

水平振動ローラを用いた北海道型SMAの 耐久性向上技術に関する試験施工報告

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○上野 千草
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 丸山 記美雄

近年、交差点前や坂道、急な曲線区間の安全対策として北海道型SMAが活用される事例が増えてきている。これらの箇所では、車両の制動や据えきり作用に伴い舗装に大きな外力がかかることから高い耐久性が求められる。本文は、北海道型SMAの耐久性を向上させることを目的として、舗装転圧時に水平方向に振動を加えることにより、少ない転圧回数で高い締固め度を得られることが期待される水平振動ローラを用いて試験施工を行った結果、良好な締固め効果が得られ、高耐久化に寄与できることを把握したため報告するものである。

キーワード：北海道型SMA、水平振動ローラ、耐久性向上

1. はじめに

北海道開発局が管理する高規格幹線道路では、平成10年代よりハイドロプレーニング現象の防止や、雨天時の視認性向上、走行時の騒音低減効果が期待される排水性舗装が用いられてきたが、除雪作業による骨材飛散や、摩耗、融雪期のポットホール発生などが散見され、耐久性に課題があった。そこで、平成22年に設立された「積雪寒冷地における舗装技術検討委員会」の中で、北海道の高規格幹線道路に求められる性能を満足するアスファルト混合物が検討された。その成果として北海道型SMAが開発され、平成29年度から北海道開発局道路設計要領に記載される形で本格運用が開始されている¹⁾。

近年では、高規格幹線道路に限らず一般国道においても交差点前や坂道、急な曲線区間の交通安全対策として北海道型SMAが活用される事例が増えてきている。これらの箇所では車両の制動や据えきり作用に伴い、舗装に大きな外力がかかることから、北海道型SMAの高耐久化が求められてきている。

このような中、北海道開発局が主催する「積雪寒冷地における道路舗装の長寿命化と予防保全に関する検討委員会」では、アスファルト混合物の配合の変更²⁾、より性能の高い改質アスファルトバインダーや特殊添加剤の使用^{3) 4)}、施工方法の改善の観点から北海道型SMAの高耐久化技術について検討を行っている。

ここでは、北海道型SMAの耐久性を向上させることを目的として、舗装転圧時に水平方向に振動を加えることにより、少ない転圧回数で高い締固め度を得られることが期待される水平振動ローラを用いて試験施工を実施し、その効果について検証した結果を報告する。

2. 水平振動ローラの概要

水平振動ローラは、ローラ内に取り付けられている水平振動起振装置で発生させた振動エネルギーを利用して締固めを行う機械で、自重に加えて水平振動による動荷重を付加することにより、高い締固め効果を期待することができる。このため、通常の転圧機械を用いる場合よりも少ない転圧回数で施工を終えることが可能となる技術である。

水平振動ローラの概要を図-1に示す。一般的な振動ローラは、振動機構が1軸であり鉛直方向に振動が加わるため、舗装表層を施工する場合には、路面の波打が生じる課題があり使用に適さない。一方、水平振動ローラは2軸振動機構であり、鉛直方向の振動は相殺され、振動がほぼ水平方向にのみ作用するため、路面の波打を生じにくいことから、表層に施工される北海道型SMAへも適用可能な施工技術である。

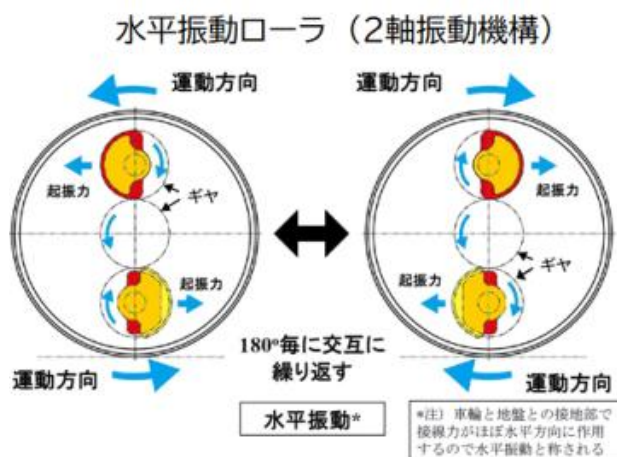


図-1 水平振動ローラの特徴



写真-1 試験施工箇所の状況（施工前：基層施工後）

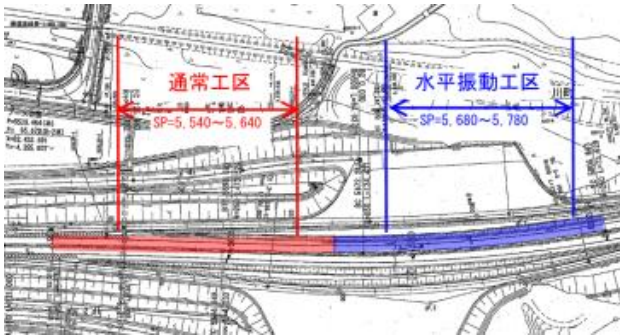


図-2 工区概要



写真-2 通常工区の転圧機械および施工状況



写真-3 水平振動工区の転圧機械および施工状況

表-1 転圧機械の仕様

転圧機械名	重量(t)	転圧幅員(m)	用途
マカダムローラ	10	2.100	通常工区の初期転圧
タイヤローラ	12.6	2.275	通常工区の仕上げ転圧
タンデムローラ (水平振動切替可)	7.4	1.480	水平振動工区の初期転圧【無振】
			水平振動工区の2次転圧【有振】

表-2 転圧回数

工区名	初期転圧	2次転圧	仕上げ転圧
通常工区	10回(5往復)	—	6回(3往復)
水平振動工区	2回(1往復)	6回(3往復)	-

3. 試験施工概要

(1) 試験施工箇所

一般国道40号音中道路にて令和7年6月30日に試験施工を実施した。音中道路は中川郡音威子府村字音威子府～同中川町字誉に至る計画延長19.0kmの路線であり、試験施工箇所は音威子府村茂島に位置する。

試験施工前の試験施工箇所の状況を写真-1に示す。試験施工は、片側1車線区間の下り車線（写真左側の車線）で実施した。

(2) 試験施工内容

通常の機械編成であるマカダムローラとタイヤローラを用いた工区（通常工区）と、転圧機械に水平振動ローラを用いた工区（以下、水平振動工区）の計2工区を設け、比較を行った。なお、各工区の調査延長は図-2に示すように各100mとした。

(3) 施工機械の仕様

各工区に使用した転圧機械を仕様を写真-2、3に、仕様を表-1に示す。

今回の試験施工に使用した水平振動ローラは、無振動と有振動を切り替えることが可能なタンデムローラーであり、マカダムローラやタイヤローラと比較して小型であり、表-1に示すように重量が軽く転圧幅員が狭いことが特徴である。このため、マカダムローラやタイヤローラのように運搬時に大型の輸送車両を要しないという特徴がある。

(4) 施工状況

通常工区では写真-2に示すようにマカダムローラ（写真右）とタイヤローラ（写真左）の2機種を使用した。

水平振動工区では、水平振動を加えることが可能なタンデムローラを写真-3に示すように2台を併走させて転圧を行った。タンデムローラを2台併走させた理由は、表-1に示したようにタンデムローラの転圧幅員がマカダムローラやタイヤローラと比較して狭く、1台ではフィニッシャーの進行速度に合わせて転圧を完了させることが困難と判断したためである。

(5) 転圧条件

各工区の施工機械毎の転圧回数を表-2に示す。

通常工区では、初期転圧としてマカダムローラで5往復（10回）、タイヤローラで3往復（6回）とした。転圧条件は、この転圧条件で試験施工前に別途施工を行い、所定の締固め度が得られる条件として設定している。

水平振動工区では、初期転圧として無振動で2回（1往復）、有振動で6回（3往復）とした。転圧条件は、過去の試験施工の実績を元に設定した^{5) 9)}。なお、初期転圧として無振動で1往復する理由は、締固め度が低くアスファルト混合物の温度が高い状態で振動をかけることによって不陸の発生を生じさせることのないようにするための配慮である。ただし、必ずしも必要な対策ではなく、無振動での転圧した箇所と有振動で転圧した箇所をオペレーターが記憶する手間を要するため、作業の簡便性を考慮し省略することも今後の検討課題としたい。

3. 調査内容

目視調査に加え表-3に示す調査を実施した。北海道型SMAに対して管理基準が定められており規格値を有する項目として、きめ深さ、平坦性、採取コアによる締固め度計測を行った。さらに、非破壊でアスファルト混合物の密度を計測することが可能な移動式アスファルト舗装密度計測装置を用いて、転圧毎の締固め度と、転圧完了後に面的な締固め度を測定した^{7) 8)}。

各調査の実施位置を図-3に示す。きめ深さは各工区3測線×3測点で実施し平均値を整理した。また、平坦性はIWP、BWP、OWPの3測線で実施し平均値を整理した。コア採取による締固め度測定は、工事における品質管理基準に基づいて実施した。移動式アスファルト舗装密度計測装置による転圧毎の締固め度計測は各工区3箇所とし、写真-4に示すように舗装端部にて実施した。面的計測の計測範囲は、延長方向に100 m、幅員方向に4.1 mとし、写真-5に示すように道路延長方向に機械を移動しながら計測を行った。

表-3 調査項目

調査項目	計測方法	調査数量	
		通常工区	水平振動工区
きめ深さ	MRP	3測線 (IWP/BWP/OWP)×100m	
平坦性	MRP	3測線 (IWP/BWP/OWP)×100m	
締固め度	コア採取	2箇所	1箇所
転圧毎の締固め度	移動式アスファルト舗装	3箇所	3箇所
面的な締固め度	密度計測装置 (Pave Scan)	100m×4.1m	100m×4.1m



写真4 転圧毎の締固め度測定



写真5 面的な締固め度測定

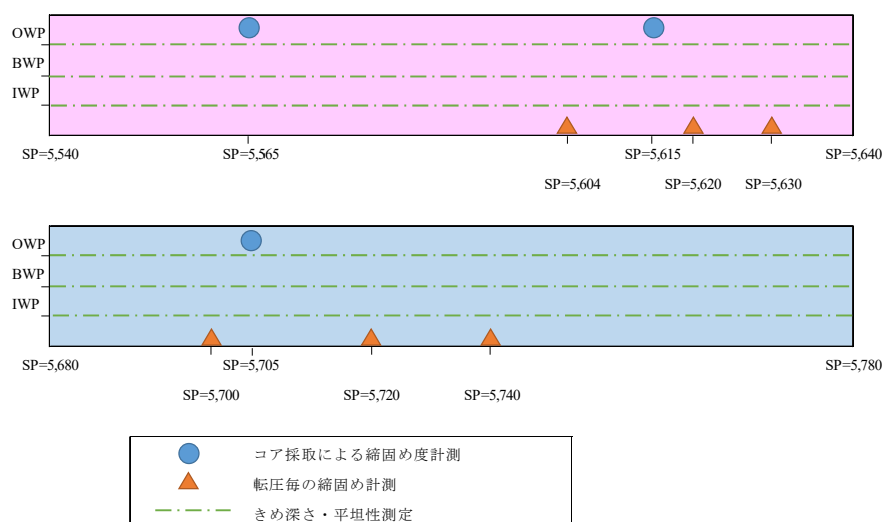


図-3 調査位置



写真-6 通常工区（遠景）



写真-7 水平振動工区（遠景）



写真-8 通常工区（接写）



写真-9 水平振動工区（接写）

4. 調査結果

(1) 目視調査

施工後の路面状況を写真-6～9に示す。路面に荒れや、フラッシュは見られず、良好な路面が確保されている。写真-6、7に示す遠景を比較すると写真上はほとんど路面状況に差は見られないが、写真-8、9の接写では、水平振動工区の方が若干骨材の表面が見える状況にある。これは、振動するローラと接することで骨材表面のアスファルトが擦れ、骨材が露出したためと考えられる。なお、ローラへのアスファルトの付着は見られなかったことから、アスファルトは骨材と骨材の隙間等へ充填されたものとする。

(2) きめ深さ

MRPを用いて計測したきめ深さを図-4に示す。目視調査では、両工区の路面状況に若干の差が見られたが、両工区の値に差がなく、両工区とも規格値である0.90 mm以上を満足する結果となった。

(3) 平坦性

MRPを用いて計測した平坦性を図-5に示す。両工区の平坦性の値に差はなく、両工区とも規格値である2.40 mm以下を満足する結果となり、水平振動ローラを用いることによる平坦性への影響は見られなかった。

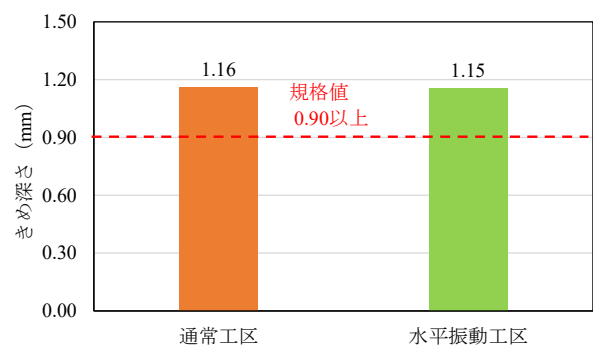


図-4 きめ深さ

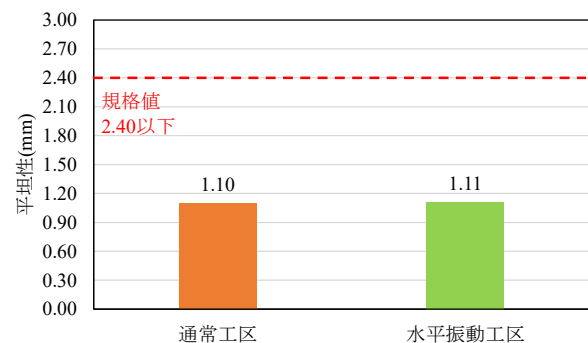


図-5 平坦性

(4) コア採取による締固め度測定

工事における品質管理基準に基づきコアを採取し、コアの密度計測を行い締固め度を求めた結果を図-6に示す。

両工区の値に差は見られず、両工区とも規格値である96.5%以上を満足する結果となった。

(5) 転圧毎の締固め度計測

移動式アスファルト舗装密度計測装置を用い、転圧機械が1往復する毎に各工区任意の3測点において締固め度を計測した。結果を図-7、図-8に示す。

図-7に示す通常工区では、転圧4往復目まで計測を行っている。SP=5,604、SP=5,630においては、転圧1往復目で締固め度が大きく上昇したが、転圧2往復目からは横ばいの状況であった。SP=5,620においては、転圧2往復目まで締固め度が上昇していないが、これは、写真-1、4に示したように舗装敷設端部の車両用防護柵の支柱が設置された付近で計測しており、支柱を避けるために、転圧されなかったと考えられる。なお、3～4往復目には転圧が実施され、SP=5,604と同等程度の締固め度が確保されている。

水平振動工区では、施工計画では無振動転圧1往復、有振動転圧3往復の計4往復としているが、定点計測箇所においては転圧回数の妥当性を把握するため有振動転圧を4往復目まで実施し、締固め度を計測した。

計測結果を図-8に示す。3測点ともに転圧4往復目まで締固め度が上昇する結果となった。なお、5往復実施後の値は4往復実施後の値から横ばいであったことから、水平振動ローラを用いた転圧回数は、無振動転圧1往復、有振動転圧3往復の計4往復で妥当であったと判断される。

両工区の締固め度の推移を比較すると、通常工区は1往復目で締固め度の上昇がほぼ頭打ちになったのに対し、水平振動工区は、1往復の上昇割合は小さいものの4往復目まで締固め度が上昇し、4往復時点では水平振動工区のほうが高い締固め度が得られる結果となった。

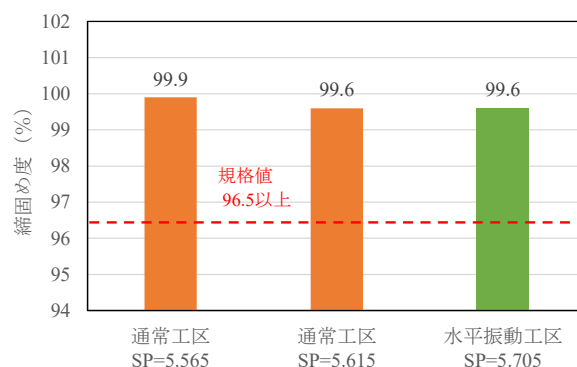


図-6 採取コアの締固め度

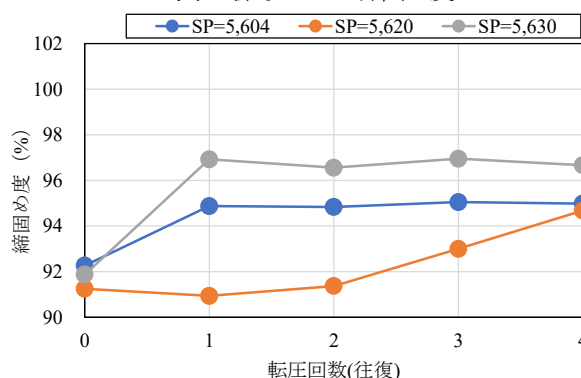


図-7 転圧毎の締固め度の推移（通常工区）

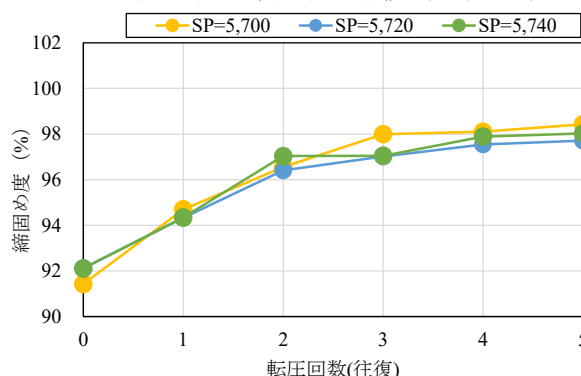


図-8 転圧毎の締固め度の推移（水平振動工区）

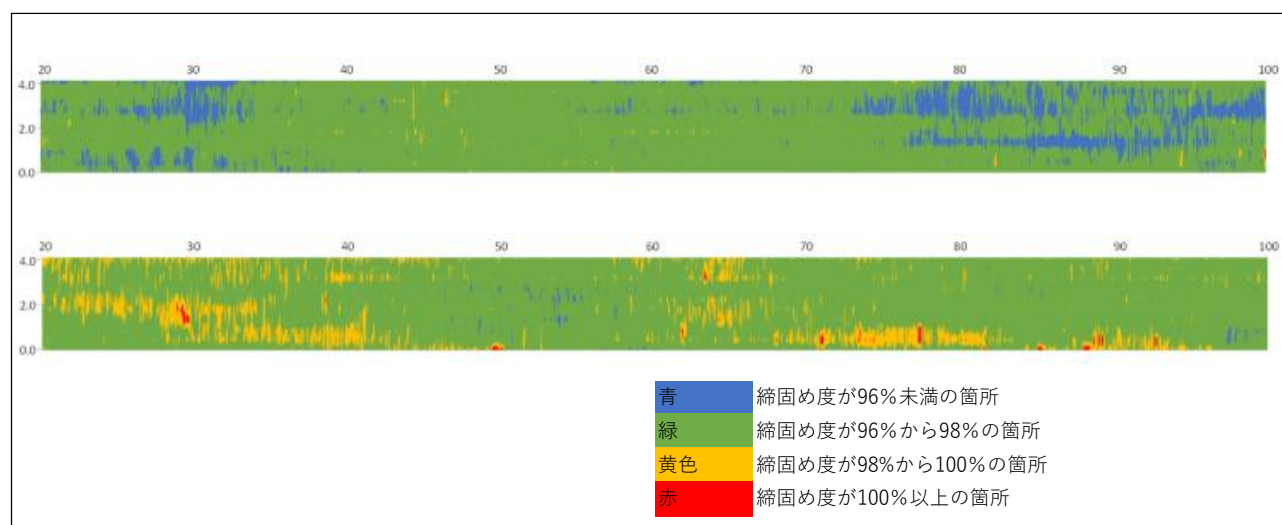


図-9 面的な締固め度の分布（上:通常工区、下:水平振動工区）

(6)面的な締固め度計測

移動式アスファルト舗装密度計測装置を用い、試験工箇所を面的な締固め度を計測した。各工区の起点から20～80mにおける計測結果を図-9に示す。

図-9はコンター図であり、色の違いが締固め度の階級を示している。コンター図の横軸の数字は工区起点からの距離(m)を示しており、縦軸の数字はセンター側の舗装施工端部から距離(m)を示している。

図-9上側に示す通常工区では、全体的には緑色で示される締固め度が96%から98%の部分で締められており、ほぼ均一な締固め度が得られていることが確認できる。ただし、青色の締固め度が96%未満の箇所が面積割合で3.6%を占めており、このような箇所が損傷の要因となりやすいことから極力少なくすることが望まれる。

図-9下側に示す水平振動工区では、全体的に締固め度が96%から98%の緑色、および締固め度が98%から100%の黄色で占められている。青色で示される締固め度が96%未満の面積割合は0.7%であり、通常工区よりも少ない結果となっている。

図-10に両工区の締固め度毎の面積割合を示す。全体的な分布に着目すると水平振動工区のほうが通常工区よりも締固め度が高い範囲に分布していることが分かる。最頻値は通常工区で96.0%から96.5%、水平振動工区で97.0%から97.5%となっており、平均値は通常工区が96.3%、水平振動工区は97.2%と、水平振動工区のほうが1%程度高い締固め度が得られている結果となった。

5. まとめ

水平振動ローラを用いて北海道型SMAの試験施工を実施し、施工時および施工直後の諸性状を通常の機械編成で転圧を行った場合と比較した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 水平振動ローラを用いた場合において、通常の機械編成で施工した場合と同等のきめ深さ、平坦性が得られることを把握した。
- (2) 転圧を1往復する毎に締固め度を計測した結果、通常の機械編成ではマカダムローラが1往復した時点で締固め度が大幅に上昇したが、その後の転圧では締固め度が横ばいとなる状況であった。一方、水平振動ローラを用いた場合は、1往復目の締固め度上昇幅はマカダムローラより小さいものの4往復目まで締固め度が上昇し続け、最終的により高い締固め度が得られる結果となった。
- (3) 面的に締固め度計測を行った結果、水平振動ローラを用いた場合のほうが、通常の機械編成よりも、締固め度が96.0%未満になる割合が低く、全体的な締固め度は高くなる結果となった。

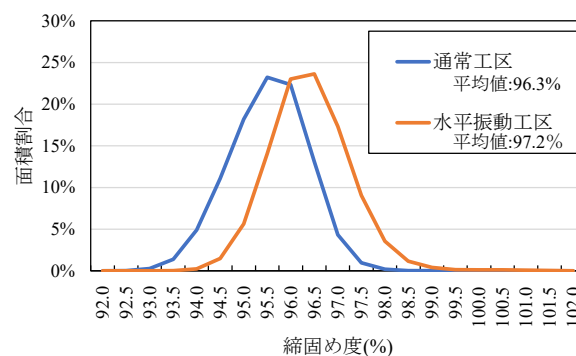


図-10 締固め度の分布割合

以上の結果より、水平振動ローラを用いることで通常の機械編成で転圧を行う場合より高い締固め度が得られ、高耐久化に寄与できる技術であると判断される。今後は試験施工箇所の追跡調査を継続的に実施し、長期的な耐久性の評価を行っていく。

謝辞：試験施工の実施にあたり、施工業者の関係各位、および北海道科学大学工学部都市環境学科の亀山教授、中村准教授、学生にご協力を賜った。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：道路設計要領、p. 1-5-23、2025.4
- 2) 布施浩司、丸山記美雄：試験施工による高耐久型機能性SMAの実用化に向けた検討について、寒地土木研究所月報、第850号、pp-35-39、2023.11上
- 3) 大江弘希、上野千草、丸山記美雄：ポリマー改質アスファルトH型-Fを用いた北海道型SMAの耐久性向上に関する一検討、令和7年度土木学会全国大会第80回年次学術講演会概要集、V567、2025.9
- 4) 上野千草、丸山記美雄：ポリマー改質アスファルトH型-Fを用いた北海道型SMAの試験施工、第36回日本道路会議論文集、3056、2025.11
- 5) 田中俊輔、安倍隆二、亀山修一、丸山記美雄：北海道型SMAの転圧方法および品質に関する研究、土木学会論文集E1（舗装工学）、V-567、2025.9
- 6) 田中俊輔、丸山記美雄、亀山修一：アスファルト混合物の転圧における水平振動ローラの耐久性向上効果に関する検討、第65回（2021年度）北海道開発技術研究発表会 p.851-854、2022.2
- 7) 中村博康、櫻庭晃、笹谷晃、亀山修一：移動式アスファルト舗装密度計測装置の測定精度の検証、土木学会論文集、Vol.80、No.21、2025.2
- 8) 中村博康、櫻庭晃、笹谷晃、亀山修一：移動式アスファルト舗装密度計測装置の有用性に関する検討、土木学会論文集、Vol.80、No.21、2025.2