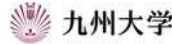


3次元データによる道路構造物の維持管理

九州大学大学院工学研究院
 附属アジア防災研究センター
 三谷 泰浩
 mitani@doc.kyushu-u.ac.jp



背景(1)

- 高速道路の交通量の増加，供用年数の増加により道路構造物の劣化が進行しており，その**管理・点検の重要性**が増している。
- ↓
- 構造物に大きな変状が生じた場合，その箇所の変位を計測する程度で，**構造物全体**としてどのような変状が生じているかについて，十分な情報を得られていない。
 - 構造物の変状箇所の把握は近接目視等で行われており，広範囲を対象とする際には，**長時間の作業・労力**を要する。
 - 変状把握をいかに**効率よく把握**できるかが課題

背景(2)

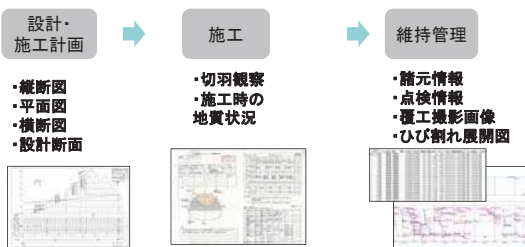
- 高速道路構造物の維持管理情報は，基本的に**2次元**の情報（図面情報，帳票情報）として管理されている。
- 実際の構造物は**3次元**であり，2次元のデータとするには，何らかの変換（実体から地物へ**抽象化・モデル化**）を行っている。特に**高さ**の情報については，2次元化したデータでは無視されている。
- 近年，**UAV**，**レーザースキャナー**など新しい空間情報取得技術が発達するとともに，**コンピュータ**の処理能力が向上し，大量のデータの処理が比較的要因になってきている。

目的・内容

- 3次元情報を活用したより高度な維持管理を行うための新たな手法を構築するため・・・
- 高速道路構造物のうち**トンネル**および**のり面**を対象として，**レーザースキャナー**および**写真計測**による計測を行い，3次元の空間情報を取得し，その結果に既存の維持管理情報等に関する情報を**GIS**を用いて**統合・蓄積**する方法を検討する。

高速道路構造物の維持管理の流れ

設計から維持管理に至る各段階で作成される情報が**個別**に管理されている。基本的に，紙，帳票ベースで保存されているため，情報を**一元**的に管理しにくい。（地質の広がり，形状，ひび割れの位置...etc）



2次元情報の限界

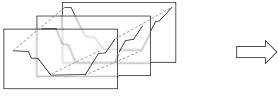
- 3次元の情報を**2次元**に変換（モデル化）して管理している。
- 3次元的な**空間配置**を無視している。空間的な定量評価に結びついていない。



- ✓ 例えば，のり面に存在するひび割れの長さは，2次元で表現すると実際の長さを表現できない。
- ✓ 高さ情報が無視されている。
- ✓ 3次元で表現することが合理的である

3次元化のメリット

2次元の図面による管理



3次元データによる管理



- 3次元データとして管理すれば2次元データとして表示することには問題がない。
- 3次元的な位置関係を用いた分析が可能になる。
- 情報が視覚的に把握しやすくなる(損傷箇所的位置や形状、地質の広がりなど)

レーザースキャナ

- 照射されたレーザーにより、対象物の3次元座標を短時間で大量に取得する計測機器。
- 測点は、座標値、RGB、反射強度のデータを持つ。
- FARO社製の「Focus 3DX 330」使用。
- 結果の処理：SCENE (FARO社製) Pointools (Bentley社製)

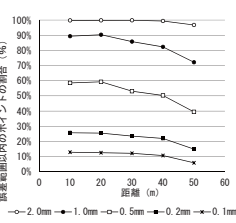
レーザークラス: Class 1
(直接目に入っても安全)
測定範囲
計測距離: 0.6~330m
水平角: 360°、鉛直角: -30~90°



レーザースキャナの精度検証

- 得られる点群データは正規分布的に誤差が生じることが知られている。
- 10~50mの距離で10mごとに白色に塗装された金属製の平面を計測する。
- 主成分分析で求めた近似平面からの距離を点群データの誤差とする。

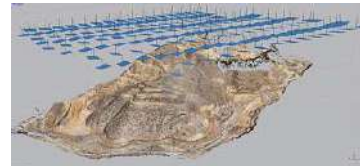
⇒50mの距離においても、96.8%の点群が誤差2.0mm以内で計測可能



計測距離と誤差の関係

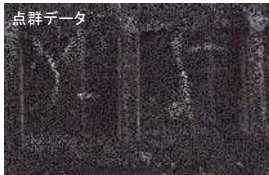
写真計測

- 撮影した写真から対象物の3次元モデルを作成し、そのモデルを使って計測を行う技術。
- 近年の高解像度カメラの普及とマッチング技術の発展に伴い実用化。使用カメラ：Pentax K-50、1600万画素、35ミリ判換算で焦点距離27.5~84.5mm相当の画角が得られる標準ズームレンズ。
- 結果の処理：Photoscan (Agisoft社製) 使用。



計測方法の特徴

- 点群データ
 - 形状を高精度で記録することが可能
 - 表面のRGBの解像度は点群の密度に依存
 - 照度が足りない場合にはRGBのデータは取得できない。
- ⇒表面のひび割れといった細かい損傷箇所の判読には不向き
- 写真計測
 - 形状の精度は写真の撮影状況で左右されるものの、通常の写真撮影と同程度の解像度でRGBが取得可能
 - ⇒ひび割れ等の損傷箇所は明確に把握できる。



統合手法

- 高速道路構造物のほとんどが、位置座標を起点からの距離標 (KP) によって管理されている。
- 距離標を用いて属性情報を格納する統合が可能であり、多様な空間的な解析を行うことができるGISを用いて統合を行う。



GIS (Geographic Information System)
属性情報を格納することができ、空間情報を用いてできる解析方法の種類が多い。

CAD (Computer-aided Architectural Design)
形状を正確に表現することにおいて優れているが複雑な属性情報を格納することができない。

トンネル構造物

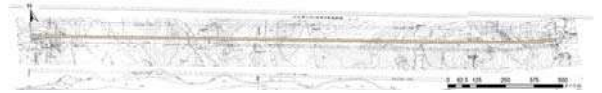
対象トンネルの概要

大分自動車道のトンネル

NATM工法による掘削，供用年数：約18年

➢ 延長2.3kmのトンネル

➢ 地質の状況など，施工時からの様々な情報が数多く管理されている。



計測概要(トンネル)

- ✓ トンネル全長2.3kmの計測を行う。
- ✓ 計測は，供用中に監視員通路から行う。
- ✓ トンネル内では，通行車両のために絶えず照度に変化することを考慮し，RGBの取得は行わず，**反射強度のみ**を計測。
- ✓ 点群データの結合は，ターゲットベースではなく，手動による結合と**ICP(Iterative Closest Point)アルゴリズム**を用いた結合を行うため，基準点の設置は行わない。
- ✓ GPSによる**絶対座標**を取得するためにトンネル両端の坑口の計測を行う。
- ✓ トンネル全長の3次元モデルの作成と属性データとの**統合**方法の構築を目的とする。

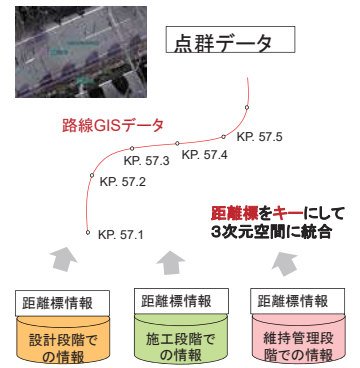
トンネルの3次元空間情報による統合の流れ

①3次元化の基準となる絶対座標を持つレーザスキャナによる計測で得られる**点群データ**

②**点群データ**の道路中心を基準に**距離標**をもつ**路線GISデータ**を作成

③**距離標**を基に，各種情報を**3次元空間情報**として統合

④**3次元空間情報**を用いた**分析**

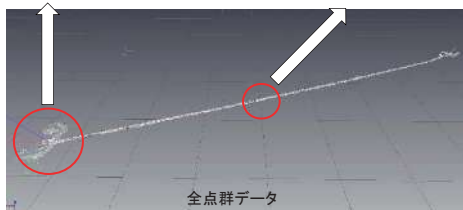


点群データ

坑口部分

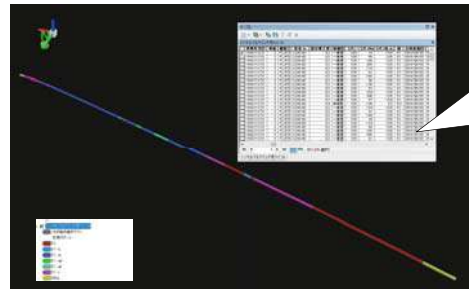


トンネル内部



全点群データ

諸元情報の格納



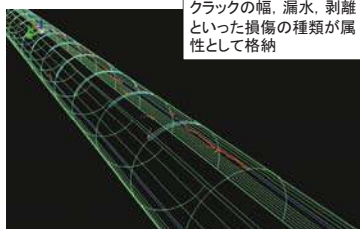
地山等級
支保パターン
設計覆工厚
スパン
断面区分
インパートの有無
...等の情報が格納

- 各種諸元情報を路線のセグメントごとに属性情報を格納
- チューブ形状を持たせることにより，**可視化・情報の集約**が可能

点検・補修情報



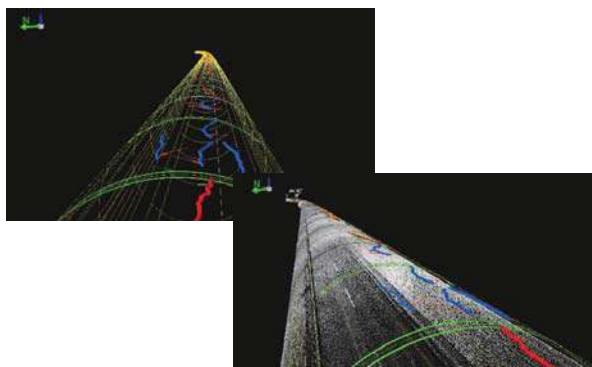
CAD形式の
損傷展開図



クラックの幅、漏水、剥離
といった損傷の種類が属
性として格納

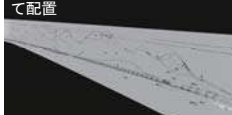
- スプリングラインを中心にトンネルに沿って、3次元化
- 点検・補修情報の**正確な形状を格納**でき、蓄積することで**経年変化**を追うことが可能

点検情報(ひび割れ)の統合

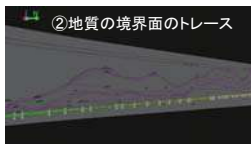


地質境界面データの作成

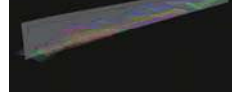
①地質縦断面図を路線に合わせて配置



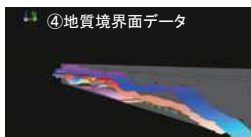
②地質の境界面のトレース



③地質境界面のラインデータをオフセット



④地質境界面データ



- 地質境界面のトンネルとの3次元的な交差、**位置関係を把握可能**

切羽観察データ

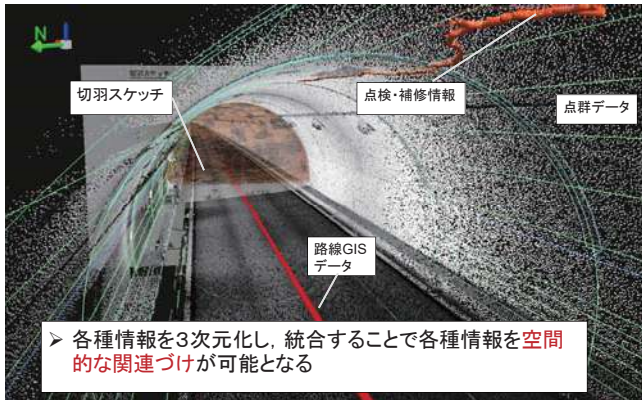


切羽評価点や記事などの
情報が属性情報に格納



- 切羽の観察スケッチを3次元モデル化し統合
- 掘進時の地質と地質縦断面図から、地質の境界面の形状を推定できる

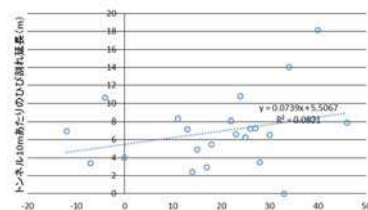
各種情報の統合結果



- 各種情報を3次元化し、統合することで各種情報を**空間的な関連づけ**が可能となる

分析結果の一例

- 切羽評価点とトンネル10mあたりのひび割れ延長の関係
- ✓ 切羽評価点が高いほど割れ延長は長い結果
- ✓ 地盤が悪いほどひび割れ延長が短い
- ひび割れ延長は地山の影響を受けていない可能性が高い。

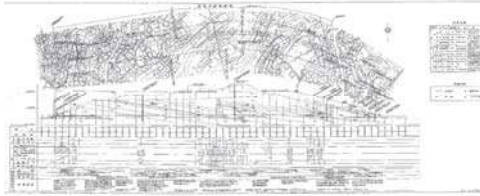


対象トンネルの概要

西九州自動車道のトンネル

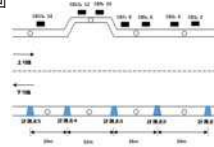
NATM工法による掘削、供用年数：約19年

- これまでの調査で側道の一部で地盤高の計測が行われており、供用開始から最大187mmの盤膨れが確認されている。

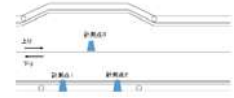


計測機器の配置状況

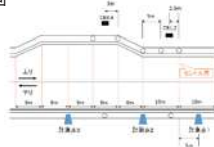
第1回



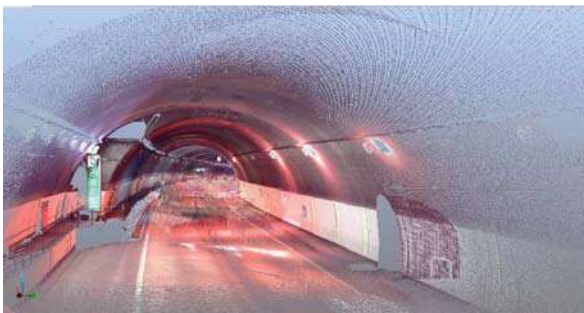
第3回



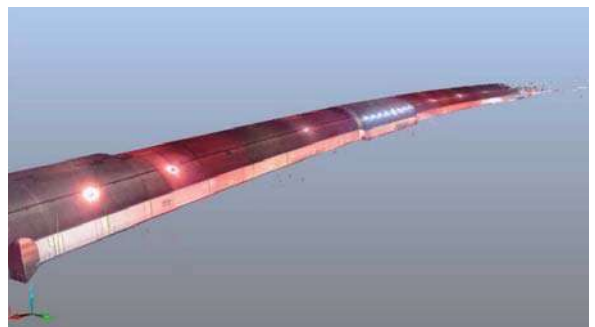
第2回



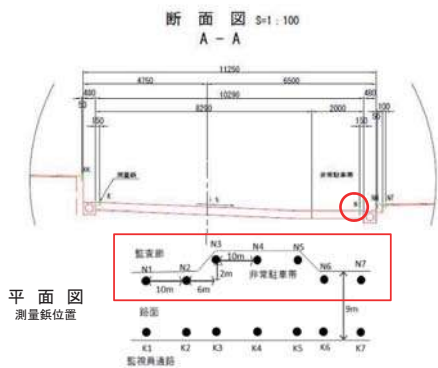
スキャン結果(点群データ:内部)



スキャン結果(点群データ:トンネル全景)

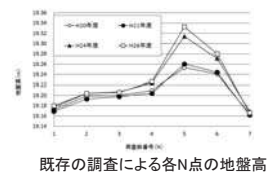
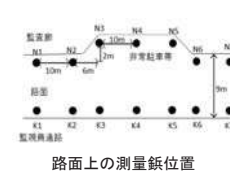


これまでの変状計測



これまでの変状計測

- 既存の調査で観位置のみで地盤高の計測が行われており、N5付近でH20年～H26年にかけて約80mmの変位、供用開始から最大187mmの盤膨れが指摘されている。



- 点のデータ（局所的なデータ）でしか把握できていない。