

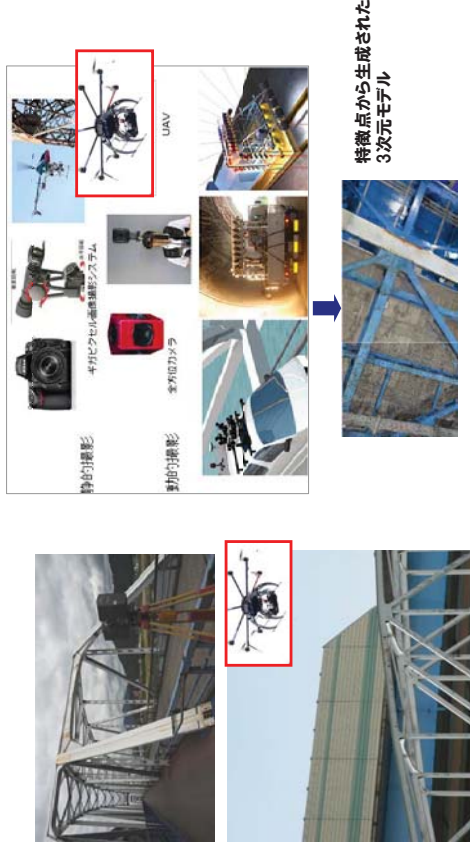
構造物に関する様々な長寿命化技術の現状と課題
 ◎ 13:00 ~ 13:30

ー 3D計測技術を用いた橋梁調査 ー

(株)計測リサーチコンサルタンツ
 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・測量士
 nisimura@krcnet.co.jp

光学的計測手法を用いた点検・調査・モニタリング



光学的計測手法の概要

	面計測	3Dレーザ	GPS 観測	画像トータルステーション
概要	デジタル写真測量 標点を設置し、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済み、デクスタ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。計測は手動でデータの取得。時間がかかる。	データにはノイズが含まれる。測定距離が70m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ない場所では測定できない。
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

1. 3次元計測技術の概要

- ・ 軍艦島デジタルミュージアムを例に

2. インフラ・橋梁維持管理における光学的計測手法の活用

- ① 3Dレーザスキャナによる構造物の3次元形状計測
- ② SFM・UAV・多視点画像3Dモデル構築技術

3. 某自治体インフラへの適用を例に

- ・ 地産・地消で情報収集・管理

4. 3次元データの展開 (CIM・AR・MR)

- ・ 若戸大橋のCIM構築事例の紹介

5. まとめ

3次元計測技術の概要 (自己紹介に変えて)

記録・保存

写真測量
 広島平和都市記念碑 1990
 図面作成・復元整備

写真測量
 鹿児島県 西田橋 1995
 図面作成・復元整備

写真測量・3Dレーザ
 原爆ドーム 1996/2001
 図面作成・保存管理

施工管理への活用

写真測量・3Dレーザ
 東京湾第三海峯復元 2000~

写真測量・3Dレーザ
 皇居中之門石垣 2006~
 修復設計・工事

写真測量・3Dレーザ
 東京駅保存復元
 オールの作成 2007~

近代化遺産 構造補強・耐震

写真測量・3Dレーザ
 旧・モレン野水門 2006~

写真測量・3Dレーザ
 万田塔 2008~
 3次元計測・図面作成

写真測量・3Dレーザ
 石見銀山清水谷製錬所 2008~
 3次元計測・図面作成

軍艦島デジタルミュージアム

1

2

軍艦島3Dモデル
 第四海峯復元
 第三海峯復元
 マウス操作

4Dで再現！ 軍艦島
 ・軍艦島の今を3Dモデルで再現
 ・当時の写真を元に第四海峯の復元
 (3D) + 時間軸 (1D) → (4D)

大面に3Dモデルのプロジェクションマッピング

30m

3D モデル構築とモニタリング

モニタリング

撮影画像 UAV+手撮影

特徴点

Camera Position

解析画面

3Dモデル

3Dモデル

2. インフラの調査・記録保存への光学的計測手法の活用

調査対象の橋梁70万橋 点検:350橋/日

足場・ロープアクセス・橋梁点検車を用いた近接点検

調査会社 技術者、有識者

発注 管理者 自治体など

地域住民・NPO

長崎大学 道守コースなど

技術者不足

財政難

橋梁台帳など提示

デジタルカメラを用いた地産・地消で情報収集・管理？

2. インフラの調査・記録保存への光学的計測手法の活用

インフラ構造物への要素技術

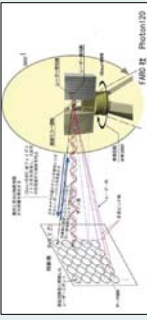
各要素技術		適用範囲
①3Dレーザースキャナによる構造物の3次元形状計測	形状計測	素因作成
②UAV活用による多視点画像3Dモデル構築技術	高架橋 主塔	床版裏ほか
③ギガピクセル画像による遠方目視調査	遠距離からの構造物性状確認	
④ひび割れ判別顔面化システム	ひび割れ抽出、評価判定	
⑤動的撮影技術	トンネル壁面、トラス鋼材	
⑥コンパクトデジカメによる監査廊変状抽出	ダム監査廊、隧道	
⑦RCトラス橋 床版下面撮影システム	橋りょう床版下面	
⑧レーザル摩耗検測器	鉄道、製鉄所 軌道レール	
⑨WEBベースの構造物カルテイングシステム	容易な損傷箇所の検索ほか	
⑩CIM管理による情報記録システム	各種施工管理、維持管理	

着目点 ①点検・分析装置 ②安全性 ③施工性 ④成果品質

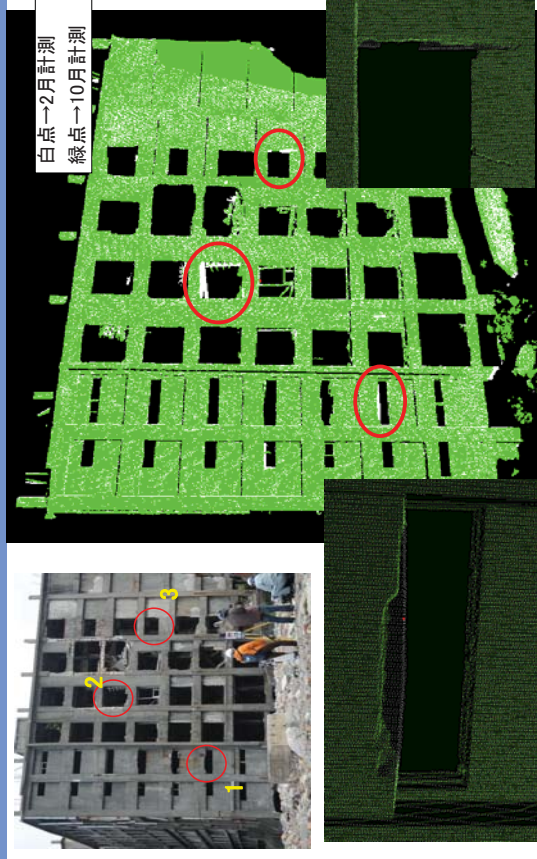
3Dレーザースキャナの種類

機器画像	長距離型3Dレーザースキャナ	中距離型3Dレーザースキャナ	近距離型3Dスキャナ
	Riegl VZ-400	FARO-PHOTON	Rev-Scan
測定範囲	1~500m	0.5~120m	0.3m
スキャンング/角 /速度	垂直100° × 水平360° 125,000ポイント/秒	垂直: 320° × 水平: 360° 120,000ポイント/秒	手動トレース 18,000ポイント/秒
レーザ波長	1540nm (近赤外)	785nm	原理: 写真測量
測定精度	標準±5mm (100mの時)	10mの時±2 mm	0.05~0.1 mm
レーザ強度	クラス1	クラス3R	クラス2

①3Dレーザースキャナによる構造物の3次元形状計測

計測対象(内容)	インフラ構造物、鉄骨、橋脚
構造物の材料	計測対象の材料は限定しない
計測手段	レーザ照射方式
製品例	三次元レーザースキャナ (Riegl VZ400、FARO Photonなど)
概要	3Dレーザースキャナは遠隔から非接触で高精度な三次元座標(点群)を取得できる計測器。対象構造物を連続的な面形状データで得られることから、構造物の形状確認、土工事など出資高管理などに適用できる。 点群の差分処理 レーザを測定対象物に照射し、反射光が戻ってくる時間とレーザの照射角度から、測定対象物の三次元座標を取得。各座標点はレーザ反射強度を保有し、内蔵カメラによりRGB色情報も付加
センサ概念 モニタリング イメージ	
適用条件・特徴	・面的に高精度な点群データを取得。複雑かつ大規模な形状を計測可能 ・短時間で計測(1箇所10分)でき従来測量より現場作業を格段に効率化 ・遠隔計測により危険箇所など安全に非接触で測定可能 ・任意断面、面積・体積計算、三次元モデル化など保存・加工が容易
計測精度	距離精度±10mm程度、点群密度は測定時間により可変
耐久性	5年

3Dレーザ計測・点群の差分処理



①: 窓マグサ(垂れ壁)の一部が落下

②SFM・多視点画像3Dモデル構築技術

計測対象(内容)	橋脚 ひび割れ 外観劣化 ・構造物
構造物の材料	コンクリート 鋼構造物
計測手段	カメラによる遠隔撮影
製品例	SFM 多視点画像撮影
概要	手持ちで一眼レフデジタルカメラを用いて遠隔撮影を行うことで、効率的に構造物の損傷を確認できる。
センサ概念 モニタリング イメージ	
適用条件・特徴	1.0mm/pixel →理論上、0.2mm程度のひび割れの確認可能
計測精度	
耐久性	

従来の写真測量では困難



床版見上げ一回りこみ画像

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

Structure from Motion (SfM): あるシーンを複数のカメラか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

SFM—インフラ構造物への適用



特徴点から生成された3次元モデル

②SFM・多視点画像3Dモデル構築技術

<http://d.hatena.ne.jp/LMF-7/201100124/1264370927>
Building Rome in a DayTM (ローマを一日にして成す)



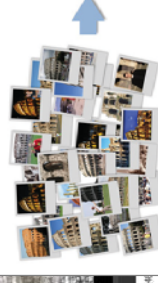
オープンソース
カスタマイズ可能

SFM—多視点画像3D

市販ソフト：2015現在
・acute3D・Photoscan
・pix4UAVほか

多視点画像3D

Bundler: Structure from Motion (SfM)



Software written by Noah Snavely
Download Bundler from the handler: [sfm_repositories.on.GitHub](#)
What's Bundler! | DownloadBundler | Documentation | References | Links |

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

SFM—インフラ構造物への適用




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

30mm

資料提供: ハジフインフラコンクリート株式会社

② UAV活用によるSFM・3Dモデル構築技術

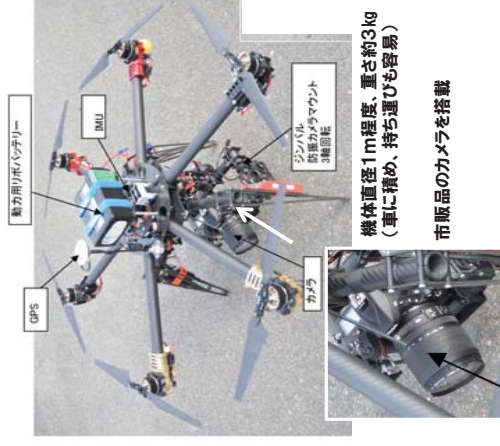
計測対象(内容)	橋樑 ひび割れ 外観劣状 ・陸橋橋
構造物の材料	コンクリート 鋼構造物
計測手段	UAVに搭載したカメラによる遠隔撮影
製品例	マルチコプター UAV
概要	UAV(無人航空機)に一眼レフデジタルカメラを搭載し遠隔撮影を行うことで、高所や水上など通常では人の立ち入れない場所において効率的に構造物の損傷を確認できる。
センサ概念 モニタリング イメージ	
運用条件・特徴	最大高度150mまで撮影可能。自動飛行可能。
計測精度	2.5mm/pixel → 理論上、0.5mm程度のひび割れの確認可能 (距離25m、1600万画素、f=55mm、画角7m*10mの場合)
耐久性	バッテリー寿命は充放電20回程度

鋼橋の桁損傷、床版の損傷把握への課題解決



「UAV」長所・短所の把握・活用方法

UAV(Unmanned Aerial Vehicle:無人飛行体)



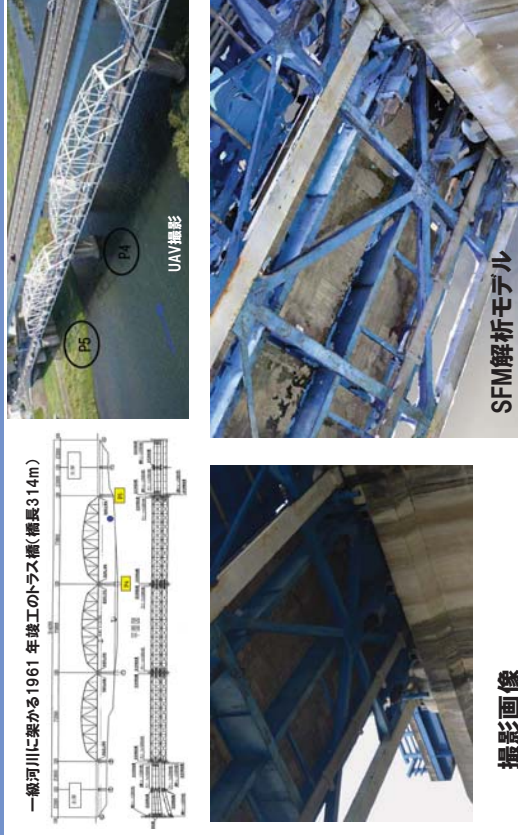
長所

- 小型・軽量のため運搬容易
- 操作者の**免許不要**
- 動作は**静音**(モータ駆動)
- 羽枚数が多く、飛行は**安定**
- 簡単に上空から**写真を撮影**
- 撮影写真を使って**立体化が可能**

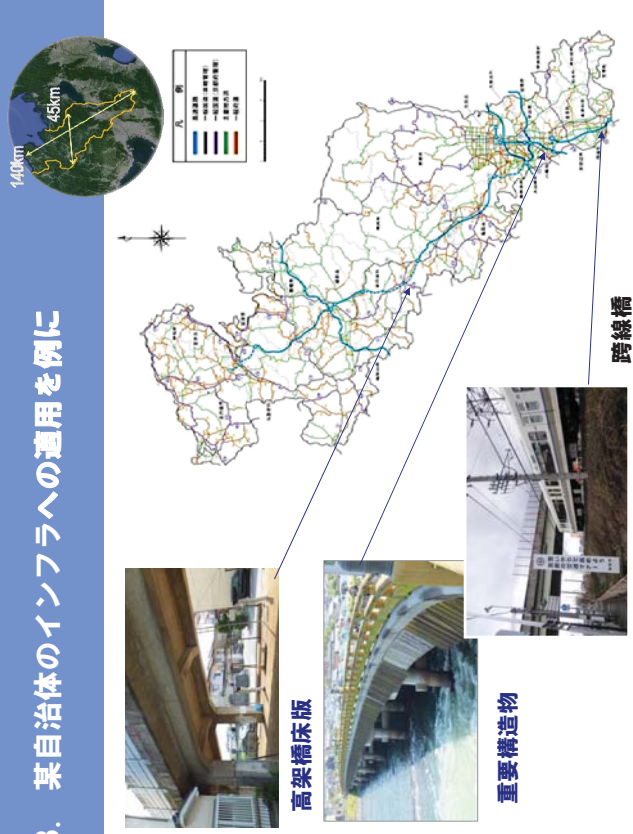
短所

- **飛行時間は短い**(最大15分)
- **強風時は使用困難**(10m/s以上)
- **目の届くところ**で操作(目視操作が基本)
- 150m以上 **高度飛行は許可必要**
- **墜落**として**操作不能もあり得る**

鋼橋の桁損傷、床版の損傷把握への課題解決



3. 某自治体のインフラへの適用を例に



高架橋床版

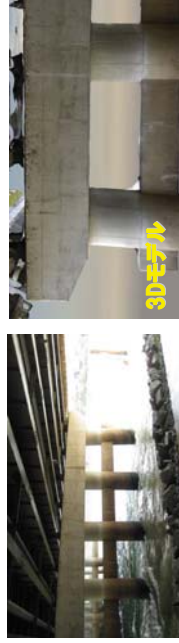


重要構造物



跨線橋

重要構造物 宇治橋



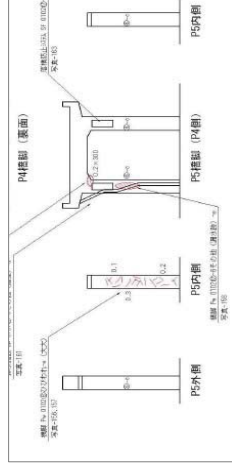
平成8年に架替えたもの
耐震性能(パイルベント基礎)

3. 某自治体のインフラへの適用を例に

SFMの活用 (手撮影)



現場経験ない職員がデジカメで撮影



3. 某自治体のインフラへの適用を例に

SFMの活用 (手撮影)

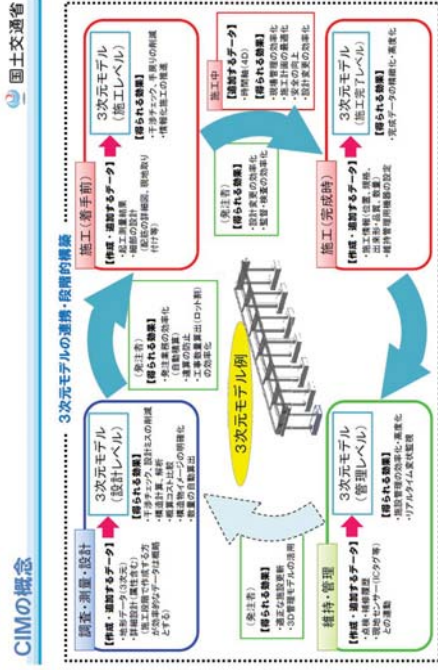


3次元モデルの壁面を任意の方向から画像書き出しを行うことで壁面のオルソ画像を(正射画像)作成することが可能。オルソ画像は正確な位置関係を示すことから、図面の作成や損傷図の作成に用いることが可能。

4. 3次元データの展開 (CIM・AR・MR)

CIM、ロボット、AR (拡張現実)、MR (複合現実)

CIM (Construction Information Modeling)



www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/cimno_gaiyou.pdf

若戸大橋におけるWEBブラウザを用いたCIM構築事例の紹介

若戸大橋におけるWEBブラウザを用いたCIM構築事例の紹介

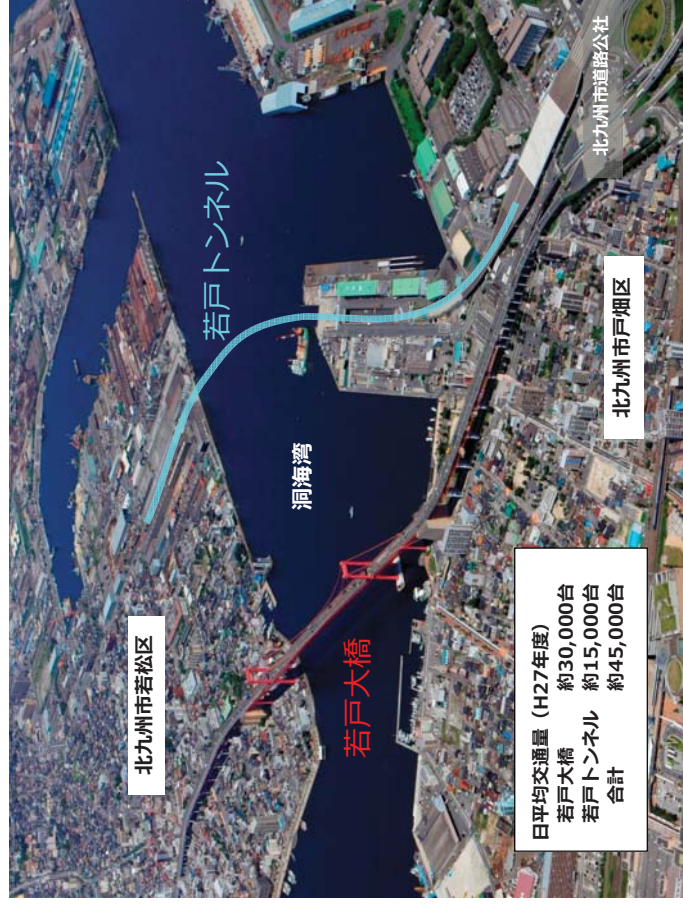
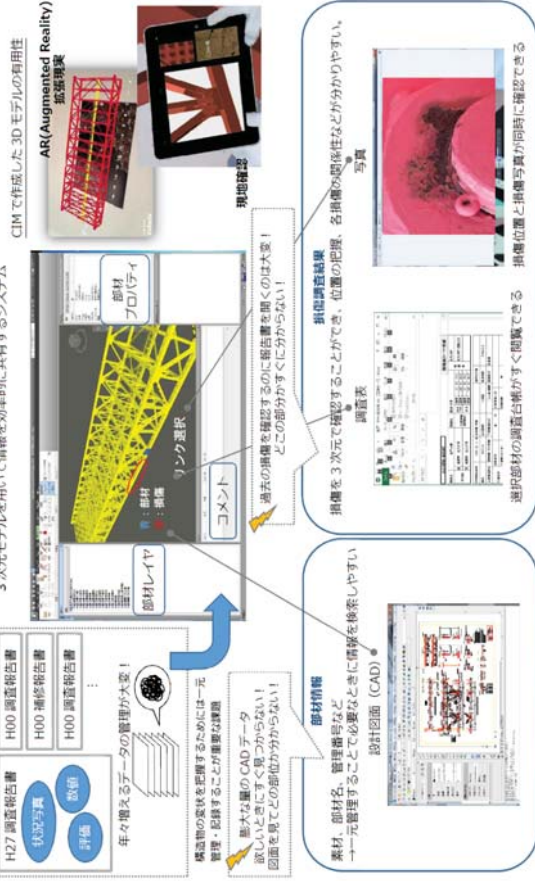


北九州市道路公社

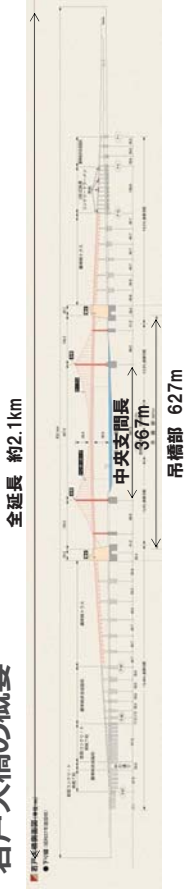
4. 3次元データの展開 (CIM・AR・MR)

CIM (Construction Information Modeling)

3次元モデルを用いて情報を効率的に共有するシステム



若戸大橋の概要



有料道路名	若戸大橋（昭和37年9月供用開始）
道路名	一般国道199号
延長	約2.1 km
橋梁形式	3径間2ヒンジ補剛トラス吊橋 支間長（367 m）吊橋（627 m）
車線数	4車線（B＝15.2 m）
道路規格	4種1級
設計速度	50 km/h



戸畑橋台付近からの眺望

若戸大橋の概要



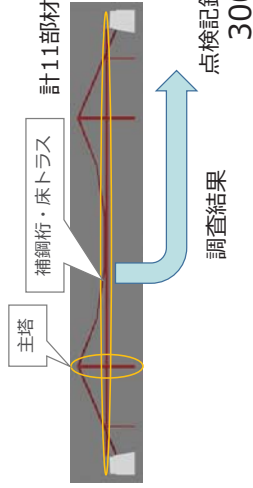
戸畑橋台付近からの眺望

開通50周年記念イベント 1 DAYウォーキング

- ◆ 昭和37年9月に供用開始
- ◆ 我が国初の長大吊橋としての建設技術 ⇒ レインボーブリッジ、明石海峡大橋
- ◆ 「若戸大橋の健全度評価に関する技術検討委員会」（H18年）での評価 ⇒ 今後、適正な維持管理を継続できれば、さらに100年以上健全性を維持できる
- ◆ 現在53年経過 ⇒ 「最小の経費で最大の効果」を発揮する維持管理手法

若戸大橋の定期点検について

定期点検要領では主な部材を11に分け、全部で60以上の点検項目
 変状が確認された場合点検記録シートを作成（H27年度では全部で300枚以上）
 変状レベルの高い大きいものや第三者災害につながるものはさらに詳細な点検を実施
 専門用語が多く、複雑な構造をすぐに理解することは難しく技術の継承が課題
 年々変状が増え、全ての点検結果を把握することが難しくなってくる



点検項目	主塔、補剛桁、床トラス
点検回数	1回/年
点検記録シート	300枚以上
点検結果	調査結果

資料提供：(株)ブリッジ・エンジニアリング

国の動き

● CIM(Construction Information Modeling) (2013～)
 設計、施工段階で構築されたデータを生かし維持管理へ展開

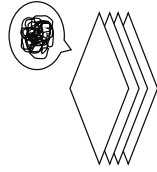
● i-construction (2015～)
 →ICTの全面的な活用を進める取り組み
 ● 情報化施工 ● ロボット技術

- ・ 若戸大橋では竣工図を2DCADで描き起こし、維持管理に活用
- ・ CIMは3Dモデルを作成するだけでなく、パーツに属性を持たせ管理していくツール
- ・ 3Dモデルに維持管理情報、補修履歴情報や写真などをリンクさせ経年変化の把握や維持管理、補修計画の立案・工事までを一元管理することが可能
- ・ 情報の継続的伝達が可能(行政の連携性)

従来の維持管理

結果は記録シートに記載され、主に紙ベースで管理

- 確認したい変状記録シートを見つけない
- 変状写真はあるが、紙ベースであり拡大して閲覧できない
- 変状の確認(写真、位置の把握など)が難しい
- 必要な記録の検索性が良くない



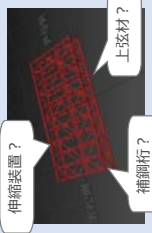
必要な記録の
検索性が課題

大量の点検結果、工事履歴など

目的 CIMの効果

視覚的な効果

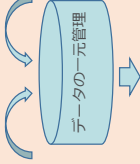
- 部材名称や構造の理解



若戸大橋の構造について詳しく知らない人でも直感的に理解しやすく、打ち合わせなど室内での確認時には認識のずれ防止にも効果的

情報の共有化

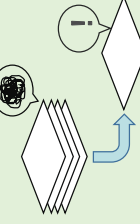
- 最新情報の共有



データを一元管理することで共通の情報を共有できる。常に最新の情報。引継ぎにも有用。

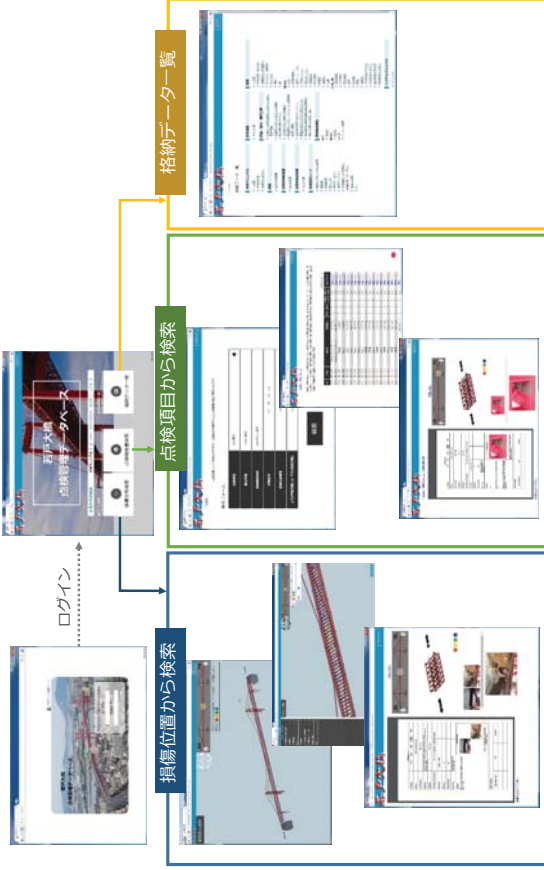
維持管理の効率化

- 情報検索性の向上



紙ベースだとどこに何が記載されているかわからず、写真も確認しづらい。確認したい情報の検索性、閲覧性の向上が期待できる。

WEBブラウザを用いたCIM構築事例



3Dモデル (50年を経過し拡幅工事なども行われており、構造が複雑)

どの程度まで3次元化するかが、課題

■ リベット



■ ボルト



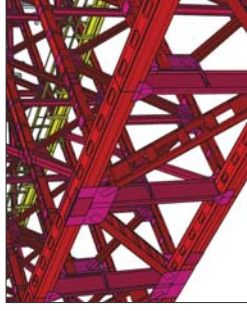
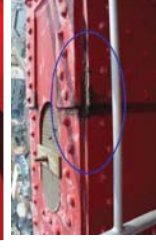
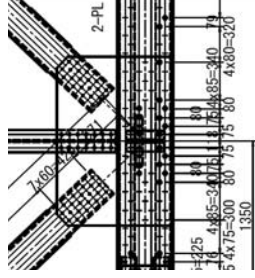
若戸大橋ではリベット・ボルトが混在

- トラス構造で部材構成が複雑(継手が多い トラスの継ぎ手はリベット)
- トラス構造に道路桁(鋼床版)が乗っている。(トラス構造と道路桁の取合い構造が難解 継手は高カボルト)

CIMモデル構築の課題

- 如何にして作成するか
(主構造+添加物...)
- どこまでモデル化するか

2DCAD:



リベット他の取り扱い・データ容量が課題

CIMモデル構築の課題

- 如何にして作成するか
(主構造+添加物...)
 - どこまでモデル化するか
- 計測データから変状も同時に作成:**

→ 試行例の紹介

- ・SFM・多視点画像から作成
- ・レーザデータから作成



メタル・交錯した場合巧くモデルが生成できない課題がある

CIMモデル構築の課題

- 如何にして作成するか
(主構造+添加物...)
- どこまでモデル化するか

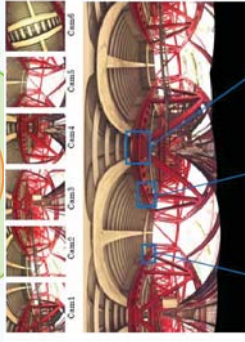
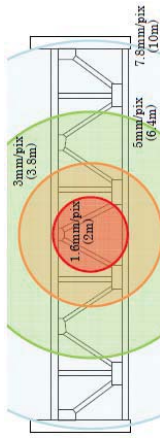
全方位カメラ・視認範囲・解像度の確認

使用機材



Ladybug5 (Pointgray 社)

- ・500 万画素のカメラを6基配置
- ・2448 × 2048pix
- ・30 メカピクセルを最速10fps で撮影



管理路を歩行しながら点検・損傷把握の試行

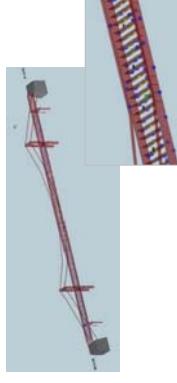
WEBブラウザ (3Dモデルの表示)

WEBで表示するためにモデルを簡略化

詳細モデル



概形モデル



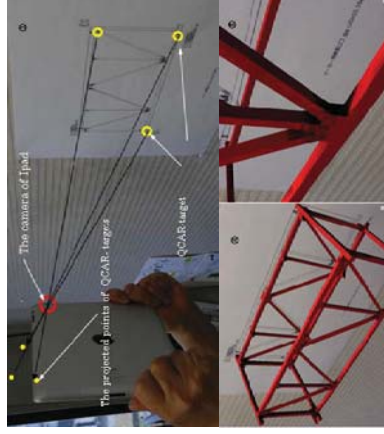
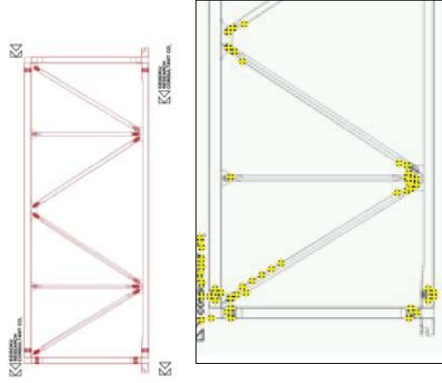
目的：点検記録シート記載損傷の位置確認
作成モデル：図面を元に作成

目的：損傷分布の確認
作成モデル：詳細モデルと座標を合致させ
トラス構造をなくし簡略化

目的 ⇄ モデル作成レベル

表示できる容量、必要精度などによって3次元モデルの再現レベルを変えている

AR 拡張実感—Augmented Realityの活用



橋梁におけるAR—拡張実感の例

AR 拡張実感—Augmented Realityの活用



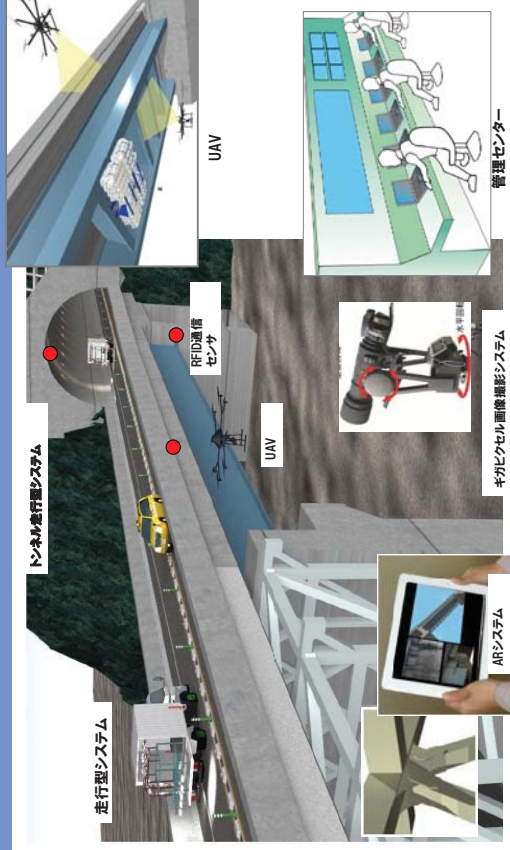
現地での確認イメージ

マーカーを貼り付ける

タブレットで覗くと以前の点検調査表が映し出される
作成したCGモデルを任意の位置から見ることが可能

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

