

製造施工部門 最優秀賞

アスファルト舗装工事の効率化に資する 無型枠施工の確立

鹿島道路(株) 技術研究所 樋渡 竜太
 // 機械部 平藤 雅也
 // DX推進部 桑田 直人
 // 技術部 林 信也
 // 北海道支店 菅原 大

1 はじめに

建設業に携わる労働人口は年々減少傾向をたどるとともに技能労働者の高齢化が進行しており¹⁾、建設業の抱える大きな問題となっている。これを背景に、国土交通省は2025年までに建設現場の生産性を2割向上させることを目標としたi-Construction推進に向けたロードマップを提示するなど、施工の効率化・省力化に向けた取り組みを奨励している²⁾。当社もこれまで3次元マシンコントロールなどでアスファルト舗装工事やコンクリート舗装工事の省力化に取り組んできたものの、抜本的な解決には至っていない。

そのような中、筆者らは多くのアスファルト舗装工事において発生する舗装型枠の設置および撤去作業に着目した。当該作業は人力作業によって行われ、施工現場の規模によっては決して少なくない人工を必要とする。

そこで、本検討では施工の効率化に関する取り組みとして、アスファルトフィニッシャーを用いた舗装工事において舗装型枠を必要としない施工方法(以下、無型枠施工)について検討を行った。無型枠施工の実施に際しては、縦施工継目(以下、継目)の直線性や施工端部の密度を確保するために数種類の装置を使用し、試験施工と実現場で施工

を行い、各試験で性能を確認した。その結果、良好な施工結果および品質を得られることが確認できたため報告する。

2 無型枠施工における技術的課題と解決策

無型枠施工を行うにあたり、通常舗装型枠を使用した施工(以下、有型枠施工)と比較して継目の直線性が悪化することや、横断方向端部の型崩れ、また転圧不足による締固め度の低下が懸念される。そのため、自社で独自に開発した装置を主とした以下の装置を使用し施工することにより、これら懸念事項の解決を図った。各装置を取り付けたアスファルトフィニッシャーの概略図を図-1に示す。

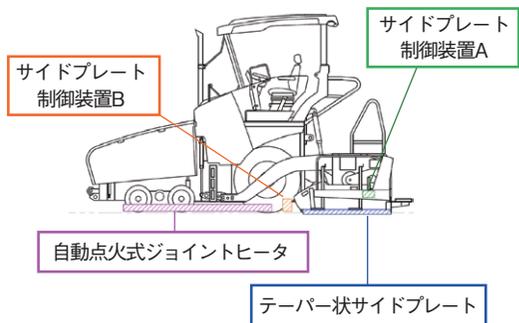


図-1 各装置の取付位置概略図

2-1 継目部における直線性確保への対応

無型枠施工で懸念される継目の直線性は、先行レーンの施工にサイドプレート制御装置 A、また後行レーンの施工にはサイドプレート制御装置 B を使用することで継目の直線性を確保することとした。

サイドプレート制御装置 A は、レベリングセンサを応用した装置である。レベリングセンサは、壁高欄などの壁面にチョークラインや水糸で高さの基準となるラインを設け、そのラインを光学式センサで読み取ることで、敷きならし厚さを制御する装置である(写真-1)。本装置を使用することで、従来のセンサワイヤを用いた施工と同様の制御を行うことが可能であり、センサワイヤを設置するスペースがない場合や、橋梁や狭隘部などの現場へも対応できるほか、ワイヤ設置や撤去の手間を大幅に削減できる効果がある。無型枠施工を行うにあたり、レベリングセンサを応用し、基層面に設けたラインを基準にスクリード伸縮を自動で行うシステムを開発した(写真-2)。



写真-1 レベリングセンサ通常使用時

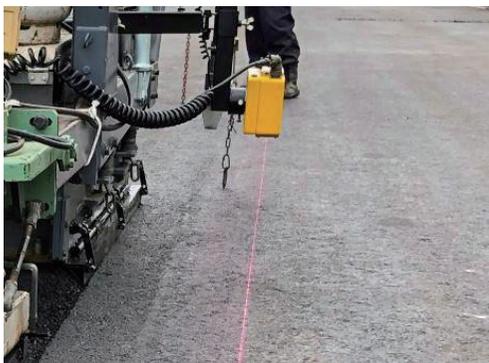


写真-2 サイドプレート制御装置 A

後行レーンの施工に用いたサイドプレート制御装置 B は、継目部の品質向上や省力化を目指し開発された装置である。通常アスファルトフィニッシャーでアスファルト混合物を敷きならす際は、隣接する舗装や構造物もしくは舗装型枠と敷きならすアスファルト混合物との継目部に隙間が生じないように、アジャストマンもしくはレーキマンが状況に合わせてスクリードをその都度伸縮させる必要がある。アスファルトフィニッシャーのオペレータの技量が未熟な場合や施工幅員が変化する場合などでは、この操作が増えることとなる。適切にこの操作を行わなかった場合、材料不足による密度低下など品質や出来形が悪化してしまう。それらを防止するため、光学式センサを活用し段差を検知することにより、スクリードの伸縮作業を自動的に行えるようにしたものが本装置である。

サイドプレート制御装置 B は光源と光学式センサ、コントローラで構成されている。先行レーン舗装端部の斜め上方から近赤外線を照射し、舗装端部上方に固定された光学式センサで撮影する(写真-3左)。撮影された陰影から段差端部を認識することで(写真-3右)、基準位置からの変位量に応じてスクリードを自動で伸縮する仕組みである。

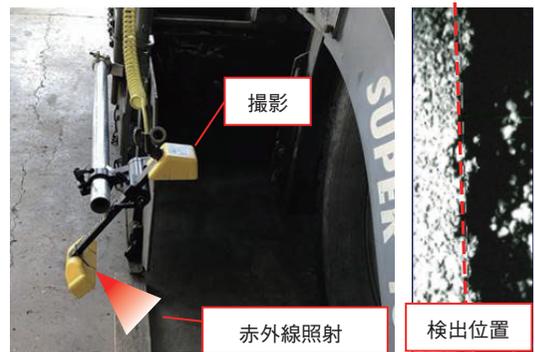


写真-3 サイドプレート制御装置 B

2-2 継目部の型崩れや締固め度不足への対応 (1) テーパー状サイドプレートによる対応

図-2 に有型枠施工および無型枠施工での施工継目部断面図のイメージを示す。無型枠施工では、有型枠施工のように継目が90°であると端部を転

圧した際に型崩れが生じる可能性がある。そこで、写真-4に示す舗装端部の形状を45°とする部材をサイドプレートに取り付け施工を行った。



図-2 施工継目部断面図イメージ



写真-4 テーパー状サイドプレート

なお、このテーパープレートは、不使用の場合には取り外すことなく、写真-5に示すように跳ね上げるだけで、従来のサイドプレートが適用可能であり、脱着の必要がないため施工の効率化に寄与する。



写真-5 テーパープレート不使用時

(2) テーパー状振動装置による対応

無型枠施工では、ローラ転圧の際に舗装型枠がなく型崩れの恐れがあるため舗装端部に寄り切れないことにより、継目付近において締固め度の低下が懸念された。そこで、加熱装置を取り付けたテーパー状の振動装置を用いて、敷きならし直後

に振動をかけながら転圧を行うことで、型崩れの防止および締固め度の確保を目指した。

(3) 自動点火式ジョイントヒータによる対応

後行レーンを施工する際には締固め度の向上および継目の付着力を向上させるため、自動点火式ジョイントヒータを用いた。ジョイントヒータは既設舗装とのジョイント部がコールドジョイントとなる場合に主に使用され、既設アスファルト舗装端部をヒータで加熱することにより、新たに敷設するアスファルト舗装との継目部の付着力を向上させる装置である。

従来のジョイントヒータはアスファルトフィニッシャの走行に合わせ、ガスバルブの開閉や点火作業を手動で行う必要があり、材料待ちなどでフィニッシャが停止した際などに手動操作を要する。このため、走行停止時の消火忘れによる過加熱や、再スタート時の点火忘れによる加熱不良など、品質トラブルにつながるヒューマンエラーの可能性があった。そこで、ヒータの点火および消火をアスファルトフィニッシャの走行と連動させた、自動点火式のジョイントヒータを開発した(写真-6)。これらの作業を自動化することにより、上記の品質不良につながるトラブルを機械的に撲滅できることに加え、作業を削減することにより省力化にもつながることが期待できる。また、無型枠施工での使用においては継目部が45°テーパー状であり、加熱面積が増加するため、有型枠施工での垂直継目よりも加熱効率が向上すると期待された。



写真-6 自動点火式ジョイントヒータ

3 試験施工

上記の装置を用いた無型枠施工の実施工への適用性を検討するため、実大施工規模での試験施工を実施した。

3-1 概要

図-3に示す施工ヤードを設け、実施工と同様の機械編成による試験施工を実施した。概要を表-1に示す。なお、無型枠施工の作業性および品質を確認するため、有型枠施工による比較工区を設けた。また、継目には無型枠施工および有型枠施工ともにゴム入りアスファルト乳剤(PKR-T)を塗布した。



図-3 試験施工ヤード工区割

表-1 試験施工概要

施工年月日	2022年5月10日(先行) 5月17日(後行)
施工面積	先行レーン: 126.0m ²
	後行レーン: 126.0m ²
使用機械	アスファルトフィニッシャ
	タンデムローラ(7t)
	タイヤローラ(10t)
使用材料	密粒度アスファルト混合物(13)
	PKR-T
適用箇所	表層

3-2 施工状況

無型枠施工は有型枠施工と同様に敷きならしを行うことができ、不具合なども発生しなかった。写真-7に示すように、施工端部をローラ転圧した際にも型崩れなど発生しなかったことから、テーパ状振動装置による敷きならし直後の端部転圧による効果が得られているものと考えられる。

また、ジョイントヒータ通過後の既設舗装温度は約80~100℃となり、アスファルトフィニッシャの施工速度により変化するものの、使用したアスファルトの軟化点温度を超えていることから、十分な加熱が行われていることを確認した。無型枠施工では既設舗装の端部形状が垂直ではな

く、45°のテーパ状となるため、サイドプレート制御装置Bにより端部を確実に認識できるか懸念があったが、従来の垂直継目と同様に制御を行えることが確認できた。



写真-7 舗装端部の転圧状況

3-3 施工結果

各種装置は問題なく機能し、無型枠施工時の作業性は良好であり有型枠施工と同様に施工できることを確認した。以下に施工後の状況、各評価試験および測定結果について述べる。

(1) 継目部における直線性の評価結果

サイドプレート制御装置Aおよびサイドプレート制御装置Bをアスファルトフィニッシャのスクリード伸縮制御に用いたことにより、舗装型枠を



写真-8 継目部(先行レーン)

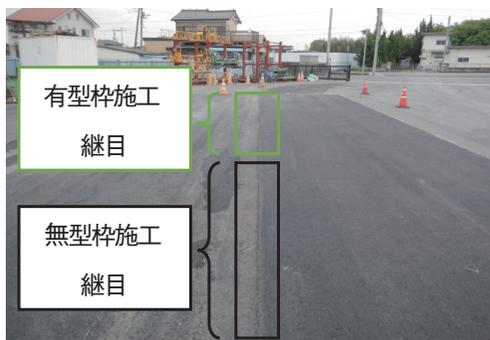
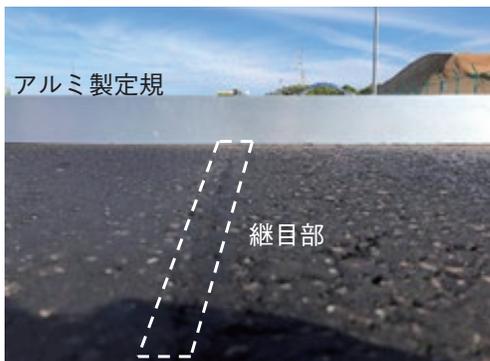


写真-9 継目部(施工完了)

設置しない本検討においては、設置したラインを追従しながらの施工が可能であり、写真－8および写真－9に示すように良好な継目の直線性を確保することができた。

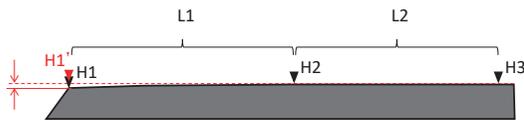
(2) 継目部における段差量の評価結果

無型枠施工を行うにあたり、転圧作業における舗装端部の型崩れにより、継目に段差が発生することが懸念された。しかし、写真－10に示すように、施工後の継目部においてアルミ製定規を用いて段差の確認を行ったところ、懸念された型崩れや段差が発生していないことを確認した。



写真－10 舗装端部の段差確認

また、トータルステーションを用いて各測点において横断方向に複数の計測を行い、計測結果から求めた断面形状からも型崩れの有無を確認した。断面形状の評価は、図－4に示す位置で計測を行い、H2およびH3から算出した実勾配を用いて、施工端部の理論的な高さH1'を算出し、実測値H1との差を評価値として行った。表－2に



図－4 断面形状計測位置

表－2 施工端部の型崩れ評価結果

測点	H1'-H1 (m)	
	無型枠施工	有型枠施工
1	-0.001	-0.004
2	0.002	0.002
3	-0.003	-
4	0.000	-
5	0.002	-
平均	0.000	-0.001

示す結果から、施工端部の高さを理論値と比較すると、1～3mmのみの差であり型崩れが発生していないことを確認できた。

また、舗設終了後の路面に散水し排水状況を確認したところ、継目部付近における滞水や、継目部からの浸水が生じることはなく、設計した横断勾配により排水が行われていることを確認した。

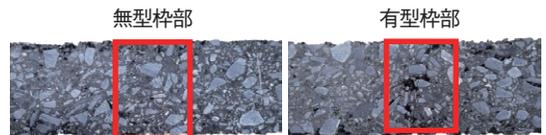
(3) 継目部における締固め度の評価結果

施工翌日にコア採取を行い、無型枠施工と有型枠施工において継目部の締固め度を比較した。なお、締固め度の算出に使用した基準密度は、有型枠施工位置のコア密度とした。表－3に採取コアによる締固め度の測定結果を示す。継目直上の密度は無型枠施工の方が有型枠施工よりも1.8%向上している結果であり、無型枠施工の施工端部となるテーパ部の転圧は、テーパ状振動装置のみにより行われているものの十分な締固め効果が得られていることが確認できた。

表－3 継目上コアの締固め度

無型枠施工	有型枠施工
101.8%	100.0%

また、施工後に継目部において断面を確認するため40cm角の平板を採取した。その断面を写真－11に示す。有型枠箇所では継目部分が目視で確認できるが、無型枠箇所では目視で継目部分を確認できないほどに一体化していた。このことから無型枠施工の施工端部は十分に締め固められていると考えられる。



写真－11 継目部の断面

(4) 継目部における付着性の評価結果

採取した平板を整形し、引張接着試験（道路橋床版防水便覧準拠）および曲げ試験（舗装調査・試験法便覧準拠）を実施することにより付着性を評価した³⁾。なお比較のため、無型枠施工および有型枠施工の継目部と、継目のない敷きならし中

中央部（以下、中央部）より採取した平板からも試験を実施した。結果を図-5、図-6に示す。

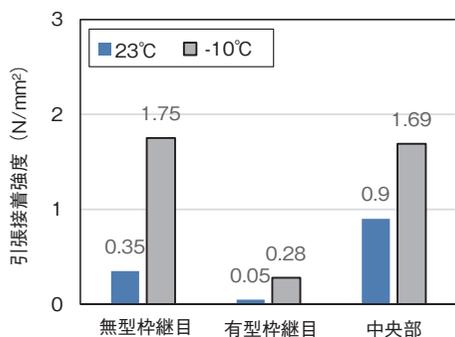


図-5 引張試験結果

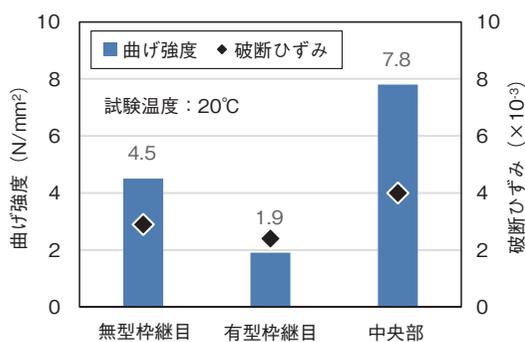


図-6 曲げ試験結果

図-5から、有型枠に比較して無型枠継目部の引張接着強度は約6.3倍高い値（試験温度-10℃）を示し、継目のない中央部と同程度であった。なお、無型枠および有型枠の供試体は継目部で破壊したのに対し、中央部は供試体と試験器具の界面で破壊した。図-6より、中央部には及ばないものの、有型枠に比較して無型枠部の曲げ強度は約2.4倍高い値を示した。

これらより、無型枠施工の継目は有型枠施工の継目に比較し、付着力に優れることが確認できた。これは、無型枠施工では先行レーンと後行レーンの付着面積が、有型枠施工に比べ大きくなる効果も影響したと考えられる。

4 実現場への適用

前述した試験施工で良好な結果が得られたため、実現場で無型枠施工を実施した。

4-1 概要

北海道内にある当該現場の概要を表-4に示す。無型枠施工の実施には、テーパ状サイドプレートを使用するため、ある程度の施工延長が必要となる。そのため、狭小部や短距離で勾配変化点の多い箇所では有型枠施工としたが、当該工事では全体の約75%を無型枠施工とすることができた。

表-4 施工概要

施工年月	2022年6月
施工面積	14,000m ²
使用機械	アスファルトフィニッシャ
	タンデムローラ (4 t)
	タイヤローラ (10 t)
	コンバインドローラ (4 t)
使用材料	密粒度アスファルト混合物 (13F)
	PKR-T
適用箇所	表層

4-2 施工状況

本施工では、試験施工で使用した混合物に比べて、細粒分の多い密粒度アスファルト混合物(13F)での施工であったため施工端部の型崩れが懸念されたが、写真-12に示すとおり、ローラでの転圧も問題なく行うことができた。



写真-12 舗装端部の転圧状況

また、継目部に段差も発生しておらず良好な仕上がりを得ることができた。継目の直線性を確認するため、車載型ラインスキャンカメラによって取得した路面画像を図-7に示す。路面画像から無型枠施工箇所の継目の直線性は、有型枠施工と変わらないことを確認した。

なお、当該舗装工事をすべて有型枠施工と試算

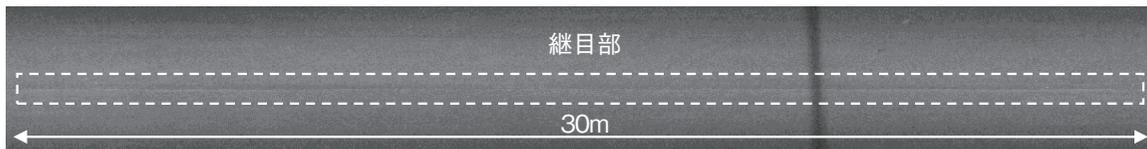


図-7 路面画像

した場合と比較すると、約2.5 km分の舗装型枠設置および撤去作業を削減でき、これにより発生した人工は、舗装工全体の15%を削減できたことから、無型枠施工は施工の効率化に寄与する技術であることを確認できた。

4-3 供用性の確認

施工6か月後に供用性の調査を行った。写真-13に示すよう、継目部においても骨材飛散などの損傷もなく良好な舗装面を維持していることを確認した。また、供用性調査は日平均気温が氷点下となる冬季に行われたが、継目部の開きも生じていないことを確認した。



写真-13 継目部の供用性（施工6か月後）

5 まとめ

実大規模試験施工および実施工を通じた検討結果から得られた成果を以下に記す。

- ・各種装置を使用することで無型枠施工が実現可能である。
- ・無型枠施工は、有型枠施工と同等の施工性および優れた施工結果が得られた。
- ・当該工事にて、無型枠施工は有型枠施工に比較して、約2.5 kmの舗装型枠設置および撤去にかかる人工を削減できたことから、施工の

効率化に大きく貢献できる技術であると確認した。

- ・舗装端部の形状を45°のテーパ状としたことで後続レーンとの接着面積が大きくなり、継目の付着力が向上し、品質向上にも寄与することを確認した。

6 おわりに

本検討から、無型枠施工が施工の効率化に寄与することを確認するとともに、施工の品質および出来形においても優れた結果が得られた。

また、今回実施工を行った北海道などの寒冷地では、付着力不足などが原因となり継目に少しでも開きが生じると、わずかな隙間に雨水が滞留し、寒冷期には凍結融解を繰り返すことで舗装が破損する要因となる。その対策としても本工法は有用である可能性があるが、当該現場は施工後6か月の経過であるため、継続して観察することで効果を確認していきたい。

今後は本検討で得られた結果をもとに、様々な現場での普及を進めていく所存である。また、ICTなどの技術も併用することでアスファルト舗装工事全体の更なる施工の効率化を目指していきたい。

【参考文献】

- 1) 国土交通省 不動産・建設経済局：最近の建設業を巡る状況について
【報告】2021, <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001428484.pdf> (2023.1.6 アクセス)
- 2) 国土交通省 HP: <https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html> (2023.1.6 アクセス)
- 3) 加形護、瀧上学、西海昌彦、中矢喜章：水工用アスファルト混合物の厚層舗設に用いたジョイント部の品質、土木学会題54回年次学術講演会、VI, pp.236-237, 1999