

光切断法を用いた トンネル3次元計測に ついての技術研究開発

山下 淳 (Atsushi Yamashita)

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻

／i-Constructionシステム学寄付講座

yamashita@**robot**.t.u-tokyo.ac.jp

[http://www.**robot**.t.u-tokyo.ac.jp](http://www.robot.t.u-tokyo.ac.jp)

謝辞

2

- 本研究は令和2年度 国土交通省関東地方整備局「技術シーズマッチング」の援助を受けて実施致しました。厚く御礼申し上げます。

光切断法を用いたトンネル3次元計測についての技術研究開発

山下 淳¹・伊藤 哲²・吉田 健一²・谷口 信博²



1：東京大学 i-Constructionシステム学寄付講座

2：株式会社 大林組

研究の背景

■ トンネル形状の3次元計測

- トンネルの施工・維持管理に必要不可欠

■ 人力による計測

- 作業員4名 + 高所作業車 + メジャー
- **手間がかかる**



<https://www.monotaro.com/g/01997538/>



■ トータルステーション

- 1点のみに光を照射・計測
- **複数点 (多点) 計測は不向き**
- **密な (高密度な) 計測は不向き**



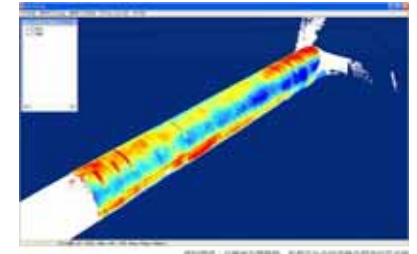
従来研究

■ MMS (三菱電機)

- NETIS KK-090011-A
- Mobile Mapping System (移動計測車両)



<https://www.mitsubishielectric.co.jp/mms/>

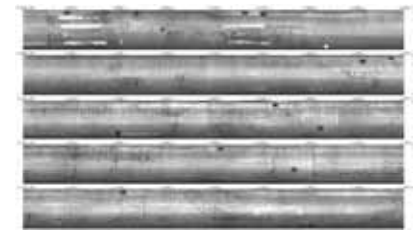


■ トンネル覆工表面レーザ計測システム (トノックス)

- NETIS KT-140074-A
- MMSでトンネル計測

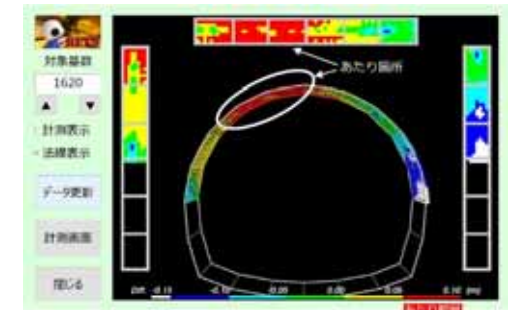


<http://tonox.jp/20190604/blog14/>



■ 切羽掘削形状モニタリングシステム (西松建設)

- 3Dレーザスキャナを利用



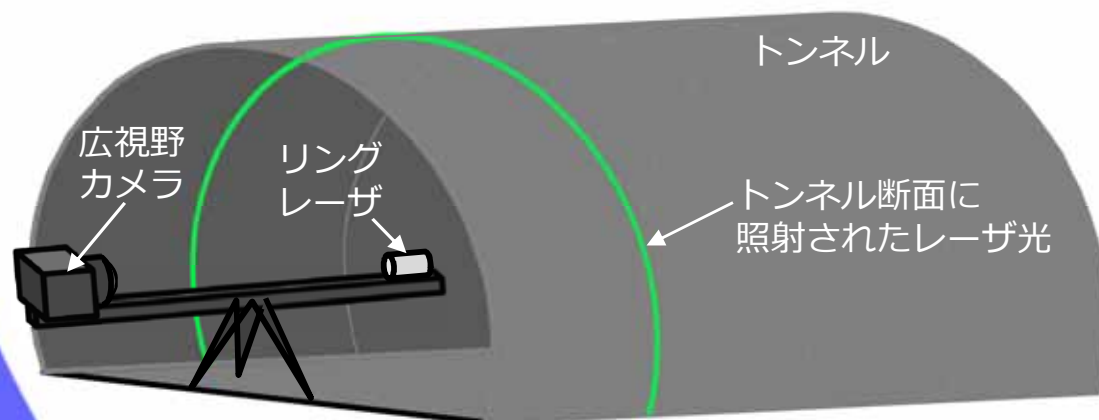
<https://built.itmedia.co.jp/bt/articles/1902/20/news023.html>

**自動車が走行不可能なトンネル施工時にも
大掛かりな装置を用いずに簡便に計測したい**

研究の目的

■ 簡便かつ高速かつ密なトンネルの3次元形状計測手法の新規提案

- 密な計測に適する**光切断法**を利用
- 広い視野を有する**広視野カメラ**
- 広範囲を照射可能な**リングレーザ**



光切断法を用いたトンネル3次元計測

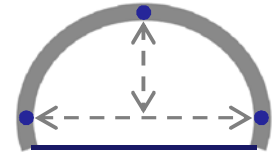


トンネル3次元計測の様子

提案手法のポイント

■ 貢献・社会に果たす役割

- 従来：**少数の計測点**のデータで管理
 - 簡便・高速な断面の全形状計測が技術的に困難なため
- 提案手法：**トンネル断面の全形状**を計測可能
 - 設計値通りの施工であるかの確認
 - 通行車両との接触判定
 - トンネル形状の経年変化の定期的調査



■ 実用性

- トータルステーション：計測箇所が**目視できない**
- 提案手法：照射したレーザー光を**目視可能** → 作業者が計測箇所をリアルタイムで把握・変更可能
- **使い勝手**：作業者の意図通りに直感的に扱える
- **納得性**：メジャーと同様，理解できる

チャレンジ (1/2)

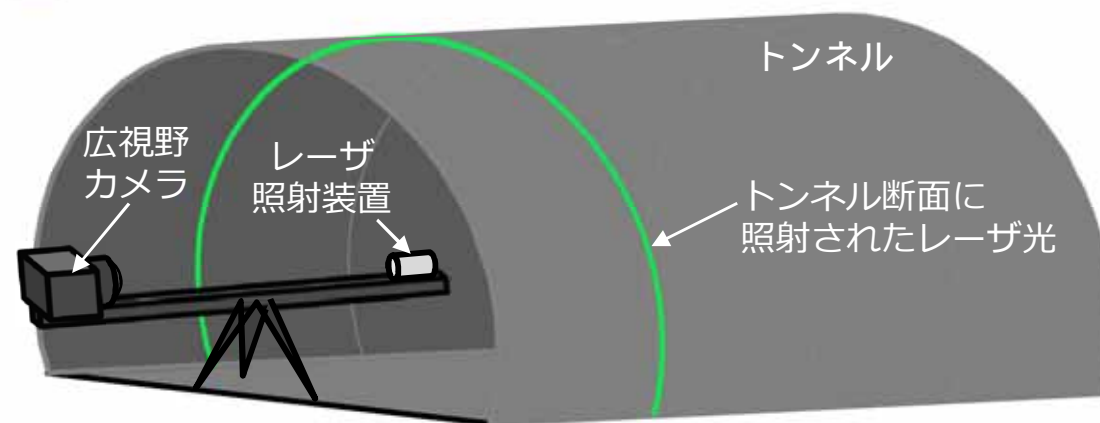
7

■ 簡便かつ高速に密な3次元計測

- トンネル内の**1断面**を**1回**のレーザ照射で計測
- 断面数のレーザ照射で複数の断面形状計測・**自動統合**

■ 解決すべき課題

- **非整備環境**
- **大型構造物**



チャレンジ (2/2)

8

■ 非整備環境 (照明条件制御不可 = 不安定)

- レーザ光出力を変更した2枚の画像を取得して、**画像間の差分解析** → 安定性の問題を解決

■ 大型構造物

- 魚眼カメラ+リングレーザで、広い範囲を同時に**ワンショット計測**
 - 誤差を抑える**カメラとレーザの同時キャリブレーション**
 - 計測精度を向上させる**カメラとレーザの最適配置設計**
 - 超解像のように**1ピクセル精度を超える画像処理**
- 複数断面の計測結果の自動統合
 - 光切断法 + Structure from Motionのような**画像解析**

スケジュール

■ 令和2年度

- **一断面**の3次元計測手法に関する**基礎理論構築**
- 計測システム**プロトタイプ**の構築
- プロトタイプを用いた理論検証

■ 令和3年度

- 前年度に構築した計測システムのプロトタイプの**改良**
- **高精度に密な3次元計測**が可能な計測システムの構築

■ 令和4年度

- 令和2~3年度に構築した一断面の3次元計測手法を用いて取得した**複数の断面形状の計測結果統合**を行う手法の構築
- トンネルでの検証実験および評価

光切断法の計測原理

10

■ 三角測量の原理 (点光源)

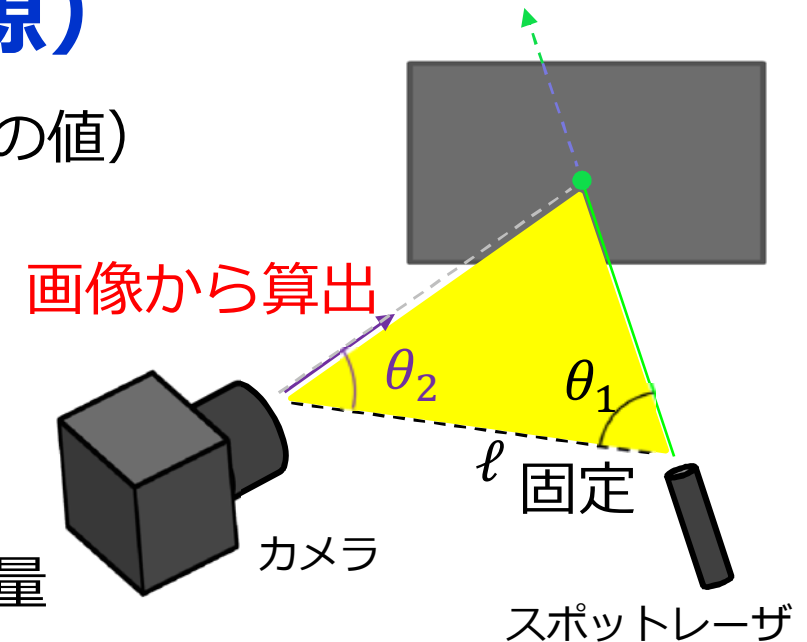
装置を組むと固定される関係性 (既知の値)

- ・ カメラとレーザの距離 (ℓ)
- ・ カメラとレーザの角度 (θ_1)

画像から算出される視線方向

- ・ カメラの視線方向 (θ_2)

カメラの視線とレーザ方向による三角測量

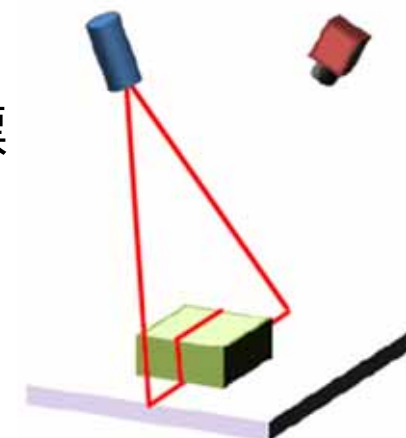


■ 光切断法の原理 (線光源)

点光源：光が当たった1点のみの3次元座標

線光源：光で切断した断面の3次元座標

(=光切断法)



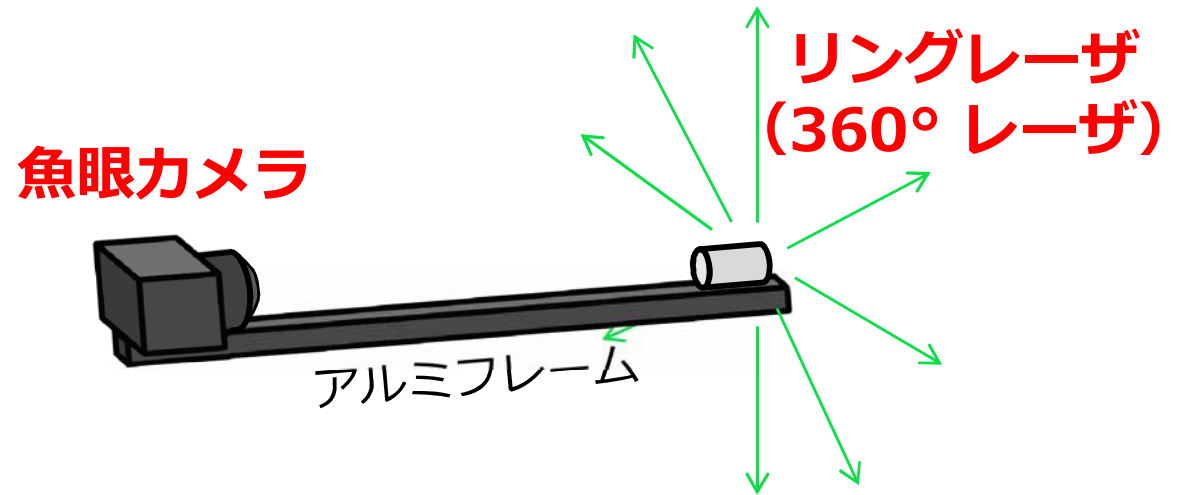
<https://www.eyedeaal.co.jp/eyemlsm.html>

トンネル計測方法

11

■ 装置概略

- 魚眼カメラ
- レングレーザ



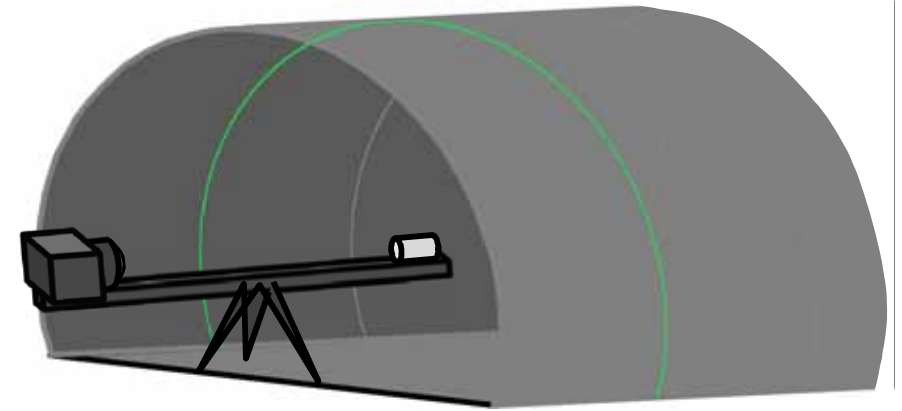
1断面の3次元形状計測

12

■ワンショットでトンネル断面形状計測

トンネル撮影

トンネルに照射したレーザの撮影



レーザの自動抽出



3次元座標算出



画像解析

断面形状計測結果

13

■ 静岡県賀茂郡 河津トンネル

- カメラ : Nikon D850
- 魚眼レンズ : AF-S Fisheye NIKKOR 8-15mm f/3.5-4.5E ED



計測の様子



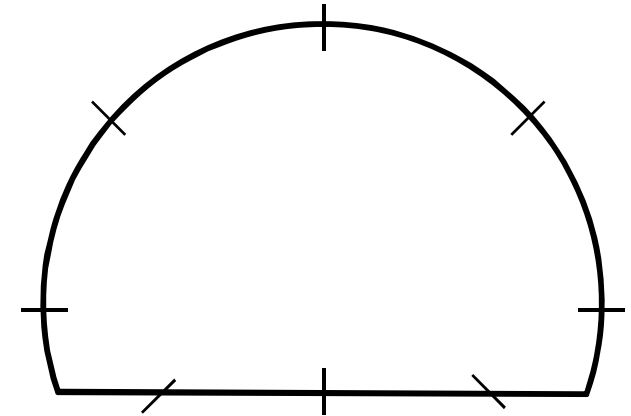
光切断法による計測結果

断面形状計測の精度評価

14

■ トータルステーションを用いた精度評価

- 2020年11月23日～24日
- 北海道大沼トンネル
- 各断面8点ずつ計測
- 13断面の精度評価



トータルステーションの計測箇所



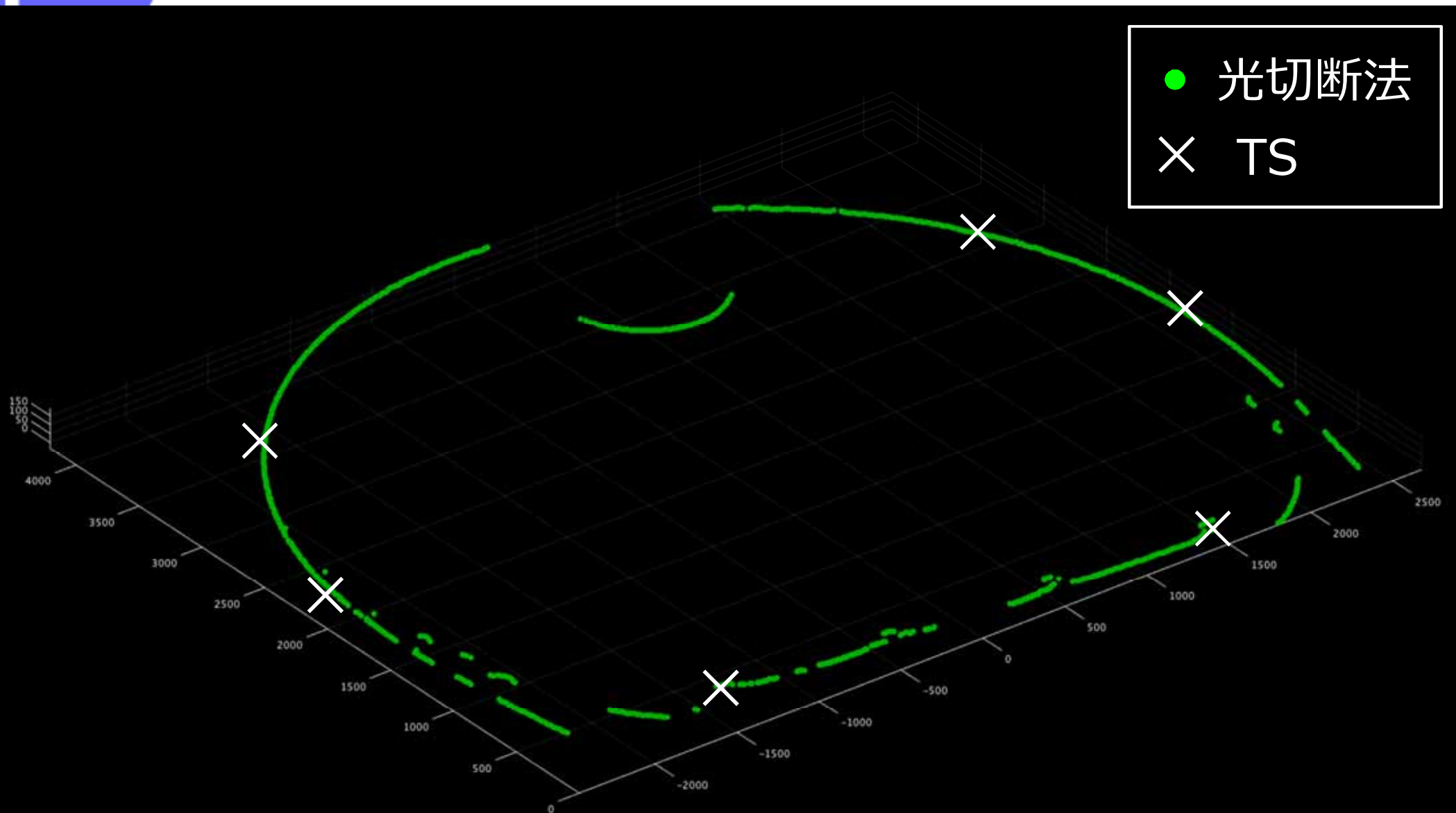
大沼トンネル計測実験

15



計測結果例

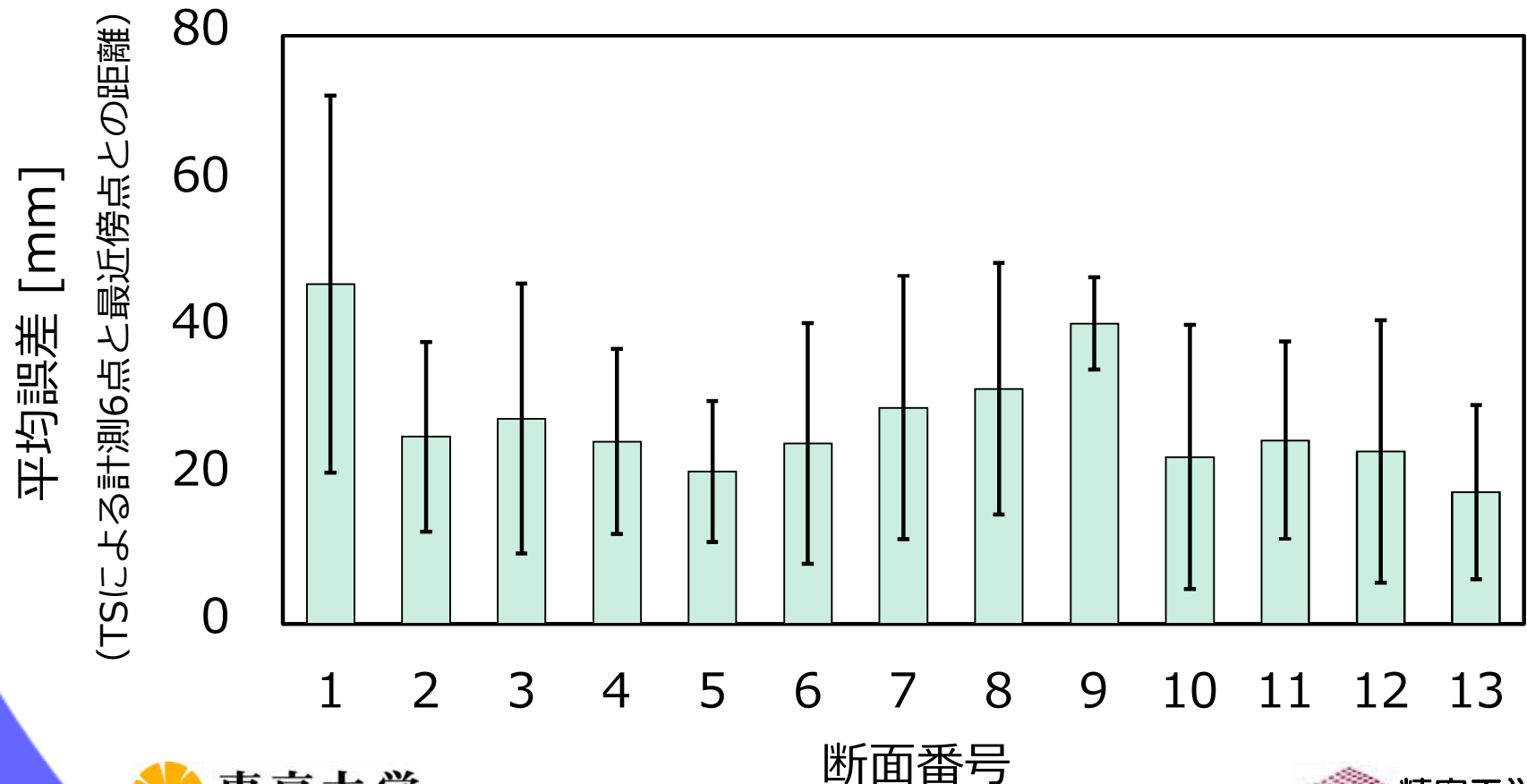
16



(ICP アルゴリズムにより6点を一致)

■ 13断面の精度評価

- 光切断法結果とTS計測結果の位置合わせ成功
- 平均誤差 : 27.77 ± 7.93 mm



おわりに

■ 学術的・技術的に新しい手法の提案

- 光切断法を用いた3次元計測技術の提案
- **簡便**かつ**高速**に**密な**3次元計測を実現

■ 大学+企業の得意分野の融合

- 東京大学：新規**理論**の構築
- 大林組：**現場**適用

■ i-Construction普及への寄与

- 新規・高性能な技術であっても、難解でブラックボックスの方法は、実現場では普及しない
- **使い勝手**：意図通りに直感的に扱える
- **納得性**：メジャーと同様、理解できる



■ まとめ (本研究の目指すところ)

- **新規 + 高性能 + 実現場での活用導入**のハードルが低い
- i-Construction技術導入で**生産性向上・省力化**