

(一社)日本写真測量学会関西支部
第73回空間情報話題交換会
2014年2月7日(金) 17:30-19:30
会場:常翔学園・大阪センター 301

SFM—多視点画像解析を用いた インフラ構造物点検調査への応用

(株)計測リサーチコンサルタント
取締役 クリエイティブ事業部長
西村正三
博士(工学)・技術士(建設)・一級建築士

提供する技術サービス (構造物診断)

1. 情報化施工(現場計測)
2. 構造物診断 (非破壊・非接触)
3. システム開発・製作
4. 画像処理技術
5. 環境計測

文化財への利活用
→
橋梁ヘルスマニタリングへの活用

提供する技術サービス (構造物診断)

光学的計測手法を用いた点検・調査・モニタリング



特徴点から生成された3次元モデル

橋長2m以上の橋の数は約60万橋
市町村の課題:組織、予算に制約
経済効果の高い調査手法
NPO+地元情報の活用
ex長崎大学の取り組み

多視点画像を用いた
特徴点から生成された3次元モデル

目次

1. 光学的計測手法の概要
2. 橋梁点検・調査の課題と解決策
3. 軍艦島における計測とモニタリング手法
 - ・ UAV ・ギガピクセル画像撮影システム
 - ・ 多視点画像を用いた3Dの応用



4. 橋梁への適用
 - 4.1 大芝大橋(UAV他)
 - 4.2 多視点画像を用いた点検
多視点画像を用いた検証・事例紹介
5. まとめ



多視点画像を用いた3D点検

調査点検手法

	面計測		点計測	
	デジタル写真測量	3D レーザ	GPS 観測	画像トータルステーション
概要	標的を設置し、航空機あるいは地上から撮影を行い、人手を解して座標を抽出。測定自体は比較的短時間にすみ、テクスチャ情報が得られる。	短時間に大量の三次元計測が可能、直接的に三次元データが得られ、昼夜を問わずに測定が可能。	人工衛星から送られる電波を受信し、受信点の位置を三次元的に測定。	観測データと画像情報を融合したデジタルカメラ搭載トータルステーション
イメージ				
長所	地上から撮影を行う場合手軽である。	自然対象物の形状全体を把握。リアルタイムに近い計測が可能。	高精度な三次元の座標が把握できる。	座標値を 5mm 単位で算出できる。
短所	天候の影響を受けやすい。基準点測量が必要。計測は手でデータの取得。時間がかかる。	データにはノイズが含まれる。測定距離が 76m までの範囲に限られる。	上空の視界が悪い位置では、不可。受信機を移動させる必要がある。	観測点どうしの見通しが悪い場所は測定できない。
精度	撮影距離の 1/1000~5000	標準 ±3~5mm	10mm+2ppm×L (水平 ± 10mm、高さ ± 10mm 程度)	±(3mm+2ppm×D) m.s.e~25m

文化財への応用計測例 写真測量・3Dレーザ

写真測量
広島平和都市記念碑 S57年
図面作成・復元整備

写真測量
鹿児島県 西田橋 H7年
図面作成・復元整備

写真測量・3Dレーザ
原爆ドーム H8年 / H13年
図面作成・保存管理

近代化遺産

写真測量・3Dレーザ
石岡発電所 H21年
3次元計測・図面作成

石見銀山清水谷製錬所 H18-21年
3次元計測・図面作成

旧シモレン野木町煉瓦窯 H17年 図面作成

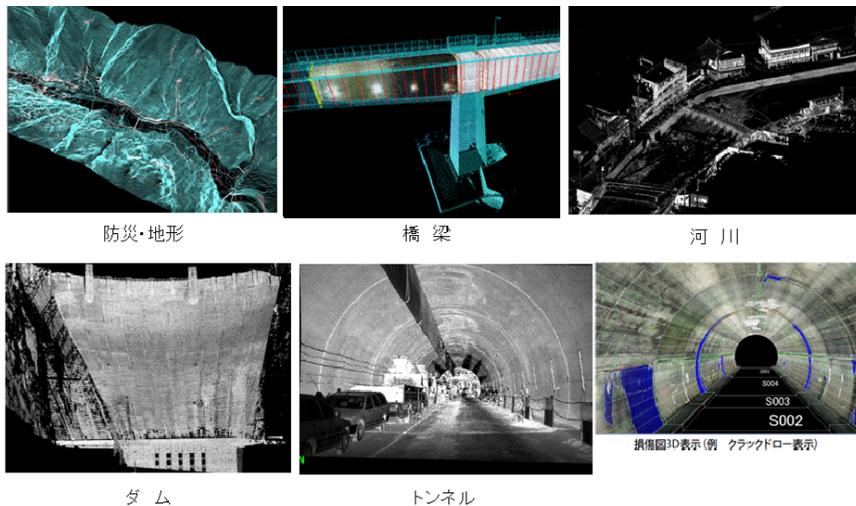
万田坑 H20年
3次元計測・図面作成

軍艦島 H22年
3次元計測・図面作成

構造補強・耐震

土木構造物への応用計測例

アニメ



<http://d.hatena.ne.jp/LM-7/20100124/1264370927>
Building Rome in a Day" (ローマを一日にして成す)



オープンソース
カスタマイズ可能

ソフト：Autodesk123D
acute3D・Agisoft Photoscan
pix4UAVほか

多視点画像3D

Bundler: Structure from Motion (SfM) for Unordered Image Collections

Software written by Noah Snavely
Download Bundler from the [bundler_sfm_repository](#) on GitHub
[What is Bundler?](#) | [Downloading Bundler](#) | [Documentation](#) | [References](#) | [Links](#)

Bundler のHPから

<http://www.cs.cornell.edu/~snavely/bundler/>

2. 橋梁点検・調査の課題と解決

■橋梁調査の現状の課題

- ・維持管理は定期点検(目視)によっている
- ・ばらつきや見落としも多く客観性や確実性が乏しい
- ・点検員や足場を含むコストが膨大

「見えるところを見る」

「診るべきところを診る」

点検・監視の効率化・確実性の向上

●持続的に維持管理ができるシステムの構築が不可欠

●「目をサポートする」—デジタルカメラや3Dレーザを用いた

「遠隔測定法・多視点画像3D」



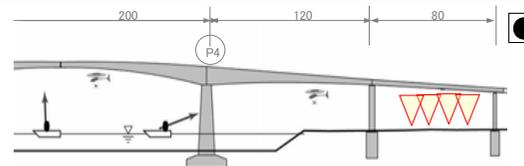
架設足場, 高所作業

2. 橋梁点検・調査の課題と解決

Pビデオ

望遠撮影の効率化
ひび割れ幅の算出
撮影位置が不確定

遠隔計測を適用した事例からの課題抽出



望遠撮影の効率化

床版下望遠撮影



ひび割れ貫通箇所特定



KUMONOSによる
ひび割れ計測

ラジヘリ撮影

ひび割れ幅算定

「遠隔測定法・多視点画像3Dを活用」



外部3Dレーザ計測



望遠撮影



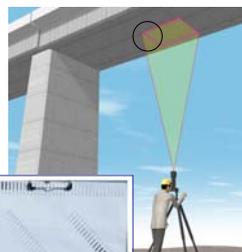
望遠撮影画像の合成

ひび割れ幅の算定

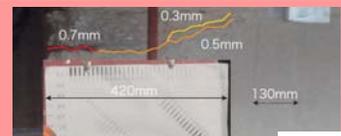
望遠撮影の効率化
ひび割れ幅の算出



KUMONOSによる
ひび割れ計測



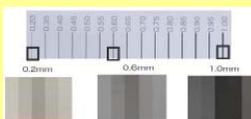
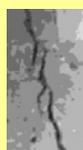
望遠レンズを用い
床版下撮影



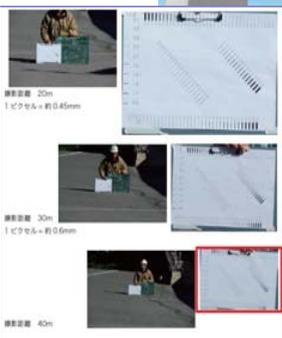
型枠の杉板目地: 幅130mm
スケールシート: 幅420mm
→撮影距離12mと合致
→ひび割れの太さを判定

- ・高所に位置する床版の効率的な点検と画像として記録
- ・基準寸法やクラックスケールが写し込まれていない画像からはひび割れ幅の算出ができない

・ひび割れ画像の濃淡分布に着目し、ひび割れ幅の算定が可能なシステムの構築—実証検証



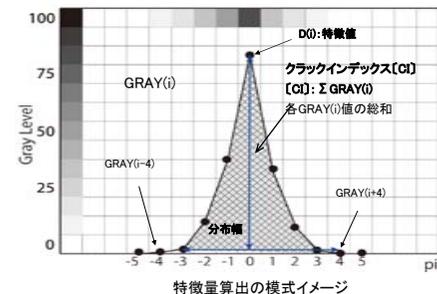
クラックスケール近傍の濃淡分布



事前に撮影距離をかってクラックスケールを撮影し、各ひび割れ幅を算出

ひび割れ幅の算定

クラック幅が大きいと
[CI]値も大きくなる



ピーク値から概ね±4ピクセルで周辺の基調レベルに落ちつく特徴値・分布幅を用いたひび割れ幅算出について検討
特徴値は下式で与える。

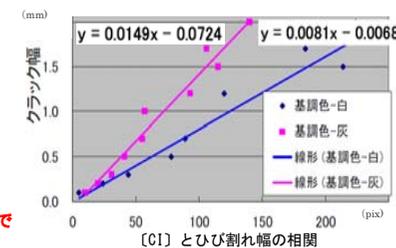
$$D(i) = (GRAY(i) - ((GRAY(i-4) + GRAY(i+4)) / 2))$$

[CI]: $\sum GRAY(i)$

クラックインデックス([CI])という指標を考案

[CI]は、分解能以下のクラックがCCDIに取り込まれた際に各クラックが有する面積といった概念。
クラック幅が大きいと[CI]値も大。
[CI]はクラック幅と明瞭な相関を持つ。

撮影された分解能以下のクラック毎に[CI]を求めることでクラック幅を定量的に算定可能。



3. 軍艦島の計測とモニタリングへの活用

成果概要

地上型3Dレーザ計測

データ容量が膨大・点密度上げてもDPIが割れずは満足できない

3Dデータ

モニタリング

検線抽出

差分処理

変遷 (カラーコンタ)

3Dレーザ計測
 構造物の損傷・劣化状態を調査するために、安全かつ容易な計測技術として3D計測技術が注目
 現状を忠実に把握・再現でき、効率・効果的な維持管理が可能。

	長距離モード	高速モード
有効測定レート	42,000 回/秒	122,000 回/秒
最長測定距離	600 m	350 m
自然物ターゲット ρ ± 90%	280 m	160 m
自然物ターゲット ρ ± 20%		
精度	5 mm	5 mm
視界	3 m	3 m
最短測定距離		1.5 m
レーザー波長		近赤外線
測定方式		オンライン波面分析

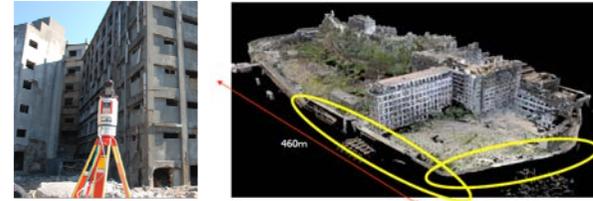


50カット(約20時間)で島の約8割を計測

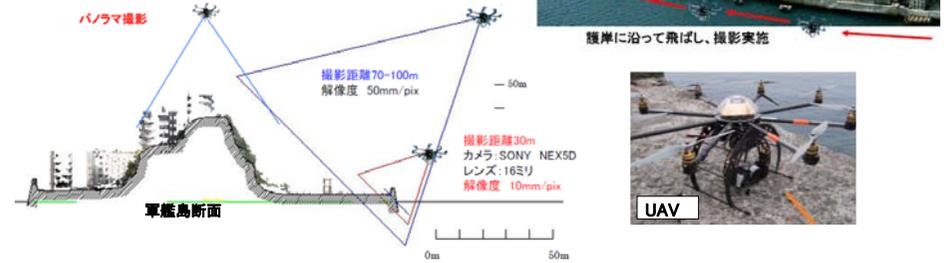
3. 軍艦島の計測とモニタリングへの活用

UAV (無人飛行体) の活用

UAVとAR



UAVからの画像を用いて、従来の手法で課題として残っていた護岸部分の計測・検証



3. 軍艦島の計測とモニタリングへの活用

SFM-多視点画像3Dの活用

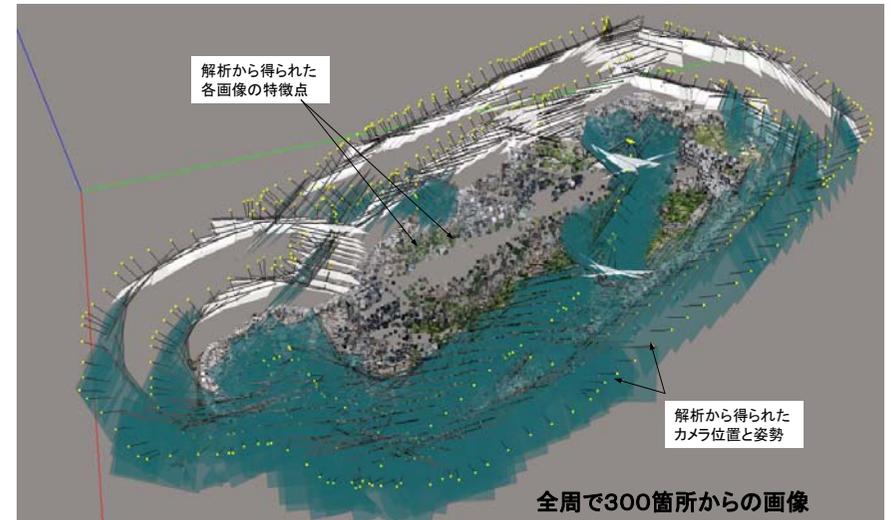
システム



300 枚の画像を元にSFM-多視点画像3Dで生成した護岸の3次元モデルの一部。
 DSM (Digital Surface Model-数値表面モデル) は、対象物の表面形状を点群データ、3次元のTIN、面的データに変換。
 TINモデルが形成できると、正射画像(オルソ画像)への変換、等高線、断面図として簡単に処理できる。(100億画素)

3. 軍艦島の計測とモニタリングへの活用

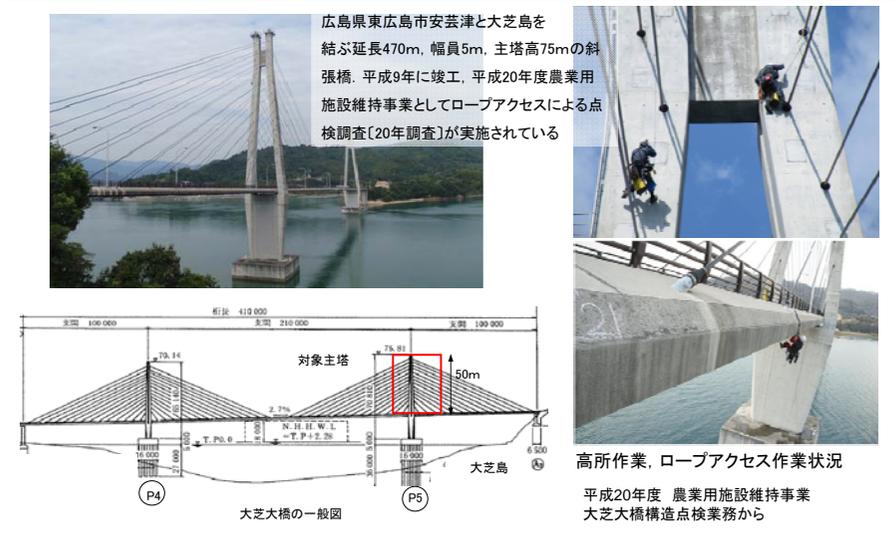
SFMでカメラ位置と姿勢を解析から得る



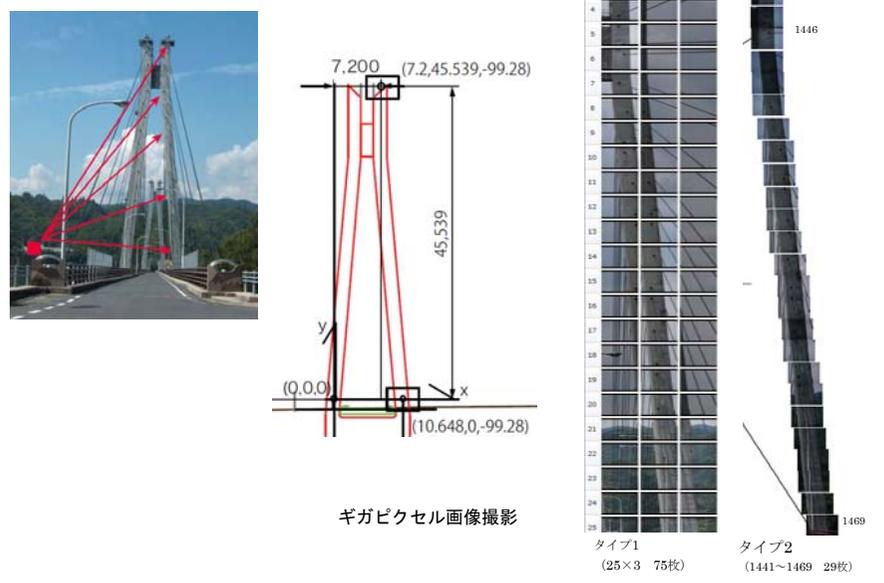
3. 軍艦島の計測とモニタリングへの活用



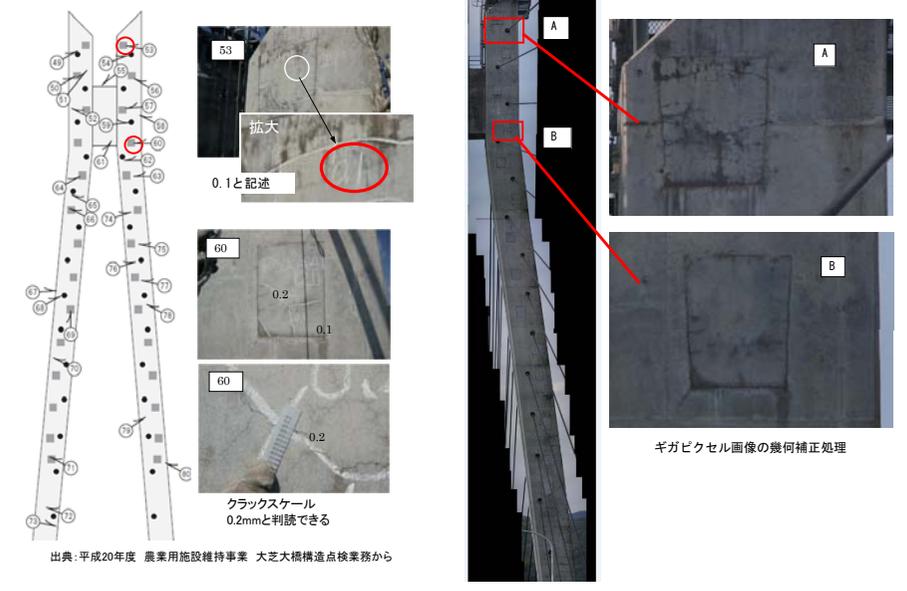
4. 橋梁構造物への適用 (大芝大橋)



ギガピクセル画像撮影システム



ギガピクセル画像撮影システム



ひび割れ幅判読図化システムによる検証

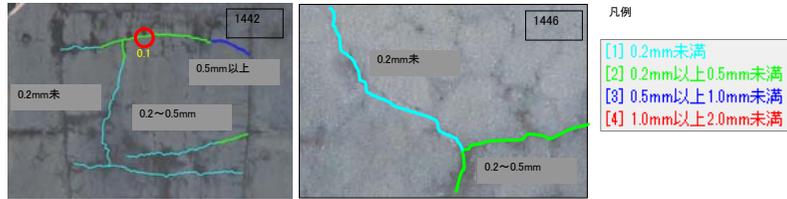
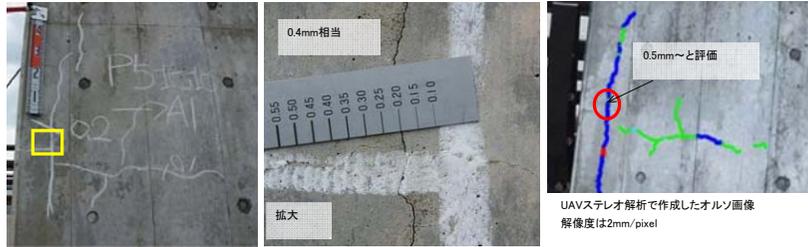


図26 擬似オルソ画像によるひび割れ幅算定結果

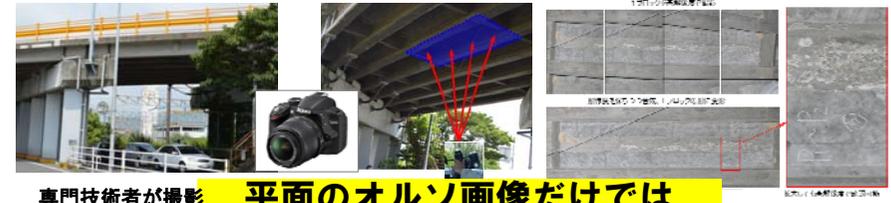


箇所C-〔20年調査〕（0.2と記されているがスケールからは0.4mm相当）

図27 箇所C-UAVステレオ解析画像によるひび割れ幅算定結果

多視点画像を用いた橋梁の3次元復元と点検調査

従来手法



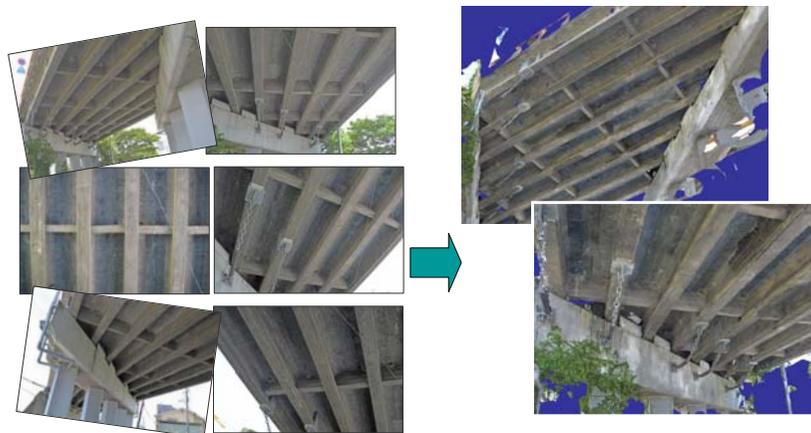
専門技術者が撮影 平面のオルソ画像だけでは
損傷を把握しにくい場合もある

NPO・地域住民の情報も活用した
より経済効果の高い調査手法を提案



多視点画像を用いた橋梁の3次元復元と点検調査

提案手法



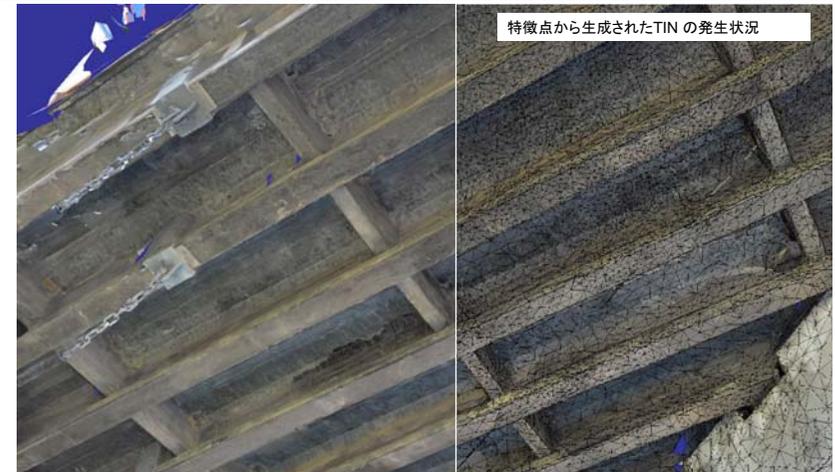
床版見上げ-回りにこみ画像

特徴点から生成された3次元モデル

Structure from Motion (SfM):
あるシーンを視点を変えながら撮影した複数枚の画像から、
そのシーンの3次元形状とカメラ位置を同時に復元する手法

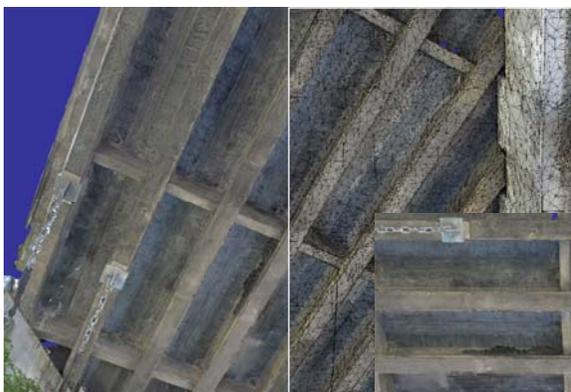
1. スナップ写真からの3Dモデル(点群データ) 自動生成
2. SfMアルゴリズムの確立
3. 超大規模3D復元

多視点画像を用いた橋梁の3次元復元と点検調査



100枚の画像を元に自動マッチング処理解析で生成した床版の3次元モデルの一部。ステレオマッチングで計測されるDSM(数値表面モデル)データは、対象物の表面形状をリアルな高密度データ(点群)として得ることができる。3次元のTIN(不整三角網)モデルは、正射画像(オルソ画像)への変換、等高線、断面図として処理可能。

多視点画像を用いた橋梁の3次元復元と点検調査



任意の方向から描画可能

PC-T桁の場合には品質の高い画像が得られる

特徴点から生成された3次元モデル



特徴点から生成された3次元モデル

多視点画像計測3Dの概要と展開について

Pビデオ

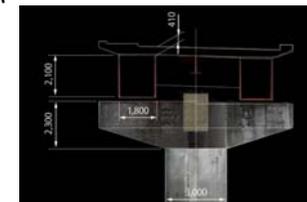
効率化

- ・画像だけで3Dモデルを構築(レーザ計測は使用しない)
- ・画像は市販のデジタルカメラで撮影
- ・UAVを活用すれば、仮設足場や交通規制が必要ない

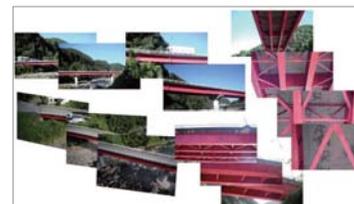
床版厚の計測可能

确实性の向上

- ・形状寸法と画像の両方が得られる
- ・形状寸法を計測し、橋梁一般図の復元が可能
- ・画像からひび割れ調査が可能
- ・剥離・鉄筋露出部の断面形状測定が可能



パンプ: パシフィックコンサルタンツ株式会社から引用



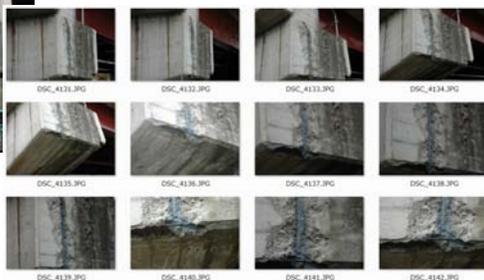
多視点画像計測3Dの概要と展開について



写真

橋脚に生じたかぶりコンクリートの剥落

30箇所からの画像



パンプ: パシフィックコンサルタンツ株式会社から引用

多視点画像計測3Dの概要と展開について

システム



特徴点から生成された3次元モデル



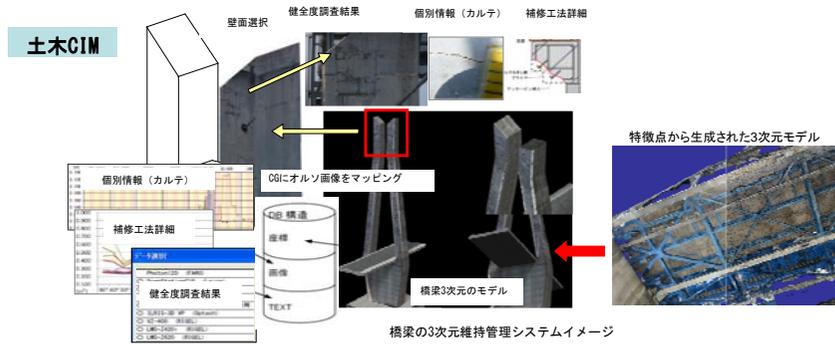
かぶりコンクリートの剥落の計測



パンプ: パシフィックコンサルタンツ株式会社から引用

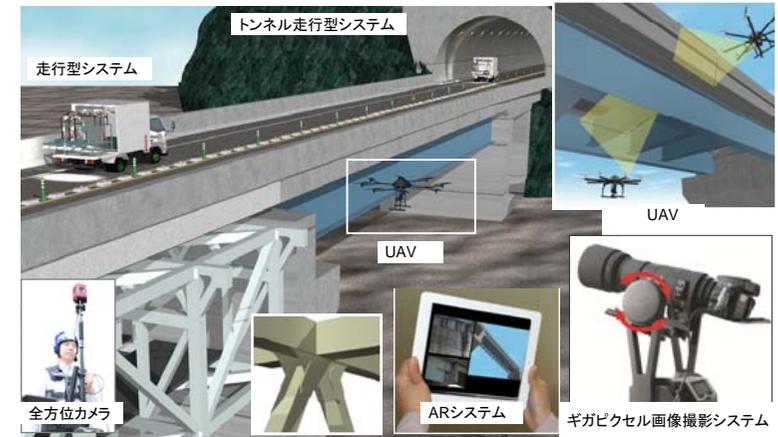
5.まとめ

- ・ひび割れ幅の判読: ギガピクセル画像撮影システムで作成した擬似オルソ画像は、ロープアクセスによる近接目視調査と同等のひび割れ幅抽出精度。
- ・UAV: ルートを設定しておくことで反復して撮影でき、上空同一箇所からのモニタリングが可能
- ・多視点画像を用いた橋梁の3次元復元は橋梁点検への応用可能性がある
- ・3次元維持管理: 3Dレーザ、ギガピクセル画像、UAVで得られた計測結果も含め、これらを一元的に管理する3次元維持管理システムへの展開

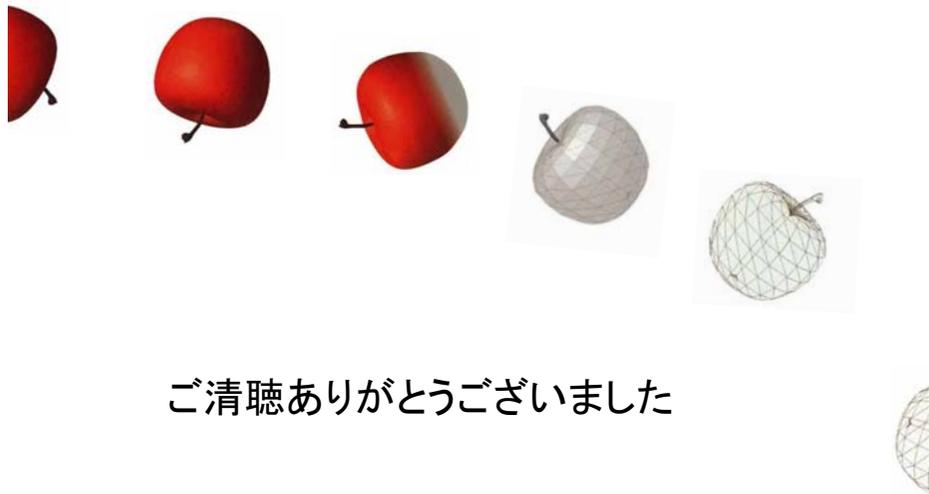


5.まとめ

遠隔計測情報を活用した点検・調査のイメージ



近未来の遠隔計測技術を用いた点検・調査のイメージ



ご清聴ありがとうございました