

What is the "MICHIMORI" ?

■ MICHIMORI means the ...

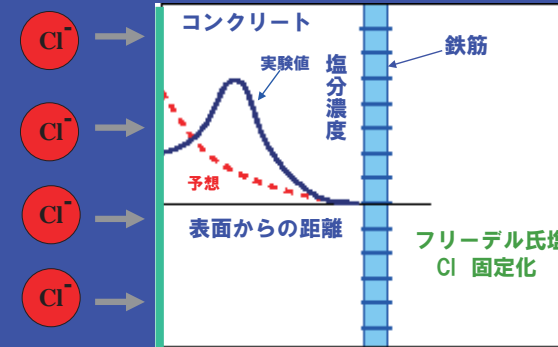
- Human resource development system
- Certified engineer or citizen who contributes toward maintenance of infrastructures



4 光学的計測法

1980年 九州工大 コンクリート研究室 卒論テーマ

- PC板埋設型枠を用いたRC床版の疲労試験
- 海砂使用コンクリートの塩分量測定
- 高強度コンクリートのワーカビリティ
- PCT工法によるPC桁の補強工法 → 骨組解析
- 高炉&転炉スラグコンクリート
- 静的破碎剤を用いたコンクリートの解体



20年後(2000年8月)

- 大城先生(琉球大)

海砂使用コンクリートの塩分量測定

長崎大 1982~

1. 非線形FEM解析

- 1) アーチ、板、シェル
の非線形解析 **離散的近似解法**
- 2) 積層板・シェル、非線形解析、**軽構造研究所 Stuttgart大学(1989-1990)**
- 3) **コンクリート構造の非線形FEM解析**
異種材料による補強RCはり(PIC, 鋼板, CFシート)
- 4) **超耐久性PC鋼より線のフレッティング疲労**

2. 光学的全視野計測

- 3D形状計測 (3Dレーザースキャナ、3Dデジタル写真計測)
- 変位・ひずみ計測 (ホログラフィ干渉、スペックルパターン干渉、デジタル画像相関法)
 - 1) 曲面の固有振動数 (3D計測+FEM+ホログラフィ)
 - 2) 膜構造のリンクル計測
 - 3) 切欠き・有孔板の引張試験
 - 4) コンクリート打継部の表面粗度と付着せん断強度
 - 5) RCはりの曲げ・斜めひび割れ
 - 6) コンクリートの硬化収縮挙動
 - 7) 平和祈念像の3D計測とFEM解析

科学研究費

(1990-2020)

研究種目	代表分担	期間	研究課題
基盤A	分担	2019-2021	高速視覚を用いたハイパー振動スペクトルカメラの研究
基盤B	代表	2017-2019	光学的計測法を用いた仮設足場不要な効率劣・低コスト橋梁健全度診断手法の開発
基盤S	分担	2016-2020	歴史的建造物のオーセンティシティと耐震性確保のための保存再生技術の開発
萌芽	代表	2014-2015	光学的手法による仮設足場を設置しない低コストな海洋渡海橋の外観点検システム開発
基盤B	代表	2012-2014	光学的計測技術によるインフラ構造物のマイクロ・メゾ・マクロレベルの劣化・健全度評価
基盤B	代表	2009-2011	光学的手法によるリアルタイム非接触振動計測法の開発と非破壊検査への応用
基盤B	代表	2007-2008	光学的非接触全視野計測法による建設構造物のマルチスケール損傷診断法の開発
基盤B	代表	2005-2006	光学的全視野計測技術による建設構造物の劣化・変状メカニズムの解明と診断法開発
萌芽	代表	2004-2004	3Dレーザー及びスペックル干渉を用いた光学的手法による全視野変位・ひずみ計測
基盤B	代表	2002-2004	3D形状計測とホログラフィ干渉計測による膜・シェルの構造特性と非破壊検査への適用
萌芽	代表	2001-2002	スペックルパターン干渉法によるコンクリートの硬化・劣化過程の全視野歪計測
基盤B	代表	1999-2000	3次元形状計測による境界適合型3次元ソリッド・シェル複合解析システムの開発
基盤C	代表	1999-2000	連続鋼合成桁中間支点部の負荷領域におけるRC床版の設計法に関する研究
基盤B	代表	1995-1997	高耐久性埋設型枠接合部をひびわれ誘導目地としたRC構造物のひびわれ解析
奨励	代表	1994	プレストレストタイドアーチ構造の耐荷力特性に関する研究
奨励	代表	1992	偏平シェル構造の極限強度特性に関する基礎的研究
奨励	代表	1991	面内曲げと圧縮力を受ける矩形板の耐力と変形に関する実験的および解析的研究

Non-Destructive Testing in Civil Engineering 2003

BAM : Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

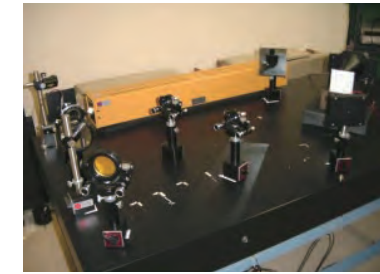
Optical Methods

- The use of laser-interferometry (ESPI) in analysis of reinforced concrete structures
J. Hegger, S. Guetz, J. Niewels (RWTH Aachen)
- Analysis of the crack characteristics under shear load of reinforced concrete structures by using photogrammetry
J. Hegger, S. Guetz, F. Haeusler (RWTH Aachen)
- Strain Analysis of solid wood and glued laminated timber constructions by close range photogrammetry
B. Franke, S. Hujer, K. Rautenstrauch (Bauhaus-University Weimar)
- Laser-induced breakdown spectroscopy for on-site determination of chloride in concrete
G. Wilsch, D. Schaurich, F. Weritz, H. Wiggenhauser (BAM-Berlin)

光学的手法による非接触全視野計測



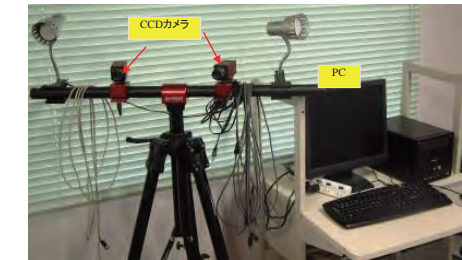
3 D 形状計測装置



ホログラフィ干渉計測装置

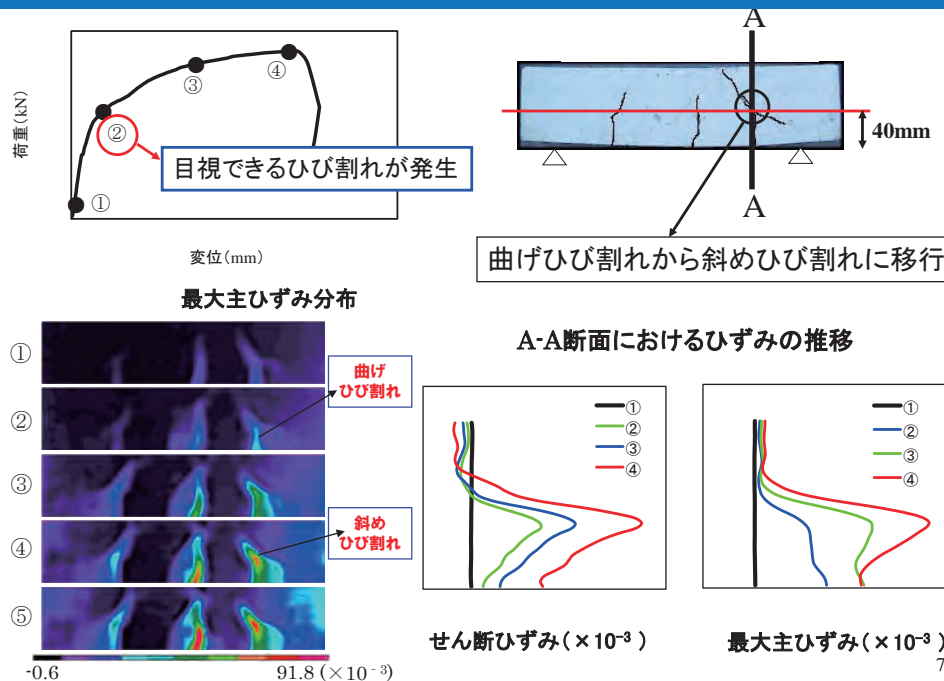


スペckル干渉計 (ESPI)

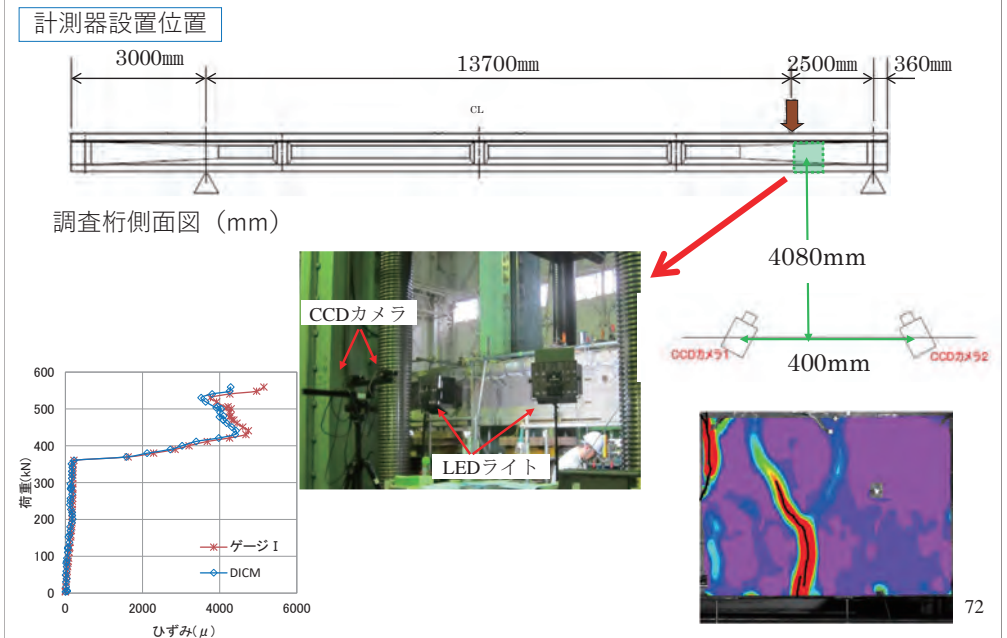


3 D デジタル画像相関法

① RCはりの全視野計測 (ESPI)

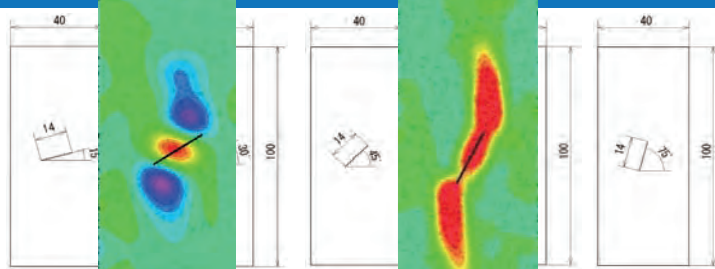


②撤去PCT桁の曲げ載荷試験 (3点曲げ)



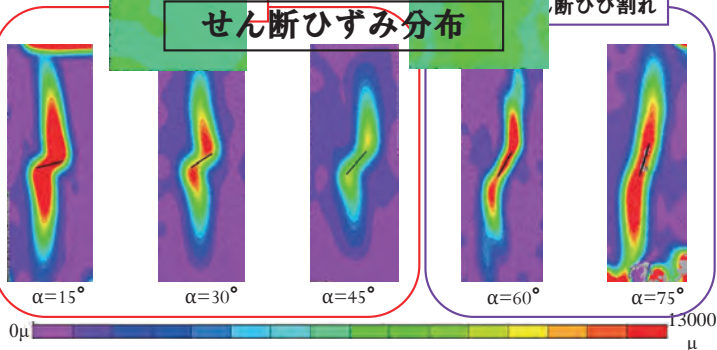
③

有する石 圧縮試験



せん断ひずみ分布

断ひび割れ



最大主ひずみ分布

④コンクリート打継部の付着性状

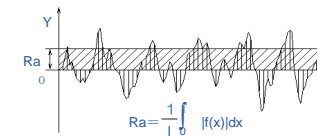
- プレキャストコンクリート構造物打継部
- 劣化したコンクリート構造物の補修

新旧コンクリート構造物の一体化処理

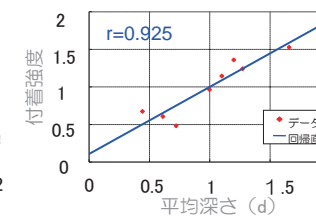
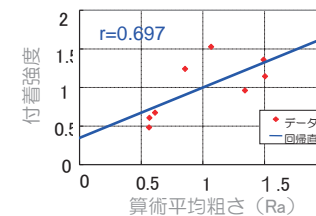
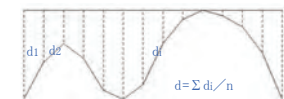
凸凹の程度について明確な規定はない

- Atype 型枠面押付け
- Btype ブラッシング処理
- Ctype チッピング処理
- Dtype 遅延剤処理
- Etype エアセル処理
- Ztype 一体試験体

算術平均粗さ (Ra)



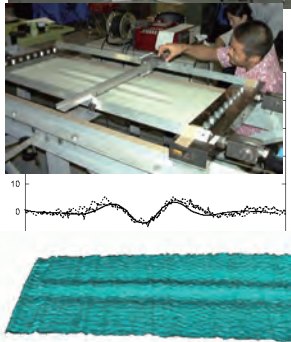
平均深さ (d)



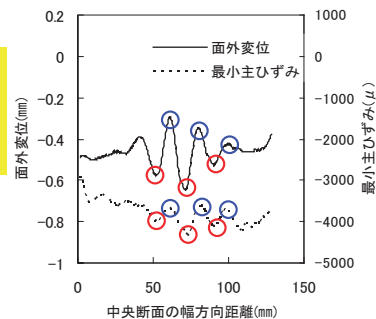
⑤膜構造のリンクル計測・解析

矩形張力膜のリンクル発生過程のひずみ測定

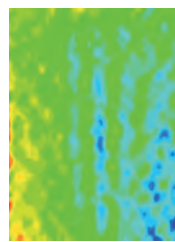
建築分野



宇宙分野



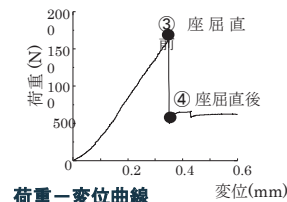
三次元形状



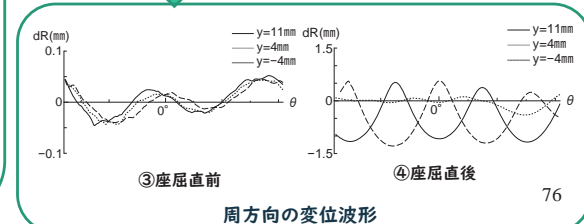
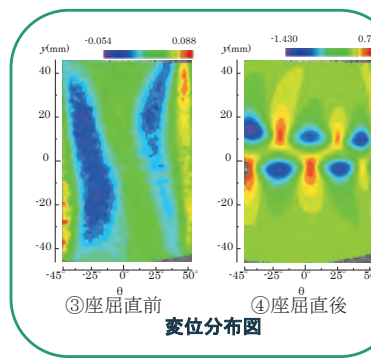
最小主ひずみ分布

⑥薄肉円筒シェルの座屈挙動計測・解析

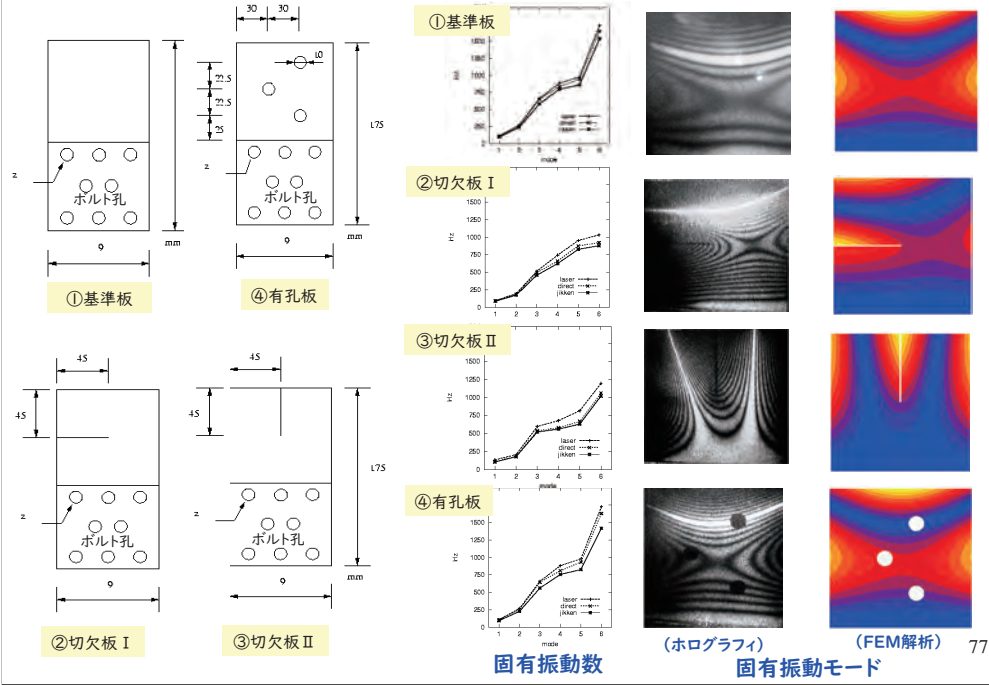
軸圧縮による円筒シェルの座屈形態



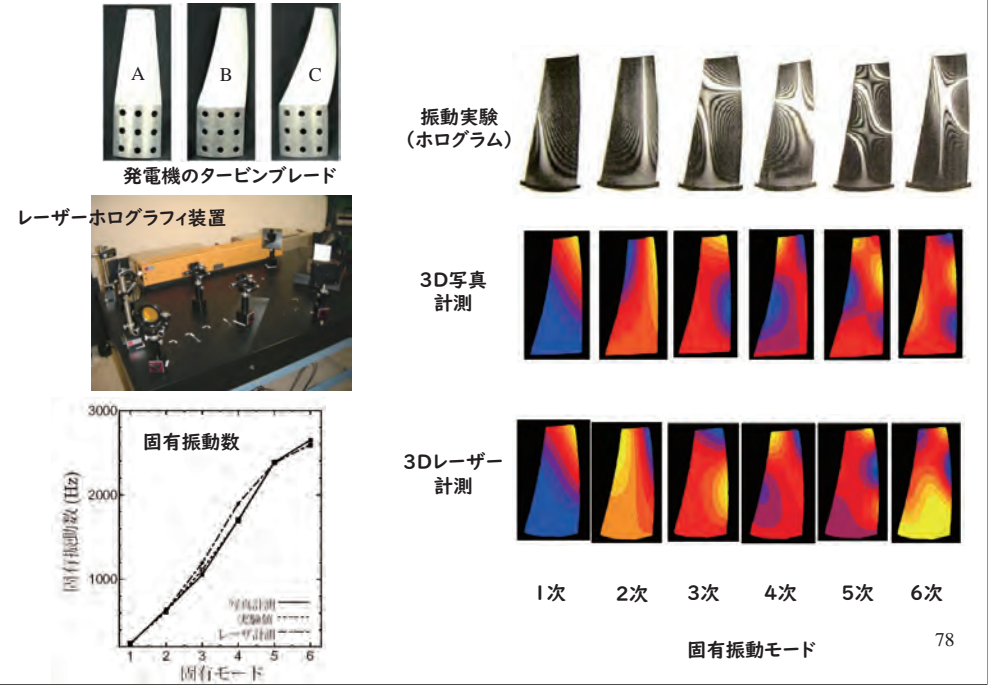
ダイヤモンド型座屈は1次座屈直前の周方向変形に依存



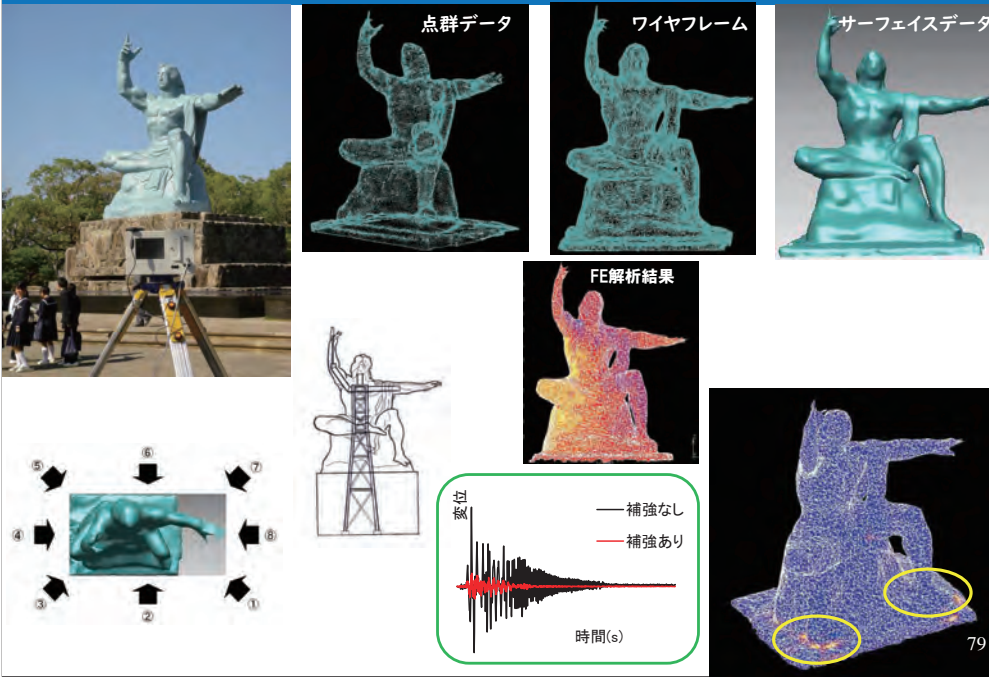
⑦異方性CFRP複合材の振動計測及び欠陥検知



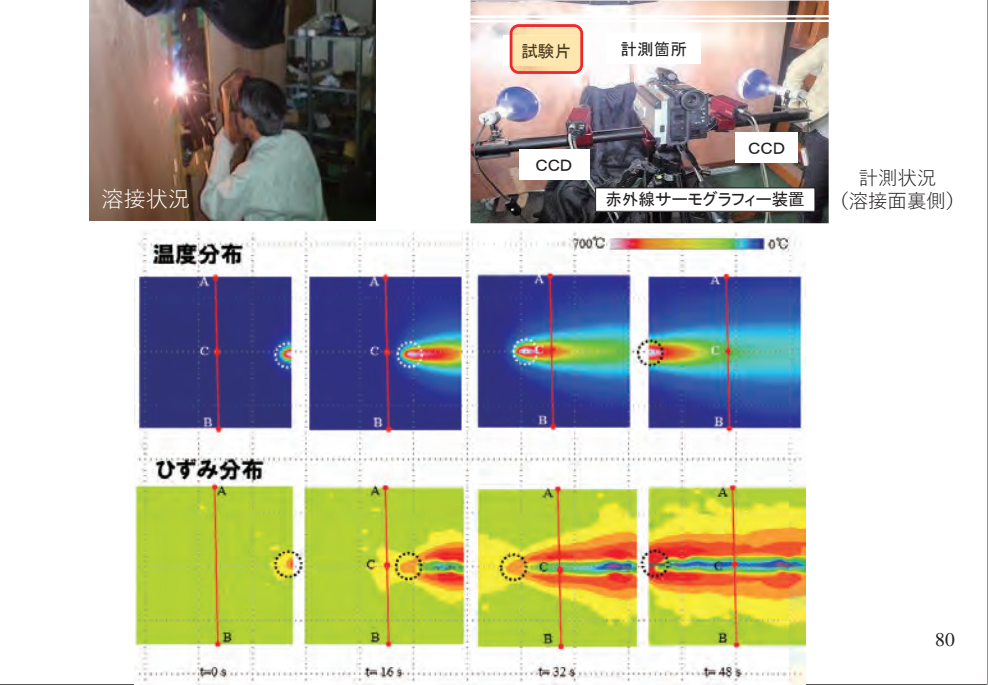
⑧3D形状計測とFEM+ホログラフィ



⑨平和祈念像の3次元計測とFEM解析



⑩鋼部材の加熱・冷却過程におけるひずみ分布



5 光学的計測法による新しい橋梁点検法

国土交通省 建設技術開発研究助成

老朽化 メンテナンスの欠如により起因する人災

少子高齢化、人口減少に伴う自治体の財政難、技術職員の不足

目視点検 → 近接目視

- 海洋渡海橋 : 仮設足場を設置しないと目視点検ですら容易でない
- 跨線橋、跨道橋 : 仮設足場を設置できない、遠望目視は精度が悪い
- 市町村の橋梁 : 財政難・技術者不足 → 点検が困難

維持管理手法の抜本的なイノベーションが必要

イメージング技術を用いたインフラ点検システム開発

- ▶ ひび割れ・き裂、たわみ等を判別・計測できるデータ処理法
- ▶ 撮影時の位置ずれを補正し、3Dもわかる画像解析手法
- ▶ Asbuild3D橋梁モデルを用いた維持管理システム

**仮設足場を必要としない精度・経済性・安全性に優れた新しい橋梁点検手法
実証試験を実施し有効性と有用性を検証し、提案計測手法の標準化**

軍艦島の丸ごと3D計測

軍艦島の調査

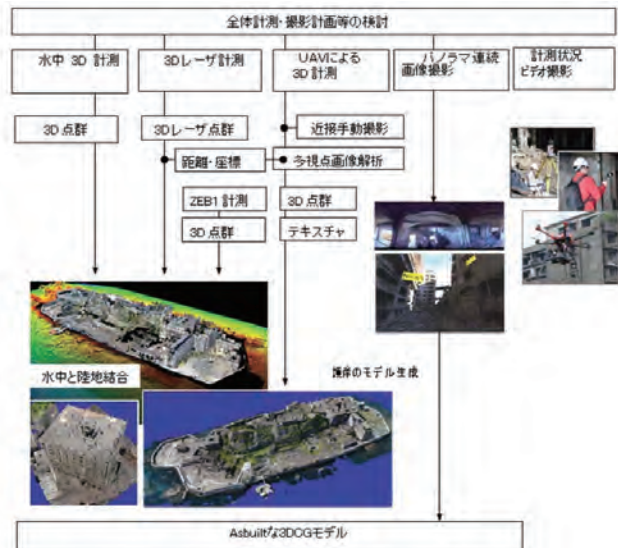
平成21年度工学部内
萌芽研究補助経費

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

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

端島遺構状況記録調査(長崎市委託事業) (H26.2~H26.6)



ISSN 0912-1925
日本風工学会誌 Vol.49 No.1 (No.176)
Wind Engineers, JWE

特集 屋外で測る(変位・変形)

土木工学分野における光学的計測法の活用事例
Application of Optical Measurement Methods in the Field of Civil Engineering

松田 浩¹⁾
Hirosi MATSUDA

1. はじめに
長崎大学工学部では、2007年1月に、道路などのインフラ構造物の長寿命化に関する研究を行うとともに、自治体への技術支援・協働活動ならびに学生の教育支援をミッションとして、インフラ長寿命化センター(以下インフラC)を設立した。科学技術を活用した地域再生に資するため、地域の大学が長崎湾や地元自治体と連携し、地域のインフラ整備に対するニーズに即した人材育成の重要性を認識するために、①地域住民の協力(国守義経橋)と②近接目視(光学的計測法)の活用を活動方針として掲げて活動している。

2013年12月の種子トンネル天井破損事故後、インフラ長寿命化基本計画が策定されるとともに、5年に一度の定期点検が開始された。定期点検は設計に入力されたデータを参照すると、地方自治体管理の橋梁のメンテナンスに即して、最新先端技術の社会実装が進んでいないという課題がある。高精度測定方法やその精度向上が重要とされており、測定した結果を用いての総合的な橋梁の診断にまで進んでいるのが一環である。

筆者らも、光学的計測法を用いての高精度化を図ることで橋梁の維持管理に活用している前に際して思ったことは、老朽化が進んでいく中で「安全確保はできるか?」「信頼はしないだろうか?」「運行止めはタイムリな?」「撮影や実装、その判断基準は?」等の課題に対して明確に解決していく手はないということだった。そのため、その解決の前提条件として、最終的には十分な高精度化による精度の向上を模索し、実証・実用化を図

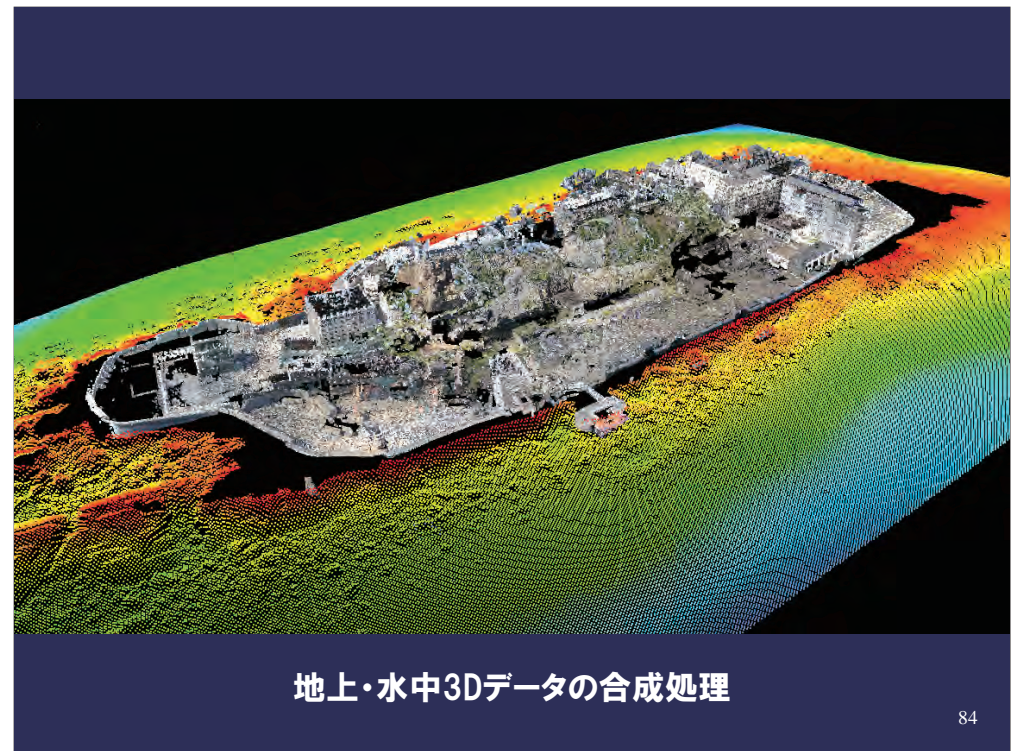
2. 実験レベルでの光学的計測法の活用事例
実験レベルで使用した光学的計測法による詳細調査を図1に示す。光計測装置は高精度、高解像度、非接触計測が可能で、現在、国産・市販されている光計測に基づく計測装置を用いて、建設工学の現場における計測・実用化において、変位・距離・歪計測を実現し、その有効性と有用性について検討した。適用事例を以下に示す。

計測によるモニタリング等の調査研究が進んでいる。国土交通省土木総合技術開発委員会(2020.6.10)第12回道路技術小委員会資料等に基づき、方法的に高い精度が求められる。本稿では、2000年頃から科学研究に上り実験レベルでの光学的計測法に関する研究として実施した光学的計測法による研究調査の内容の成果を紹介する。

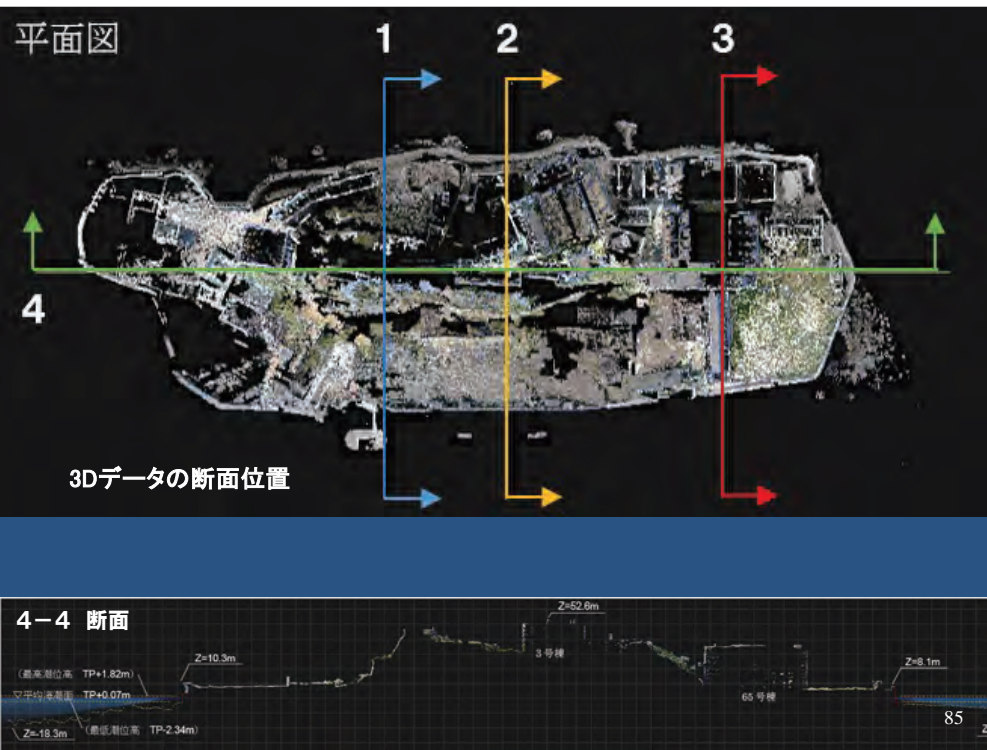
図1 光学的計測法による計測調査

¹⁾ 長崎大学大学院工学研究科 教授 matsuda@nagasaki-u.ac.jp
Professor, Department of Structural Engineering, Nagasaki University

— 21 (21) —



地上・水中3Dデータの合成処理



(1) 応力解放法によるPC桁の現有応力推定法

全視野ひずみ計測装置 国土技術開発賞

- ① 初期画像
- ② スリット切削 応力解放
- ③ 応力解放後の画像
- ④ 画像解析 対称点距離変化率
- ⑤ FEM逆解析
- ⑥ 作用応力推定

逆解析結果 $\Rightarrow 10.33\text{N/mm}^2$

解析/計測 = 平均107.5% 標準偏差1.5%
 現有応力推定値 $10.33 \times 1.075 = 11.10 \pm 0.15\text{N/mm}^2$

(2) LDVを用いた振動計測による実橋梁の構造同定

桁を補強プレート(底板)で結合 対傾構をダイヤフラムに変更

箱桁化

工事前

FEM解析

箱桁

実測

3.22 Hz	3.78 Hz
↓ 1.06倍	↓ 1.28倍
3.40 Hz	4.84 Hz
計測値 3.54 Hz	計測値 4.88 Hz

(3) 外観劣化情報取得のための3次元維持管理システムの開発

研究開発の目標

- ① 3Dレーザースキャナを用いた橋梁点検手法の開発
 - ・ UAV → ステレオ写真解析
 - ・ 3Dレーザースキャナ → 3D計測

仮設定場を必要としない計測法

コンクリートのひび割れ、鋼部材の塗装劣化、錆、ボルト欠損 → 欠陥の空間上の位置特定や定量化手法を開発
- ② ギガピクセル画像撮影システム
 - ・ 100m遠望から構造物対象面を連続的撮影
 - ・ オルソ画像による外観劣化情報を取得

計測できない箇所 → 無人飛行体 (UAV)
- ③ コンクリートひび割れ幅判読図化システム
 - ・ ギガピクセル画像 → オルソ画像
 - ・ UAV画像ステレオ解析 → オルソ画像

→ 0.2mmひび割れ幅ひび割れ幅判読図化システム

位置特定及び地物標定解析処理

UAV

解像度と認識度

3Dレーザースキャナ画像

UAV画像合成オルソ画像

ギガピクセル画像 (約800枚の画像から合成, 56億画素)

ひび割れ幅算定結果

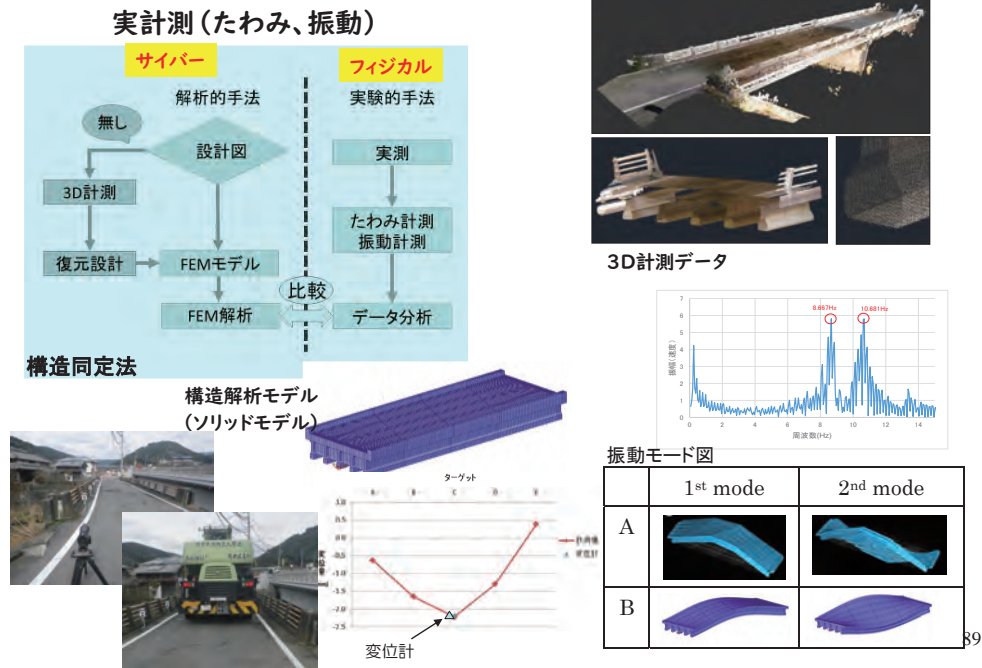
ひび割れ幅 0.2mm 0.2~0.5mm

ひび割れ幅 1442

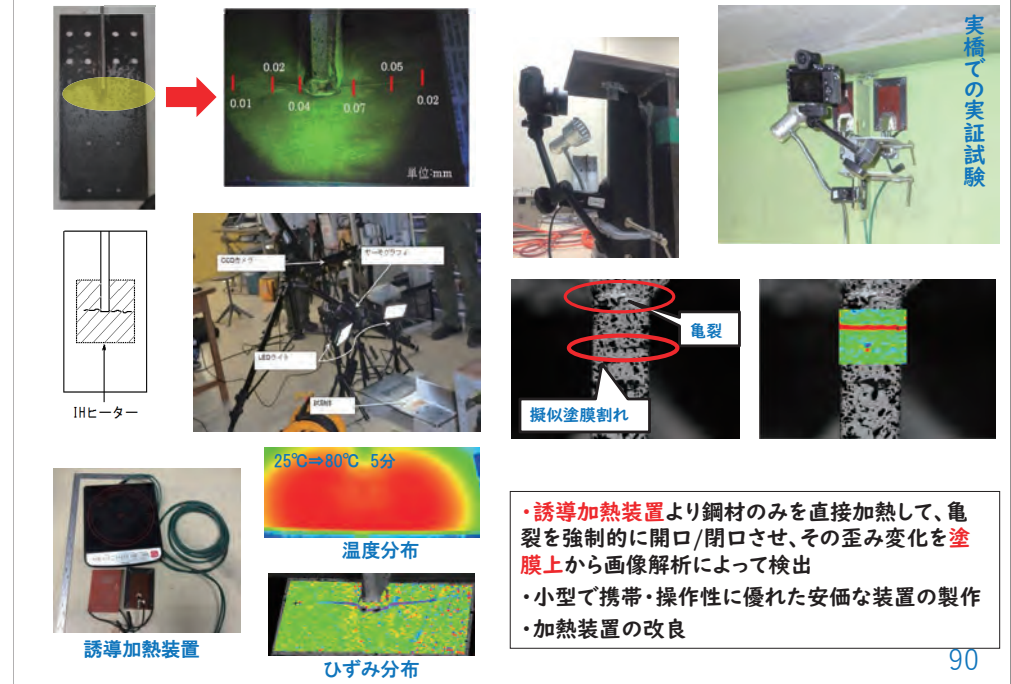
0.2mm 0.5mm

(C) とクラック幅の関係

(4) 中小スパン橋梁のモニタリングに基づくリスク評価



(5) 熱源を用いたDICMによる鋼部材き裂検知法の開発



(6) AIを活用した道路点検パトロール



「光学的手法を用いた仮設足場を必要としない橋梁点検手法の開発」 西海橋の橋脚点検 → 仮設足場の場合の1/10程度で実施可能と試算

- 肉眼では見ることができない、人間の目を越えた情報を取得・分析
- 測量機器と同等の汎用的技術で計測可能
 - ✓ 目視点検のばらつきの解消
 - ✓ インフラ点検の低コスト化による点検頻度増加
 - ✓ 定量的な損傷データの取得
 - ✓ 地震や台風等の自然災害直後の緊急調査も可能

- ◆ 既存技術との経済性、工期、品質・出来高、安全性、環境について比較検討
- ◆ 国土交通省技術事務所、新技術活用システム(NETIS)との連携
- ◆ 民間への技術移転

将来展望

- 革新する情報技術を使った様々な取り組み**
- ビッグデータ → データマイニングによる橋梁変状の検知
 - 劣化診断システム → 劣化原因や損傷度および構造性能の評価

AI, DX

6 SIPインフラ維持管理技術の地域実装

SIPインフラの課題分野構成



インフラ・アセットマネジメントの流れ



世界に先駆けた「超スマート社会」の実現 (Society 5.0)

社会実装

- ・ 技術認証
- ・ 国内ブロック地域への新技術導入

Society 5.0への貢献

- ・ 情報共通プラットフォーム構築、
- ・ AI技術との融合

拠点形成

SIP後の体制の確立

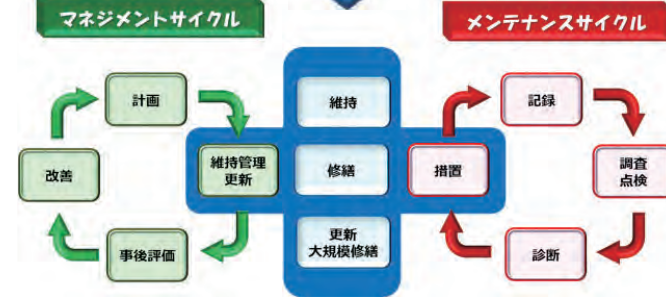
国際展開

インフラ維持管理の「あいたい姿」

- 発注方式の変更
 - 点検要領の改定
 - 予算立ての見直し
 - PPP/PFI
- パブリックセクター

意思決定のための支援ツール
 ・ 余寿命予測技術、AI
 ・ インフラデータベース

- 点検の効率化・高度化
 - 作業者育成
 - 地域連携
 - 技術支援体制
- プライベートセクター



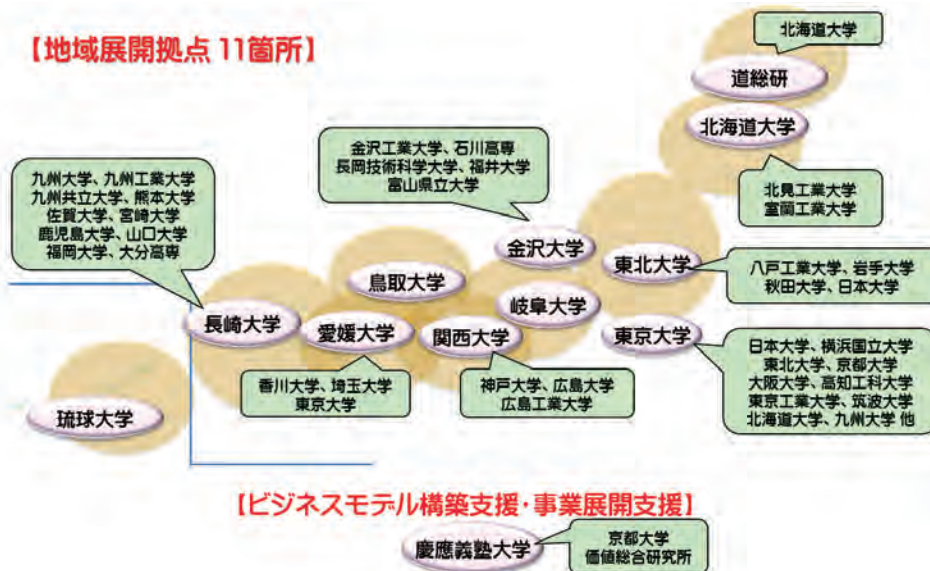
診断・余寿命予測モデル

- 点検・診断結果とアセットマネジメントを繋ぐキーテクノロジー
- 高耐久補修・補強材料の性能評価が可能
- 余寿命の定量化でライフサイクルコストの算定が可能
- 長期保全計画・更新計画と投資計画のリンク

地域実装支援の体制 (2016.9~)

インフラの長寿命化・高耐久化を実現するアセットマネジメントシステムに基づく、地域が主役となる新たなインフラとの共存社会の提案

【地域展開拠点 11箇所】



【ビジネスモデル構築支援・事業展開支援】

- 京都大学 価値総合研究所
- 慶應義塾大学

地域における技術展開の推進

2016年10月に開始し、多くのイベントを開催

必要性 ・ 維持管理分野の魅力アップ
安心快適、長寿命化、やりがい、地域活性化

手段 ・ 魅力アップの方法
仕組改革、長期安定財源確保、新技術導入

展望 ・ 新技術導入による効果
魅力アップ、研究開発の効率化、生産性向上

岐阜大学名誉教授
六郷恵哲リーダー

- SIP開発技術を地方自治体インフラ管理者へ展開
- 技術導入のためのデモを現場実証試験として実施
- 点検技術者へ技術導入のための説明会を実施