

# LiDAR付き携帯端末を用いた下地補修記録手法の開発

大野 湧 人      水上 卓 也  
池田 雄 一      小林 利 充

## Development of a Recording Method for Subsurface Repaired Area in Exterior Wall Tile Construction using Mobile Phone with LiDAR

Wakuto Ohno      Takuya Mizukami  
Yuichi Ikeda      Toshimitsu Kobayashi

### Abstract

In exterior wall tiling using organic adhesives, it is necessary to create a repair record for concrete walls. We developed a method to record the condition of the wall surface using a mobile phone with light detection and ranging (LiDAR). We applied our method to a construction site and created records of a repaired surface area with an average dimensional error of 1.5%. It was also confirmed that chromatic-colored surface repairing materials increased visibility, making it applicable to various environmental conditions. This recording method can also be applied to other construction sites practiced by partner companies.

### 概 要

有機系接着剤張り工法の外壁タイルは、全面打診に代わる引張接着試験により確認する方法において、有機系下地調整塗材等でコンクリート壁面を補修した記録の作成が求められる。そこで、筆者らは3次元データで記録できるLiDAR(Light Detection And Ranging)付き携帯端末を用いた下地補修記録の作成手法を開発した。本論文では、開発した記録手法を解説し、施工現場での有機系下地調整塗材の補修状況の記録、および、有彩色に着色した下地補修調整塗材を用いた際の視認性を検証する実験をまとめた。実験の結果、下地補修記録から障害物を取り除き、寸法誤差は平均1.5%で下地補修記録を作成できた。また、有彩色に着色した下地補修調整塗材を用いることで、本記録手法の利便性が向上することがわかった。今後は、調査会社と連携し、現場適用を進めていく予定である。

### 1. はじめに

2008年4月に建築物の定期調査報告に関する運用が見直され、タイル外壁に対しては原則竣工後10年ごとに全面的な打診検査等の実施が義務付けられた<sup>1)</sup>。2018年5月に直張りによる有機系接着剤を用いた外壁タイル張り工法（以下、接着剤張り工法）については、引張接着試験により代替できる旨の技術的助言（以下、技術的助言）が、国土交通省より通知された<sup>2)</sup>。

接着剤張り工法の場合では、下地調整塗材等によってコンクリート下地表面の面精度を修正する。タイルを張り付けた有機系接着剤そのものの経年劣化だけでなく、下地調整塗材の施工状況などによって、はく離等が生じる可能性がある。そのため、外壁タイル張り工事の状況を施工記録より確認することが前提となっている。

外壁タイル張り工事の状況の施工記録のうち、下地調整塗材等を下地に塗布した記録（以下、下地補修記録）を作成することによって、技術的助言に示された下地等に該当することが確認でき、かつ引張接着試験の実施箇所を選定する目安を得ることができる。下地補修記録としては、技術的助言において、有機系下地調整塗材の塗

付位置の図、およびセメント系下地調整塗材の塗付位置かつその塗付面ごとの面積がそれぞれ0.25m<sup>2</sup>未満あるいは0.25m<sup>2</sup>以上であることがわかる記録としている。

この記録を作成するにあたり、一般社団法人全国タイル業協会では施工記録に関する留意点や記録図例を公開し、タイル張り工事協力会社での活用が図られている<sup>3)</sup>。しかし、現地の壁面や現場写真を見ながら立面図等へ書き起こす作図作業がほとんどのため、多大な手間を要している。加えて、一般的に無彩色の有機系下地調整塗材が利用されているため、有機系下地調整塗材とコンクリート下地表面を見誤る可能性があり、下地補修記録の品質がばらつき、信頼性が低下することが懸念された。

そこで、3次元データで記録できるLiDAR (Light Detection And Ranging)付き携帯端末を用いた下地補修記録の作成手法（以下、本記録手法）を開発し、さらに、鮮明な下地補修記録を作成するために3種類の有彩色に着色した有機系下地調整塗材を試作した。本論文では、開発した記録手法の概要、施工現場で実施した検証実験の結果、有機系下地調整塗材の視認性に関する実験の結果について報告する。

接着剤張り工法を適用する下地等の種類(組み合わせ)

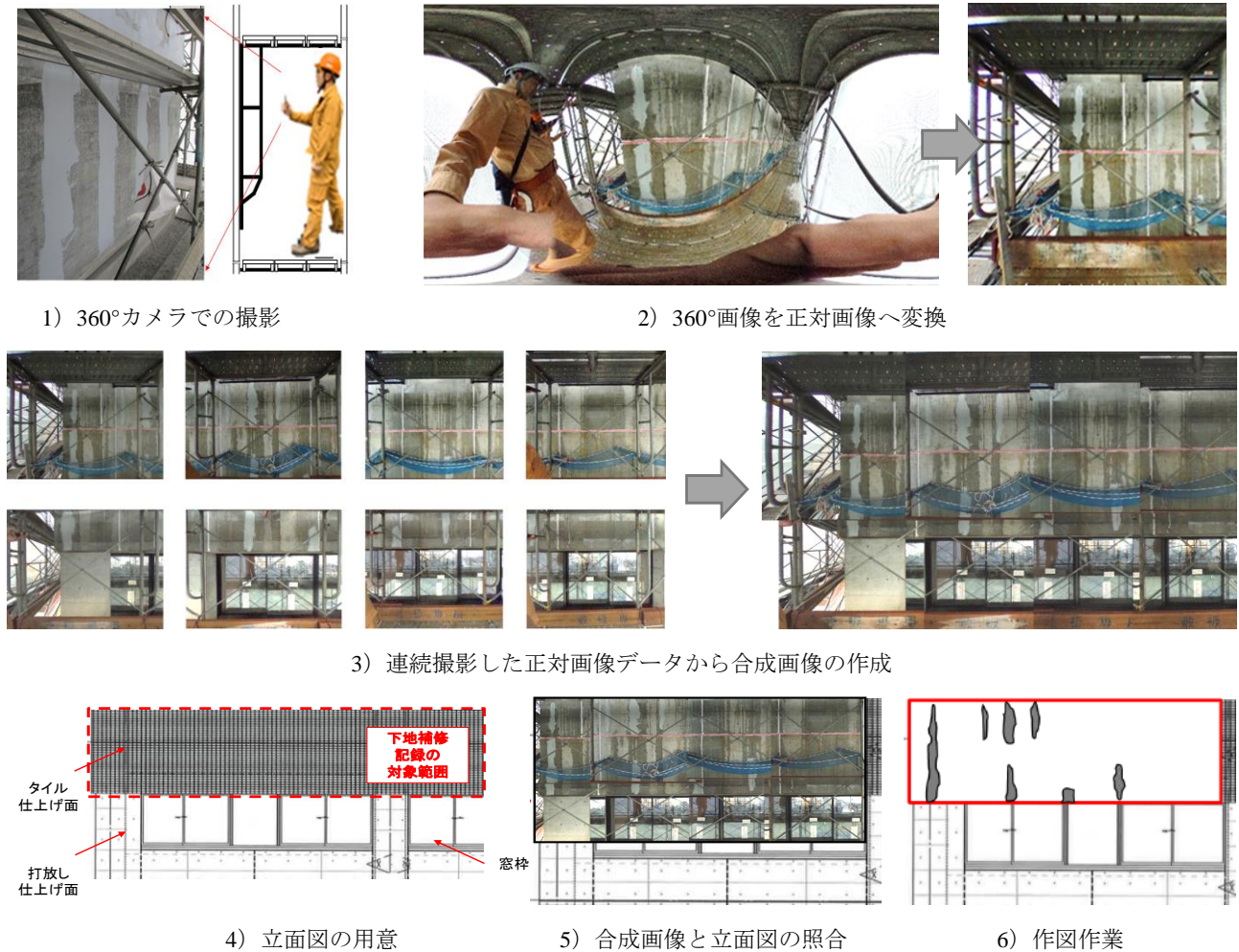


Fig. 1 360°カメラを用いた下地補修記録の作成手順（従来手法）

Procedure for Recording Repaired Area of the Surface using a 360°Camera (Conventional Method)

は、実施工上いくつかあるが、プロトタイプと位置付けられる本記録手法は、対象とする下地等を有機系下地調整塗材のみでコンクリート下地表面の面精度が修正される仕様に限定した。その上で、有機系下地調整塗材の塗付位置図を短時間かつ正確に作成して、新築工事時の施工品質管理業務の負担軽減と竣工引渡し後の定期調査報告に資することを目標としている。

## 2. 下地補修記録

### 2.1 下地補修記録の概要

建築のタイル工事は、通常、外壁面に沿って設置した外部足場上から行う。タイル工事の施工途中で下地補修記録を作成するため、外部足場を考慮した下地補修記録手法が必要となる。従来の手書き手法では、外部足場上から外壁面の状況を目視で確認し、必要に応じて、カメラの撮影画像を参照して、下地補修記録を作成していた。

### 2.2 360°カメラを用いた記録手法

従来の手書きに変わる手法として、筆者らは当初360°

カメラを用いた下地補修記録の作成手法を検討した。画像処理ソフトを利用して、360°カメラの撮影画像をつなぎ合わせて下地補修記録を作成した。その手順を次に示す(Fig. 1 参照)。

- 1) 360°カメラで、外壁面を足場1スパンごとに連続して撮影する。
- 2) 撮影した画像データ(360°画像)を正対画像に変換して保存する。
- 3) 足場階ごとに連続した正対画像を重ね合せて、合成画像を作成する。
- 4) 撮影した壁面の立面図を用意する。
- 5) 合成画像と立面図を照合し、一致する位置に合成画像を貼り合わせる。
- 6) 有機系下地調整塗材の塗布位置を立面図に書き起こす。

しかし、この方法では、立面図に書き起こす作図作業において、ヒューマンエラーが発生する余地があり、撮影画像に映り込んだ落下防止用ネットや外部足場のブレース等といった障害物を除去する作業に多くの工数がかかることが課題であった。

### 3. LiDAR付き携帯端末を用いた記録手法

#### 3.1 開発した記録手法の概要

外部足場上から短時間かつ正確に下地補修記録を作成するには、外部足場にある障害物の影響を低減し、作図作業を簡略化する必要がある。そこで、レーザー光を照射して、対象物までの距離と角度を計算し、対象物の3次元形状を取得するLiDARセンサーとカメラを搭載する携帯端末に注目した。

LiDAR付き携帯端末の計測概要をFig. 2に示す。LiDAR付き携帯端末は、LiDARの深度（奥行き方向の距離）情報から計測対象の3次元形状と、カメラ画像の色情報を組み合わせたスキャンデータを取得する。このスキャンデータを連続で取得し、スキャンデータの位置関係を推定して繋ぎ合わせ続けることで、広範囲の色情報付き3次元データ（以下、3次元データ）を作成できる。また、小型かつ0.5m程度の近い距離から3次元データを取得できるため、外部足場上から外壁面を計測できる。こうした機能を標準的に搭載するLiDAR付き携帯端末を利用して、外部足場上から計測した壁面の3次元データから下地補修記録を作成する手法を考案した。

本記録手法では、あらかじめ設定したエリアごとに取得した3次元データを統合して壁面全体の合成写真を作成する。壁面部と障害物の3次元的な位置関係を利用することで、壁面の手前に存在する障害物を容易に特定し、障害物を除去することで壁面のみを抽出できる。また、壁面全体の合成写真は、立面図と照合しなくても、立面図に相当する下地補修記録と扱える。そのため、作図作業においてヒューマンエラーの発生を防止でき、記録誤差が低減されるため、記録の信頼性が向上する。

#### 3.2 作成手順

下地補修記録の作成手順を次に示す(Fig. 3参照)。本論文では、LiDAR付き携帯端末としてiPhone12Pro、スキャンアプリとして3d Scanner App™を用いた。

- 1) LiDAR 付き携帯端末を使用し、外部足場から事前に決めた範囲の壁面を計測して、3次元データを複数取得する。
- 2) 取得した各3次元データに対して、障害物やノイズを除去し、壁面のみを抽出する。
- 3) 相互に正しい位置関係となるように、抽出した各壁面の3次元データを再配置する。
- 4) 壁面全体の3次元データから作成した画像データを下地補修記録として保管とする。

1)は外部足場上で、2)~4)は事務所等で作業を行う。画像データのファイル形式や解像度は、10年超後の定期調査の際に汎用的なパソコン等で下地補修の状況を確認可能な程度に設定する。

データの欠損が発生した場合は、再計測を行い、当該部分の置換もしくは重ね合わせをして欠損を補う。日射

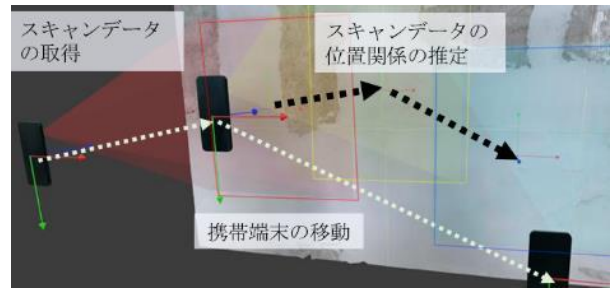


Fig. 2 LiDAR付き携帯端末の計測概要  
Overview of Measurement Steps using a Mobile Phone with LiDAR

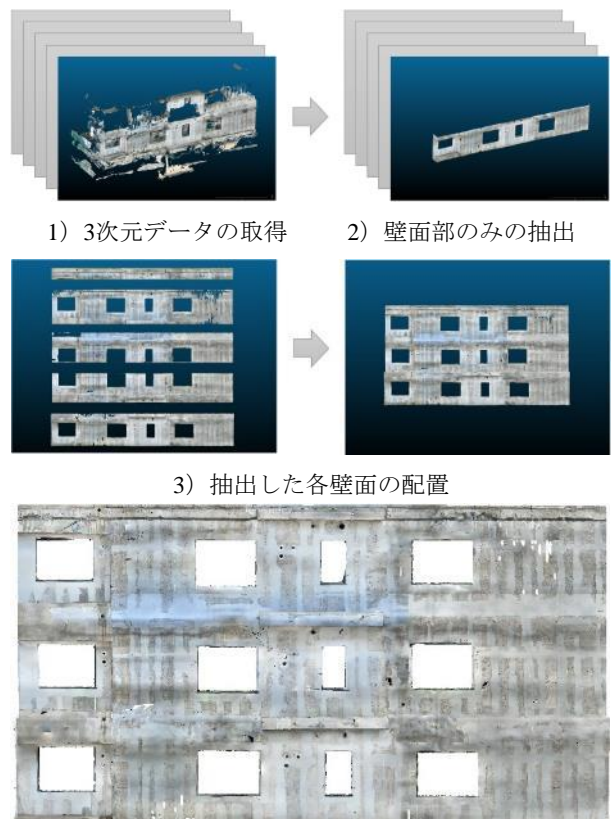


Fig. 3 下地補修記録の作成手順  
Procedure for Recording Repaired Area of the Surface

Table 1 建物概要および外壁仕様  
Building and Exterior Wall Overview

建物用途	集合住宅
構造規模	鉄筋コンクリート造
建物階数	地上13階
計測対象	8~9階の外壁（西面）
計測時期	2021年7月
天候	くもり
下地	コンクリート
下地調整	有機系下地調整塗材（灰色）
張付け材	有機系接着剤
タイル	50二丁モザイクタイル



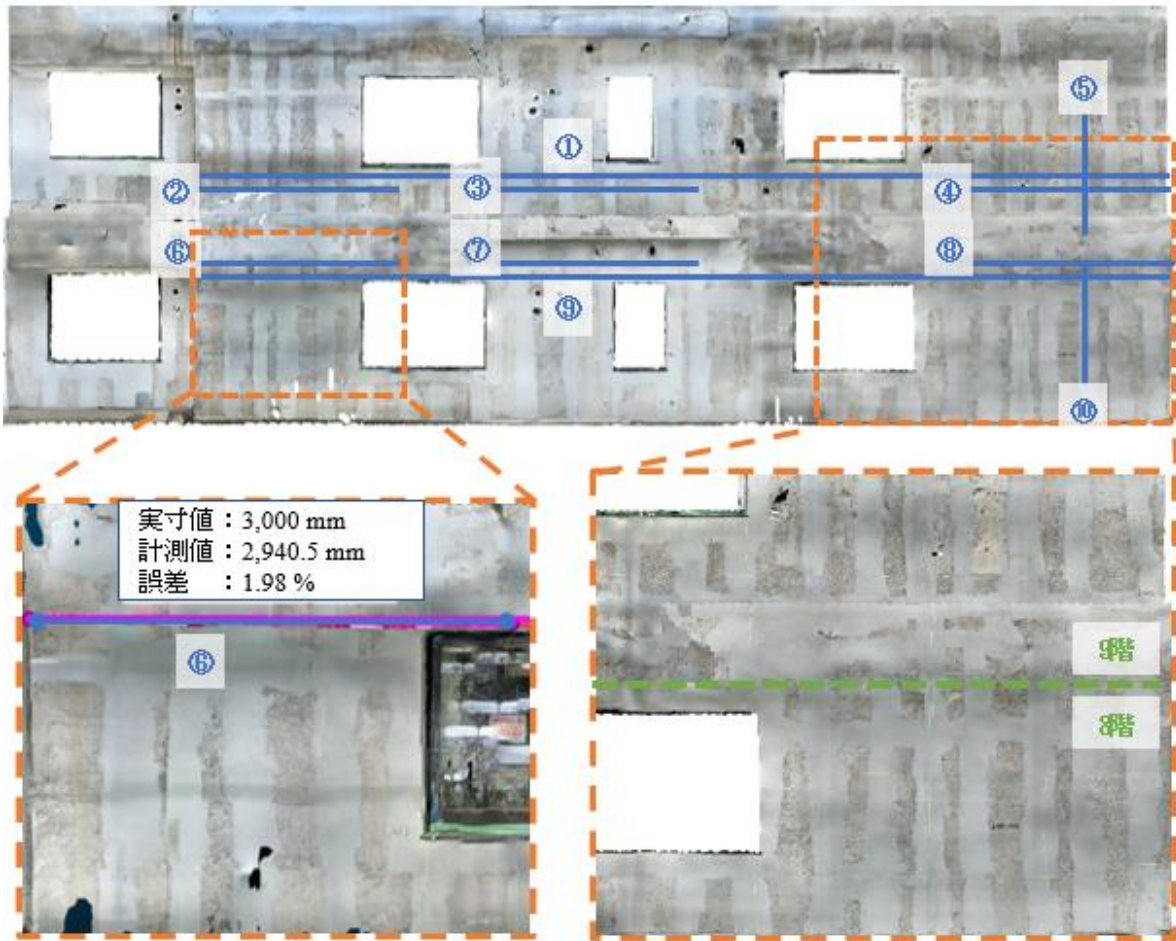


Fig. 4 下地補修記録の結果と寸法精度の計測箇所（上：全体，下：拡大）  
Results of the Recorded Area and Measurement Points of Dimensional Accuracy

や日陰を含む場合、計測する時間帯を調整する。なお、壁面の色調に異常が見られた場合の修正方法は、今後の課題である。

### 3.3 検証実験

**3.3.1 実験概要** 検証実験を行った建物の概要および外壁の仕様をTable 1に示す。接着剤張り工法を採用した外壁のうち、西面の8, 9階(約15m×6m)を対象として下地補修記録を作成した。また、スケールが入ったリボンテープをコンクリート壁面に貼り付けて、リボンテープの数値（以下、実測値）と壁面から3次元データ上で計測した距離（以下、計測値）を比較し、実測値に対する計測値の誤差（以下、寸法精度）を算出した。

**3.3.2 実験結果およびその評価** 作成した下地補修記録と寸法精度の計測箇所をFig. 4に、対応する寸法精度をTable 2に、それぞれ示す。レンダリング画像の一部に欠損があったが、障害物を除去して壁面状況を記録できた。また、実壁面と同様に有機系下地調整塗材の塗布状況を視認できた。

寸法精度を比較したところ、誤差の平均値は1.50%であった。水平方向と鉛直方向で誤差の平均値を比較した

Table 2 寸法精度の実験結果  
Experimental Results of Dimensional Accuracy

計測対象	実測値 (mm)	計測値 (mm)	誤差 (%)
① 9階 水平方向	14,400	14,279	0.84
② 9階 水平方向	3,000	3,057	1.90
③ 9階 水平方向	3,000	2,918	2.73
④ 9階 水平方向	3,000	3,003	0.09
⑤ 9階 鉛直方向	1,800	1,848	2.65
⑥ 8階 水平方向	14,400	14,293	0.74
⑦ 8階 水平方向	3,000	2,941	1.98
⑧ 8階 水平方向	3,000	2,963	1.24
⑨ 8階 水平方向	3,000	2,981	0.64
⑩ 8階 鉛直方向	2,000	1,961	1.96
平均値			1.50

ところ、水平方向で1.27%、鉛直方向で2.3%であった。寸法精度は水平方向の方が良好であったため、下地補修記録の寸法精度の向上を図るため、一度に計測する範囲を各足場階で区切り、再配置し、合成したものを下地補修記録として保存した。

#### 4. 有機系下地調整塗材の視認性

##### 4.1 有彩色に着色した有機系下地調整塗材の概要

現在、市販されている有機系下地調整塗材は、コンクリートと同系色の顔料を添加して製造されているものが多い。そのため、日陰や日没前といった日射なしの環境では、コンクリートと有機系下地調整塗材との境界を判別しにくい場合があった。コンクリート面に施工した有機系下地調整塗材の塗布位置を鮮明にするため、赤、青、黄色の3種類の顔料をそれぞれ有機系下地調整塗材に添加し、有彩色に着色した。有彩色の有機系下地調整塗材を使用することで日射の影響が低減できると想定した。なお、顔料を加えたことで、下地調整塗材の性能に有意差がないことを別途確認した。

##### 4.2 コンクリート平板での視認性評価実験

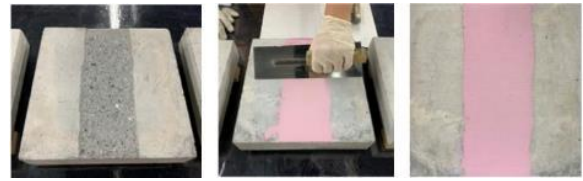
**4.2.1 試験体の作製** 試験体の作製手順をPhoto 1に示す。300mm×300mmのコンクリート平板に有機系下地調整塗材の各色（灰、赤、青、黄）を塗り付けた。

**4.2.2 実験方法** 有機系下地調整塗材の塗布状況の視認性を評価するため、カメラで撮影した各試験体の画像データにおける有機系下地調整塗材の塗布領域（以下、下地塗布領域）を抽出し、その判別精度を比較した。日中を想定して電灯をつけた明るい室内と、日没を想定して電灯を消した暗い室内にて、カメラ撮影した画像データについて次の手順で画像処理を行い、下地塗布領域を抽出した(Fig. 5)。

- 1) 対象の画像データを取得する。
- 2) 画像データから下地塗布領域の色領域を設定する。
- 3) 画像データをグレースケールに変換する。
- 4) 画像データに対して二値化処理を行う。
- 5) 画像データ内のノイズを削除する。
- 6) 画像データ内の下地塗布領域を抽出する

次に、実際の下地塗布領域として、目視で画像データ内の該当範囲を抽出した。下地塗布領域の判別精度を把握するためには、目視による下地塗布領域の抽出誤差を考慮する必要がある。そこで、画像処理の結果と目視の結果を重ね合わせ、両者が重なり合う範囲（以下、重複範囲）の画素数と、画像処理の結果と目視の結果の少なくとも一つを包含する範囲（以下、包含範囲）の画素数で除した値を判別精度とした。この結果から、色の種類や撮影環境の違いによる視認性を定量的に評価した。

**4.2.3 実験結果** 実験結果をTable 3に示す。明るい室内で撮影した画像データの判別精度は、全ての試験体において94%を超えた。一方、暗い室内で撮影した画像データの判別精度は、赤、青、黄色の試験体では明るい室内と同様に94%を超えたが灰色の試験体では84.9%まで低下した。実験結果から、有彩色の有機系下地調整塗材を使用することで、明るさに影響されず、鮮明な下地補修記録を作成できると推察した。



1)下地の研削 2)材料の塗付け 3)塗付け完了

Photo 1 コンクリート平板試験体の作成手順

Procedure for Making Concrete Flat Plate Test Pieces



1)下地塗布領域の撮影 2) 色領域の選択 3) グレースケール変換



4) 二値化処理 5) ノイズの除去 6) 下地塗布領域の抽出

Fig. 5 下地塗布領域の抽出手順

Procedure for Extracting Applied Area of the Surface

Table 3 コンクリート平板での実験結果  
Experimental Results on Concrete Flat Plates

色	撮影環境	重複範囲の画素数	包含範囲の画素数	判別精度 (%)
灰	明るい室内	2,954,689	2,990,993	98.8
	暗い室内	2,926,408	3,447,820	84.9
赤	明るい室内	2,513,840	2,540,098	99.0
	暗い室内	2,535,138	2,602,824	97.4
青	明るい室内	2,638,322	2,789,956	94.6
	暗い室内	2,646,177	2,746,142	96.4
黄	明るい室内	2,629,105	2,688,218	97.8
	暗い室内	2,559,267	2,713,782	94.3

##### 4.3 実壁面での視認性評価実験

**4.3.1 対象壁面** 実験は大林組技術研究所内の時間帯によって異なる日射状況となるコンクリート壁面にて実施した。4.2の実験結果から、赤色の有機系下地調整塗材が最も視認性に優れており、採用した際の効果が大きい。そこで、目違い段差部に灰色、赤色の2種類の有機系下地調整塗材を厚さ1mm程度で塗り付けた。

**4.3.2 実験方法** 灰色と赤色の壁面の視認性を比較するため、日射なしの時間帯に各壁面を一般的なカメラで撮影した。また、カメラ撮影と本記録手法の記録結果の視認性を比較するため、日射ありの時間帯に赤色の壁面のカメラ撮影と本記録手法で記録した。4.2と同様の評価方法で、下地塗布領域の判別精度を算出した(Fig. 6)。

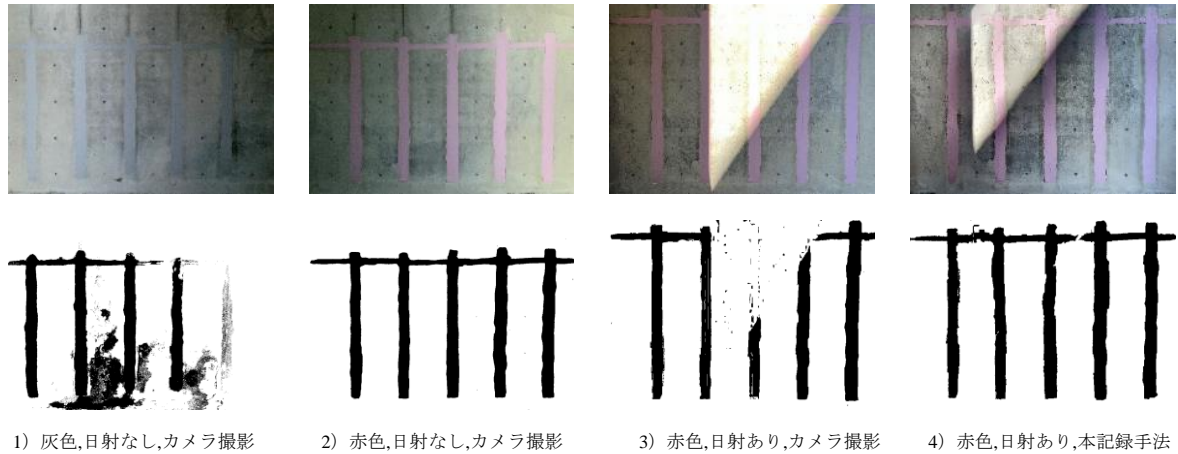


Fig. 6 実壁面での実験対象 (上：対象画像データ，下：画像処理による下地塗布領域の抽出結果)

Experimental Target of the Actual Wall Surface

4.3.3 実験結果 実験結果をTable 4に示す。灰色と赤色の壁面の比較では、灰色の壁面の判別精度が54.7%であり、平板試験体と比べて著しく低下した。下地補修を行っていないコンクリート下地面を灰色の有機系下地調整塗材であると判別した範囲が増加した(Fig. 6)。その理由として、実壁面では平板試験体よりもコンクリートの色ムラや明るさのばらつきが大きいためと考えられる。一方、赤色の壁面では、平板試験体と同様に96.1%と高い判別精度を維持しており、色ムラや明るさのばらつきが大きい実際の壁面においても高い判別精度を得た。

一般的なカメラ撮影と本記録手法の比較では、カメラ撮影の判別精度が75.2%、本記録手法の判別精度は91.6%となり、本記録手法の方が良好な判別精度となった。その理由として、LiDAR付き携帯端末では複数の視点から色情報を取得するため、色ムラや明るさのばらつきを抑えられるためであると考えられる。

実験結果から、有彩色の有機系下地調整塗材を利用することで、欠損データを補うための再計測・再合成作業や画像編集ソフト等での修正作業が削減できると推察した。

## 5. まとめ

本論文では、LiDAR付き携帯端末を用いた下地補修記録の作成手法を開発し、施工現場での検証実験の結果をまとめた。また、従来の灰色および有彩色に着色した下地補修調整塗材の視認性確認実験の結果をまとめた。その結果、得られた知見を以下に示す。

- 1) 開発した記録手法では、落下防止用ネットや外部足場のブレースなどの障害物の影響を受けずに壁面のみを抽出して、壁面全体の記録が得られた。
- 2) 本記録手法で得られた下地補修記録内の10箇所計測した寸法は、実測値との誤差が平均で1.50%であった。
- 3) 有機系下地調整塗材を有彩色に着色することで、

Table 4 実壁面での実験結果  
Experimental Results on the Actual Wall Surface

色	撮影環境	重複範囲の画素数	包含範囲の画素数	判別精度 (%)
灰	日射なし カメラ撮影	104,824	191,533	54.7
	日射あり カメラ撮影	144,846	150,775	96.1
赤	日射あり カメラ撮影	139,475	185,524	75.2
	日射あり 本記録手法	172,613	188,385	91.6

壁面の色ムラや照度等の環境条件に関わらず、下地塗布領域の判別精度の向上が確認できた。

- 4) 有彩色の有機系下地調整塗材を利用することで照度変化の影響を受けにくくなり、再計測や修正作業の削減が期待できる。

本記録手法は、従来の手書き手法と比べて省力化が見込める。今後、本記録手法の運用を確立し、調査会社と連携して、現場適用を進めていく予定である。

## 参考文献

- 1) “建築物の定期調査報告における調査及び定期点検における点検の項目、方法及び結果の判定基準並びに調査結果表を定める件”，国土交通省，2008.3.10，<https://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/201703/00006549.pdf>，(参照 2022-09-01)
- 2) 住宅局建築指導課，“建築物の定期調査報告における外壁の外装仕上げ材等の調査方法について(技術的助言)”，国土交通省，2018.5.23，<https://kkak.jp/files/libs/2514/20180606171946456.pdf>，(参照 2022-09-01)
- 3) “定期調査報告における調査方法の技術的助言通知について”，全国タイル工業組合，2018.05.23，<https://www.tile-net.com/2018.05.23.html>，(参照 2022-09-01)