

路面切削工における安全性・生産性向上技術の研究

株NIPPO 総合技術部 生産開発センター 竹内 伸
株NIPPO 総合技術部 生産開発センター 相田 尚
株NIPPO 総合技術部 生産開発センター 丑久保 吾郎
株NIPPO 総合技術部 生産開発センター 其田 直樹

1. はじめに

舗装修繕工事において路面切削工は工程、安全、品質などの全ての観点において重要な工種である。2020年度からはICT舗装工（修繕工）が開始され、路面切削工でも新たな技術を活用し、生産性向上を図ることが求められ始めた。しかしながら路面切削作業を専門業者に外注することが多いため、これまで舗装業者が積極的に切削工に関する技術開発を行うケースが少なかった。このような背景の中、本稿では、路面切削工における課題、および、求められているニーズをいくつか選定し、安全性および、生産性向上につなげるための研究概要を報告する。

2. 現状の課題

舗装修繕工事における路面切削工の課題の一つに安全性の確保が挙げられる。修繕工事は交通規制を伴う場合がほとんどであり、限られたエリア、時間で作業を行わなければならない。路面切削工では交通規制内で大型切削機、路面スーパ、小型ホイールローダが走行作業するとともに供用車線側において、作業者が清掃作業などを行う（写真-1）。現状は、安全対策として、専属の監視員を配置しているが、安全対策は十分とは言えず、また現場負担は非常に大きい。

一方、路面切削工の生産性向上技術は、路面切削機のトータルステーション（以下、TS）を用いたマシンコントロール技術（以下、MC技術）などが考えられるが、修繕工事では視通を確保できないことやTSを据える場所がないなど、現場環境により、適用が難しい。近年では

GNSS測位と切削厚さデータを用いた制御システムも展開され、修繕工事でのMC技術の適用課題も解消されてきているが、橋梁部への適用は、上部工のたわみなどにより、計画データを作成するための測量自体が難しいなどの課題がある。

ICT舗装工（修繕工）では、切削機の施工履歴データを活用して、出来形取得を簡素化することにより、管理時間の短縮や施工データの蓄積を見据えているが、施工履歴データ取得に対する明確な技術がまだ存在しないとといった現状もある。

上記課題から、切削工の安全性と生産性向上に対する解決策として下記3項目の取り組みを報告する（図-1）。

- (1) 切削工の安全性確保
- (2) 橋梁切削の効率化
- (3) 施工履歴データの取得方法



写真-1 路面清掃状況



図-1 路面切削工 生産性向上策イメージ

3. 切削工の安全性向上技術の検討

舗装修繕工事の路面切削工は、交通規制内という限られたエリアの中で、路面切削機、小型ホイールローダ、大型路面スイーパーといった複数の機械が前後進を伴いながら作業を実施する。舗装修繕工事において、社内で発生した事故を分析すると、工事が夜間で視界が悪いことや人力清掃、出来形計測など、機械と作業者の距離が近いことが原因となり、大型路面スイーパーと接触する事故が多く報告されている。

上記課題から、大型路面スイーパーを編成せずに路面切削後の路面清掃をするべく開発した、路面切削機の後部に取付け可能な清掃装置の概要とその現場検証結果を述べる。

3.1 切削機に取付け可能な清掃装置

開発した装置は、海外メーカーの大型クローラ式路面切削機に後付け可能なブラシアタッチメントをベースとした(写真-2)。路面切削機に軽微な改造のみで取付けが可能であり、メインとなるローラブラシと左右のガッタブラシで構成されている。ローラブラシは左右へのスライドと角度の変更が可能であり、専用のコントローラで操作を行う。当該装置は、切削廃材をローラブラシで隣接レーン側に寄せ、隣接レーンを切削すると合わせて、この廃材もダンプトラックに積み込むことになっている。

そして、最終切削レーンに残った廃材を、大型路面スイーパーで清掃するというものである。

本件では、大型路面スイーパーを使用しないことを目的としているため、ローラブラシ後部に廃材貯留装置を取り付けるとともに、全ての残廃材の回収を行うという方法を想定し開発を行った。



写真-2 ベース機 (ブラシアタッチメント)

3.2 現場試用効果

上記開発装置を舗装修繕工事現場で試用し、活用効果の検証を実施した(写真-3)。検証方法は、下記3パターンの1㎡あたりの路面に残った廃材を回収し、重量を比較した(写真-4)。

- (1) 切削ドラム通過直後
- (2) 路面スイーパー通過後
- (3) 開発装置通過後

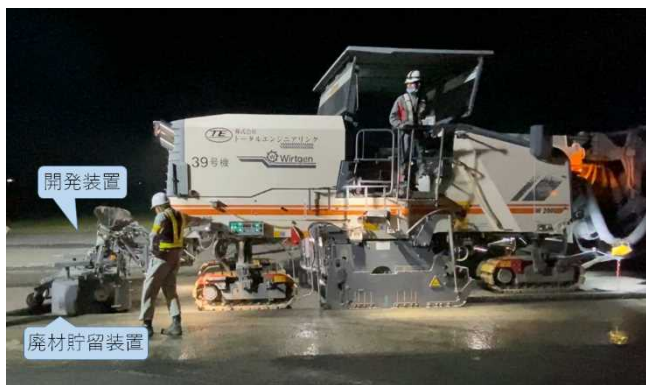


写真-3 現場試用状況



写真-4 残廃材回収状況

表-1 1㎡当たりの残廃材比較

	(1)	(2)	(3)
項目	切削ドラム 通過直後	路面スイーパー 通過後	開発装置 通過後
路面残廃材量	977g	95g	37g

検証結果は表-1のとおりである。開発装置による廃材回収後の残廃材量は路面スイーパー清掃後の約半分であった。切削機の施工速度が約0.5 km/hであるのに対して、路面スイーパーの走行速度は約3.0 km/hで切削機の6倍程度である。単位面積当たりのブラッシング量は開発装置の方が多くなるため、導入効果を確認できた。したがって、本研究により大型路面スイーパーを編成せずに施工可能であると判断した。

4. 橋梁切削工の生産性向上技術の検討

「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」において国土交通省は、自治体が管理する橋梁のうち定期点検で緊急または早期の対策が必要と判定される割合を約30年後にゼロにする計画を明らかにした。

現状の橋梁における切削工の課題としては、床版の過切削が挙げられる。例えば、RC床版の出来形規格値は、基準高±20 mmとなっているため、床版の不陸を補正している既設舗装の厚さはばらつきが大きい。切削ドラムが

既設舗装版より深く入りすぎた場合、床版を傷付け、橋梁の強度を損なうことが懸念されるため、マージンを多く見込み複数回切削を行わざるを得ないのが実情である。

この課題に対して電磁波レーダを用いて既設舗装と床版の界面を検出し、リアルタイムに切削高さを制御する方法を考案した(図-2)。ここまでの研究結果と今後の展望を述べる。

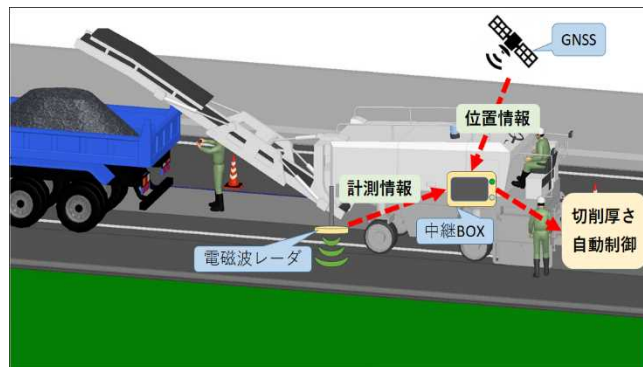


図-2 電磁波レーダ型 切削高さ制御イメージ

4.1 橋梁部における現状の切削厚さ決定方法

橋梁部における切削厚さの決定方法は路面切削工の前に既設舗装の調査を行うことが一般的である。現状の舗装厚調査は、コア抜きによる方法と電磁波レーダを用いた方法(写真-5)の二つがあり、近年では上記二つを併用する場合が増加している。

コア抜きによる方法のみと比較し、電磁波レーダを併用することで、コアを採取する本数は減少するが、交通規制を伴うことや作業終了後に計測データ解析、帳票化といった事務所作業の減少にまでつながっていない。また、電磁波レーダの計測データ(レーダ波形)は、扱い慣れた技術者が読み解くことを前提としているため、経験が少ない計測者による数値取得にばらつきがあることも否定できない。これらのことから、本研究では計測データの自動解析やリアルタイム制御を前提に検討した。



写真-5 電磁波レーダ計測状況

4.3 電磁波レーダを用いた切削厚さ制御の検討

橋梁の切削工に電磁波レーダを用いたMC技術を導入する目的は、下記のとおりである。

- (1) 事前調査業務の簡素化（歩掛りの向上）
- (2) マージンを見込んだ複数回切削を無くす（橋梁切削工の効率化）
- (3) 切削後に残る既設舗装厚さを減少かつ均一化させる（はつりなどの床版出し作業の効率化）
- (4) オペレータの技能に左右されない仕上がり精度（省熟練化）

上記を実施するために、電磁波レーダを用いた切削高さのMC技術に対する仕様検討を行い、要求仕様を設定した（表-2）。この中で、施工精度を確保するためには、項目①と⑧が重要であると考えている。

表-2 電磁波レーダを用いた切削高さMC仕様

項目	内容
① 切削厚計測精度	±5mm
② レーダ個数	二つ(切削機のサイドセンサと同一位置を想定)
③ 最大計測深さ	30cm
④ 最大計測速度	20m/min
⑤ 走行距離計測方法	エンコーダ (or GPS)
⑥ 走行距離計測精度	mm単位
⑦ レーダ高	地面に設置 or 3cm程度のクリアランスを確保
⑧ 界面検出方法	自動検出 (人が波形を解読するのではない)
⑨ MCインターフェース	ICT切削機に備わっているAGCコネクタを想定

電磁波レーダの性能確認方法としては、コンクリート上に舗装厚を変化させたアスファルト舗装を行い、そのアスファルト舗装上を電磁波レーダで計測し、舗装厚を比較した（写真-6）。比較した舗装厚の真値は、コア採取とアスファルト舗装前後で計測したレーザースキャナによる値を使用した。

精度確認のため、真値に対する計測結果を比較した（図-3）。真値との差は±4mm以内であり、標準偏差は約2mmであるため、設定した要求仕様を充たすことを確認した。次に、計測の再現性を確認するため、同一測線を複数回計測し比較した（図-4）。各計測値の差は±4mm以内であり、差の標準偏差は約1mmであるため、再現性があることを確認した。さらに、雨天時の計測可否を確認するために、同一測線で人為的に乾燥状態と湿潤状態をつくり、比較した（図-5）。計測値が大きくばらついていたため、雨天時等は使用できないと判断した。



写真-6 電磁波レーダ性能確認状況

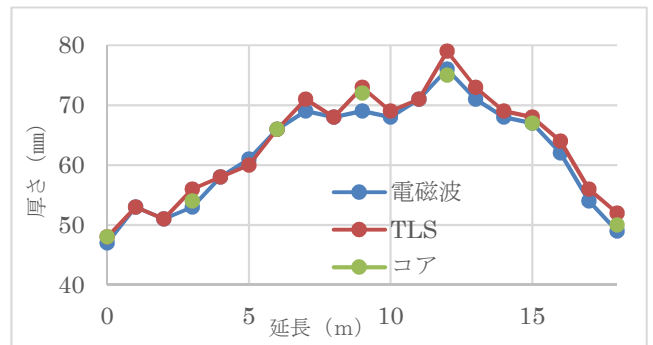


図-3 真値に対する計測結果比較

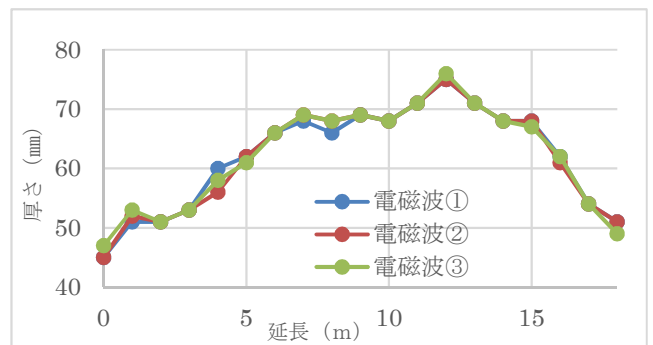


図-4 再現性の確認結果

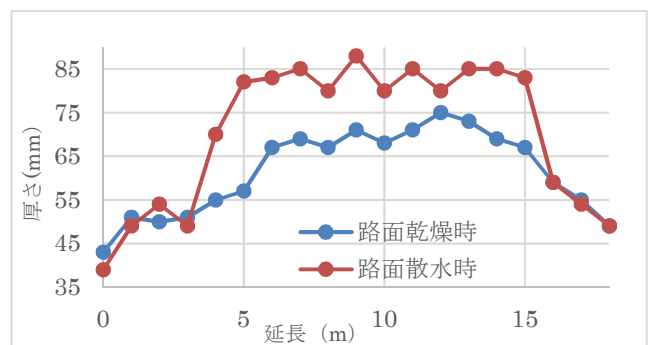


図-5 雨天時計測可否の確認

現在は切削機に取付けた状態の計測精度に問題がないかについて確認を実施している（写真-7）。また、現状はレーダ波形の数値化に人の手を必要としているが、波形データの自動認識についても併行して検討、検証を行っている。



写真-7 電磁波レーダ切削機取付け状況

5. 切削工の施工履歴取得方法の検討

2020年度から国土交通省が ICT 舗装工（修繕工）を開始し、路面切削工において施工履歴データを取得、利用し、面的な出来形把握や施工中に出来形を把握することで修正施工の指示が迅速に行えるなど、舗装修繕工における生産性向上策が打ち出された。舗装修繕工は、交通規制を伴い、時間的、空間的制約があるために、施工中に簡易的に施工履歴データを取得し、切削深さ計測作業の代替データとして活用することで即座に次工程に移ることも想定されている。

しかし、既存の装置を使って施工履歴データを取得しようとした場合、TS 等を用いる必要があるため、簡易的に行うことができない。また、橋梁部にて実施する場合、荷重によるたわみが考えられるため、測量機自体を用いることが難しい。さらに橋梁切削時の床版出し作業では切削深さの履歴データよりも、床版出し後の付帯構造物からの相対高さデータの方が将来的にトレーサビリティとして活用できると想定される。

上記課題から TS を用いない方法による路面切削工の施工履歴データを取得する 2 つのパターンを検討し、現場検証した。ここまでの結果と今後の展望を述べる。

5.1 OCR 技術を活用した施工履歴取得方法

(1) 概要

切削機に搭載している現在の切削深さ数値を表示する画面を専用カメラで撮影し、光学文字認識（OCR 技術）を行い、数値化、帳票化するシステムである。このシステムは OCR 用カメラ、GNSS アンテナ、データ処理用端末で構成されている。それぞれの機器から取得した位置および、数値データと時刻データを紐付けて帳票化している。現場施工の際にはこれらの機器を切削機に取り付けるのみで、特殊な装置や作業は必要ない。（写真-8）。

上記システムを用いて、「施工履歴データを用いた出来形管理要領（路面切削工編）（案）」に基づき施工履歴データの精度確認を実施した。今回実施した現場では、水平位置の確認に TS、鉛直方向の確認にメジャーを用いた。

(2) 結果

本システムの現状では、施工後のデータ処理に時間を要する。現況測量と施工計画からその位置の切削厚さを算出しておき、施工時に取得した施工履歴データを点群処理ソフトウェア上で比較し、ヒートマップを作成する必要がある（図-6）。今後の課題としては、データの蓄積だけでなく、リアルタイムに施工の可否を判断できるような機能を追加する必要がある。

また、本現場は土工部のため問題ないが、橋梁部を含む場合、前述した上部工のたわみ等により TS 等の測量器を用いない精度確認方法を協議する必要がある。



写真-8 OCR 技術を活用した施工履歴機器取付け状況

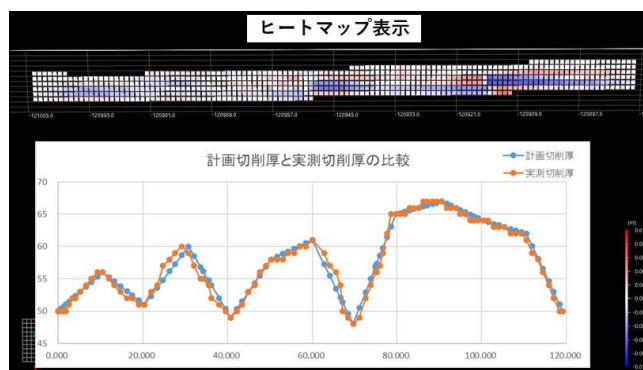


図-6 取得データ例

5.2 段差検出型施工履歴取得システムの開発

(1) 概要

切削機に後付け可能かつ、単独で計測可能な路面切削工の履歴取得システムを紹介する。現在開発中であるこのシステムは路面切削工において発生した既設路面との段差を検出するために、基準部と切削部を走行する二つの距離センサの他に GNSS アンテナ、データ処理やリアルタイム表示を行う PC で構築される（図-7）。切削機の

制御とは別に段差を検出するため、ビット摩耗や勾配変化等の影響を受けずに計測可能であると考え。

(2) 特長

本システムの最大の特長はスタンドアロンで使用可能なことである。基本的には切削機に取付けて、簡易操作のみで施工履歴データを取得することを目的としているが、スタンドアロンで使用可能にすることにより、切削後に再切削など路面修正を行った場合でも、後に施工データを再取得できる。

また、橋梁部の切削工で最も必要な施工履歴データは、切削機の切削深さではなく、床版までの深さである。前述の電磁波レーダを用いた切削MC技術と併せて本システムを活用し、床版を損傷させることなく施工し、床版出し作業後に付帯構造物から床版までの深さを施工履歴データとして蓄積することで、次回の修繕工事に活用できるトレーサビリティとなると考える。

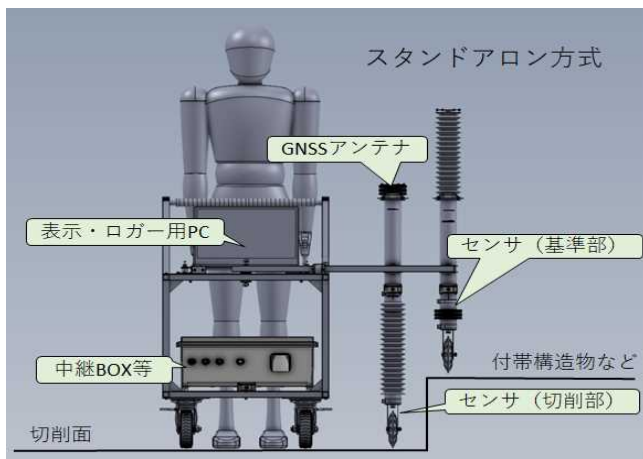


図7 段差検出型 施工履歴取得システムイメージ

現状 2020 年度末の現場導入に向け、試験機を製作し、要素試験を実施している。取得データの精度検証だけでなく、データのリアルタイム性や取得データ処理の簡素化を目指したシステムを構築していく所存である。

6. まとめ

本稿では、舗装修繕工事における路面切削工の安全性、生産性向上に向け、「切削工の安全性確保」「橋梁切削の効率化」「施工履歴」をキーワードとして研究内容を報告した。各項目について課題と今後の展望を述べる。

(1) 安全性の確保

切削機に取付け可能な清掃装置を積極的に現場で活用し、貯留装置の容量や形状を決定すること、他社製の切削機への取り付け方法等の検討を進めている。また本装

置を活用することにより、安全性だけでなく、編成する機械や、人員を削減でき、生産性向上に寄与すると考えている。

(2) 橋梁切削の効率化

電磁波レーダを用いた切削厚さ制御の最終的な目標は、事前計測やデータ作成なしで、既存のMC技術と同等の精度を確保するものである。今後は、段階的にレーダ波形の自動検出機能を搭載し、舗装厚調査の時間を短縮したり、切削機を選ばないマシンガイダンスを行ったりといった現場導入を積極的に行っていく。また、MC技術が実現した場合であっても、床版の施工精度により、電磁波レーダ検出箇所は適切に切削出来ていても、床版の凸部を削ってしまう恐れがある。このような課題に対して、施工の観点だけでなく、橋梁の維持管理の観点から発注者と連携し、真の生産性向上策を検討していきたい。

(3) 施工履歴データの取得方法

現状では、機器やソフトウェアが習熟されていなく、施工履歴データの取得方法を模索している段階である。しかし、このような取り組みは、大掛かりなMC技術とは違い、小規模な工事でも適用可能な技術であると考えられる。今後は ICT 舗装工だけでなく様々な現場に対応できるように、検討、検証を進めていく。

7. おわりに

本稿で紹介した技術を現場運用することで、生産性と安全性を両立するだけでなく、次回の修繕に向けた施工データの蓄積が可能になると想定している。また、ICTの活用は「目的」ではなく、「手段」である。既存の考え方を疑い、様々な工種で改善を行いたい。しかし、これらの取り組みは施工会社と発注者の連携が不可欠である。実現に向け、施工会社と発注者が十分に議論を重ね、新たな施工方法、管理方法を模索していきたい。

最後に、この研究は、トータルエンジニアリング、ヴィルトゲン・ジャパン、ユナイト、エフティーエス、コアの各社からの協力を頂いて遂行し、この論文の形で研究を公表することが可能となった。この場を借りて、関係各社に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 国土交通省：防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策、令和2年12月
- 2) 国土交通省：施工履歴データを用いた出来形管理要領（路面切削工編）（案）、令和2年3月