

単一画像ならびにパノラマ合成画像を用いた 画像解析による打継面処理判定に関する検証

野間康隆^{*1}・和辻総一郎^{*2}・鶴田亮介^{*3}

ダム等のコンクリートを打ち継ぐ際に必要となるグリーンカットによる打継面の処理の判定に関して、骨材抽出、打継面処理判定が可能な画像解析手法を確立した。この手法では、2種類の平滑化画像ならびにこれらの差分画像を用いて、骨材分布を取得し、骨材と判定された領域の面積割合から処理の程度を判別する。技術研究所の屋外実験場ならびに現場で打継面を撮影した画像を用いた検討から良好に骨材抽出ならびに打継面処理の判定を行うことができた。さらには、動画から広範囲領域を画像化したパノラマ合成画像を用いた検討においても、良好に処理の判定を行うことができることを確認した。

キーワード：画像解析、打継面処理、パノラマ合成画像、グリーンカット、コンクリートダム

1. はじめに

コンクリートダム等のコンクリート構造物の施工においてコンクリートを打ち継ぐ際、コンクリートの力学・耐久性能を低下させないために打継面の処理を適切に実施することが重要である。打継面は、コンクリート表面のレイタンスを取り除くためにグリーンカットを行う。ここで、レイタンスとは、フレッシュコンクリート中のセメントの微粒子や骨材の微粒分が、ブリーディング水とともにコンクリートの上面に上昇して堆積した、多孔質で脆弱な薄層、グリーンカットとは、レイタンス等が残る打設されたコンクリートの上面に対し、十分固まっていない段階で、圧力水やブラシを用いた機械で上面を薄く削り取る作業である。ただし、過度なグリーンカット処理は、生産性の低下と余分な廃棄物の発生を生じさせるため、適正に処理を行うことが必要である。

図-1に示すようにグリーンカット前後の打継面には骨材露出面が形成されるか否かの違いが生じる。図-1(a)に示すように打継面の処理では、コンクリート表面の大部分がレイタンスで構成されており、ほぼ、骨材は見られない。一方、図-1(b)に示すように適切に処理された場合のコンクリート表面は、レイタンスが除去され、モルタル部と粒径が5mm程度の骨材が適度に露出し分布する。

従来、技術者が骨材の露出状況を見て打継面処理の良否を判定していた。このため、判定には熟練技術者の技量が必要となる。また、その場合でも判定者によって結果が異なることや判定に時間を要する等の問題点があった。近年、画像解析やレーザースキャナを活用した方法、AIなどを用いた判定手法など^{1), 2)}、客観的な判定方法が開発されている。



(a) 処理前の打設面



(b) 適切に処理された打継面

図-1 打継面処理状況

本研究においては現場適用性、経済性、汎用性、操作性などを考慮し、汎用のカメラを利用した画像情報による判定手法を検討した。従来は骨材の露出状況から、打継面の良否を判定していることから、判定は打継面に露出する骨材の割合に着目した。特に、本研究では、処理後の水が浮いた状態でも適用できる手法ならび広範囲の判定ができる手法の確立を目指した。本稿では、まず、この手法の概要や画像解析に必要なパラメータ、それらの設定方法について述べる。次に、打継面の乾湿状態や打継面処理の程度を変化させた技術研究所の屋外実験場での撮影画像による検証を行う。ここでは、既報で報告した骨材抽出³⁾に加え、処理の良否の判定結果について

*1 土木研究部 *2 技術第三部 *3 土木設計部

も示す。

また、実際の現場で打継面処理前後に取得した画像で検証を行い、熟練技術者の判定と本手法による判定を比較して考察を行う。さらには、本手法の広範囲な画像への適用性を検討するため、打継面を有するコンクリートヤードで動画撮影することにより作成したパノラマ合成画像を解析することで、打継面処理の良否の判定を行い、判定作業の効率化についても検討した⁴⁾。なお、この画像は、単一画像よりも画質が劣っている。

2. 画像解析概要

2.1 手法論

画像解析の概要を図-2に示す。

(1) 画像取得

汎用のデジタルカメラを使用して、打継面の撮影を行う。

(2) 平滑化処理

撮影した元画像を用いてフィルタサイズの異なる2種類のメディアンフィルタ⁵⁾平滑化画像を取得する。ここで、メディアンフィルタ平滑化処理とは、画像内の対象領域の画素値を比較し、その領域内での中央値を変換後画素とする処理を実施して画像を生成する処理である。メディアンフィルタによる処理では、画像中のエッジを残しつつノイズを除去できるという利点がある。このメディアンフィルタについては、2種類のサイズについて検討した。1枚はフィルタサイズを大きくして骨材部がぼけるようにした画像、もう1枚はフィルタサイズを小さくして骨材が強調されるようにした画像を取得する。

(3) 差分画像取得

2種類の平滑化画像の差分画像を作成し、骨材を強調した画像の骨材部を検出できるようにして、この画像間の輝度値の差分に閾値を設け、閾値以上の部分を骨材部分として抽出する。

(4) 打継面処理判定

この抽出した骨材部の画素的な面積割合から、処理不十分となる面積割合の下限閾値、過処理となる面積割合の上限閾値を設定して、処理の程度を処理不十分、処理適正、過処理と判定する。

本手法に関しては、特許出願中（特願 2021-174430）である。この処理は数秒で処理可能である。

画像解析で使用する解析パラメータを表-1に示す。閾値の設定方法について述べる。元画像から打継面処理の判定を行うまでに必要なパラメータは、全部で5項目である。

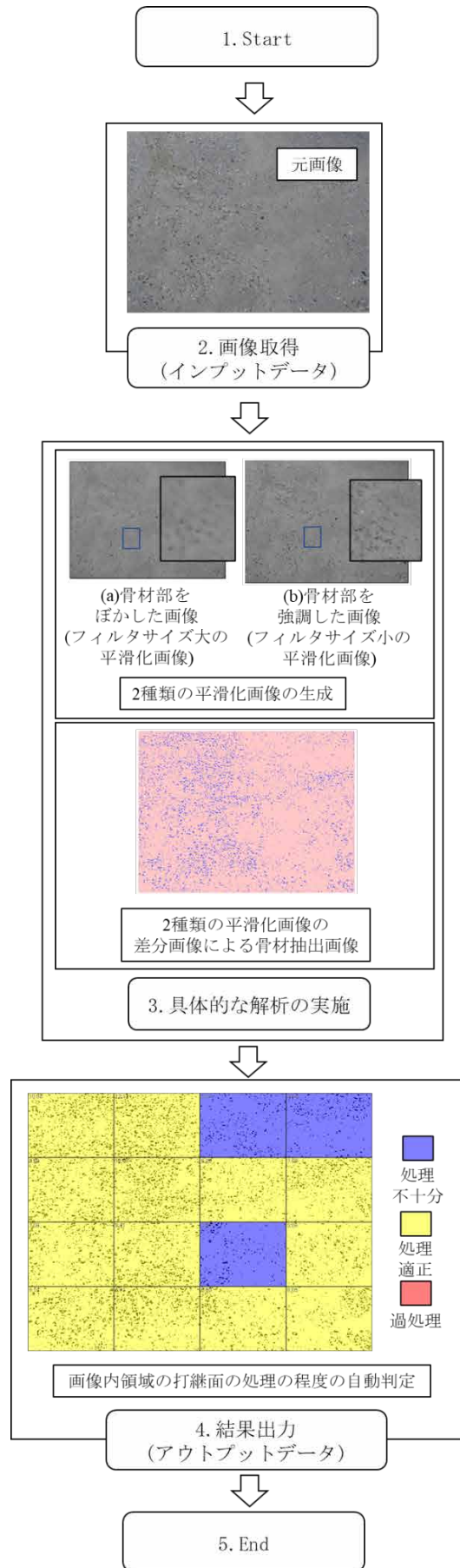


図-2 画像解析概要

表-1 画像解析で使用するパラメーター一覧

パラメータ	単位
① 骨材不鮮明化フィルタサイズ	画素
② 骨材強調フィルタサイズ	画素
③ 差分画像生成用輝度閾値	—
④ 処理不十分識別用面積比率	%
⑤ 過処理識別用面積比率	%

2.2 パラメータ詳細

(1) ①と②のパラメータ

①と②は、2種類の平滑化画像を取得するために必要なフィルタのサイズで、このサイズは、抽出したい骨材の寸法や使用する画像の分解能から定める（骨材部をばかすためのフィルタサイズ：抽出したい最大骨材径を分解能で除した数値、骨材部を強調するためのフィルタサイズ：抽出したい最小骨材径の1/2～1/3倍の値を分解能で除した数値）。

(2) ③のパラメータ

2つの平滑化画像の差分を取る際に使用する輝度値の差分の閾値である。これは、現地で撮影した画像の事前解析によりあらかじめ設定する。

(3) ④、⑤のパラメータ

処理不十分、過処理と判定する際の骨材の割合の下限上限閾値を用いる。

前述の3つのパラメータに関しては、現状では、画像と骨材抽出状況、判定状況を目視で確認し、これまでに事例からの範囲で経験的に①は実寸法で10～20mmになるように画素数を算出したもの、②は実寸法で3mm程度になるように画素数を算出したもの、③は10～15に設定している。実現場への適用の際には、現場で適したパラメータを算出するキャリブレーションの作業を事前に実施しながら、撮影面の照度状況、抽出したい骨材径、骨材分布、分解能等により変化するパラメータを設定していく必要があると考えられる。

3. 単一画像による検証

3.1 屋外実験場における検証

技術研究所の屋外実験場に7.6×2.2×0.15mのコンクリート板（最大骨材寸法20mm、粗骨材絶対容積300ℓ程度）を施工し、このコンクリート板上面に高圧水を用いて模擬的に打継面処理を行った。この際、熟練技術者の判断で、処理が不十分な部分、良好な部分および過処理な部分を、範囲を分けて意図的に作製し、これをデジタル一眼レフカメラ(Canon EOS 5D Mark IV)で撮影した。撮影は、曲面レンズを使用することによって画像に生じるひずみを補正するモードで行った。なお、撮影は、打

表-2 撮影条件

(単一画像による検証, 屋外実験場における検証)

項目	値
撮影距離	約50cm
撮影範囲	約40×30cm
画像サイズ	1280×853画素
分解能	約0.3mm/画素

表-3 パラメータ (単一画像による検証, 屋外実験場における検証, 表面が乾燥状態の場合)

パラメータ	単位	数値
① 骨材不鮮明化フィルタサイズ	画素	61
② 骨材強調フィルタサイズ	画素	11
③ 差分画像生成用輝度閾値	—	11
④ 処理不十分識別用面積比率	%	4
⑤ 過処理識別用面積比率	%	18

継面が乾燥の状態と、水が浮いた状態で行った。撮影条件を表-2に示す。解析に用いた画像は専用のソフト(インターセクション製縮小専用)で圧縮を行った(処理速度を抑えるために実施)。1枚の画像のサイズは、ソフトにより1280×853画素に圧縮される。判定は、画像を縦横2分割した4つの範囲に分けてそれぞれの領域で行った。

撮影条件に関しては、特殊な照明等用いず、雨天時以外の天候での日射条件下で、一般的な設定での一般的なデジタルカメラで撮影をおこなったことである。

(1) 表面が乾燥状態の場合

使用したパラメータを表-3に、元画像ならびに解析の結果を図-3に示す。処理不十分の場合には、目視では骨材が確認できないのに対して、画像解析では一部に骨材と判定している箇所がある。これは元画像に見られる模様を誤抽出していると思われる。こうした部分はあるものの、どの画像においても処理結果は骨材分布の傾向を概ね捉えていることが確認できる。また、処理不十分、適正処理、過処理の順に抽出した骨材分布が増加していることが画像解析の骨材抽出結果から確認できる。判定の結果においても、処理不十分、適正処理、過処理と良好に判定されているのが確認できる。

(2) 表面に水が浮いた状態の場合

このケースにおいて使用したパラメータを表-4に、元画像ならびに解析の結果を図-4に示す。表面が乾燥状態の際と同様に、処理不十分の場合には、表面の模様を誤抽出している箇所もあるが、どの画像においても処理結果は骨材分布の傾向を概ね捉えていることが確認できる。打継面の適正処理の場合には、撮影面に水たまりがあったが、骨材分布の傾向を良好に取得できた。また、処理不十分、適正処理、過処理の順に抽出した骨材分布が増加していることが確認できる。しかしながら、表面

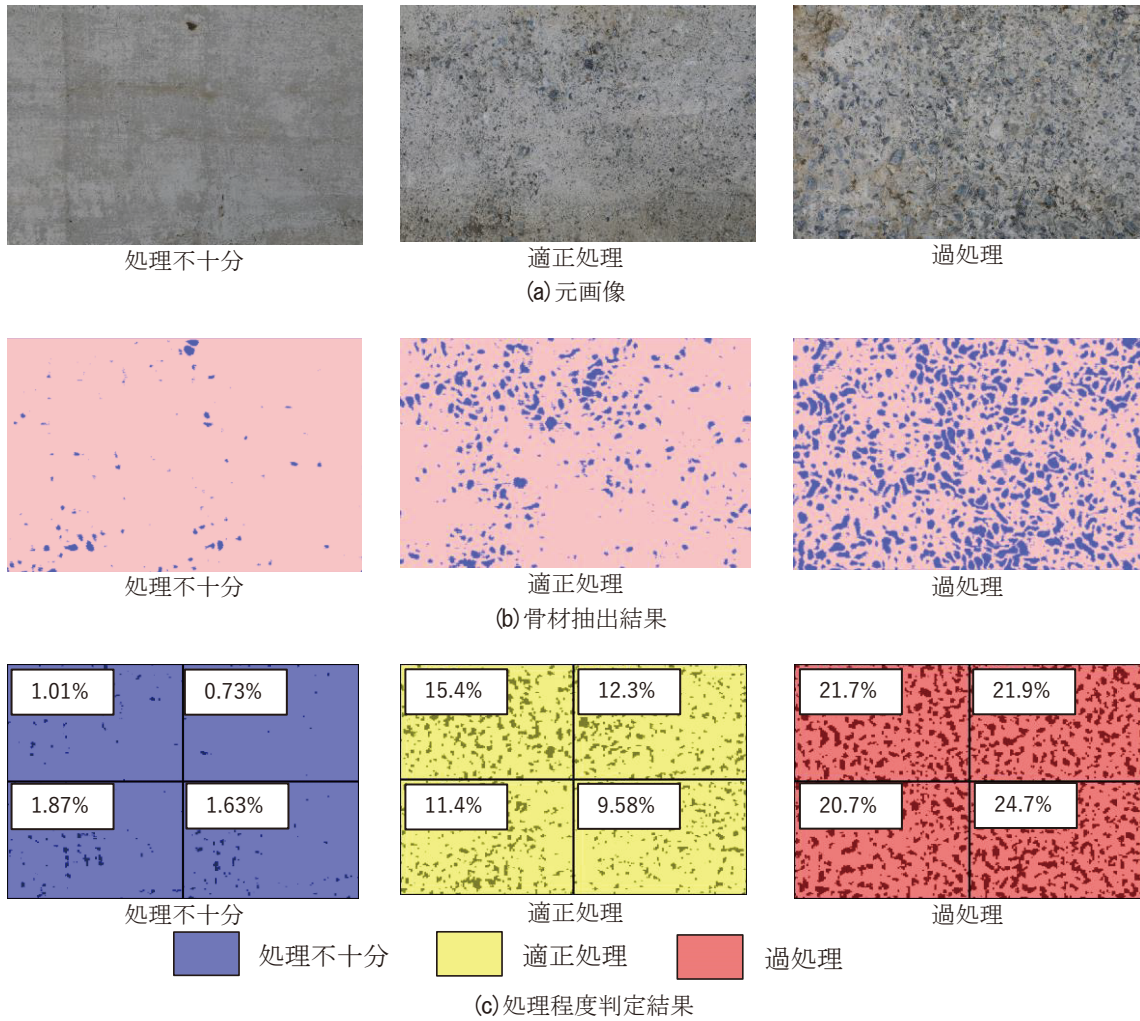


図-3 画像解析結果（単一画像による検証，実験場での検証，表面が乾燥状態の場合）

が乾燥状態の場合に比べ、適正な結果を得るためには輝度値の差分の閾値を大きくする必要があった。すなわち、この値は、表面の乾湿状態や表面の照度によって調整する必要があると考えられる。

このような現象への対応方法としては、パラメータ値のキャリブレーションの他に、コンクリート表面の乾湿の統一、撮影時の照度の管理等も考えられる。図-4よりすべてのケースでも、処理不十分、適正処理、過処理と良好に判定されているのが確認できる。これらの結果から、パラメータを適切に設定することで、打継面表面の乾湿状態に関係なく骨材抽出、ならびに打継面状態の判定ができる可能性を示すことができた。

3.2 現場における検証

打継面のあるコンクリートを施工している実現場の打継面を撮影した画像で解析を実施した（最大骨材寸法80mm）。処理を行う前のコンクリート表面の画像と熟練技術者の判断で適正処理と判定された打継面の画像を撮影した。処理前後のコンクリート表面には、水が浮いた

表-4 パラメータ（単一画像による検証，屋外実験場における検証，表面に水が浮いた状態の場合）

パラメータ	単位	数値
① 骨材不鮮明化フィルタサイズ	画素	61
② 骨材強調フィルタサイズ	画素	11
③ 差分画像生成用輝度閾値	—	15
④ 処理不十分識別用面積比率	%	4
⑤ 過処理識別用面積比率	%	18

状態となっており、このような状態での骨材抽出ならびに処理の良否の判定に関して検討を行った。画像はデジタルコンパクトカメラ（Canon SX720 HS）で撮影した。撮影条件を表-5に示す。使用したパラメータを表-6に、元画像ならびに解析の結果を図-5に示す。これらのパラメータは、骨材の抽出状況、判定状況を確認しながら試行錯誤的に設定した。表-6のパラメータが、表-3,4と異なるのは、カメラの画角、画像の分解能、撮影時の明るさ、骨材径、および骨材種類の影響である。現場で撮影した画像を用いた検討においても、画像上の骨材分布の傾向を評価できた。また、このような画像を

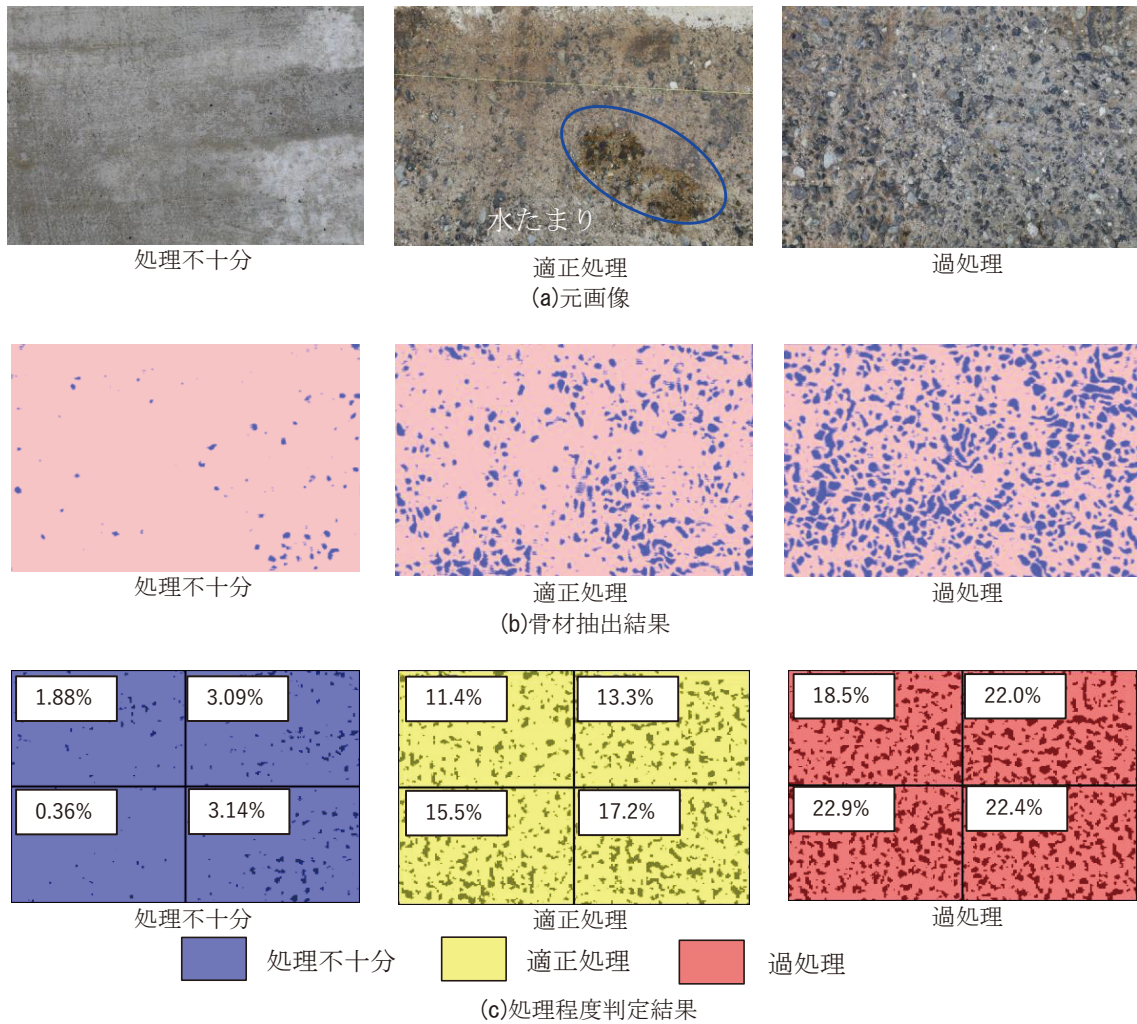


図-4 画像解析結果（単一画像による検証，実験場での検証，表面に水が浮いた状態の場合）

用いた判定においても，処理不十分と適正処理を良好に評価することができた。また，コンパクトカメラの画像を用いることで容易に解析できることを確認することができた。なお，今回開発したアプリでは，モルタル部より暗い骨材を対象にしており，白色系のモルタルより明るい骨材を認識していない。このため，今後は，石灰岩系の骨材など，モルタルよりも明るい骨材も認識できるように手法とアプリの改良を行っていきたい。

4. パノラマ合成画像による検証

4.1 動画撮影概要

図-6に実験で使用した幅3.5m，長さ9mのコンクリートヤード(最大骨材寸法20mm，粗骨材絶対容積300ℓ程度)と打継面処理装置搭載車両(長さ6.2m×高さ1.7m)と撮影機器配置状況を示す。

撮影機器(カメラ:Panasonic DC-BGH1，動画規格:4K)は，車両に搭載し，打継面処理(グリーンカットと同時に吸引清掃)と動画撮影を同じ車両で行えるように

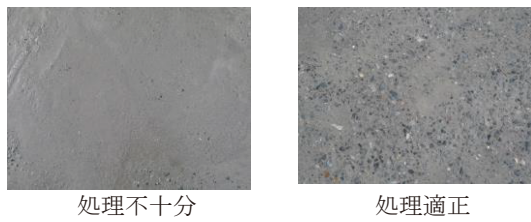
表-5 撮影条件
(単一画像による検証，現場における検証)

項目	値
撮影距離	約50cm
撮影範囲	約50×40cm
画像サイズ	5184×3888画素
分解能	約0.1mm/画素

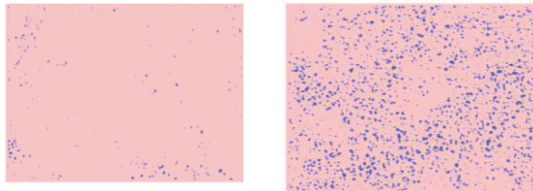
表-6 パラメータ
(単一画像による検証，現場における検証)

パラメータ	単位	数値
① 骨材不鮮明化フィルタサイズ	画素	101
② 骨材強調フィルタサイズ	画素	31
③ 差分画像生成用輝度閾値	—	10
④ 処理不十分識別用面積比率	%	4
⑤ 過処理識別用面積比率	%	18

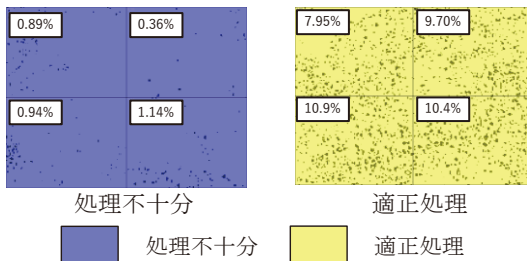
した。このヤードの長辺方向に車両を走行させ，打継面処理を実施した。目視で処理の状況を確認しつつ，複数回走行することにより処理前，処理良好，過処理の3段階の処理状況の打継面を作製した。各状況の打継面の撮



(a) 元画像



(b) 骨材抽出結果



(c) 処理程度判定結果

図-5 画像解析結果
(単一画像による検証, 現場における検証)

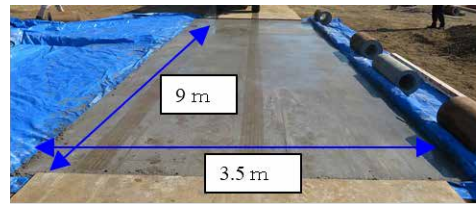
影は2.5mの高さにカメラを鉛直から30°の角度で設置し、10m/minで走行しながら行った(このときの画角約1.8m×約1.2mであった)。

4.2 判定結果

表-7に使用したパラメータを、図-7に、動画から合成したパノラマ合成画像(18000×3500 pixels)と判定結果を示す。ここで、フィルタサイズが他の検討より小さいのは、パノラマ合成画像の分解能が0.5mm/画素と低いためである。

本検討では、映像や複数枚の写真からパノラマ合成画像を作成することができるソフトウェアPTGui(New House Internet Service BV社製)を使用した。判定結果では、骨材の面積比率が、0~5%が処理不十分、5~17%が適正処理、17%以上が過処理と判定することとした。

図-7において、右下の領域が処理良好と判定されているのは、車両の通過位置の関係で、過処理になる処理を実施できない領域が生じてしまい、実際のコンクリート表面が処理良好のままとなってしまうためである。この部分は、熟練技術者の判定でも適正処理となっており、開発手法による判定と相違はなかった。打設面を手作業で撮影し複数枚の写真から評価を行う場合と比べて、評価にかかる時間を約70~85%短縮することができた。



(a) コンクリートヤード状況



(b) 打継面処理装置搭載車両と撮影機器配置状況

図-6 実験状況

表-7 パラメータ (パノラマ合成画像による検証)

パラメータ	単位	数値
① 骨材不鮮明化フィルタサイズ	画素	11
② 骨材強調フィルタサイズ	画素	5
③ 差分画像生成用輝度閾値	—	11
④ 処理不十分識別用面積比率	%	5
⑤ 過処理識別用面積比率	%	17

5. まとめ

本検討では、コンクリートの打継面処理評価を行うための骨材を簡易抽出し、打継面処理の程度を自動判別する画像解析方法を提案した。同手法に対し屋外実験場ならびに現場で取得した画像を用いて、その適用性を検証した。

その結果、提案した画像解析手法によって表面に露出した粒径が5mm程度の骨材分布の傾向を把握することができ、処理の良否を判定できることを示した。

ただし、打継面の乾湿状態、明るさによってパラメータを調整する必要があるため、現場で使用する際は、パラメータを設定するための検討を事前に実施しなければならないと考えられる。

なお、コンクリート表面の乾湿状態の統一や照度管理の自動化を最適化することにより、パラメータ調節の手間を省ける可能性もある。また、撮影した動画から打継

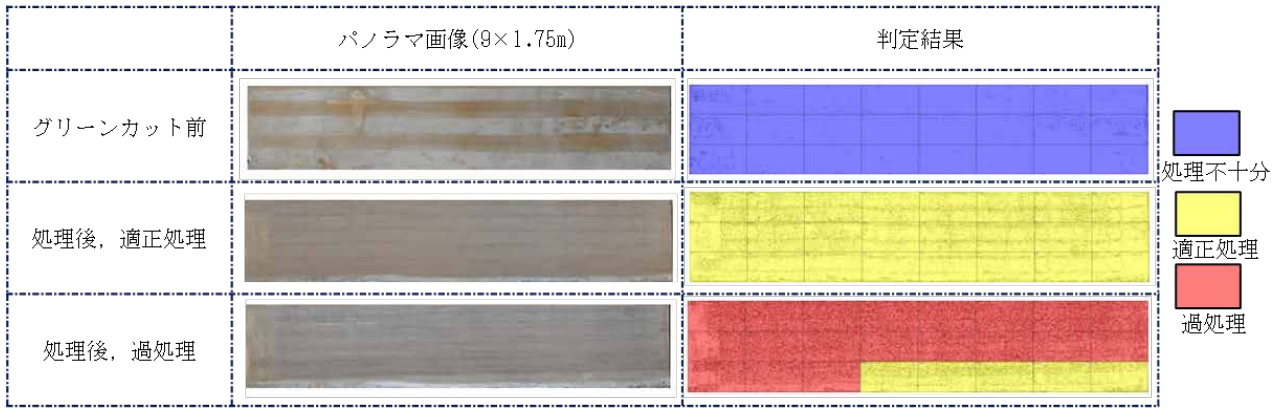


図-7 パノラマ合成画像と判定結果

面処理評価を行う際のパノラマ合成画像を取得することが可能であり、このパノラマ合成画像により打継面処理の判定を良好に行うことができた。高精細な単一画像に加え、広範囲領域をより低画質なパノラマ合成画像を用いた場合でも打継面処理判定を実施できることを確認できた。また、パノラマ合成画像を使用することで、作業時間を従来方法に比較して最大 85% 短縮し、大幅な効率化を達成できた。一方、パラメータの設定手法の確立が今後の課題である。

- 3) 野間康隆ほか：画像解析を用いたダムの打継面処理評価に関する検討，土木学会第 76 回年次学術講演会概要集，Vol. 76，VI -465，2021.
- 4) 野間康隆ほか：パノラマ画像を用いた打継面処理判定の効率化に関する検討，土木学会第 77 回年次学術講演会概要集，Vol. 77，VI-228，2022.
- 5) 奥富正敏ほか：デジタル画像処理，財団法人 画像情報教育振興協会（CG-ARTS 協会），pp. 113，2004.

参 考 文 献

- 1) 佐野勇紀ほか：画像による打継面処理状態の簡易評価方法の改良，土木学会第 72 回年次学術講演会概要集，Vol. 72，VI -864，2017.
- 2) 今井道男ほか：画像によるコンクリート打継面の処理評価への AI 適用，2019 年度人工知能学会全国大会概要集，Vol. 33，pp. 1-2，2019.

Investigation of joint disposal judgement by means of image analysis by using single image and panorama composite image

Yasutaka NOMA, Soichiro WATSUJI and Ryosuke TSURUTA

In this study, the image analytical method to extract aggregate regions and gauge the extent of the joint disposal is established for the joint disposal judgement by the green cut for the joints of concrete such as in concrete dams. In this method, aggregate regions are extracted and the extent of disposal is judged by using area information judged as aggregates by using two kinds of smoothing images and the difference in images between them. Appropriate aggregate extractions and judgements were conducted by the examination using images taken for joints in the experimental field and the site by utilizing the developed image analysis method. Furthermore, good agreements were obtained in the investigation by using panorama composite images whose resolution is lower than that of single images.