

2018.10.2

土木研究所 新技術ショーケース
2018 in 東京

モアレ縞を利用したき裂開口幅の測定法

国立研究開発法人 土木研究所
先端材料資源研究センター(iMaRRC)
○百武 壮・新田弘之



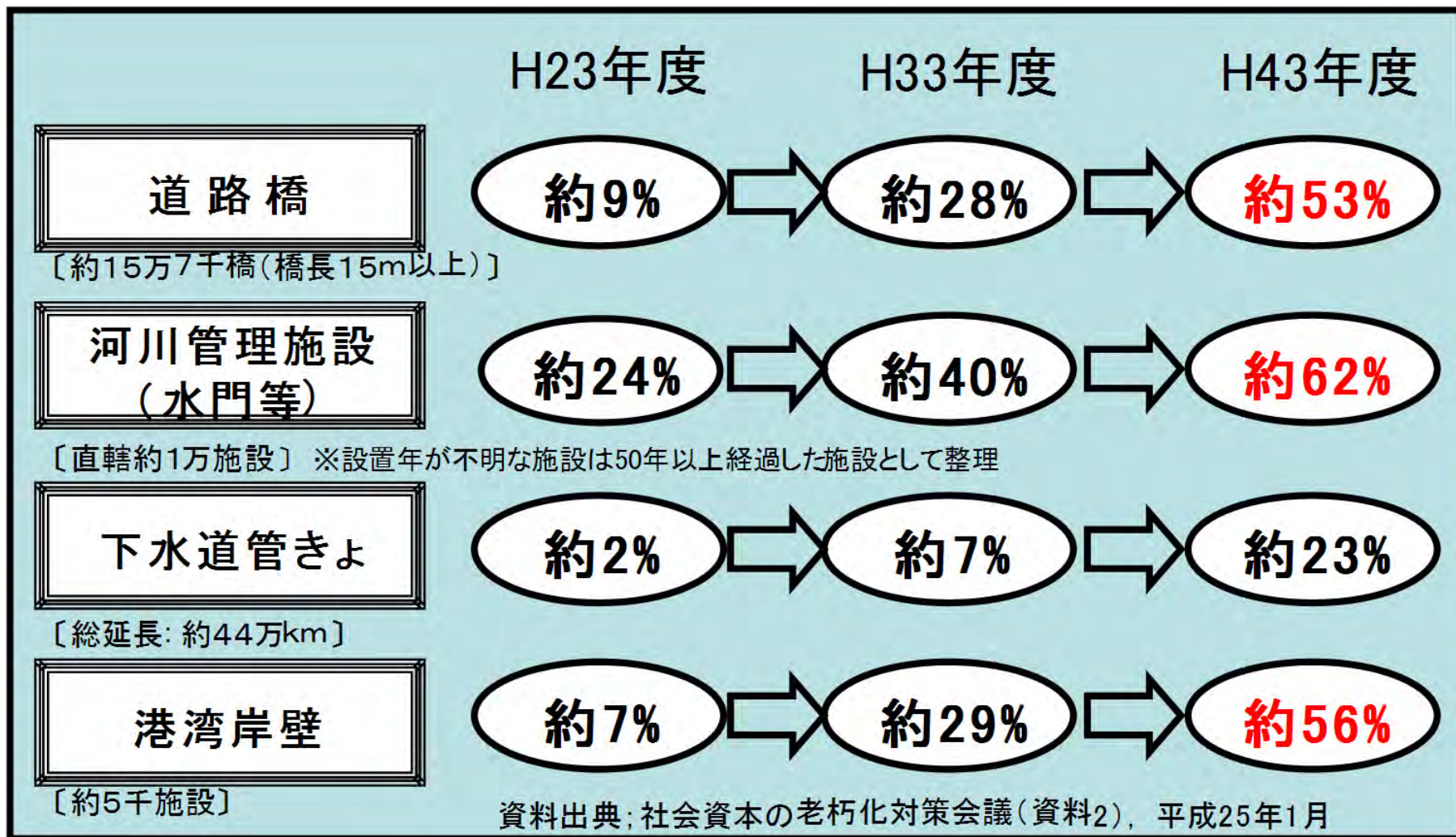
研究背景 コンクリートのひび割れ管理



現場での点検方法
→ 近接目視、打音

- 点検作業にかかる
手間と費用
- 高所作業のリスク
- 定量性

供用50年を迎える社会インフラ構造物



モアレ縞を利用した構造物の劣化検出

これまでに報告された方法

サンプリングモアレ法(4Dsensor社、AIST)

- デジタル画像計測によって橋梁などの変位を高感度に定量可視化。
- ただし、初期画像(健全時の画像)が不可欠で観測点のズレが許されない。

ひずみ可視化シート(計測リサーチコンサルタント), Moire tell tales(Bill Harvey Associates Ltd.)

- 格子を二枚用いて物理的なズレから生じるモアレ縞を用い、ひずみやひび割れを計測。
- ひび割れやひずみが既知の場所を跨いで設置し、進展を計測するスポット的な運用。

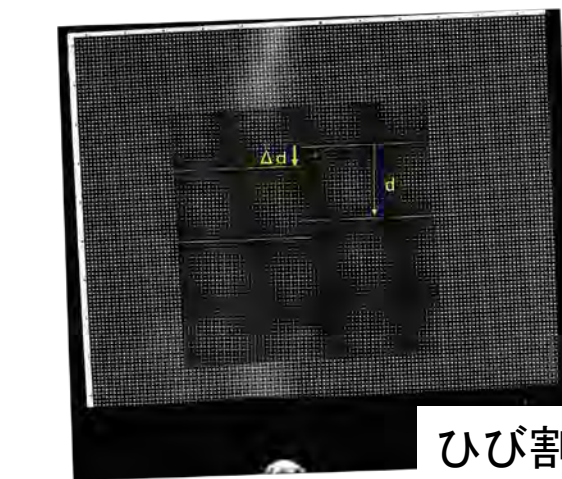
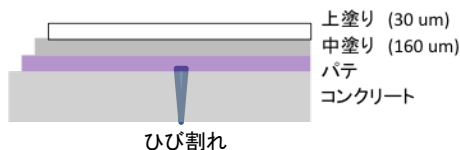
本研究の特徴

1. 簡便な画像計測法で初期画像(定点観測)が不要
2. 既知のひびの進展、新規のひび割れ発生どちらにも面的に対応
3. 10 m以上遠方からの計測も可能
4. 補修材などの被覆で直接見えない箇所のひび割れ幅が測定可能

補修材下のひび割れ幅計測例

簡便な施工とデジタルカメラによる写真撮影で目視困難な
コンクリートの再劣化のひび割れ幅計測を可能

- (1) 格子を貼る
- (2) 写真を撮る
- (3) 画像処理



画像処理 * 自動化の検討中

ひび割れ幅
= 格子シート幅 × $\Delta d / d$
= 1.5 mm × 3 mm / 22 mm
= 0.2mm

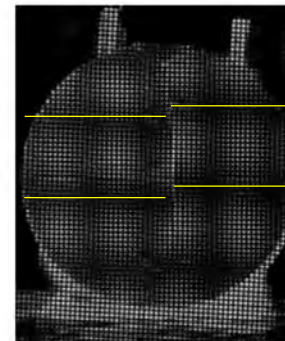
遠方からの撮影とひび割れ幅計測例

例えば10 m遠からの計測



試験片

撮影者

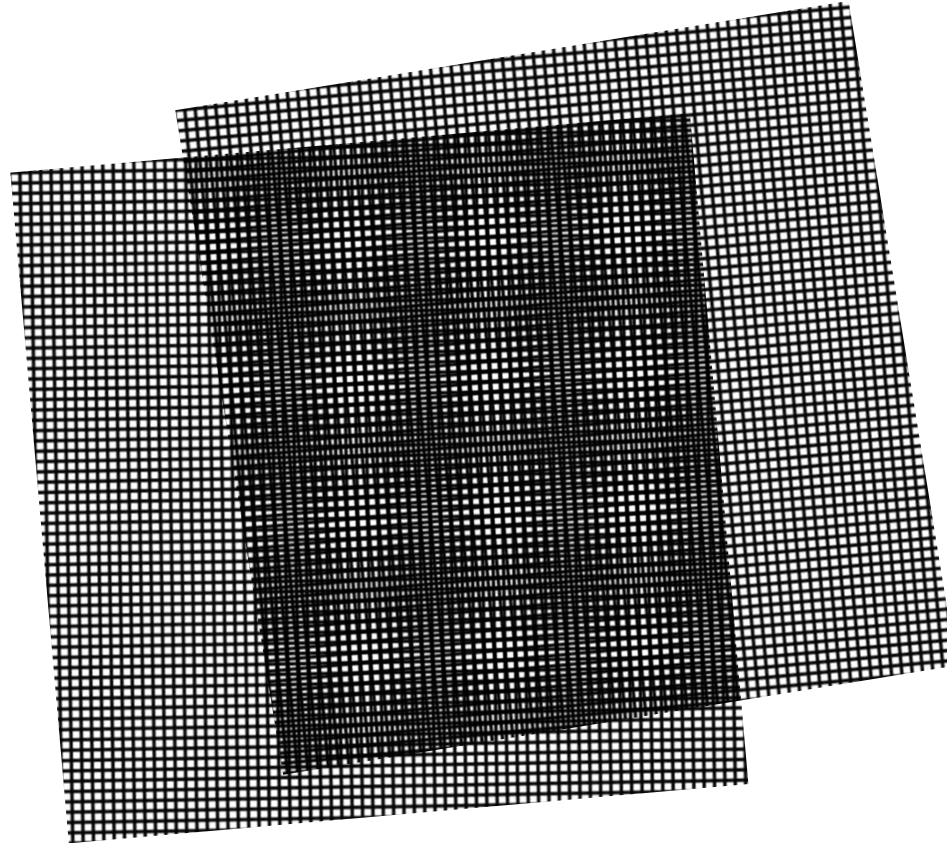


実際に撮影した
割裂試験後の画像



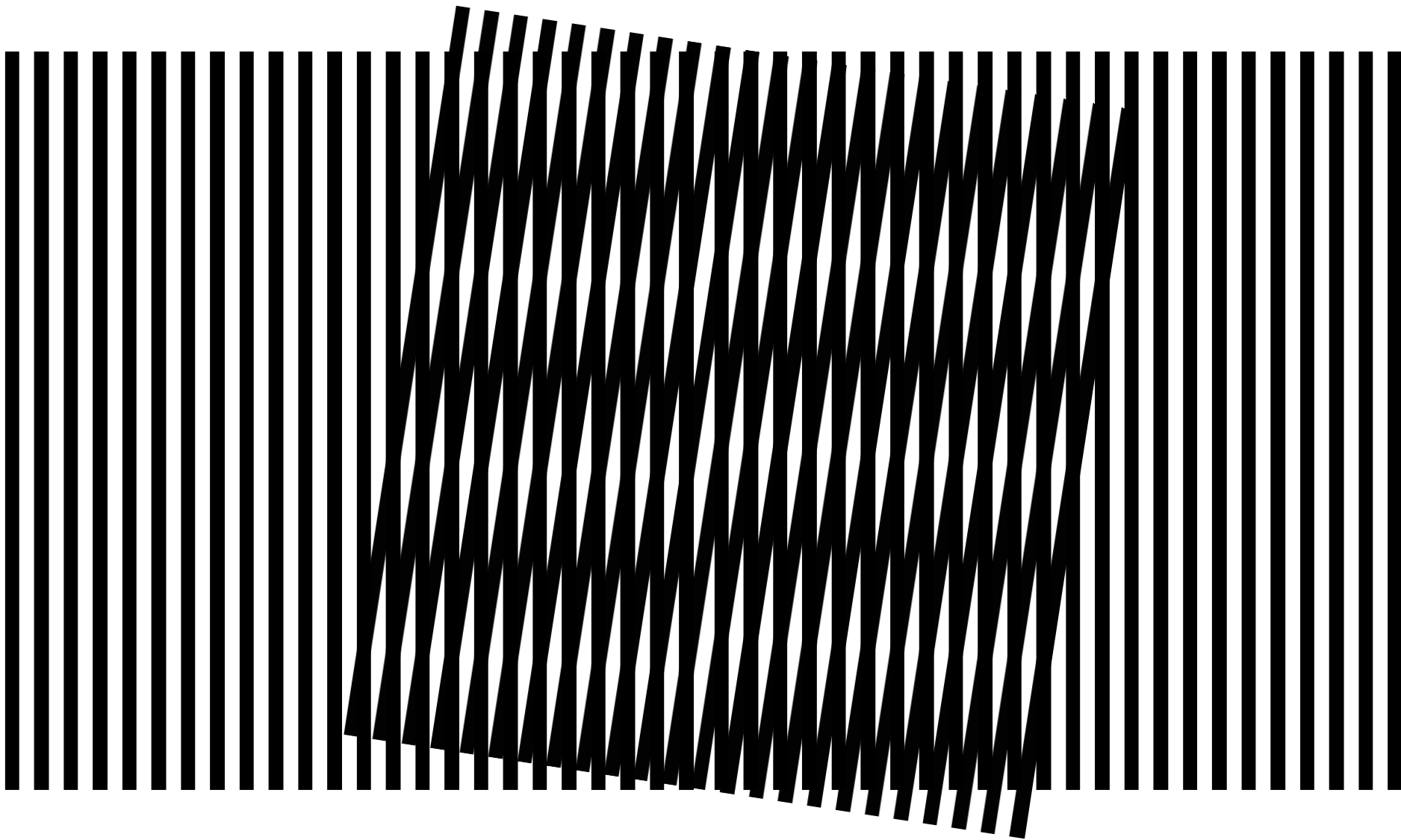
モアレ縞のズレは
判別可能

モアレ縞とは



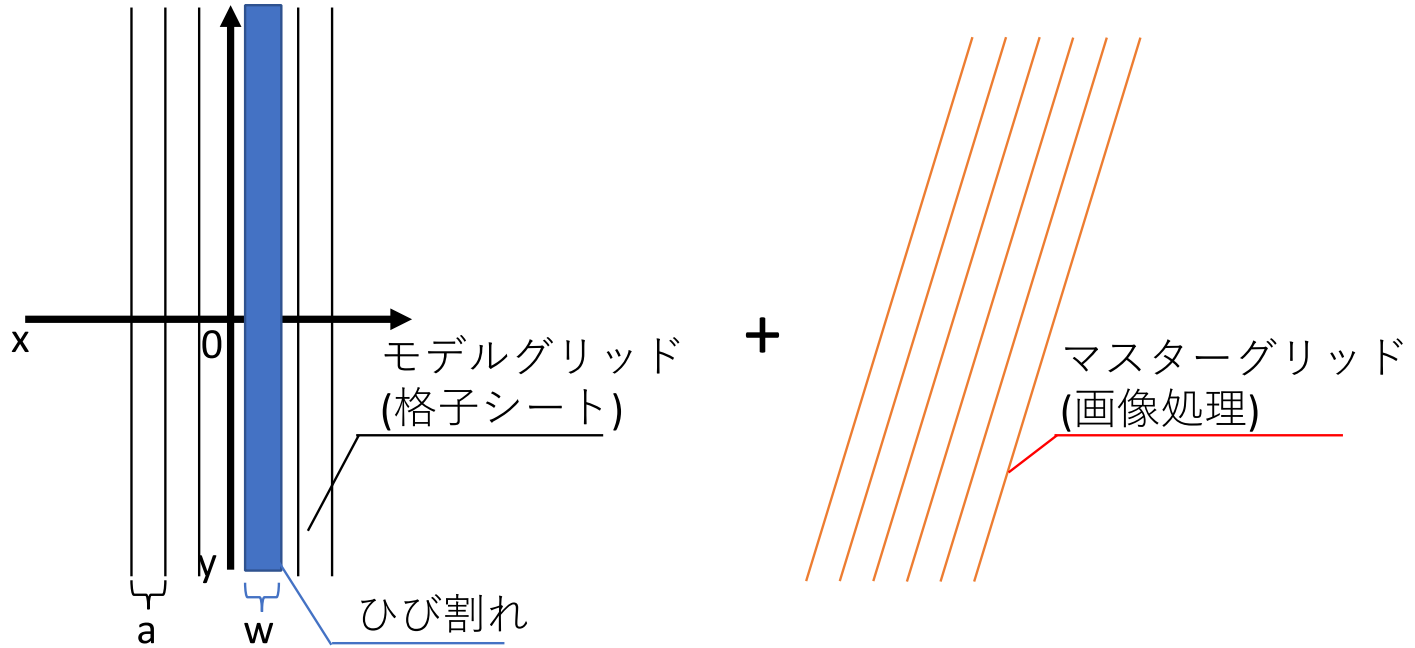
規則正しく分布している細かな点や線を重ね合わせたときに新たに生じる斑紋(三省堂大辞林より引用)

ひび割れの検出原理

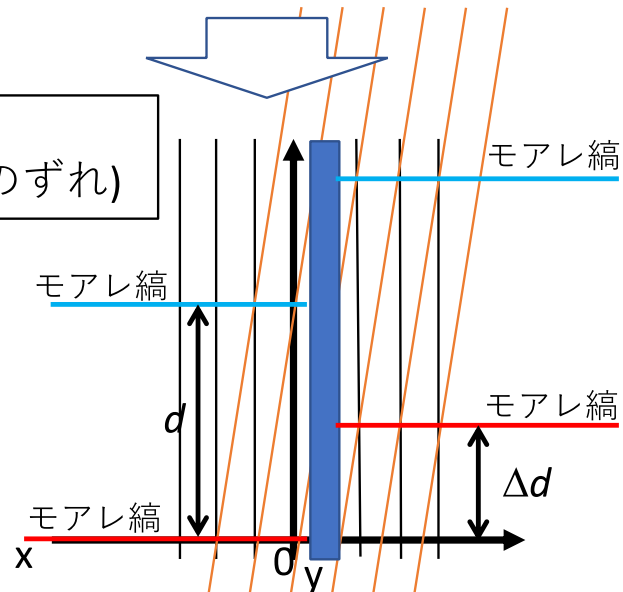


ひびわれによってモアレ縞にずれが生じる

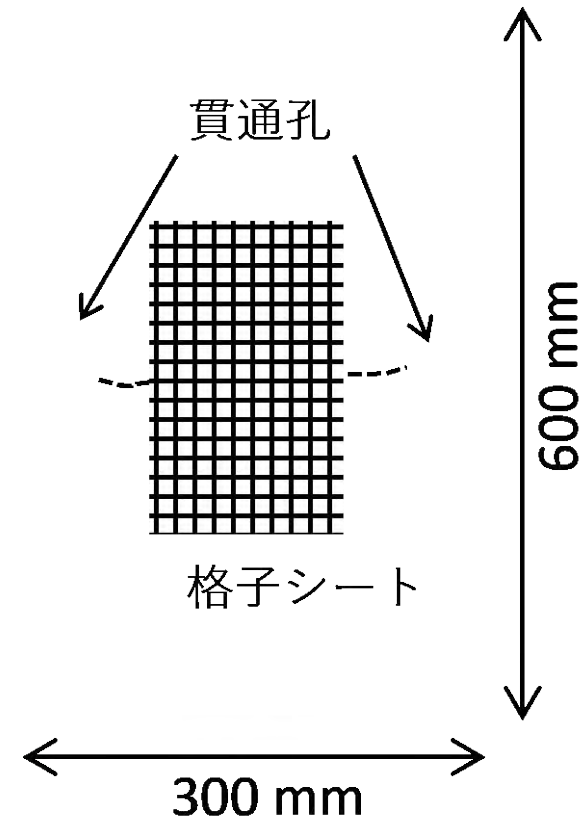
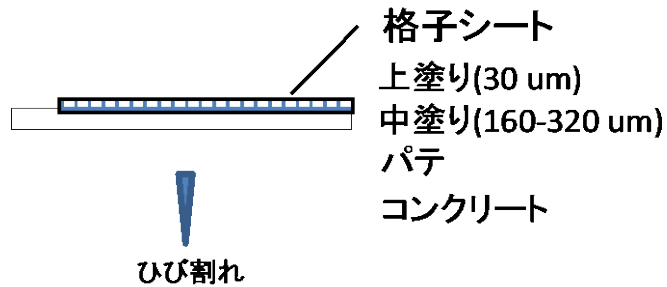
ひび割れ幅の算出原理



w (ひび割れ幅)
= a (格子シートの幅) $\times \Delta d/d$ (モアレ縞のずれ)



供試体とひび割れ導入法の概要



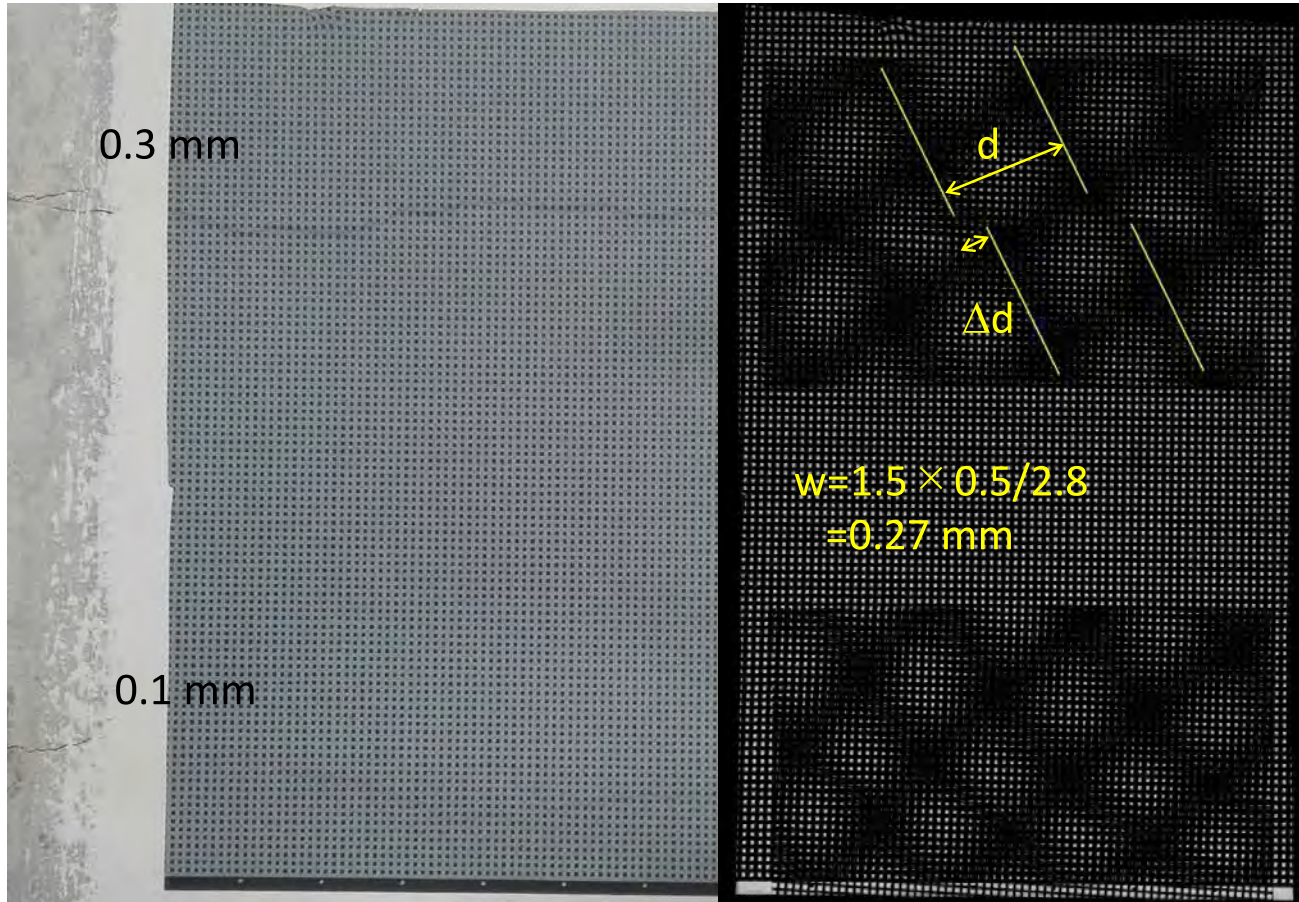
せり矢を用いて段階的に0.1-0.5 mmのひび割れを導入



デジタルカメラで撮影

	プライマー	パテ	中塗り	上塗り
材料	エポキシ	エポキシ	エポキシ	アクリルウレタン
塗布量(kg/m ²)	0.1	0.5	0.35*	0.12

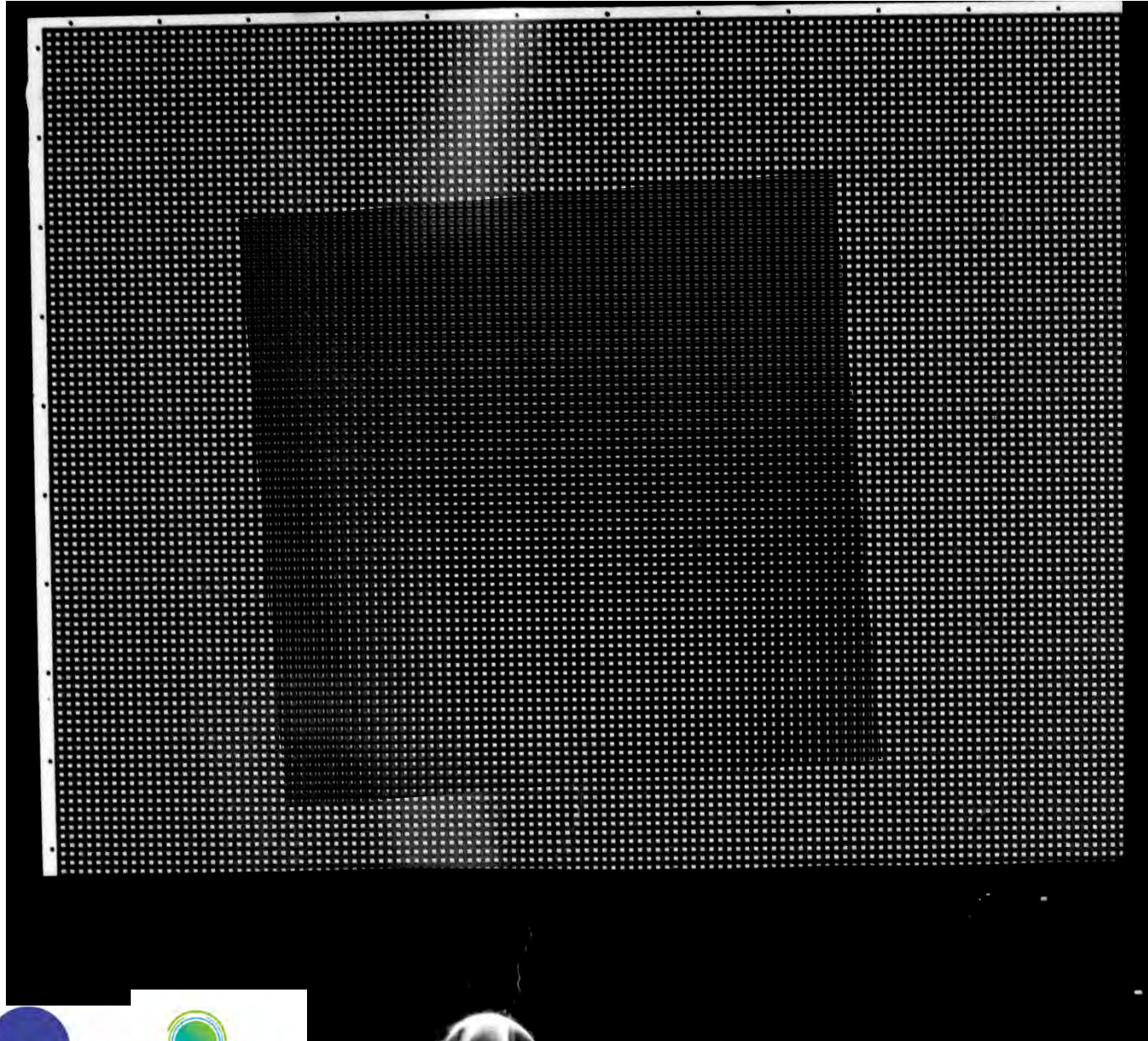
ひび割れ幅の算出例



元画像

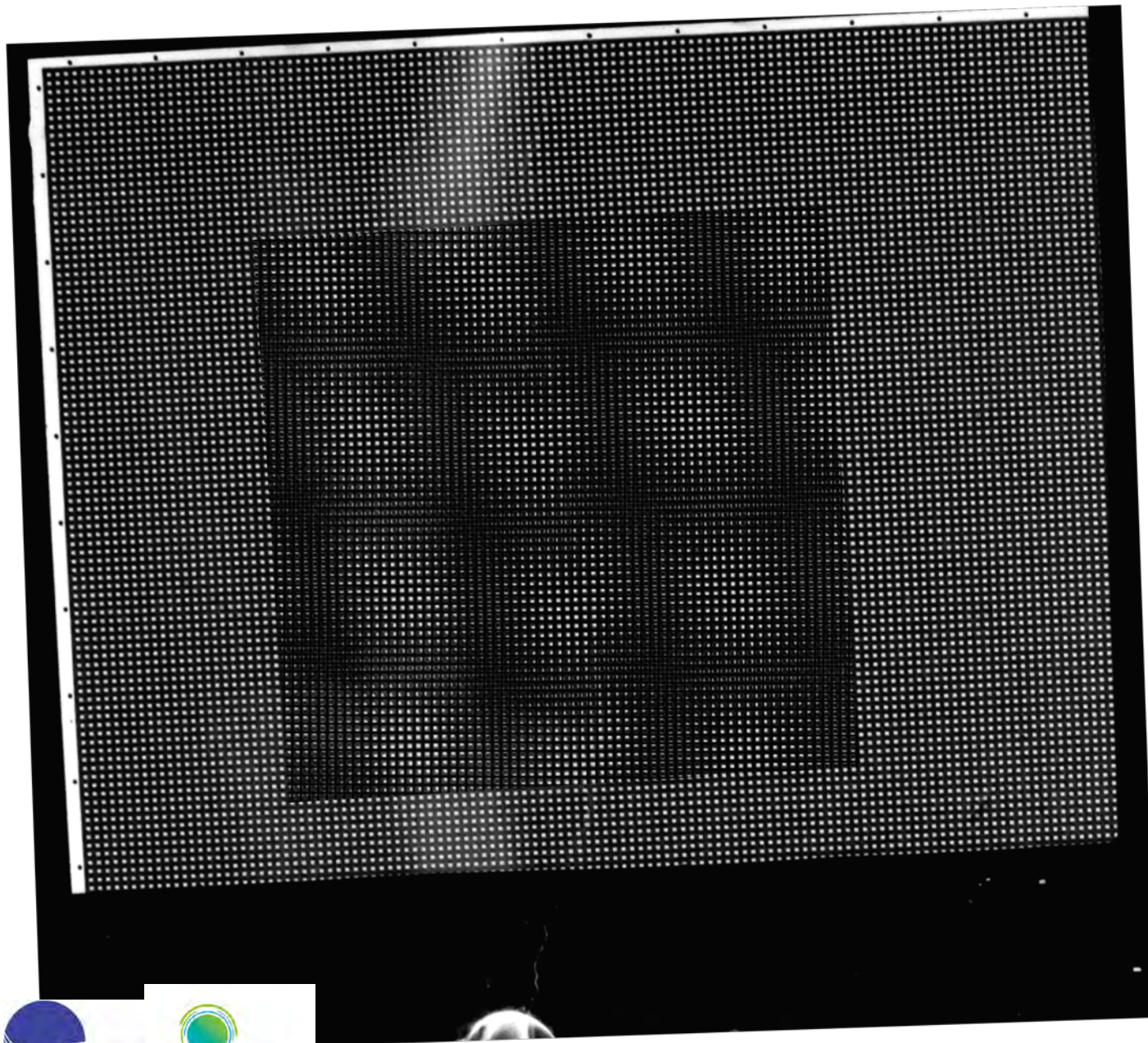
モノクロ化と格子合わせの画像処理

画像処理手順



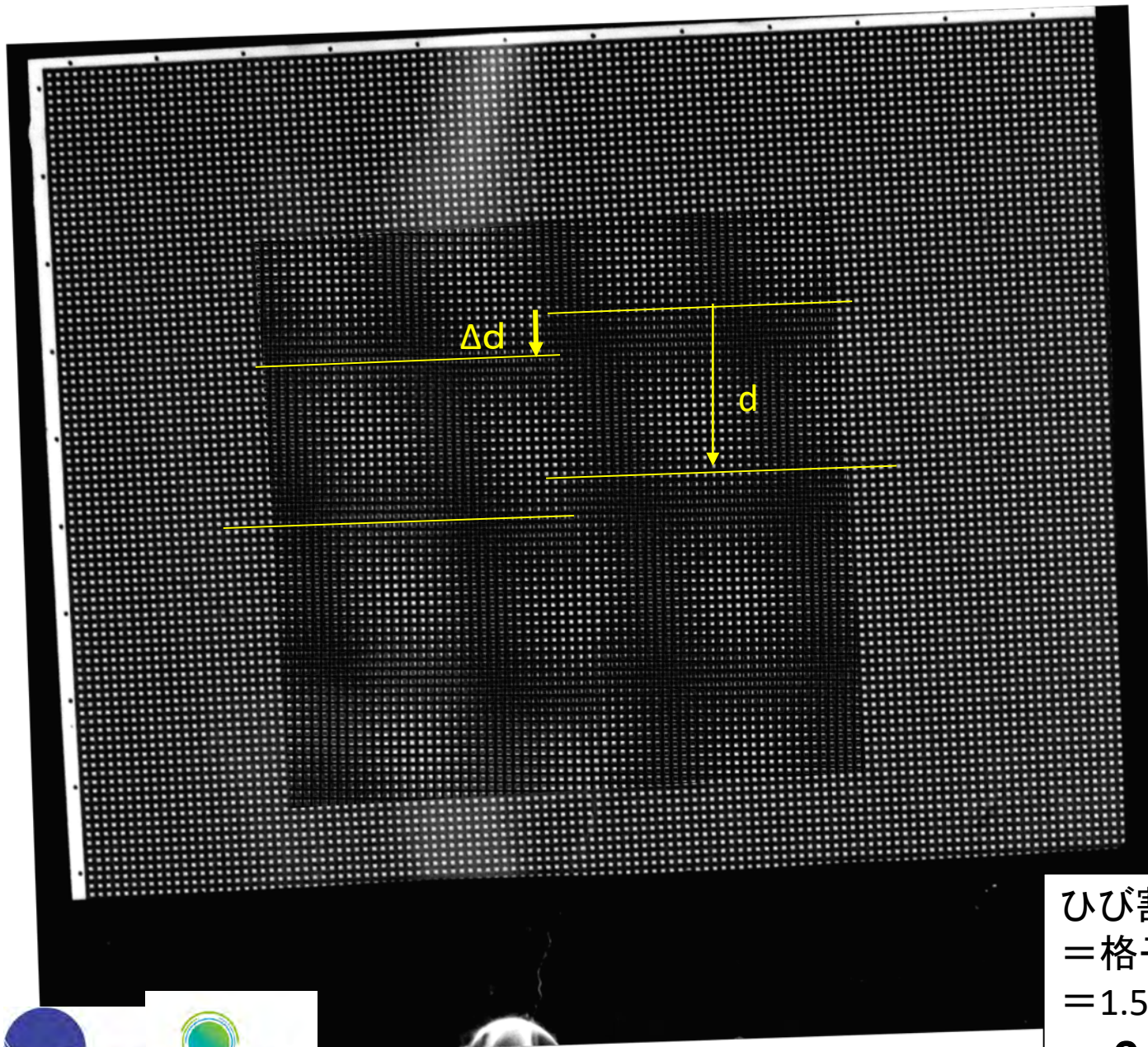
解析用格子を移動させてひび割れを探す

画像処理手順

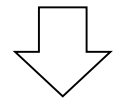


解析用格子
を回転

画像処理手順



モアレ縞のズレ
と間隔を測定

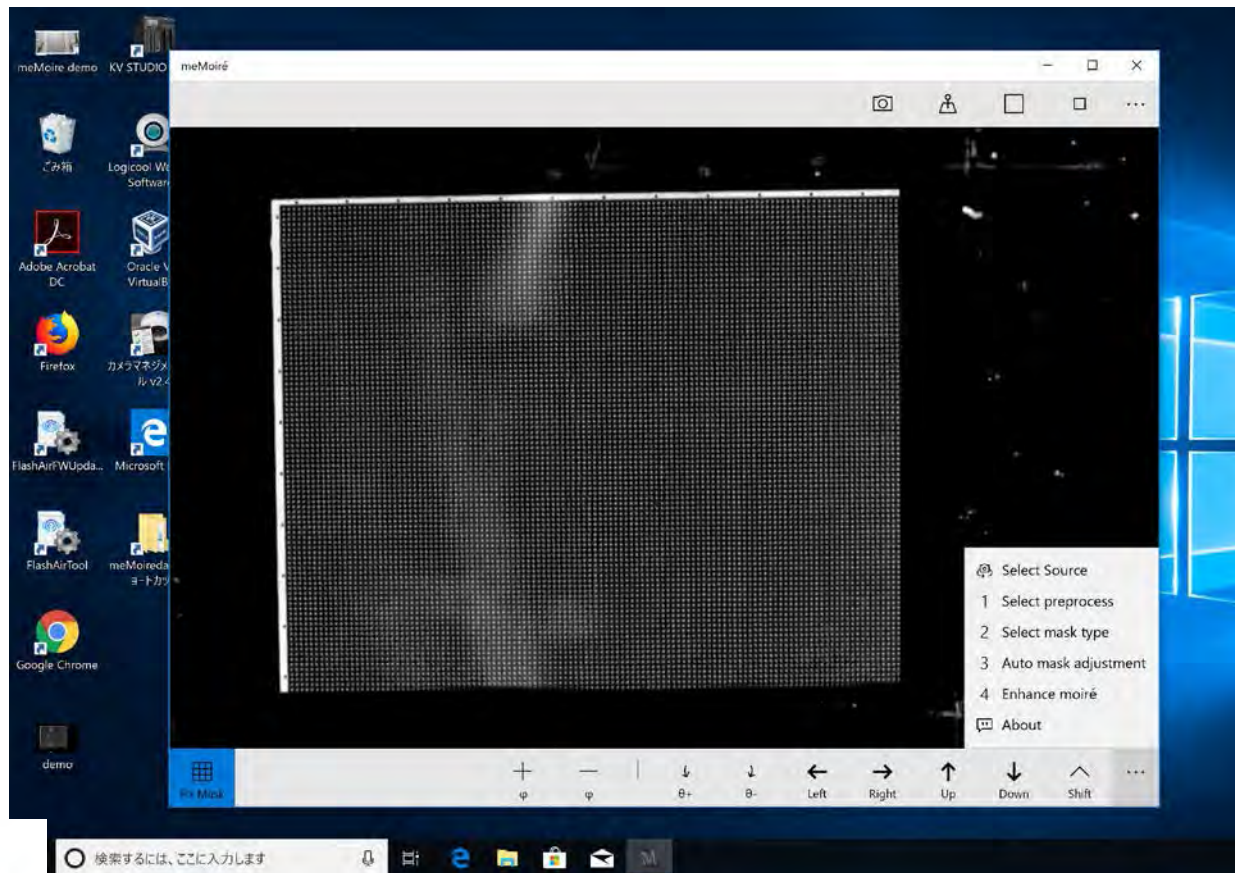


既知の格子間隔と
ズレからひび割れ
幅が算出

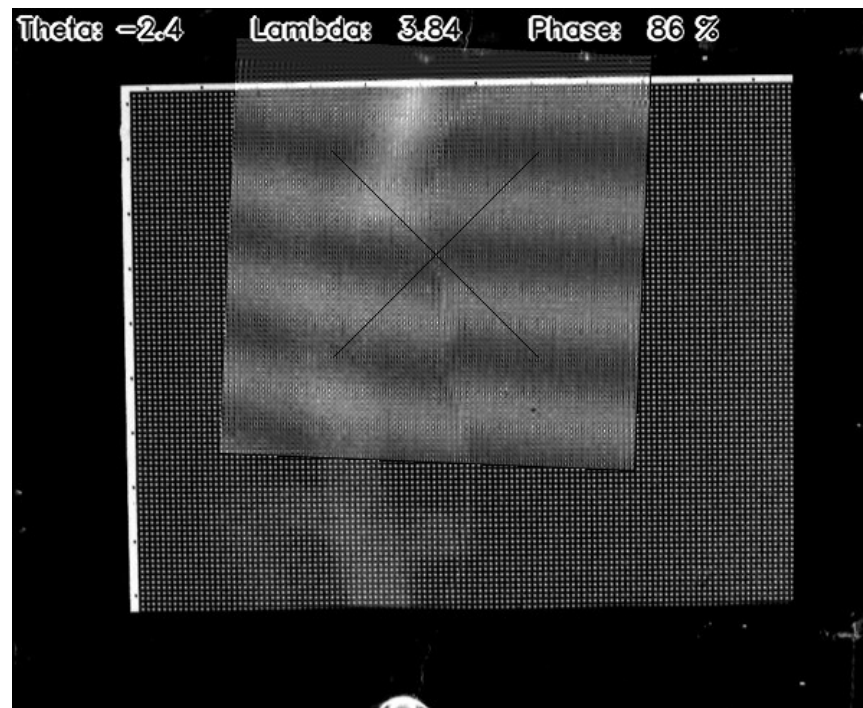
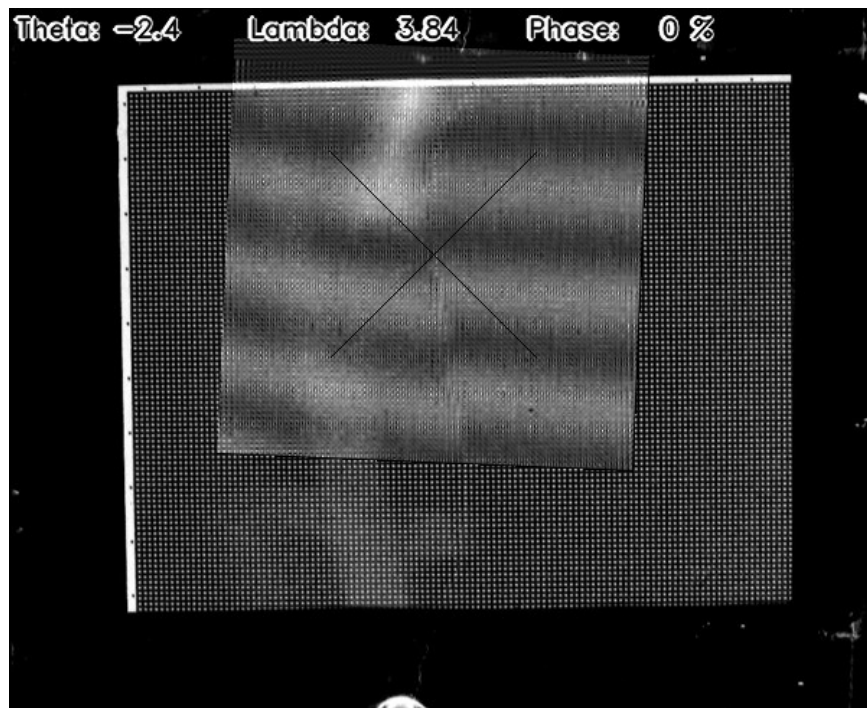
$$\begin{aligned} \text{ひび割れ幅} &= \text{格子間隔} \times \Delta d / d \\ &= 1.5 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} / 22 \text{ mm} \\ &= \mathbf{0.2 \text{ mm}} \end{aligned}$$

画像処理アプリによる簡便化・定量化の検討

- 取得画像を自動的にモノクロ化し解析への前処理機能。
- 貼り付けてある格子幅と解析用の格子幅をあわせる。
- 重ね合わせた解析用の格子のみを消してモアレ縞を強調。
- 三角関数の位相から簡便にひび割れ幅算出。



開発中の画像処理アプリを用いた結果

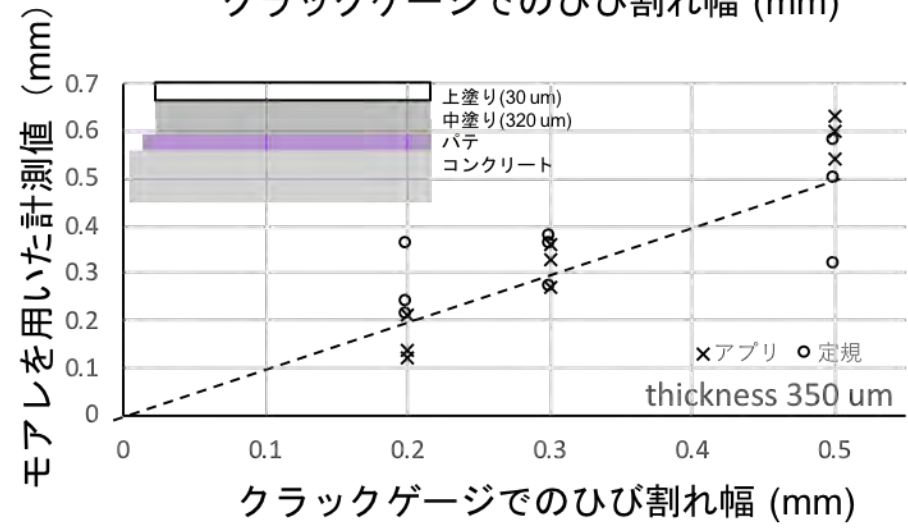
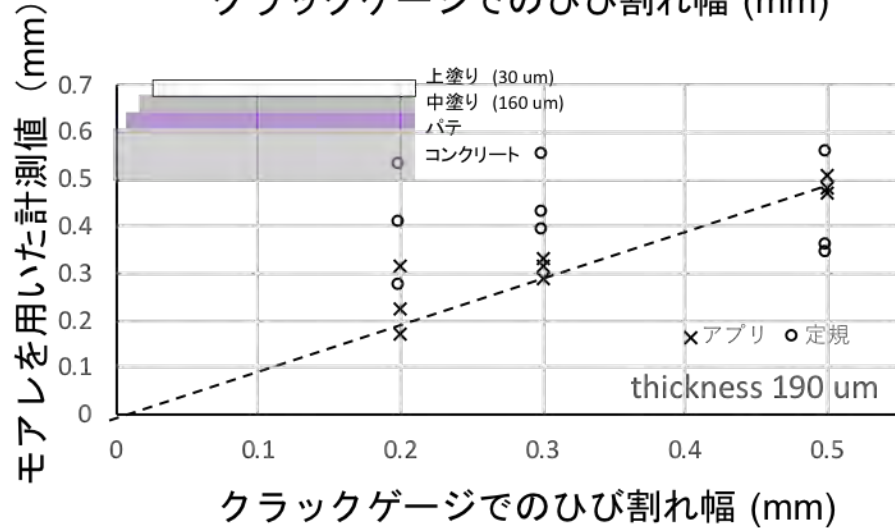
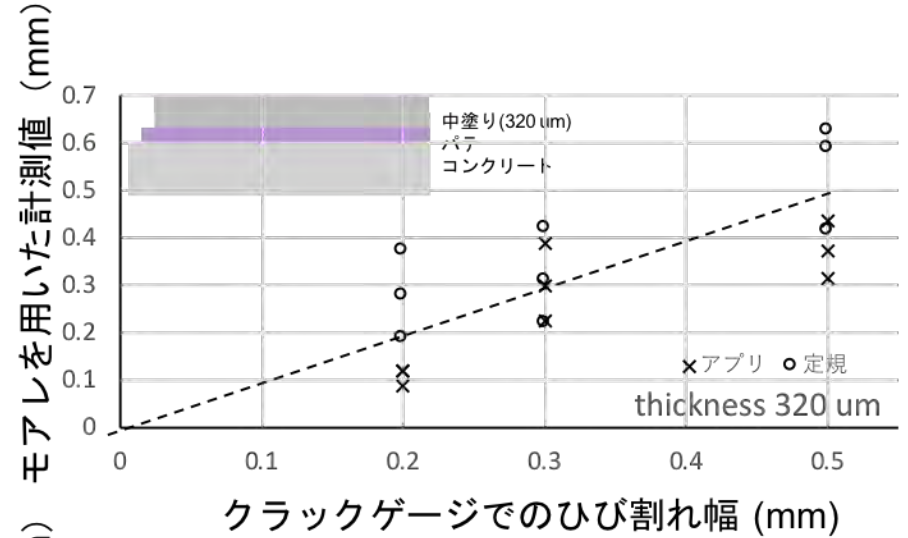
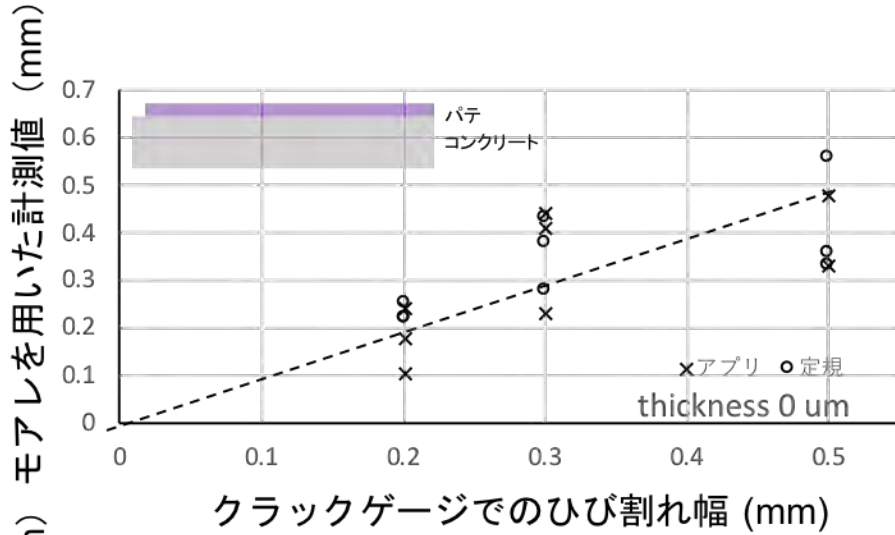


meMoiré for Windows10, ver.0.3
MMEngine: ver 0.3 powered by OpenCV ver3.4.1
© 2018 NIMS & S.Todoroki

$$1.5 \times (1.00 - 0.86) = 0.21 \text{ mm}$$

格子長さ × 位相のずれ = ひび割れ幅

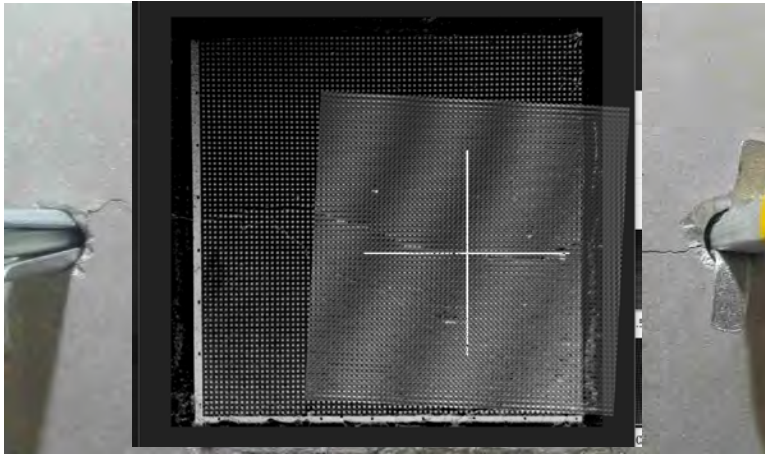
計測値と実測値の比較



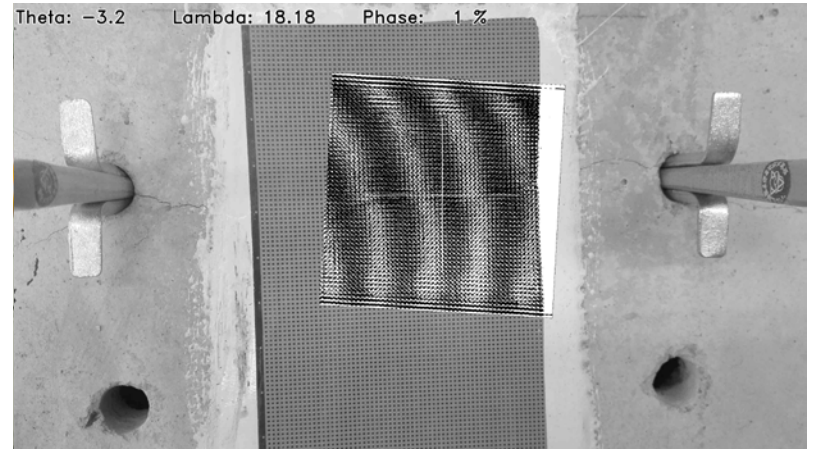
格子(1.5 mm)を用いた場合の理論上の検出限界値0.2 mm
0.3 mmの感度は比較的良好。0.5 mmは材料が破断する場合もあった。
 計測アプリの再現性も確認できた。

膜厚、ひび割れの直線性の影響

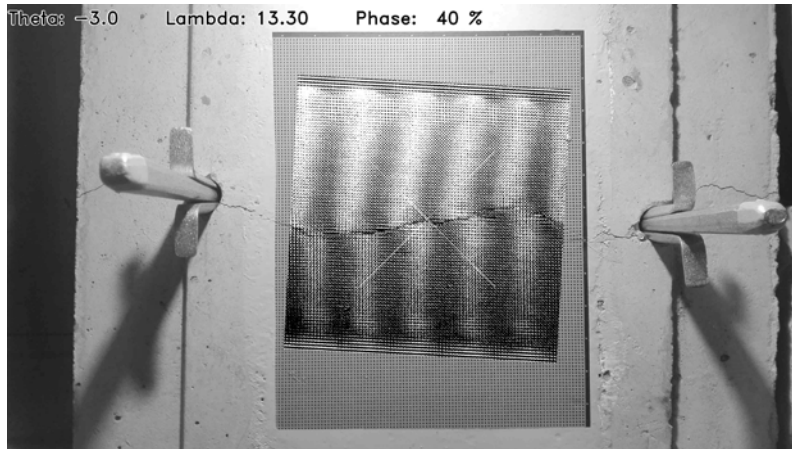
ひび割れ幅0.3 mmの例



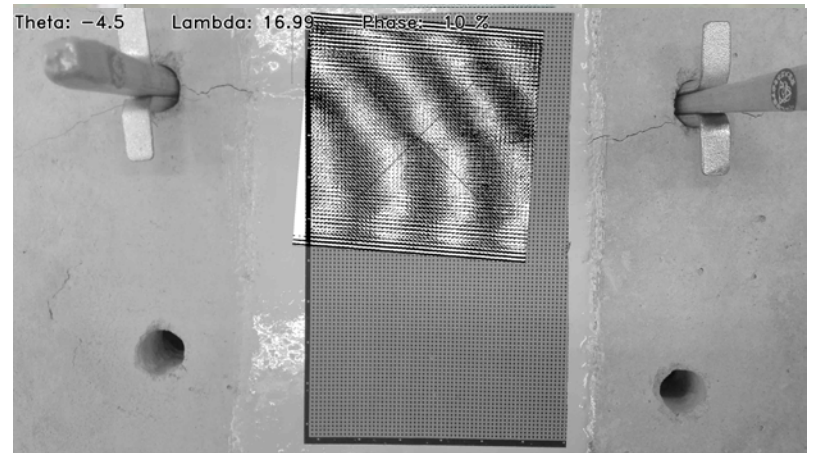
膜厚 0 μm



膜厚 320 μm



膜厚 190 μm



膜厚 350 μm

膜厚の影響は縞の伸びとして現れる¹⁸

ばらつきの原因と対策案

- ひび割れ感度 → より細かい格子
- 厚みの影響 → 機械判定
- 格子面との傾き → ガイド・補正機能
- ひび割れの直線性 → 格子角度補正

アプリで対応

まとめ

- モアレ法を応用したひび割れ幅計測法を開発した。被覆材下のひび割れの存在とひび割れ幅(0.3 mm程度)を測定することが可能であった。
- 計測時の角度依存や被覆材の影響などの課題を把握した。
- 画像処理を自動化・簡便化するアプリを開発し、ひび割れ計測の定量化を検証した。
- 今後フィールドテストを重ねる予定である。