

画像解析による屋上シート防水の劣化度評価に関する基礎的研究

正会員	○白井 啓一朗*	同	伊地知 雅博**	同	加瀬 史朗**	同	吉田 圭一**
		同	八幡 邦哉**	同	杉村 達朗**	会員外	村瀬 知彦***
屋上防水 劣化度評価	画像解析 定量評価	全天球カメラ 目視点検					

1. はじめに

屋根防水の劣化による漏水事象の未然防止に向け、定期点検および修繕工事を継続的に実施しているが、点検は目視・触診で確認する必要がある、労力と時間を要している。また、劣化状況の定量把握が難しいことから、修繕工事の優先順位付けにも課題がある。このことから、本研究では鉄道施設でも採用実績が多いシート防水を対象とし、検査の省力化かつ定量的な検査手法を検討することを目的とする。

2. 方法

検査の省力化、定量化を両立した検査手法として、既往研究や先行特許の存在から画像解析評価が有用である。本研究での画像解析は既往研究¹⁾にて駅のホームやコンコースの建物部材変状の検知に有効とされた外観製品検査用 AI gLupe²⁾を使用した。本ソフトウェアは、最小1枚の教師データから解析モデルを構築できる点が特徴であることから採用した。

入力画像には、既往研究¹⁾と同様に全天球カメラでの撮影画像を使用した。全天球カメラは、屋上端部に近づく必要がなく広範囲を安全かつ効率的に撮影でき、携行性にも優れていることから採用した。また、実際の検査時での撮影を想定し、点検対象が床面であること、および屋上全面を巡回しながら撮影する必要性から、カメラに一脚を取り付け、レンズを床面と平行に保持し、8K・10fps の動画を撮影した。撮影後に動画から変状が写っている箇所の静止画を切り出して解析に用いた。

さらに劣化度の定量評価にあたっては、既往研究³⁾が示す屋上防水の劣化診断手法を参考に、シート防水に関する内容を整理した(表1)。

3. 対象と検証内容

今回は基礎研究として、屋根占有面積の大きい平場部を対象とし、検証建物は表1に示す4つの調査項目「亀裂(破断)」、「シート材はく離」、「保護仕上げ層の劣化」、「ふくれ・浮き」に該当する変状が確認された建物とした。現地調査を実施し、解析に使用する画像を取得した上で、以下の2つの検証を行った。

- (1) 画像解析を用いた変状の検出
- (2) 画像解析を用いた定量的な劣化度評価

表 1 シート防水平場部の劣化度評価手法

調査項目	劣化度		
	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
亀裂(破断)	防水層の破断	—	外観上の異常を認めず
シート材はく離	50%以上	20~50%	20%未満
保護仕上げ層劣化	保護仕上げ層の消失	保護仕上げ層の減耗および白亜化	保護仕上げ層の変退色
ふくれ・浮き	面積比30%以上	面積比10~30%	面積比10%未満

4. 画像解析を用いた変状の検出

4.1. 変状検出の有無と精度

4つの調査項目について、教師データ数、評価データ画像に映っている実際の変状数(GT)、検出された正しい検出数(TP)、誤検出数(FP)、見逃し数(FN)を整理し、そこから算出した適合率(Precision)、再現率(Recall)、およびモデル精度を示すF値を表2にまとめた。

表 2 画像解析の検出結果

調査項目	教師データ数[枚]	評価画像数[枚]	GT[箇所]	TP[箇所]	FP[箇所]	FN[箇所]	Precision[%]	Recall[%]	F値[%]
亀裂(破断)	11	6	12	11	5	1	68.8	91.7	78.6
シート材はく離	9	4	5	5	8	0	38.5	100	55.6
保護仕上げ層劣化	9	11	47	28	6	19	82.4	59.6	69.1
別アングル	9	11	47	40	6	7	87.0	85.1	86.0
ふくれ・浮き	5	6	279	217	86	62	71.6	77.8	74.6
別アングル	5	6	279	250	86	29	74.4	89.6	81.3

4.2. 検出の結果と考察

- (1) 「亀裂(破断)」については一部見逃しがあったものの、雨漏りに直結する変状を高い再現率(91.7%)で検出することができた。見逃した箇所を観察したところ、教師データとして学習させた亀裂幅(約4mm以上)よりも狭い亀裂(約3.9mm)や直線的で幅が狭い形状の亀裂など、教師データの特徴と異なるパターンだったことが要因であると考えられた(図1)(図2)。
- (2) 「シート材はく離」では、実在するはく離はすべて検出できたものの、誤検出が多く精度が低下した(図3)。現地で誤検出箇所を確認したところ、はく離箇所の周辺まで広く検出される傾向が見られ、はく離部と

周辺部との外観差が小さく、特徴が捉えにくいことが要因として考えられた。このため、教師データ作成時には、対象範囲をより限定して指示する必要があると考える。

- (3) 「ふくれ・浮き」では、単一画像での再現率（77.8%）は低かった。しかし、解析した画像（図 4）を確認すると、単一の画像では検出できなかった変状箇所であっても、動画の別の秒数で切り出した異なるアングルの画像では検出できる場合があることが分かった。別のアングルの検出結果を含めると、再現率（89.6%）が向上した（表 2）。
- (4) 「保護仕上げ層の劣化」についても同様に、単一画像で見逃した変状が別のアングルの画像では検出されるケースが確認され、複数アングルを組み合わせることで再現率（85.1%）が向上した（表 2）。

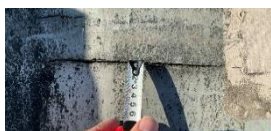


図 1 見逃した亀裂



図 2 学習させた亀裂



図 3 シート材はく離の画像解析結果

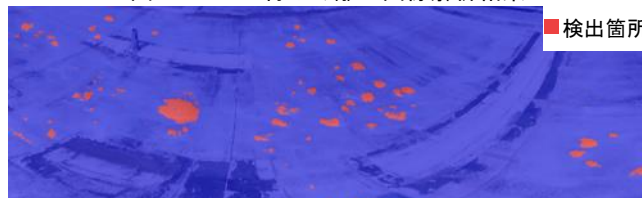


図 4 ふくれ・浮きの画像解析結果

5. 画像解析を用いた定量的な劣化度評価

5.1. 劣化度評価の方法

4 つの調査項目に対し、4. で検出した変状情報に基づき、既往研究³⁾の基準に照らして、画像解析を用いた定量的な劣化度評価が可能かを確認した。

「亀裂（破断）」、「保護仕上げ層の劣化」については 4. の結果をそのまま評価に用いた。一方、「シート材はく離」、「ふくれ・浮き」については、画像上のピクセル数から寸法（幅・面積）を推定する手法を用いた。寸法推定については、動画撮影開始時に屋上内へスケールを設置し、1 ピクセル当たりの実長スケールを算出した。さらに、全天球カメラ特有の歪みを考慮するため、画像全体を 10×10 のセルに分割し、セルごとに設定した歪み補正係

数を、検出された変状位置に応じて乗算した。検出領域が複数セルに跨る場合は、各セル内のピクセル数に応じて重み付けして合算し、「ピクセル数×実長スケール×歪み補正係数」として算出している。なお、推定値の算出は、解析で検知された領域と実際の大きさが近いものに対してのみ実施した。

5.2. 寸法の推定結果

- (1) 「亀裂（破断）」については 4. の検出有無と箇所数により評価が可能であった。
- (2) 「シート材はく離」の推定値と実測値を比較したところ、推定値の平均誤差は 2 倍以上となった。（表 3）。このため、実測による劣化度評価と一致しない可能性がある。
- (3) 「保護仕上げ層の劣化」については変状自体の検出は可能であったものの、既往研究³⁾の基準が箇所ごとの劣化状態の分類であり、屋上全体に対する定量評価には至らなかった。
- (4) 「ふくれ・浮き」においても推定値と実測値における誤差があった（表 4）。こちらも同様に、実測による劣化度評価と一致しない可能性がある。

表 3 シート材はく離の比較

推定値 (mm)	実測値 (mm)	誤差 (%)
15. 5176	7.1	218. 6
18. 5878	6. 9	269. 4

表 4 ふくれ・浮きの比較

推定値 (mm)	実測値 (mm)	誤差 (%)
6117. 118	37336. 62	16. 4
6117. 118	36252. 83	16. 9
181558. 78	35987. 3	504. 5

6. まとめ

検証の結果から、外観製品検査用 AI の適用可能性を確認した。検出において、「亀裂（破断）」については一部の見逃しが教師データの特徴づけに起因していると考えられる。そのため、多様な形状・幅を含む教師データを追加することで改善が見込まれる。「シート材はく離」について検出はできるが、過検出が多い。教師データ作成時に検出範囲をより限定することで精度の改善が期待できる。また、「保護仕上げ層の劣化」、「ふくれ・浮き」については解析精度を高めるために複数アングルの画像を用いることが有効であると考えられる。劣化度評価については「亀裂（破断）」のみ可能であった。他項目は現行手法では定量評価が困難なため、評価指標および寸法推定方法の見直しが必要である。寸法推定には撮影高さの固定や事前の画像歪み補正により改善が期待できる。

【参考文献】

- DX による工事監理・維持管理手法の変革及び駅の付加価値向上に関する研究 その 5 AI 画像検知 (2D) による建築物変状自動検知システムの手法構築・検知精度向上に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (情報システム技術), 2025 年 7 月
- 株式会社システム計画研究所: 製品検査, gLupe 公式サイト (<https://glupe.jp/ja/index.html>) (参照 2026-03-02)
- 古賀 純子・根本 かおり・濱崎 仁・鹿毛 忠継・本橋 健司・大久保 孝昭・田中 享二: 『建築物の長期使用に対応した外装・防水の品質確保ならびに維持保全手法の開発に関する研究』, 建築研究資料, No. 145, 独立行政法人 建築研究所, 2013 年 8 月, pp271-346

*JR 東日本ビルテック

**東日本旅客鉄道

***システム計画研究所

*JR East, Facility Management Company

**East Japan Railway Company

***Research Institute of Systems Planning, Inc.