# 

西村正三\*,\*\*,出水享\*\*,松田浩\*\*\*

# The Proposal to the Infrastructure Research of the Future as Seen from Survey and Verification on Gunkanjima-Island —3D Laser Scanner • Photogrammetry • UAV • AR—

Shozo NISHIMURA, Akira DEMIZU and Hiroshi MATSUDA

As Gunkannjima-island, in order not to ruin the huge number of infrastructure which were built in the period of high economic growth, it is necessary to inspect the infrastructure as soon as possible and to maintain them by the appropriate method. In this paper, some applications of advanced optical equipments such as 3D-laser, photogrammetry, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Augmented Reality (AR) have been shown for the buildings in the Gunkanjima-island. In addition, these optical measurement technology, are described "how can be applied to the measurement of infrastructure"

**Key words**: Industrial Heritages, Gunkanjima-Island, Optical Measurement Techniques, Monitoring, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Gigapixel Imaging System, Augmented Reality (AR)

# 1. はじめに

筆者らの一人は、これまで光学的計測手法である写真測 量や3D レーザスキャナを用い、世界遺産原爆ドームの記 録保存、石垣修復支援システムの開発、近代化産業遺産の 保存活用整備に向けた調査・研究を行ってきた<sup>1)-9</sup>.

Fig. 1 は予め飛行経路を設定し自動飛行が可能な無人飛行体(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)にカメラを搭載し撮影した軍艦島である.軍艦島は,かつては海底炭鉱によって栄え東京以上の人口密度を有していたが,1974年の閉山とともに以後40数年間無人島となった.島内には,大正から昭和の各時代を反映した鉄筋コンクリート構造物が残存し,その劣化過程の影響を詳細に把握することが可能な野外博物館としての捉え方もできる.現在軍艦島は産業遺産の世界遺産暫定リストに記載され,長崎市の端島・高島炭坑の文化財指定に向けた調査・検討が進められている<sup>10)</sup>.

しかし,劣悪な環境の下,日々劣化が進行し,大きく形 態が変化することも十分考えられた.そこで,3D レーザス キャナなどで取得した 3D データから効率よく破損図を作 成する手法,および複数時期にまたがる3次元情報から崩 落箇所の抽出と崩落体積の算出を試行・検証してきた<sup>7,9</sup>.

一方,わが国の高度経済成長期に建設された膨大な量の 構造物は次々と劣化が進み,その管理と評価技術の高度化 が一層求められる状況にある<sup>4)</sup>. Fig.2 は塩害で桁が大き

原稿受付 2012年6月18日
\* 学生会員 (㈱計測リサーチコンサルタント (〒732-0029 広島県 広島市東区福田1-665-1)
\*\* 学生会員 長崎大学大学院生産科学研究科博士後期課程 (〒852-8521 長崎県 長崎市文教町1-14)

\*\*\*\* 正会員 長崎大学大学院工学研究科 (〒852-8521 長崎県 長崎市文教町1-14) く破損した事例である.本文では、今後わが国のインフラ 構造物を軍艦島のような廃墟にしないために、3Dレーザ、 写真解析、UAV、拡張現実感(AR:Augmented Reality)な どの光学的先端機器を軍艦島の構造物の計測に適用した事 例を示すとともに、これらの光学的計測技術が「如何にイ ンフラ構造物」へ適用できるかについて解説する.



Fig. 1 The situation of Gunkanjima-Island



Fig. 2 Example of a damaged bridge

## 2. 光学的計測手法と情報の保存・活用

# 2.1 概要

構造物の維持管理を行うためには、まず構造物の置かれ ている環境を含め構造物の規模・形状を詳細に把握して破 損図などを作成しておく必要がある.現在市販されている 形状計測手法としては、トータルステーションや全地球測 位システム(GPS: Global Positioning System)に代表される点 計測手法、および 3D レーザスキャナやデジタル写真測量 に代表される面計測手法がある<sup>2)</sup>.また構造物の劣化を診 断し余寿命を予測するためには、例えば鉄筋コンクリート 構造物(以下, RC 造と称す)のひび割れの進展状況とそ の劣化メカニズムを面的に正確に把握し、その情報をデー タベース化しておけば、長期にわたる構造物の電子カルテ が蓄積され、構造物の診断に活用することができる.以下 ではRC 造,鋼構造を調査することを想定し,面的に計測 が可能なデジタル画像,写真測量,3Dレーザスキャナにつ いてその概要を紹介するとともに軍艦島に如何に適用した かを解説する.

#### 2.2 デジタル画像・写真測量

# 2. 2. 1 デジタル画像の概要

構造物の調査を行うに際し、デジタルカメラを用い、デ ジタル画像を記録する. Fig. 3 は、静止状態での撮影や、 トンネル壁面調査のように走行しながらの撮影など、撮影 条件の違いで各撮影機器を整理したものである. 全方位カ メラ (Sphere camera) は、Google マップのストリートビュ ーに代表される移動しながらのパノラマ展開画像を生成す るもので、撮影するだけで均等な間隔で現地の状況把握が できる. しかし現状のパノラマ展開画像は画像解像度が低 く構造物点検に必要な詳細把握まではできない<sup>11),12)</sup>.

Fig. 3 に示す高精細画像取得システム (Gigapixel imaging system) は、カメラを搭載することのできるモーター付きの雲台で、設定した撮影範囲内を所定のラップ率を保持しながら連続的に撮影し、格納された膨大な画像は専用ソフトによって一枚に合成処理される.また上空から撮影する場合は、従来のラジコンへリに加え、最近は、UAV にカメラを搭載して撮影することも多々ある<sup>9</sup>.

# 2. 2. 2 デジタル画像からの判読

RC 造のひび割れを評価するには0.2mm以上のひび割れ 捕捉が必要とされる<sup>13)</sup>. 一眼レフデジタルカメラ(以下, 一眼レフカメラ)を用いた静止画撮影の事例では,汚損の ない明るい壁面の場合,画像解像度の1/10程度までの認識 が可能である<sup>13)</sup>. 例えば,撮影対象面を解像度 2mm/pixel で撮影すれば,0.2mm のひび割れまでが認識できることと なる(Fig. 4). 認識可能なひび割れ幅や部位の判読レベル を Fig. 5に示す. これは遠隔からデジタルカメラを用い撮 影したボルトの欠損・錆発生状況の判読と画像分解能を整 理したものであり,径 30mm のボルトの抜けを確認するた めの解像度は 3mm/pixel が必要であることを示している. 対象物の大きさに適合した解像度が必要となる<sup>12)</sup>.



Fig. 3 How to handle digital image (Standstill photography and run photography)



Fig. 4 Relationship between the angle of view for photographing and recognizable crack width



Fig. 5 Resolution-Visibility Chart

Fig. 6 は、 損傷検出のデジタル画像機器の位置づけとし て横軸に画像センサの画像解像度 (mm/ pixel),縦軸には 秒あたりの撮影枚数 fps(Frames Per Second)を整理したもの である.最近市販された全方位カメラは,撮影枚数は 15fps から 5fps に下がるものの、画素数が 2MP (megapixel)から 5MP と高画素となり、より詳細画像を取得可能となった. また筆者らは、図中に示す工業計測用カメラを複数台同期 させ、トンネル壁面やモノレール軌道桁など線状構造物の 調査に活用している.システムは時速 15~30km 前後で走 行しながら対象面のひび割れを詳細に画像取得する.しか し工業計測用カメラは一眼レフカメラに比べ被写界深度が 浅くピントを合わせにくいなどの課題もある<sup>10</sup>.

ー方,一眼レフカメラの広い撮影画角,大きいダイナミ ックレンジなどの利点に着目し,通常は静止画撮影が主体 の一眼レフカメラを複数台同期させた走行型高精細画像シ ステムについても検討している<sup>12)</sup>.

要は,調査目的に応じ,撮影距離,動体撮影の如何,撮 影枚数などから最適な撮像機器を選択する必要がある.



Fig. 6 Positioning of the digital imaging equipment of the injury detection

## 2. 2. 3 デジタル写真測量

ステレオのデジタル画像からは3次元モデル生成が可能 である.最近ではデジタルカメラの高性能化とソフトの充 実により土木,建築,文化財,工業計測といった分野にお いて,デジタル写真測量(画像計測)に対するニーズが高 まっている<sup>3)</sup>.計測には左右方向から撮影した最低2枚の ステレオ画像を用い,解析後の3次元データと画像データ を用いて,テクスチャ付きの3次元モデルを作成し,パソ コンの上で計測した結果を任意の視点から3次元として観 測し,視覚的に評価できる.以下にその流れを示す.

# 1) 基本原理と処理の流れ

写真測量の原理は, Fig. 7 に示すように, デジタルカメ ラで撮影した左右2枚の画像を用いて3次元計測を行う. 左右の異なる位置O1, O2から対象を撮影し, 画像上の対 応点P1, P2を計測して, 三角測量の原理により, 対象の3 次元座標 P が求められる. この例は,カメラの傾きのない 平行撮影という理想的な場合を想定したものであり,実際 には基準点を何点か一緒に写し込んで,撮影した時のカメ ラの位置や傾きを求める標定作業を行う. このように 2 次 元の画像データから 3 次元の情報を得ることを,ステレオ マッチングという.



Fig. 7 Basic principle of photogrammetry

#### 2) 精度

写真測量においては、通常撮影距離の 1/1,000 程度が精 度といわれてきた<sup>13)</sup>.しかし最近のソフトはターゲットの 中心(重心)を半自動で算定することで、個人差なく高精 度で標定できる.撮影距離に対して、凡そ 1/3,000、すなわ ち距離 30m で 10mm 程度の精度で計測が可能となる.

# 3) 標定

標定とは、計測対象を撮影した時のカメラの位置と傾き を求める作業であり、通常、座標のわかっている基準点を 3 点以上写しこんで、基準点と画像との対応点を計測して 算出する.基準点がなくても画像の特徴部分を対応付ける ことにより画像座標のみで仮のカメラの位置と傾きを計算 し、後で既知点の座標値や2点間の長さを入力すれば3次 元座標に変換できる.

4) 3 次元計測・図化

図化とは、対象物の輪郭などの形状を3次元でトレース する機能であり、計測した点と点をポリラインで連続的に 結線する.

## 5) データ処理

ステレオマッチングで計測される DSM (Digital Surface Model – 数値表層モデル)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. これらの点群データから 3D の TIN (Triangulated Irregular Network – 不整三角網モデル)モデルなどの面的なデータに 変換する. 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.

# 2. 3 3D レーザスキャナ

#### 2.3.1 3D レーザスキャナの概要

3D レーザスキャナは,計測対象物とセンサの間をレーザ パルスが往復する時間を計測することで距離を計測し,同 時にレーザビームを照射した方向から,計測対象点の3次 元座標を取得する装置である.測定原理は,レーザが測定 対象物で反射して戻ってくるまでの時間から3次元位置情報を求めるTOF(Time-Of-Flight)方式と,数種類のレーザ 波長の位相差(干渉波)で計測距離を算出するフェーズシ フト方式がある.市販されている一例をTable1に示す.前 者が毎秒10万点に比べ,後者は毎秒90万点の計測速度の ものが市販されている.いずれにせよ膨大な点群量となる. また,構造物を内外から計測しデータを合成処理すること により断面図などを作成できる.そのときターゲットを内 外から見渡すことができれば作業性が良くなる.

## 2.3.2 3D レーザスキャナの特徴

特徴として,非常に短時間で広範囲を測定できることが 挙げられる.現在,測量の主流である光波測距儀やGPS に よる測量と違い,Fig.8 に示すように,一度のスキャニング で大量のデータを取込み,そこから必要な3次元座標を抽 出し,形状計測,変位計測が短時間で行える.各機種で使 用しているレーザ光の帯域(紫外線から近赤外)によりそ の精度(分解能)と到達距離が関係する.取得データは, 座標情報,各点の反射強度に加え RGB 情報も同時に得る ことができるものもあり,これらの情報から必要な点デー タを DXF, ASCII, TEXT, VRML などのファイル形式で 収録保存する.また距離に応じて適切な計測密度となるよ うに設定することも重要である.3D レーザ計測における 誤差要因を Fig.9 に示す.その中でも現地計測を行う際に 最も影響があると考えられるのが,点密度に影響を与える 計測距離と入射角である.



Fig. 8 Measurement image of 3D laser scanner

Maker	Faro-Photon	Riegl VZ-400	
Range	Middle Renge	Long Renge	
Image			
distance	120m	600m	
precision	3mm	5mm	
area	320×360°	100×360°	
Measurement	976,000	122,000	
rate/s			
wavelength of	near-infrared rays	near-infrared rays	
the laser			

 Table 1
 Example of the 3D laser scanner
 equipment



Fig. 9 About factor of measurement error

# 3. 軍艦島での活用例

本章では構造物の崩壊が進行している軍艦島において 筆者らがこれまでに実施検証してきた構造物調査法を,① 形状・損傷検出,②画像処理,③記録,④照合の各フェー ズ毎に整理し,明確になった事項などについて解説する.

## 3.1 形状・損傷検出(3Dレーザ・写真解析)

3D レーザ計測は、遠隔から形状をあるがままに取得でき る有効な手段である. Fig.10 は、軍艦島 30 号棟の壁面の点 密度が 5~10mm 程度になるように計測した例を示してい る. 3D レーザ計測で全体を計測し、損傷部位を把握できる ようにするためには、そのデータ量は膨大となり、データ 保管・処理解析などの観点より現実的ではない. その解決 策として稜線抽出処理法を採用し、その結果、大幅に容量 を削減できることを確認した<sup>の</sup>. また、3D レーザ計測の点 群表示手法の違いによる判読レベルに関して検討した結果、 点群の「球体表示手法」は写真とほぼ同程度の鮮明さで構 造物を把握でき、あるがままの不整形な形状を簡易に破損 図作成までを支援できることを確認した<sup>7)</sup>.



Fig. 10 Situation of the measurement using the 3D laser

# 3.1.1 稜線抽出

3D 点群データからの稜線抽出の手法は、点群データから面を抽出し、その境界を稜線とすることで抽出する手法

が多々報告されている<sup>15),16)</sup>. 以下では Fig.11 の解析イメージを用いて解説する. Fig.11 において,①は,3D 計測により,各点における3次元座標が得られること,②および③は,取得した3次元の各点を注目点としその近傍の n×n 点の座標から面の法線ベクトルを算出するイメージを示している.このように注目点と隣接する点の法線ベクトルの向きを比較し,その差が予め決めたしきい値よりも小さければ同一面とし,面の抽出を行う.このとき対象の破損の状況に応じてしきい値を設定する.最後に面の境界部分において,隣接する面との交線を算出し,稜線として抽出する.

Fig.12(a)は計測した位置からのレンジ画像を,Fig.12(b) はその法線から抽出したセグメンテーション画像である. これらの画像からも柱・梁の構成がよくわかる.また柱の 一部が欠損した部位Iはその破断の稜線が抽出されている. Fig.13 は,壁が1面だけ残存した煉瓦アーチ構造部の結果 であり,アーチの曲線部であっても形状を保持して抽出さ れていることがわかる.点群のみでは形状の確認が難しい が,稜線抽出することで階段やアーチ構造をより明確に確 認できる.





Make a range image by calculating The Image of a normal vector horizontal/vertical angle



③ Picking out surfaces in the same direction from the direction of the normal vector.Same color indicatessame direction

Fig. 11 The image of picking out break-line process (ex : TOPCON ScanMaster)



Fig. 12 The result of picking out break-lines (30<sup>th</sup>building)



Fig. 13 The result of picking out break-lines

#### 3.1.2 点群の球体表現手法

数千万点にも及ぶ 3D レーザ点群をインタラクティブに 視点を移動させ描画すれば,点群で構成された構造物の形 状をより認識しやすくなる.これは人の目のもつ残像効果 などによるものである.最近では膨大な点群モデルを効率 的にインタラクティブにレンダリングする球体表示ビュー ワも市販されている.一定方向から光を与え球体に陰影を 付けることで,構造部材や損傷部位も立体的に表現される.

Fig.14 の①は通常の点群表示であり,破損部位は判読し にくい.一方,Fig.14 の ②は点群を球体表示することで, 陰影が付与され表面の剥離の状況までを確認できることを 示している.この球体表示オルソ図を利用した図面化につ いて検証した.球体表示ではテクスチャーマッピングと同 レベルのカラー・陰影オルソ図が容易に作成でき(Fig.15 ①),破損図を作成した例を Fig.15②に示す.このように 柱・梁が写真と同程度に明確となり,破損図作成までの工 程が従来に比べ 3~5 割程度に低減することができた<sup>6)</sup>. Fig.16 は Fig.1 とほぼ同じ位置から俯瞰表示したものであ る.写真とほぼ同程度に表示されているのがわかる.



Fig. 14 Reading level by the difference in indication technique of the point group ① Point group indication ② globe indication



Fig. 15 A drawing using a globe indication ortho figure

![](_page_5_Picture_3.jpeg)

Fig. 16 Bird's-eye view of the production institution which displayed a globe

# 3. 1. 3 点群差分処理による崩落進展部位の特定

通常変状箇所の抽出やモニタリングには、時系列の写真 を入念に見比べて実施することが多いが、規模が大きくな ると煩雑な作業となる. Fig. 17は, 30号棟の壁面を対象に 3Dレーザで計測した2時期(2010年2月および10月)の計測 結果を基に劣化進行把握を検証したもので、図中赤丸で示 す3箇所で崩落箇所が確認できた<sup>6)</sup>. Fig.18は, Fig.17①, ② の詳細写真であり、鉄筋の発錆・膨張によるひび割れが崩 落に至った様子を示している.また2012年には、上記に加 え計3種類のレーザ(Riegle VZ-400, GLS-1000, FARO-Focus) を用い、15mm程度の点密度であっても、またいずれの機種 においても崩壊進行箇所を同様に確認できた. このように 3Dレーザ計測で複数時期にまたがる3次元情報から崩落箇 所の抽出と崩落体積の算出が可能であり、今後の劣化状況 をモニタリングする手法としての活用可能性が見出された. Fig.19, Fig.20は, 並行して実施した表面はらみだしの検証 結果であり,詳細に計測すればレーザのみでも10mm程度の はらみだしを抽出することができることを示している.

![](_page_5_Figure_7.jpeg)

Fig. 17 Southwestern side of 30<sup>th</sup> building and Picking out collapsing part

![](_page_5_Picture_9.jpeg)

Fig. 18 The detail pictures of part ① and ②

![](_page_5_Picture_11.jpeg)

Fig. 19 Deformation part of 30th building

![](_page_5_Figure_13.jpeg)

Fig. 20 The spectrum showing of deformation part

## 3. 1. 4 UAV (無人飛行体)からの外観変状調査

UAVは機体にGPSとジャイロを搭載し,予め飛行経路を 設定しておくことで自動飛行により対象部位を詳細に撮影 することができるこれまでのラジコンヘリ操作と比べ習得 が簡易で調査担当者自らが使用することも可能である.

Fig. 21, Table 2に今回用いた機体 (MK-8)の概要を示す. 現状では、バッテリー駆動で1.5kgまでのカメラを搭載でき、 風速10m/sの強風時でも飛行可能 (ラジヘリは5m/s) である. Fig. 22, 23に軍艦島で飛行撮影したフライトプランの一部 を示す. Fig.24は、護岸構造物の3D モデル化と詳細オルソ 画像から損傷図作成までのフローを示したものである. 3D レーザでは計測が困難な護岸周りをUAVに搭載したカメラ でステレオ撮影し、一部レーザ計測で得たポイントを標定 要素に加えることで、写真解析を行った.このようにUAV を用いることで上空の同じ箇所から反復して撮影ができ 「空中からのモニタリング」が可能となる.さらに、機体 を上空で回転させて撮影した画像を一枚に合成したパノラ

![](_page_6_Picture_4.jpeg)

Fig. 21 The image of UAV

Table 2 S	pecification	of the	body
-----------	--------------	--------	------

Body weight	1,260g
Wind velocity	10m/s
Continuation flight time	$15 \text{min} \sim$
Loading weight	1.5kg
Range which can be controlled	1~1,5km
Flight level	~300m

マは自在に閲覧が可能で,まさに Google のストリートビュ ーの「上空版」としての有効性・有用性は高いものと考え られる.

![](_page_6_Figure_9.jpeg)

![](_page_6_Figure_10.jpeg)

Fig. 22 The flight plan of UAV

![](_page_6_Picture_12.jpeg)

Fig. 23 A setup of a flight route

![](_page_6_Picture_14.jpeg)

Fig. 24 The flow of creating 3D surface

## 3. 1. 5 全方位カメラ (Sphere camera-Ladybug3)

歩行時の振動を吸収する防振装置に PC と全方位カメラ を搭載した撮影システムを用い,島内を歩行移動しながら 撮影・記録した<sup>¬)</sup>.この装置を用いることで,瓦礫が散乱 する場所を歩行しながらでも安定した連続画像を PC に収 録できた.また GPS と連動させることで地図上に歩行経 路表示可能である.撮影画像はタブレット型 PC (例えば iPad)で,自在に 360 度パノラマで表示可能であり,次回 の点検時に現地で崩壊箇所などの確認も行うことができる. ただし,現状では,解像度が1カメラあたり 2MP であり, ある程度接近しなければ画像品質を確保できなかった.後 日 (2012 年 6 月),静止・固定点からの撮影であるが,下 記に示すギガピクセル画像撮影装置で全周撮影を行うこと により,遠望からの計測により十分に耐えうるパノラマ展 開画像を作成できることを確認した<sup>9</sup> (Fig. 26).

![](_page_7_Picture_3.jpeg)

Fig. 25 Sphere Imaging System (Ladybug3)

Fig.27 は、先述した UAV で撮影し作成したパノラマ画像 と地上からのパノラマ画像を統合させ、各箇所(Hot-spot) で自在に閲覧が可能にしたシステムの例である. Fig.27 の ②~④は UAV を用いた上空からのパノラマ画像を、⑤、 ⑥は地上からのパノラマ画像をマウスで回転・拡大・縮小 させながら自在に閲覧できる様子を示している.

このように膨大な枚数の詳細写真の品質を落とすこと なく画像の管理ができるので、モニタリングにも有効であ ると考えられる.

![](_page_7_Picture_7.jpeg)

Fig. 26 Sphere Imaging System (Gigapan)

![](_page_7_Picture_9.jpeg)

Fig. 27 The panoramic radiography system from the Sky and the Ground

#### 3. 1. 6 ギガピクセル画像撮影システム

望遠レンズを装着し損傷部位を詳細に撮影する場合,膨 大な写真整理と撮影位置の確認作業に労力を要していた.

Fig.28, 29 に示すギガピクセル画像撮影システムを用い ることで効率化が図られるかを検証した結果,当該システ ムで得られた膨大な画像を自動合成(Stitch)することで数 10 億画素の画像を作成でき管理が容易にできた<sup>9)</sup>.しかし 当該画像は,撮影位置から回転角度が大きくなると歪みが 増大し画像品質に大きく影響を与える.今後は撮影装置と 3D レーザの形状データから,幾何補正処理を行うことでモ ニタリングにも活用可能なオルソ化についてのシステム化 を行っていく必要がある.

![](_page_8_Figure_4.jpeg)

Fig. 28 Gigapixel imaging system

![](_page_8_Picture_6.jpeg)

Fig. 29 Situation of shooting images using Gigapixel imaging system

# 3. 2 画像処理(ひび割れ幅判読図化システム)

RC 造のひびわれ幅進展を評価するには 0.2mm 以上のひ び割れ捕捉が必要とされる. Fig.30 は撮影したクラックス ケールをグレー階調で表したものである. 拡大画像からク ラック部分とそれ以外がサブピクセルレベルで取り込まれ ることが判る. このように各クラックの幅は, グレー階調 (0~255)の差となって現れる. Fig.31 はクラック近傍の濃 淡分布を模式化したものである. 濃淡分布から各クラック 幅は,その特徴である特徴値及び分布幅の違いとして現れ, クラック幅が大きいと特徴値と分布幅が大きくなる. そこ で特徴値及び分布幅を用いたひび割れ幅算出法について検 討し,各ひび割れの「特徴値×分布幅」としてクラックイ ンデックス(以下, [CI]と称す)という指標を考案した<sup>8)</sup>. [CI]は,ひび割れが CCD に取り込まれた際に各ひび割れが 有する面積といった概念であり,ひび割れ幅と明瞭な相関 をもつ. なお特徴値は下式で与えられる.

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

ここに, D(i): 特徴値 GRAY(i)

: 各ひび割れピーク値の Gray レベル

クラック毎に[CI]を求めることでひび割れ幅を定量的に 算定可能となり,自動で解析され各幅に応じたひび割れが CAD として描画・出力が可能である.30 号棟壁面で検証 した結果を Fig.33 に示す.当システムを用いることで,遠 隔から詳細に撮影した画像で正確にひび割れ幅までを算出 でき,損傷図作成の省力化を図れることが確認できた.

![](_page_8_Figure_15.jpeg)

Fig. 30 Expansion of the image which photographed Crux marrow cabbage

![](_page_8_Figure_17.jpeg)

![](_page_8_Figure_18.jpeg)

![](_page_8_Figure_19.jpeg)

![](_page_8_Picture_20.jpeg)

Fig. 33 A calculation result and system screen

#### 3.3 記録・保存(画像検索システムの活用)

画像登録・検索システムのイメージを Fig.34 に示す. 全方位カメラと一眼レフカメラ 2 種類の各カメラの特徴で ある画角と解像度に着目して開発した「画像検索システム」 について概要を説明する.全方位撮影はその場の全周囲の 画像が自動・リアルタイムに収録される.一方,一眼レフ カメラを用いた撮影は,調査技術者が,経験・知見を基に 必要十分な解像度で実施する.登録手順は,現地で全方位 画像を拡大表示し,並行して撮影した詳細画像をこの全方 位画像上にインデックスとして登録する.全方位展開画像 と詳細画像の双方向の検索が可能な「画像検索システム」 を用意することで画像整理作業とモニタリングへの効率化 が期待できる<sup>8)</sup>.現状は手動登録であるが,将来的には内 臓の GPS やジャイロ機能で自動登録の可能性もある.

![](_page_9_Picture_3.jpeg)

Fig. 34 Image Search and Link system (Concept)

#### 3. 4 照合(AR-拡張現実感の活用)

スマートフォンなどのタブレット端末が急速に普及し、 その端末の機動性と多様な機能によって、構造物の維持管 理分野における支援が可能になった.サーバーに保管して いる図面、過去の損傷画像などを、端末を使ってネットワ ーク経由で閲覧できる.現場で確認したい箇所に端末をか ざすことで、以前の画像や損傷状況を確認できるなど、維 持管理分野における AR は、今後広範な活用が期待できる.

現在,筆者らが取り組んでいる開発技術は,3D レーザデ ータから作成した CG モデルを図面や写真にかざすだけで, 自由な視点から CG モデルを表示できるマーカレスタイプ の AR である. Fig.35 は橋梁モデルを例に開発しているも のであり,①は断面図,②は Qualcomm 社により特徴点抽 出された「QCAR」である<sup>17)</sup>.③はそれを端末でかざした 状況であり,④,⑤がその出力例である.

Fig.36 は軍艦島 30 号棟の写真を用いての AR 活用例を示 したものである. Fig.37①は、現地で構造物に端末をかざ すと収録している画像や構造モデルが表示されるイメージ を、②は事務所内や検討会の場で、図面などを拡げその上 に現地の状況などが双方向でやり取るできるイメージを示 したものである. これまで軍艦島で収集した膨大な画像情 報などを、AR なども活用して、一元的に管理し、記録、 検索、照合がストレス無く行えるロバスティックなデータ ベースの構築についても考える必要がある.

![](_page_9_Figure_9.jpeg)

Fig. 35 Indication using AR at A Bridge Indication is possible with a structure from any point by warming it over a photograph

![](_page_9_Picture_11.jpeg)

Fig. 36 Indication using AR at Gunkanjima-Island

![](_page_9_Picture_13.jpeg)

Fig. 37 Image of the spot and the committee utilized the AR function

#### 4. まとめ-インフラ構造物への適用について

軍艦島で検証した各手法の中から今後インフラ構造物 の維持管理のための初期点検に活用・効率化が期待できる ものについて下記に整理した.なお軍艦島のような文化財 調査では、オリジナリティの観点からの調査が優先される が、ここでは言及していない.また、トンネル、道路など の延長距離の長いインフラ構造物に対しては、走行型画像 撮影が有効であるが、本文では詳細は割愛している<sup>11,12</sup>.

#### 4. 1 形状・損傷検出(3Dレーザ・写真解析)

(1) 稜線抽出とギガピクセル画像から詳細オルソ作成

合成処理されたギガピクセル画像は、画像周辺部ほど大 きく歪む.3D レーザデータの稜線抽出結果を用いて幾何補 正処理することで、詳細なオルソ画像作成ができる.補正 された画像は、損傷部位の長さや面積算出が可能で、照合、 比較を行うにも有効である.

#### (2) 3D レーザ点群の球体表示

3D レーザで計測し、球体表示ビューワで描画すれば、 図面には表記されていない部材が明確となり添加された部 材などが把握しやすくなる. 3DCAD を用いた検索システ ムや、AR システムにも活用展開が図れる.

(3) 点群データ差分処理による崩落進展部位の特定

崩壊・劣化進行の大きい対象であれば崩落部位の特定は 可能である.平成24年3月に新潟県上越市で発生した地す べりに対しては3Dレーザ点群データの差分処理が採用さ れた.

#### (4) UAV からの外観変状調査

熟練が必要とされたラジコンヘリに比べ,場所,コース を予め設定しておけば反復して上空からのモニタリングが 可能である.また,上空からのパノラマ画像は閲覧の自由 度が高く斜面など広範囲の管理へ活用が期待できる.高架 橋の桁側面や床版裏を近接から撮影が可能で,支保工など の仮設経費の削減が期待できる.

# (5) 歩行型全方位カメラよる全周パノラマ

桁内部など近傍であれば、歩行しながら精細画像取得が でき、初期点検にそのまま活用可能である.

(6) ギガピクセル画像撮影装置による全周パノラマ

望遠レンズ装着で撮影した全周パノラマは,遠望からの 確認にも十分に耐えうる.閲覧の自由度も高い.

#### 4.2 画像処理(ひび割れ幅判読図化システム)

遠隔撮影した画像を基にクラック毎に[CI]を求めること でひび割れ幅が定量的に算定可能であり,半自動で損傷図 作成ができ省力化が図れる.

# 4.3 記録・保存(画像検索システム)

構造物を調査する際には、膨大な写真を撮影し調査報告 書を作成するが、撮影位置がわかりにくく、過去の調査写 真と比較するために同じアングルからの写真が必要とされ る場合がある.全周パノラマをインデックスとした詳細画 像検索システムを用いればその要求に応えることができ、 その有効性は高い.

#### 4. 4 照合(AR-拡張現実感)

橋梁など構造部材を予め 3DCAD などで BIM (Building Information Modeling) 化しておけば AR との連携が図りや すい. BIM は、3 次元の形状に加え、仕上げ・材料・仕様・ 性能等の属性情報を併せもつ情報モデルである.

設計から施工,維持管理に至るまで構造物のライフサイ クルのあらゆる段階でBIMを活用することにより,維持管 理の効率化に繋がる.現在,2D図面から3Dモデル化のソ フトも市販され,これまでの「概念としてのBIM」から「実 際に使えるBIM」として建築学分野で使用されつつある. 例えば,橋梁など既にCADで設計されていれば,それを3 次元化するだけで実物の上に関連づけて情報を投影できる. ARシステムは,精度や動作速度などの諸性能がますます 向上しており,今後ARがより維持管理に果たす役割は大 きくなるものと考えられる.ARも含め情報を一元的に管 理し,記録,検索,照合が容易に実施可能なデータベース 構築は有用である.

大規模で劣化がまさに進行中の軍艦島の建造物におい て、実施、検証してきた光学的計測手法(3D レーザ計測, 画像計測)を中心に、その調査手法や情報の解釈・加工処 理について紹介した.また併せて今後のインフラ構造物へ の適用可能性について提案させていただいた.

軍艦島は、1974年の閉山とともに無人島となり、劣悪な 環境の下、日々劣化が進行し形態が大きく変化している. なるべくその様相を読者の皆さんにも広く知っていただく ために多くの荒廃した画像を掲載した.

下記は筆者の調査に同行した古代ギリシャ都市遺跡を 研究している若き研究者の偽らざる驚きである.

『軍艦島に上陸したとき,近代建築を見るというよりも 遺跡をみたような気持ちになった.まさに廃墟だった.わ たしはこれまでに様々な場所で,数百,数千年の時間によ って荒廃し廃墟となった都市遺跡を見てきた.しかし,そ れら以上に普段見慣れたコンクリート建築がわずか数十年 で崩壊し,廃墟と化したこの場所に強い衝撃を受けた.』

高度経済成長期から急激に建設されたインフラ構造物 を、軍艦島のような廃墟にしないために、早急なる手立て が必要である.しかし構造物の診断には多岐に渡る技術・ 知識・知見を習得した熟練技術が必要とされるが、その技 術者の数は減少している.今後、若手技術者が、熟練技術 者と同等の活躍ができる環境を整えることが重要であり、 それを担う我々大学研究機関や建設コンサルタントには大 きな期待がかけられている.

最後 Fig.37 に「近未来のイメージ」を描いてみた.

上空には機動性に富む UAV があり,それに搭載したカ メラで高精細なパノラマ画像を取得し,管理事務所まで伝 送される.この情報は直ぐに加工処理され,BIM で一括管 理される.現地では携行型のARシステムを実物の上にか ざすと,加工処理された情報が端末やHMD(Head Mounted Display)に表示され点検管理がスムーズに実施で

![](_page_11_Figure_1.jpeg)

Fig. 38 Investigation into infrastructure structure check image of the near future

きる.このようなイメージは最新の ICT 技術を用いれば夢 ものがたりでなく実現可能な日も近い.

## 謝 辞

本稿は、平成 21 年度から長崎大学インフラ長寿命化セ ンターが実施している、軍艦島の鉄筋コンクリートの環境 劣化に関する研究に対し、光学的な計測手法である、画像・ 3D レーザ計測技術を適用・検証した成果をもとにとりまと めたものである.また、軍艦島上陸に当たっては、長崎市 世界遺産推進室の方々に便宜を図っていただきました.こ こに関係各位および共同研究者に記して謝意を表します.

#### 参考文献

- Nishimura, S. et al.:Digital Information Utilization on Preservation Management of Cultural Properties. 2002 ISPRS-Corfu, Greece, 2-6, September, (2002) (CD-ROM).
- Nishimura, S. et al.: The Development of the Support System to Conserve and Repair the Heritage with the Apply of the Techniques that Analyze the Information (in Japanese), *J. JST*, (2006) (CD-ROM).
- Nishimura, S. et al.:System for Assisting in Restoration of Stone Walls, Using 3D Modeling, 22nd CIPA Symposium, 11-15, (2009) (CD-ROM).
- Matsuda, H. et al.: 3-D Digital Photogrammetric Measurement of the Structure and 3-D Finite Element Free Vibration Analysis (in Japanese), *Journal of Structural Engng.* Vol.53A, (2007), 33-40.
- Takahashi, Y. et al. : The 3D Measurement of Stone Bridges and the Apply for the 3D FEM Models (in Japanese), *The 64<sup>th</sup> Japan Soc.* of Civil Engineers (2009) (CD-ROM).
- 6) Nishimura, S. et al: The Measurement and Monitoring at Gunkan-

jima-Island by Using 3D Laser Scanner (in Japanese), *J.JSEM*, **11-3** (2011), 221-228.

- Nishimura, S. et al. : The Measurement and Monitoring at Gunkanjima-Island by Using 3D Laser Scanner and Sphere Camera (in Japanese), Proceedings of JSEM Annual Conference on Experimental Mechanics(2011), 163-168.
- Nishimura, S. et al.: The Measurement and Draw Damaged Plans at Gunkan-Island by Using 3D Laser Scanner and Digital Camera (in Japanese), *Journal of JSPRS* (2012), 46-53.
- Nishimura, S. et al: The Measurement and Monitoring at Gunkanjima-Island by Using Optical Measurement Techniques (in Japanese), *J.JSEM*, **12**-3 (2012), (in printing).
- http://www.nagasaki-np.co.jp/news/sekaiisan/2012/05/ 29092419.shtml
- Nishimura, S. et al.:Development of On-BoARd Image Measurement System for Actual Running and Application to Wall Surface Surveys of Structures, *JAST*(2010) (CD-ROM).
- Nishimura. S. et al.:Developmen of a Hybridcamera System for Bridge Inspection, *IABMAS2012 (2012)*.
- A Techniques of Concrete Diagnosis, Japan Concrete Institute. (2000), 90-95
- Theory and Practice of Digital Photogrammetry, JSPRS. Japan Association of Surveyors (2004),18-20,
- 15) Kitamura, K. et al.:Picking Out the Break Lines Using the Point Data from 3D Laser Scanner in Consideration of the Measurement at Real Environment (in Japanese), *The 16th Image Sensing Symposium, IS1-08*(2010) (CD-ROM).
- 16) Yokoyama, H.et al.:Break-line Extractionand Automatic Generation of 3D-CAD Data of Castle Wall from Point Cloud Data Using Surface Flatness (in Japanese), *Journal of JSPRS* (2010), 241-250.
- 17) http://d.hatena.ne.jp/kotamz/20101031/1288534811