

見えないひび割れ・塩分  
を見えるようにする技術  
～近接目視が困難な部位等のため  
の点検診断技術の開発～

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  
材料資源研究グループ長  
西崎 到

# はじめに

- 土木構造物の点検時に近接目視が難しい事例
  - ひび割れなど
    - 場所的な要因
    - 塗装などが施されている場合
  - そもそも目に見えない変状
    - 塩分の侵入状況

現場で簡易に「見える」ようにするための、  
様々な新しい技術（ここでは主に材料技術）

それを活用することで、維持管理の信頼性向上・効率化に寄与できる可能性。

# ひび割れを「見る」技術



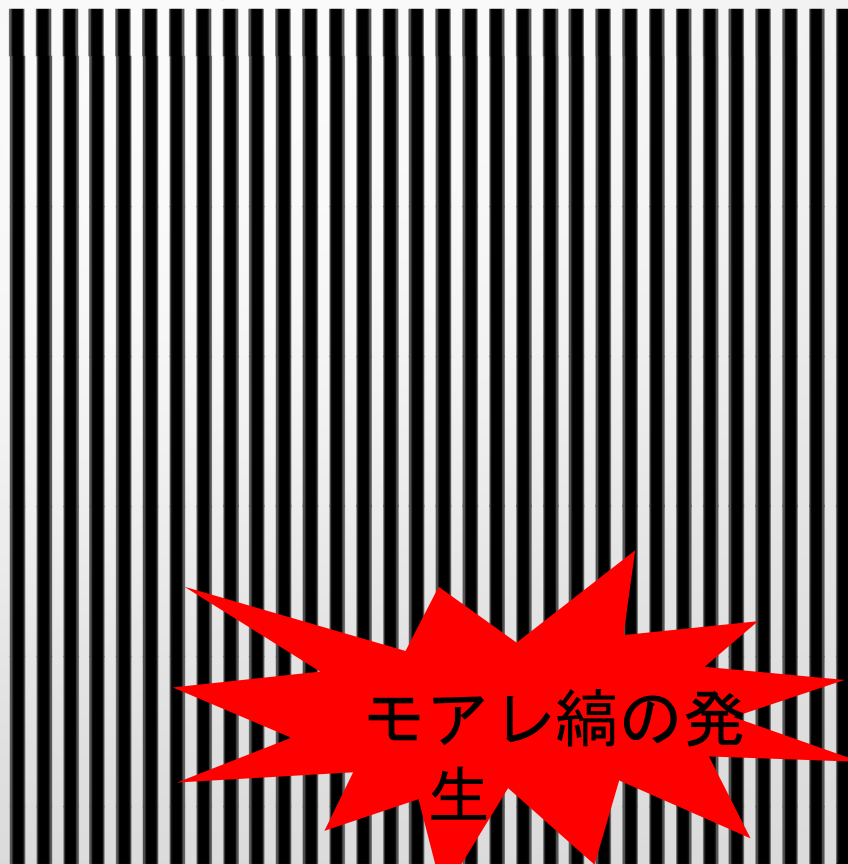
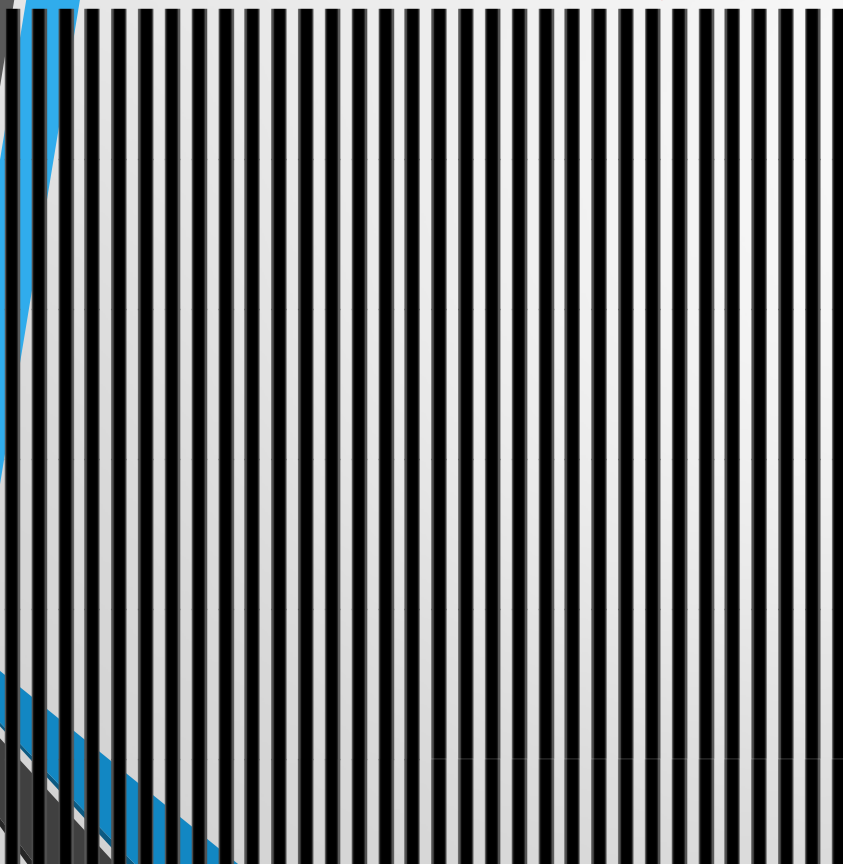
# 新材料により構造物のひび割れ等の劣化を検出・診断する技術の例

新材料	技術の概要
応力発光体	応力作用時に発光する塗料によるひび割れの動的検出。
力学応答樹脂	力学的刺激に応答して発光強度や色が変わる。
モアレ縞	干渉縞によって変形前後の画像処理でひずみを可視化。
ひび割れ検出塗料	ひび割れによって侵入する酸素に応答して発光が消光。
オパール薄膜	変形を検知して変色するシートによってひずみを可視化。

# モアレ縞とは

規則正しく並んだ格子もしくは模様を重ね合わせ、傾けた際に発生する(縞)模様

規則正しく並んだ格子を重ね合わせる

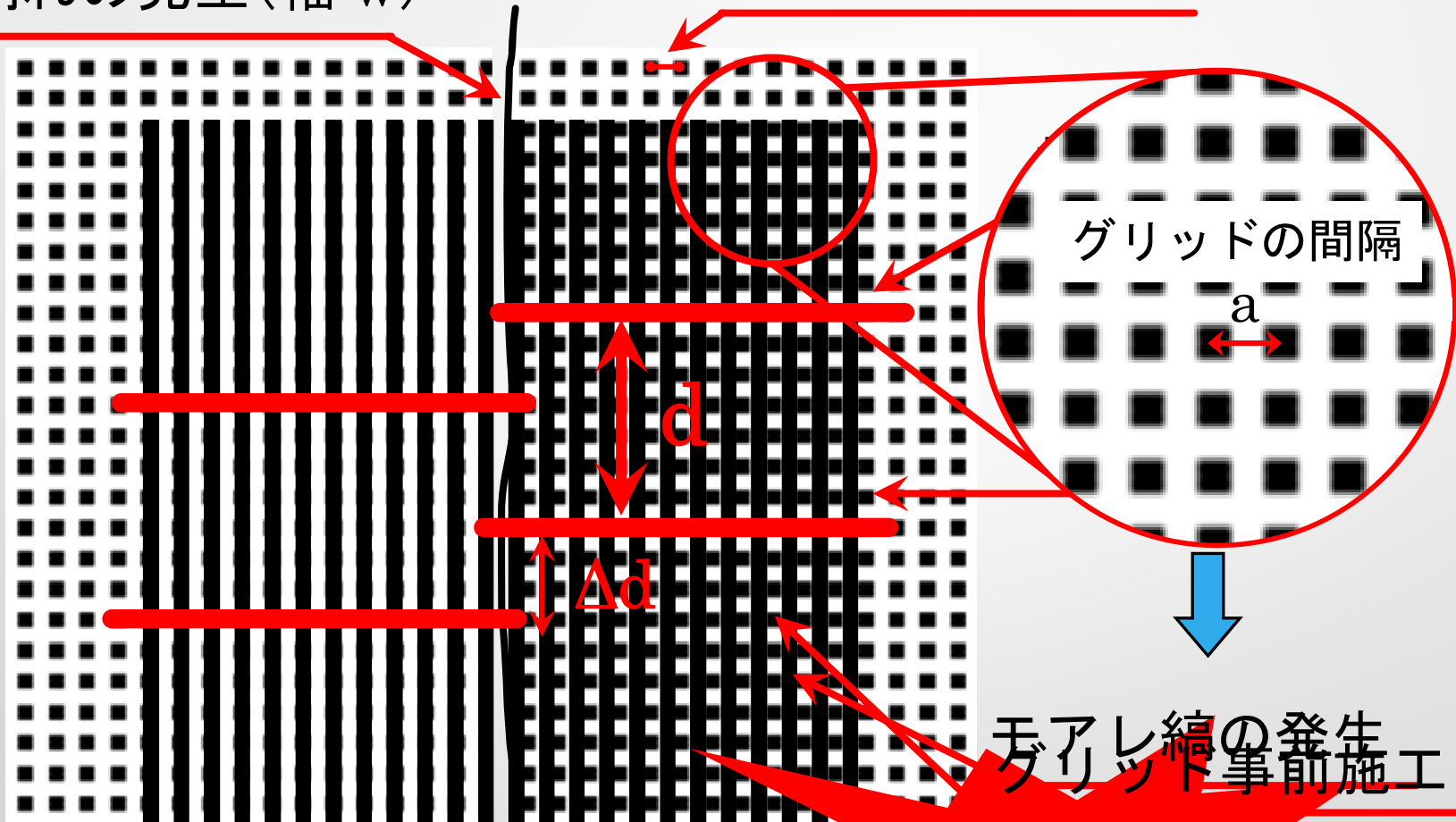


モアレ縞の発生

# モアレ縞を活用したひび割れ検出の原理

ひび割れの発生(幅:w)

グリッドの間隔 a



縞のずれとひび割れ幅は、幾何学的な関係にあり、算出式を導出

$$w = a \times \Delta d / d$$

【特許出願中】

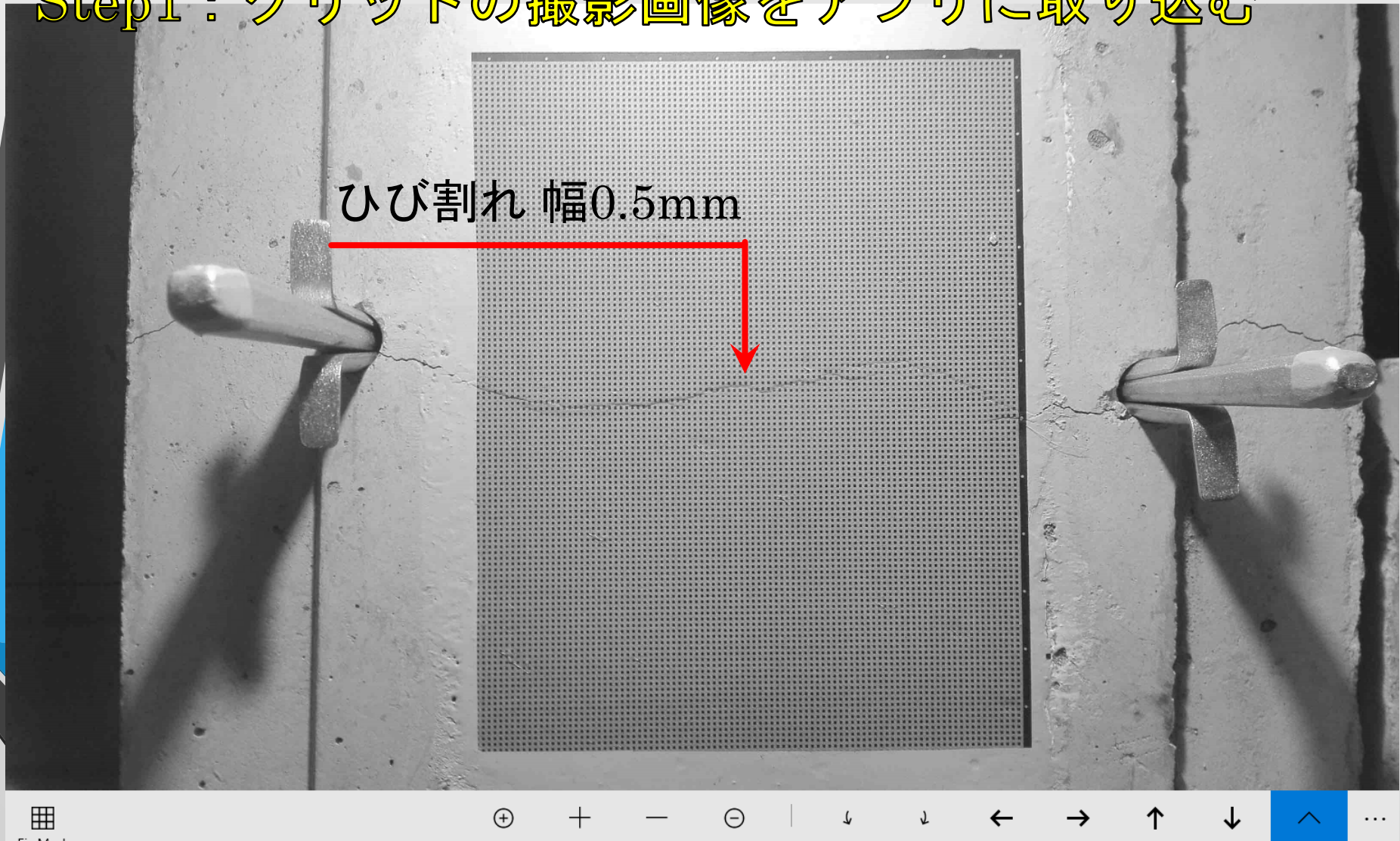
# 点検診断技術としての開発目標

- 操作は簡単にできるのが良い。
- ある程度遠くから（数十m程度）確認可能。
- 観察面に鉛直方向から、ある程度角度があっても確認可能。



# 画像解析アプリを使用した簡易計測

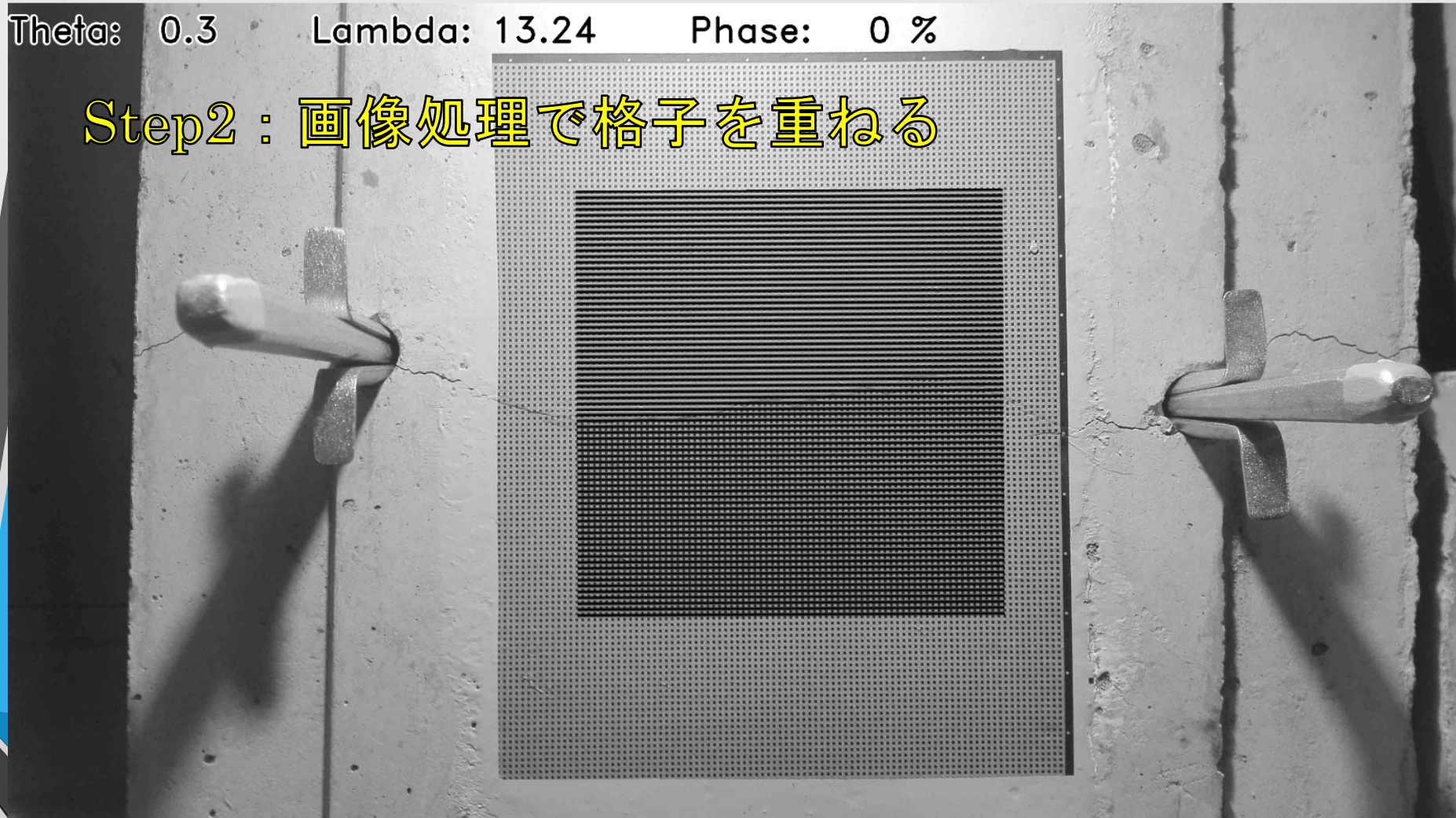
Step1 : グリッドの撮影画像をアプリに取り込む





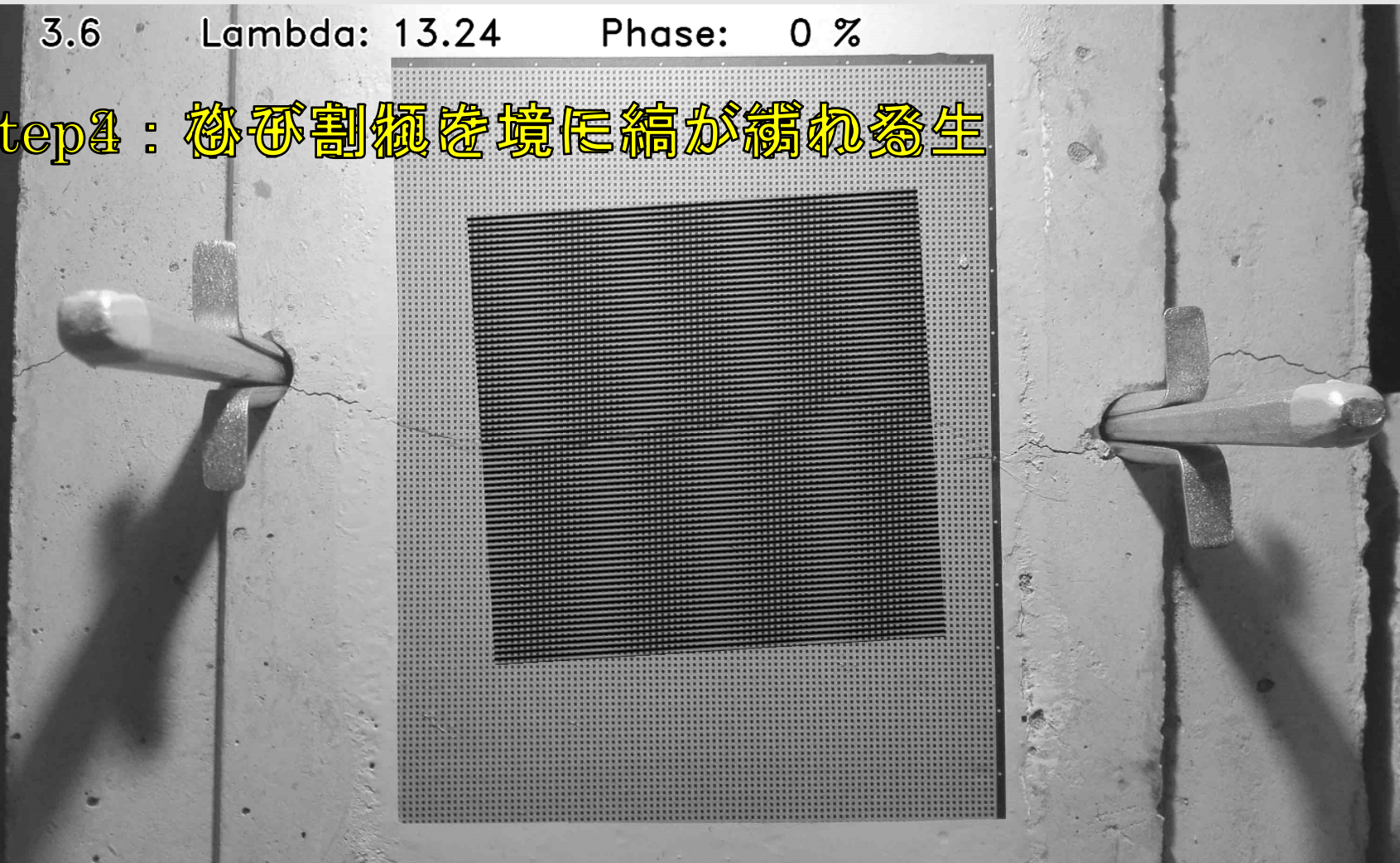
Theta: 0.3    Lambda: 13.24    Phase: 0 %

## Step2 : 画像処理で格子を重ねる



Theta: 3.6    Lambda: 13.24    Phase: 0 %

Step4 : 格子割極を境に縞が縞れ発生



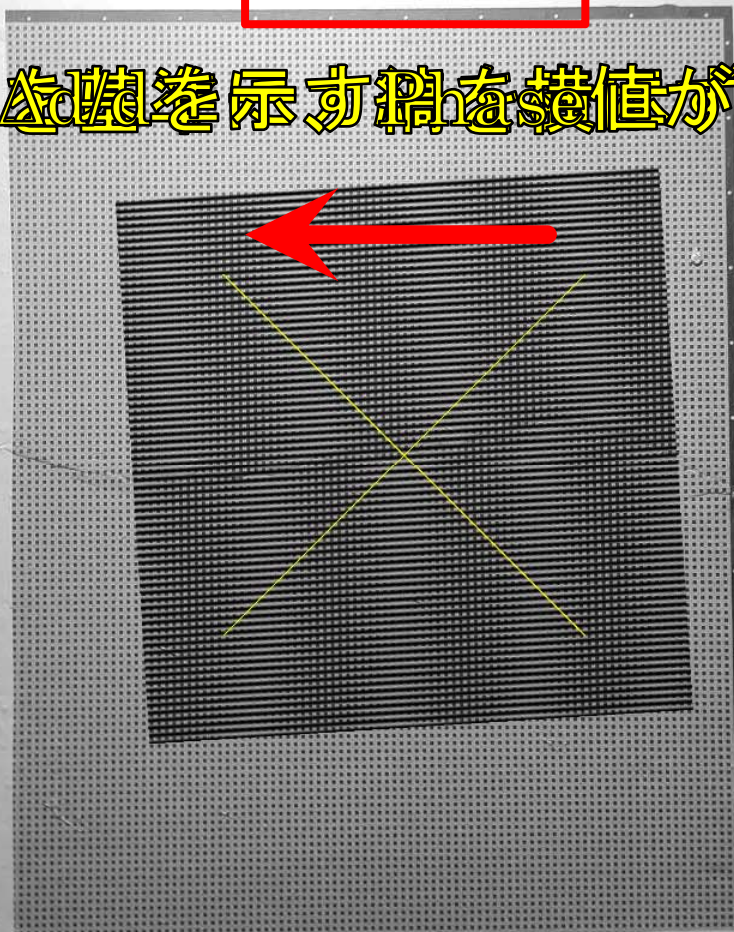


Theta: 3.6

Lambda: 13.24

Phase: 0 %

Step 7 : 縞の崩れを監視する際、Phaseの横値が変化する



Theta: 3.6

Lambda: 13.24

Phase: 33 %

## Step8 : 縞のずれ $\Delta d/d$ を示すPhase値の算出

$$\begin{array}{rclcl} \text{グリッド間隔} & \times & \text{縞のずれ} & = & \text{ひび割れ幅} \\ 1.5\text{mm} & \times & 0.33(\text{Phase値}) & = & 0.495\text{mm} \end{array}$$

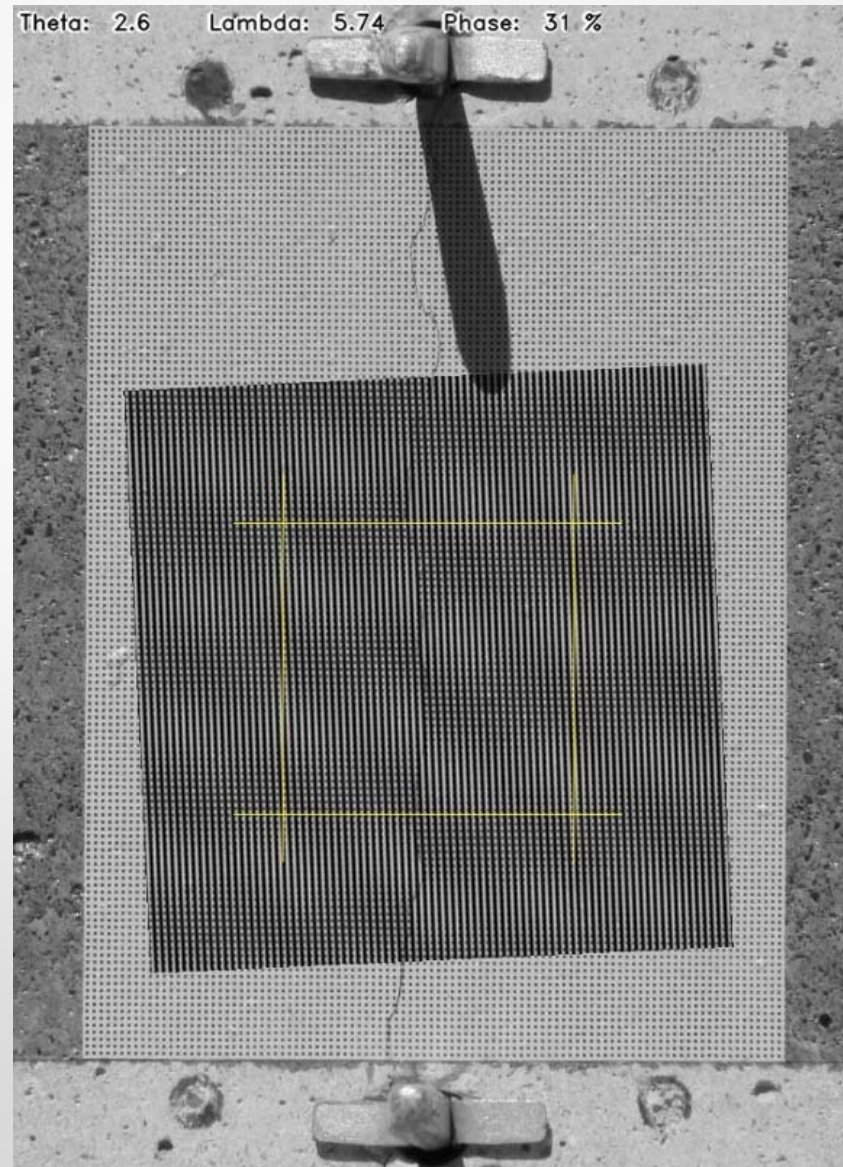
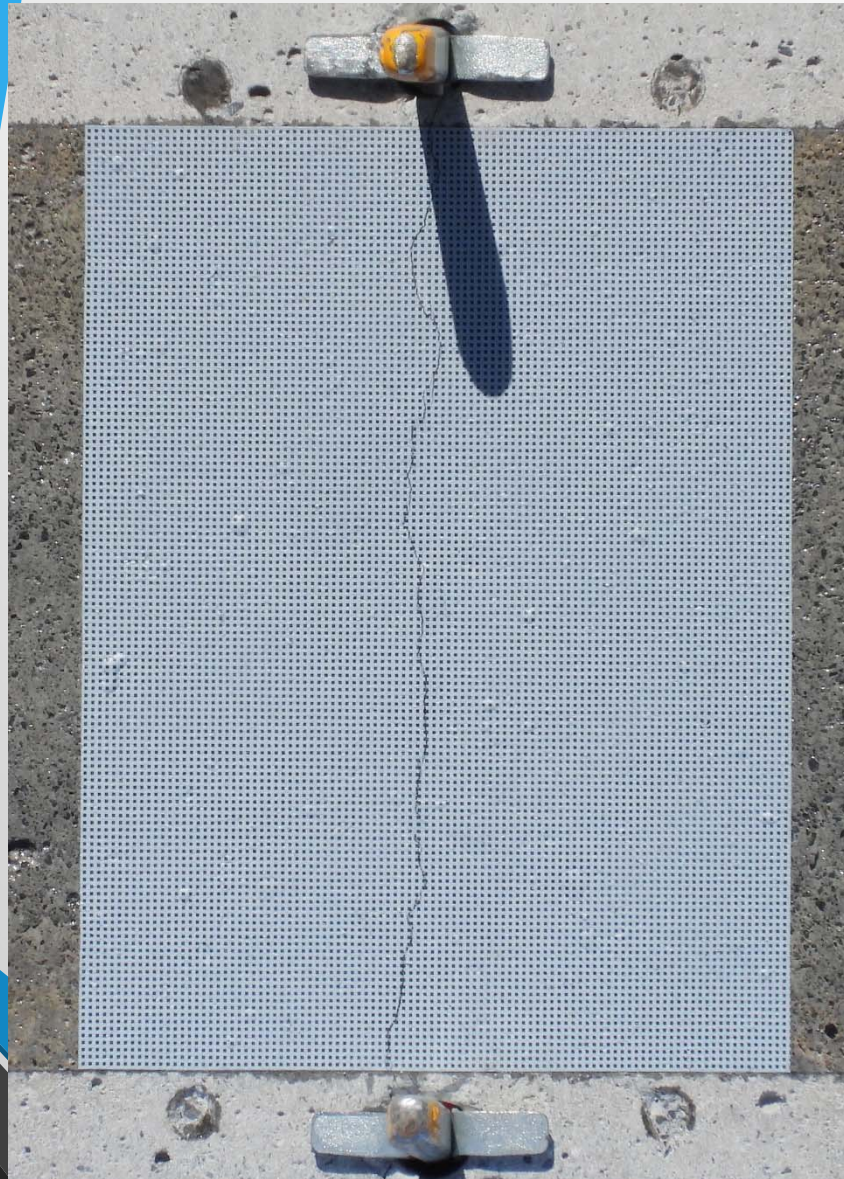


ある程度遠くからひび割れを  
「見る」ことが可能か？  
(実証実験の実施)

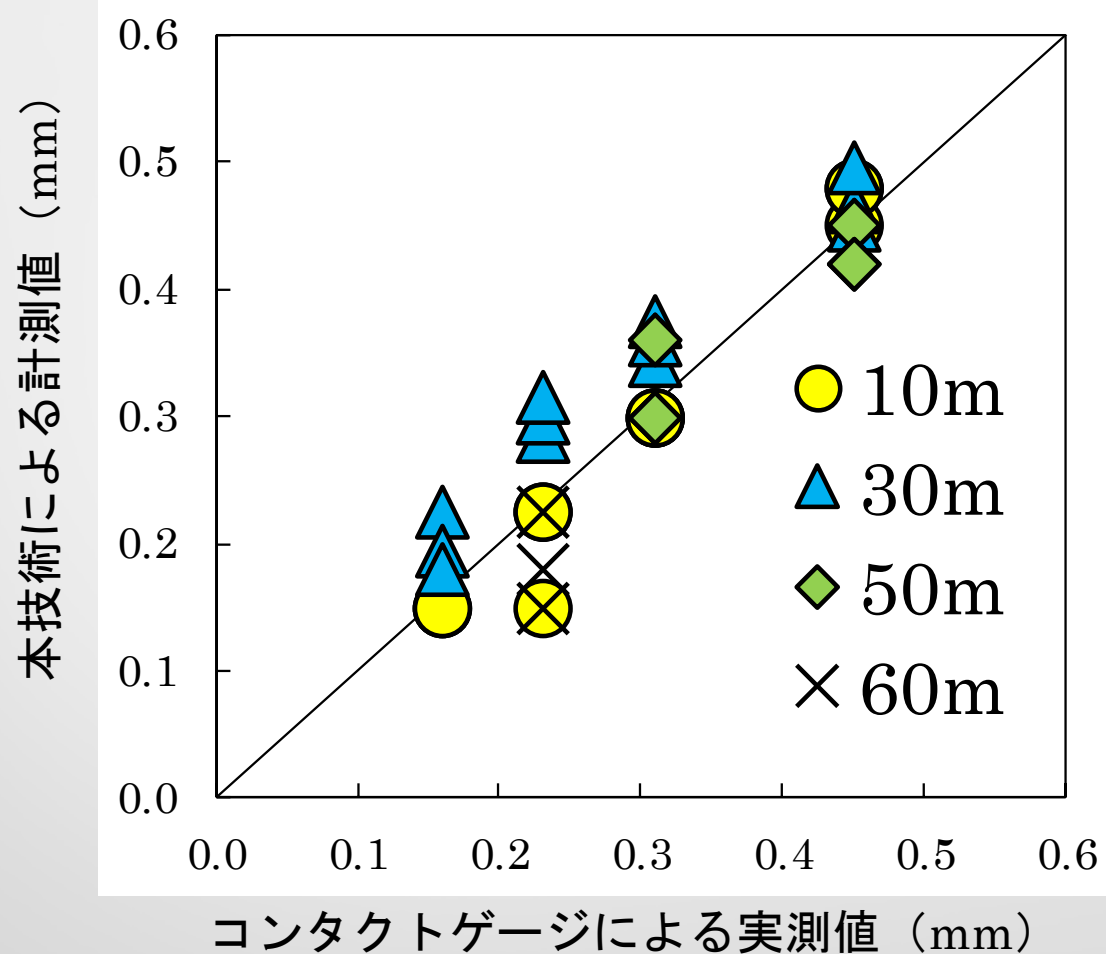




# 遠方からのひび割れ観察写真と モアレ縞発生の様子



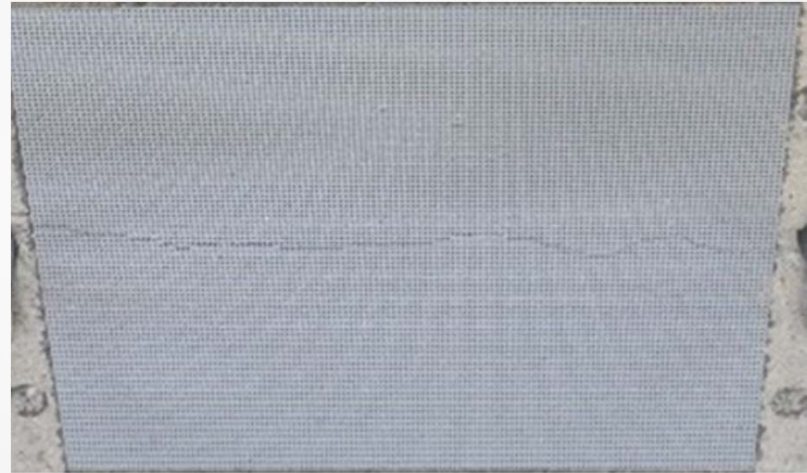
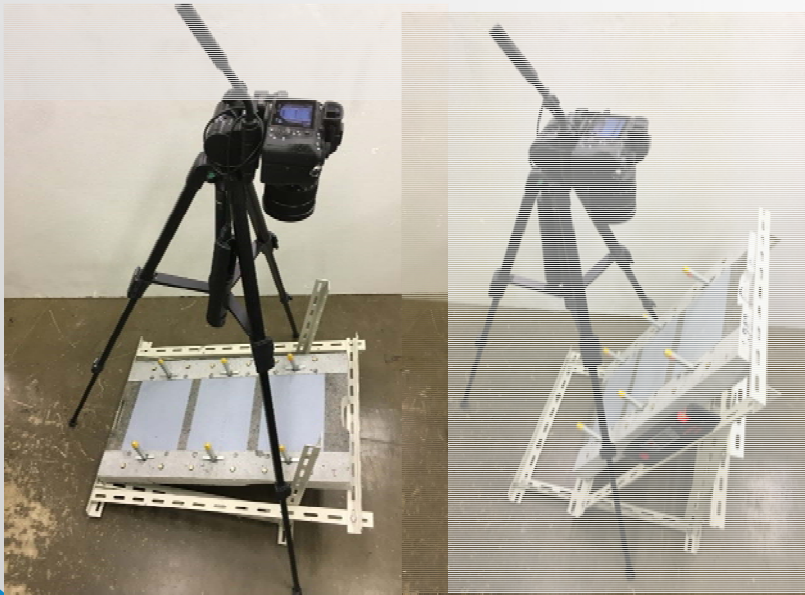
# 測定対象までの距離と本技術によるひび割れ幅の計測値



- 被写体との距離が50m以下であれば計測可能
- 精度は、0.3mm以上のひび割れであれば誤差±0.1mm程度
- ひび割れ幅0.3mm以下でも、ひび割れ検出は可能

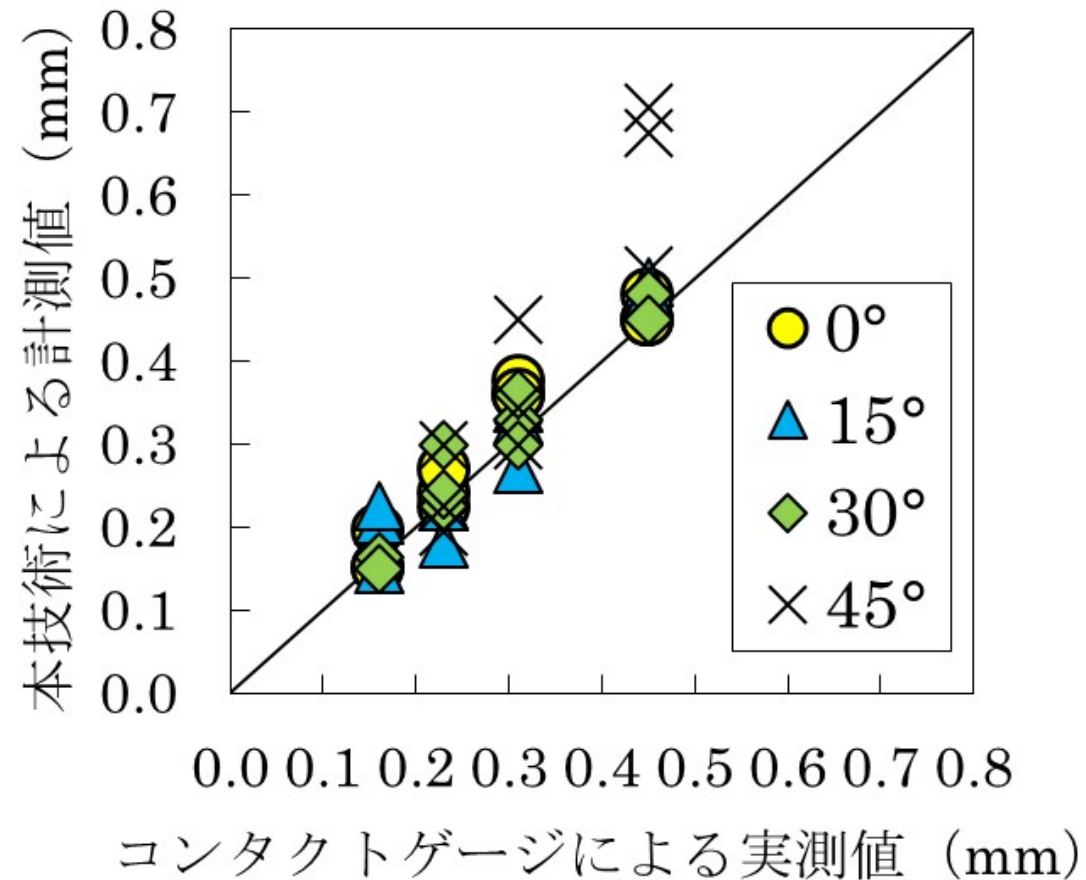
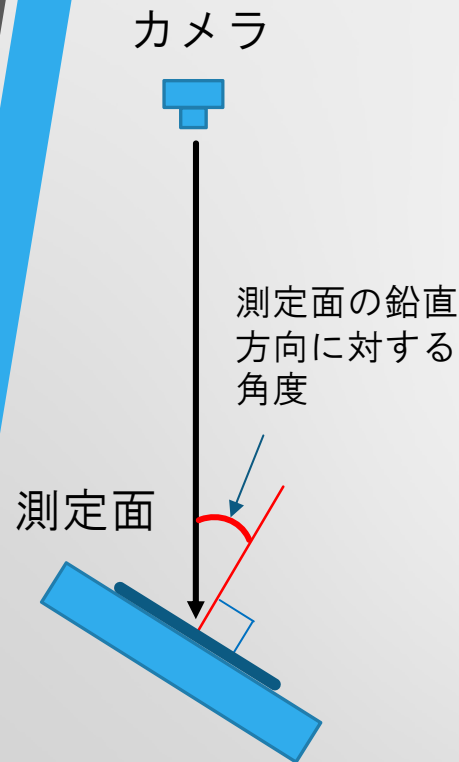


測定面の鉛直方向に対してある程度  
角度があっても「見える」か？



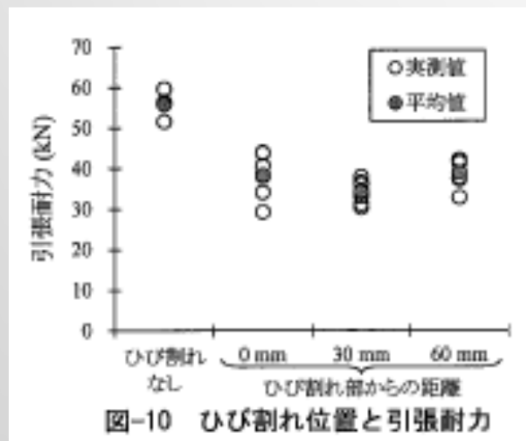
# 測定面に対する角度とひび割れ幅の計測値

(供試体までの距離：約1m)



- 角度がある場合はモアレ縞にひずみを生じる。
- 30° 程度までの傾きであれば良好な精度で計測可能。

# 本技術の土木構造物への応用について



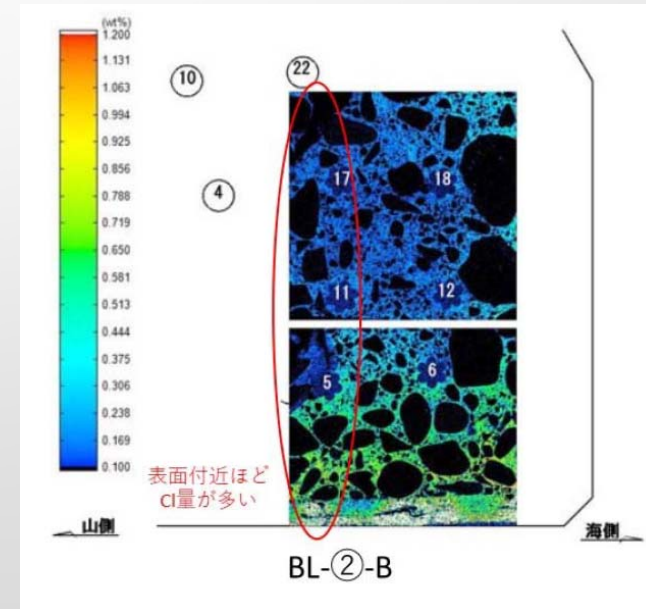
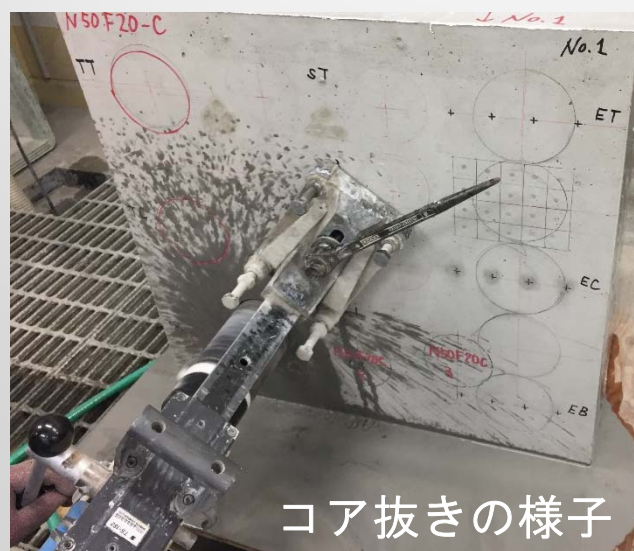
中村英佑, 栗原勇樹, 古賀裕久: 金属系あと施工アンカーの引張耐力に関する基礎的研究, 第17回コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム, Vol.17, pp.69-72, 2017.

## 検討中の課題

- ・ 格子状模様の効率的施工法
- ・ 点検・撮影時の照明法 (暗所条件における)
- ・ モアレ縞の耐久性検証など



# コンクリートに侵入した塩分を「見る」技術

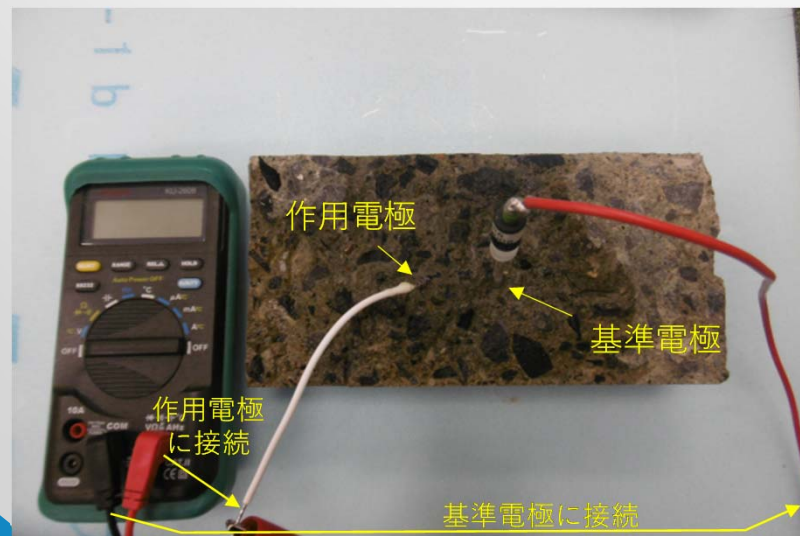
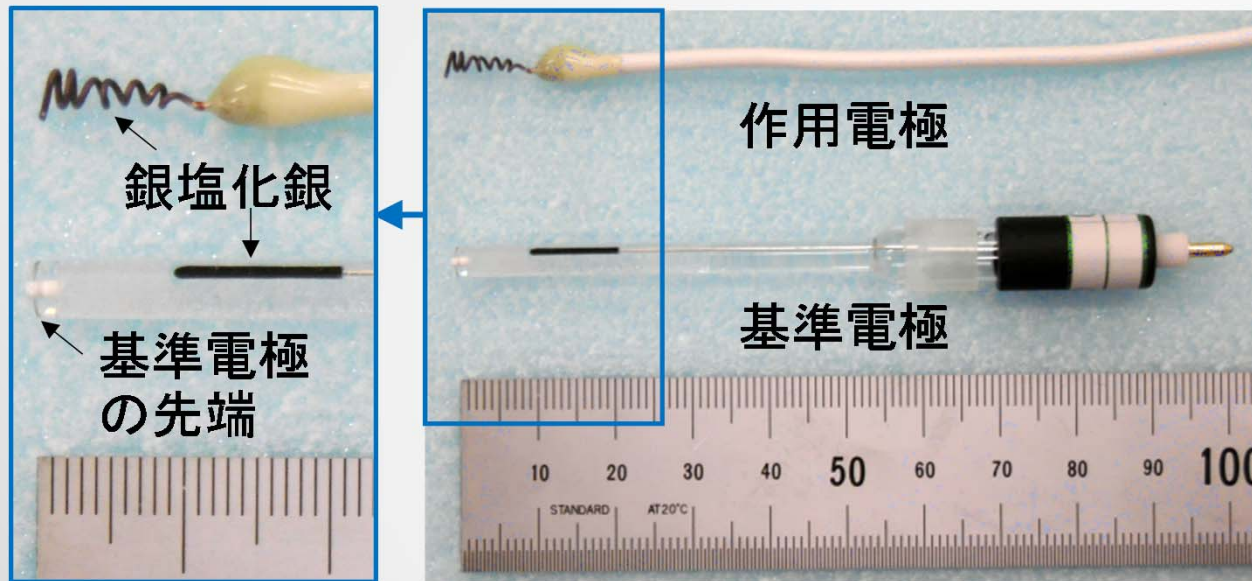


コア抜き後の塩分分析の例 (EPMA)

# コンクリート中の塩分を 「見る」技術の例

技術名	技術の概要
可溶性塩分法	コンクリート粉体試料から水で塩分を抽出し塩分量を測定。抽出方法が精度に影響。
硝酸銀噴霧法	硝酸銀溶液をコンクリート面に噴霧、ある程度の塩分を含む部分を白色に変化させる。
電極接触法	線状の作用電極をコンクリート面に接触させ、測定した電位から塩分量を推定。
蛍光X線法	コンクリート面にX線を照射。発生する特性X線強度から塩分量を測定。専用装置・検量線作成が必要。
近赤外分光法	近赤外光線の吸光度から塩分量を測定。専用装置・検量線作成が必要。

# 電極接触法に用いる電極と測定のイメージ



- 必要なもの
- ・ 作用電極
  - ・ 基準電極  
(いずれも銀塩化銀電極)
  - ・ 小型電圧計

# 点検診断技術としての開発目標

- 測定される電極電位（溶液中では塩化物イオン濃度（mol/L）換算できる）と、コンクリート表面に適用した際の「コンクリート中の塩化物イオン量（kg/m<sup>3</sup>）」との関係を明らかにする。
- コンクリート表面での電位測定を信頼度高く安定的に行う留意事項を明らかにする。

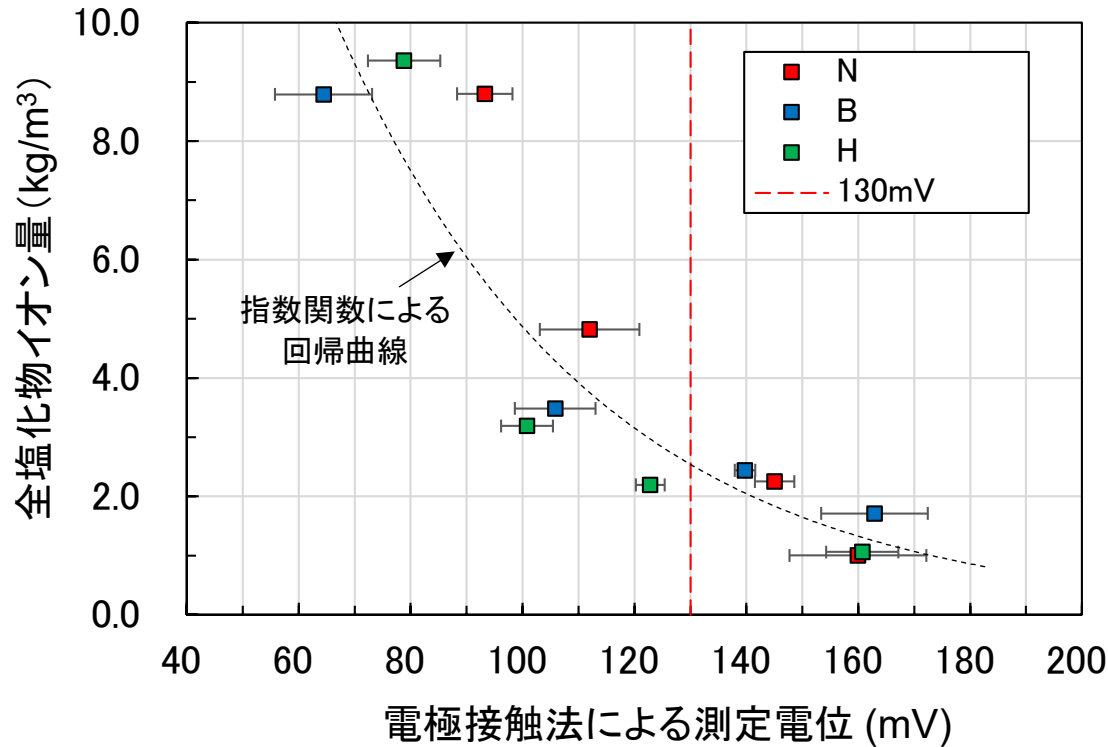
コンクリート中の塩化物イオン量と鉄筋腐食の関係

▶ 化学分析によって得られる全塩化物イオン量（kg/m<sup>3</sup>）を指標とした研究に実績がある。

▶ 建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」では、**全塩化物イオン量がおよそ2.4kg/m<sup>3</sup>を超える場合に塩害による鉄筋腐食が著しくなることを明示。**



# 各種コンクリート供試体を用いた実験



## 結果

接触電極法による測定電位130mVを閾値とすると、配合によらず全塩化物イオン量がおおよそ2.4kg/m<sup>3</sup>を超える場合を区別できる。

※N：普通ポルトランドセメント  
B：高炉セメントB種  
H：早強ポルトランドセメント

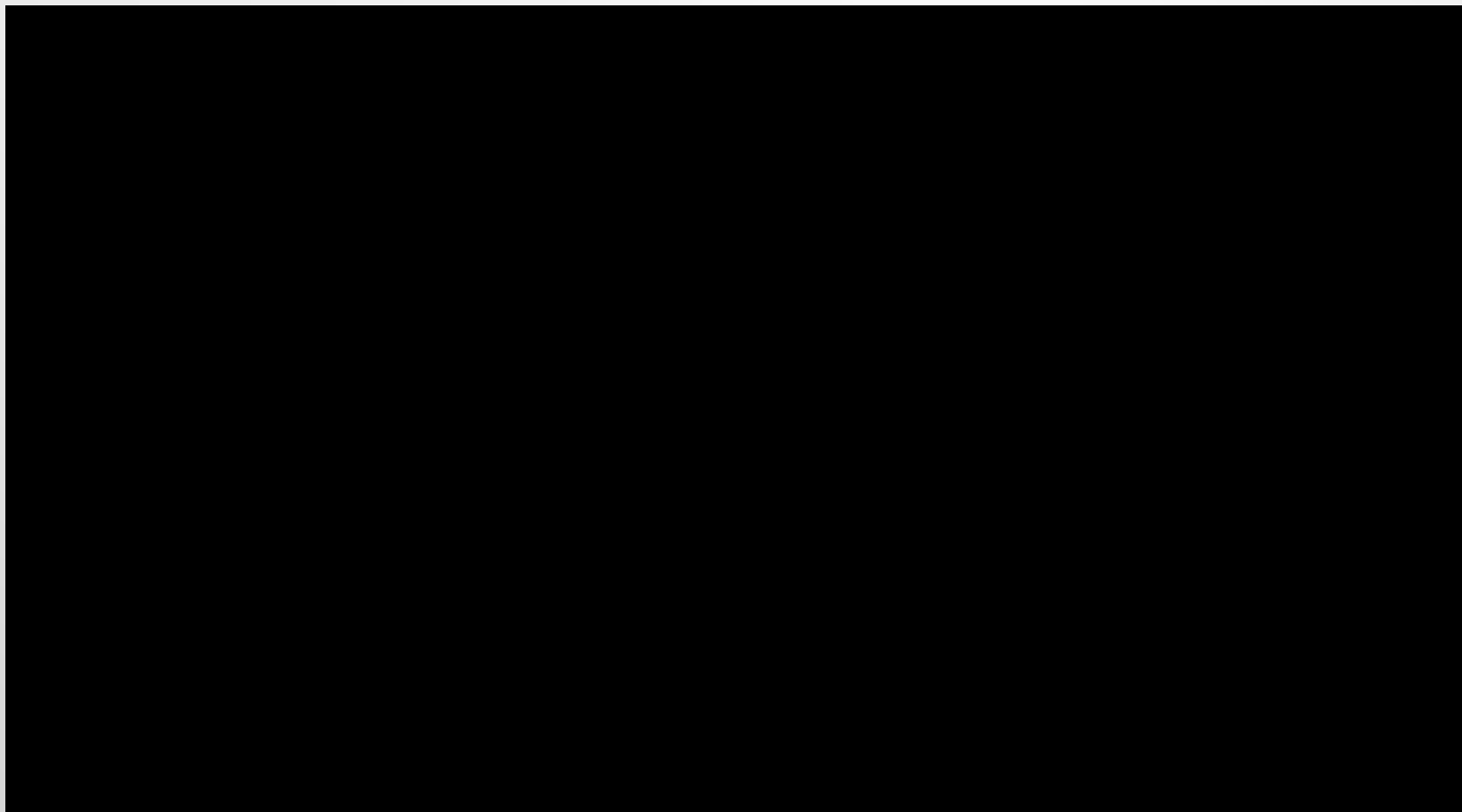
名称*	W/ C (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )				混入した 塩化物イ オン量 (kg/m <sup>3</sup> )
			W	C	S	G	
N	50	47	165	330	827	968	1.2, 2.5, 5.0, 10.0
B	50	47	165	330	827	968	
H	36	44	165	458	721	968	



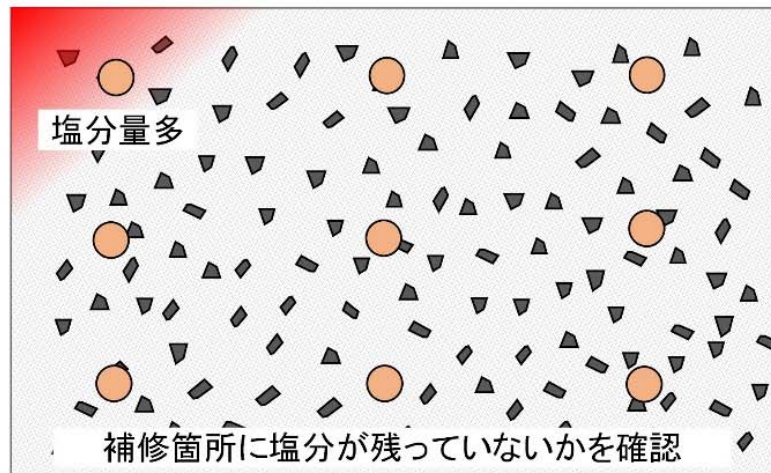
# コンクリート表面での電位測定 を信頼度高く安定的に行うため の留意事項

- コンクリート表面の含水状態の管理法
- 測定対象のコンクリート表面の管理法  
(特に粗骨材を避けることが重要)  
→測定回数や位置の規定

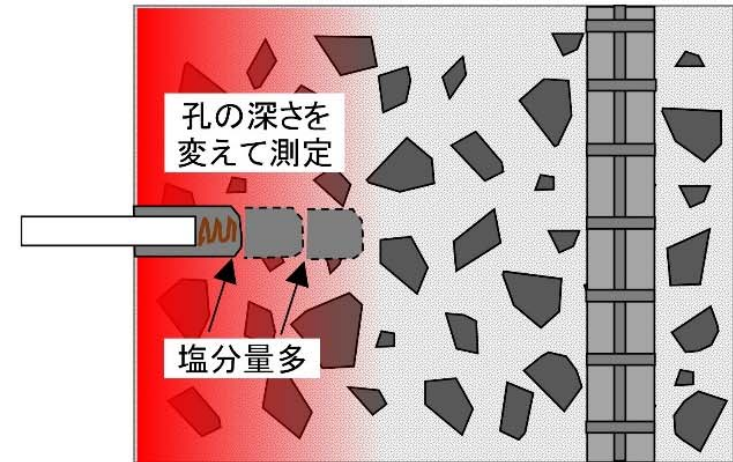
# 実際の測定の様子（動画）



# 本技術の土木構造物への応用について



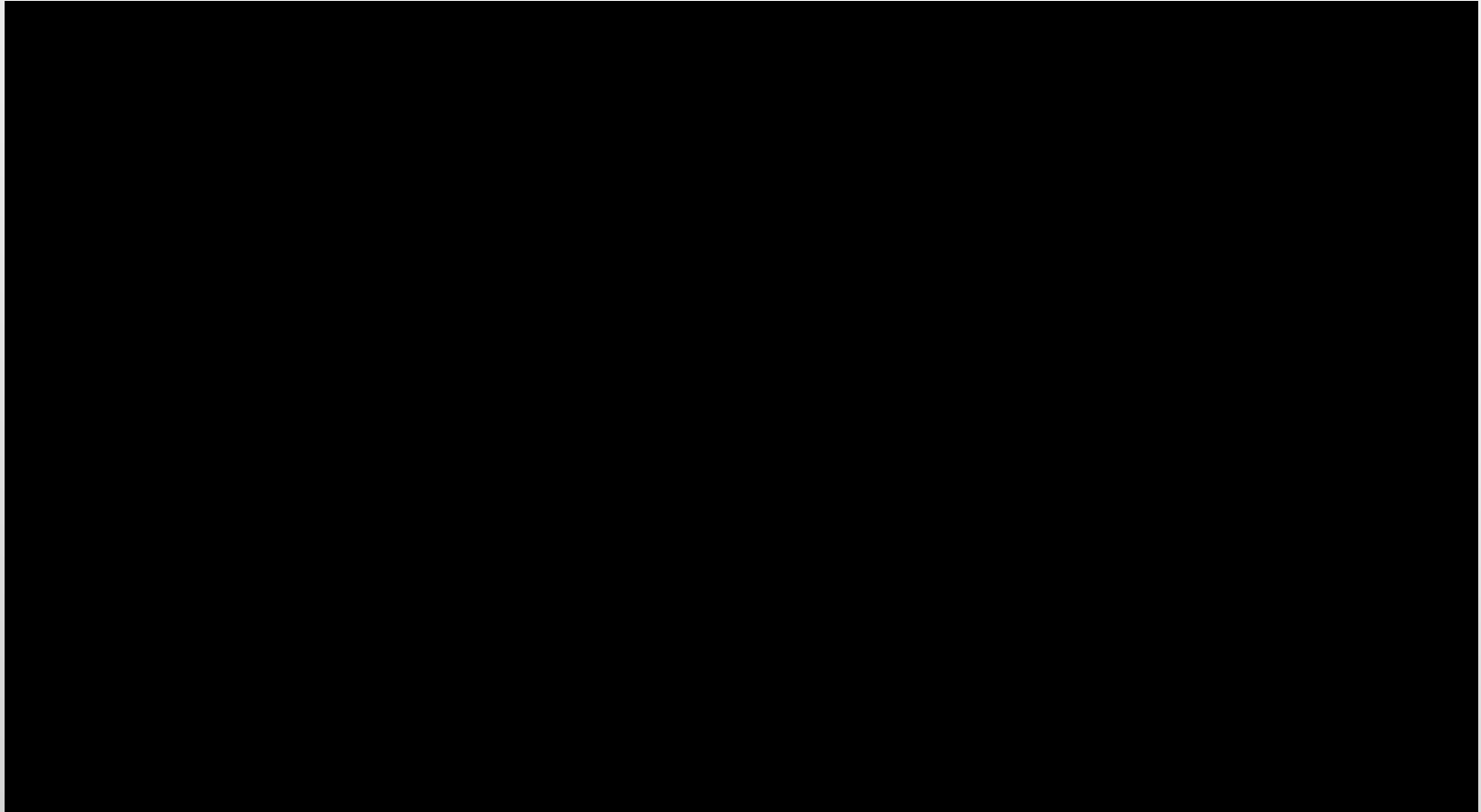
はつり面の残存塩化物  
イオン量推定



かぶり深さ方向の塩  
化物イオン量推定



はつり面の残存塩化物イオン量  
確認用途のイメージ（動画）

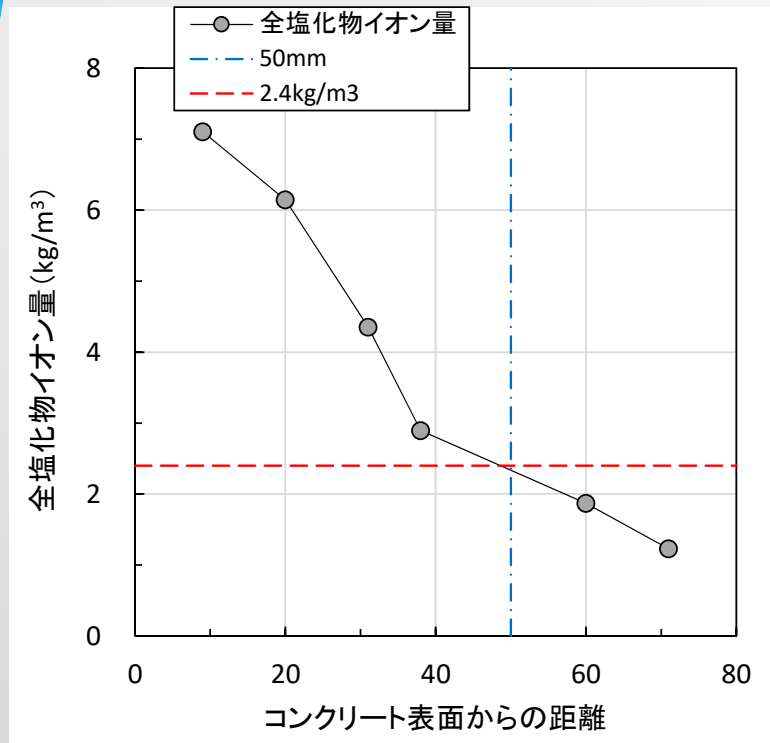


# はつり面の残存塩化物イオン 量の確認への適用性実験

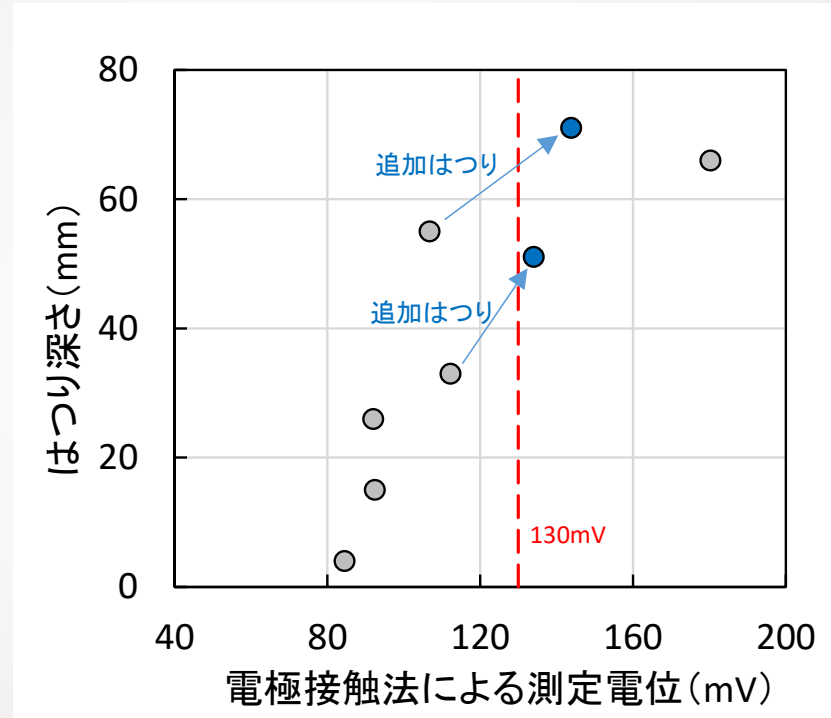


実験に用いたコンクリート桁

## 全塩化物イオンの深さ方向の分布



## はつり深さと電位の結果



はつり作業中に塩分侵入部位の適切な除去の簡易な確認方法としての適用可能性



# おわりに

- 本研究は、物質材料研究機構（NIMS）との共同研究により実施されたものです。
- 研究成果の詳細は、共同研究報告書にまとめ、公表しています。  
（土研ホームページよりダウンロード可能）

共同研究報告書  
整理番号第 517 号

コンクリート構造物の目視困難な  
損傷・変状に対する先端技術を用いた  
状態把握の適用性と性能評価に関する  
共同研究報告書（I）

—塩分センサを活用したコンクリート構造物の簡易な塩化物イオン量推定方法—

令和 2 年 3 月

国立研究開発法人土木研究所  
国立研究開発法人物質・材料研究機構