

財団法人 佐賀県土木建築技術協会

平成22年度 第1回技術研修会

非破壊・微破壊試験による  
コンクリート構造物の新しい診断手法

平成22年7月7日

アバンセホール

佐賀大学 大学院 工学系研究科 都市工学専攻 伊藤 幸広

# 維持管理時代への対応は

劣化構造物 全国一斉調査へ

橋長15m以上の道路橋

→ 14万橋

下水道の総延長

→ 39万km



「朝日新聞2007.7.11より」

## 長寿命化修繕計画策定事業(道路局 平成19年度)

道路橋の予防的な修繕・計画的な架替えを行うために、長寿命化修繕計画を策定する地方自治体に国が1/2補助

## 下水道長寿命化支援制度(都市・地域整備局下水道部 平成20年度)

ライフサイクルコストの最小化を目的とした長寿命化計画の策定に要する地方自治体の経費を国が補助し、計画的な長寿命化対策を支援

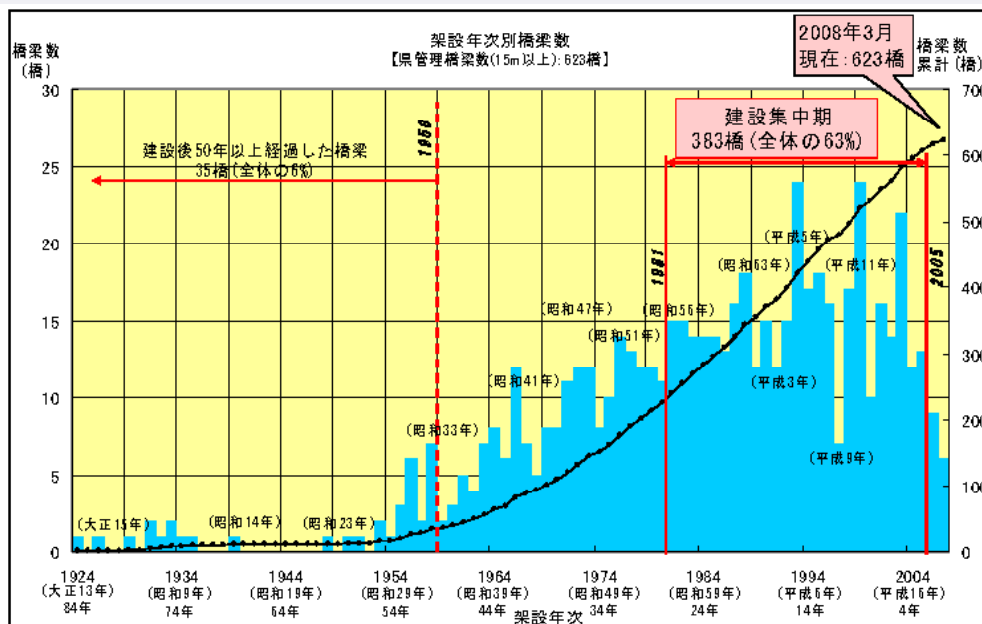


長寿命化計画に位置付けられた橋梁・下水道の修繕・更新費用を国が補助

# 維持管理時代への対応は

佐賀県の動向

## 佐賀県橋梁長寿命化修繕計画



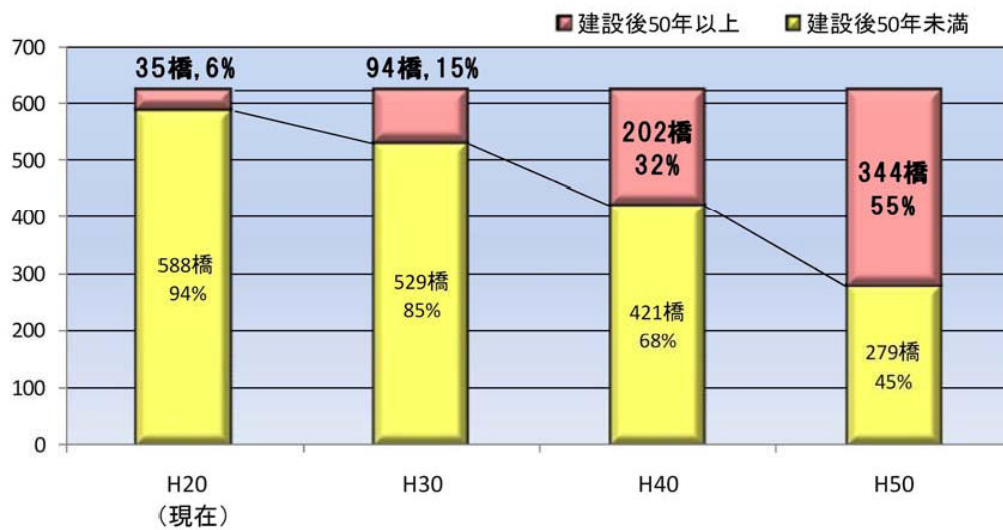
架設年次別の橋梁数分布

出典:「佐賀県橋梁長寿命化修繕計画」パンフレット(平成20年度)

# 維持管理時代への対応は

## 佐賀県の動向

### 佐賀県橋梁長寿命化修繕計画



### 建設後50年以上の橋梁数の増加

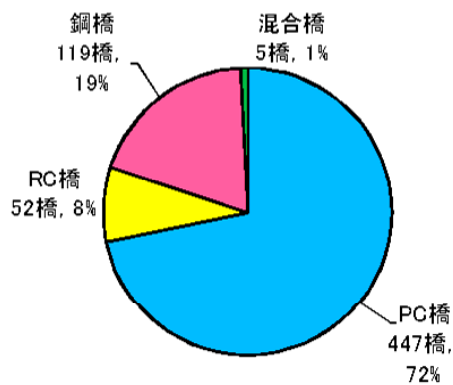
出典:「佐賀県橋梁長寿命化修繕計画」パンフレット(平成20年度)

# 維持管理時代への対応は

## 佐賀県の動向

### 佐賀県橋梁長寿命化修繕計画

### 橋種別の橋梁数



管理橋梁合計		鋼橋		RC橋		PC橋		混合橋	
橋梁数	延長 (m)	橋梁数	延長 (m)	橋梁数	延長 (m)	橋梁数	延長 (m)	橋梁数	延長 (m)
623	36,321	119	8,272	52	1,844	447	24,453	5	1,752

※混合橋：複数径間の中にコンクリート桁と鋼桁の両方が含まれる橋梁

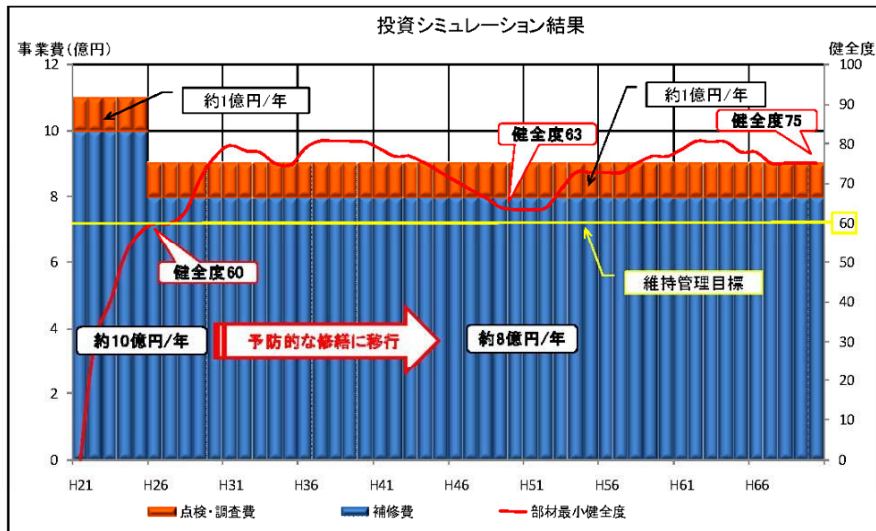
出典:「佐賀県橋梁長寿命化修繕計画」パンフレット(平成20年度)

# 維持管理時代への対応は

## 佐賀県の動向

### 佐賀県橋梁長寿命化修繕計画

中長期の投資  
シミュレーション



年度	H21 計画	H22 計画	H23 計画	H24 計画	H25 計画	H26 計画	H27 計画	H28 計画	H29 計画	H30 計画	合計
定期点検計画橋梁数	-	-	123	128	125	125	120	110	91	131	953
修繕計画橋梁数	30	20	8	21	19	46	20	45	78	89	376
概算補修費（億円）	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	90.0

出典：「佐賀県橋梁長寿命化修繕計画」パンフレット（平成20年度）

# 維持管理時代への対応は

## 動き出した地方自治体

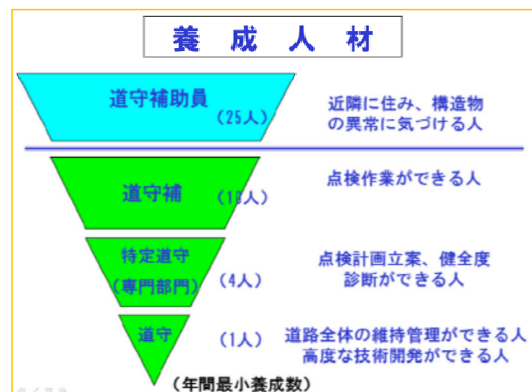
### 知事の判断で橋梁の長寿命化対策に予算を増額（山形県）

山形県橋梁長寿命化修繕計画

例年 **30億円** → 平成20年度 **57億円**

### 県・大学の連携で長崎大学インフラ長寿命化センターを開設

県の重要な社会資本である「道」の維持管理およびそれに関する技術の習得を目的とし、「道守」養成のための教育プログラムを設立（平成21年度より開始）

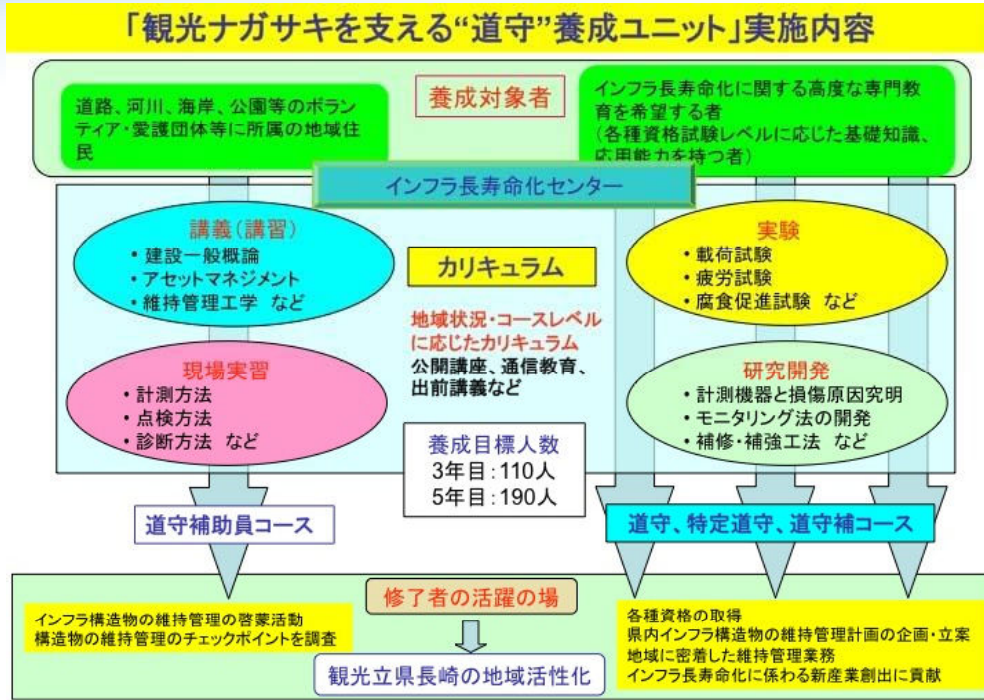


「長崎大学インフラ長寿命化センターHPより」

# 維持管理時代への対応は

動き出した地方自治体

長崎大学 インフラ長寿命化センター



「長崎大学インフラ長寿命化センターHPより」

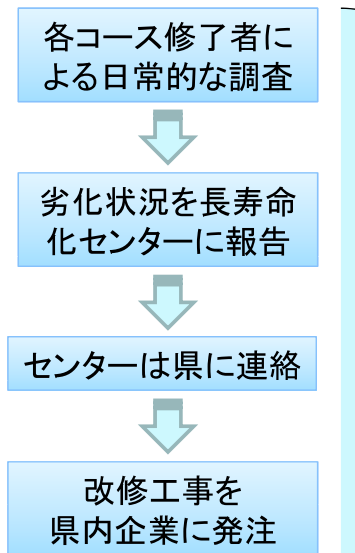
# 維持管理時代への対応は

企業の対策

長崎県 長崎大学インフラ長寿命化センター

## 「道守」養成教育プログラム

コース修了者は



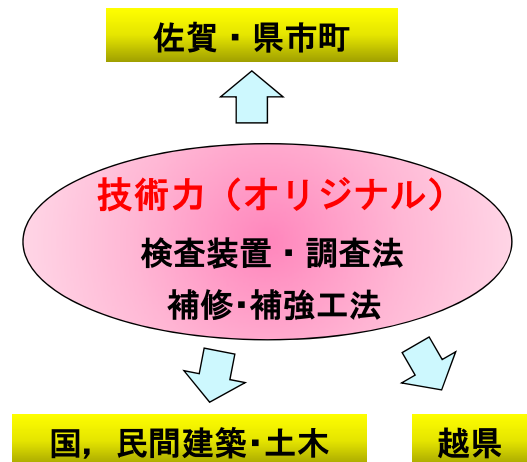
調査業務を受注

工事を発掘、受注

||

地産地消

## 佐賀県内企業は？



## コンクリート構造物の新しい診断手法 (非破壊・微破壊試験)

佐賀大学オリジナル検査装置・方法

- ① 構造物検査用内視鏡
- ② 棒形スキャナ
- ③ CCDカメラを用いた孔内自動検査装置（見える君）
- ④ ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置
- ⑤ テレセントリックレンズタイプ全視野ひずみ計測装置
- ⑥ 表面変状計測装置

9

### 構造物検査用内視鏡

#### 現状の検査法の問題点

#### ひび割れ, 浮き, コールドジョイント, 空洞

- ・ 打音法
  - ・ 超音波法
  - ・ サーモグラフィー法
- × 存在の有無や概略位置のみで、**内部の詳細な情報**は得られない



#### 求められている内部の詳細な情報とは

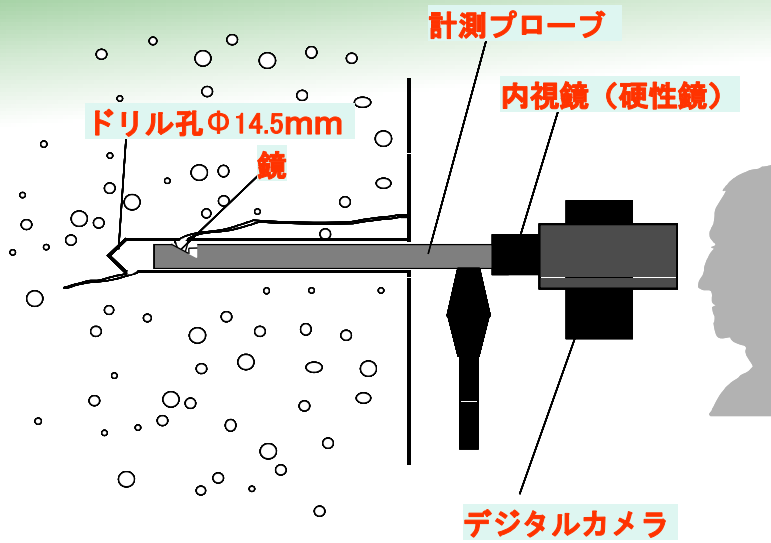
#### 欠陥の内部での形状・状態

- ① ひび割れ形状や内部での幅⇒ひび割れの原因推定, RC構造物の劣化予測
- ② 付着状態や連続性⇒剥落の危険性, 漏水の可能性
- ③ 欠陥の大きさ⇒耐力の低下, 注入材の注入量の管理

10

# 構造物検査用内視鏡

## 装置の概要



- ・ 直径14.5mmドリル孔を穿孔
- ・ 先端に鏡をつけた計測プローブを内視鏡に取り付け、孔壁面の画像を観察
- ・ デジタルカメラのモニターで観察、記録可能
- ・ 孔内に所定の薬品を塗布すれば中性化深さの検査が可能

※ドリル孔を利用する方法は微破壊試験と呼ばれている。 2次的な試験として主に使われている。

# 構造物検査用内視鏡

## 装置外観および仕様



### 検査装置の外観

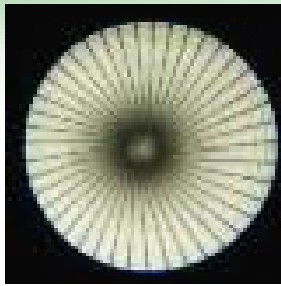
#### 硬性鏡の仕様

全長	: 530mm	視野角	: 40°
挿入部長さ	: 425mm	画像伝送方式	: セルフロックロッドレンズ
挿入部外径	: 6.35mm	照明方式	: ライトガイド方式
挿入部外装	: ステンレスチューブ被覆		

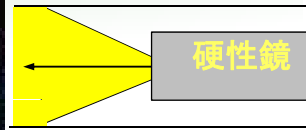
# 構造物検査用内視鏡

## 装置の特徴①

### 市販の内視鏡（直視）の場合

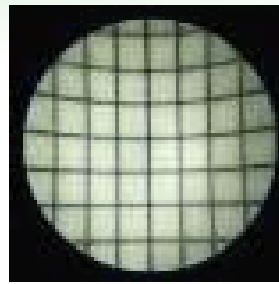


孔軸方向（直視）

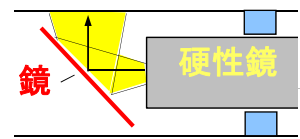


撮影画像（方眼紙）

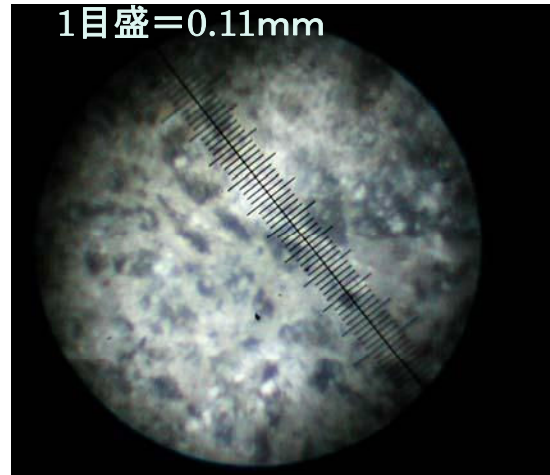
### 開発した検査用内視鏡の場合



孔軸直角方向（側視）

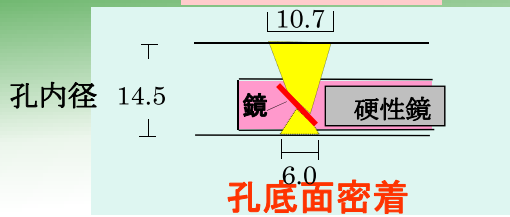


撮影画像（コンクリート）



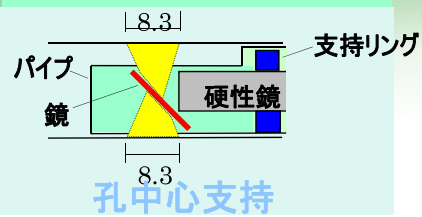
## 装置の特徴②

### 市販の内視鏡



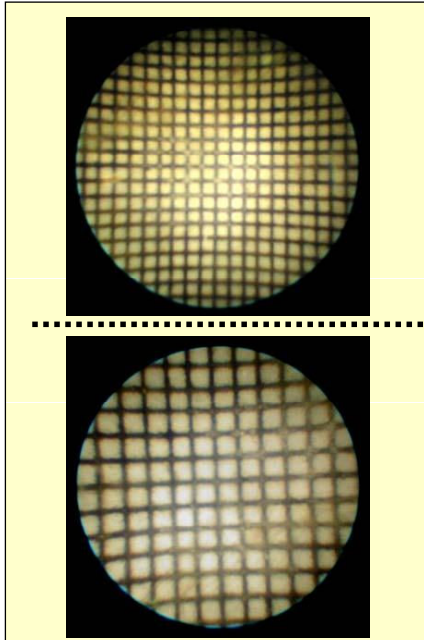
硬性鏡の位置

### 開発した検査用内視鏡



被写体までの距離が異なる

正確な計測が困難

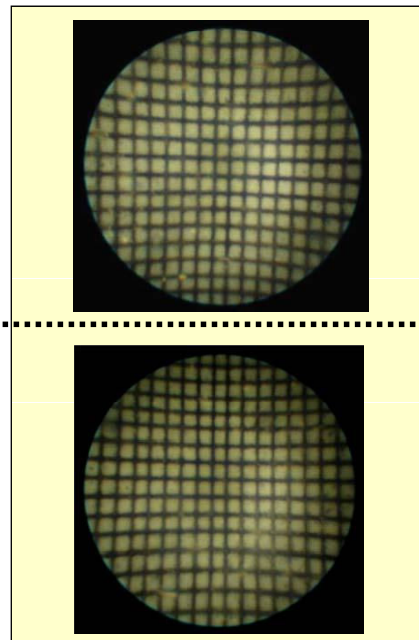


上向き撮影画像

下向き撮影画像

被写体までの距離が一定

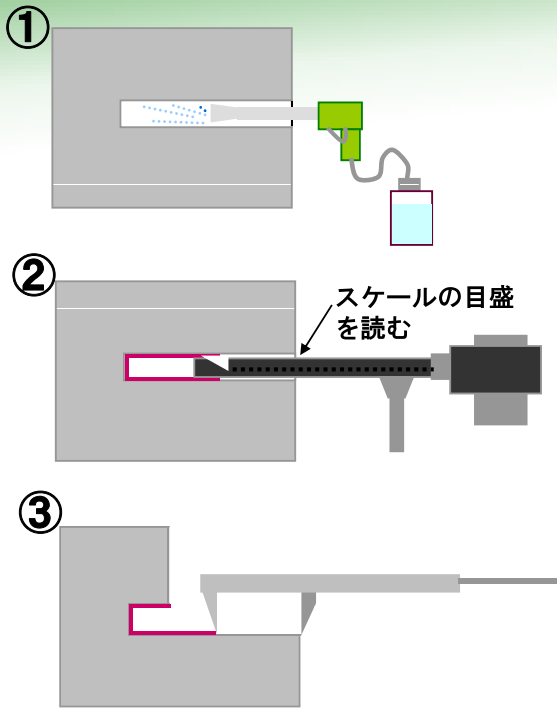
全周に渡り正確な計測が可能





# 構造物検査用内視鏡

## 中性化試験方法



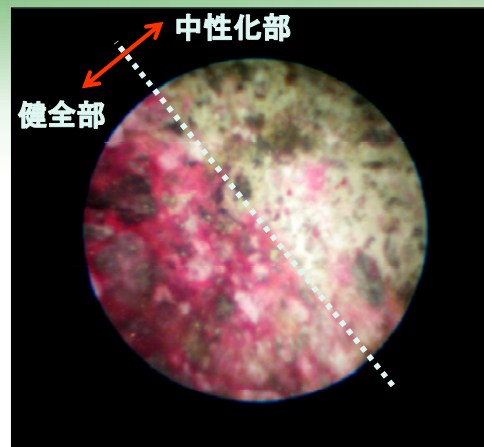
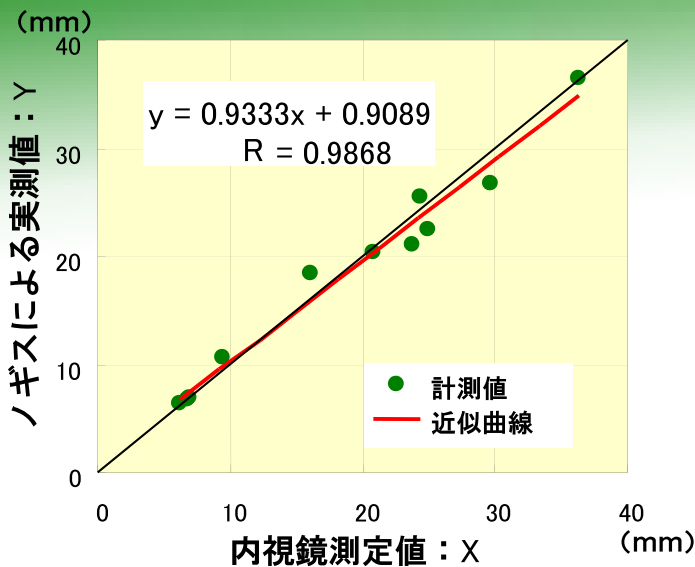
穿孔後，清掃した孔内にフェノールフタレイン1%アルコール溶液を噴霧器を用いて塗布する

赤変した境界をモニタ画面の中央に合わせ，挿入長を計測プローブ外側のスケールより読みとり，中性化深を測定（内視鏡測定値）

ダイヤモンドカッターでコンクリートを除去し，孔内を露出させ、ノギスを用いて中性化深さを測定（実測値）

15

## 中性化試験結果



中性化画像

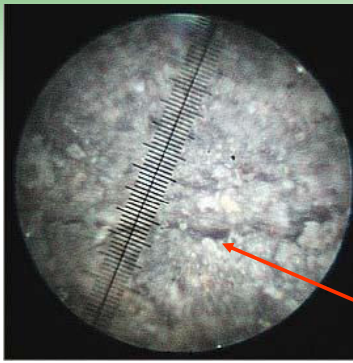
- ・ 単回帰直線の傾き：0.933
- ・ 相関係数：0.987
- ・ 誤差の最小値：-12.6 最大値：+13.4%
- ・ 全ての誤差の絶対値の平均：6.4%

高い相関関係があり，  
中性化深さの計測が可能

16

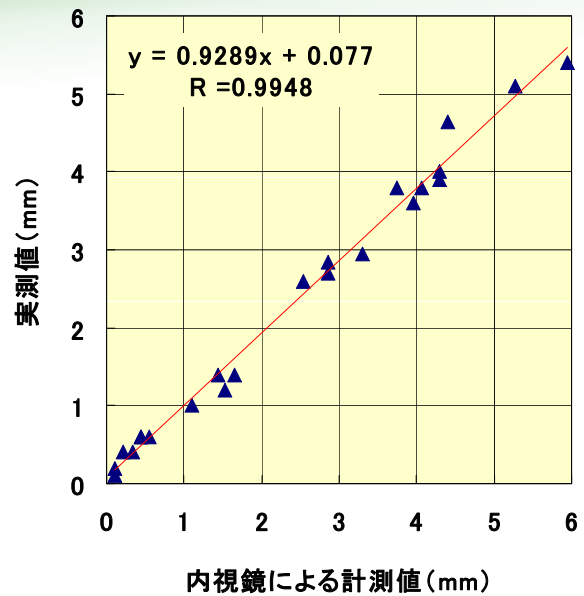
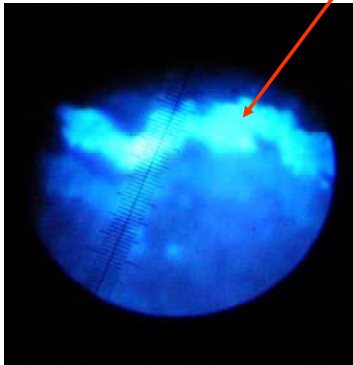
# 構造物検査用内視鏡

## ひび割れ幅計測



ひび割れ

注入材の充填管理法



注入材に蛍光剤を添加+ライトを紫外線ライトに変更

17

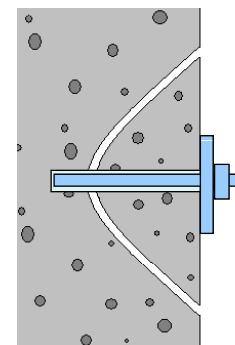
# 構造物検査用内視鏡

## 本装置の特長

- 小径のドリル孔で複数の内部欠陥・劣化状況の検査に対応できる。

〔 ひび割れ幅・位置, ジャンカ, コールドジョイント, 空洞, タイルの浮き, 中性化, 注入材の充填状況等 〕

- 装置が小さく, 検査方法も簡易であり, 1人で検査ができ熟練を要しない。⇒検査点数を多く取れる
- 高倍率で鮮明なカラー画像が得られるため, 検査精度が高く, また, 検査結果の記録・保存ができる。
- ドリル孔が小径であるため, 検査後の補修が容易である。 また, 内部欠陥があった場合は, 注入材の注入孔やアンカーの定着孔として利用できる。



18

# 棒形スキャナの概要

## 開発の経緯

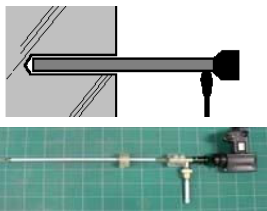
### コア法

- 診断材料
- × 構造物にダメージ
- × 採取時にコアが分断



### 内視鏡法

- 低コスト, 作業性良
- 構造物の損傷軽微
- × 視野範囲が狭い



孔壁面を読み取るスキャナを製作し, 孔壁面全周の画像を読み取る装置を開発

両方の長所を合わせて

小径ドリル孔の孔壁面全周の画像が観察できれば



ハンディスキャナによる紙面の読み取り

# 棒形スキャナの概要

## 外観および仕様

### Ver.3



### Ver.4

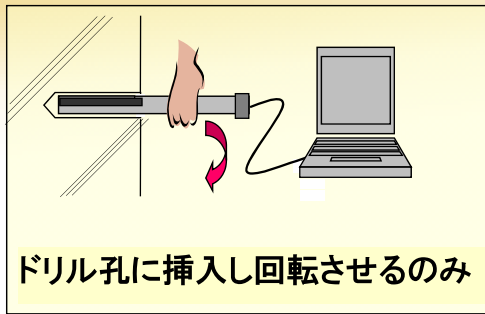


### 主な仕様

- ① 挿入長: 350mm
- ② 解像度: 600dpi
- ③ 総重量: 約1kg
- ④ PC接続: USB接続  
Ver.4: SDカードのみで読取り可
- ⑤ 読取り長: Ver.3=105mm  
Ver.4=210mm

# 棒形スキャナの概要

## 操作方法およびスキャンニング画像



ドリル孔壁面の画像

# 棒形スキャナの概要

## 画像処理

画像の合成 孔の深さがセンサ長より深い場合



穿孔面

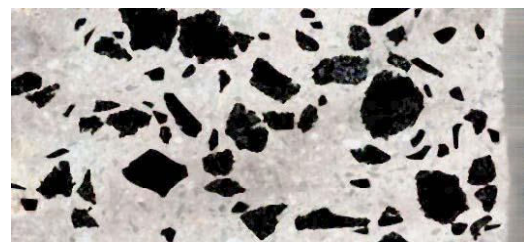
② 共通部分を重ね合わせる

2値化

粗骨材を抽出し材料分離の程度を確認



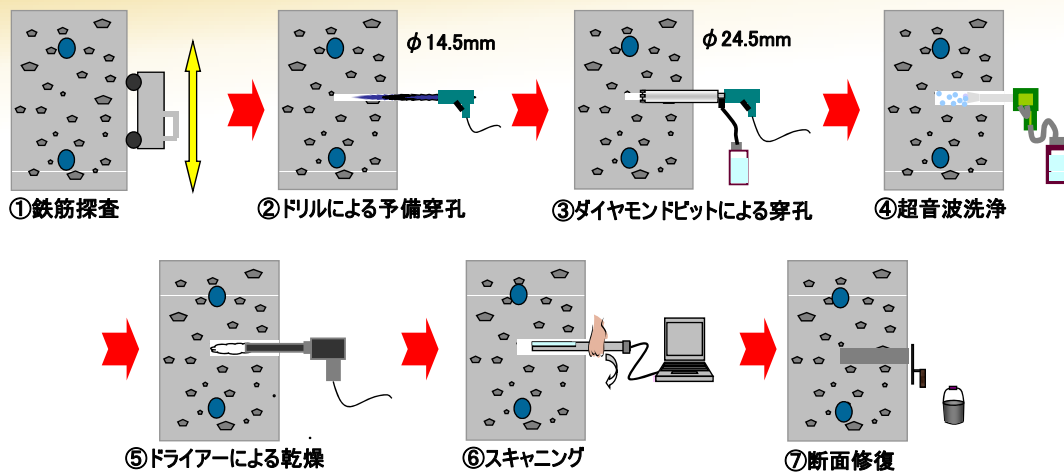
穿孔面



穿孔面

# 棒形スキヤナの概要

## 検査手順

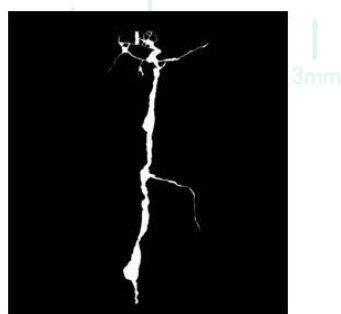


# 適用事例 (1)

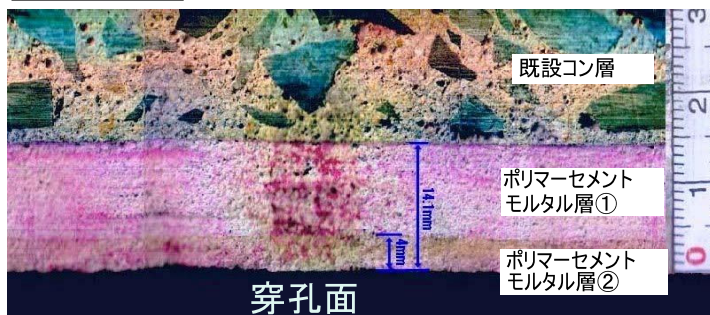
## 道路橋RC床版の調査事例

### モルタル増厚状況の調査

ウェブ増厚



下面増厚

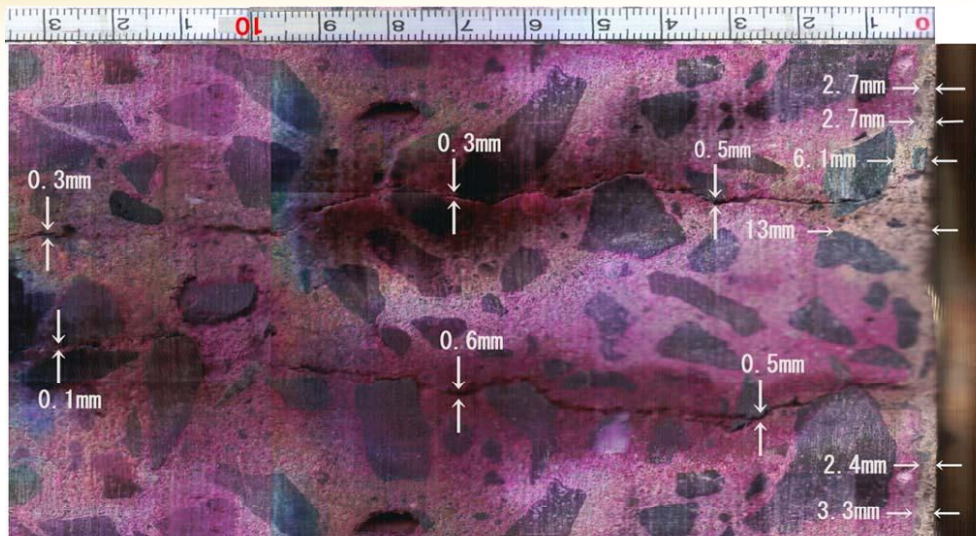


- ・増厚モルタル層の層厚
- ・打継ぎ目の付着状況
- ・中性化深さ
- ・ひび割れの存在, ひび割れ幅

## 適用事例（2）

### 道路橋橋脚の調査事例

#### 耐震補強した橋脚の劣化診断



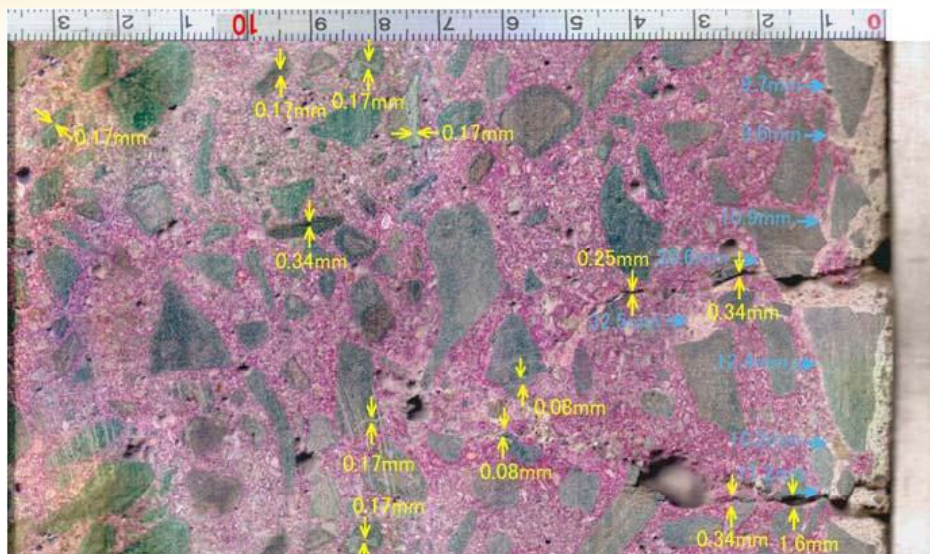
- ・ひび割れ深さ, ひび割れ幅
- ・中性化深さ
- ・ひび割れの発生原因推定(温度ひび割れ)

25

## 適用事例（3）

### 鉄道橋橋脚の調査事例

#### アル骨で劣化した橋脚の劣化診断



- ・ひび割れ深さ, ひび割れ幅
- ・中性化深さ
- ・ひび割れの発生原因推定(アルカリ骨材反応)

26

# CCDカメラを用いた孔内自動検査装置

## 現在の技術

### ボアホールカメラ

一般的に下向き鉛直の計測  
検査孔径が大きい  
作業が煩雑

### 目的

コンクリート構造物の損傷を抑える  
装置固定から検査にかかる時間を短く  
計測データの処理を簡易に

## 本装置の特徴



CCDカメラを用いた孔内自動検査装置の外観

- 固定用爪により鉛直・水平あらゆる方向の孔に固定することが可能
- 小孔径からの検査が可能
- モーター駆動であるため一定間隔の画像を得ることが可能

27

# CCDカメラを用いた孔内自動検査装置

## 損傷鉄筋の検査装置としても利用

### 耐震補強工事における鉄筋切断の問題

増厚工事や落橋防止工事において、アンカーボルトを設置するための穿孔の際に、内部の鉄筋を損傷もしくは切断するという事件が多く発覚した

### 背景

- ・既設構造物の配筋図が無い場合が多い
- ・鉄筋探査装置の能力の限界(深さ130mm程度まで)
- ・アンカーボルトの定着長は2OD以上、構造物に貫通孔をあけPC鋼棒で鋼板をはさみつける工法もあり

### 鉄筋検査の問題点

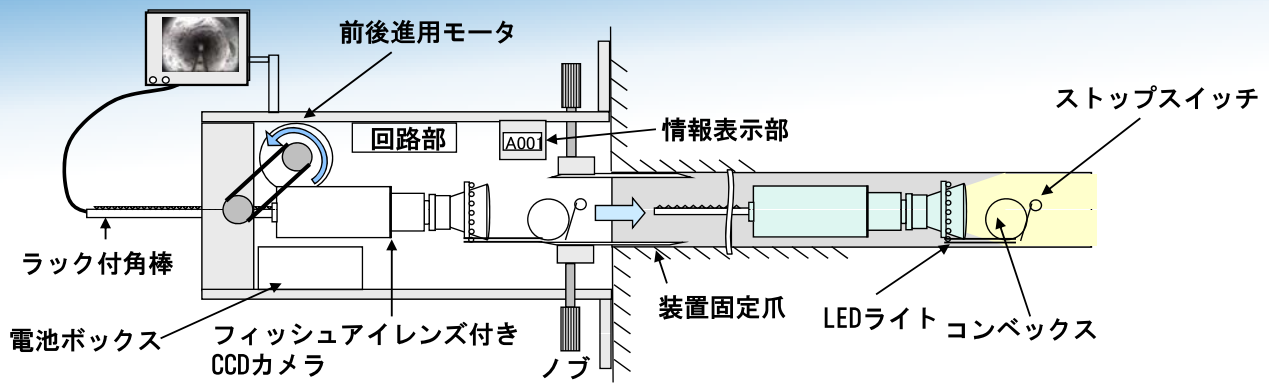
- × 鉄筋の部分損傷の場合はコアで確認できない
- × 検査孔の長さは1m以上となることもあり、孔内を短時間で検査する装置がない



28

# CCDカメラを用いた孔内自動検査装置

## 装置の概要

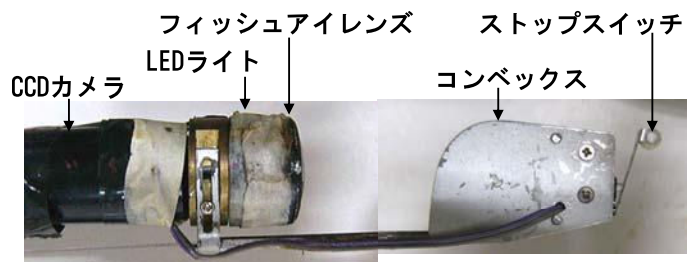


モニター画像



情報表示部  
コンベックス

CCDカメラおよびコンベックス部分



CCDカメラおよびコンベックス部分

# CCDカメラを用いた孔内自動検査装置

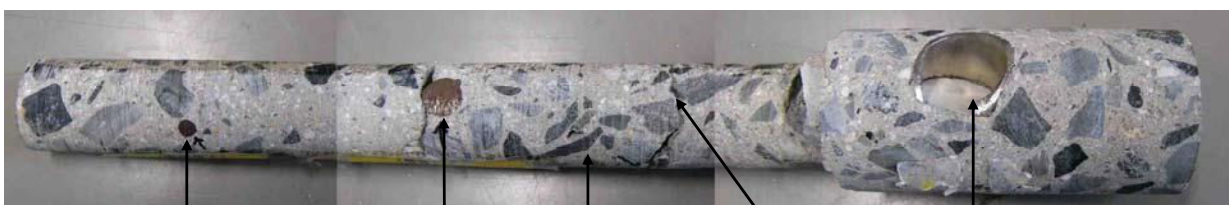
## モデル試験体による撮影



モデル供試体側面



モデル供試体正面



水平鉄筋丸鋼φ6

鉛直鉄筋部分損傷丸鋼φ6  
水平鉄筋異形D13 (コア内には鉄筋無し)

ひび割れ0.2mm

鉛直丸パイプφ10



## 本装置によりモデル供試体を撮影した動画および画像



本装置によって撮影した動画



情報表示器と孔口



水平鉄筋 異形D13



鉛直丸パイプφ10



鉛直鉄筋 部分損傷 丸鋼φ6



ひび割れ 幅0.2mm

31

## CCDカメラを用いた孔内自動検査装置

### 静止画の結合

#### 1. 切り出した画像

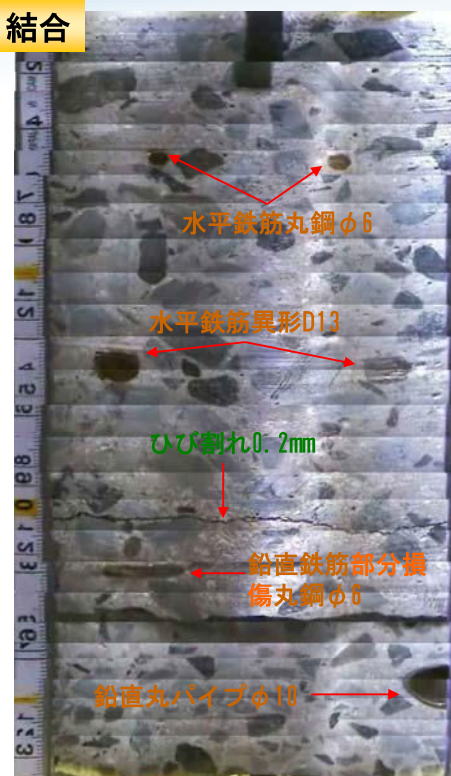


#### 2. パノラマ展開



- モデル供試体に埋め込まれた鉄筋、パイプおよびひび割れは確認できた

#### 3. 結合



32

# CCDカメラを用いた孔内自動検査装置

## 本装置の特長

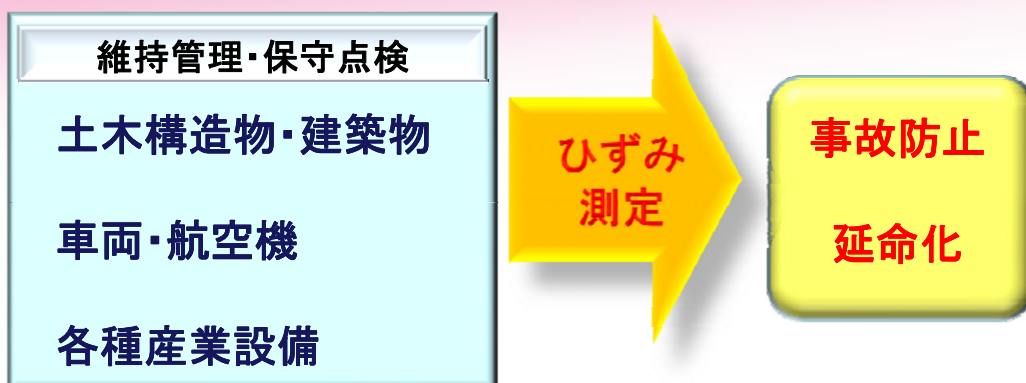
- 画像表示・記録装置を本体と一体化させたことによって、可搬性、操作性が良く、鉄筋切断位置や劣化箇所の直接観察、現場での再確認もできる。
- フィッシュアイレンズの使用により孔全周を一度に高倍率で観察できるため、検査精度および作業効率が高い。
- 孔口を起点として伸延するコンベックスにより、孔内での鉄筋切断位置や劣化箇所の位置の特定が容易にできる。
- 一定速度で記録した動画は、パソコン上で画像編集ソフトを用い簡単な操作で、一定間隔で静止画を切り出すことができる。すなわち、静止画で確認することにより検査精度が高くなり、また検査結果の整理が容易になる。



検査風景

# ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置

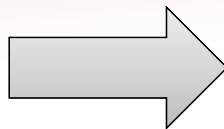
## ひずみ計測の必要性



# ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置

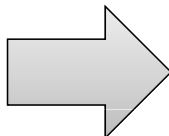
## 現状のひずみ計測方法と問題点

### ひずみゲージ



- ・配線や計測器設置の問題
- ・屋外では耐久性が低い

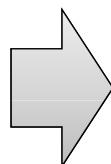
### 光ファイバーセンサー



- ・配線や計測器設置の問題
- ・計測コストが高額

### デジタル画像によるひずみ計測

- ・スペックル干渉法
- ・デジタル画像相関法



- ・外乱の影響を大きく受ける
- ・撮影装置を移動できない

35

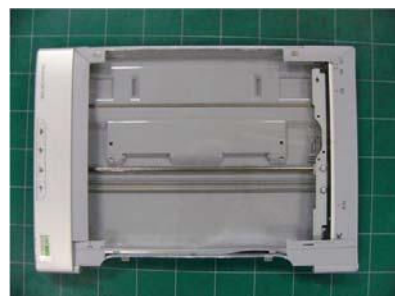
# ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置

## レンズ付CCDカメラによるひずみ計測法の持つ問題に対して

- レンズ付CCDカメラで撮映した複数のデジタル画像からひずみを求める方法
  - ・照明等の環境条件を常に一定にすることが難しい
  - ・レンズ収差は補正を行っても大きな誤差要因となる
  - ・カメラ姿勢によって画像にひずみを生ずる

## ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置の開発

- ★ 広範囲の画像を取込むことができ、全域に渡りひずみがない:  
レンズの収差によるひずみの問題がない
- ★ 密着型で照明が一定:  
外部の光の影響を受けない, 照明の調整が不要
- ★ 寸法の校正作業が不要:  
カメラ撮影でのスケールの写しこみが不要

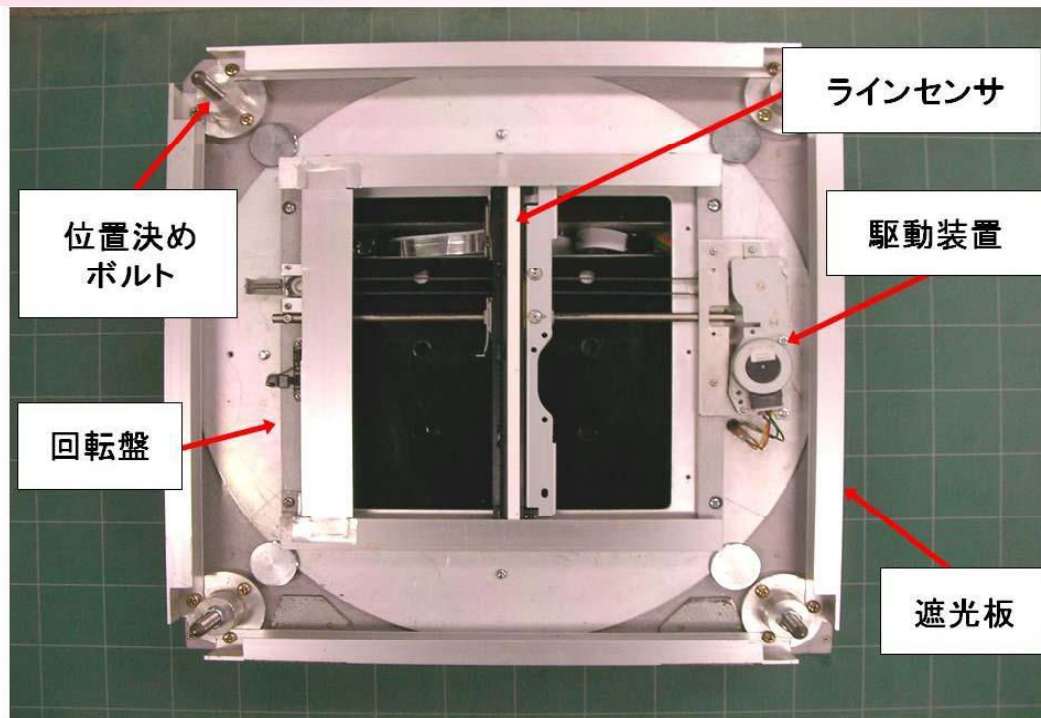


フラットベッドイメージスキャナ  
=密着型のラインセンサスキャナ

36

# ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置

## ひずみ計測装置の外観



37

# ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置

## ひずみ計測装置の特徴

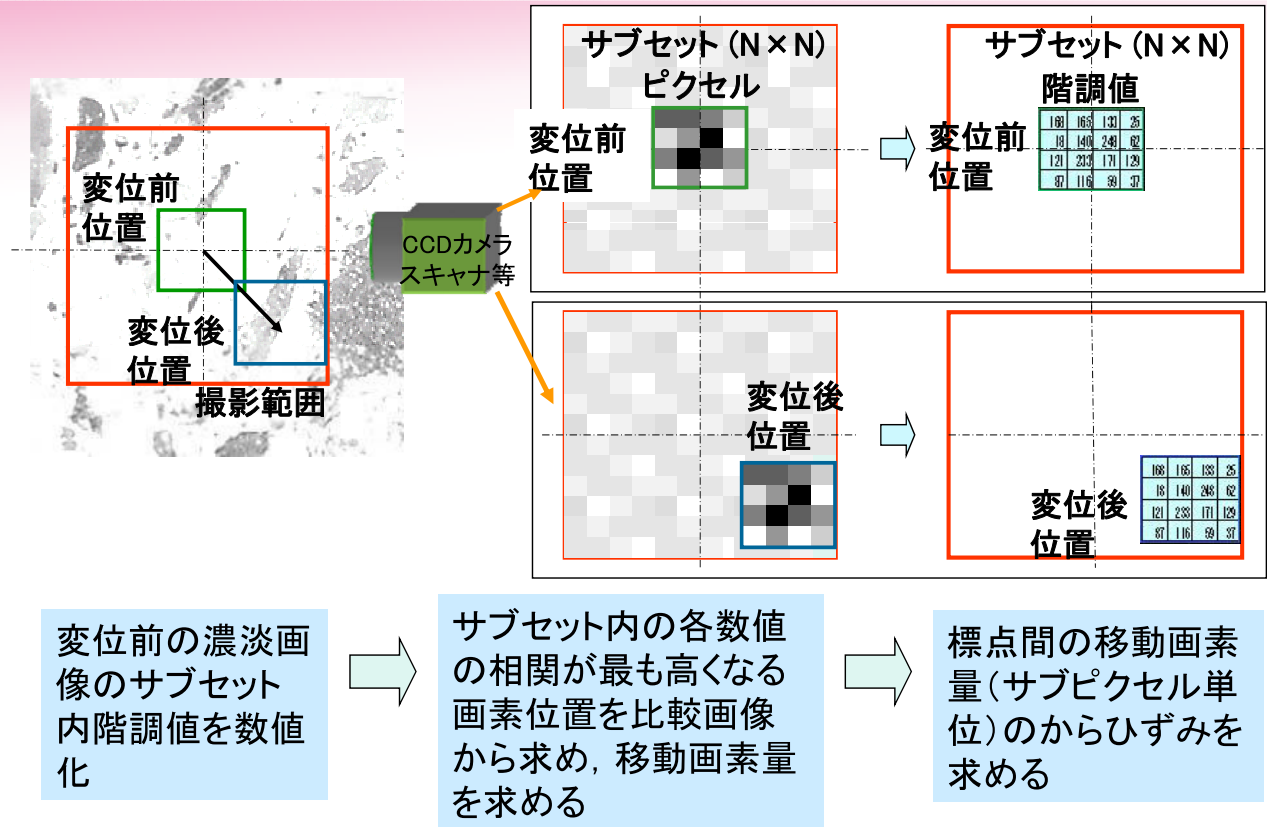
- ★ **ラインセンサ**: 撮影範囲は最大200mm×200mm, 最高解像度は2400dpi
- ★ **回転盤**: ラインセンサ, 駆動系を回転盤の上に設置し, 360° 回転可能
- ★ **位置決めボルト**: 装置四隅に設置, 位置決めボルトを回転させることでラインセンサの焦点調節が可能である。  
計測対象の構造物にボルト受け材を接着剤を用いて貼り, 計測(撮影)対象位置に装置を容易に設置可能



38

# ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置

## デジタル画像相関法によるひずみ解析方法の概要



## 計測精度の検証実験

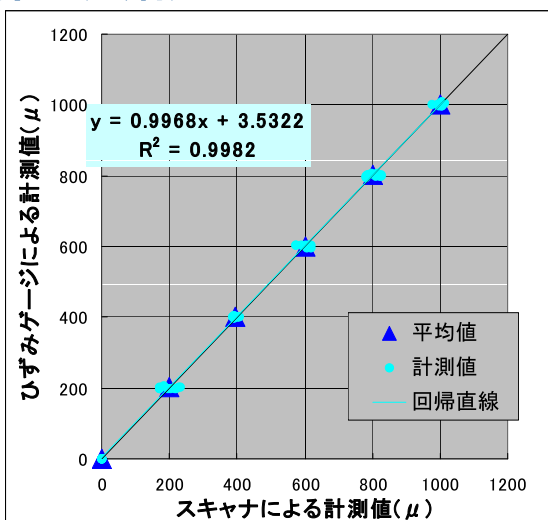
### 実験の概要および結果

ひずみ計測装置を取り付け器具を用いて試験体に密着させ、無載荷の状態とひずみ発生後の画像を載荷方向とポアソン方向に分けてスキャンし、デジタル画像相関法により解析を行い、ゲージ値と比較する。



装置の設置状況

### ①鋼材 (H鋼)

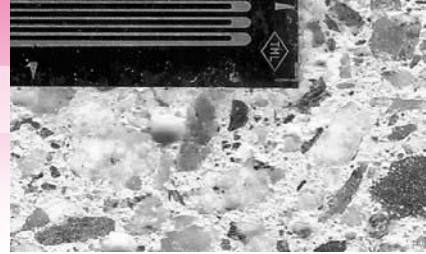


ゲージ値 平均	計測値 平均	標準偏差	誤差 %
0	-2	1.45	-
201	199	23.0	-1.19
402	396	6.18	-1.30
602	602	16.7	-0.03
802	803	16.6	0.12
1003	1000	9.51	-0.29
絶対値の平均			0.59

誤差の絶対値の平均: 0.6%

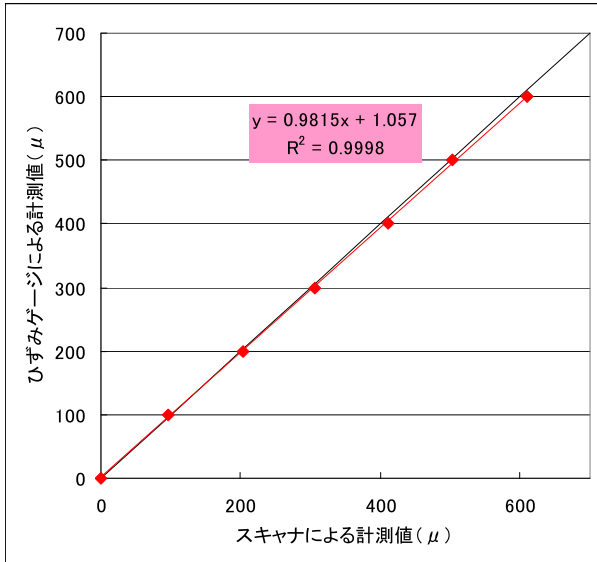
# 計測精度の検証実験

## 実験結果



拡大画像

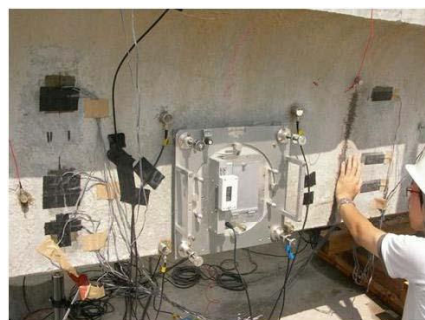
### ②コンクリート



1200dpi		1	2	3	4	5	平均	標準偏差
0 μ	ゲージ値	0	0	1	0	1	0	
	解析値	1	-2	2	1	2	1	1.32
100 μ	ゲージ値	100	100	100	100	100	100	
	解析値	98	98	95	98	95	97	1.51
200 μ	ゲージ値	201	202	202	201	200	201	
	解析値	203	201	205	205	201	203	1.70
300 μ	ゲージ値	300	301	301	302	300	301	
	解析値	305	303	309	306	303	305	2.12
400 μ	ゲージ値	401	401	401	401	401	401	
	解析値	410	411	412	412	413	411	1.09
500 μ	ゲージ値	502	500	500	501	502	501	
	解析値	498	504	503	507	507	504	3.45
600 μ	ゲージ値	600	600	600	601	601	600	
	解析値	612	608	608	613	612	611	2.00

誤差の絶対値の平均: 1.7%

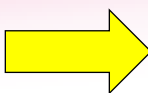
# 撤去RC桁による載荷試験



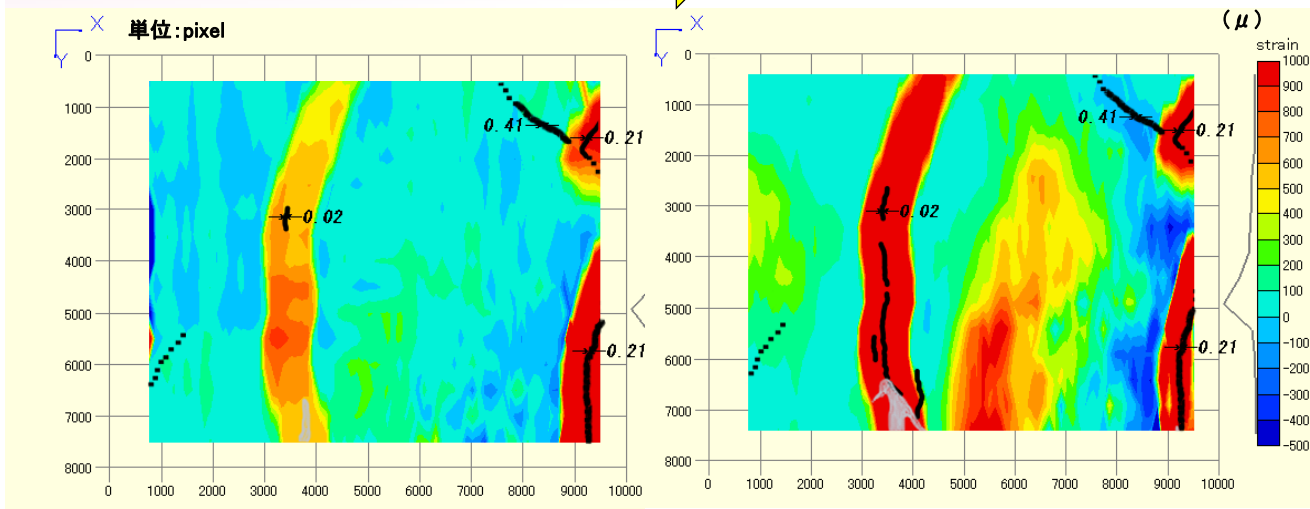
# 撤去RC桁による载荷試験

## 西側 ひずみ分布 (X方向のひずみ成分のみ)

400 KN

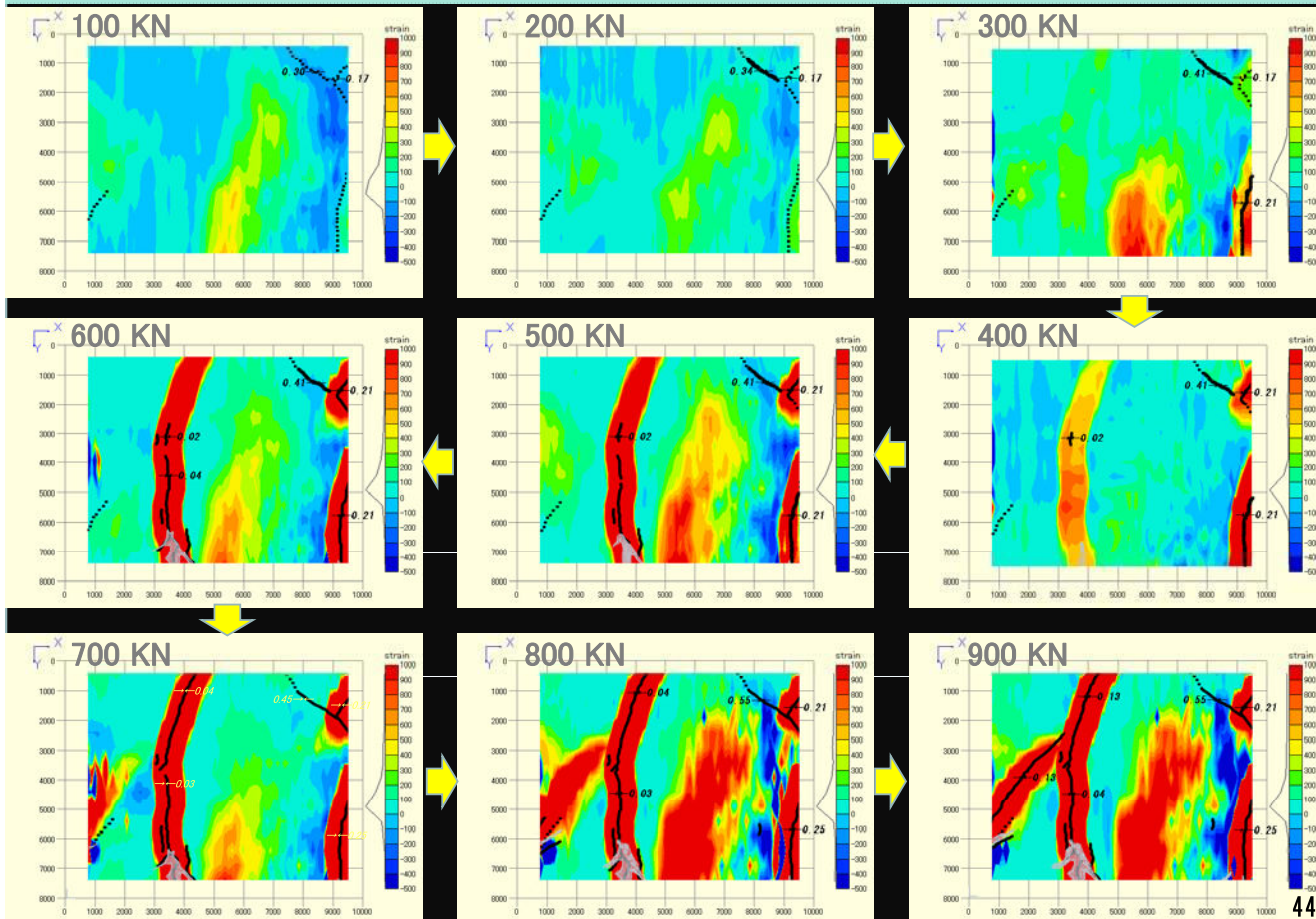


500 KN



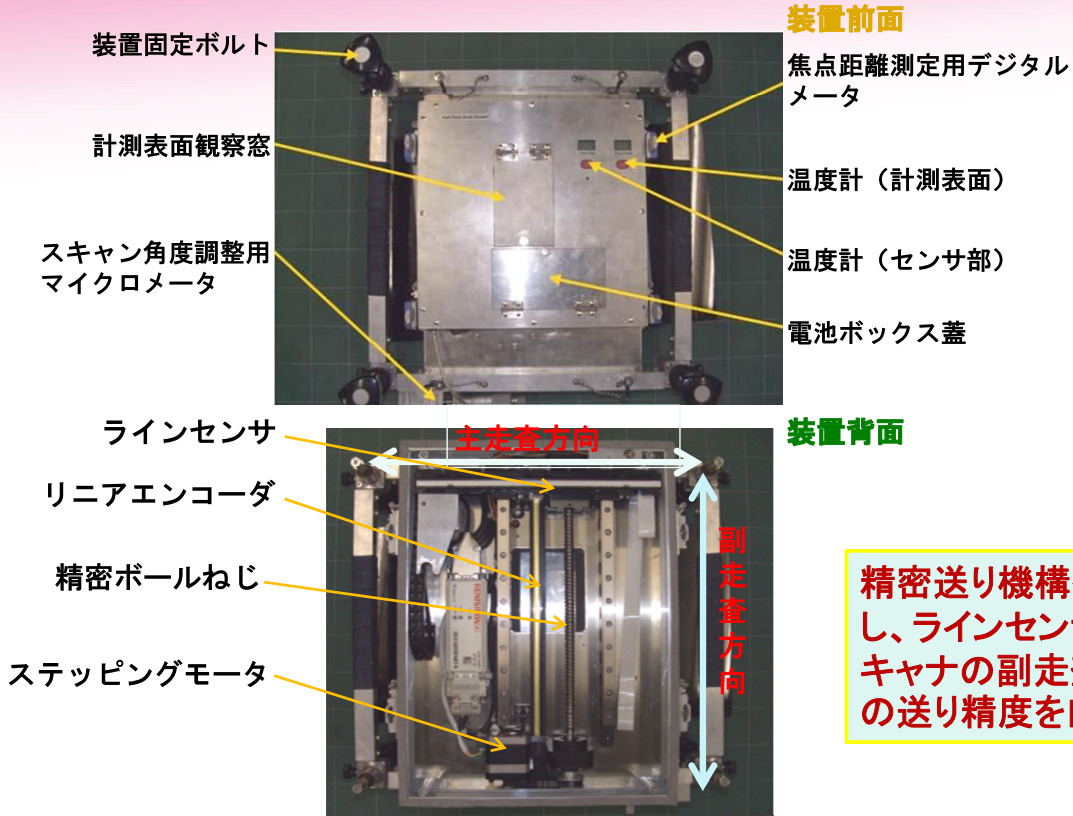
- 凡例
- ⋯ : 载荷前に確認されたひび割れ
  - : 载荷中に発生したひび割れ
  - : 载荷中に水がしみ出た部分

## 西側 ひずみ分布 まとめ (X方向のひずみ成分のみ)



# ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置

## 新型装置



45

# 新型装置によるPC梁の表面ひずみ計測実験

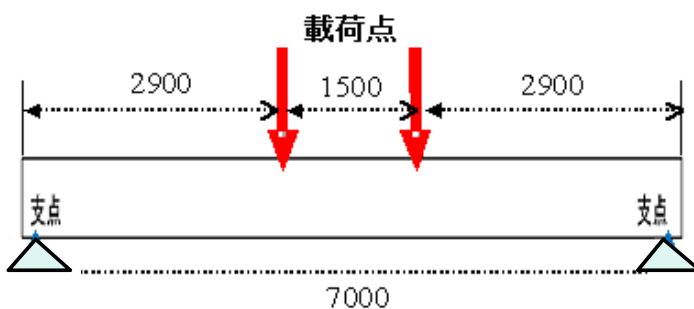
## 実験概要



2点単調載荷方式

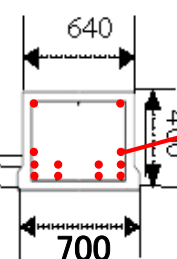
40kN毎にひずみを計測

280kNまで載荷する



PC梁試験体の形状寸法

単位: mm



Φ12.7mmのPC鋼線を12本配置

46

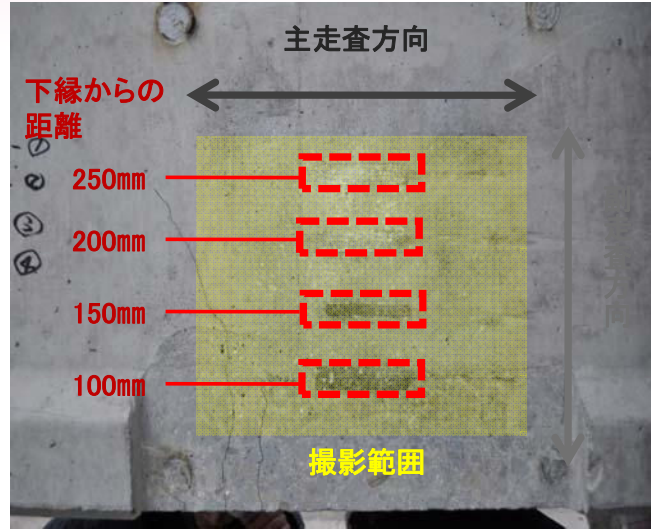


# 新型装置によるPC梁の表面ひずみ計測実験

## 実験概要



新型装置設置状況

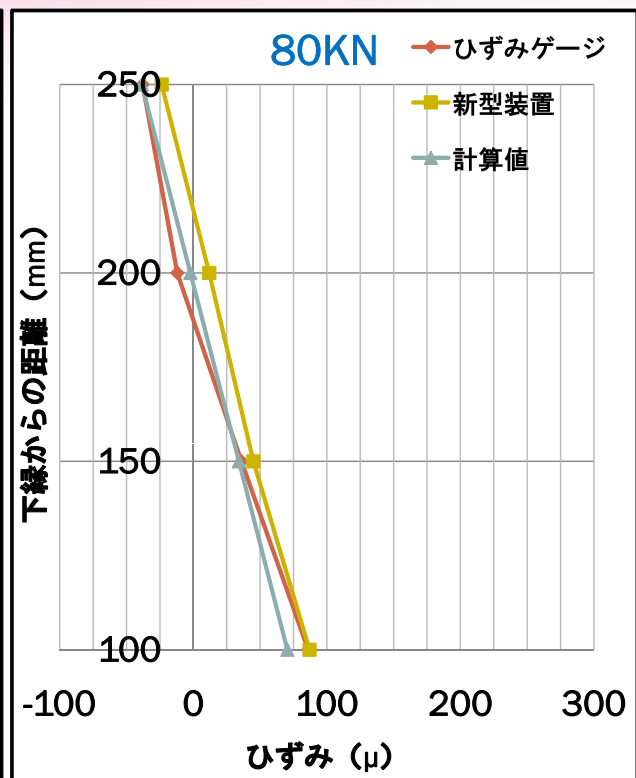
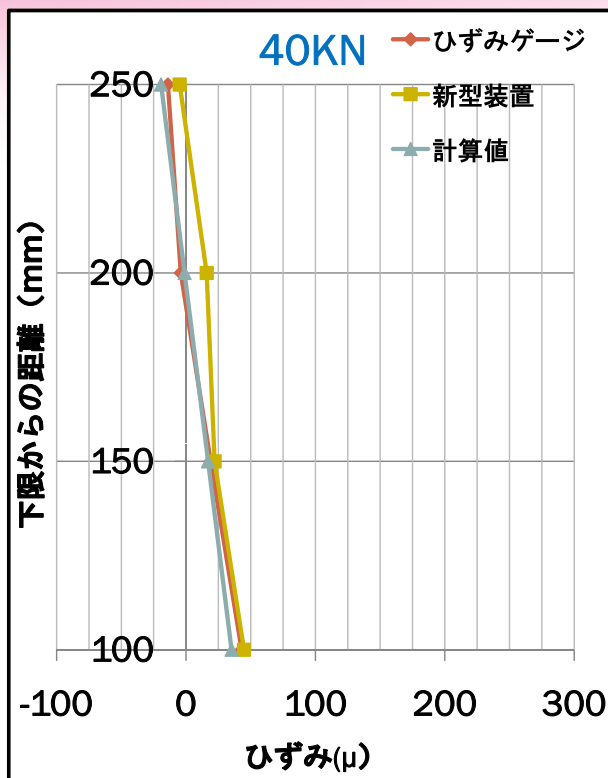


ひずみゲージ貼付位置

47

# 計測精度の検証実験

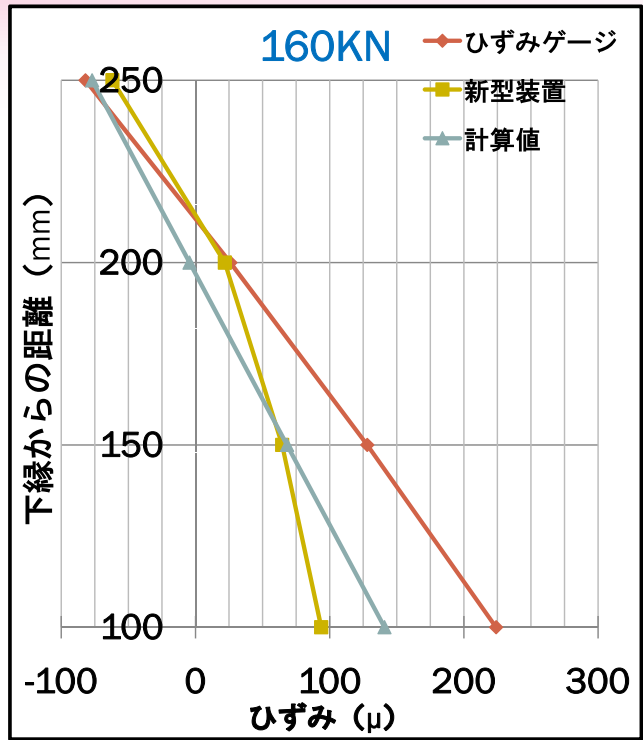
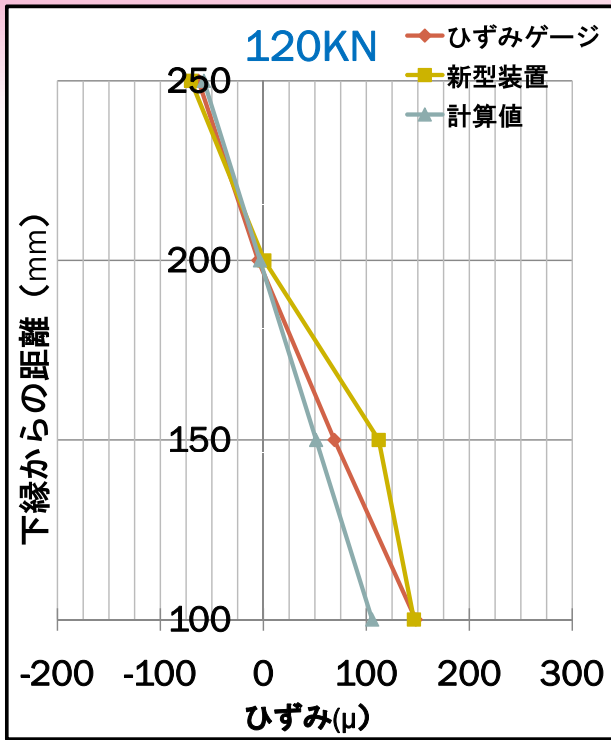
## 実験結果



48

# 計測精度の検証実験

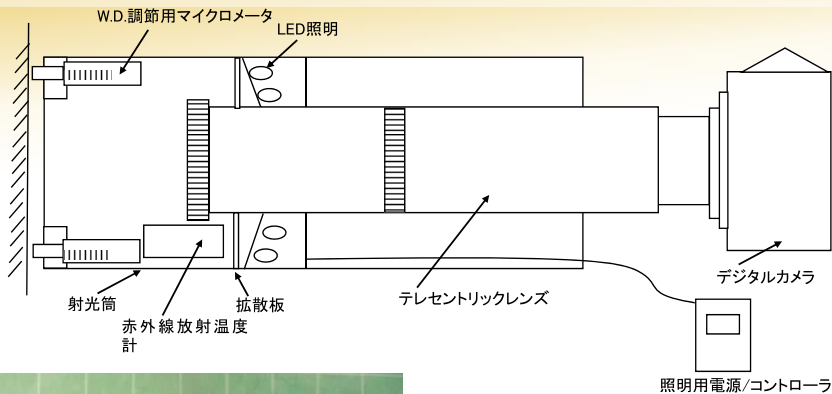
## 実験結果



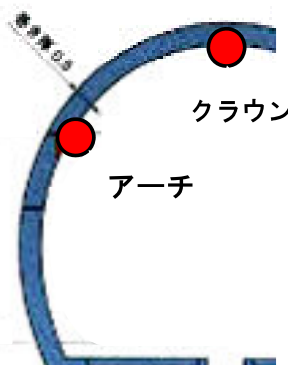
160kN 載荷時にひび割れ発生<sup>49</sup>

# テレセントリックレンズタイプ全視野ひずみ計測装置

## 装置の概要



装置外観



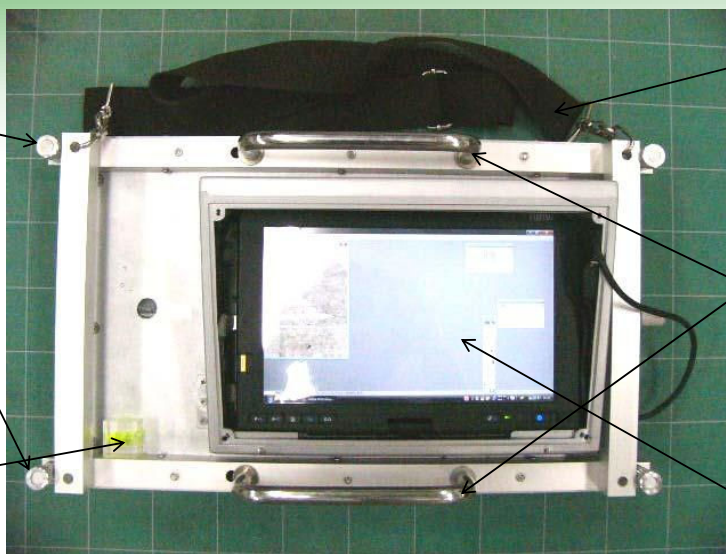
計測状況

# 表面変状計測装置の概要

## 表面変状計測装置の外観（正面）

焦点距離  
調節ねじ

水準器



肩掛けベルト

ハンドル

タブレット型  
ノートパソコン

※①画像の入力部, 記録部, 解析部を**一体化**

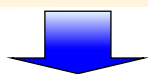
②操作の開始・停止, 画像の保存, 計測など, PC画面を指やペンで触れることによって操作する**タッチパネル方式**

51

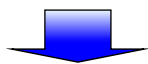
# 表面変状計測装置の概要

## 操作方法

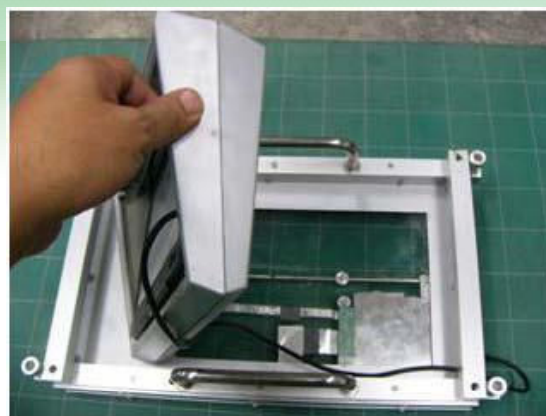
構造物や部材の表面に装置を押し当て、位置決めをする



PC画面上のスタートボタンを指でタッチし操作を開始



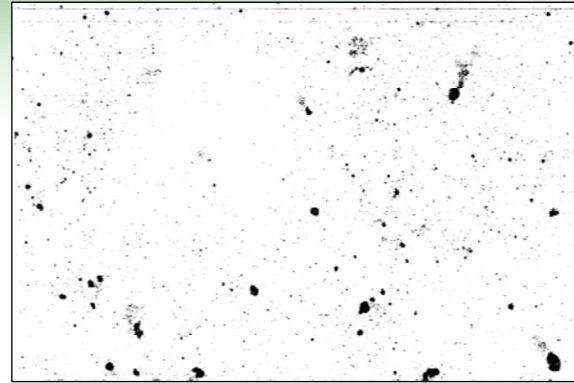
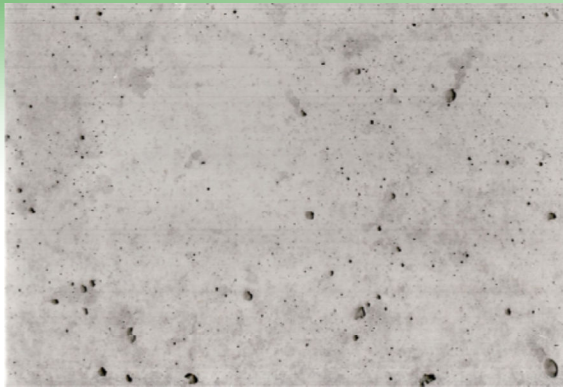
撮影終了後、直ちに各種ソフトにより画像の表示や各部の計測・解析が可能となる



52

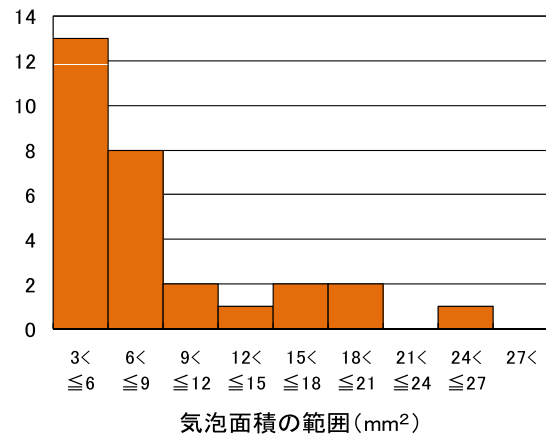
# 実施事例

## 二次製品の品質管理事例



- ・ 微細な気泡まで**正確に2値化**
- ・ 色むらの一部も再現
- ・ 気泡面積別頻度図の作成

頻度



53

ご清聴有難う御座いました。

佐賀大学 大学院 工学系研究科 都市工専攻 伊藤幸広

〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄1

TEL : 0952-28-8874 Email : itoy@cc.saga-u.ac.jp

研究室HP : <http://toshi1.civil.saga-u.ac.jp/itoy/index.html>