

## 舗装版下で発生するポンピング現象における路盤粒子挙動自動追跡方法の検討

山口大学大学院 学生会員 ○三宅 佑典  
 山口大学大学院 学生会員 重廣 和輝  
 山口大学大学院 正会員 中島 伸一郎

## 1. はじめに

舗装の劣化現象の一つにポンピング現象がある。ポンピングは舗装版の目地部やひび割れから雨水が侵入し、その水が路盤や路床に含まれ飽和状態にあるとき、交通荷重によって舗装版がたわみ、路盤の細粒分が吹き出す現象である。ポンピングの過程における路盤粒子の動きを可視化することを目的として、蛍光塗料による染色砂粒子とブラックライトを用いた粒子追跡実験を実施した。

## 2. 実験装置

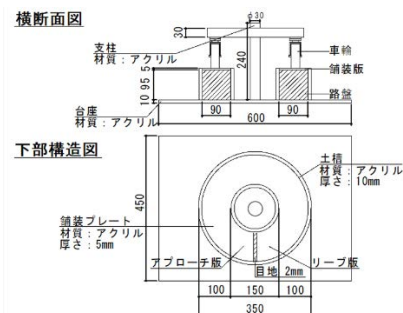
図-1 に示す車輪周回型のポンピング模型実験装置<sup>2)</sup>を使用する。本装置はリング形状の亚克力製土槽に路盤模擬材である珪砂 6 号を詰め、その上に舗装版を模した亚克力板を載せることで舗装構造を模擬した。舗装版には舗装目地を模擬したスリットを1か所設ける。載荷は図-1 に示すように車輪付きの回転盤を一定方向に周回させることで対面通行の道路の移動荷重を模擬する。車輪の進行方向に対して、目地手前の版をアプローチ版、目地奥の版をリーブ版と呼び分ける。

## 3. 路盤粒子挙動の追跡

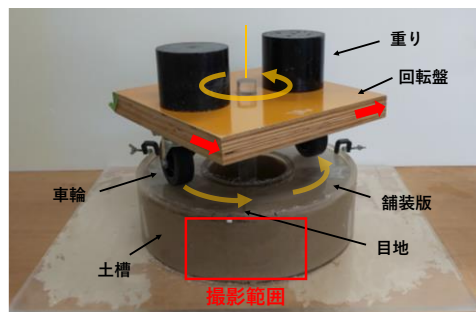
実験中の路盤粒子の挙動を観察するため図-1 (b) の赤枠で囲まれた範囲を 30 fps の動画に撮影した。その動画を 1/30 秒ごとの 1024×576 ピクセルのコマ送り画像へ変換し、画像解析ソフト Fiji を用いて粒子挙動の解析を行う。

## (1) 自動追跡

自動追跡は Fiji 内の追跡分析ツール Trackmate<sup>3)</sup>機能を用いた。32-bit の RGB カラーで表示された連続画像を 8-bit 画像へ変換し、追跡対象粒子のサイズや発光強度に対して閾値を設定することで輝点の検出を行った。図-2 に自動追跡結果を示す。図-2 (b) の解析後画像の一つを確認すると路盤粒子の検出が行われているように見えるが、路盤模擬材が珪砂 6 号のみであると粒子どうしの発光強度が同程度であり、連続的に同一粒子の挙動の追跡を行う場合、各粒子の判別が困難であり

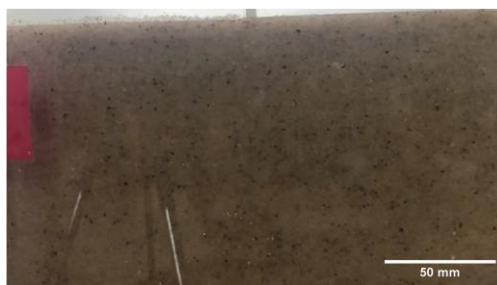


(a) 装置模式図

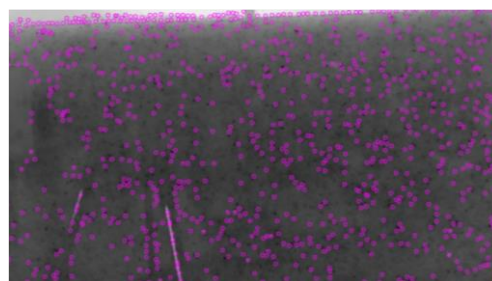


(b) 装置外観

図-1 車輪周回型ポンピング模型実験装置



(a) 解析前画像



(b) 解析後画像

図-2 自動追跡結果

キーワード 舗装 ポンピング 模型実験 目地 粒子追跡

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL 0836-85-9334

誤認識をしてしまうことがわかった。8-bit 画像は輝度情報のみを含んでおり、輝度に対して閾値を設定することで、閾値以上の粒子を輝点とみなし追跡を行うため、路盤模擬材内で発光強度の差が重要であると考えた。次節で対象粒子の検討を自動追跡の精度の評価を行う。

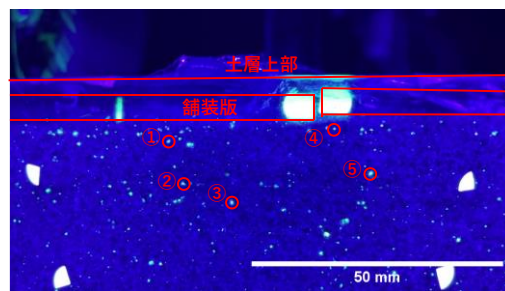
## (2) 粒子追跡対象の検討

蛍光塗料はブラックライトを当てることで、可視光に変換され発光するため輝度値が高くなる<sup>4)</sup>。少量の珪砂6号に合成樹脂蛍光スプレーを吹き付け、スプレーを吹き付けていない珪砂6号と混合し、これを路盤模擬材として土槽に詰める。そして、図-1(b)の赤枠箇所に対し、土槽側面からブラックライトを当てることで、蛍光スプレーが付着している粒子のみ発光強度が高くなり自動追跡が可能であると考えた。図-3(a)に解析前の画像を図-3(b)に解析後の画像を示す。図-3(b)に着目すると、蛍光スプレーが付着した粒子のみを輝点として認識していることが分かる。

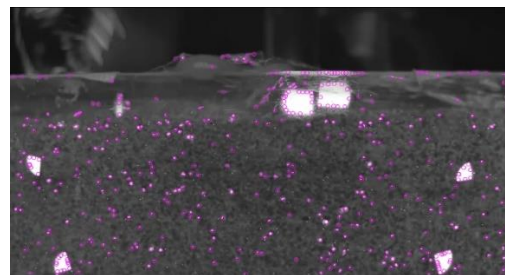
自動追跡の精度を比較するために、図-3(a)に示す5つの粒子について手動追跡の結果を真値としたときの自動追跡との相関係数を求め、①の粒子の結果を図-4に示した。他の粒子についての結果は表-1に示すとおりである。水平方向、鉛直方向の相関係数はいずれも1に近い値となり、精度が高く、自動追跡の手法、対象粒子として適当であることが分かった。しかし、図-3(b)に示す結果において、土槽上部のように対象粒子以外についても認識を行っている箇所が存在する。これは、ブラックライトが実験装置の素材であるアクリル板に反射したことによるものである。輝度の閾値設定を変えることで反射光の映り込みを抑える必要がある。

## 4. まとめ

本研究では、小型模型を用いたポンピング実験における、路盤粒子の挙動を観察するため蛍光スプレーとブラックライトを用いた追跡対象粒子について自動での粒子追跡方法を検討した。自動追跡による精度の検証を行うために、手動追跡の結果を真値としたときの自動追跡との相関係数を求めたところ 0.99 と非常に近い値をとり、追跡精度が高く対象粒子、追跡手法として適当であることが分かった。また、粒子間で輝度の差をつけることで、蛍光スプレーが付着した粒子のみ輝点として認識し追跡できることが分かった。



(a) 解析前画像



(b) 解析後画像

図-3 蛍光スプレーとブラックライトを用いた自動追跡

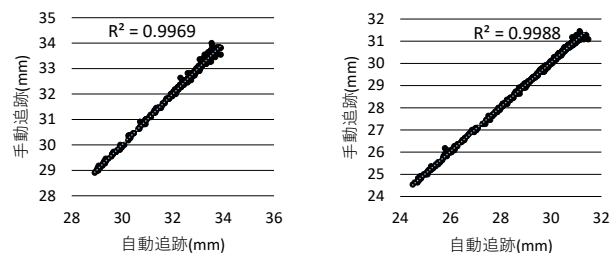


図-4 自動追跡と手動追跡による相関係数

表-1 対象粒子の相関係数

	水平方向	鉛直方向
粒子①	0.9969	0.9988
粒子②	0.9948	0.9980
粒子③	0.9950	0.9978
粒子④	0.9843	0.9998
粒子⑤	0.9922	0.9995
平均	0.9926	0.9988

## 参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所 土木研究所：コンクリート舗装の変状に関する技術資料，土木研究所資料集第 4266号，32p，2013.
- 2) 重廣和輝，中島伸一郎：舗装版下で発生するポンピング現象における基礎的小型模型実験，土木学会全国大会第 75 次学術講演会，V-423，2019.
- 3) Jean-Yves Tinevez et al ., : TrackMate: An open and extensible platform for single-particle tracking , Vol. 115, pp.80-90, 2017
- 4) 楠田啓，西山孝：蛍光塗料を用いた前処理による画像認識と解析，資源と素材，Vol. 112, pp.589-593,1996.