

基調講演

長崎の産業遺産・被爆遺構の現状と課題

軍艦島の三次元計測

松田 浩

長崎大学大学院工学研究科 教授

軍艦島の3D計測

長崎大学工学研究科
・構造工学コース
・インフラ長寿命化センター

松田浩

軍艦島保存活用技術検討委員会報告書 H17年度

委員長 宮原先生(長崎総合科学大)

現地調査：外観、圧縮強度、反発硬度、中性化深さ、塩害、鉄筋調査

圧縮強度試験

| 調査箇所 | (N/mm ²) | 建設年 | 年代 |
|--------|----------------------|------------|----|
| 30号棟室外 | 19.7 | 1916(大正5) | A |
| 16号棟室外 | 18.0 | 1918(大正17) | A |
| 57号棟 | 8.6 | 1939(昭和14) | B |
| 69号棟 | 16.6 | 1958(昭和33) | C |

反発度法

18.7~31 (N/mm²)

A : 関東大震災前
B : 関東大震災~戦前戦中
C : 戦後

(長崎市提供)

中性化試験



- ・室内側:中性化進行
- ・16・30号棟 → 鉄筋位置まで中性化進行
- ・それ以外 → 鉄筋位置まで中性化進行していない
- ・含有塩分量は高いが、鉄筋の錆はひどくはない

炭酸ガス濃度、温度、湿度、水の接触

含有塩分量

- ・3号、25号棟以外:鉄筋位置での限界発錆値以上
- ・30号棟 : 4.56 kg/m³
- ・59号棟(8.48)、66号棟(17.74) → 海側護岸に隣接
- ・69号棟(貝殻混入、表面:24.93、表面から60cm:11.56)

健全箇所 → 中性化進んでいない
含有塩分量限界値 : 1.2 kg/m³

(長崎市提供)

環境の差異による劣化状況の比較

| 年代 | 劣環境 | 好環境 | コンクリート材料の劣化状況 |
|-----|----------------|----------------|---------------------------------|
| A | 30号棟 (1916) | 16号棟 (1918) | ほとんど差がない |
| B-2 | 66号棟 (1940) | 57号棟 (1939) | 含有塩分量は66号棟が多いが、圧縮強度、中性化は予想と逆の結果 |
| C-1 | 59号棟 (1953) | 65号棟 (1945) | 調査値は環境の優劣に応じた結果 |
| C-2 | 69号棟 (1958) | 3号棟 (1959) | 調査値は環境の優劣に応じた結果 |

A : 関東大震災前(経年82年)
B : 関東大震災~戦前戦中(経年80~60年)
C : 戦後(経年~60年)

H17年当時

(長崎市提供)

阿久井 喜孝 先生
 「(復刻)実測・軍艦島」
 高密度居住空間の構成

後藤 恵之輔 先生
 「軍艦島の遺産」

平成21年度工学部内萌芽研究補助経費

“軍艦島”の鉄筋コンクリート造高層建物群の
 環境劣化調査と安全性評価に関する研究

平成22年度 大学高度化推進経費
 社会貢献・産学官連携推進プログラム

最先端計測技術と3Dデータを活用した
 軍艦島保存プログラム

軍艦島の3Dレーザ計測

- 目的:軍艦島の保存・整備・活用を検討
 ・3Dレーザによる三次元計測結果と既存図面*と比較
 ・変状の進行状況の確認
 → 日本最古RC造高層アパート30号棟
 → 島内最大規模アパート65棟

* 軍艦島実測調査資料集
 東京電機大学出版局
 編著者 阿久井・滋賀



RIEGL VZ-400

仕様

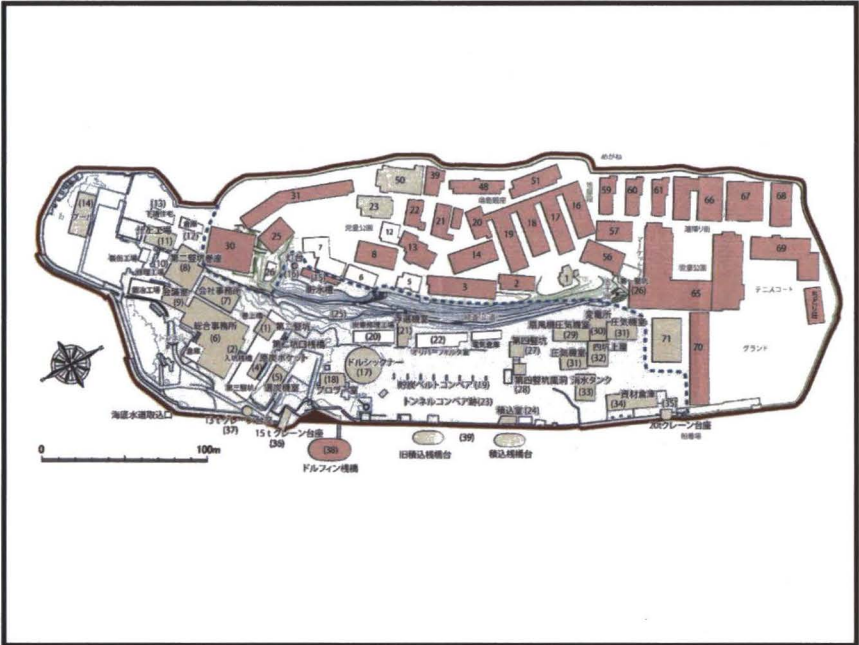
| | 長距離モード | 高速モード |
|---------------------------|-----------|------------|
| 有効測定レート | 42,000回/秒 | 122,000回/秒 |
| 最長測定距離 | | |
| 自然物ターゲット $\rho \geq 90\%$ | 600 m | 350 m |
| 自然物ターゲット $\rho \geq 20\%$ | 280 m | 160 m |
| 精度 | 5 mm | 5 mm |
| 確度 | 3 mm | 3 mm |
| 最短測定距離 | 1.5 m | |
| レーザー波長 | 近赤外線 |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

軍艦島の3Dレーザ計測 ～軍艦島全域～



30カット(約8時間)で島の約8割を計測

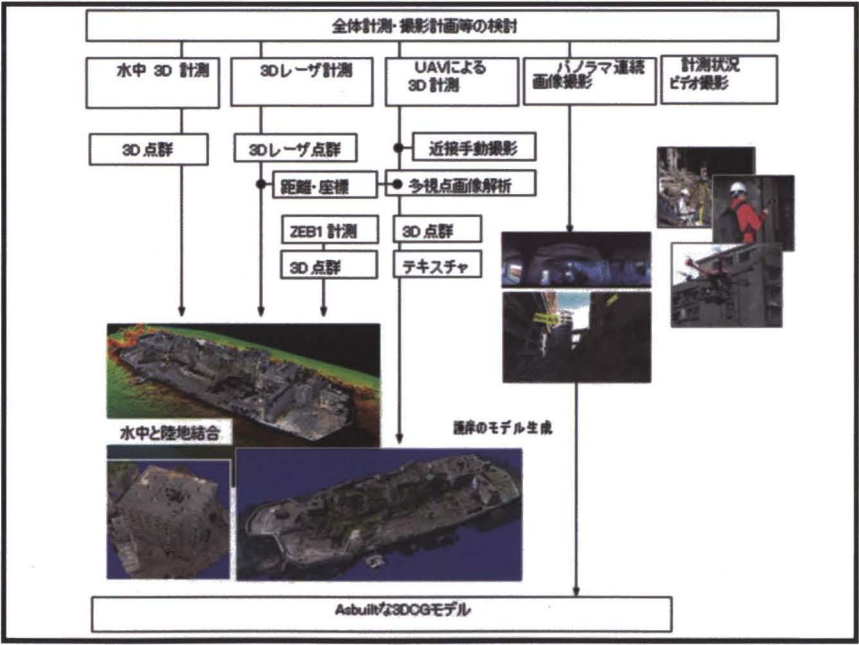
端島遺構状況記録調査



建物一覧表

| 建物名 | 建設年代 | 構造・階数 | 住居戸数 | 建設用途 | 建物名 | 建設年代 | 構造・階数 | 住居戸数 | 建設用途 |
|-----|--------------|---------|------|-------------------|-----|-------------|--------|------|---------------------|
| 1号 | 1936年(昭和11) | 木造1層 | — | 神社 | 26号 | 1966年(昭和41) | プレハブ2階 | 8 | 下請従業員住宅 |
| 2号 | 1950年(昭和25) | RC造3層 | 9 | 職員住宅 | 30号 | 1916年(大正5) | RC造7層 | 140 | 旧鉱員住宅(下請住宅) |
| 3号 | 1959年(昭和34) | RC造4層 | 20 | 職員住宅(幹部用・風呂付) | 31号 | 1957年(昭和32) | RC造6層 | 51 | 地下井筒塔庫・郵便局(1階)・鉱員住宅 |
| 5号 | 1950年(昭和25) | 木造2層 | 1 | 鉱長住宅 | 39号 | 1964年(昭和39) | RC造3層 | — | 公民館 |
| 6号 | 1936年(昭和11) | 木造2層 | — | 職員単身寮 | 48号 | 1955年(昭和30) | RC造5層 | 20 | 鉱員住宅(地階パチンコ店等) |
| 7号 | 1953年(昭和28) | 木造2層 | — | 職員クラブハウス | 50号 | 1927年(昭和2) | 鉄骨2層 | — | 映画館(昭和館) |
| 8号 | 1919年(大正8) | RC・木造3層 | 4 | 共同浴場(1階)・職員住宅 | 51号 | 1961年(昭和36) | RC造8層 | 40 | 鉱員住宅 |
| 12号 | 1925年(昭和次14) | 木造3層 | 3 | 職員住宅 | 56号 | 1939年(昭和14) | RC造3層 | 6 | 職員住宅 |
| 13号 | 1967年(昭和42) | RC造4層 | 12 | 町営住宅(教職員用) | 57号 | 1939年(昭和14) | RC造4層 | 8 | 商店(1階)・鉱員住宅 |
| 14号 | 1941年(昭和16) | RC造5層 | 15 | 職員住宅(中央住宅) | 59号 | 1953年(昭和28) | RC造5層 | 17 | 地下購買会・鉱員住宅 |
| 16号 | 1918年(大正7) | RC造9層 | 66 | 鉱員住宅 | 60号 | 1953年(昭和28) | RC造5層 | 17 | 地下購買会・鉱員住宅 |
| 17号 | 1918年(大正7) | RC造9層 | 54 | 鉱員住宅 | 61号 | 1953年(昭和28) | RC造5層 | 17 | 共同浴場(地階)・鉱員住宅 |
| 18号 | 1918年(大正7) | RC造9層 | 50 | 鉱員住宅 (日給住宅) | 65号 | 1945年(昭和20) | RC造9層 | 317 | 鉱員住宅・屋上幼稚園 |
| 19号 | 1918年(大正7) | RC造9層 | 45 | 鉱員住宅 | 66号 | 1940年(昭和15) | RC造4層 | — | 鉱員合宿(帯明寮) |
| 20号 | 1918年(大正7) | RC造7層 | 26 | 鉱員住宅 | 67号 | 1950年(昭和25) | RC造4層 | 48 | 鉱員合宿(単身寮) |
| 21号 | 1954年(昭和29) | RC造5層 | 15 | 警察派出所(1階)・鉱員住宅 | 68号 | 1958年(昭和33) | RC造2層 | — | 剛健病棟 |
| 22号 | 1953年(昭和28) | RC造5層 | 12 | 学生会館(1階)・学生会館(2階) | 69号 | 1958年(昭和33) | RC造4層 | — | 崇徳病院 |
| 23号 | 1921年(大正10) | 木造2層 | 6 | 社宅(1階)・寺院(2階・康福寺) | 70号 | 1958年(昭和33) | RC造7層 | — | 端島小中学校 |
| 25号 | 1931年(昭和6) | RC造5層 | 6 | 宿泊所(1~2階)・職員住宅 | 71号 | 1970年(昭和45) | RC造2層 | — | 体育館 |

(長崎市提供)



品質・工程管理進捗図

| 大項目 | 中項目 | 2月 | | | | | 3月 | | | | | 4月 | | | | | 5月 | | | | | 6月 | | | | | | | | | |
|------------|----------|---------------------------------------|---|---|---|---|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 測量作業 | | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| データ編集・ポイント | 打ち合わせ | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 計測結果の集約 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 現地計測 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | データ統合処理 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 品質・工程管理 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3Dデータ | 打ち合わせ | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 計測結果 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 現地計測 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | データ加工・処理 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 品質 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| バックアップ | 打ち合わせ | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 計測結果 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 現地計測 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | データ加工・処理 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 品質 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| データ管理 | 打ち合わせ | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 計測結果 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 現地計測 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | データ加工・処理 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 品質 | [Progress bars and status indicators] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

3Dレーザ計測

基準点設置測量

3Dレーザ計測



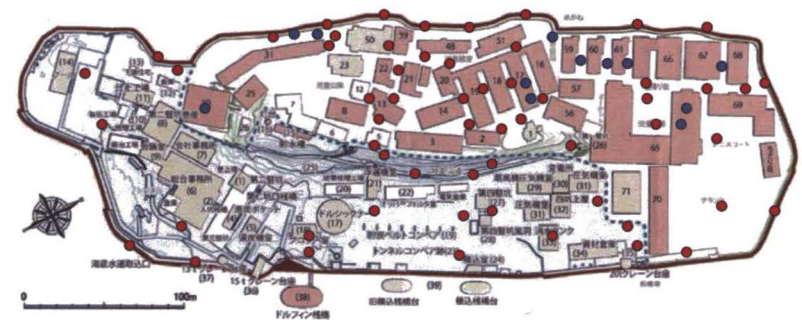
端島(軍艦島)の基準点5箇所の位置(●)

| 名称 | FARO Focus3D | Riegl VZ-400 |
|--------|------------------|----------------------------|
| レンジ | 短距離 | 長距離 |
| 機器イメージ | | |
| 距離 | 0.6-120m | 1.5-600m |
| 精度 | ±2mm | 5mm |
| 範囲 | 垂直300° 水平360° | 垂直100° (+60/-40) 水平360° |
| 重量 | 5kg | 9.6kg |
| レーザクラス | class3R | class1 |

3Dレーザ計測




3Dレーザ計測




3Dレーザ計測位置

3Dレーザ計測


カット1



カット2



合成 ↓





すべての計測データを測量座標値を基準に合成処理





3Dレーザ合成画像


3Dレーザ計測

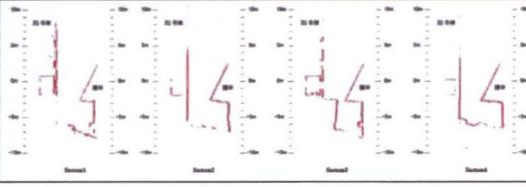




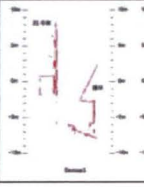




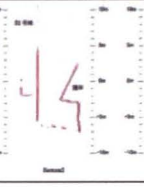




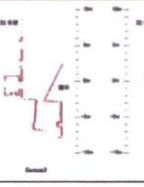
Section1



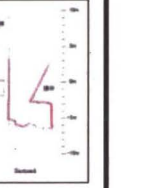
Section2



Section3



Section4



31号棟横の陥没状況 H26.3計測データ(1/10に間引き)

3Dレーザ計測

ハンドヘルドスキャナ計測



| 3D Laser Mapping社製 (UK) | |
|-------------------------|-------------|
| データ収録速度 | 43,200点/秒 |
| 3D精度 | 30mm |
| 計測レンジ | 30m |
| レーザクラス | クラス1 |
| 視野角 | 270度 |
| 重量 | 665g |
| 寸法 | 60×60×360mm |





3Dレーザ計測

ZEB1の平面オルソ 資料1の実測図面

ハンドヘルドスキャナを用いて計測した65号棟の室内 (左図)
右図 (阿久井喜孝, 滋賀秀実; 「軍艦島実測調査資料集」)

3Dレーザ計測

地獄段周辺 平面オルソ 資料の実測図

ハンドヘルドスキャナを用いて計測した地獄段周辺 (左図)

3Dレーザ計測

70号棟校舎の基礎部分

基礎部分の空間状況 3Dレーザ計測データ

ZEB1の平面オルソ ZEB1計測状況

小中学校 Z=6.6m 調査地点 TP+1.52m

Z=1.8m Z=-1.2m

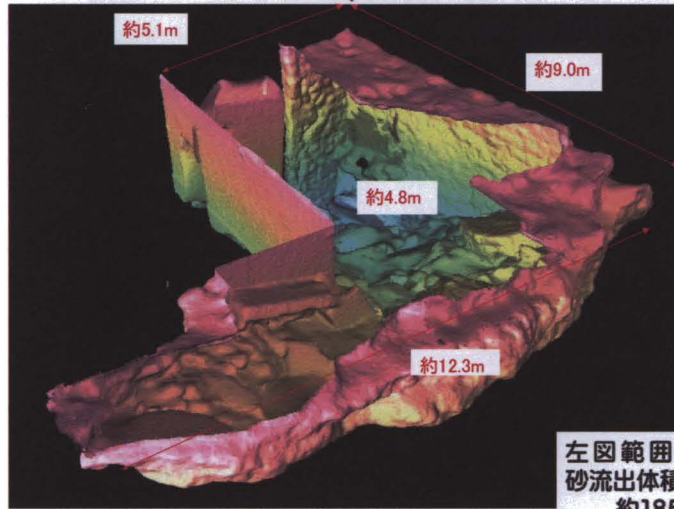
体積の算出 [31号棟横の護岸崩壊部]

対象部の3Dデータを抽出し、点群からサーフェスを作成

TP+6.5m以上はサーフェスをカット

断面の抽出も可能

ソフト上で、TP+6.5m以下の体積を算出

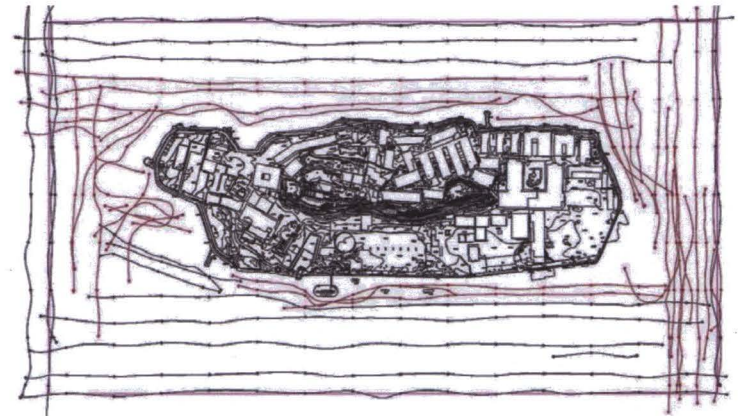
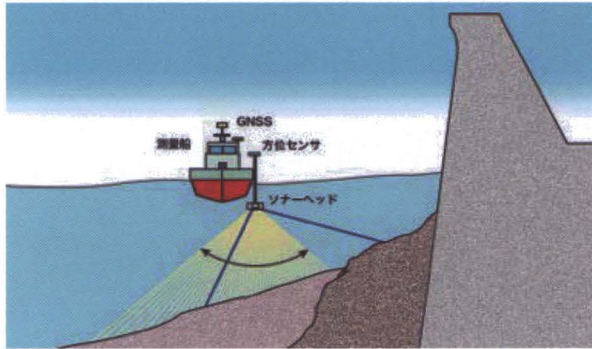


水中3D計測

水中3D計測

護岸周辺1.2km、幅100m (面積0.3km² 平均水深10m) の測線計画

- ①最寄り検潮所の潮位予測表による測量時間帯の検討
海域においては浅部のデータを取得するため、検潮所(長崎皇后)の潮位予測表を参考にした。
4月15日8時前後が満潮 → 6時半より測量開始
- ②水中のソナーヘッド噴水の検討
海域の場合、通常は水中のソナーヘッドを海面下1m程度沈める(波や泡を取り込むとデータとして使用不可のため)。
- ③ナローマルチビームシステムによるデータ取得
護岸下端と地盤の境界部分のデータを取得は、ソフトウェア上でコントロールする方法を使用。



測量した時間帯
— 6:30~9:00
— 9:00以降

水中3D計測



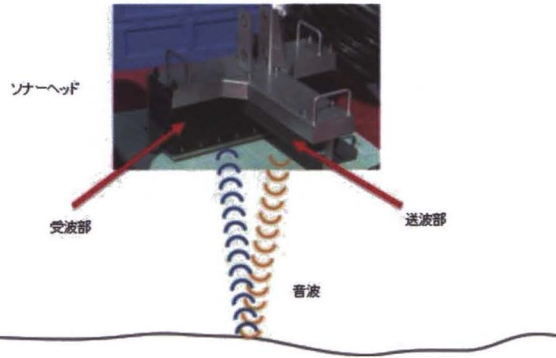
地上3D計測結果との結合結果



測深した範囲の水深カラーチャートをリアルタイムにパソコンに表示・記録

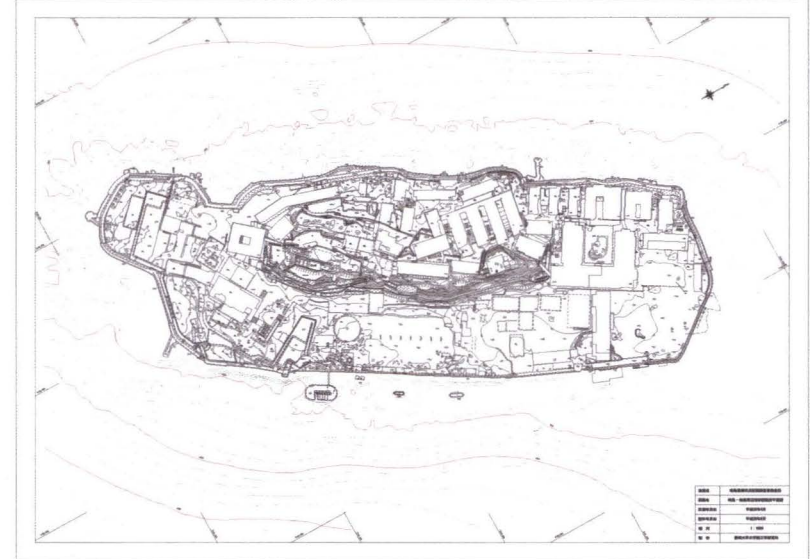


艦装状況



測定原理

水中3D計測



等深線図

(1) UAVによる写真撮影

| 撮影順序 | 使用カメラ | 使用レンズ | 特記事項 |
|--------------------|---------------------------------|-------|---|
| ①護岸回り | NIKON D610 Canon EOS Kiss X7 | 広角 | 護岸+島内部が一枚の画角に収まるよう撮影 |
| ②島全体 | | 広角 | 多視点3Dのための画像撮影 ①とラップし、島全体の3D化 |
| ③65号棟～ 小学校壁面 | | 標準+広角 | 損傷把握+多視点3Dによる3D化 正対撮影と3D化のための撮影→ → 一カ所でホバリングし回転 |
| ④日給社宅 | | 標準+広角 | 損傷把握+多視点3Dによる3D化 正対撮影と3D化のための撮影→ → 一カ所でホバリングし回転 |
| ④30号棟壁面 (俯瞰も含む) | | 標準+広角 | 損傷把握+多視点3Dによる3D化 正対撮影と3D化のための撮影→ → 一カ所でホバリングし回転 |

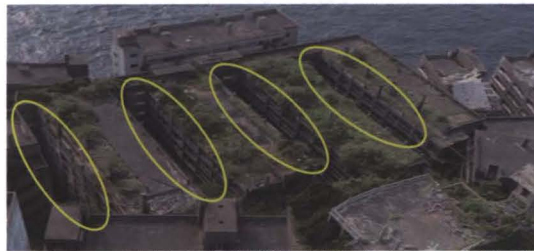


図 2.4.1 DSLR 搭載可能なマルチコプター
カメラ下向きタイプとカメラ上向きタイプ

| | |
|-------|--------|
| 機体重量 | 3.0kgf |
| 搭載重量 | 3.5kgf |
| 耐風安定性 | 10m/s |
| 飛行時間 | ～10min |



(2) 近接手動撮影

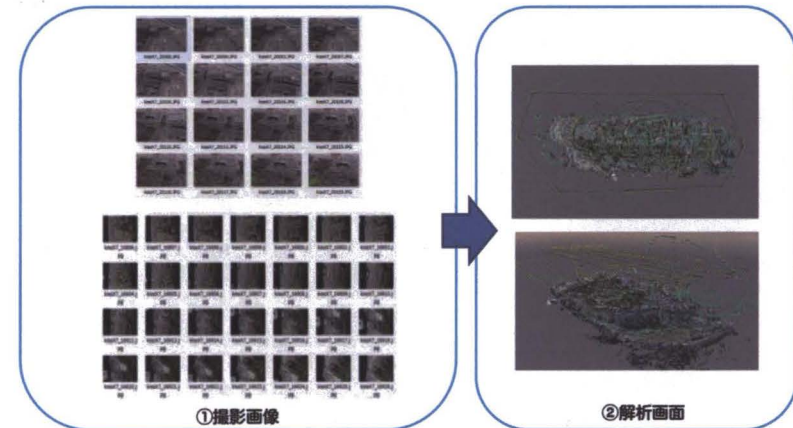


撮影・計測箇所



(3) 多視点画像処理

UAV撮影画像から軍艦島3Dモデルの作成



- ・島全体を格子状に平面撮影した画像
- ・護岸を外側から撮影した画像
- ・主要建物の周囲を撮影した画像

(約2000枚の画像使用)。

UAV撮影画像から軍艦島3Dモデルの作成

3D写真計測



③テクスチャが付加された3Dモデル



3D写真計測



平面オルソ画像や立面オルソ画像をの出力可能

3D写真計測



生成したモデルはTINで構成され、点群としても表現可能

3D写真計測



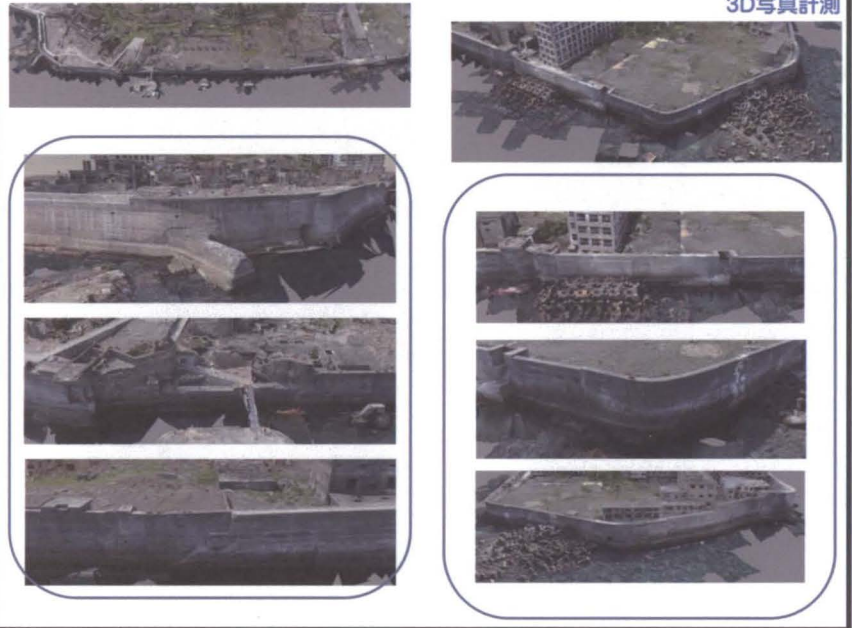
生成したモデルから寸法(座標値)の算出可能

① 護岸構造物

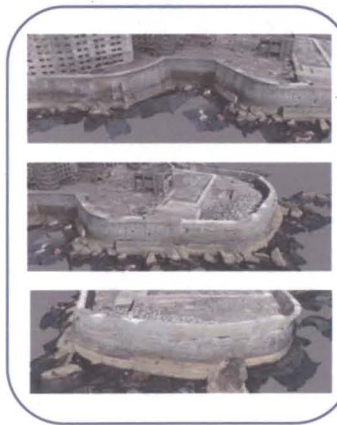
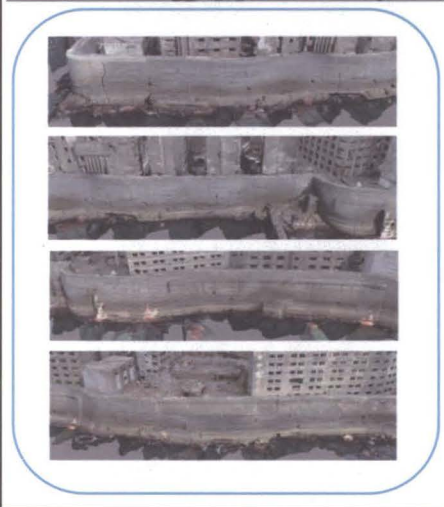
3D写真計測



3D写真計測



3D写真計測



② 建造物

3D写真計測

日給社宅
1918
(大正7)



65号棟 報国寮 (1945-1958)

3D写真計測



30号棟:旧鉱員社宅
1916年
(大正5年)

3D写真計測



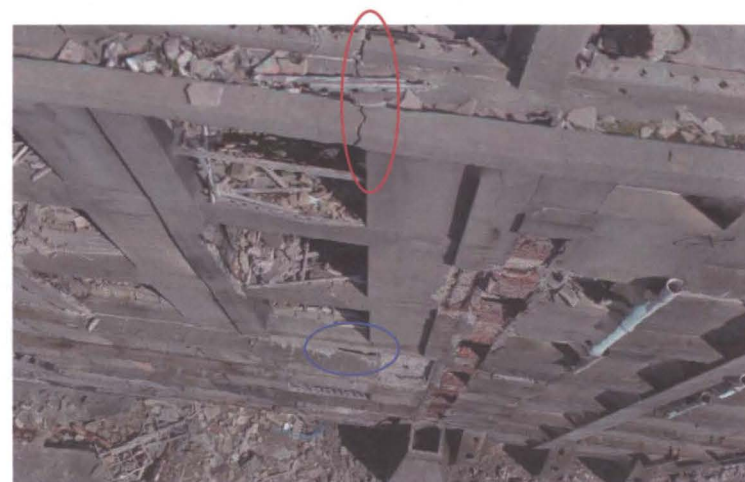
30号棟:旧鉱員社宅(1916 大正5年)

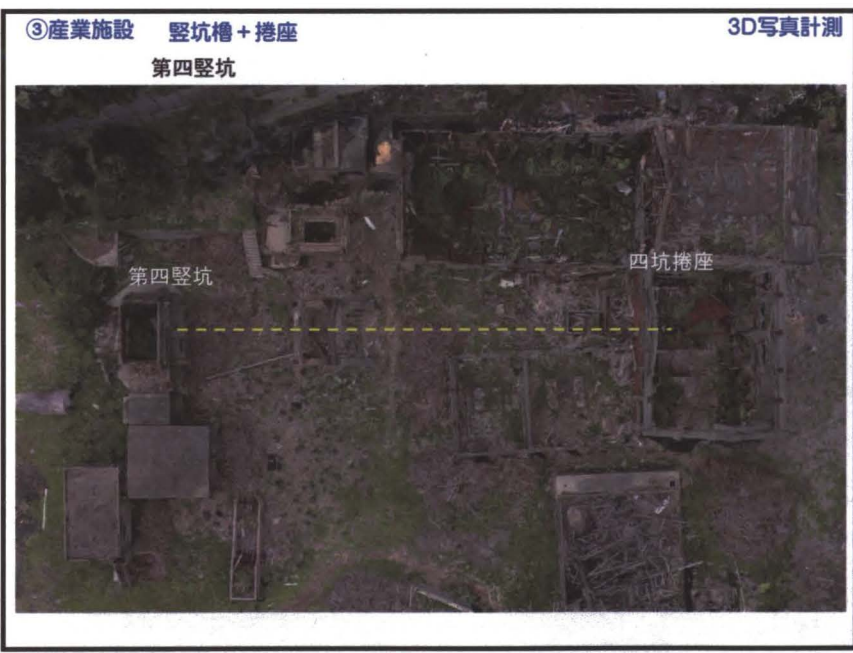
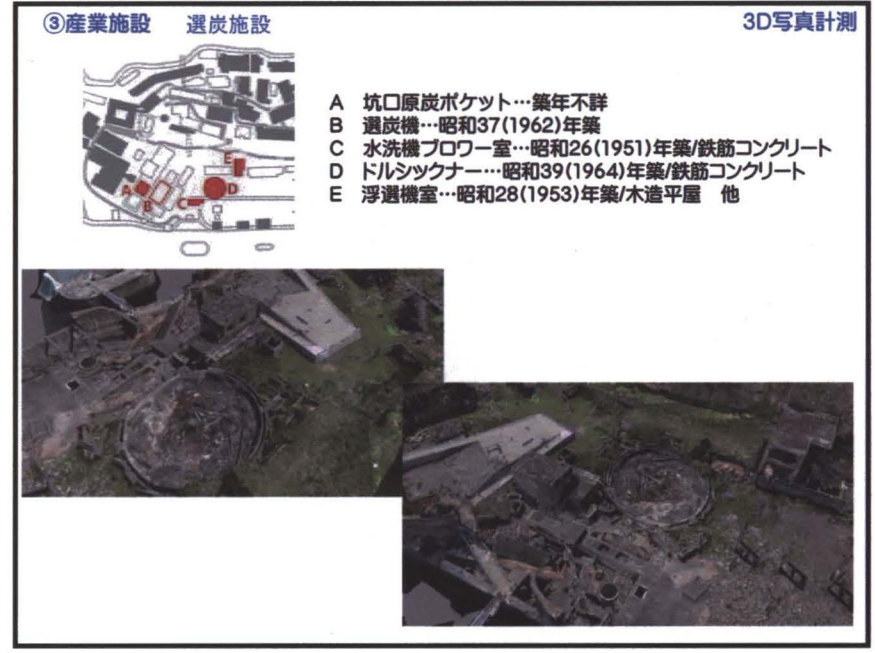
3D写真計測



30号棟:旧鉱員社宅(1916 大正5年)

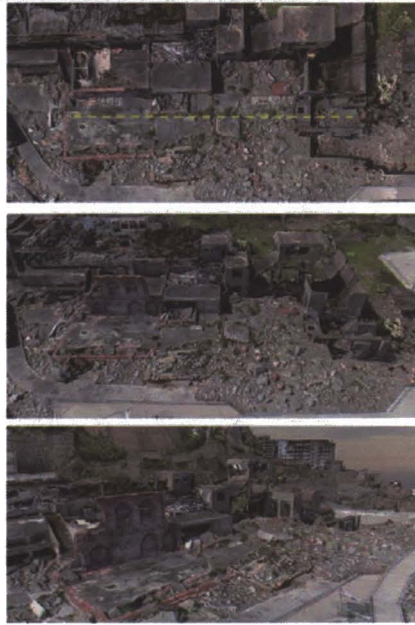
3D写真計測





③産業施設

第三豎坑
豎坑槽 + 捲座



3D写真計測

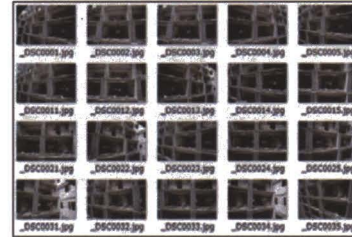
④UAV画像と近接手動画像を用いた多視点計測

日給社宅17号棟

3D写真計測



UAVから撮影



手動撮影



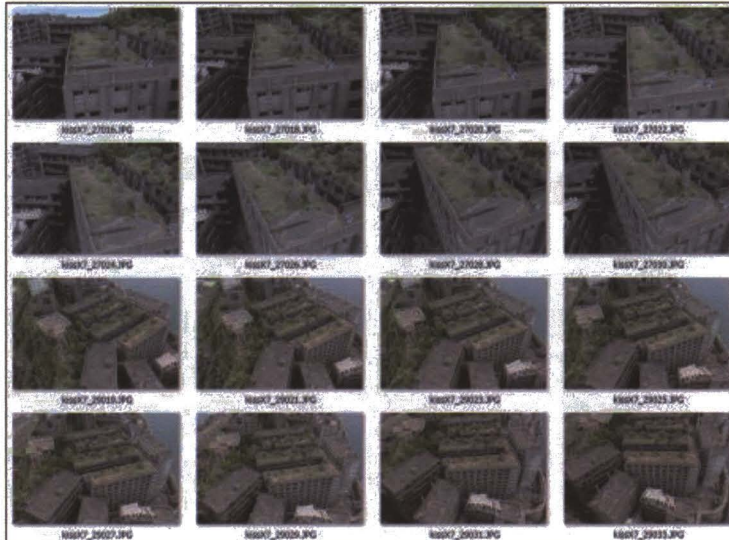
カメラ位置

17号棟北面

④UAV画像と近接手動画像を用いた多視点計測

日給社宅17号棟

3D写真計測



UAVから撮影

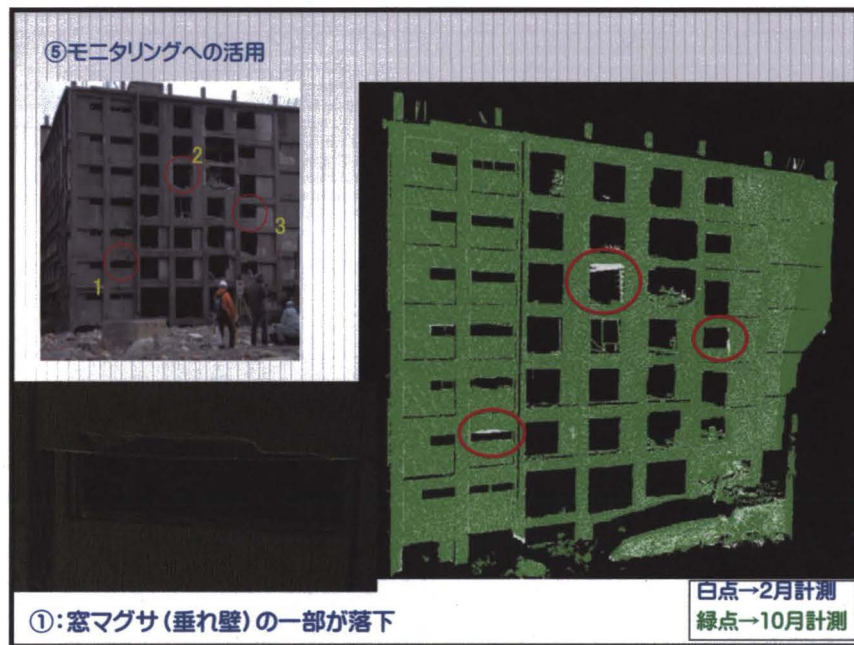
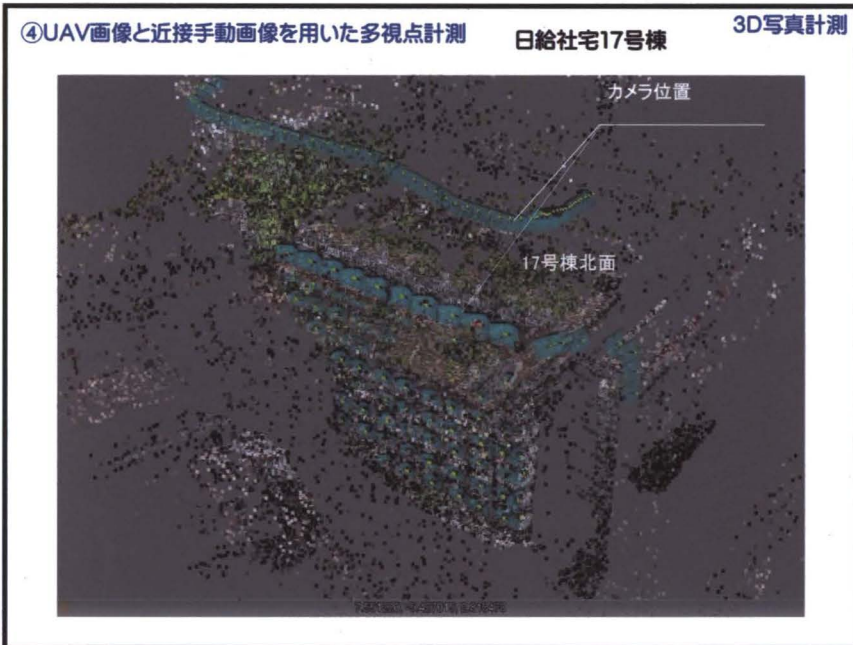
④UAV画像と近接手動画像を用いた多視点計測

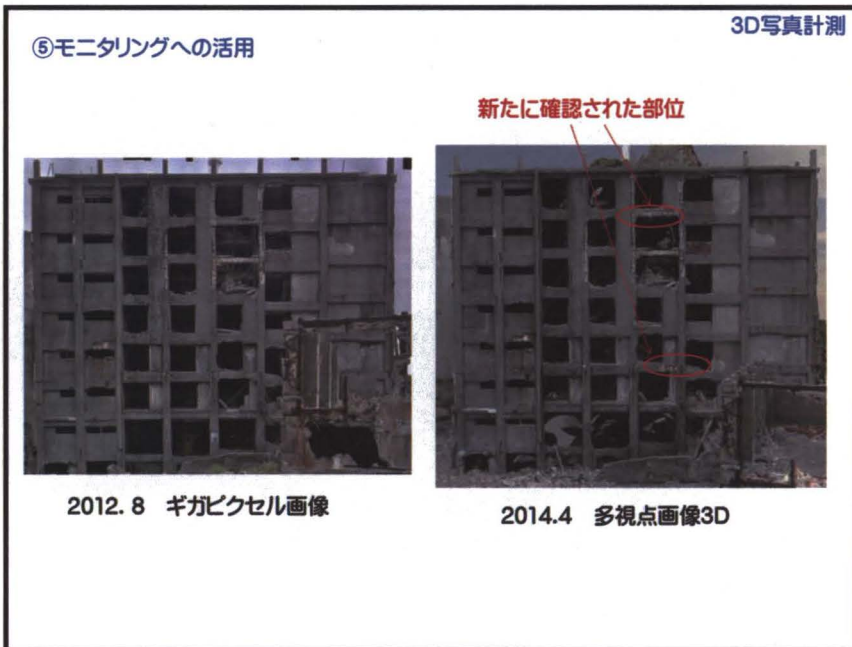
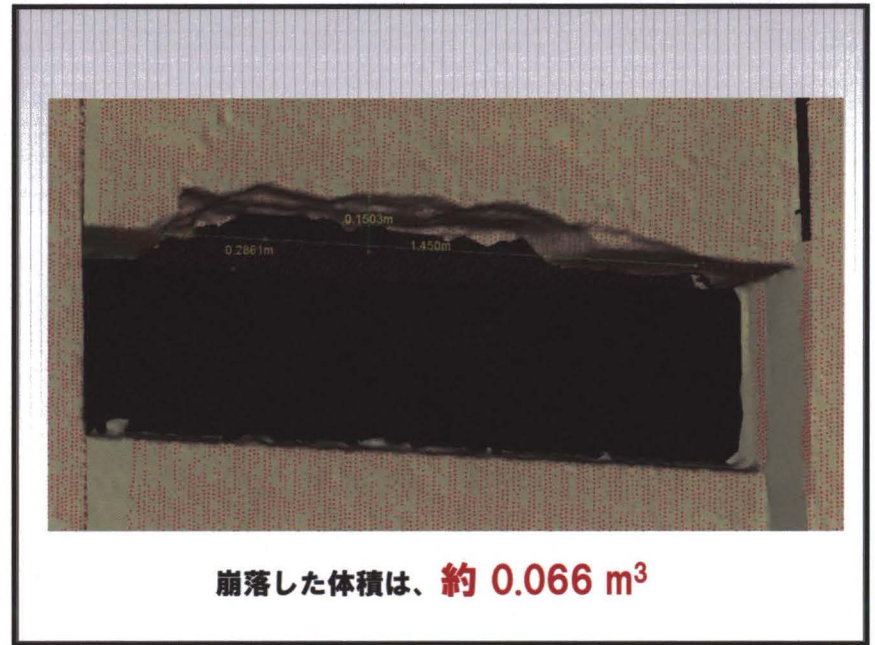
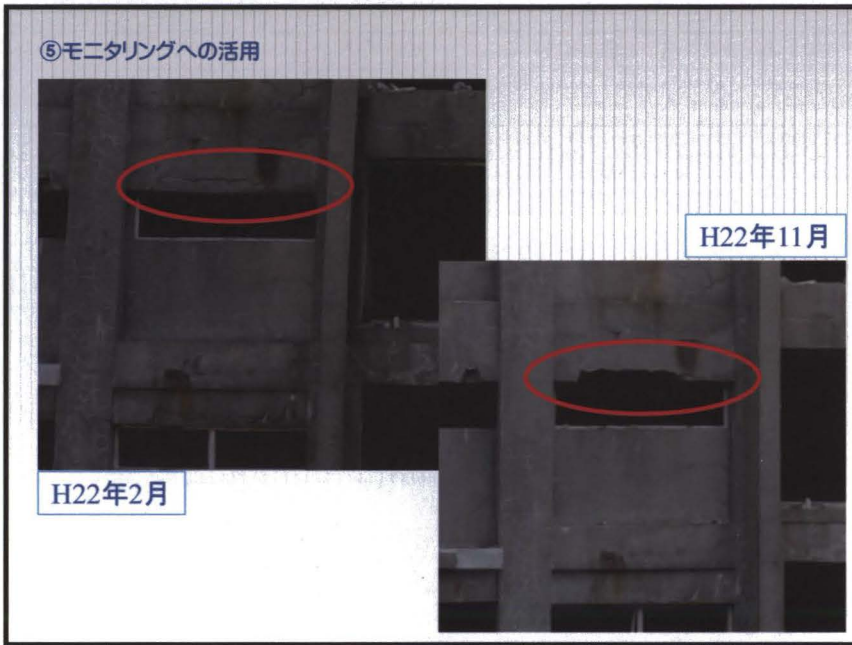
日給社宅17号棟

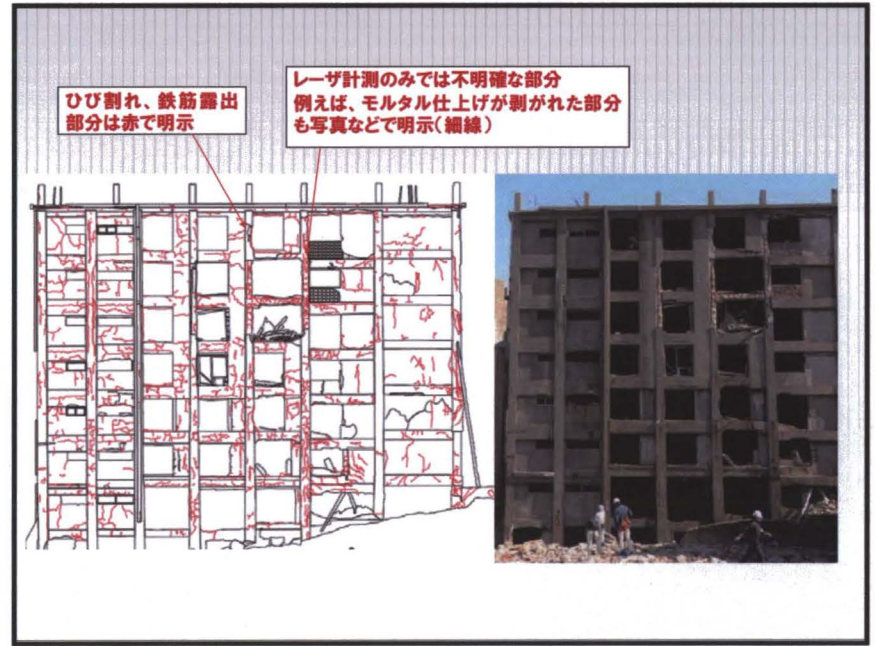
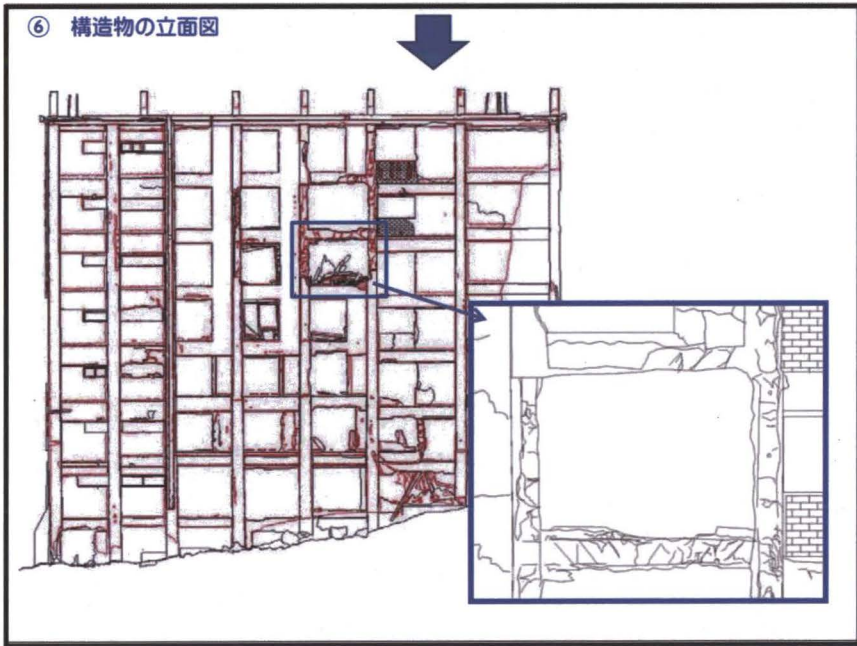
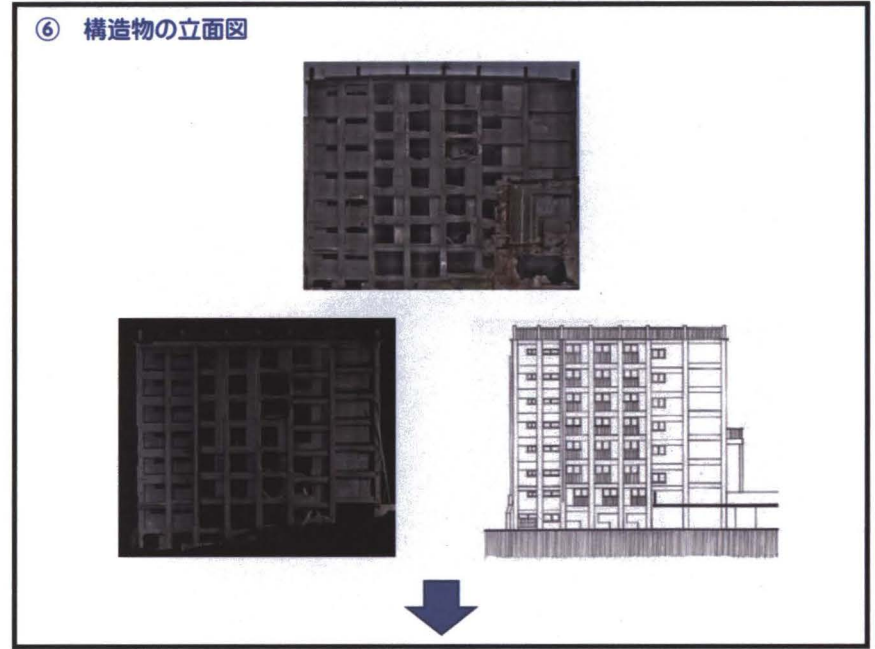
3D写真計測



手動撮影

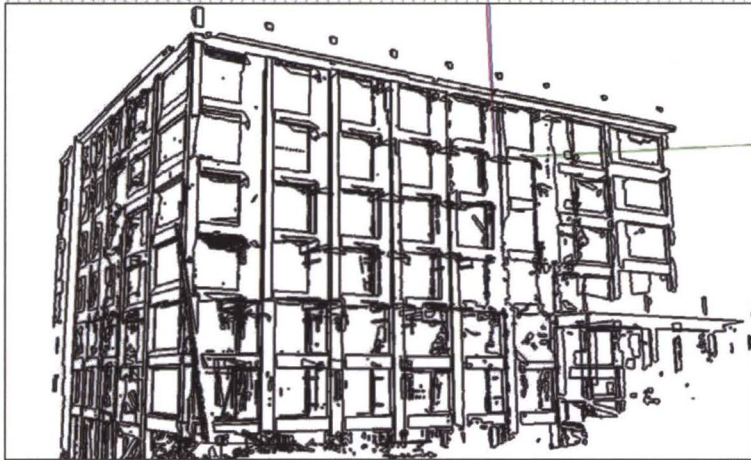




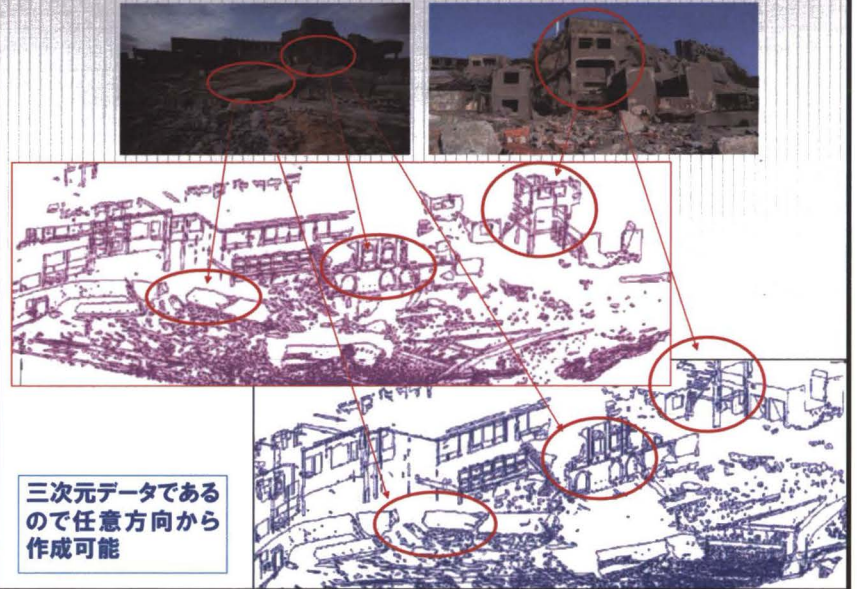


軍艦島の3Dレーザ計測とデータの利活用

稜線抽出



3Dレーザデータから自動稜線抽出ソフトを用いて立体図を作成



多視点画像3D技術により3D化



図化対象のモデルの切出



各面のオルソ画像を作成

→ 平面図・立面図の作成

→ 劣化・損傷情報の記入

→ 内部の撮影・計測による断面図の作成

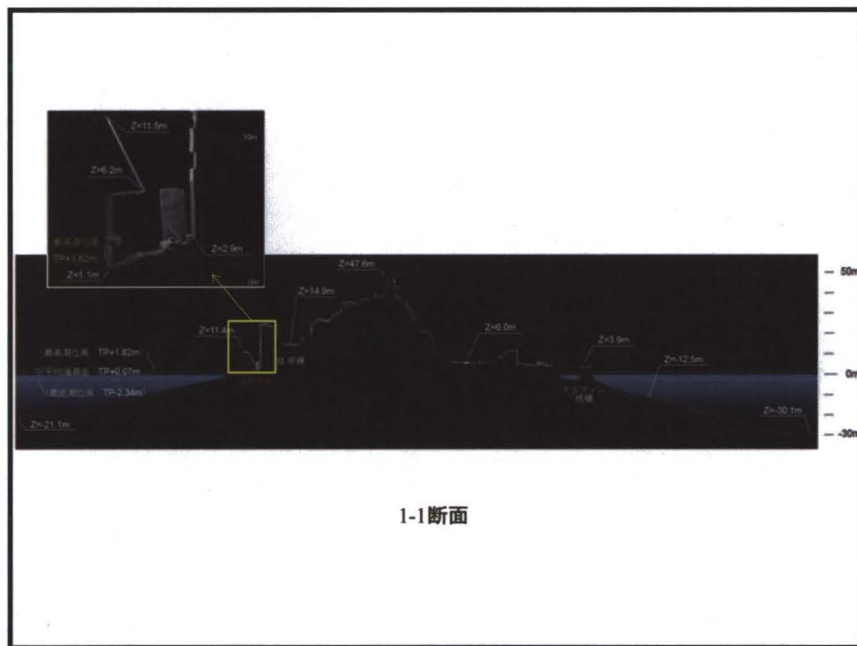
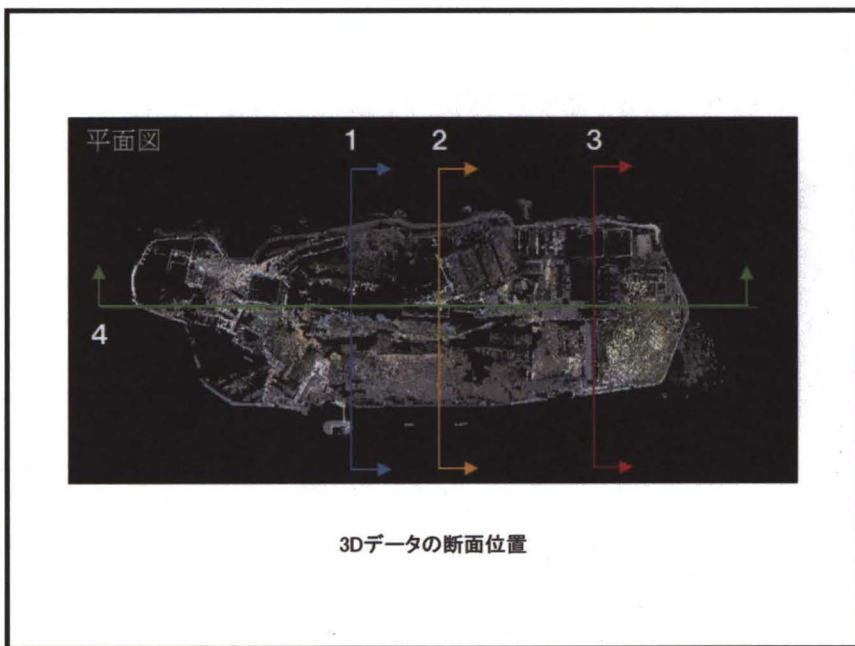
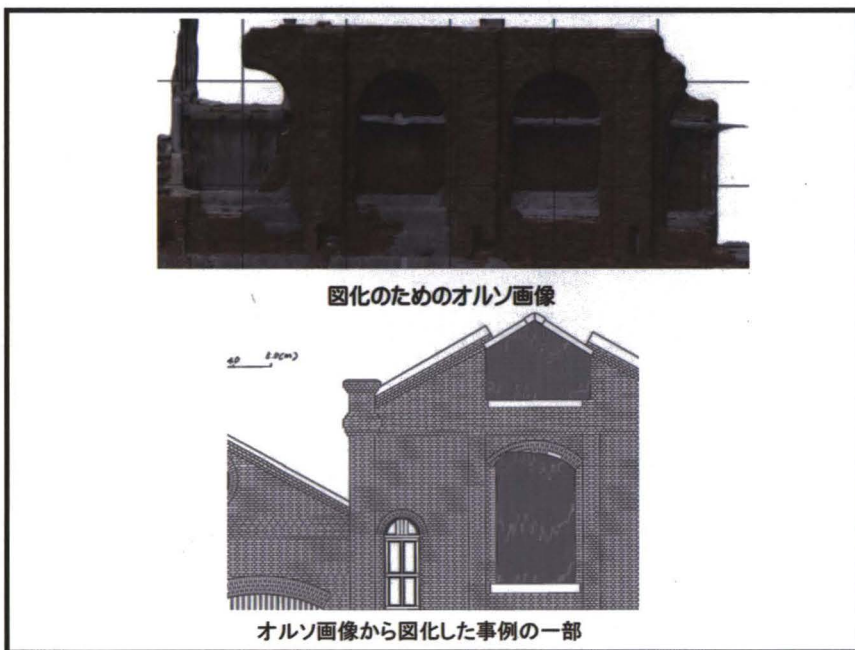
⑥ 撮影解像度による図化及び劣化・損傷把握の精度

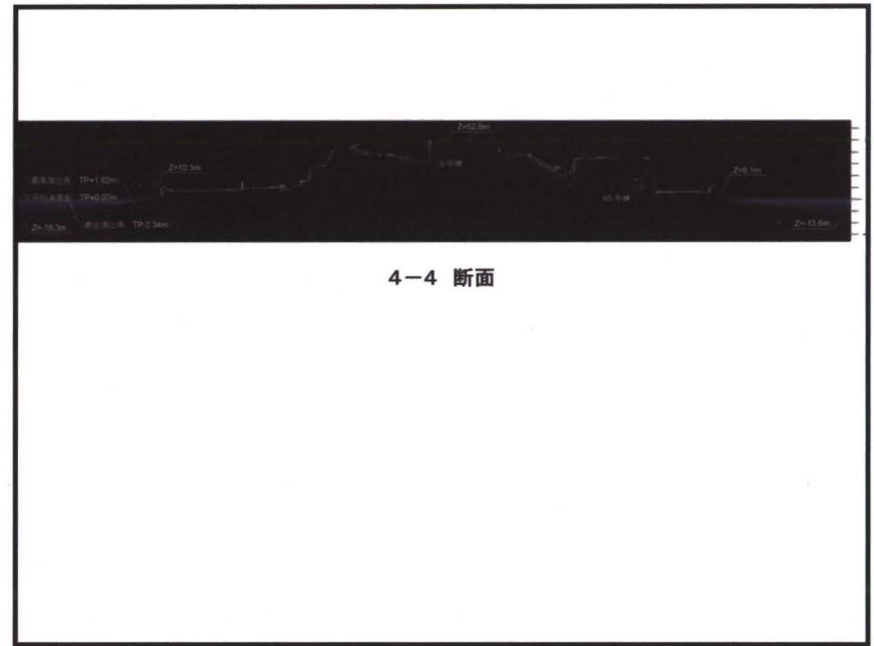
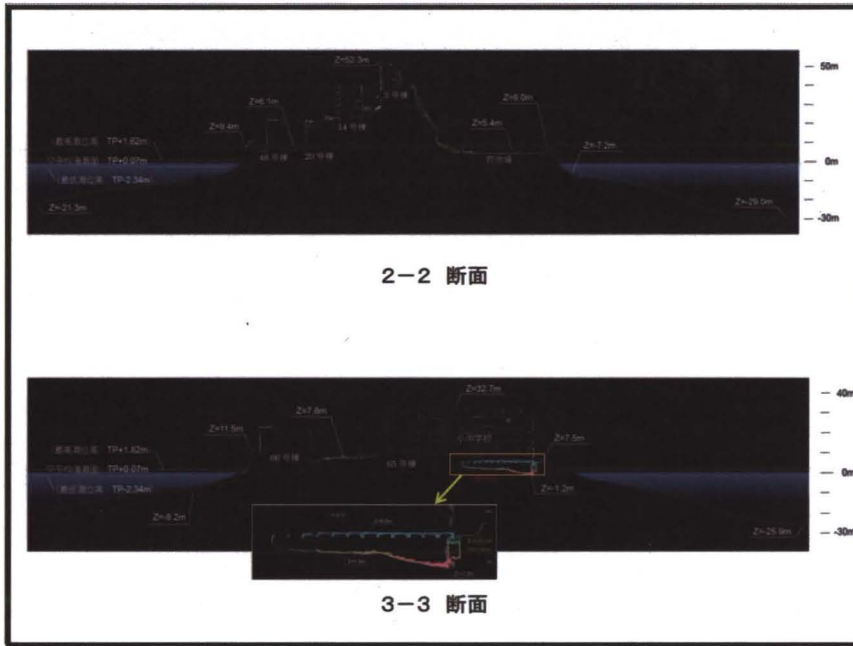
Canon EOS Kiss X7
1800万画素
5200×3450 9.6MB
6mm/pixel



Canon EOS Kiss X7
450万画素
2592×1728 4.2MB
12mm/pixel







護岸計測

レーザスキャンによる点群データ

多視点画像3Dにより作成された点群・サーフェスデータ

レーザスキャンデータと多視点画像3D点群の統合化

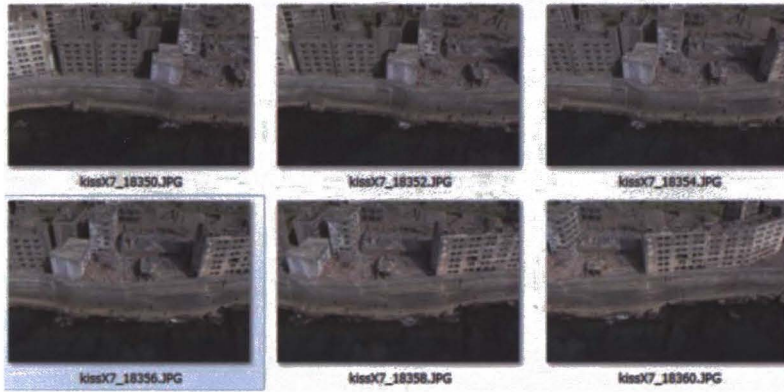
護岸の断面抽出

50号棟前護岸の形状

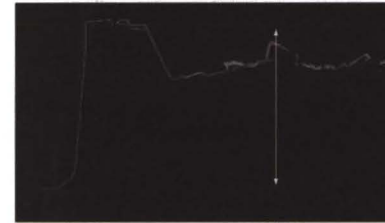
VZ-400による計測データ

地上型3Dレーザでは、海側の護岸形状を計測することは不可能

50号棟前護岸の形状

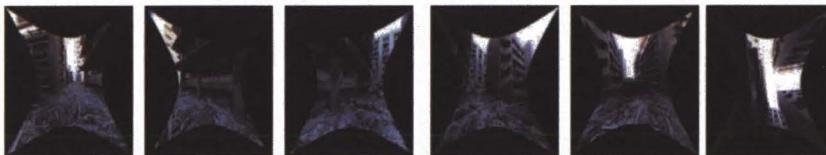


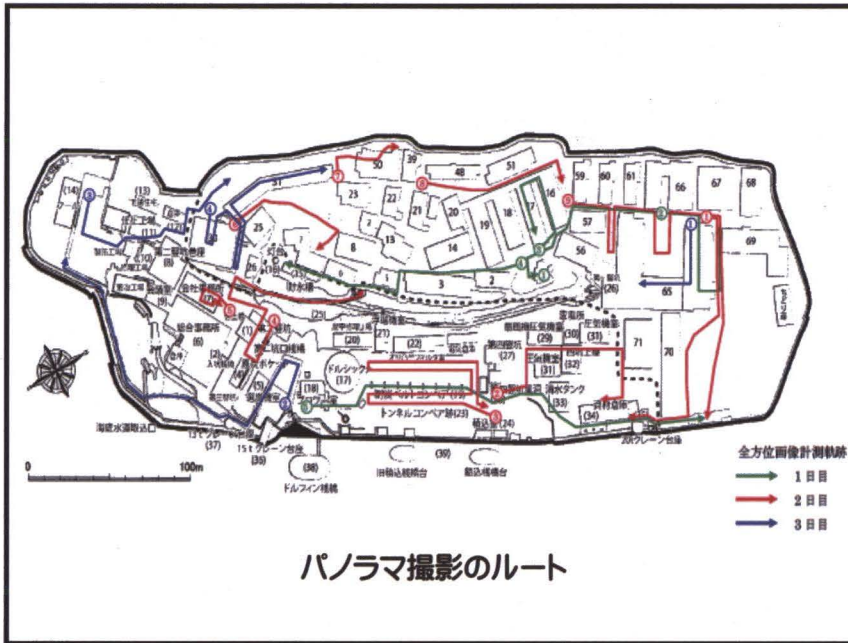
UAVで外側より撮影した画像で護岸形状を補完





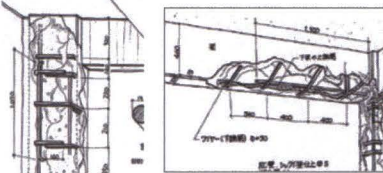

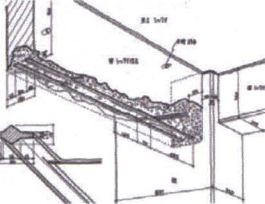
レーザーデータと画像3Dデータを合成し、補完することで、島全周の護岸形状の断面図化・等高線の抽出等が可能

パノラマ連続画像撮影


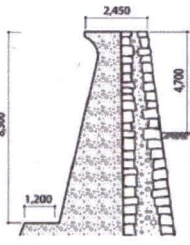

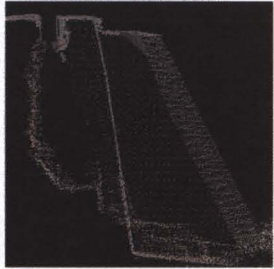


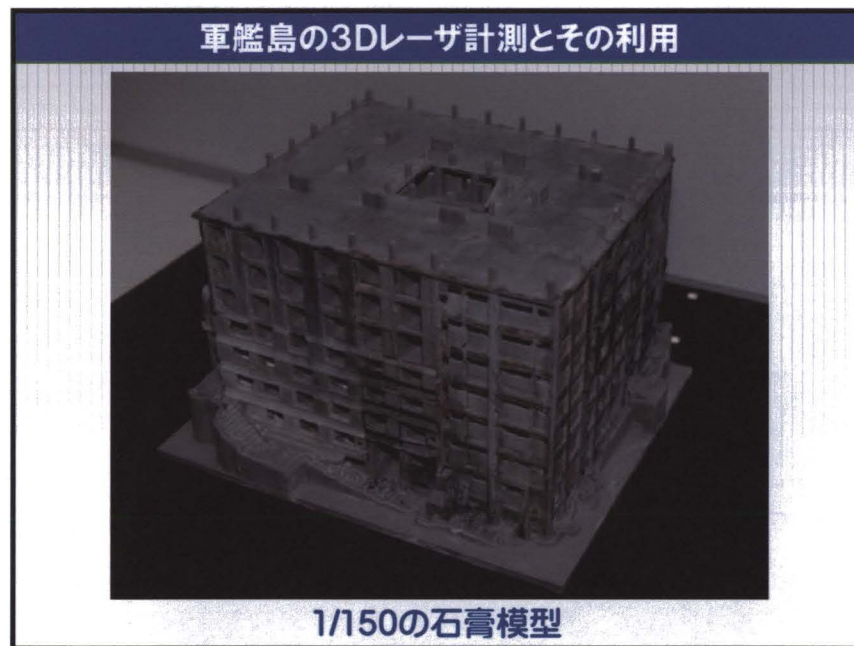
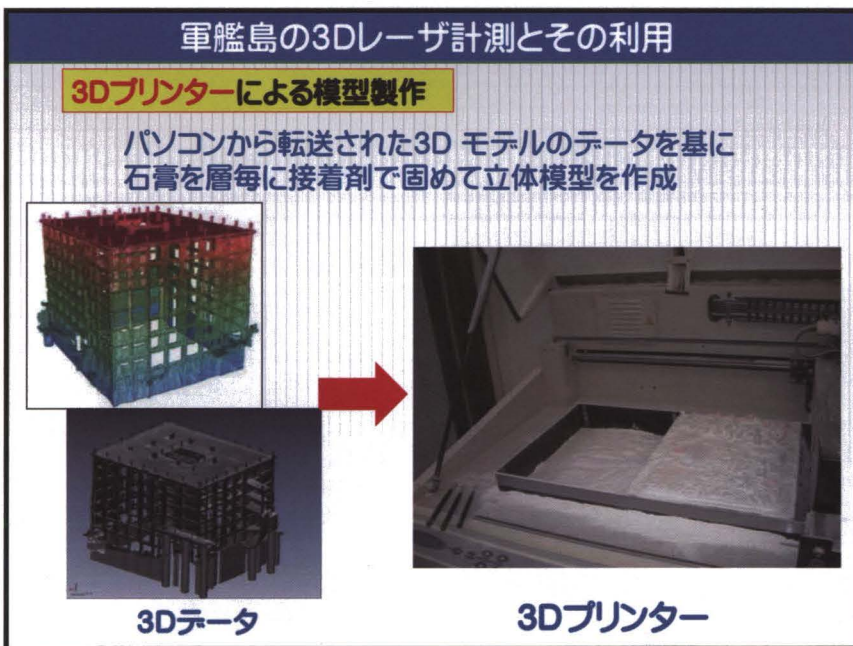
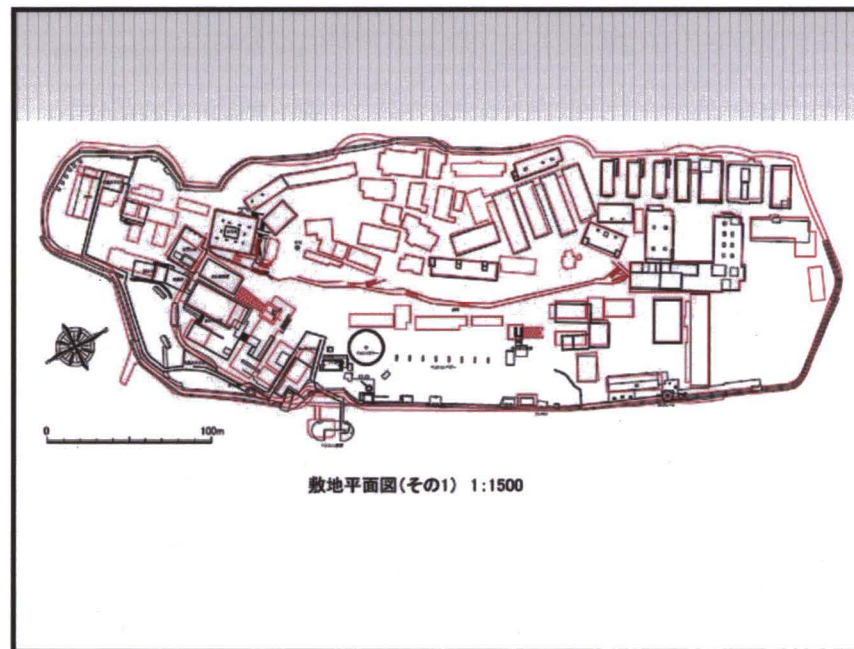
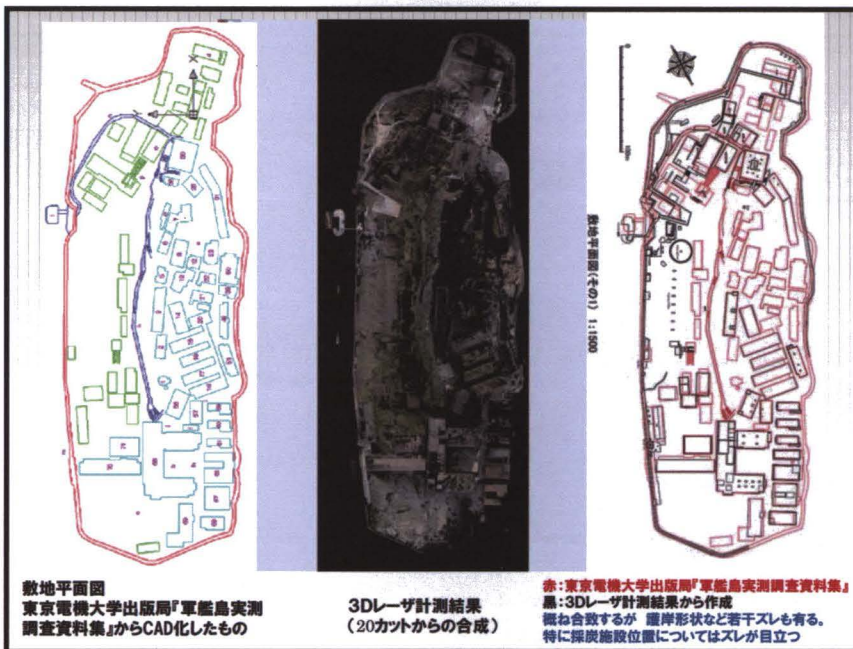





鉄筋コンクリート造の現況把握

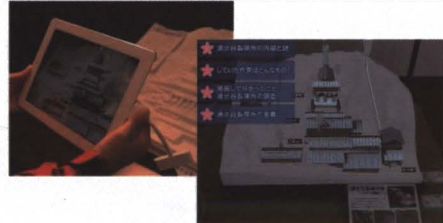

| 30号棟 RC7階建 大正5年 | 日給社宅 RC9階建 大正7年 |
|--|--|
| 丸棒および角筋が使用されており、異形鉄筋は導入されていない。 | 梁部材の端部にせん断補強のウイングを目視確認できた。 |
|   <p>1階柱およびR階梁 資料集の配筋のスケッチから</p>  |   |

護岸「天川」の現況調査



| ① 実寸サイズでの再現展示 | ② プロジェクションマッピング | ③ 大型の模型を使った展示 |
|---|--|--|
| 国立歴史民俗博物館 (千葉県佐倉市) | 富士山樹空の森 (静岡県御殿場市) | 日本科学未来館 (東京都江東区) |
| 建物の一部や使っていた家具、周囲の環境等を実寸のサイズに忠実な造作や模型等で再現し展示。実際には入ることができない場所を紹介したり、ある時代の雰囲気を出し出す等の目的で用いられる展示手法。国立歴史民俗博物館では、終戦後の市場の様子や昭和の家庭の様子等を実物大で再現。 | 模型や建造物、その他の立体物に対して映像を投影し、実物と映像を重ね合わせることで動きや立体感等の様々な視覚効果を加える。富士山樹空の森では、富士山とその周辺地域の模型に映像を投影し、雲の流れや四季の富士山の様子など、移り変わる自然の姿を見ることができ展示。 | 未来の科学技術を紹介するため、大型模型を使った展示。未来の都市をイメージした模型に複数台のカメラを設置し、模型を取り囲むように配置したモニターを通して映像を合成し、未来の都市に住む様々なキャラクターから未来の科学技術を学ぶことができる展示。 |
|  |  |  |

| ④ AR (拡張現実) による演出 世界遺産石見銀山での適用事例 | ⑤ MR (複合現実) による演出 バーチャル飛鳥京 (奈良県明日香村) |
|--|--|
| ARとは、現実に見えている環境の一部に情報を加えることで、現実世界を拡張させる技術。専用のアプリケーションとスマートフォンやタブレット端末等を使い、モニターを通して、グラフィックをはじめとした紙媒体や、模型や造作等に画像やアニメーション等を合成する方法等が多く見られる。多種多様な表現が可能なおもあり、近年では常設の展示のほか、様々な企画展示やイベント等で用いられている手法。 現在では石垣しか残っていない精錬所跡地をレーザー計測後、地形を3Dプリンタで出力。当時の姿をCGで再現し、タブレット端末を模型にかざすことで模型上にCGを表示する。 | 複合現実(MR)とは、現実の世界にリアルタイムで映像を合成する技術。明日香村では、その技術を用いて、飛鳥京をCGで復元し、現地を案内するプロジェクトを行っている。利用者は現地でヘッドマウントディスプレイと呼ばれる装置を頭部に装着し、画面を通して周囲の環境と合成された飛鳥京の様子を見ることができ。 体験者の任意の視点に映像が追従したり、実寸サイズで映像を合成し高い臨場感を創出するなど、技術的な広がりを見せている手法。 |
|  |  |
| バーチャル飛鳥京HPより転載 | バーチャル飛鳥京HPより転載 |

※本発表は平成25・26年度に長崎市から受託した「端島遺構状況記録調査業務委託」の成果の一部を使用しています。