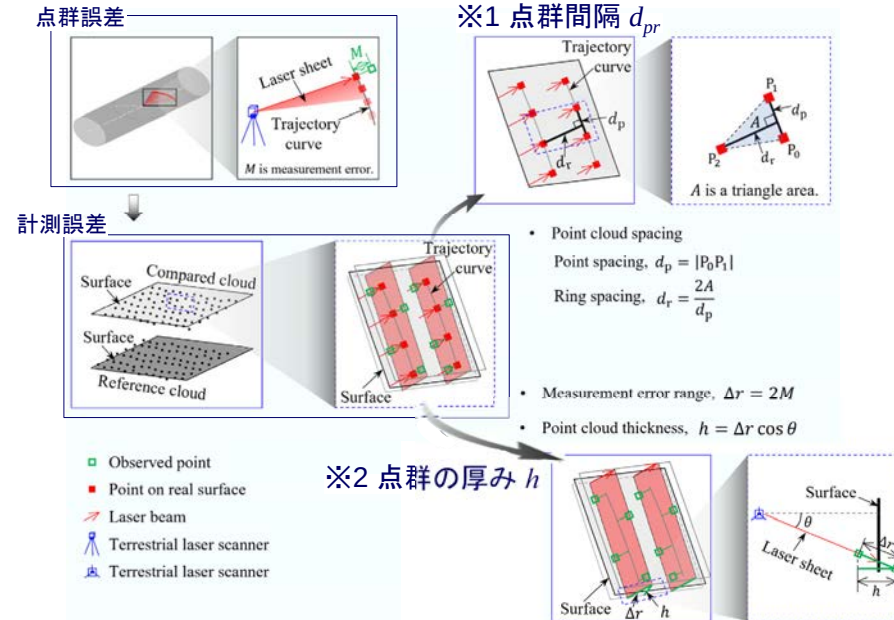
3.1 トンネル点群特性に基づく点群軌道の定式化



3. トンネル点群特性に基づく比較誤差評価手法の提案

6

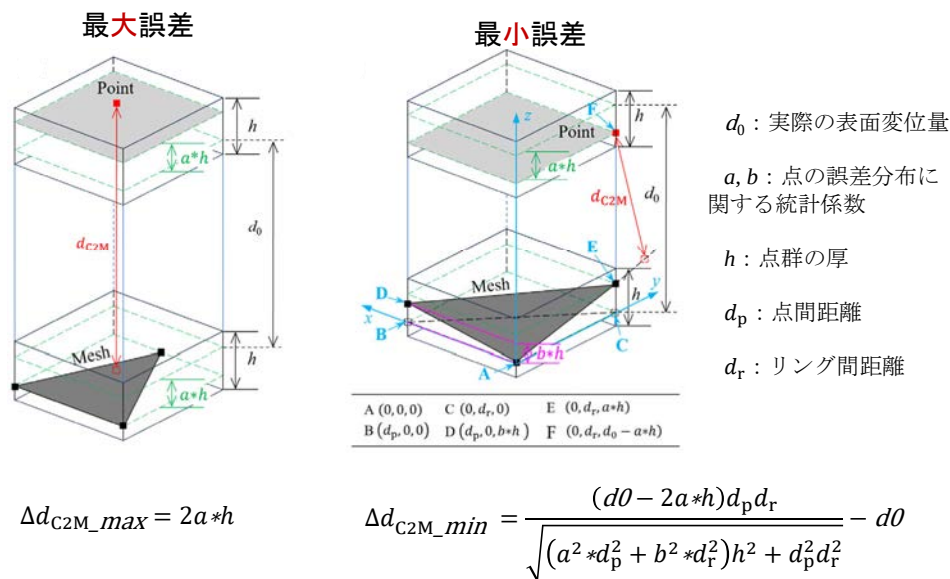
3.2 差分計算における誤差の発生メカニズム



3. トンネル点群特性に基づく比較誤差評価手法の提案

7

3.3 C2Mによる比較誤差評価手法 (CEE) の提案

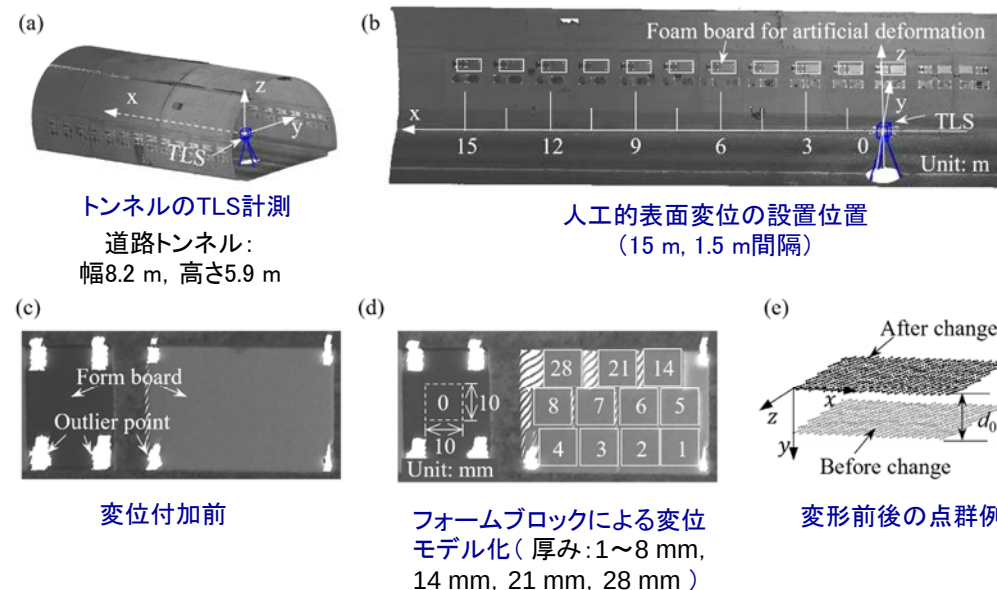


3. トンネル点群特性に基づく比較誤差評価手法の提案

8

3.4 現場実験による検証

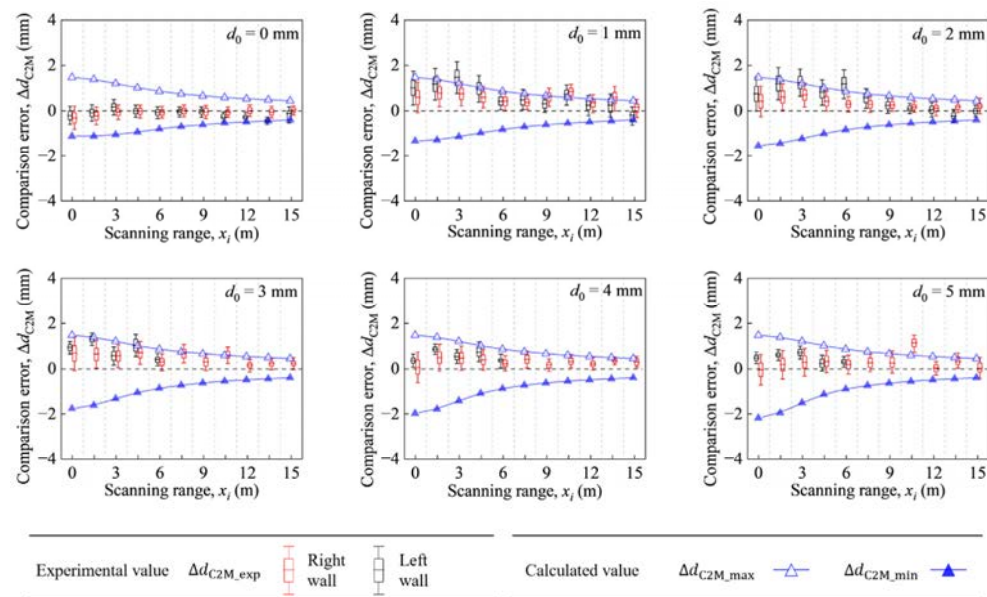
現場実験の概要



3. トンネル点群特性に基づく比較誤差評価手法の提案

9

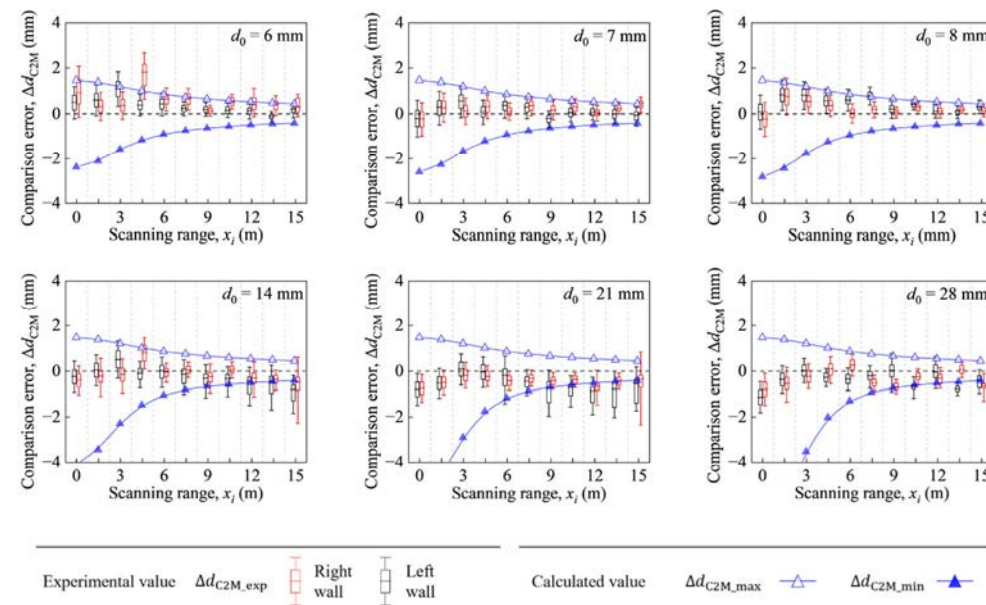
3.4 現場実験による検証



3. トンネル点群特性に基づく比較誤差評価手法の提案

10

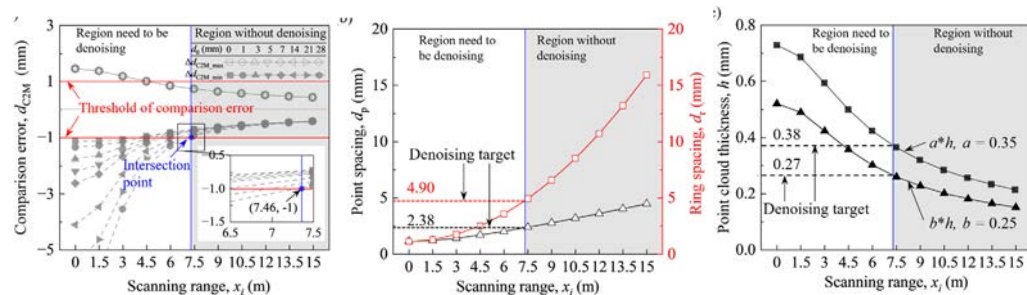
3.4 現場実験による検証



4. 点群最適化手法の提案

11

CEE法を用いた最適化



ノイズ除去領域の抽出



点間隔に対する制限値の設定

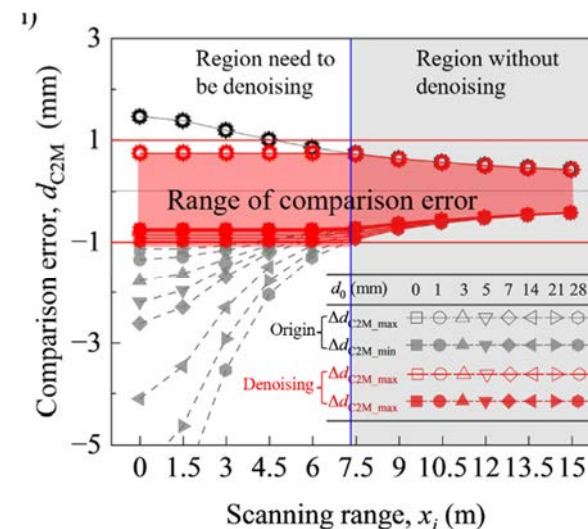


点群厚さに対する制限値の設定

4. 点群最適化手法の提案

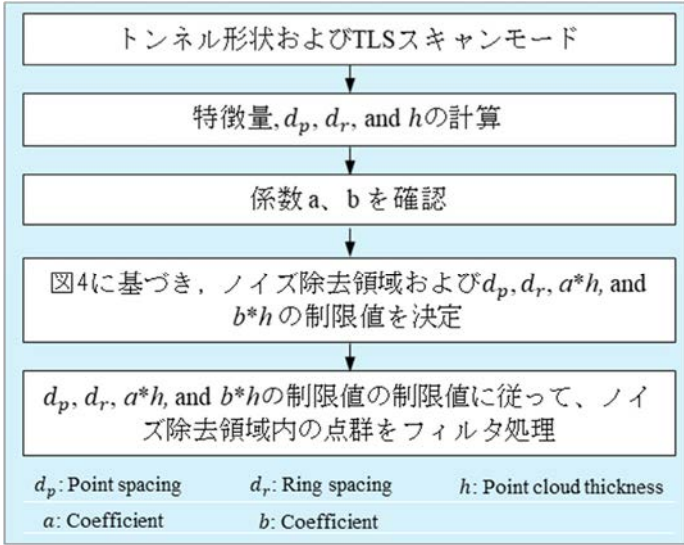
12

CEE法を用いた最適化の効果



最適化後の比較誤差評価

実測点群の最適化フローチャート



結論

- 点群およびメッシュに分布特徴量を割り当て、点群厚さに統計的制限を導入することで、C2M比較誤差を定量的に評価するCEE法を構築。
→従来十分に解析されてこなかったC2Mアルゴリズムの理論的誤差解析に新たな枠組みを提供。
- CEE法を活用することで、誤差閾値の設定・特徴量制限・ノイズ除去を体系的に実施し、C2Mアルゴリズムの誤差を効果的に最小化できることを示した。
→これにより、トンネル変形量の評価精度を±1 mmレベルで制御する点群最適化手法を実現。

課題

- 円筒形トンネルを対象としたTLS計測に限定されており、今後は湾曲トンネル・複雑構造トンネル・MLS計測への適用が課題。
- 法線方向変形(収縮・浮上・剥離など)の検出に有効だが、水平変位や回転変形には対応していない。今後は基準点を用いた変位解析との統合が必要。