

## **第4章**

### **「最先端計測技術と3Dデータを活用した 軍艦島保存プロジェクト」 実施報告**

**(平成 22 年度「長崎大学高度化推進経費(公募プロジェクト経費)  
による社会貢献・産学官連携推進プログラム支援事業」)**

#### 4.1 平成 22 年度 長崎大学高度化推進経費の研究報告

平成 22 年度 長崎大学高度化推進経費「最先端計測技術と 3D データを活用した軍艦島保存プロジェクト」に採択されセンター職員で協力して実施した。報告書を資料 4-1 に掲載する。

長崎市の要請のもと 10 月 11 日に長崎市男女共同参画推進センターで開催された、長崎市第二回端島炭坑等調査検討調査委員会において、「歴史的・産業遺産建造物の 3D 計測とデータの利活用」についてプレゼンテーション（資料 4-2）を行った。また、2 月 22 日（火）～25 日（金）に東京都庁で開催された、「長崎市文化遺産パネル展～「軍艦島」・教会・・・、世界遺産にむけて」において、軍艦島の 3D 映像に関するブースを出展した。その関係資料を資料 4-3 に掲載する。また、

## 付録資料

ページ

資料 4-1	平成 22 年度 高度化推進費の報告	4 - 3
資料 4-2	端島炭坑等調査検討調査委員会プレゼンテーション資料	4 - 20
資料 4-3	長崎市文化遺産パネル展関係資料	4 - 26

平成 22 年度 長崎大学高度化推進経費

**最先端計測技術と3Dデータを活用した**

**軍艦島保存プロジェクト**

報 告 書

平成 23 年 4 月

大学院工学研究科インフラ長寿命化センター



## 1. 調査目的

軍艦島は、図 1.1 に示すように、長崎県南部、長崎半島の西方海上にある小島であり通称端島とも呼ばれている。軍艦島の面積は、 $0.06 \text{ km}^2$ で旧高浜村、現在長崎市に属する。日本有数の海底炭田の島として知られ、開坑は明治初年で、鍋島氏を経て、1890 年（明治 23）三菱の経営に移り、以来発展して年産約 25 万 tf に達した。島の周りは高さ 10m のコンクリート壁で固められ、その中に選炭場、接岸施設など諸施設のほか、人口約 5,000 人を収容する 7~9 階建てのアパート群が建ち並んで、人口密度 5 万人/ $\text{km}^2$ を示した。緑なき島といわれ、遠望すると軍艦に似ているので軍艦島と呼ばれた。1974 年（昭和 49）閉山し、現在は昔の無人島に戻り、写真-1.1 に示すようにアパート群が廃墟として残っている。

長崎市は、2006 年 6 月に「軍艦島保存活用検討委員会」を発足させ、申請者らも委員として現地調査を実施した。この調査結果を踏まえて、長崎市は、軍艦島の保存に関しては、現状のままとして、自然の風化にまかせ、朽ち果てていく過程をみせる方針に決定した。保存のため莫大な予算が必要であることや、いくら補修・補強しても軍艦島のような過酷な自然条件、人が常住し、維持管理が日々可能な一般の建築物と違い、劣化は当然ながら止まることはないからである。

インフラ長寿命化センターでは、平成 21 年度長崎大学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」に採択されて、最先端 3D 計測技術を用いて、長崎市と連携のもと軍艦島内の 30 号棟（日本最古の鉄筋コンクリート構造物）、65 号棟（軍艦島内最大のアパート）の 3D 計測を行い、完成度の高い 3D モデル化に成功している。前年度の成果を受けて、長崎市は、最先端 3D 技術を活用した軍艦島の新しい保存方法を望んでいる。

そこで、本プロジェクトは、昨年度の研究をさらに発展させるために、3D レーザースキャナを利用して、軍艦島全域の 3D 計測及びそのモデル化を行った。また、3D 計測による定期観測を行い、崩落箇所と崩落体積を調査した。さらに、3D プリンターにより軍艦島内 30 号棟の模型制作を行った。



図 1.1 軍艦島位置図

## 2. 調査概要

### 2.1 調査対象

今回、軍艦島全域を調査対象とする。しかし、日本最古の鉄筋コンクリートアパートである30号棟に関しては、定期点検の意味から再度調査を実施する。軍艦島の平面図を図2.1に30号棟を写真2.1に示す。



図 2.1 軍艦島平面図



写真 2.1 30号棟

大正 5 年 1916～  
使用目的：下請業者飯場  
構造：RC 造 7F 一部半地下階  
戸数：約 133 戸  
間取：1 K (6 畳＋土間兼台所)  
1F 給与支払窓口  
SB 落水時計店、その他日常食料品店  
4F 松尾工務店食堂、他

## 2.2 調査内容

今回、実施した調査内容を以下に示す。

### ① 軍艦島全域の3D計測・3Dモデル作成

昨年度までに軍艦島内の一部で完成度の高い3D計測・3Dモデル作成を行ったため、その技術を応用し、今回は、軍艦島全域の3D計測・3Dモデルの作成を行った。また、計測データから平面図および等高線図の作成を行うとともに、3Dデータから構造物の稜線抽出を行った。

### ② 定期観測

昨年度の調査（平成22年2月）から約8ヶ月が経過しているため、再度、30号の3D計測を実施し、前回計測したデータと比較することで崩落箇所の特異とその崩落体積を定量的に調査した。また、3D計測結果と写真測量結果から変状図を作成した。

### ③ 3Dプリンターによる軍艦島の模型製作

計測した3Dデータを利用して、3Dプリンターにより軍艦島の3D模型を製作した。

調査のフローを図2.2に示す。今回、3Dレーザースキャナは、到達距離が400m前後の中距離型の機器（Riegl VZ-400）を使用した。使用した3Dレーザースキャナの外観を写真2.2、仕様を表2.1、計測状況を写真2.3にそれぞれ示す。

3Dプリンターは、カラー印刷が可能な機器（Z コーポレーション3Dprinter450）を使用した。使用した3Dプリンターを写真2.4に示す。

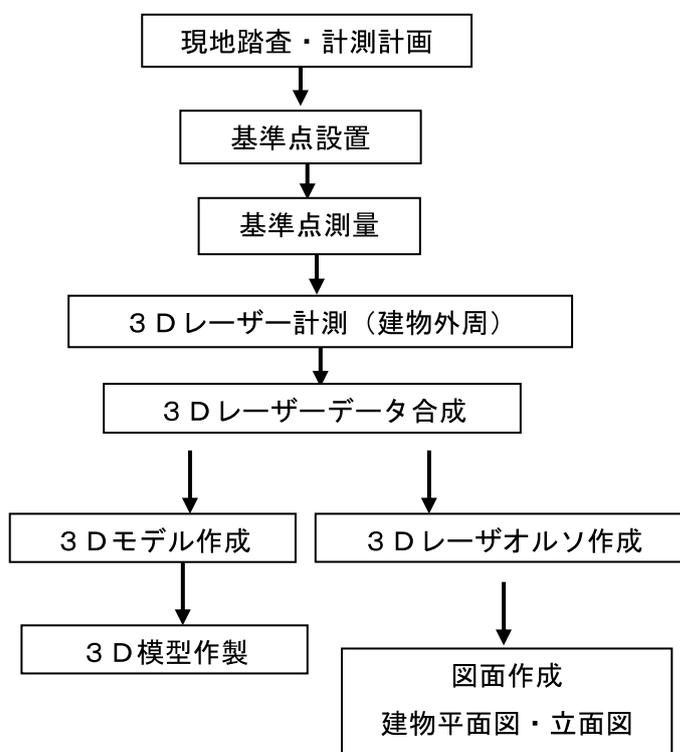


図 2.2 調査フロー



写真 2.2 RIEGL VZ-400



写真 2.3 計測状況

表 2.1 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	
ビーム広がり角レーザー波長	0.3 mrad	
測定方式	Time of flight 方式	



写真 2.3 ZPrinter 450

特徴

- ・カラー機能: 180,000 色 (2 x プリントヘッド)
- ・解像度: 300 x 450 dpi
- ・最小表現サイズ: 0.15 mm (0.006 in)
- ・Z 方向造形スピード: 23 mm/時間 (0.9 インチ/時間)
- ・造形サイズ: 203 x 254 x 203 mm (8 x 10 x 8 インチ)
- ・素材オプション: 高性能複合性素材
- ・レイヤー厚: 0.089 - 0.102 mm (0.0035 - 0.004 インチ)
- ・ノズル数: 604

### 3. 調査結果

今回、軍艦島内全域および30号棟（日本最古の鉄筋コンクリートアパート）に対して3D計測を実施した結果、以下の結果を得た。

#### ① 軍艦島全域の3D計測・3Dモデル作成(図 3.1～図 3.4)

軍艦島内全域の3Dモデルおよび平面図・等高線図の作成ができた。また、3Dモデルから構造物の稜線の抽出ができた。これは、平面図や立面図を作成する際の省力化につながるものと思われる。

#### ② 定期観測(図 3.5～図 3.8)

昨年度の調査から約8ヶ月経過しているにもかかわらず、コンクリートの剥落が3ヶ所で確認できた。また、その剥落した堆積が定量的に確認できた。つまり、3Dレーザースキャナを使用することで、崩落危険度が高い構造物に対して、近づくことなく非接触で構造物の状態を評価することができる。

また、3D計測結果と写真測量結果から平面図および、損傷図の作成ができた。

#### ③ 3Dプリンターによる軍艦島の模型製作(図 3.9～図 3.10)

3Dレーザースキャナ計測結果からデータを加工することで、3Dプリンター出力ができた。

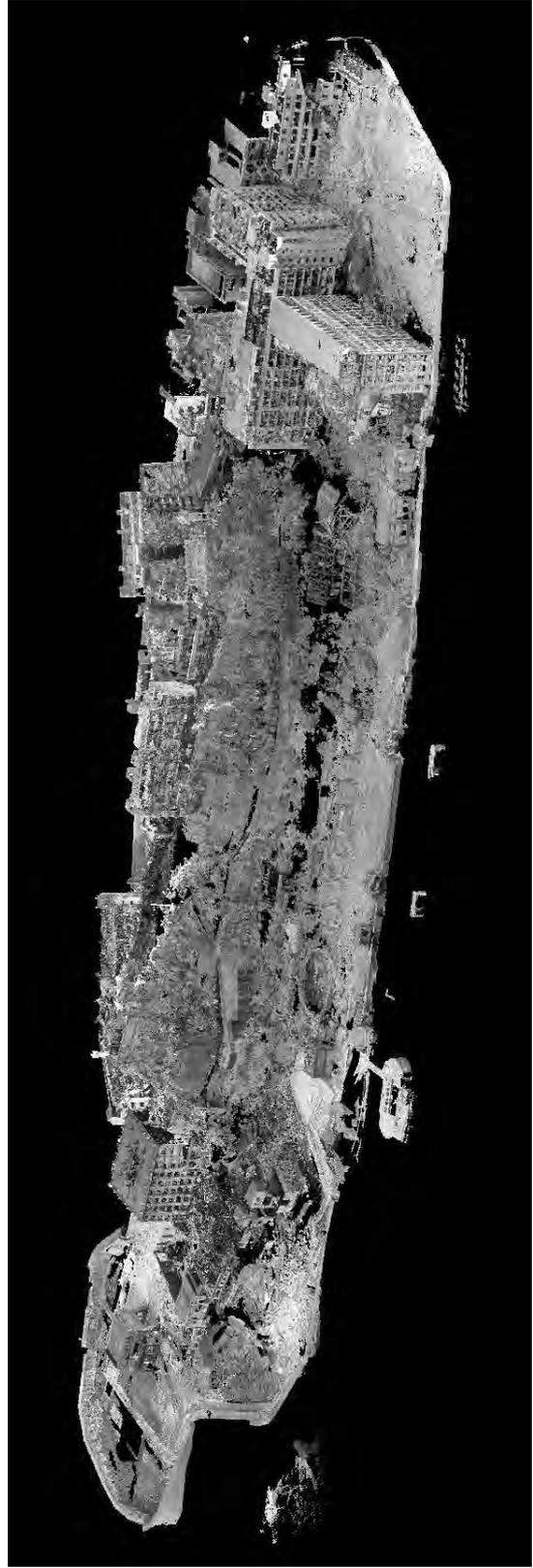
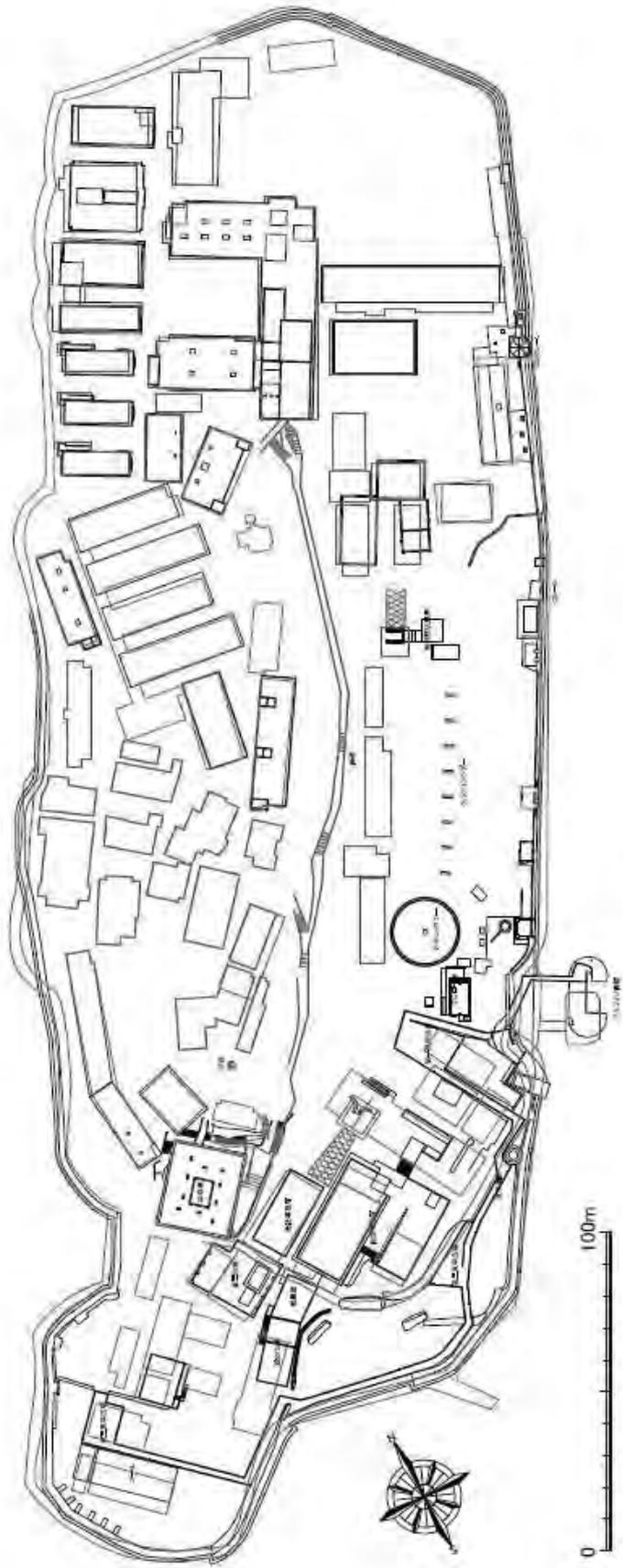


図 3.1 3Dレーザー計測結果



敷地平面図(その1) 1:1500

赤：東京電機大学出版局『軍艦島実測調査資料集』

黒：3Dレーザ計測結果から作成

概ね合致するが 護岸形状など若干ずれも有る。

図 3.2 平面図

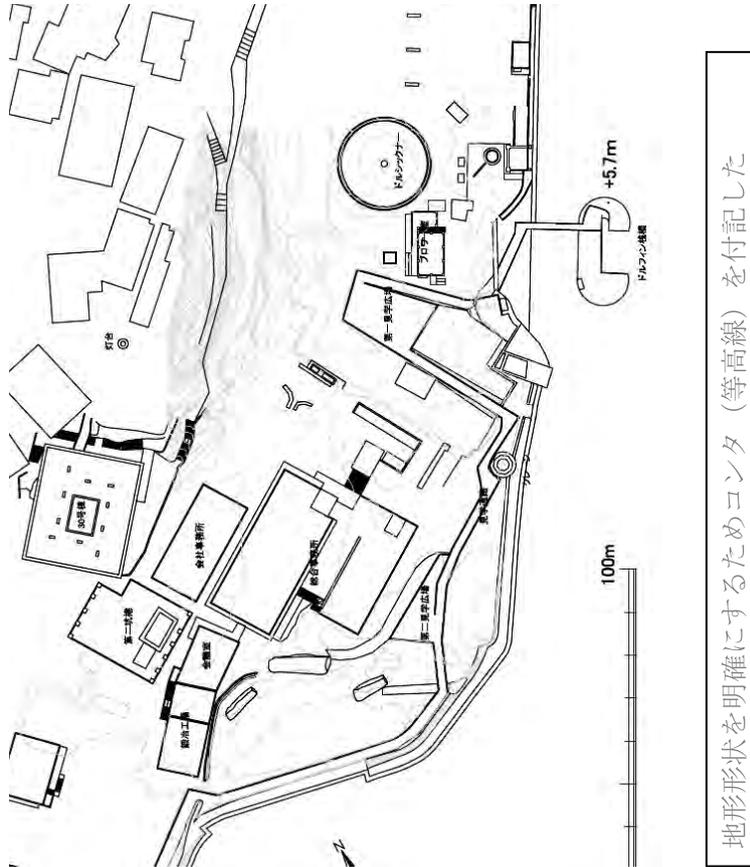
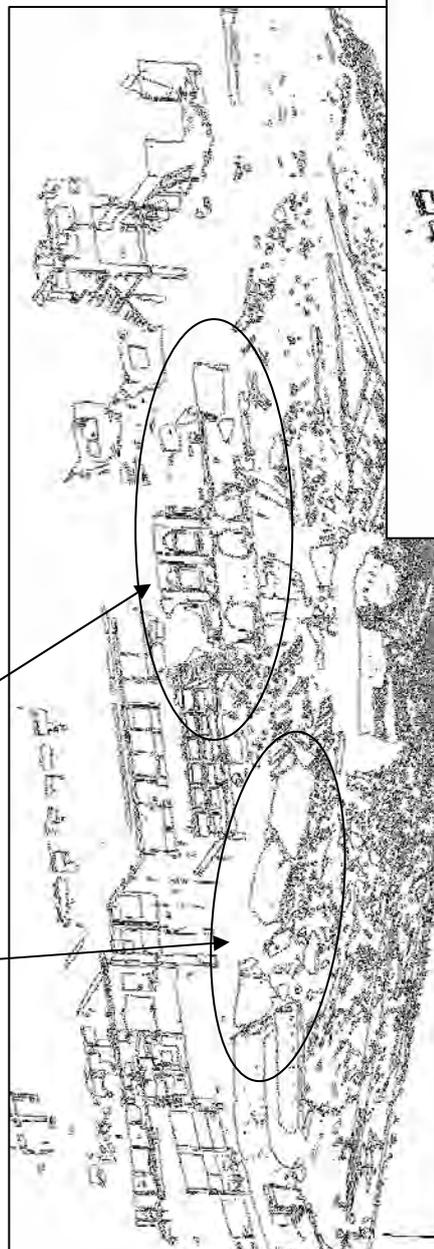


図 3.3 等高線図



三次元であるため任意の方向

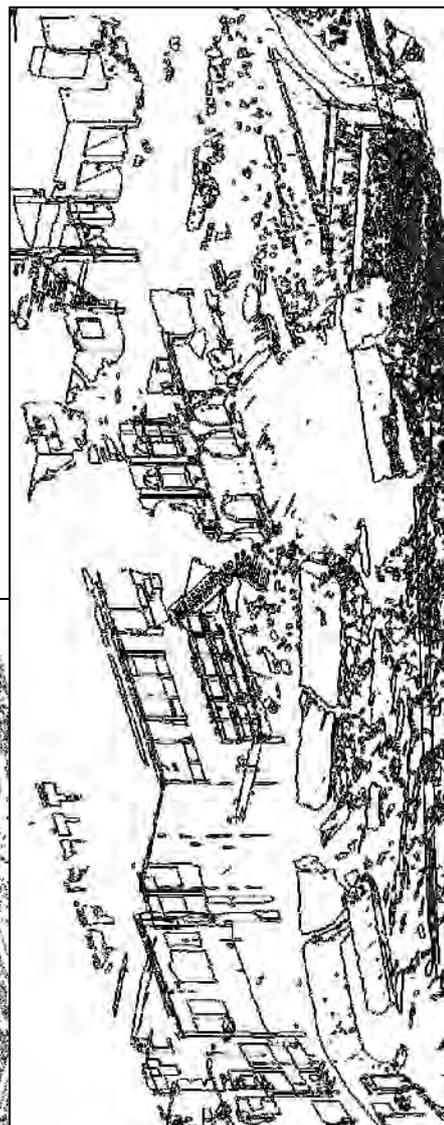
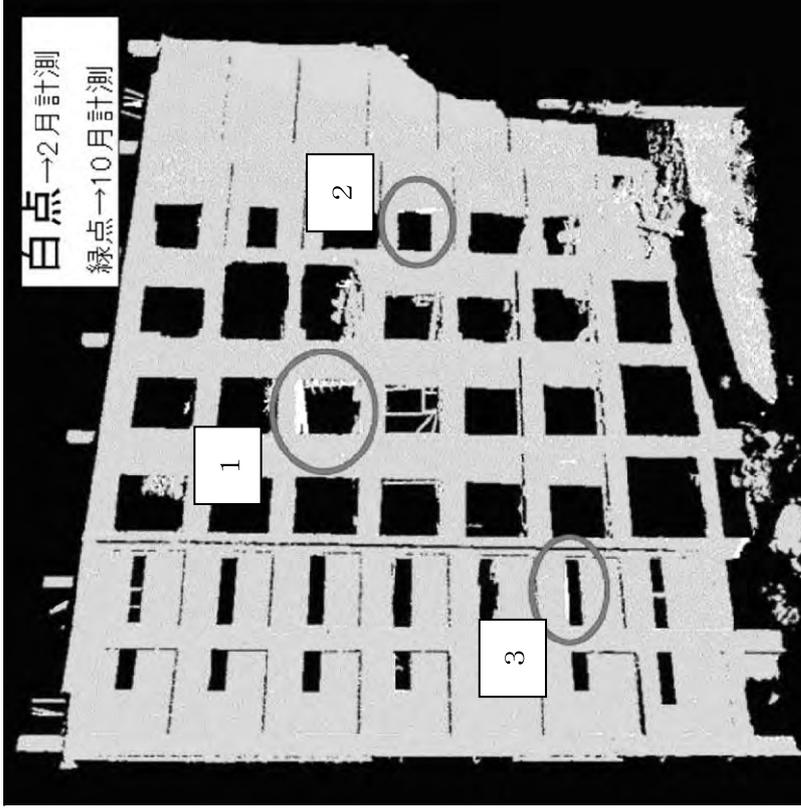
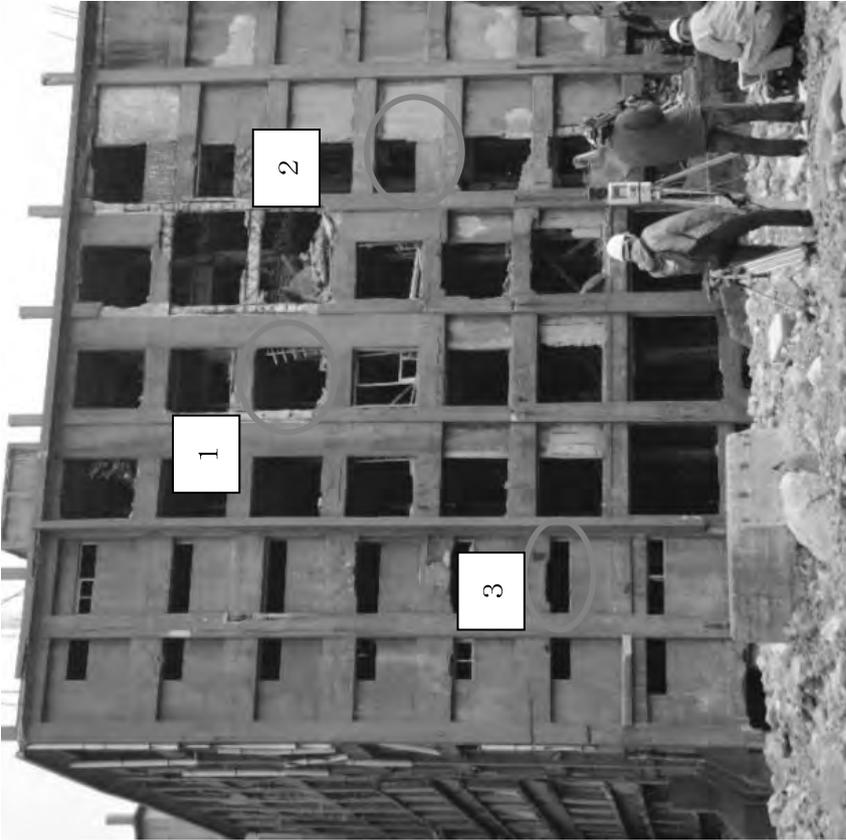


図 3.4 稜線抽出結果



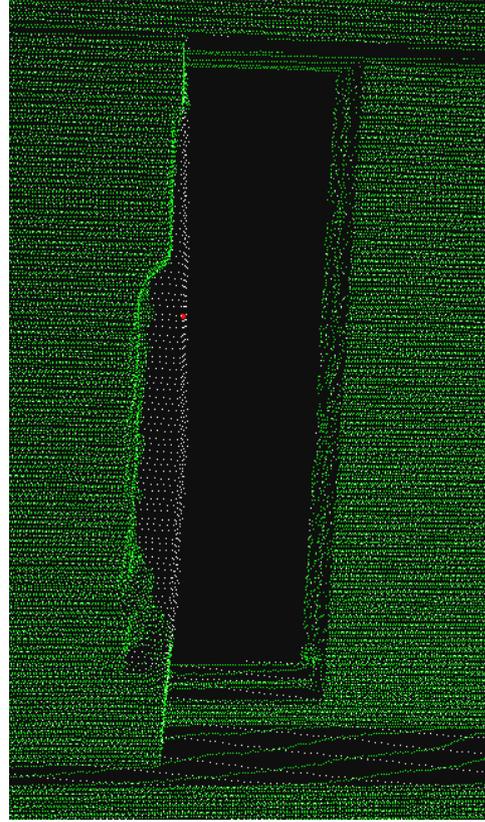
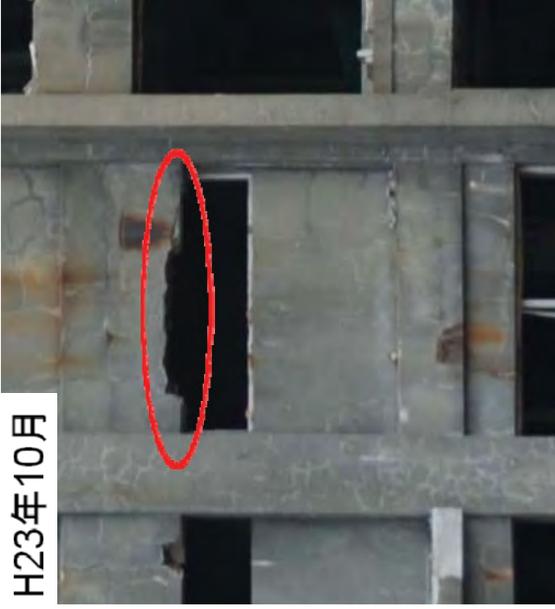
手法：2 時期の点群データの差分より算出  
 結果：1～3 において劣化進行を把握できた。

図 3.5 定期観測結果

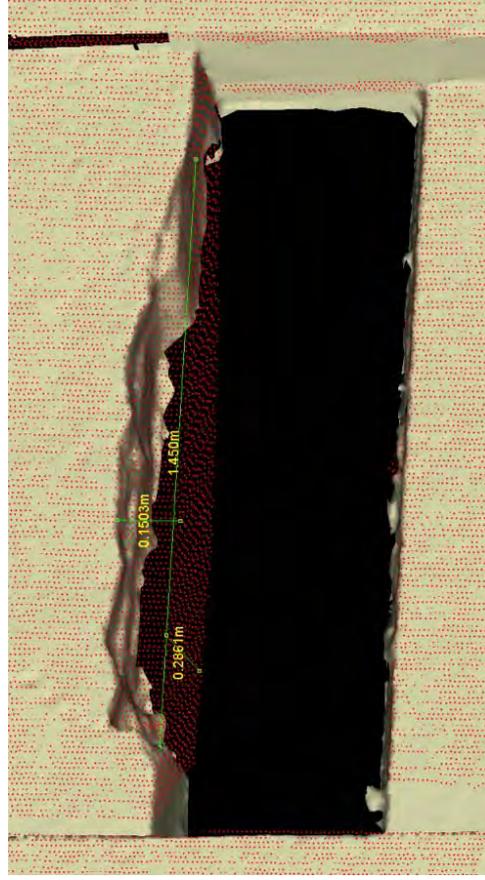
H23年2月



H23年10月



昨年度および今年度の3Dデータの合成データの表示



昨年度の3Dデータと今年度調査時写真の合成

図 3.6 稜線抽出結果

レーザのみでは不明確な部分  
例えばモルタル仕上げが剥がれた部分も  
写真などで明示（細線）

ひび割れ、鉄筋露出部分は赤で明示

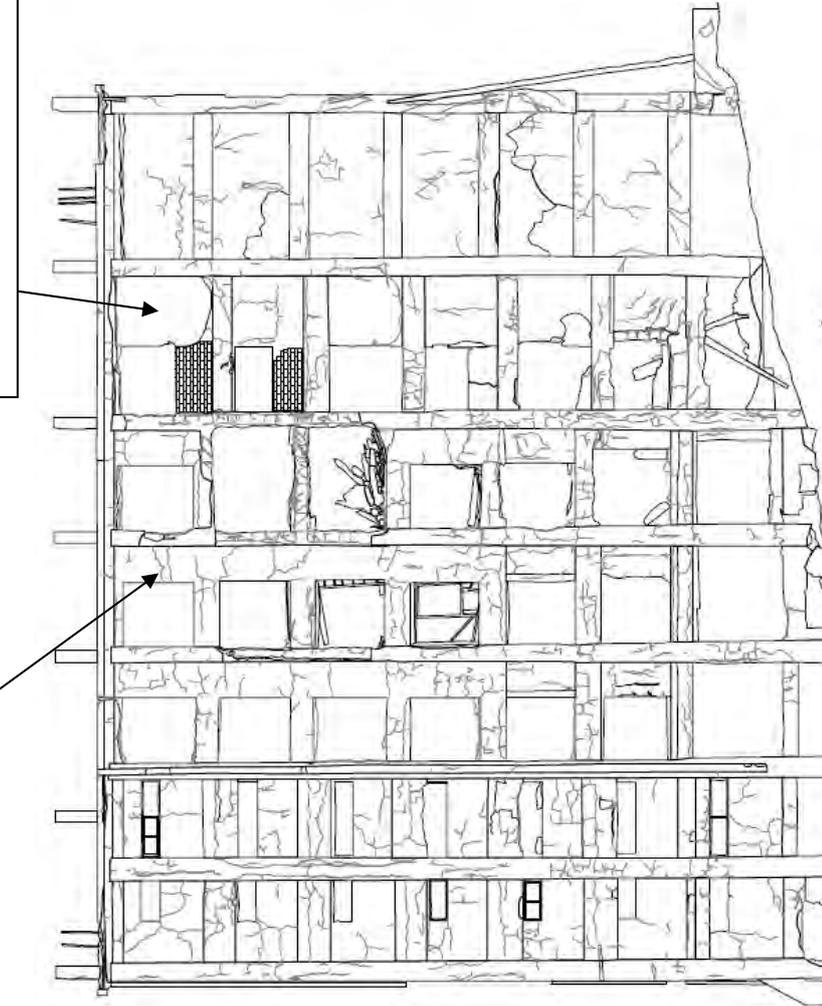


図 3.7 損傷図

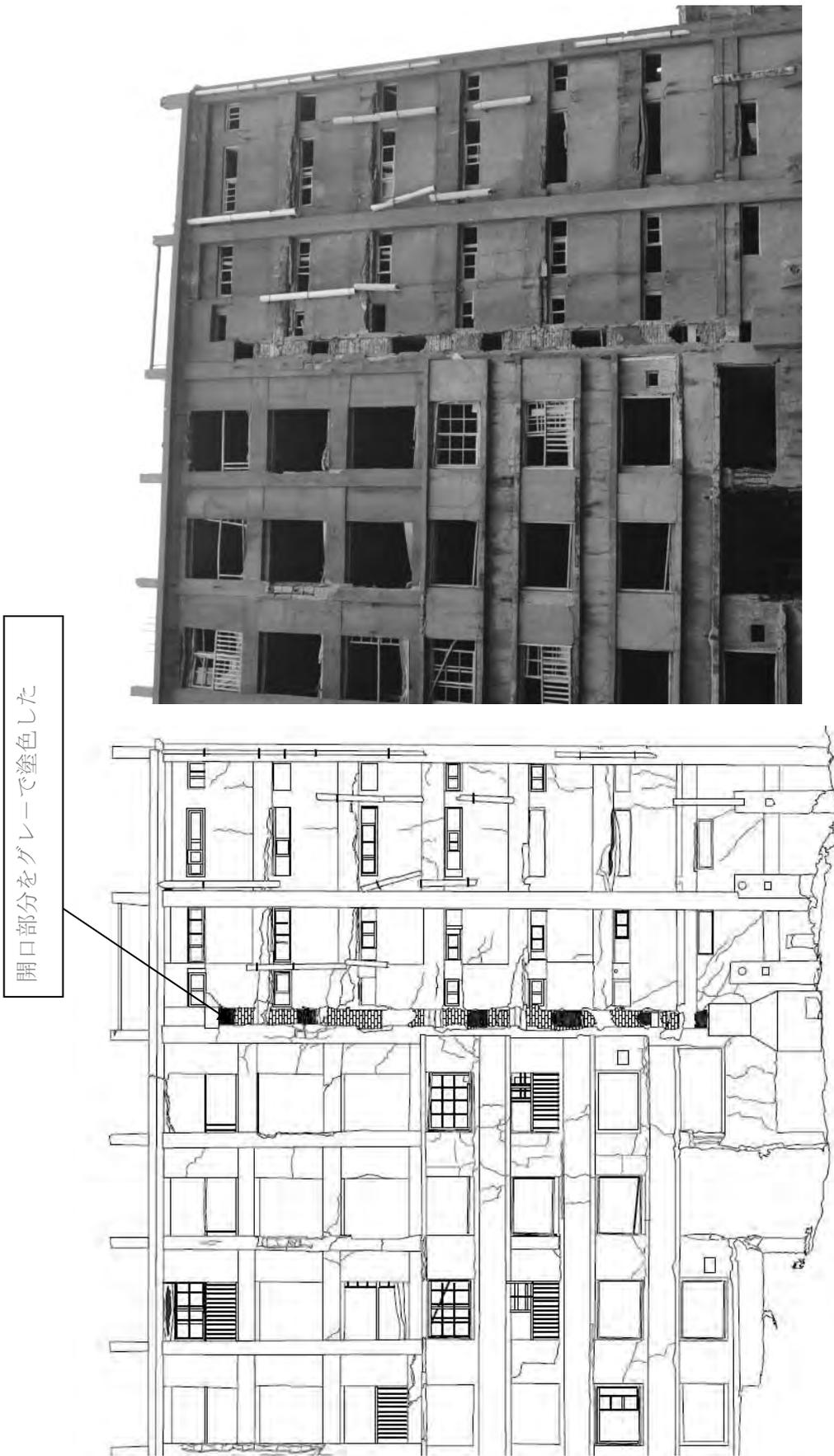


図 3.8 損傷図

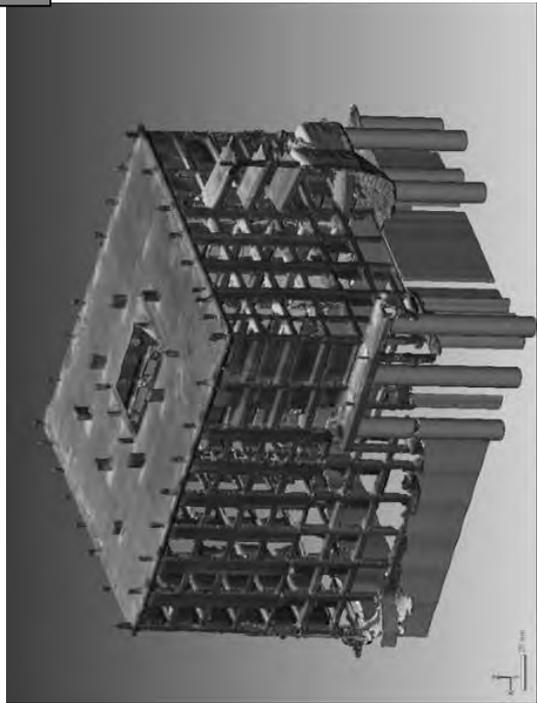
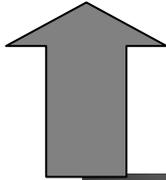
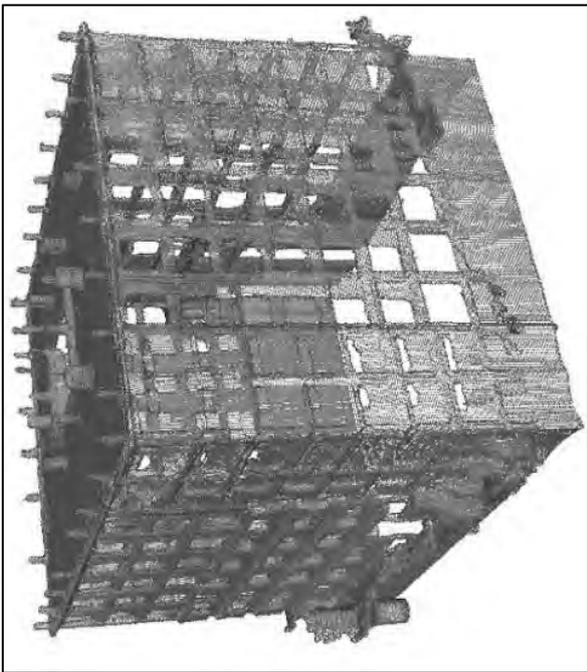
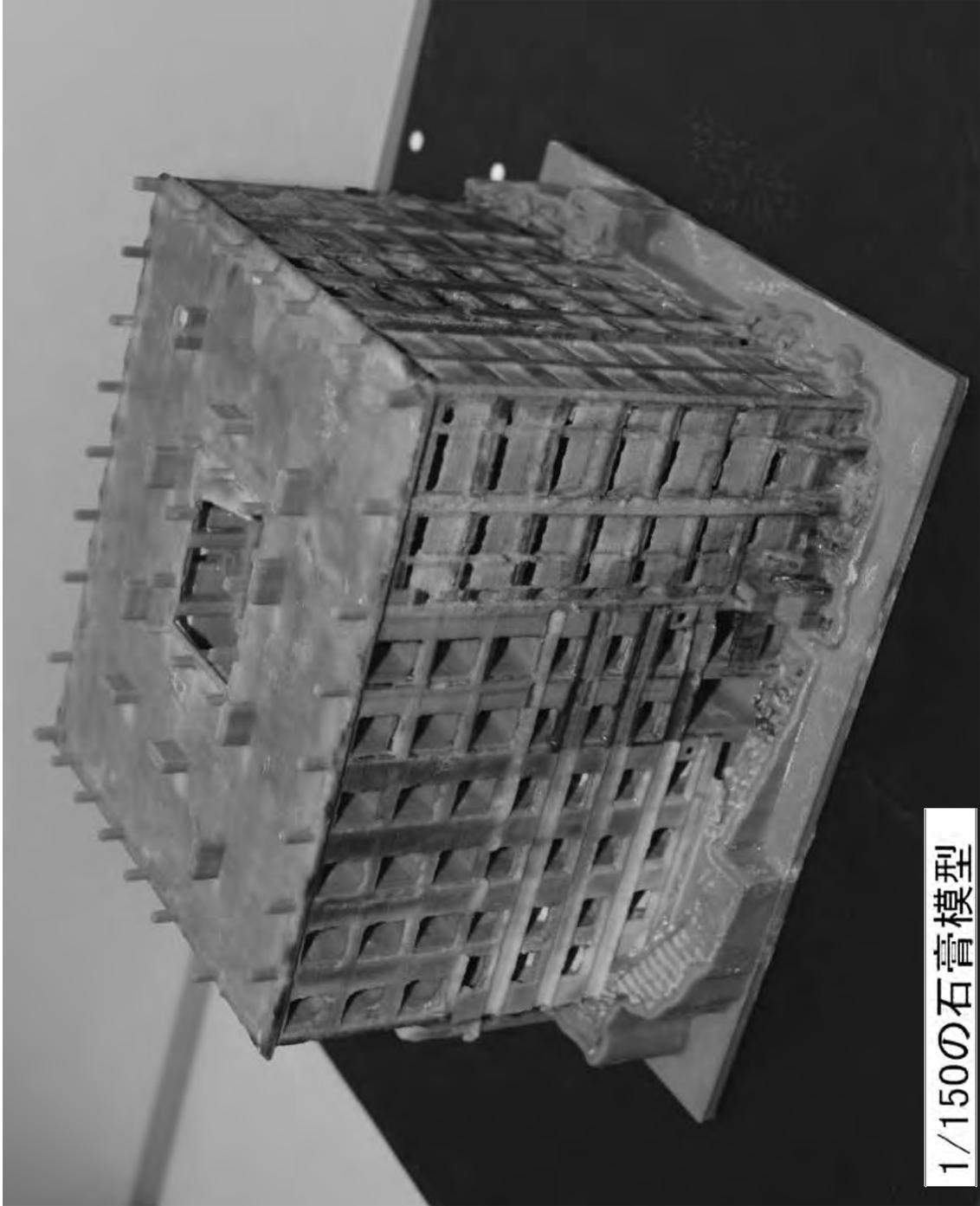


图 3.9 3D 模型作製



1/150の石膏模型

图 3.10 3D 模型

## 歴史的・産業遺産建造物の 3D計測とデータの利活用

長崎大学 工学部 インフラ長寿命化センター  
センター長 松田浩  
(工学部 構造工学科 教授)

## 平和祈念像の3D計測とFE解析

### 長崎平和祈念像の3D計測とFE解析

#### ◆背景 歴史的・産業遺産建造物の保存

(2008年)岩手・宮城内陸地震  
(2007年)新潟県中越沖地震  
(2007年)能登半島地震  
(2005年)福岡県西方沖  
(2004年)新潟県中越地震  
(2003年)十勝沖地震  
(2001年)芸予地震  
(2000年)鳥取県西部地震

・経年劣化、老朽化  
・大地震に対する評価

・コア採取  
・はつりなど → 回避

非接触計測による検査・劣化診断

FEMによる地震応答解析

歴史的・産業遺産建造物 ⇨ 解析モデルの作成  
設計図面なし

### 長崎平和祈念像の3D計測とFE解析

#### 三次元形状計測技術

↓  
・三次元写真計測手法  
・3Dレーザスキャナ  
歴史的建造物の三次元形状計測

↓  
FEMモデル作成

↓  
三次元弾塑性地震応答解析

↓  
耐震性能評価

### 長崎平和祈念像の3D計測とFE解析



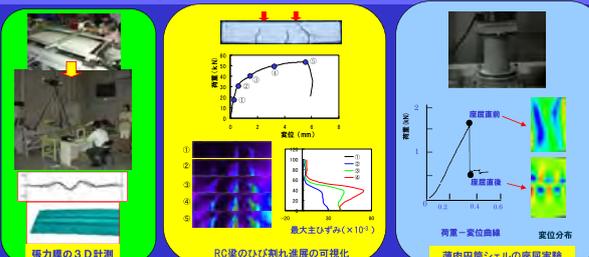
3Dレーザスキャナーによる計測(光レーザ法)

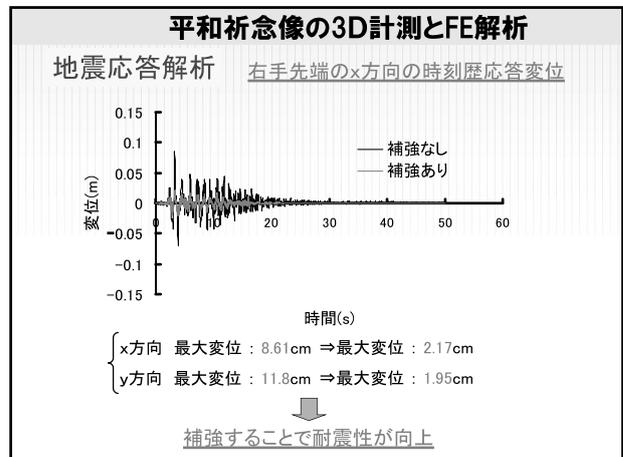
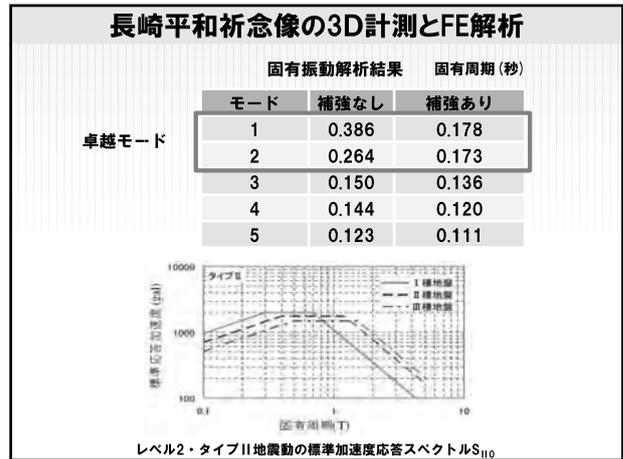
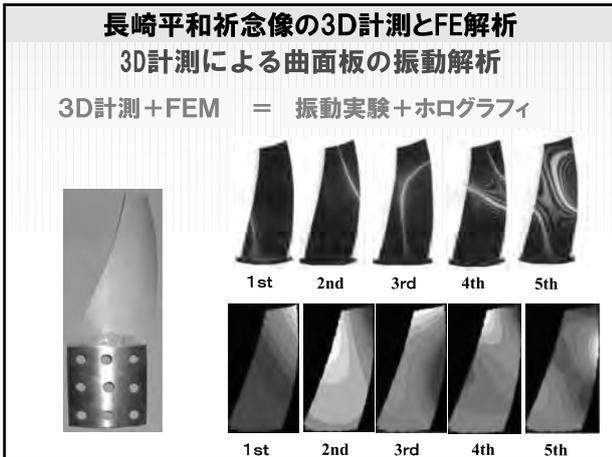


デジタルカメラを用いた3Dデジタル写真計測(ステレオ法)

### 長崎平和祈念像の3D計測とFE解析

#### 光学的手法による非接触全視野計測







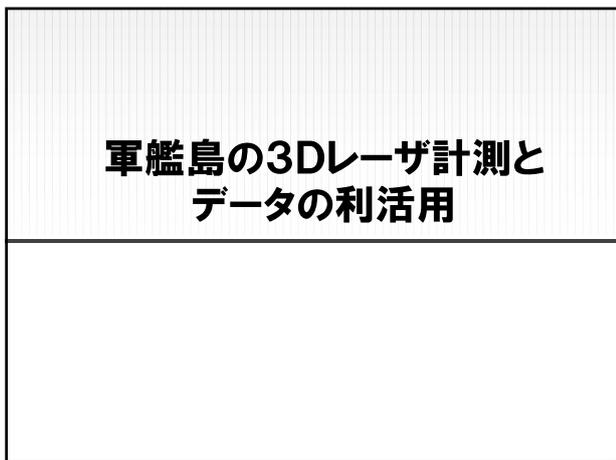
### 平和祈念像の3D計測とFE解析

**常時微動計測** 実振動計測、境界条件同定、構造物ヘルスマonitoring技術

常時微動計測	FE解析		
	境界条件		
	完全固定	弾性支持	
1次	1.22 (1.00)	1.48 (1.21)	1.22 (1.00)
2次	4.46 (1.00)	6.45 (1.45)	4.42 (0.99)

基壇部の3D計測とFEメッシュ作成

FEメッシュ



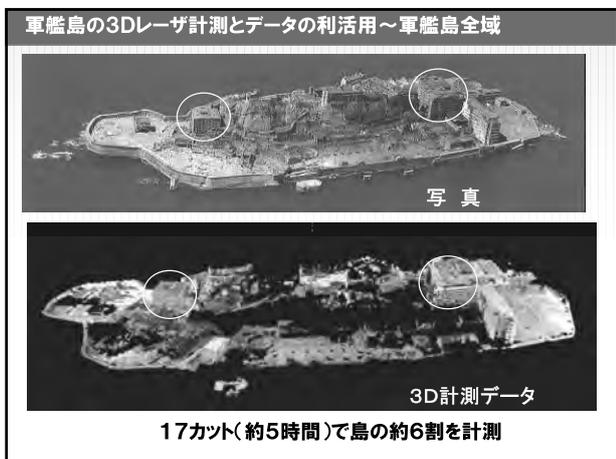
### 軍艦島の3Dレーザ計測とデータの利活用

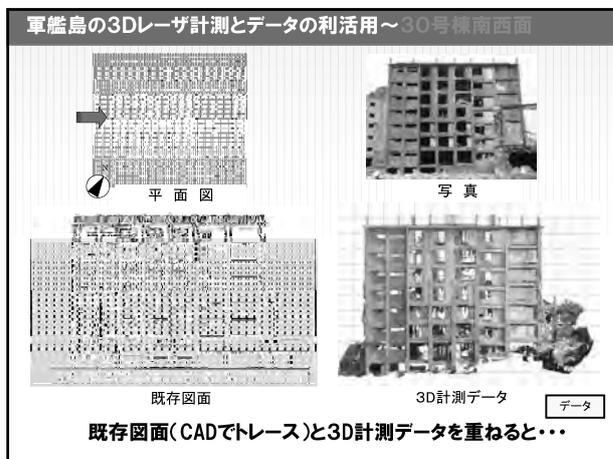
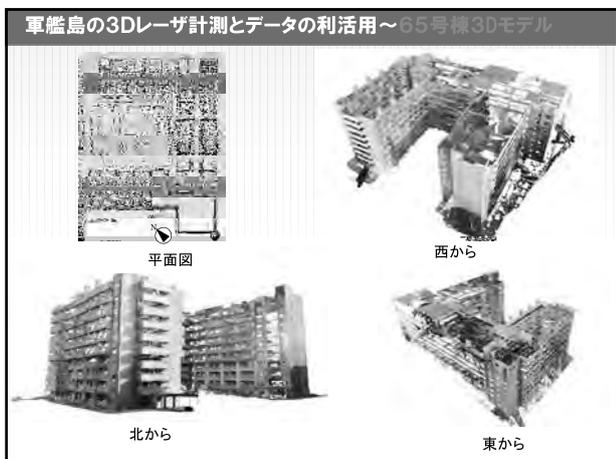
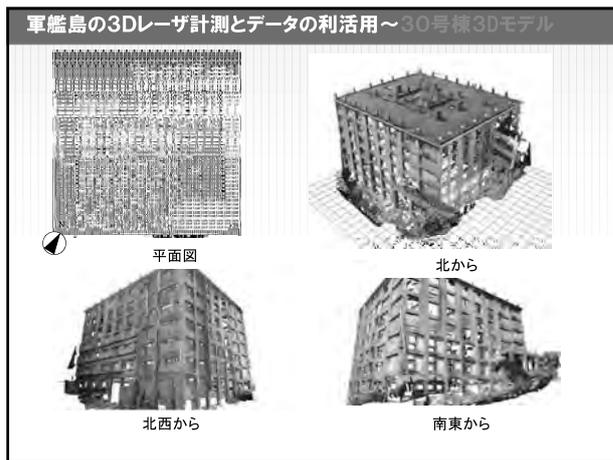
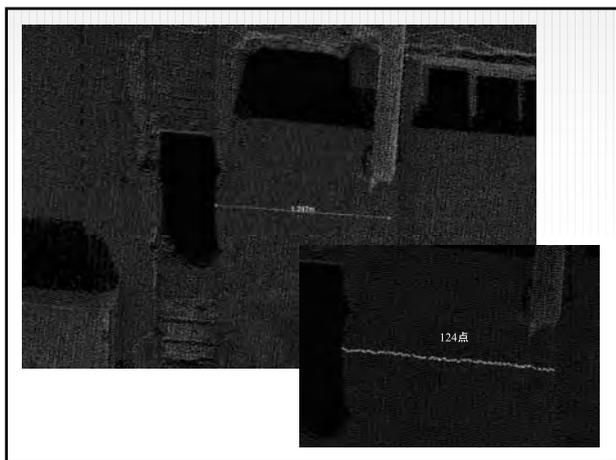
目的: 軍艦島の保存・整備・活用を検討  
 ・3Dレーザによる三次元計測結果と既存図面※と比較  
 ・変状の進行状況の確認  
 → 日本最古RCC造高層アパート30号棟  
 → 島内最大規模アパート65棟

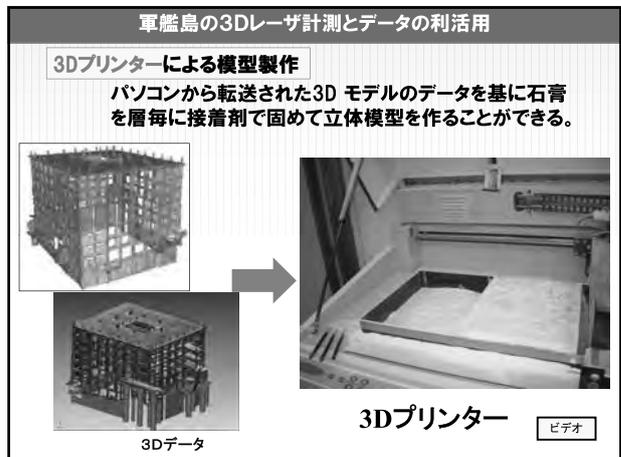
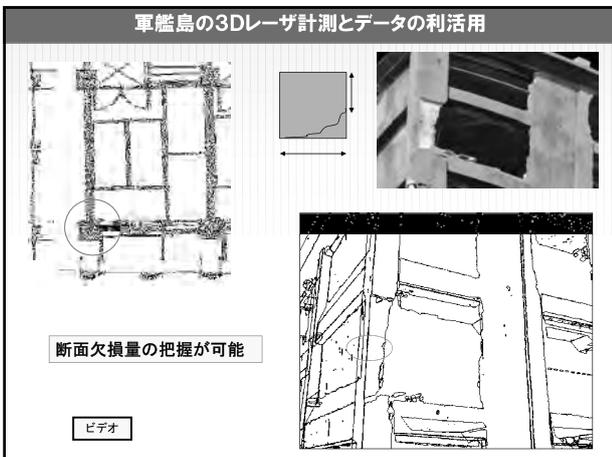
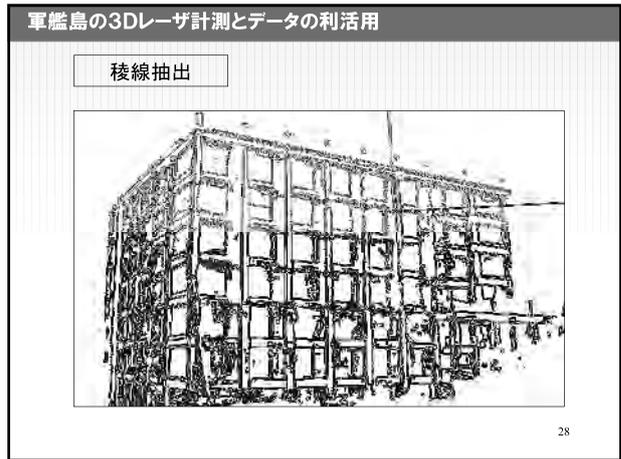
※ 軍艦島実測調査資料集  
東京電機大学出版局  
編著者 阿久井・滋賀

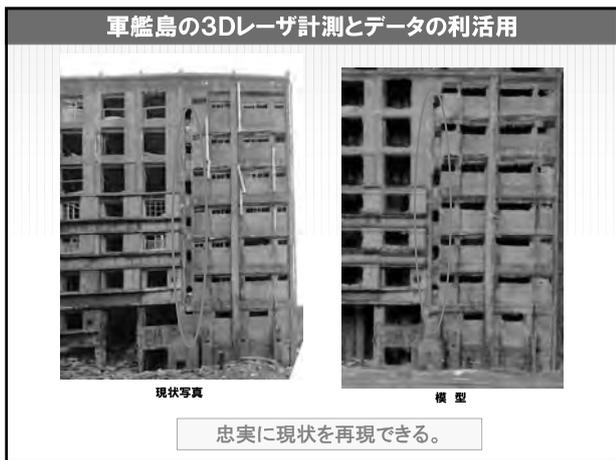
仕様	長距離モード	高速モード
	有効測定レート	42,000回/秒
最長測定距離	600 m	350 m
自然物ターゲットp ≧ 90%	280 m	160 m
自然物ターゲットp ≧ 20%	5 mm	5 mm
精度	3 mm	3 mm
最短測定距離	1.5 m	
レーザー波長	近赤外線	
測定方式	オンライン波形分析	

RIEGL VZ-400









「長崎市文化遺産パネル展～「軍艦島」・教会・・・、世界遺産にむけて」

日時：平成23年度2月22日（火）～25日（金） 開催場所：東京都庁



展示ブース

# 日本の近代化を支えた 産業遺産を3D技術で 未来へつなぐ

## 軍艦島 (長崎県西長崎市端島)



1810年頃石炭が発見され、明治23年三菱が島全体と鉱区の権利を買い取り、本格的な海底炭坑として操業が開始。良質の強粘結炭を採掘し、主として八幡製鉄所に製鉄用原料炭を供給する島として、最盛期には5200人も人口を抱えていましたが、国のエネルギー転換政策の推進に伴い、1974年1月に閉山。なお、日本初の鉄筋コンクリート造高層集合住宅である30号棟が大正5年に建築され、日本近代建築史上特筆に値する重要な文化的遺構であると言われています。

## 3Dレーザ計測



3Dレーザ計測状況 (30号棟) (リーグル社 VZ-400)



軍艦島空撮写真



軍艦島 3Dレーザ計測結果

30号棟、65号棟を中心に3D計測を実施しました。到達距離が400m前後の中距離型の3Dレーザ機器(リーグル社VZ-400)を用いたため、この17箇所からの計測で島の約6割程度を捕捉することができました。



3Dレーザ計測結果

### 65号棟 軍艦島内最大のアパート



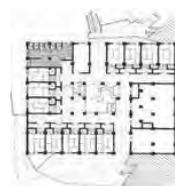
平面図



65号棟

65号棟  
3Dレーザ  
計測結果

### 30号棟 日本最古のRC構造物



平面図



30号棟



30号棟 3Dレーザ計測結果

## 全方位パノラマ歩行撮影

PanoHANDY (ビュープラス社) により、軍艦島内部を360度パノラマ歩行撮影を行いました。これは、歩行者の目線で前後左右360度任意に視線を巡らせながら、軍艦島を回遊するような画像を撮影できるシステムです。まさに歩きながら首を振って見て回っているような体感が得られます。

### 360度全方位カメラ



撮影状況

撮影はGPSを搭載した全方位カメラにより行います。そのため、地図情報と合致させた歩行経路を表示させることも可能です。



## ipadでも操作できます



撮影画像はiPadなどで、自由に操作しながら360度パノラマビューを楽しむことができます。

## 3D レーザ計測

文化財は時を経るにつれて劣化していきます。  
3D座標データを残しておけば、破損して補修が  
必要なときに完全な形に復元することができます。  
また、模型をつくるときなどにも利用可能です。



3D レーザ計測状況



3D レーザ計測データ



3D レーザ計測データ

## 全方位パノラマ歩行撮影

360° 全方位カメラ



撮影状況

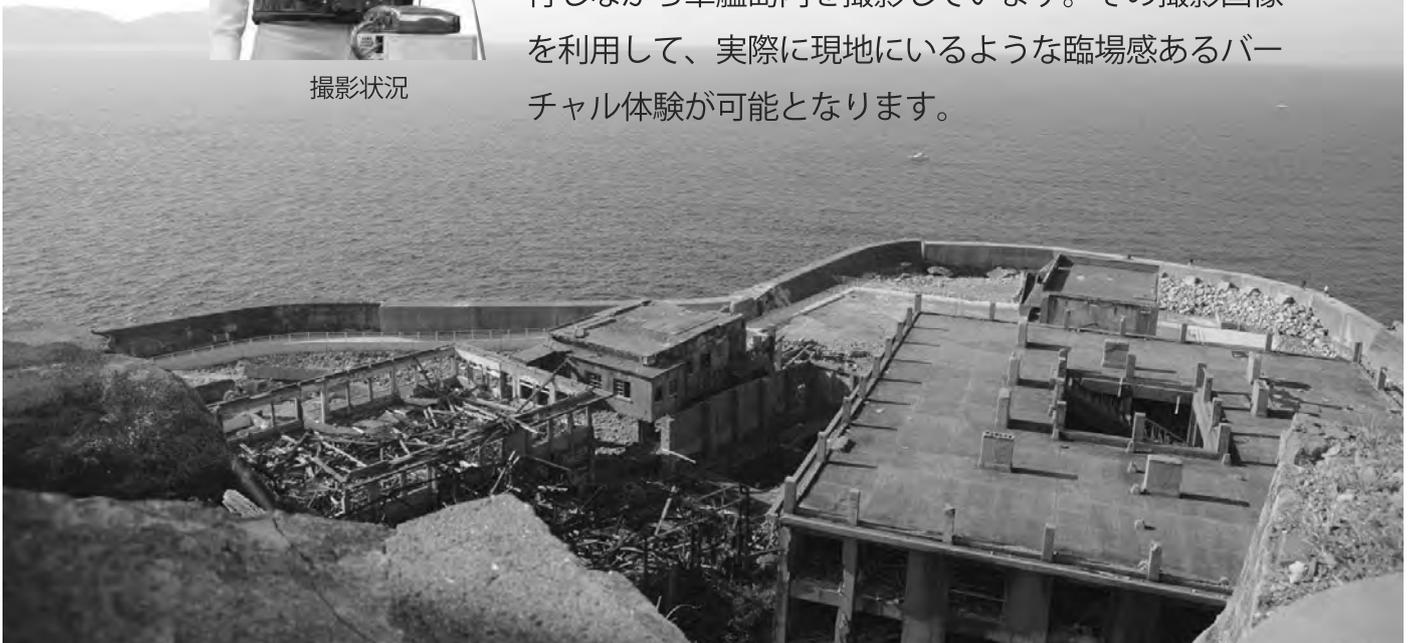


撮影状況



360° パノラマ画像

360° 全方向を同時に撮影できるカメラを用いて、歩  
行しながら軍艦島内を撮影しています。その撮影画像  
を利用して、実際に現地にいるような臨場感あるバー  
チャル体験が可能となります。



ipad で

# 軍艦島の 3D 体験 をしてみましょ

左の  
ipad



## 360° パノラマ画像を体験

■体験できるデータ一覧

	データ名	データ内容
パノラマ画像	①Gunkan Theater (50th Bldg)	映画館の内部
	②Gunkan Seaside (51th Bldg)	51号棟の外観
	③Gunkan School Room(70th Bldg)	70号棟の内部
	④Gunkan 30th Bldg	30号棟の外観
パノラマ動画	⑤Gunkan Video 25th & 31th Bldg	25号棟の内部～
	⑥Gunkan Video Theater (50th Bldg)	映画館の外観～
	⑦Gunkan Video School Room(70th Bldg)	70号棟の内部～

右の  
ipad



## 3D レーザデータを体験

■体験できるデータ一覧

データ名	データ内容
⑧Gunkanjima1	30号棟
⑨Gunkanjima2	65号棟
⑩Gunkanjima3	軍艦島全体

回転  
移動



拡大  
縮小



ipad  
操作方法



軍艦島全体図

