

Kuraves-Actis Kuraves-Th (Thermal) を使った調査事例紹介



サステナブルな社会構築に貢献する
(株) 保全工学研究所

発表者 天野 勲



デジタル画像を用いた外観調査法とは?

可視画像

- デジタルカメラ
- 高精細な可視画像を撮影
(1ピクセル当たり1mm以下)
- 近接目視で確認できる変状
 - ひび割れ幅・長さ
 - 遊離石灰・錆汁
 - はく落・鉄筋露出

熱画像

- 赤外線サーモグラフィカメラ
- 高い温度分解能の熱画像を撮影
(最小検知温度:0.02°C)
- 微小温度変化で確認できる変状
 - 表層の浮き・はく離
(従来法:打音法)
 - 漏水・湧水

デジタル画像を活用するメリット

- 離れた場所から画像を撮影
 - ✓ 仮設足場等が不要 ⇒ 低コスト
 - ✓ 地上等の安全な位置での作業 ⇒ 高い安全性
 - ✓ 現地での短い作業時間 ⇒ 時短
- 画像を記録保存
 - ✓ 調査時点の全面的な画像を残すことが可能
 - ✓ 記録された画像は、時間を遡って確認が可能
 - ✓ 画像解析による自動抽出が可能
 - ヒューマンエラーの低減
 - 個人差の低減
 - 再現性の高い、客観的な結果

可視画像によるひび割れ検査法

画像接合

ひび割れ抽出

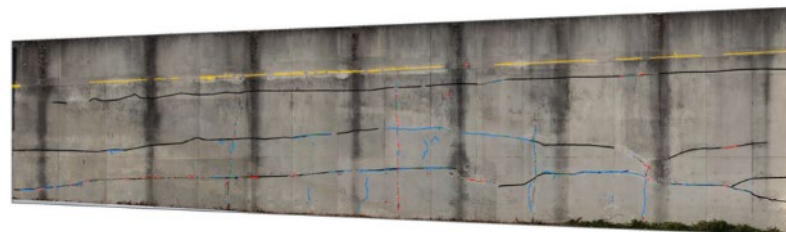
損傷図作成



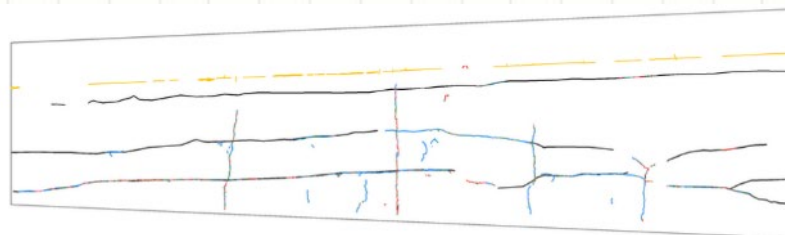
分割して精細な
可視画像を撮影



正対補正
縮尺設定



画像解析
自動抽出



Dxf 出力

凡例	
—	0.2mm未満
—	0.2~0.3mm
—	0.3~0.4mm
—	0.4~0.5mm
—	0.5mm以上
—	遊離石灰を伴うひび割れ
—	遊離石灰
—	打ち継ぎ目

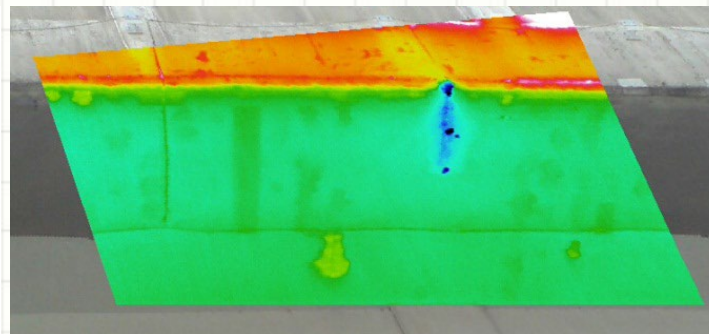
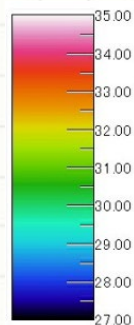
熱画像を用いた浮き等の抽出技術



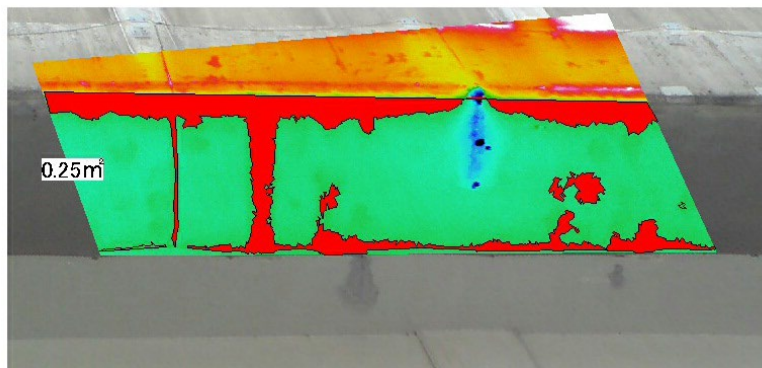
見上げて撮影した熱画像



熱画像の
正対補正



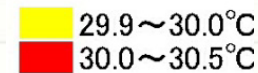
変状部に関する
特定温度領域の抽出



Dxfファイルでの出力
損傷図の作成

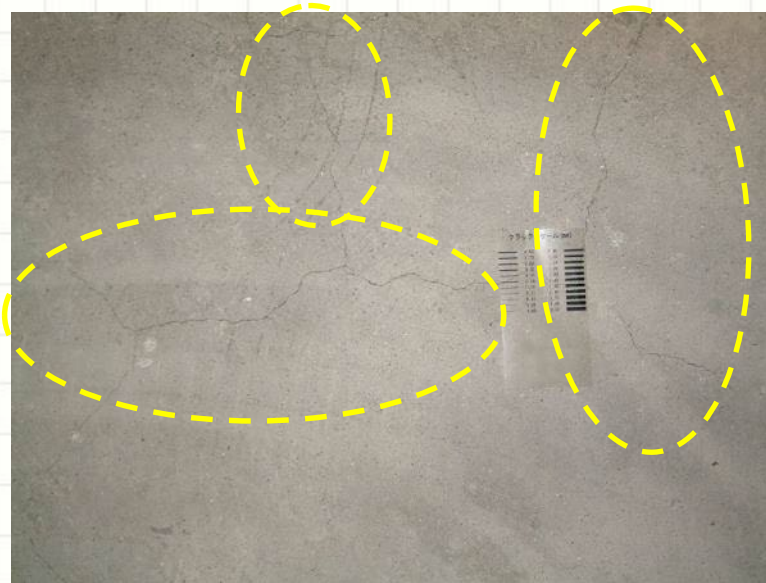


特定温度領域
のベクトル化



ひび割れ抽出コア技術Actisとは？

- Actis (Auto Crack Tracing Image System) の略
- 画像解析により、1画素サイズの20%のひび割れ幅のひび割れを自動的にトレース



可視画像



ひび割れ抽出結果図

撮影機材

- デジタルカメラ
 - ✓ 静止画を原則
 - ✓ メーカー、機種は不問
 - ✓ 推奨: フルサイズセンサー
レンズ交換タイプ
 - ✓ ビデオは画像形式が
圧縮されておりNG
- 補助光
 - ✓ 外付けフラッシュ



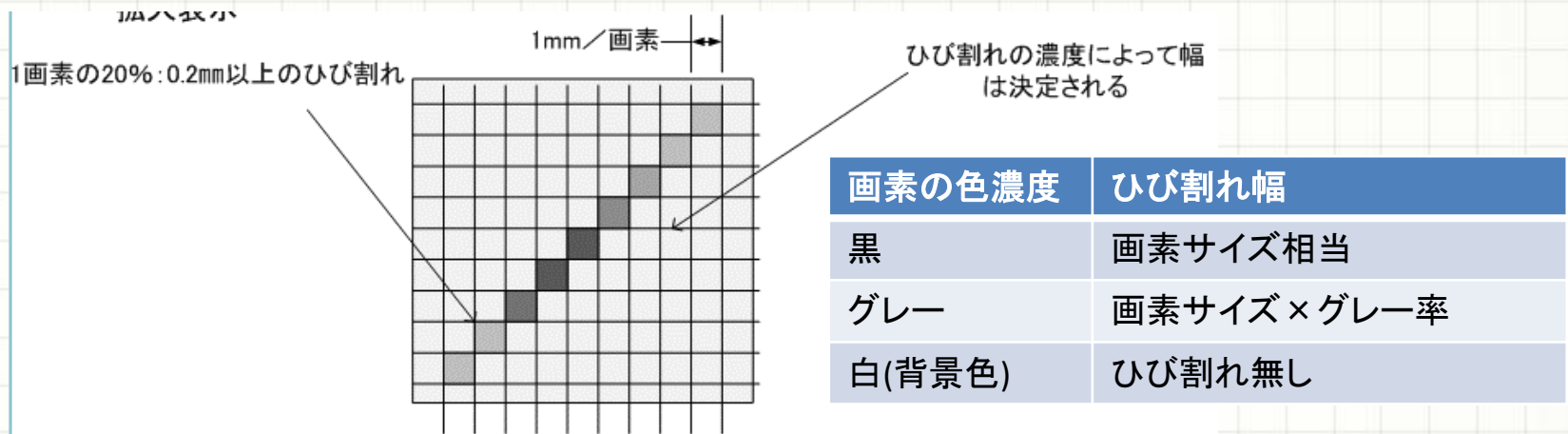
画像の撮影方法（可視・熱画像共通）

- 三脚上に固定
- 高所作業車など移動足場
- ポールカメラで高所撮影
- UAV等の無人飛行機
- 専用の鉄道用撮影台車



ひび割れ抽出原理

- ひび割れ部の色調の違いにより画素毎に検出
✓ 背景白色に、ひび割れ部の黒の検出
- ひび割れ幅は、1画素中の色濃度（白黒256階調）により決定
- ひび割れ長さ、幅は、設定した縮尺（画像解像度）により決定



ひび割れの抽出性能(最小ひび割れ幅)

- 抽出可能な最小ひび割れ幅は、
 - ➡ 1画素の大きさによって決まる
 - ➡ 1画素解像度の20% (理論値)
- 抽出実績：ひび割れ幅0.05mm
(1画素解像度0.25mm × 20%)
 - ➡ 撮影画像の範囲はおよそ1m四方

可視画像の撮影条件の設定

1st 最小ひび割れ幅の設定

- 最小ひび割れ幅 = 0.2mm

2nd 撮影解像度の決定

- 対象面上で 1mm/画素
0.2mm ÷ 20%

3rd 使用カメラの画素数の設定

- 3000 × 4000画素 (1200万画素)

4th 画角 (撮影範囲) の決定
(画素数 × 撮影解像度)

- 画角 3m × 4m以下
(3000画素 × 1mm/画素)

5th 撮影距離から使用レンズ
の選定

- 撮影距離が10mの場合
焦点距離90mmレンズ

可視画像撮影条件の確認試験

- 対象構造物
 - ✓ 高さ1,500mm, 幅400mm のアルカリ骨材反応によってひび割れが発生した柱状試験体
 - ✓ ひび割れ幅は0.05~1mm 程度
- 使用機器
 - ✓ 一眼レフタイプのデジタルカメラ
 - ✓ 撮像素子:22.3×14.9mm APS-C CMOSセンサ
 - ✓ 有効画素数1,800万画素(5,184×3,456画素)
 - ✓ 撮像感度ISO 100~6,400
 - ✓ 記録ファイル形式:JPEG
- 撮影方法
 - ✓ カメラを三脚に固定
 - ✓ リモートリリースを使用
 - ✓ 明るい昼間
- 撮影条件
 - ✓ 1画素の大きさが約0.6mm/画素
 - ✓ 画角3.1×2.0m



写真-1 試験体

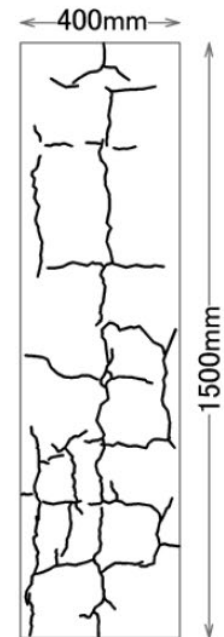


図-1 ひび割れ図

可視画像撮影条件と自動抽出性能

• カメラ設定条件

✓ **ISO** 大きすぎると抽出性能が低下
画質劣化が激しい

✓ **撮影角度** 大きすぎると抽出性能が低下

画像撮影には、カメラ設定や撮影角度の制限がある

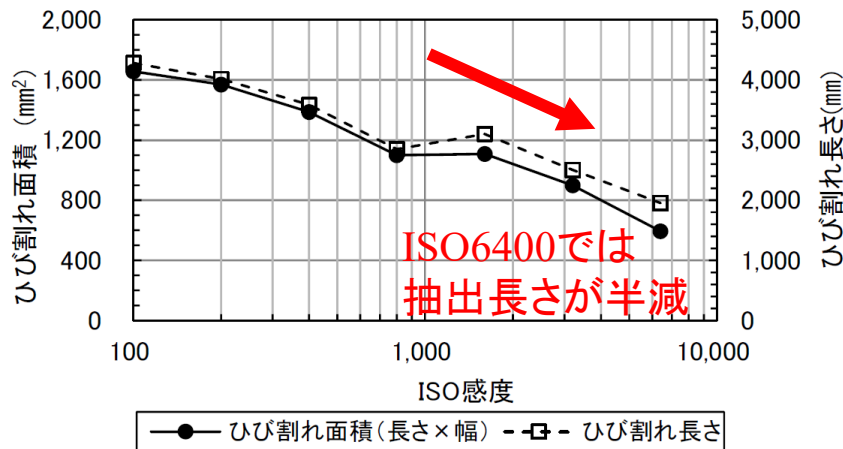


図-3 ISO 感度とひび割れ面積・長さの関係

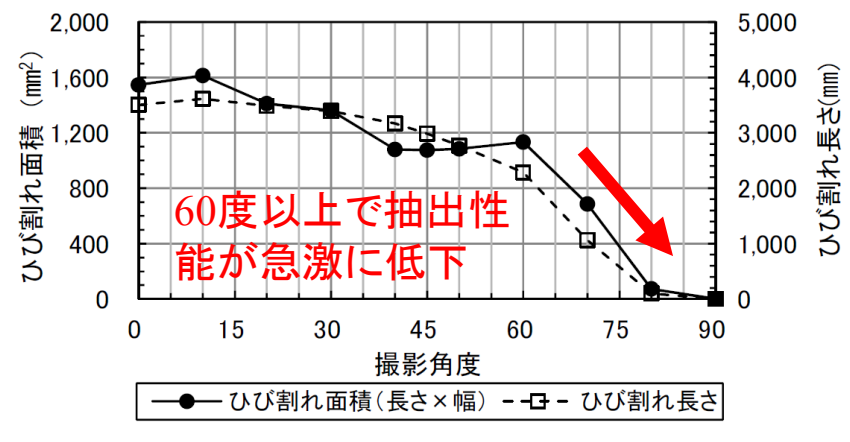
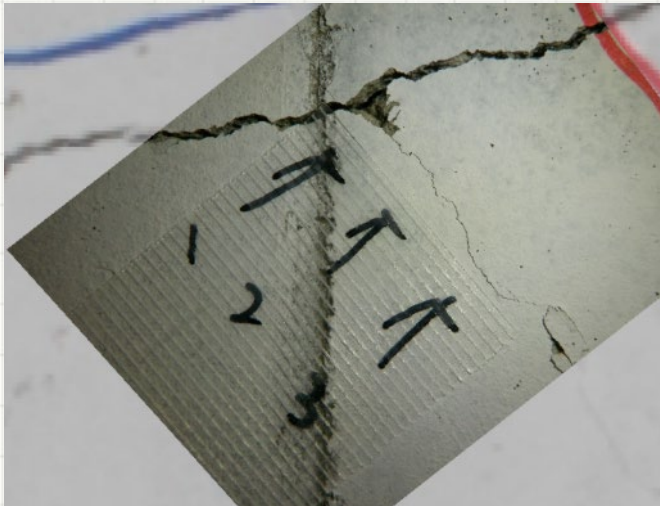


図-4 撮影角度とひび割れ面積・長さの関係

ひび割れ抽出精度（室内、近距離）

- 方法

- ✓対象は、壁試験体載荷試験後の残留ひび割れ
- ✓マイクروسコープによる目視とKuraves-Actis による測定結果を比較



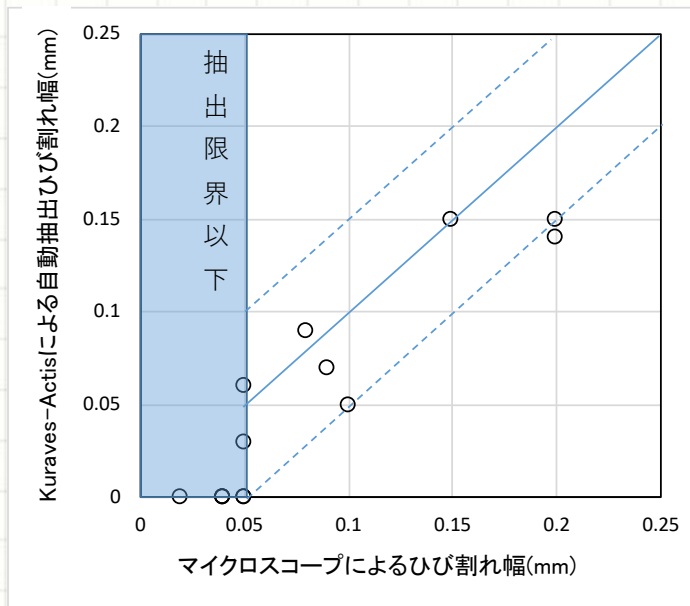
矢印の部分についてひび割れ幅を計測

室内・近距離での精度検証結果

条件

- ✓ 撮影距離: 5.5m
- ✓ 1画素解像度: 0.25mm/画素
- ✓ 最小検出ひび割れ幅: 0.05mm

目視の誤差と同等レベル



No.	Microscope Max-width (mm)	Kurave-Actis width (mm)	Resolution width/pix	diff width (mm)
1	0.05	no recog	20%	-
2	0.05	no recog	20%	-
3	0.04	no recog	16%	-
4	0.05	0.03	20%	-0.02
5	0.04	no recog	16%	-
6	0.04	no recog	16%	-
7	0.15	0.15	60%	0.00
8	0.2	0.15	80%	-0.05
9	0.2	0.14	80%	-0.06
10	0.08	0.09	32%	0.01
11	0.09	0.07	36%	-0.02
12	0.1	0.05	40%	-0.05
13	0.05	0.06	20%	0.01
14	0.02	no recog	8%	-

ひび割れ抽出精度（遠距離）

- ダム堤体ひび割れ調査を想定

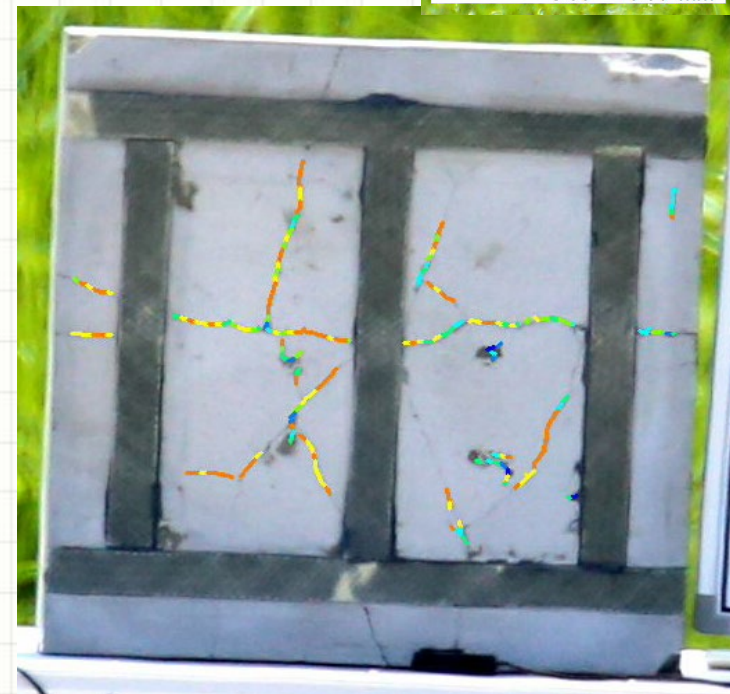
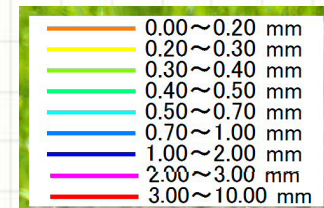
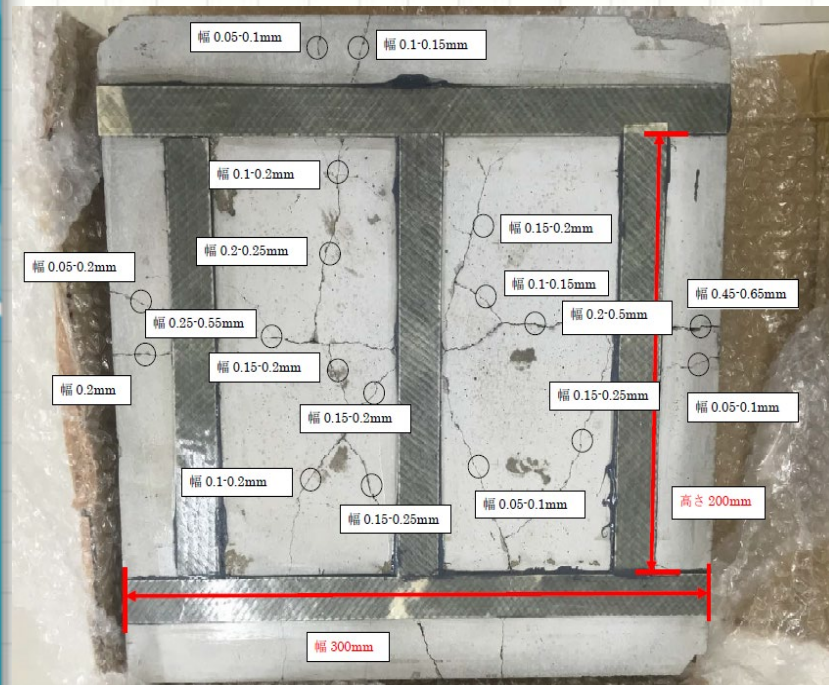
- 条件

- ✓ 撮影距離 70m
- ✓ レンズ焦点距離 380mm + テレコンバータ × 2
- ✓ 撮影時刻 晴天時12時
- ✓ 1画素解像度 0.6mm
- ✓ 最小検出ひび割れ 0.12mm



遠距離での精度検証結果(1)

- 0.1mm以上ひび割れを検出



ひび割れ状況把握のための
の近接写真

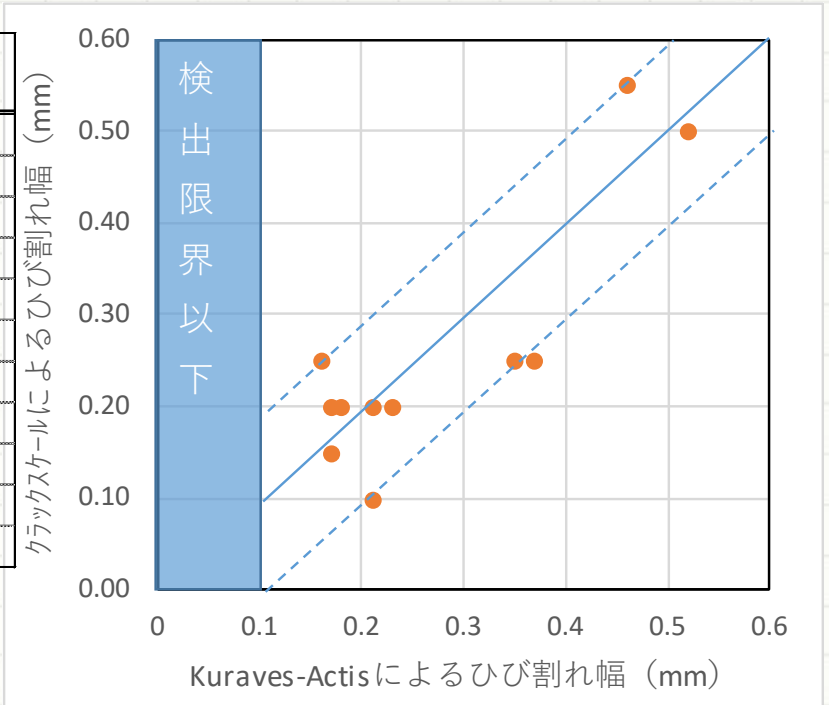
解析用画像の拡大画像

(株)保全工学研究所の技術紹介

遠距離での精度検証結果(2)

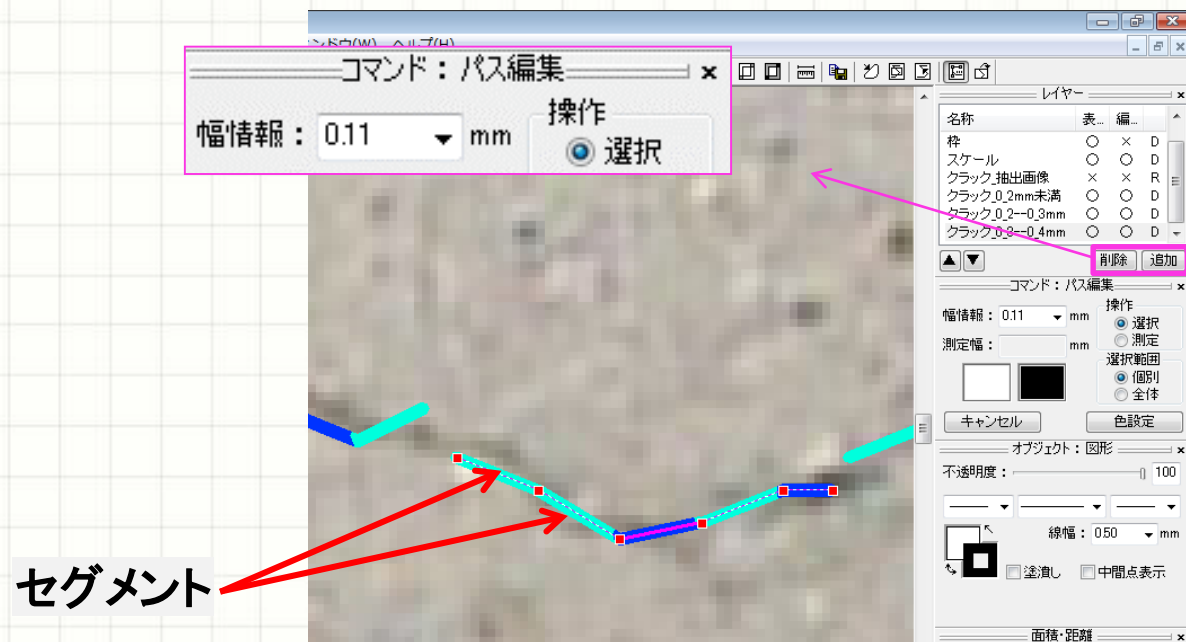
- ひび割れ幅比較
- 検出精度は±0.1mm

Mark No.	クラックスケールによる ひび割れ幅	画像解析による ひび割れ幅	ひび割れ幅の差 (画像解析-目視)
No.1	0.10 ~ 0.20 mm	0.08 ~ 0.21 mm	-0.02 ~ 0.01 mm
No.2	0.20 ~ 0.25 mm	0.13 ~ 0.37 mm	-0.07 ~ 0.12 mm
No.3	0.25 ~ 0.55 mm	0.27 ~ 0.46 mm	0.02 ~ -0.09 mm
No.4	0.15 ~ 0.20 mm	0.13 ~ 0.17 mm	-0.02 ~ -0.03 mm
No.5	0.10 ~ 0.20 mm	0.14 ~ 0.18 mm	0.04 ~ -0.02 mm
No.6	0.15 ~ 0.25 mm	0.19 ~ 0.35 mm	0.04 ~ 0.10 mm
No.7	0.15 ~ 0.20 mm	0.12 ~ 0.23 mm	-0.03 ~ 0.03 mm
No.8	0.10 ~ 0.15 mm	0.17 ~ 0.17 mm	0.07 ~ 0.02 mm
No.9	0.20 ~ 0.50 mm	0.20 ~ 0.52 mm	0.00 ~ 0.02 mm
No.10	0.15 ~ 0.25 mm	0.07 ~ 0.16 mm	-0.08 ~ -0.09 mm
No.11	0.05 ~ 0.10 mm	0.09 ~ 0.21 mm	0.04 ~ 0.11 mm



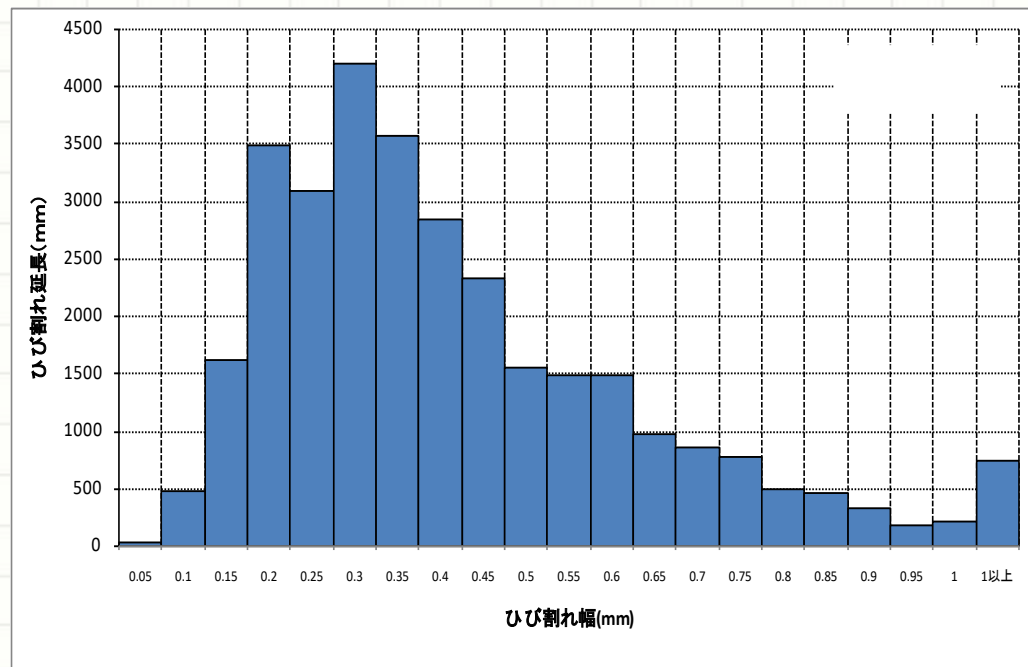
検出結果とひび割れ幅の確認

- ひび割れは、短いベクトル(セグメント)の連続でトレース
- セグメント単位でひび割れ幅を保持
- 任意のセグメントを指示すると、幅を表示



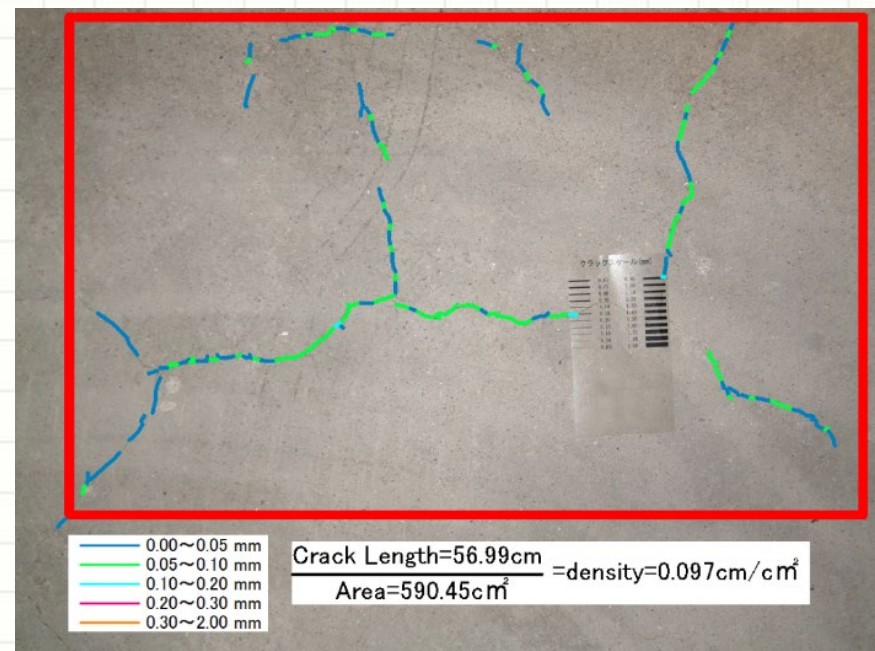
ひび割れ幅ヒストグラムの出力

- セグメント単位の幅と長さをヒストグラム化が可能
- ヒストグラムの比較から、幅と長さ違いを容易に把握できる
- ひび割れの進行性を把握することが容易となる



ひび割れ長さ・密度の計測

- ひび割れの長さと分布面積の計測
 - ✓ひび割れを指定し、その全長の計測が可能
 - ✓同時に、ひび割れの分布面積の計測が可能
 - ✓ひび割れの長さから分布面積から密度が求まる



赤外線による浮き・剥離検出の原理

▶ 浮き・剥離部は、熱伝導率が低い**空気層**を挟む

▶ **気温変動**や**直射熱**等による熱移動で、浮き部と健全部で温度変化の速度が異なり、温度差を生じる。

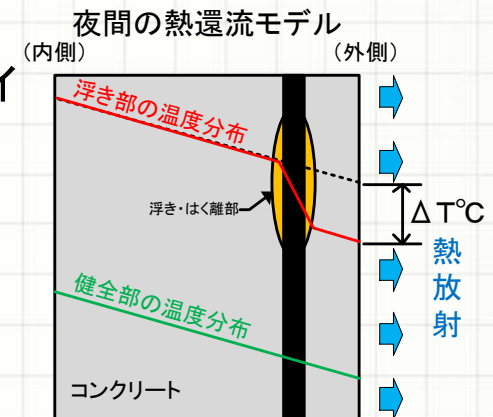
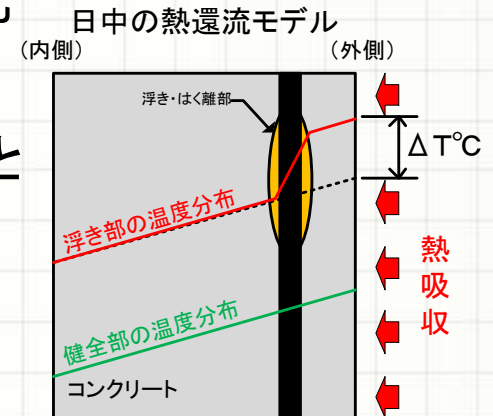
▶ 温度**上昇時**: 浮き部は**高温**

▶ 温度**下降時**: 浮き部は**低温**

▶ コンクリート表面温度差を赤外線サーモグラフィで可視化し、浮き・はく離、漏水部を検出する。

▶ 可視化するチャンスは2回

- 温度上昇時の午前中（短時間）
- 温度下降時の夜間（安定し長時間）

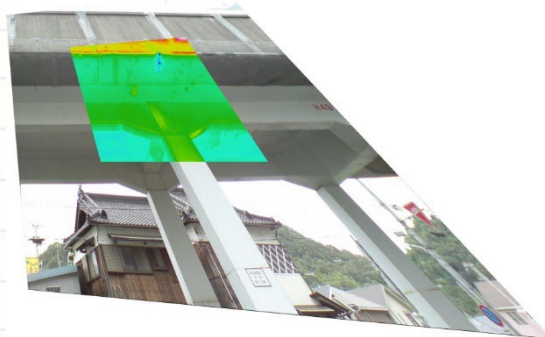
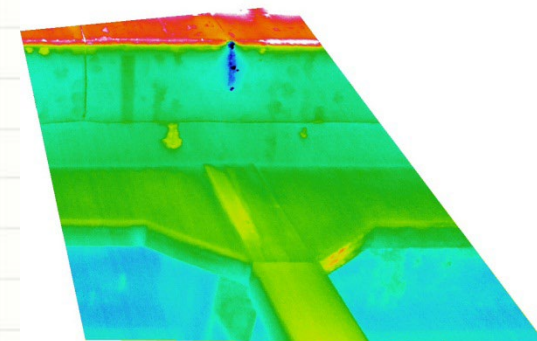
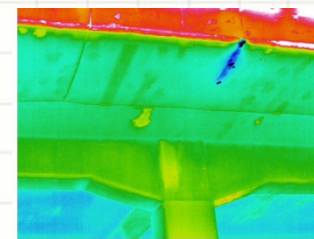


赤外線法の適用条件

- 赤外線法の一般的な使用限界
 - ✓ 上下角(仰角、俯角) 45° 以内
 - ✓ 水平角 30° 以内
 - ✓ この条件を超える場合は、対象面からの離隔距離を大きくし角度を小さくする。
- 撮影距離
 - ✓ 赤外線カメラの望遠レンズを使用すると約100mまで可能
 - 事例
 - SC6000の場合距離100mで1画素で12.5mm標準レンズ使用時の距離25mと同等
 - SC620の場合距離100mで1画素で17mm標準レンズ使用時の距離26mと同等

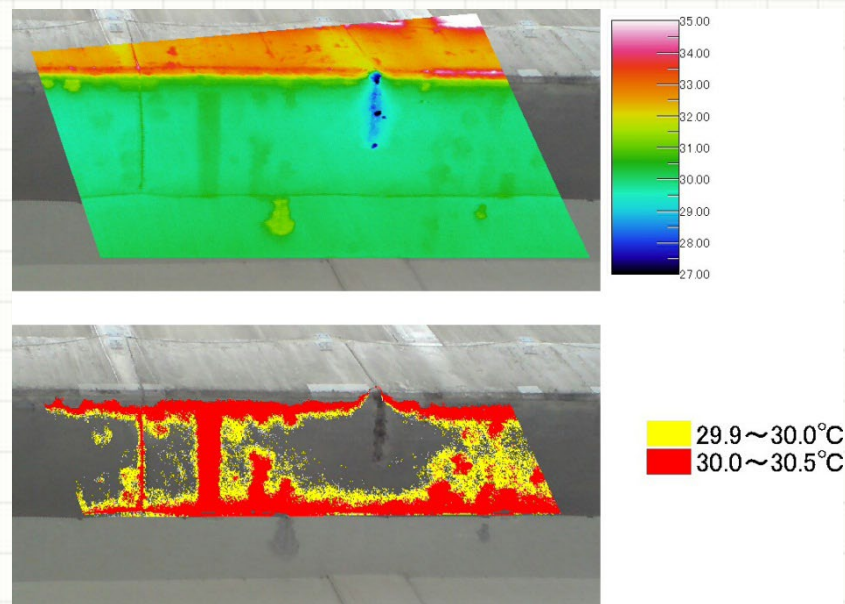
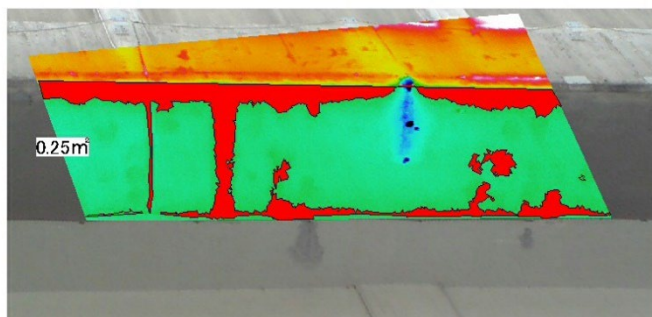
熱画像の変形

- 熱画像のあおり補正
- 可視画像との融合
- 可視画像と熱画像一括変形
 - ✓ 損傷位置の特定が容易(打音調査等)
 - ✓ 寸法、面積が正確
 - ✓ 経年劣化の比較が容易



熱画像処理機能

- 特定温度域のマスキング処理による変温部抽出
- 変温部のベクトル化による面積算定や図面化
 - ✓ 結果に個人差が発生しにくい
 - ✓ 劣化部の数量が正確



◆適用事例

地下鉄シールドトンネル



小断面トンネル



道路トンネル



浄水場スラブ



LNGタンク防液堤



ボックスカルバート



道路トンネル



高架橋PCスラブ



LNGタンク防液堤



アーチカルバート



地下鉄開削トンネル



道路開削トンネル



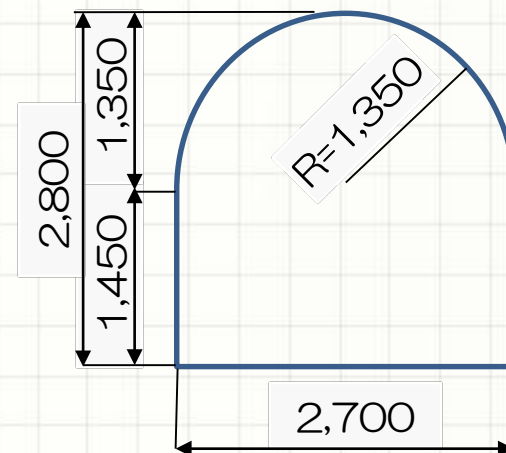
◆適用事例

道路トンネル

道路幅員2.7m
高さ2.7m
延長55m
小断面トンネル



トンネル断面

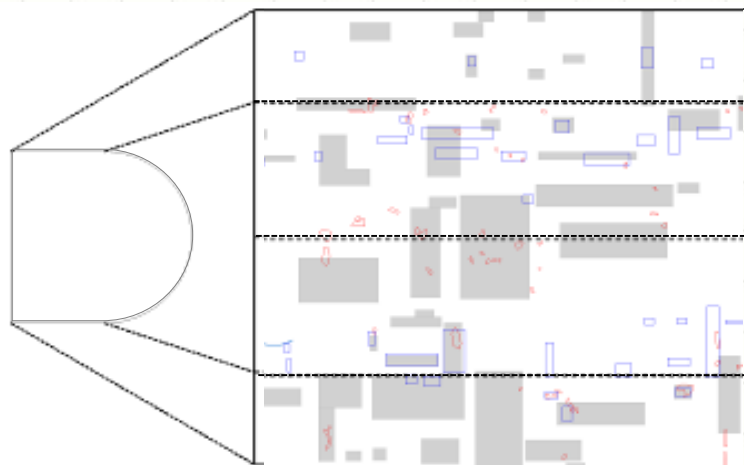


撮影機材



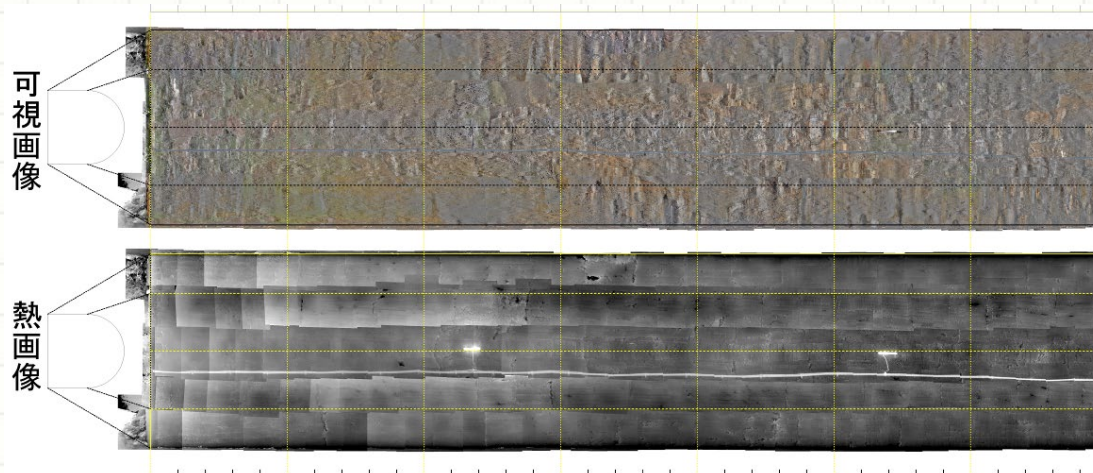
◆適用事例

変状展開図



ひびわれ		浮き・剥離
—	0.00~0.20 mm	□
—	0.20~0.30 mm	□
—	0.30~0.40 mm	□
—	0.40~0.50 mm	□
—	0.50~	□
□		漏水
■		ジャンカ豆板、骨材露出

画像接合



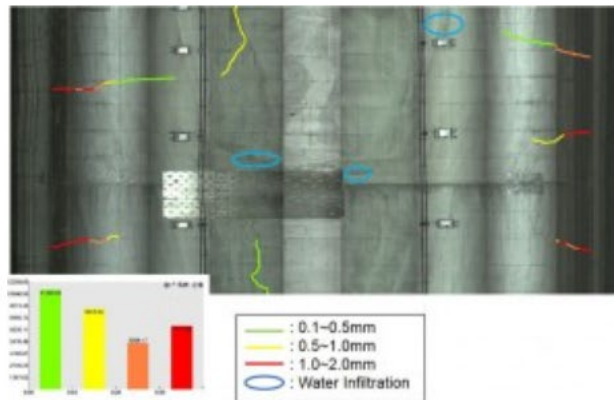
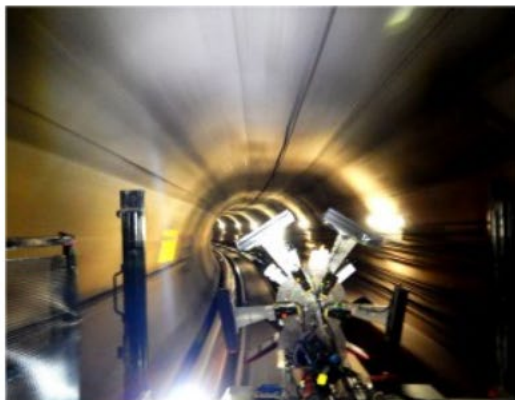
トンネルスキヤニング技術

・ 倉敷紡績(株)と共同開発

TM-270型鉄道トンネル検査システム（クラボウ）

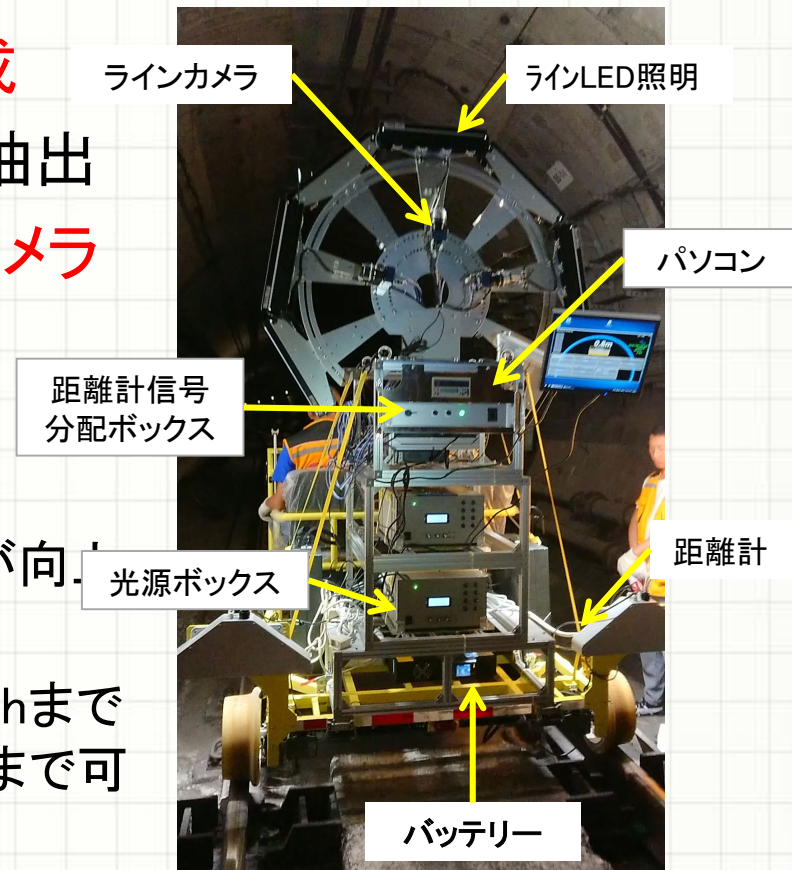
高繊細カラーラインカメラを7基搭載し、トンネル壁面全体の高解像度画像を撮像する最新システムです。点検作業の大幅な省力化・効率化に役立ちます。

- 取扱が容易、夜中の限られた時間で高解像度の全面内壁画像を撮像可能
- 充実した解析ソフトウェアにより覆工画像からひび割れを自動抽出、また漏水等の損傷を描画することで損傷図を作成可能
- トンネル形状数値入力により自動で覆工画像を作成可能



ラインカメラを用いたトンネル調査

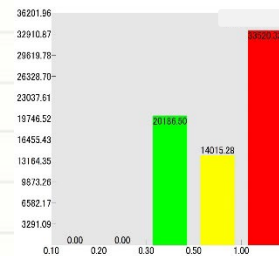
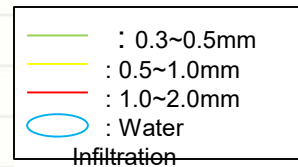
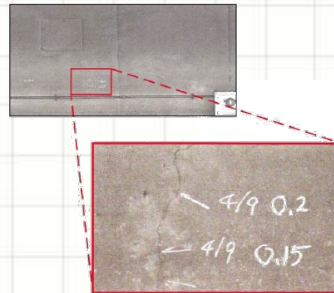
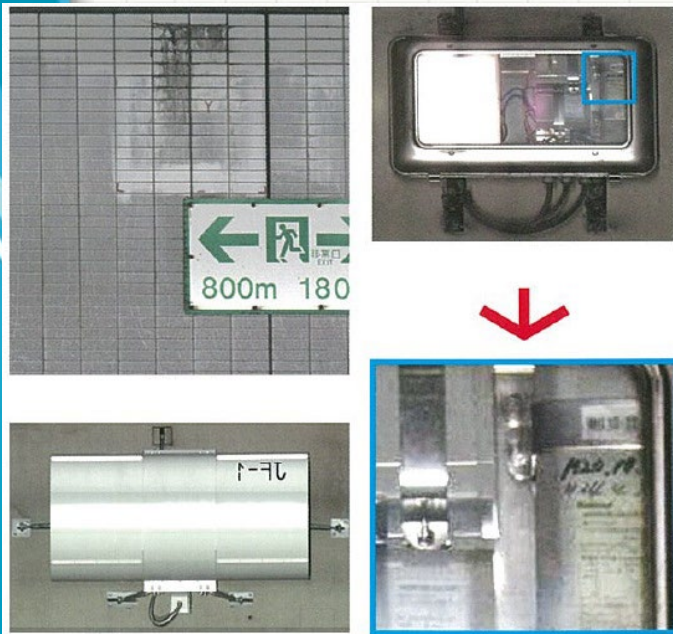
- ラインカメラ装置で**覆工表面の展開画像を作成**
- ひび割れ、遊離石灰等の変状を抽出
- 装置の概要**高精度カラーラインカメラ**
 - ✓ を使用
 - ✓ 容易に分解・持ち運びが可能
 - ✓ **バッテリー駆動**で高いモバイル性
 - ✓ **画像処理が簡易化**でき、解析速度が向上
 - ✓ 手押し台車型
撮像スピード: 徒歩速度から20km/hまで
※駆動台車を使用の場合、30km/hまで可



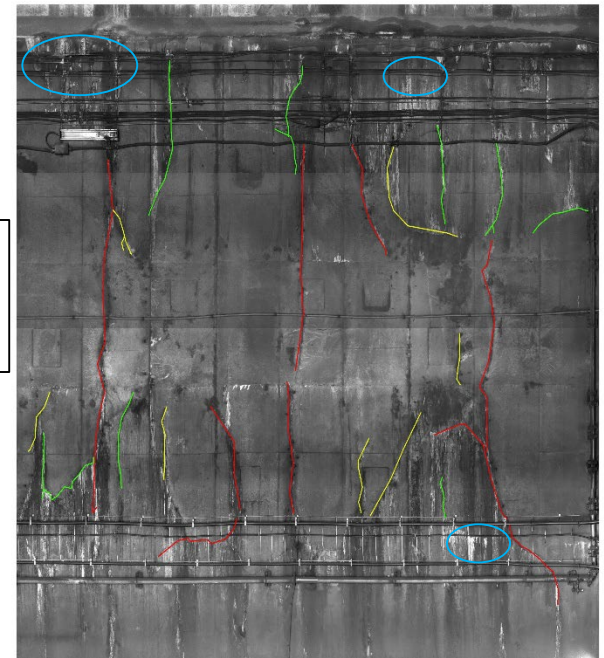
鉄道での新技術例

高解像度のカラー展開画像の作成

撮影画像の拡大
画像から変状が読み取れる



画像解析による損傷の抽出
(Kuraves-Actisの活用)



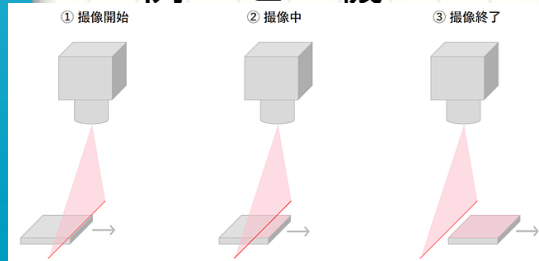
5. その他の鉄道での新技術例

可視画像撮影方法の違い(原理)

ラインカメラ(本手法)

- 1回の撮像で**1画素列の画像化**
- カメラの移動で全体画像を構成
- **画像補正が1方向と単純**
- 1回の走査で全体画像が構成可能

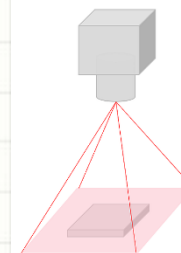
例:コピー機



エリアカメラ(従来法)

- デジタルカメラ等を使用
- 1回の撮像で**2次元範囲を画像化**
- **画像補正が2方向のため複雑**
- 画像の重複箇所により変状が隠れることがある

例:パノラマ写真



5. その他の鉄道での新技術例

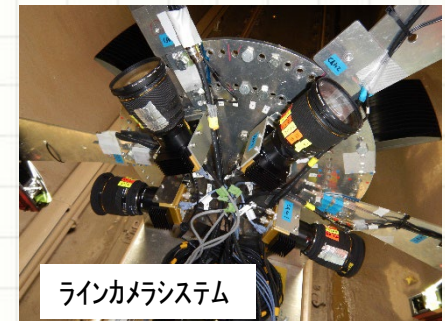
ワシントン地下鉄での事例 (USA)

- 目的

- ✓ 漏水箇所の特定
- ✓ ひび割れ等の変状部の抽出

- 調査方法

- ✓ 漏水: 赤外線サーモグラフィ
- ✓ ひび割れ等: ラインカメラ
- ✓ 軌陸車による走行



ラインカメラシステム



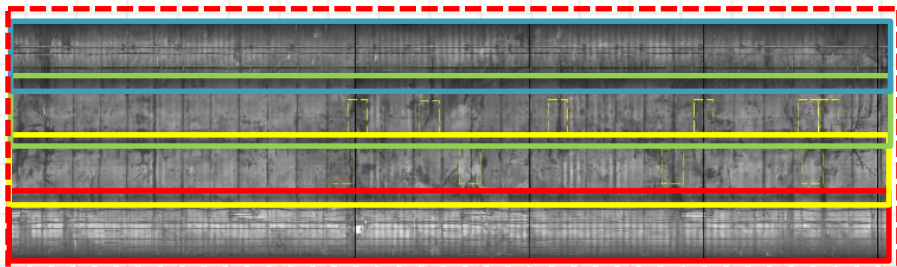
軌陸車



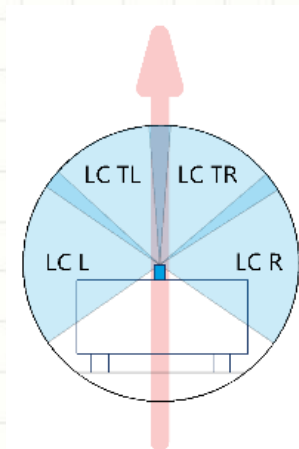
赤外線カメラシステム

Camera set up

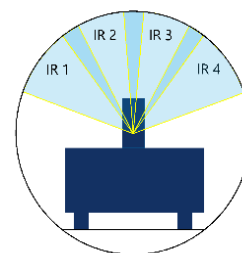
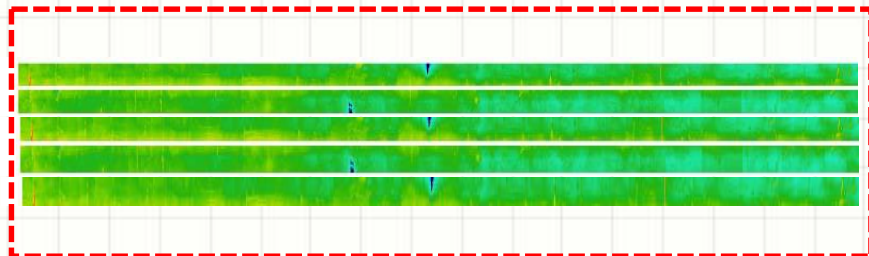
Cam 4
Cam 3
Cam 2
Cam 1



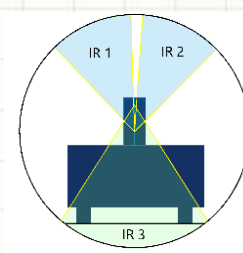
Line camera (270 degrees)



ラインカメラを4台使用



次回以降は赤外線カメラ4台で上向きに撮影するよう発注者から指示あり



(参考)
初回撮影時(7月14日)のカメラ配置

撮影状況

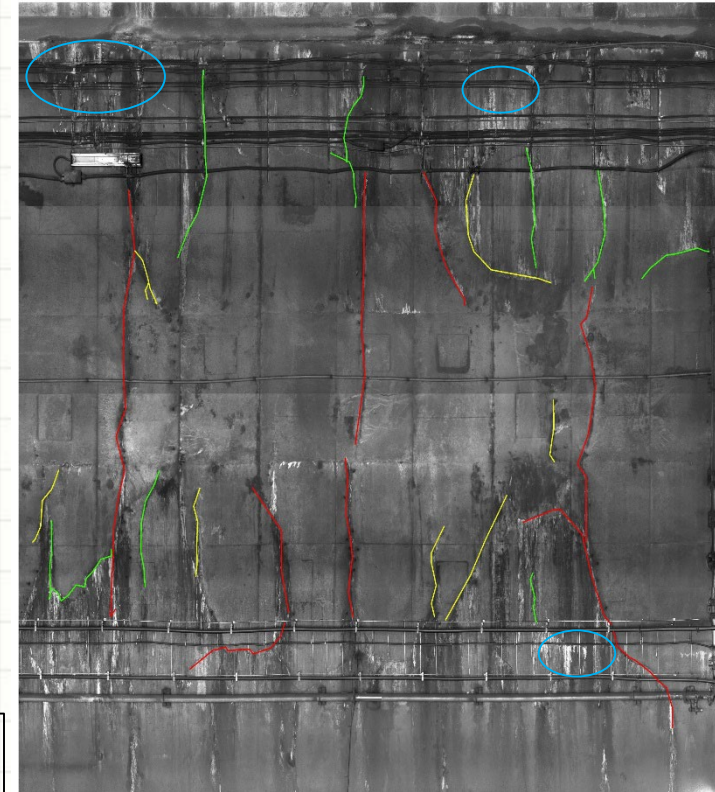
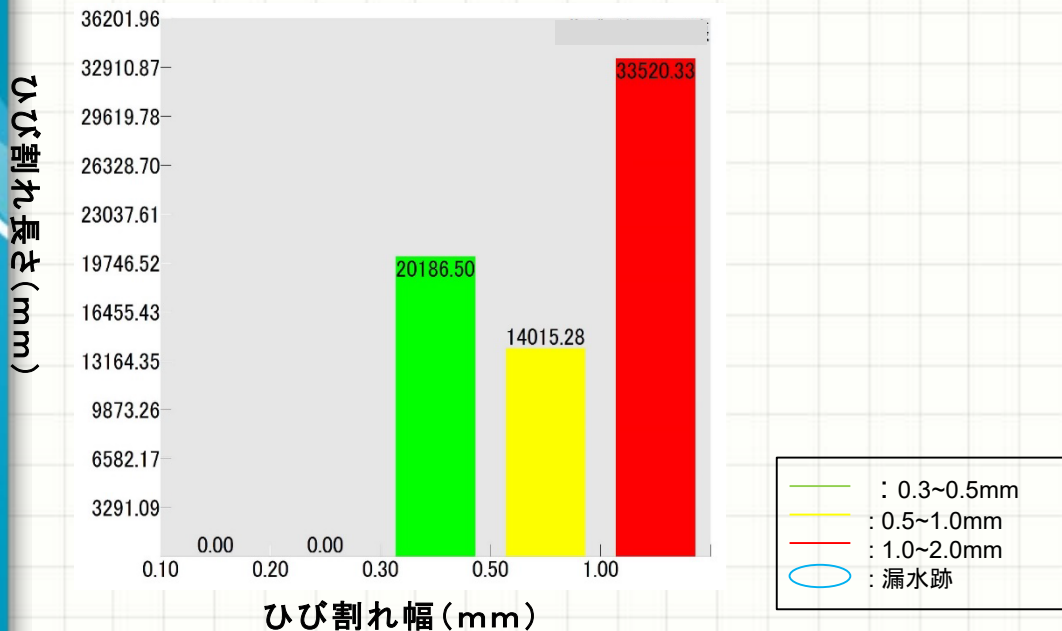
- 移動速度は約10km/h



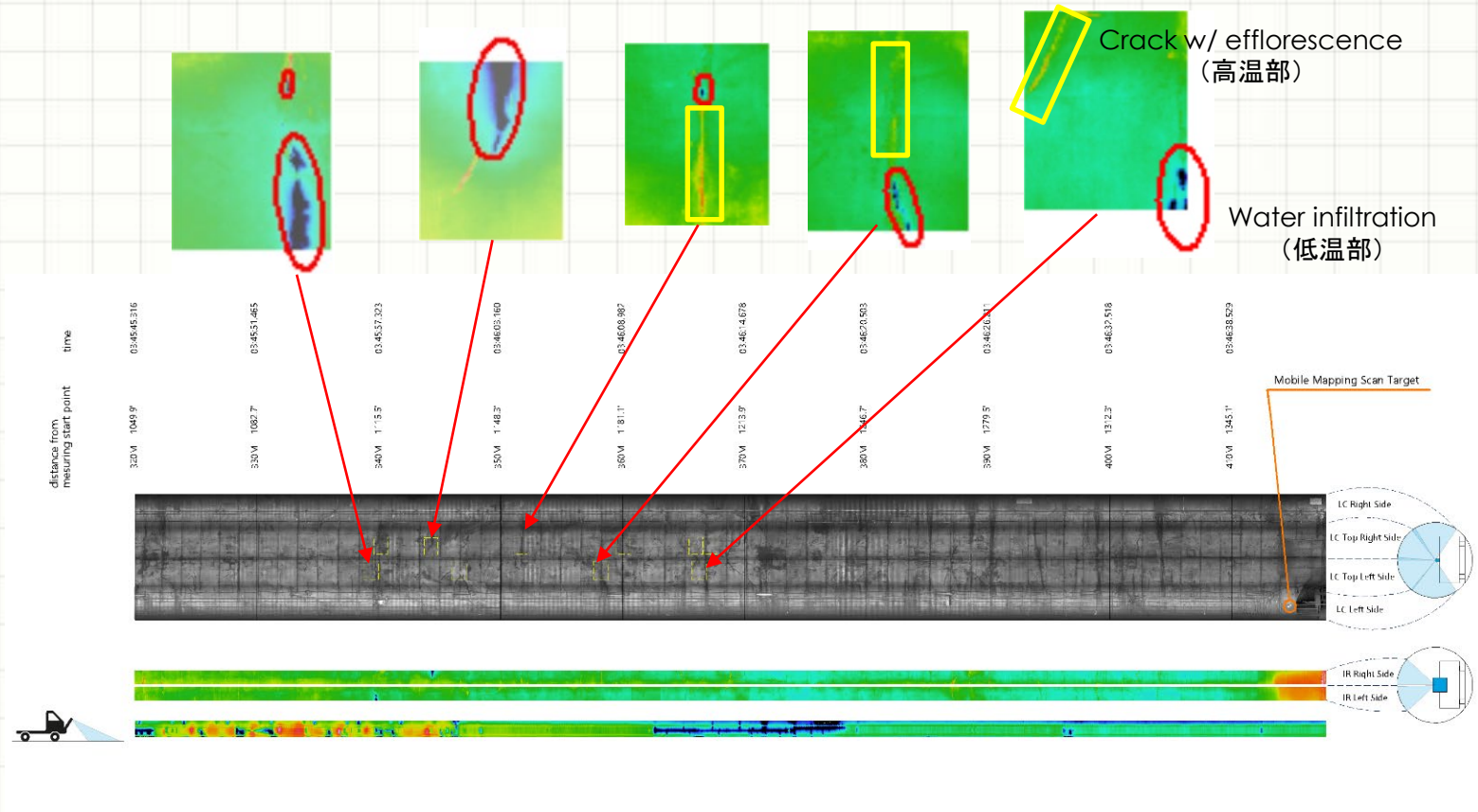
5. その他の鉄道での新技術例

可視画像による変状図の作成

- 画像解析により、ひび割れの幅と長さを自動検出



熱画像による漏水と遊離石灰析出部の図化



5. その他の鉄道での新技術例

煙突への適用事例

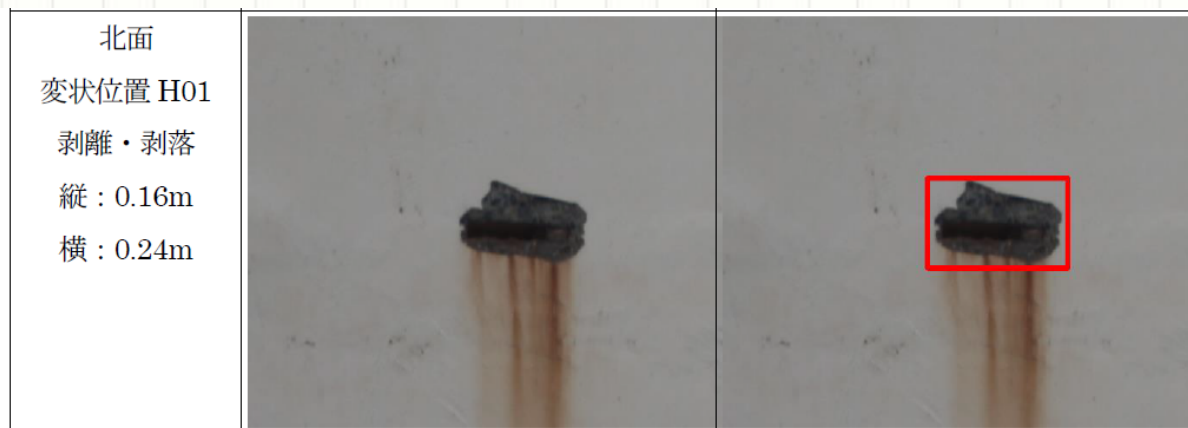
- 高さ170m
- コンクリート製
- 地上から画像撮影



写真一 2.3 ハイブリッド画像撮影部

検出変状箇所

- 赤外線熱画像、可視画像からはく離部
- 可視画像からひび割れ(幅0.3mm)



- 今はUAVを活用

南面
変状位置 Cr03
ひび割れ
幅 : 0.32mm
長 : 0.52m



海岸護岸での事例

- 護岸上からUAVを操縦
- 岸壁の画像を連続撮影
- 画像接合を行い
ひび割れ等の変状
を検出

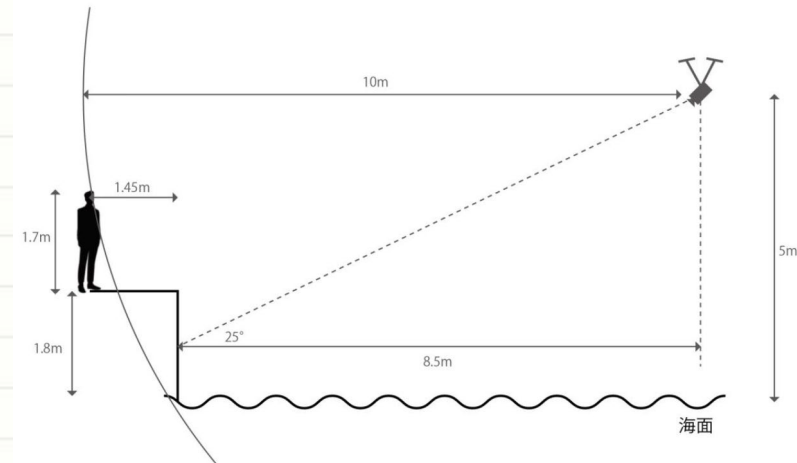
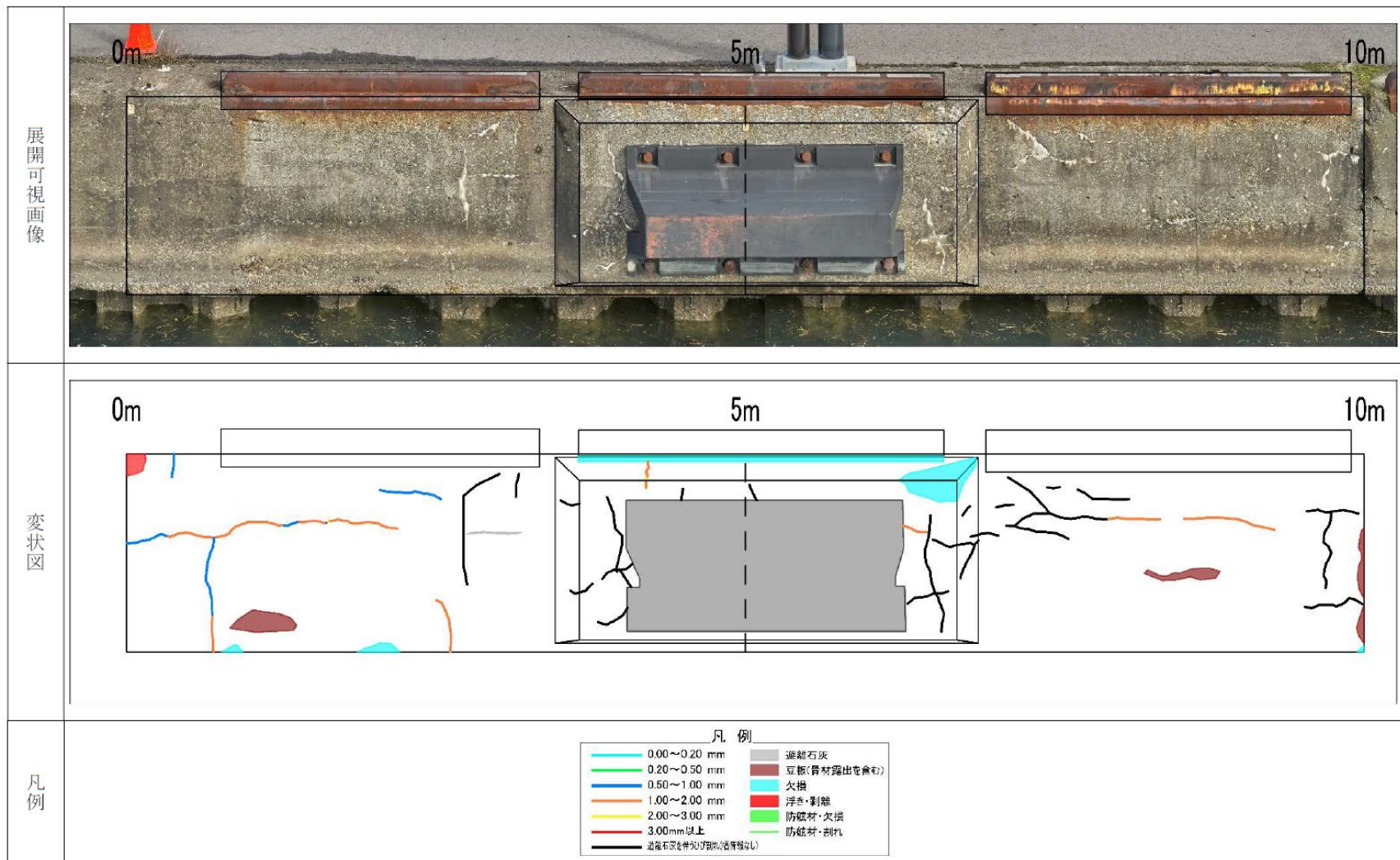


写真 3-6 飛行状況

変状検出結果(ひび割れ他変状)

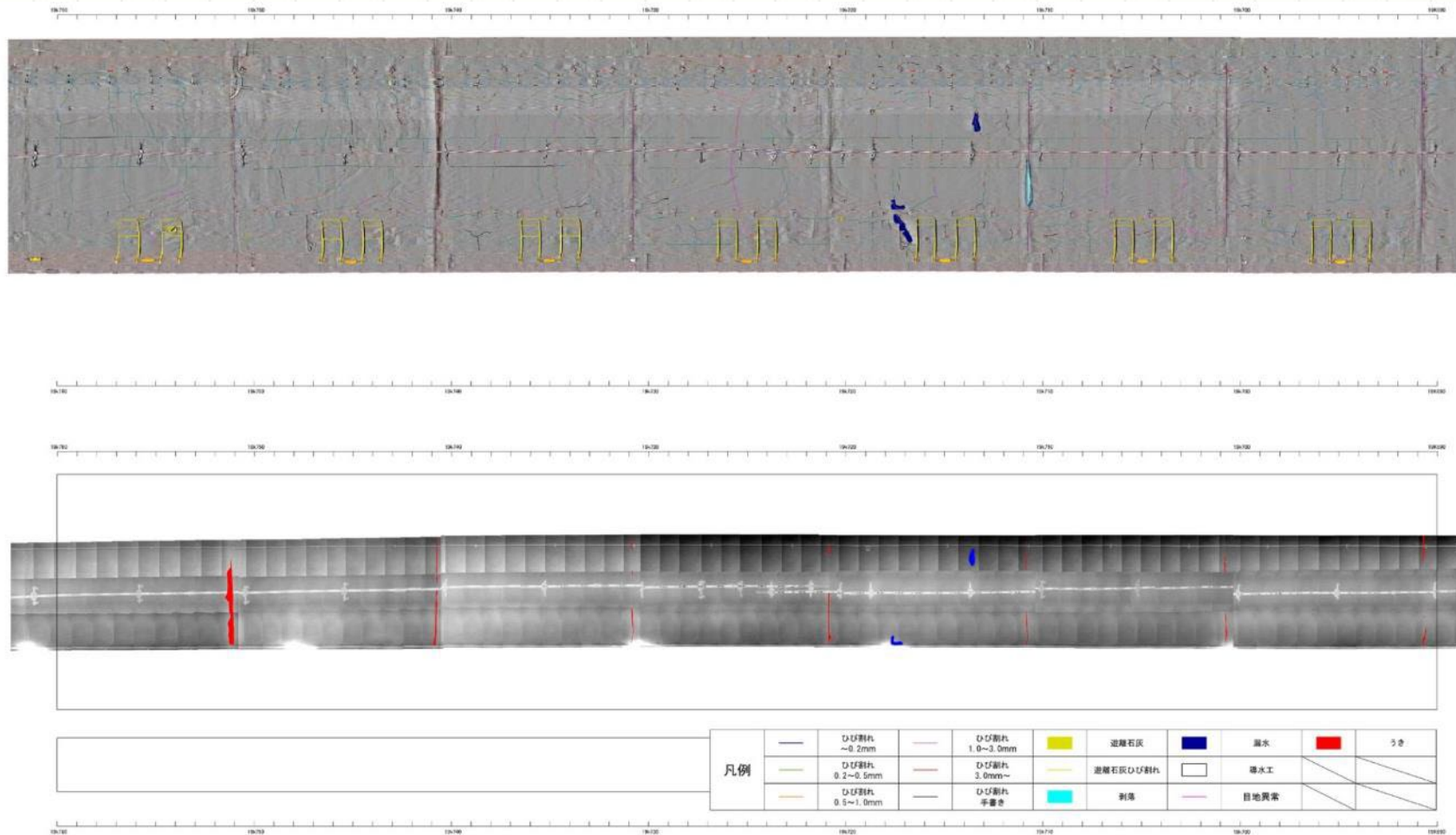


トンネルでの事例

- 鉄道トンネル(地下鉄)
- 70m区間を夜間1:00～3:30
- **HIVIDAS**(可視・熱画像)を撮影
- ひび割れは、近接工事の影響を比較するため、年3回×2年の計測を実施

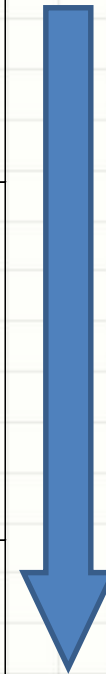
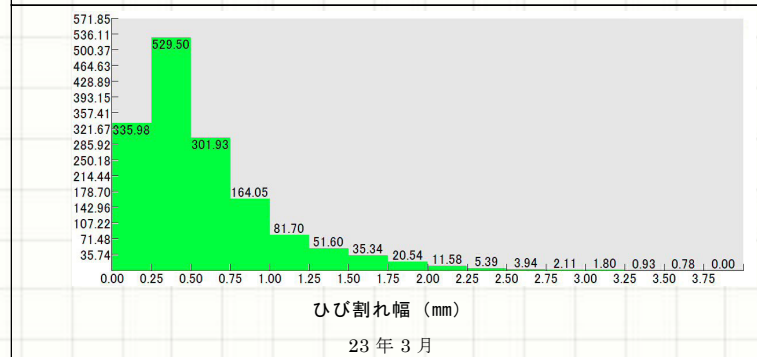
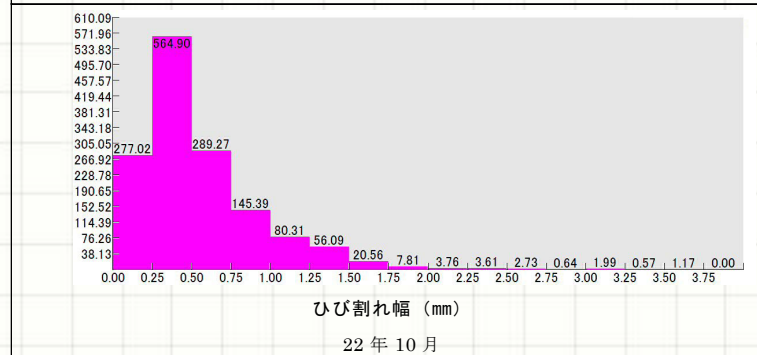
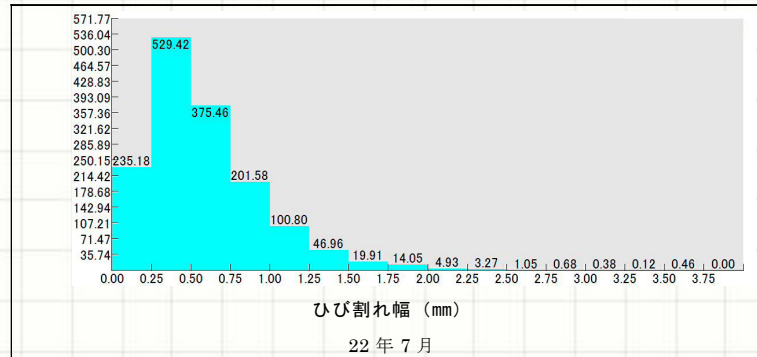


調査結果



高感度の赤外線カメラを使用したため温度差の少ない地下鉄でも浮きの検出が可能であった

10m区間のひび割れの経年変化



橋梁での事例

- 道路橋

- ✓ 撮影作業時間は、
200m²を1時間程度

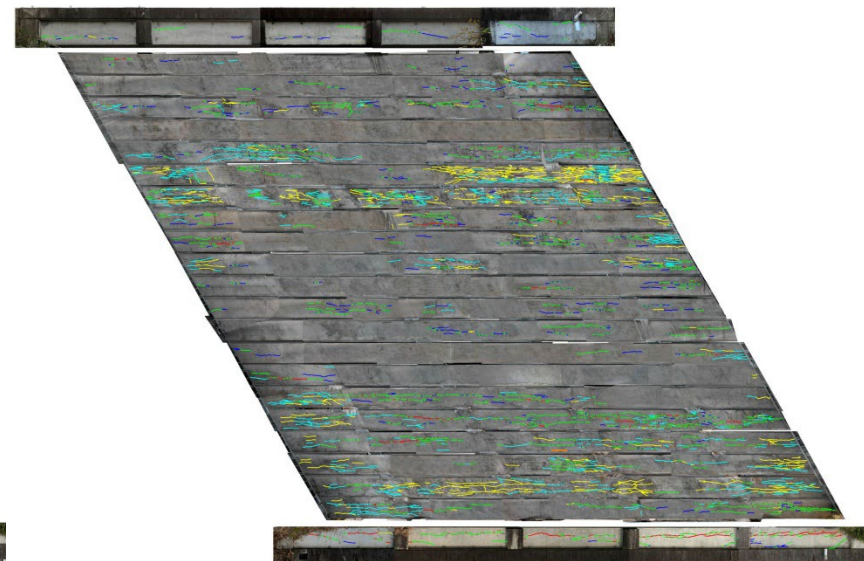
- ✓ 可視画像の撮影を実施

- ✓ アルカリ骨材反応が進んだ橋梁の床版及び高欄側面についてひび割れの幅及び長さ調査を実施





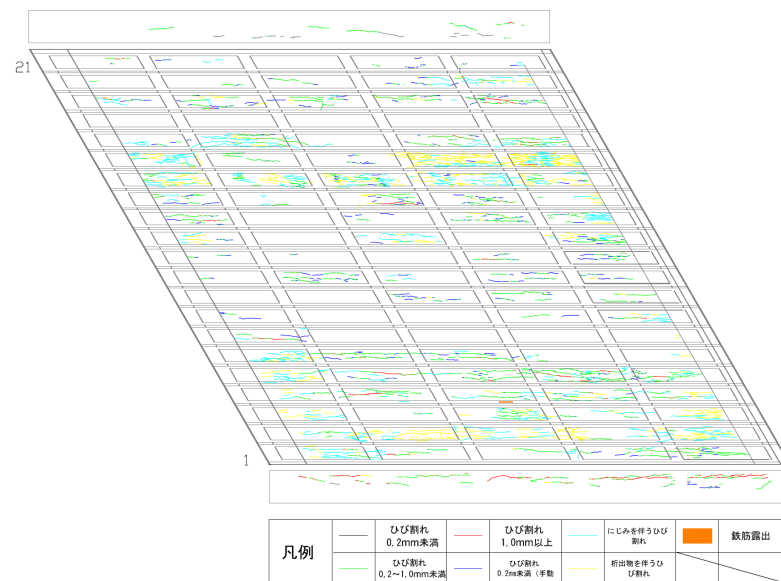
可視画像:見下げ



可視画像(ひび割れ抽出後):見下げ



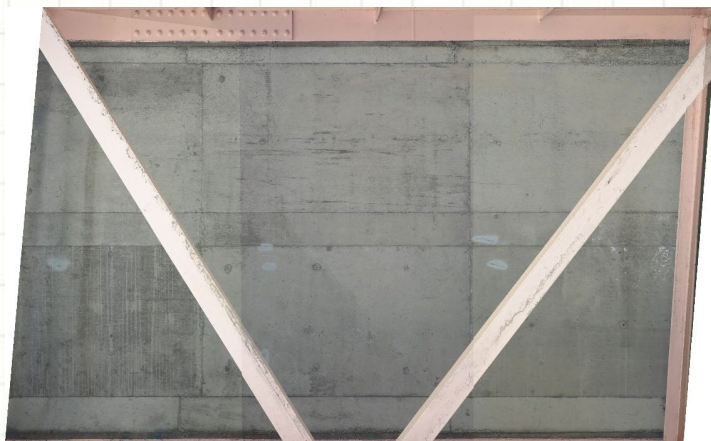
可視画像(原画像)



CAD図:見下げ

ひび割れ抽出結果

画像接合

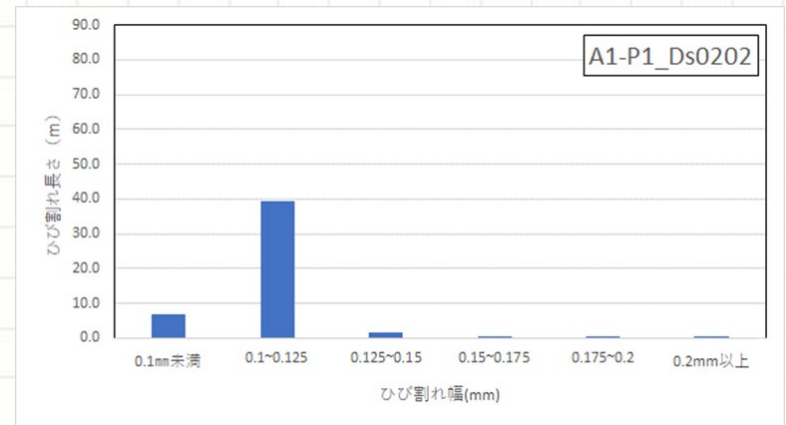


(1) 可視画像 (見下げ)



(2) 解析結果図 (見下げ)

ひび割れ幅ヒストグラム



ひび割れの自動抽出
大半が0.2mm未満

ひび割れ幅		
0.2mm未満	0.2~0.3mm	0.3~0.4mm
0.4~0.5mm	0.5mm以上	

調査結果の評価(例)

	A1-P1			P1-A2		
	Ds0202	Ds0302	Ds0402	Ds0206	Ds0306	Ds0406
0.1mm未満	6.68	11.65	5.06	3.39	8.13	5.80
0.1~0.2mm	41.66	84.86	40.69	14.01	82.24	34.20
0.2mm以上	0.46	1.20	0.86	1.21	8.28	1.54
合計	48.80	97.71	46.61	18.61	98.65	41.54
解析面積	9.86	11.12	9.84	9.73	10.37	9.73
ひび割れ密度(m/m ²)	4.95	8.79	4.74	1.91	9.51	4.27
ひび割れ密度平均(m/m ²)	6.27			5.32		

ひび割れ幅の集計、
密度の算出が可能



ひび割れ特性	劣化ランク				
	0	I	II	III	IV
平均ひび割れ間隔 (I)	$I \geq 1 \text{ m}$	$I = 0.6 \sim 1 \text{ m}$	$I = 0.4 \sim 0.6 \text{ m}$	$I = 0.2 \sim 0.4 \text{ m}$	$I \leq 0.2 \text{ m}$
ひび割れ密度 (D)	$D \leq 1 \text{ m/m}^2$	$D = 1 \sim 3 \text{ m/m}^2$	$D = 3 \sim 5 \text{ m/m}^2$	$D = 5 \sim 7 \text{ m/m}^2$	$D \geq 7 \text{ m/m}^2$
ひび割れ幅 (W)	ヘアークラック	おもなひび割れが $W \leq 0.1 \text{ mm}$	$W = 0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$	おもなひび割れが $W = 0.2 \text{ mm}$	おもなひび割れが $W \geq 0.2 \text{ mm}$
ひび割れパターン	一方向	一または二方向	二方向	格子状	格子状
表面状態	良好	良好	・水漏れ ・遊離石灰浸出	・水漏れ ・遊離石灰浸出 ・亀甲状ひび割れ	・水漏れ ・遊離石灰浸出 ・連続的な亀甲状ひび割れ ・欠落ち ・舗装の陥没

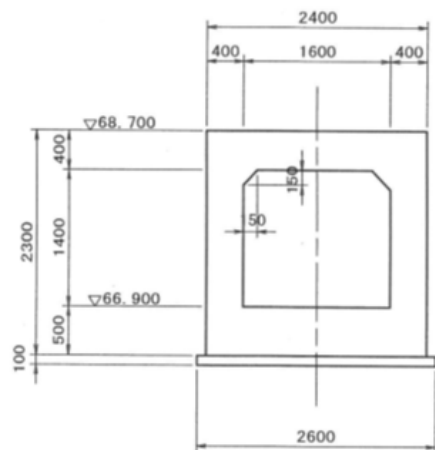
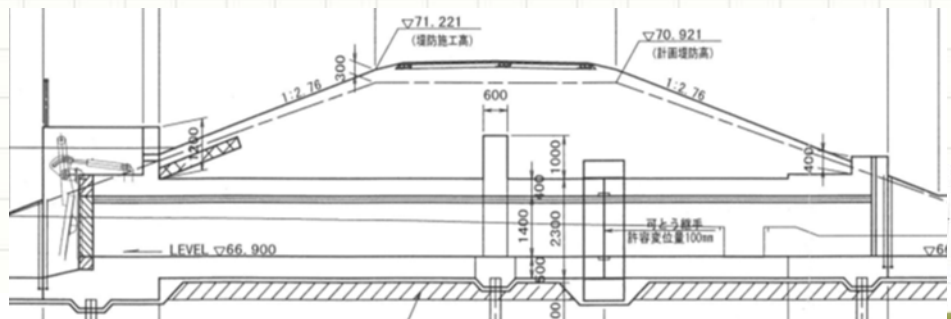
道路橋床版 設計・施工と維持管理(松井繁之)より抜粋

劣化ランク	A1-P1			P1-A2		
	Ds0202	Ds0302	Ds0402	Ds0206	Ds0306	Ds0406
ひび割れ密度	II	IV	II	I	IV	II
ひび割れ幅	II	II	II	II	II	II
ひび割れパターン	I	II	I	0	III	I
表面状態	0~I	0~I	0~I	0~I	0~I	0~I

評価の区分化

樋門函内での事例

- 1.4m × 1.6m × L21m

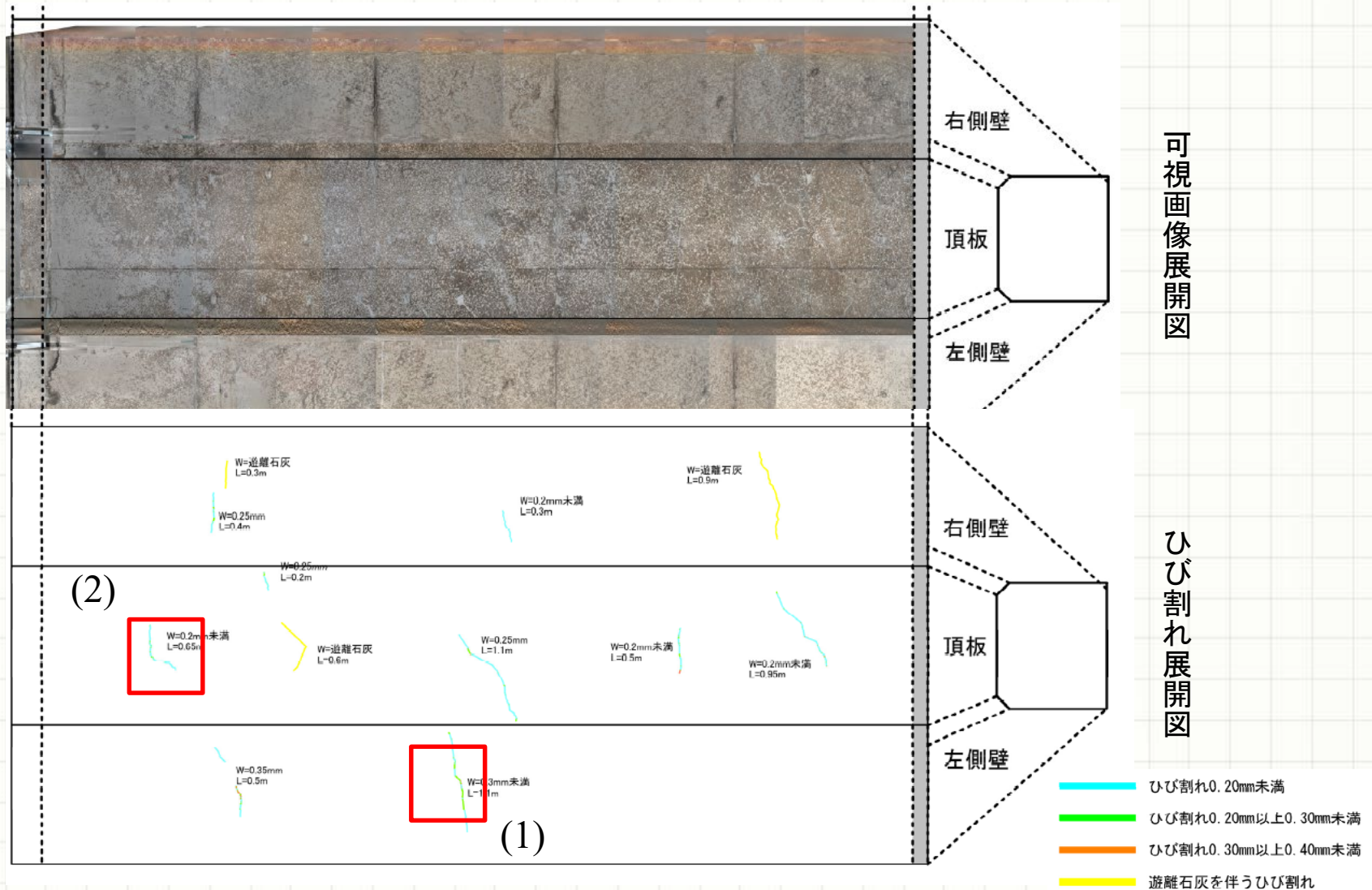


標準断面図



吐口側全景

画像展開図とひび割れ図



ひび割れ部の拡大画像(1)



展開画像



ひび割れ抽出画像

- ひび割れ0.20mm未満
- ひび割れ0.20mm以上0.30mm未満
- ひび割れ0.30mm以上0.40mm未満
- 遊離石灰を伴うひび割れ





ひび割れ部の拡大画像(2)



展開画像



ひび割れ抽出画像

-  ひび割れ0. 20mm未満
-  ひび割れ0. 20mm以上0. 30mm未満
-  ひび割れ0. 30mm以上0. 40mm未満
-  遊離石灰を伴うひび割れ

洞道・共同溝での事例

- 壁や頂版までの距離が短い
- 配管などが密集している

⇒画像撮影が困難

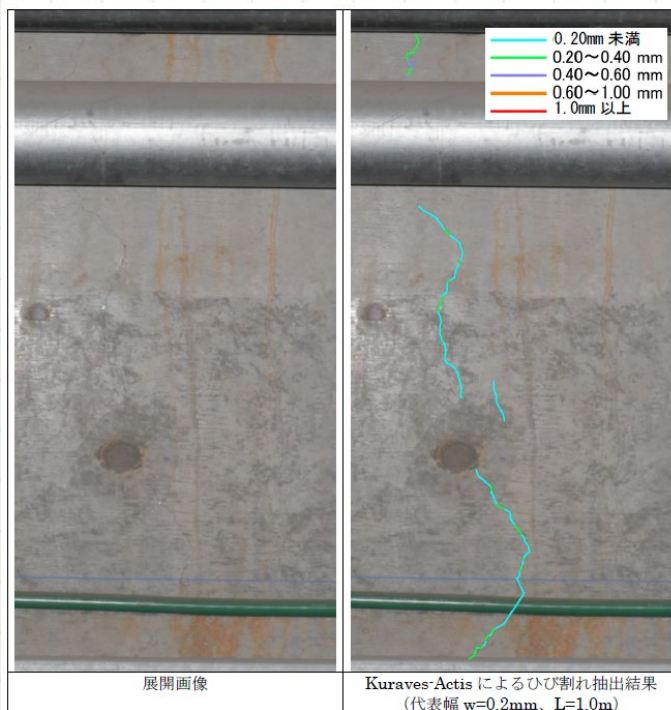
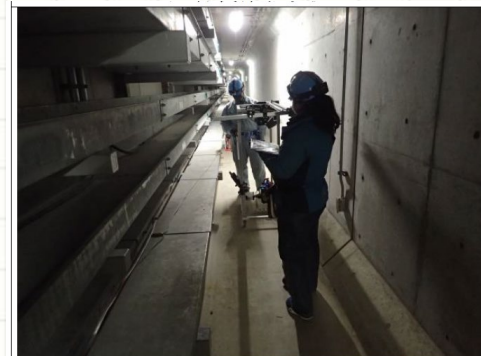


図 2.5 Kuraves-Actis の画像解析によるひび割れ抽出結果例



配管裏撮影状況

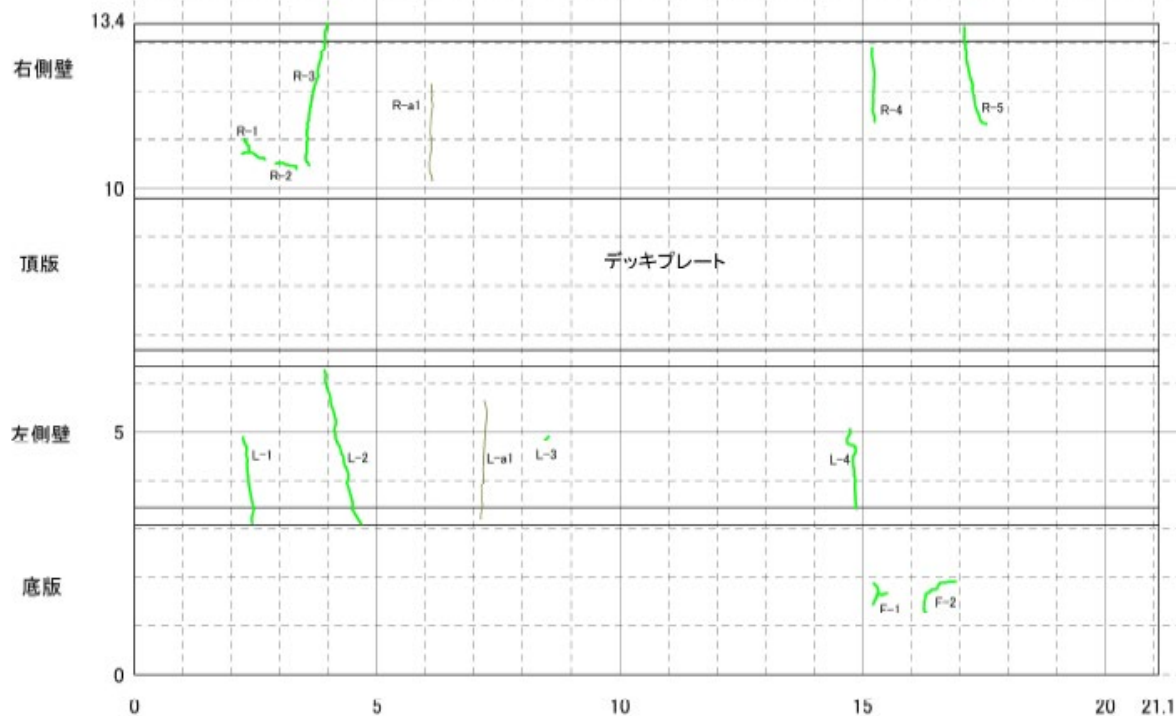
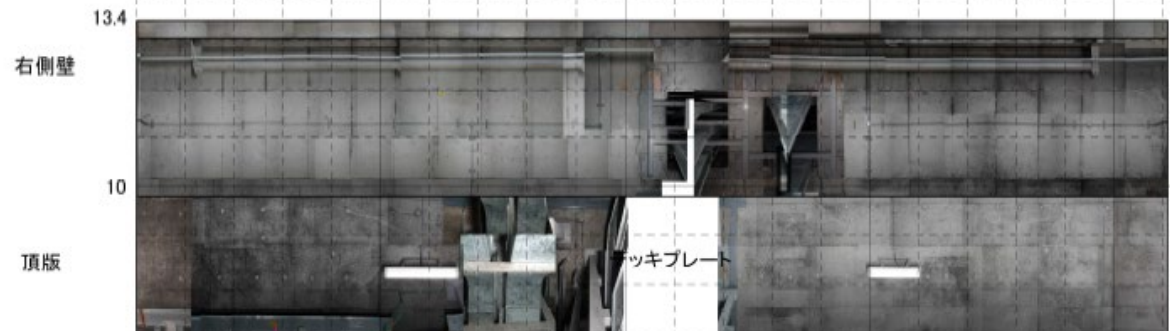


撮影カートによる撮影状況



撮影カートによる床版撮影状況

展開画像化と変状部の検出



画像診断技術の適用範囲

- ダム堤体
 - ダム監査廊
 - 水槽内部
 - 棧橋
-
- 多くのコンクリート構造物での適用事例

点検支援技術性能カタログ掲載

- 国土交通省 点検支援技術性能カタログ
橋梁部門にR.5.4月にひび割れ自動抽出ソフト
「Kuraves-Actis」が掲載。(技術番号:BR010059-V0023)

国土交通省HP:

<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/>

→点検支援技術性能カタログの掲載技術一覧をクリック

→ダウンロードされたExcelファイル内で上記技術番号を

検索していただくと、掲載内容が確認可能。

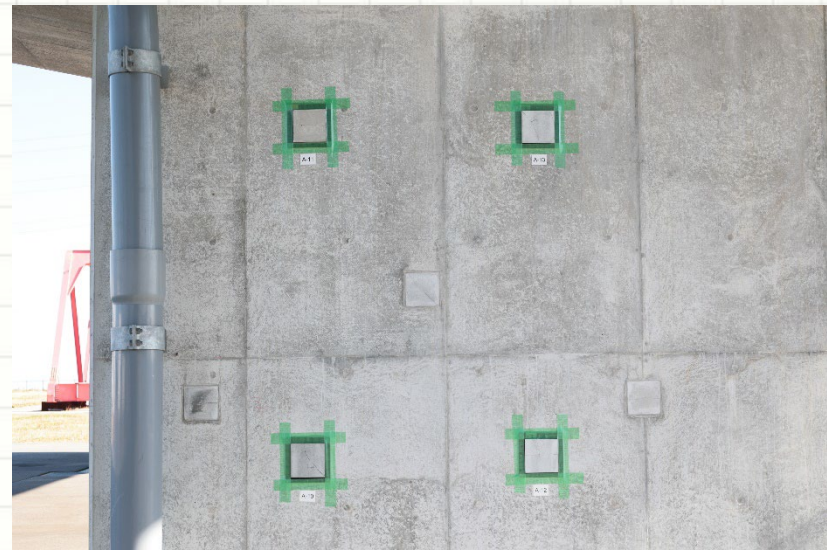
掲載のために行った技術検証時のデータをまとめた

確認シートのリンク有

ひび割れの計測精度

- 福島RTFにて、橋脚・橋台に設置されたひび割れパネル(0.05mm-1.0mm)を撮影。

撮影した可視画像からひび割れを抽出。



ひび割れの計測精度

- クラックスケールで測定した値を真値として
ソフトウェア上で計測したひび割れ幅から計測精度を算出

→クラックスケールを用いた目視計測と同等の精度

対象パネル	計測値(mm)	真値(mm)	誤差(mm)
A-8	0.07	0.05	-0.02
A-11	0.08	0.05	-0.03
A-14	0.07	0.05	-0.02
A-1	0.13	0.10	-0.03
A-6	0.16	0.10	-0.06
A-10	0.15	0.10	-0.05
A-5	0.20	0.20	0.00
A-7	0.14	0.20	0.06
A-13	0.21	0.20	-0.01

対象パネル	計測値(mm)	真値(mm)	誤差(mm)
A-2	0.28	0.30	0.02
A-4	0.33	0.30	-0.03
A-12	0.23	0.30	0.07
A-3	1.05	1.00	-0.05
A-9	0.90	1.00	0.10
A-15	0.93	1.00	0.07

ひびわれ幅	計測精度
0.05mm	0.02mm
0.1mm	0.05mm
0.2mm	0.04mm
0.3mm	0.05mm
1.0mm	0.08mm

ひび割れ幅計測精度 E (mm) 計算式

$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}}$$

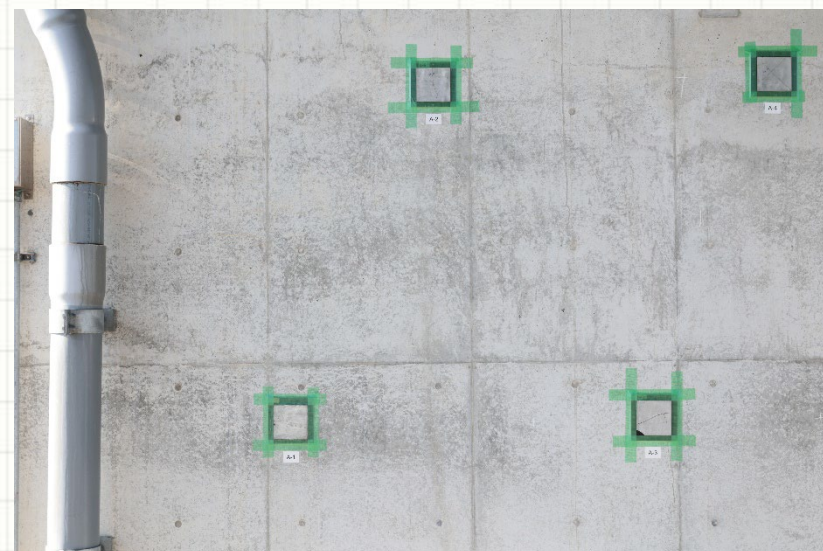
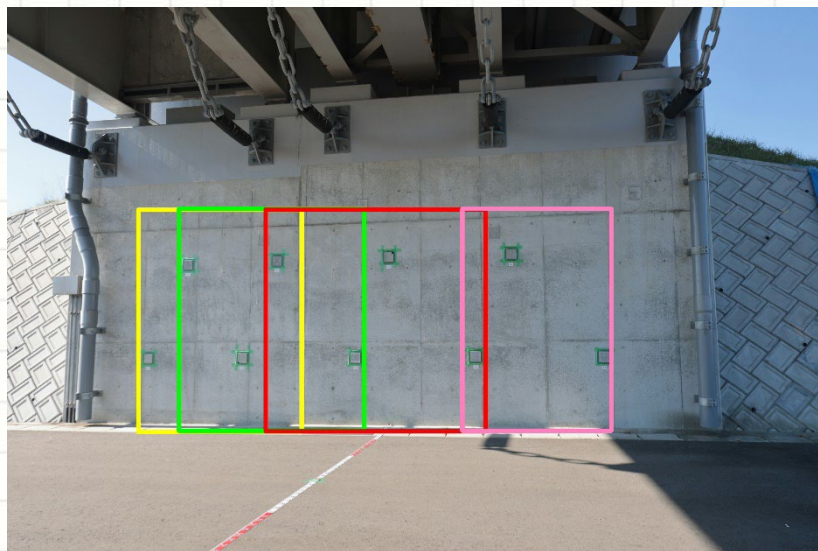
技術検証時 撮影条件

- ✓ F値:6.3 ISO値:100 シャッター速度:1/25秒
 - ✓ 三脚を使用して撮影
- 対象面が日陰のため、シャッター速度を遅く設定。
(ISO値は100で固定・F値は8前後を推奨)
シャッタースピードを落としたため、撮影画像がブレやすくなるため三脚を使用して撮影。



技術検証時 撮影条件

- ✓ 撮影距離：約5-7m 1画素分解能：0.35mm
(1画素分解能の20-200%が信頼できる値としてひび割れ抽出可能)
- ✓ 使用カメラ画素数：5472 × 3648(約2000万画素)
→画角が約1.8m × 約1.2m
そのため、対象物を分割して撮影。また、後に一枚の画像に接合するため、30%程度ラップするように撮影。



技術検証時 撮影条件

- ✓ 被写体との角度：ほぼ正対
- ✓ 照度：1,000lx以上（補助光として外部フラッシュを使用）
- ✓ フォーカス：オートフォーカス

→対象物の位置が低いため、正対した角度で撮影。
(水平角・仰角ともに30° 以内での撮影を推奨)

シャッタースピードを上げるため、補助光を使用。

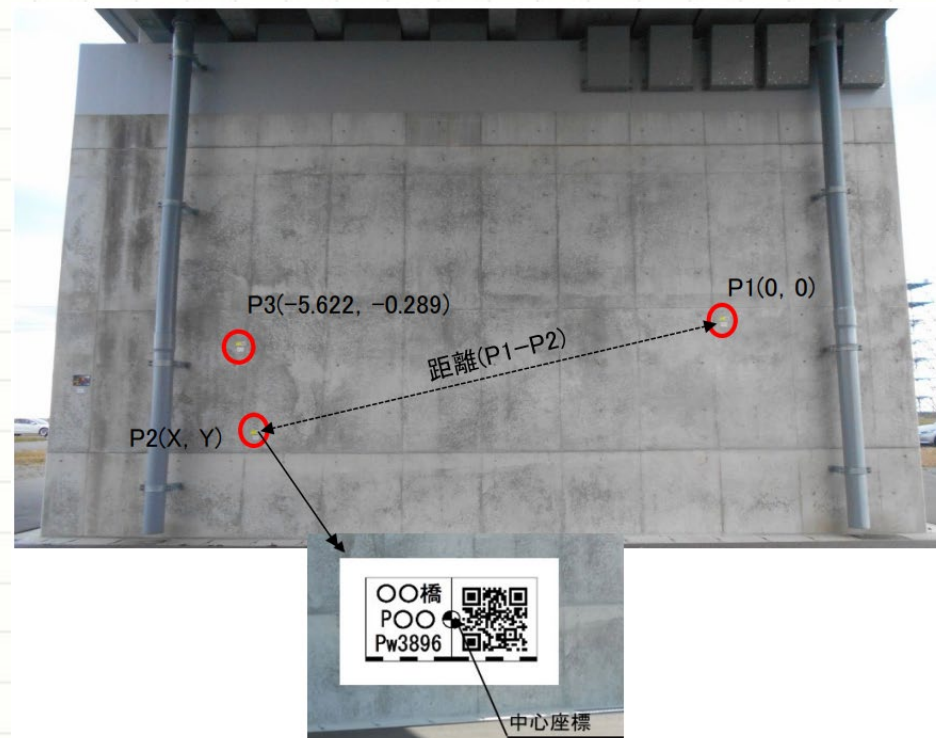
オートフォーカスで撮影。

暗い場所で撮影する場合はピントが合いづらいため
マニュアルフォーカスを推奨。

オルソ画像精度(長さ計測精度・位置精度)

- 橋脚壁面に設置された3点の座標マーカ―を撮影。

(P1・P3の2点は既知点として座標情報有)



オルソ画像精度(長さ計測精度・位置精度)

- 撮影画像を正対補正・オルソ化した後に
既知点P1、P3の値を用いて画像の縮尺を設定。
その後、座標マーカ一間の距離を計測。
計測値と実測値(トータルステーションによる測量)
の相対差から精度を算出。
→ X方向に6mm、Y方向に-2mmの誤差
2点間の距離実測値とは5mmの差

コンクリート壁マーカ一座標値

点名	X座標			Y座標			距離(P1 - P2)		
	真値(m)	計測値(m)	精度	真値(m)	計測値(m)	精度	真値(m)	計測値(m)	精度
P1	0.000	0.000		0.000	0.000				
P2	-5.414	-5.420	0.006	-1.402	-1.400	-0.002	5.593	5.598	100.09%
P3	-5.622	-5.622		-0.289	-0.289				