

リングビームスキャナー SATURN

Ring Beam Scanner SATURN[®]

Ring Beam Scanner which measures
Sewer pipe, Adit, Tunnel, Round shaft, Natural cavity, etc.

前田建設工業株式会社 技術研究所 平田 昌史



1. はじめに

MAEDA

■ 開発の目的

- 日本全国には、地下資源採掘後に放置された廃坑や地下施設、鍾乳洞等の空洞が多数存在しており、**陥没事故の発生原因**の一つとなっている。
- 陥没事故を未然に防ぐためには、地盤内空洞の大きさ・形状を調査し、グラウト材等で空洞を充填する**対策工事が必要**となる。
- しかしながら、空洞の大きさ・形状を測定するには時間や費用がかかるため、**事前調査**や対策工事の際の**出来形(充填状況)管理**が、十分に実施できない現状にある。



- そこで本研究では、地盤内空洞の大きさ・形状を**迅速かつ安価に測定**する**リングビームデバイス**を用いた**地盤内空洞測定スキャナー**を開発
- 本報告では、今回製作したリングビームスキャナーの仕様と簡単な測定事例について紹介する

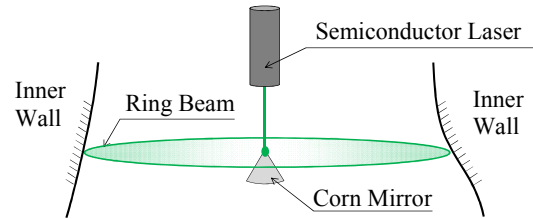


2. リングビームスキャナーの原理と仕様

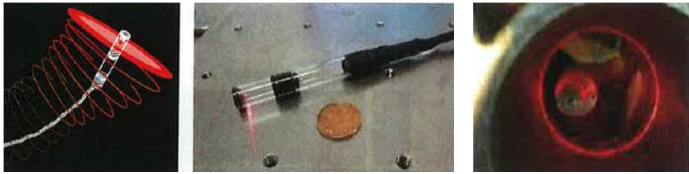
MAEDA

■ リングビームデバイスとは

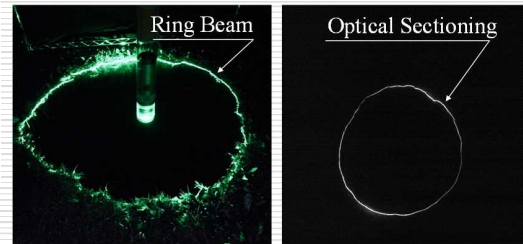
- 半導体レーザービームを円錐ミラーで円盤状に反射させリングビームを生成し、測定対象内部に二次元の光セクショニング形状を投影する装置
- この光セクショニング形状をCCDカメラで撮影し、位置情報に基づいて繋ぎ合わせることで、対象物内面の三次元形状を取得



リングビームデバイスの模式図



- T.Yoshizawa, M.Yamamoto and T.Wakayama : Inner profile measurement of pipes and holes using a ring beam device, Proc. of SPIE Vol.6382, 63820D-1~6(2006).
- T.Wakayama and T.Yoshizawa : Development of a compact inner profile measuring instrument, Proc. of SPIE 6762, 67620D-1~67620D-6(2007).



リングビームと取得した光セクショニング画像の例

3

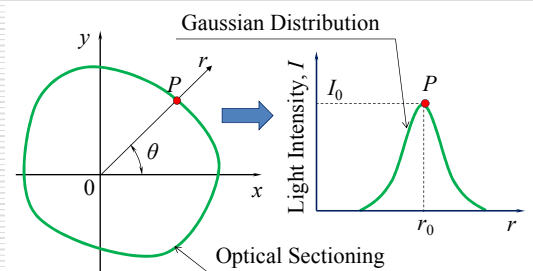


2. リングビームスキャナーの原理と仕様

MAEDA

■ リングビームデバイスとは

- 空洞内部の寸法(半径)は、光セクショニング画像から幾何学的に求められる(画像処理)
- 光セクショニング画像の光強度はガウス分布を描くことから、寸法(半径)は最小二乗法のフィッティングにより求める



光セクショニング断面の光強度分布

光強度のガウス分布	最小二乗法によるフィッティング
$I = I_0 \cdot \exp \left\{ -\ln 2 \cdot \frac{(r - r_0)^2}{w^2} \right\}$	$\ln I = ar^2 + br + c \quad r_0 = -\frac{b}{2a}$

- これにより、CCDカメラ画像の画素間に埋もれた距離(半径)をサブピクセルで求めることができ、画像の解像度以上の精度が得られる

※ リングビームデバイスを用いた内面形状測定は、これまで自動車等の各種部品やパイプ・配管、あるいは医療用内視鏡等に利用され、直径数ミリから数センチ程度を測定対象としていた

4



2. リングビームスキャナーの原理と仕様

MAEDA

■ リングビームスキャナーの仕様

- 今回製作したリングビームスキャナーは、主に計測用プローブと計測用モバイルPCで構成される
- ワイヤ等で吊るした計測用プローブをボーリング孔から挿入し、このワイヤを電動ウインチ等で巻き上げることで地盤内空洞を測定する

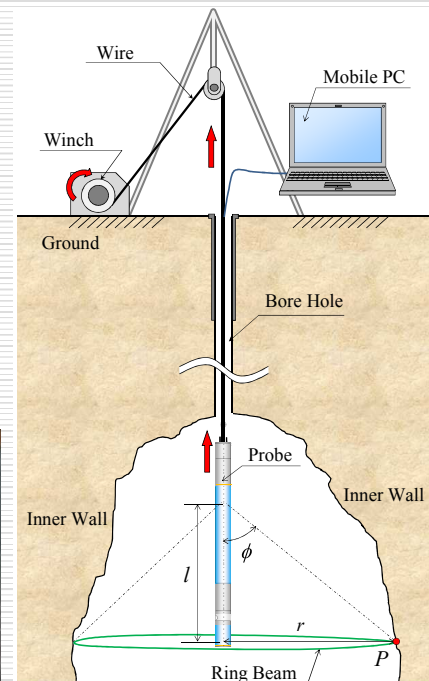
※ ワイヤや電動ウインチ等は別途準備が必要



計測用プローブ



モバイルPC



地盤内空洞の測定イメージ

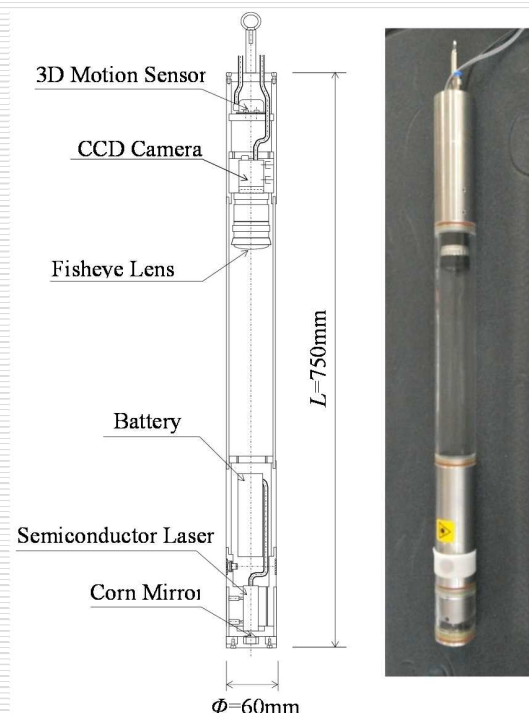


2. リングビームスキャナーの原理と仕様

MAEDA

■ リングビームスキャナーの仕様

- 計測用プローブは、標準的なボーリング孔(直径86mm)から挿入することを想定し、直径60mm、長さ750mm、重さは約5kg
- プローブ下端には高出力の緑色半導体レーザーを用いたリングビームデバイス、プローブ上端には魚眼レンズを装着したCCDカメラと3Dモーションセンサー(3DMS)を内蔵
- 計測用プローブの接続部は地下水等の侵入を考慮して防水処理を施すとともに、内部に窒素を充填することで結露等を防止



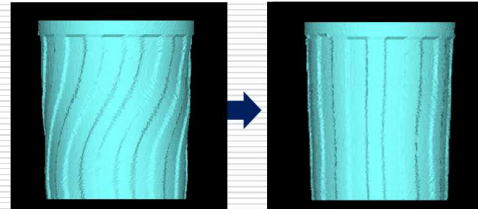
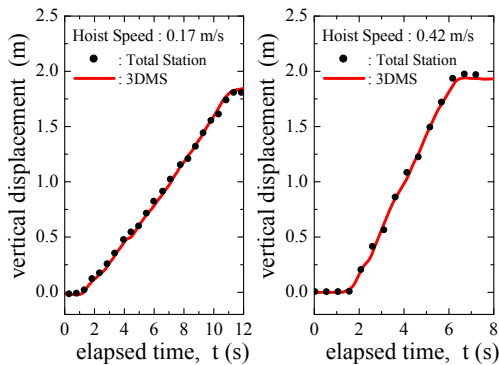


2. リングビームスキャナーの原理と仕様

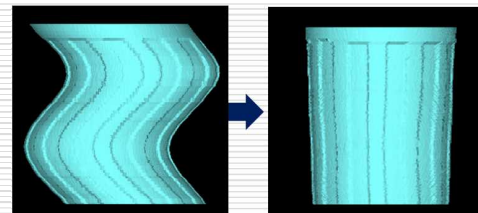
MAEDA

■ リングビームスキャナーの仕様

- 計測用プローブの位置(巻き上げ位置)は、内蔵した3Dモーションセンサー(3DMS)の加速度から取得
- 計測用プローブの捻じれ(ヨーイング)や揺れについても、内蔵した3DMSのデータを用いて補正



計測用プローブの捻じれ(ヨーイング)補正例



計測用プローブの揺れ補正例



3. リングビームスキャナーによる計測事例

MAEDA

■ 計測条件

- ワイヤの巻き上げには、リフト速度約11m/min(約0.18m/s)の小型電動ウインチを使用 ⇒ 鉛直距離1mを約5.5秒で測定する速度
- また、使用したCCDカメラのフレームレートは30fps ⇒ 鉛直方向に約7mm毎で光セクション画像を取得
- 光セクション画像に対して、1° 毎に距離(半径)を算出

■ 計測対象(3つの計測事例)

■ 計測事例①: 地盤掘削孔



- ◆ 直径約0.7m, 深さ約0.6m
- ◆ 測定時間約3秒

■ 計測事例②: 鋼製型枠



- ◆ 内寸1.2m(L)×1.2m(B)×0.6m(H)
- ◆ 測定時間約3秒

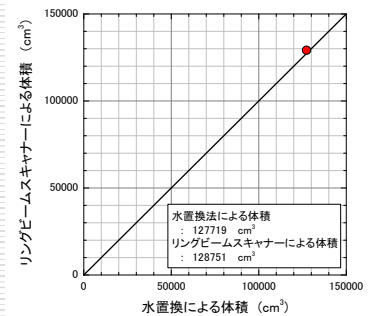
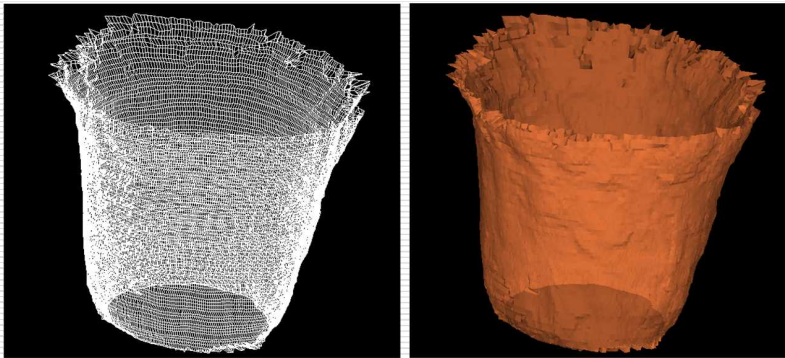
■ 計測事例③: ポリバケツ



- ◆ 直径0.5m, 0.65m
- ◆ 測定時間約3秒

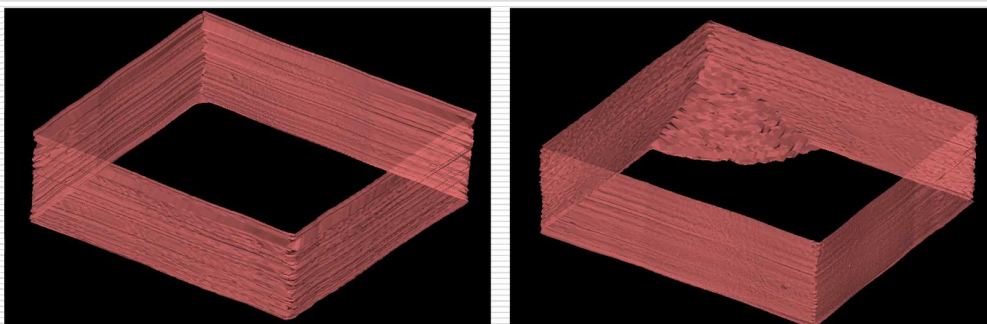
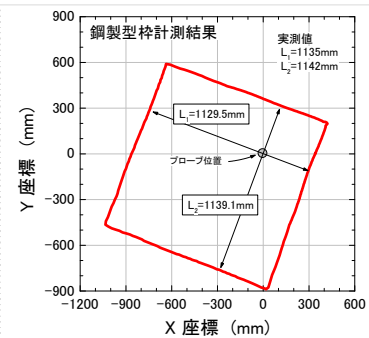
3. リングビームスキャナーによる計測事例

■ 計測事例①: 地盤掘削孔(前田建設 技術研究所 敷地内)



3. リングビームスキャナーによる計測事例

■ 計測事例②: 鋼製型枠内の土砂形状

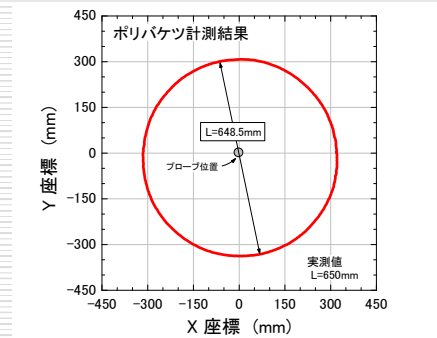
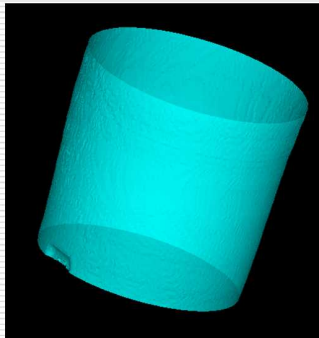
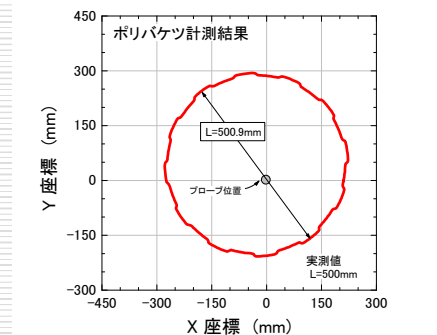
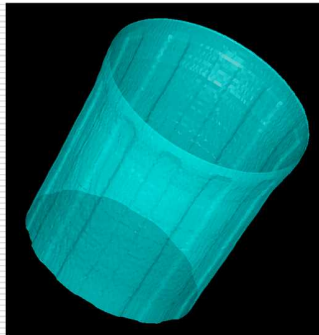




3. リングビームスキャナーによる計測事例

MAEDA

■ 計測事例③:ポリバケツ



4. 現場測定事例(広島土石流再調査)

MAEDA

■ 調査位置(広島県阿武山山頂付近)





4. 現場測定事例(広島土石流再調査)

MAEDA

■ 調査位置(広島県阿武山山頂付近)



13



4. 現場測定事例(広島土石流再調査)

MAEDA

■ 現場状況(空洞)



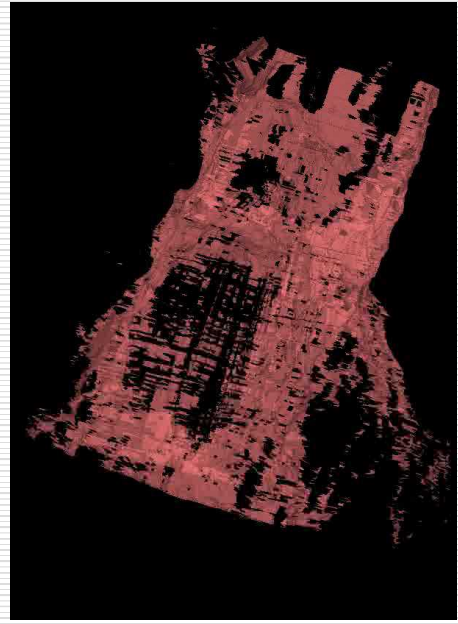
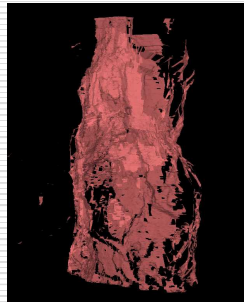
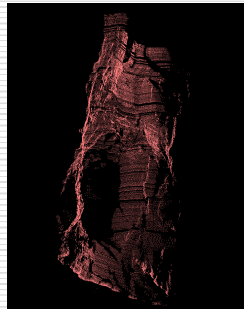
14



4. 現場測定事例(広島土石流再調査)

MAEDA

■ 計測結果(測定深度約4m, 計測時間約20秒)



15



5. まとめ

MAEDA

本報告では、地盤内空洞等の寸法・形状を安価かつ迅速に測定することを目的に製作したリングビームスキャナーの概要と、その測定事例について紹介した

■ リングビームスキャナーのメリットとデメリット

- 魚眼レンズ画像を処理することから、距離が遠くなると精度が低下(直径5mで誤差約1%)するため、計測範囲が狭い
- 計測対象の上端・下端では、計測不能な範囲が発生する
- 計測速度が非常に早い(事例では、1mあたり約5.5秒で測定)
- 計測が速く、プローブ自体も単純構造であるため、安価に計測可能
- 3DMSによる姿勢・位置補正により、ウインチ等を用いた比較的簡易な方法での測定が可能

地盤内空洞以外の測定にも幅広く適用することが可能であると考えられる

16