

大規模施工用接着剤散布システム

ボンドスプレーヤーの紹介

木 下 洋 一

コンクリート舗装補修工事において接着剤を用いる接着接合型オーバーレイ工法が開発され、人力施工に比べ品質とコストを両立させた機械化施工が求められた。自走式散布機械を開発するに当たり過去に開発製作したシステムに、新たなアイデアを盛り込みながら試作機を経て実用機を製作した。開発過程では機器の不具合や種々の問題を解決しながらようやく完成に至った。現在は大規模施工現場に供用して施工を行いつつ、より使い易いシステムとして改良改善を進めている。

キーワード：コンクリート舗装、補修工事、付着オーバーレイ工法、接着剤、均一散布、コスト、機械化

1. はじめに

コンクリート舗装における付着オーバーレイ工法は、勾配や段差の修正、老朽化したコンクリート版の維持・補修工法として実施されている。この工法は既設版の表面に付着を高めるための処置をしたのちオーバーレイ層を敷設して一体化するもので、版厚を薄くできる利点がある¹⁾。この既設コンクリート版とオーバーレイ層の付着を確実にするため、接着剤を用いる接着接合型オーバーレイ工法が開発された。この工法では接着剤を如何に効率よく均一に、また適量散布できるかによって品質とコストを両立させることができる。人力施工では限界があることから、機械化が検討され大規模施工用接着剤散布システムの開発に至った。本報では新規開発した「ボンドスプレーヤー」システム（以下「本システム」という）を紹介する。

2. 背景

接着接合型付着オーバーレイ工法に用いる接着剤は主に二液混合硬化型のエポキシ樹脂系接着剤で、混合された直後より決められた可使用時間の中で、打継面に均一に散布してコンクリートオーバーレイ施工を行う。小規模な床板増厚工法などでは現場手作業で混合した接着剤を、ローラ刷毛などにより人力塗布することで施工を行っている。しかし、人力塗布方式では塗布量のムラや塗布効率が悪いので施工手間がかかり品質上の問題が生ずる、昨今は施工規模が大きくなり面積が増す傾向にあってはこの問題は顕著となり、機械シス

テム化によって単位時間当たりの散布効率向上と散布厚さの出来形向上を図ることが必要となった。

そこで、2006年より品質確保と施工効率の向上、コスト削減を目標に機械化施工に取り組んだ。2007年の試作機での試験施工では、機械散布での品質と効率の良さなどを検証することができた。今般、大規模施工が始まるのにあたり、今まで蓄積したノウハウを反映した実施工システムを完成し、現場での供用・施工に至った。

3. 本システムの概要

本システムはエポキシ樹脂系接着剤（主剤＋硬化剤）を個々定量供給する「ポンプユニット」と供給された主剤、硬化剤を混合して路面に均一に散布する「スプレーユニット」からなる。図1に本システムの施工時システムを示す。ユニットを一体化せず、二つに分けたのは装置が大型化し重量も増えるため、一体型では

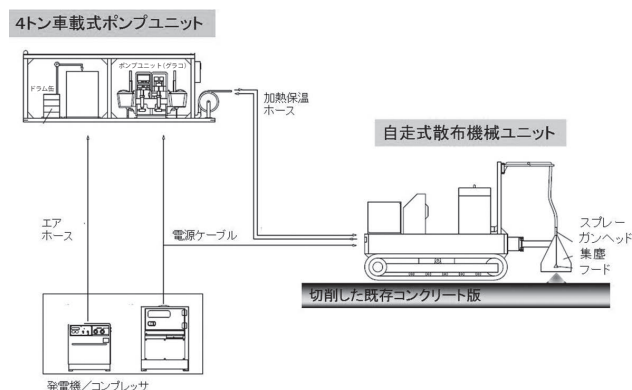


図1 本システムの施工時システム

かえて現場での使い勝手が悪くなると考えたからである。機械化システムに要求された項目は以下の点である。

- ・均一な散布ができること（温度管理，混合比管理，散布量の安定化など）
- ・散布面でのダレやムラがないこと（ポンプ脈動防止，完全混合，閉塞回避など）
- ・自動制御と連続施工が可能なこと（ポンプ耐久性，確実な機器制御など）

(1) ポンプユニット

4トン車に搭載できる一体型鋼製枠に，ドラム缶で供給される主剤・硬化剤の移送，攪拌加熱，保温チャージタンクと設定比率で圧送供給する高性能ポンプを組み込んだユニットである（写真—1）。動力は三相200Vおよび圧縮空気で，ともに現場では別途可搬式エンジン発電機とエンジンコンプレッサにより外部供給される。ポンプユニットでは，ドラム缶で供給される主剤・硬化剤は納入時期や作業環境により特性が異なってしまう。特に季節による温度変化は主剤・硬化剤の粘度に影響を与えるので，常に一定温度でポンプに供給されなければならない。移送に当たっては高粘度樹脂用で実績のあるエアシングルプランジャポンプを用い，供給側から保温調整側のドラム缶に汲み上げる。攪拌は回転翼式で常に強制的にかき混ぜることで添加剤の沈殿を防ぎ接着剤の均質化を行う。加熱には温度センサーを組み込んだ電気ヒータを採用している，これは温度管理が容易でメンテナンスフリーであり故障時に対処が簡単に出来るからである。ポンプに最終投入される直前の少量チャージタンクはさらに一定の温度を保つように保温管理されている，このように多段に分けて調整管理することで混合比率と吐出量の変動しないように図られている。ポンプは電子制御式可変ストロークエアレスダブルプランジャポンプを採用していて，設定された混合比を常に保つように制

表—1 ポンプユニット仕様

全長 mm	3,600	鋼製型枠
全幅 mm	1,800	
全高 mm	2,200	
重量 トン	2.0	
最高圧力 Mpa	35.0	
吐出流量 $\text{リットル}/\text{分}$	1.0 ~ 10	
タンク容量 リットル	470	主剤
	350	硬化剤
ヒータ容量 kW	13	
動力 kW	15	三相 200V 外部供給
コンプレッサ PS	50	外部供給

御される。ポンプより圧送された主剤・硬化剤は耐熱・耐圧保温ホースで「スプレーユニット」に送られる。表—1 にポンプユニットの仕様を示す。

(2) スプレーユニット

「ポンプユニット」より供給された主剤・硬化剤を混合し，規定量を散布するための電動自走式ユニットである（写真—2）。これも動力は三相200V，散布ノズル制御用に圧縮空気を用いる。前後移動のためのゴム製クローラ車体に，横行するスプレーノズルヘッドとそれを支える，横行レールとアームを備える構造である。横行レール上の任意の位置に停止用のリミットスイッチを配置することができるので，あらかじめ決められた散布幅員に混合された接着剤を散布しながらスプレーノズルが横移動する。スイッチによりスプレーノズルが端部で停止するとともに，あらかじめ設定した距離を車体が進行方向に移動して停止する。車体移動が終了するとスプレーノズルが反対方向に横移動し反対側端部まで戻りながら散布を行い停止，再び車体が進行方向に移動する。この動作を繰り返すことで，一定幅員にムラの無い接着剤散布を実現することができる。

本体装着の基本横行レールは最小幅 3.0 m，アタッ



写真—1 ポンプユニット



写真—2 スプレーユニット

チメントレールを継ぎ足すことで、4.5 m および最大 8.5 m のレール幅が可能である。一回の標準塗布幅は約 50 cm、進行移動距離はラップ幅を考慮して塗布幅より若干少ない距離を設定する。塗布量の調整はノズルの高さ、ノズル口径および横行スピードの設定で行い、キャリブレーションによって塗布量が適正かを確認する方法をとっている。

ポンプユニットへスプレーユニット間は主剤・硬化剤の送り側として電気ヒータ式保温ホースを採用し、戻り側として熱放散の少ない耐熱ホースを使用している。このホースは 1 本 15 メートルで分割式となっていて、現場の施工に合わせて数本をつなぎ合わせることでポンプへスプレー各ユニット間のワークスタンスをとることができる。もしホースが部分損傷しても、予備ホースと交換することですぐに対応可能である。スプレーユニット側接続口には散布／循環の切り替えバルブが設置され、散布停止時にノズルガンが閉まると瞬時に循環に切り替わり、主剤・硬化剤はポンプとホース内を循環する仕組みである。

散布時、切り替えバルブを通った主剤・硬化剤は即座にミキシングチャンバで混合される、ここからノズルまでの間は一本のホースとなり、直接ノズルガンに送られノズル先端より散布される。散布施工の終了時には別途に洗浄液を通過させることができるので、チャンバからノズルまで次の施工に備えてクリーニングする仕組みである。また、散布ノズルヘッドには散布時の余剰接着剤ミストの飛散を防止するために、集塵フードとミストコレクタを搭載し作業環境の維持に努めている。表—2 にスプレーユニットの仕様を示す。

表—2 スプレーユニット仕様

全長	mm	2,650	施工時
全幅	mm	3,000	本体基本幅
全高	mm	2,430	
重量	トン	1.8	
走行モータ		1.5 kW × 2	左右独立ギヤドインバータ
動力		5 kW	三相 200V 外部供給
作業レール幅	mm	3,000	本体のみ
		4,500	750 アタッチメント × 2
		8,500	2,500 アタッチメント × 2
コンプレッサ		0.4 kW × 1	電動小型車載型
ミストコレクタ		1.5 kW × 1	

4. システム開発のプロセス

接着剤散布システムの原型は、1993 年に樹脂を路面に散布して道路表面の保護や骨材の飛散を防止する目的で開発された「レジンコートスプレーヤ」(以下「旧

システム」という)に始まる(写真—3)。アスファルトフィニッシャのトラクタ部をベースに材料タンク、ポンプ、横行スプレーノズルを搭載し幅員 4.0 m の範囲に樹脂を散布したうえ、表面の滑り抵抗を確保するための珪砂を同時散布する機構を備えていた。この機械装置にも二液混合硬化型樹脂を用い、その圧送には定容積型エアレスプランジャポンプを採用していた、20 年たった現在でも現役である。スプレーノズル横行レール主桁は、機械の運搬を考慮して本体幅 2.5 メートル以内に設計されているが、車線幅への樹脂散布が出来るように主桁の内側にスライダーレールを設け、4 メートル幅まで散布が可能な構造となっていた。しかし、接着接合型付着オーバーレイ工法をはじめ一般的なコンクリート舗設の標準施工幅は 8.5 m (または半分の 4.25 m) が多く、この旧システムを改造して接着接合型付着オーバーレイ工法に適応させるには問題があったため、新規システムとして新たに試作機を製作することになった。



写真—3 旧システム

(1) 試作機の製作と評価

接着接合型付着オーバーレイ工法が広く普及し、大規模施工での効率的な接着剤散布のシステムが検討されるに当たり、散布圧力と散布厚さの関係および散布機構の予備検討を行った。高粘度接着剤の混合性と均一な散布厚さを実現するため、脈動の少ない高圧ポンプでの散布方式を採用することとした。2007 年、ウォータージェット機材をベースに試作システムを作り散布性能などの確認を行った(写真—4)。機械散布での均質な厚さ品質と施工効率の良さなどを実証することができた。しかし試験を続けるうちに、当試作機で採用したポンプの不具合が多発し、実際の施工に投入するには信頼性が危ぶまれた。原因として、使用するエポキシ樹脂系接着剤は主剤と硬化剤でその粘度特性などが異なるので、ポンプでの圧送性や均一な混合性を得るために粘度調整添加剤を混合して同じ粘度になるように調整している。この添加剤の影響と、高粘



写真—4 試作機（スプレーヤー）試験状況

度で高圧という条件のためポンプ構造が耐えられなかったのである。加えて工事施工開始までの準備期間中に、試作機を維持保有することが困難になったため、当試作機を大規模施工現場に投入することを断念せざるを得ず、新たに製作することになった。

(2) 代替ポンプの選定

新たに接着剤散布に適したポンプを求め、定容積型フルストロークプランジャポンプ2種を候補として、比較試験を行い適応性と耐久性について試験を重ねた。一方のポンプはシールパッキンが使用に耐えられなかった所以他方を採用する計画であった、定容積型フルストロークプランジャポンプであるため、主剤・硬化剤の混合比率を調整出来ない所がネックであり、加えてポンプメーカーが製造を中止したため正規品の入手が出来なくなった。

急遽、ギア式やチューブ式など他のポンプ型式で代替を試みたが、適応するものがなかなか見つからず困っていたところ、先の製造中止となっていたポンプメーカーから、新たに電子制御式可変ストロークプランジャポンプが発売され事なきを得た。この新型ポンプは可変ストローク制御が行えるため、任意の混合比率を設定できるとともに細かな制御を行い、精度の高い混合比率を保つことができた。又、吐出量の監視記録や異常時の自動停止機構など使い勝手もよく、実際に使用する接着剤を用いて確認試験を重ね採用することとした。ただ一つ難点があるとすれば従来のポンプより高価になってしまったことである。

(3) ノズルの選定と制御

新型ポンプに合わせ、新たな散布ノズルの選定とノズルガンの制御方式に注力した。幸い新規ポンプは元々塗装用に多く使われており、ノズルガンユニットも同じ製品ラインナップの中に種類が豊富にある、その中から散布量に適したサイズのものを選択した。必要とされる散布幅になるような口径と角度特性を持つ

たノズルを選択して、事前に手作業での散布実験を試み、散布幅が確保できるノズル位置と高さを決定し、使用する接着剤との相性や後ダレなどの不具合がないかを確認した（写真—5）。散布量（散布厚さ）は実際のスプレーシステムに取り付けてキャリブレーションを行い、横行スピードを調整することで行う方式である。難点は、ノズルガンの制御、材料供給などのための配管が錯綜し、横行するノズルヘッドの重量が増えて動きの妨げになることが懸念された。



写真—5 ノズル選定テスト状況

(4) 新規システムの製作

大規模施工への散布システムを新規製作するのにあたり、最大の問題点は先の試作機が現存しないことであった。さらに、当時の設計図書や製作図面も残っておらず、まったくの手探り状態でわずかに残る写真などの資料から試作機を再現するような形で新規製作となった。この事は、かえって沢山の新規アイデアを以前のノウハウに盛り込む事が出来たので、結果として完成度の高いシステムとなった。2012年12月に新規システム製作を決定し2013年4月に完成、5月より評価試験を数回にわたり実施し吐出量や機器の作動確認を行った（写真—6）。心配された各部の作動も問題なく、均一な散布が得られ接着剤のダレやムラも目視では認識できない状況であった。その後、使い勝手や細部の調整を行い実施工への準備に取り掛かった。



写真—6 新規システム評価試験状況

5. 現場施工

2013年11月より大規模施工現場が始まり、当機の稼働を開始した。初めは慣れないこともあり作業は慎重に進められた、幅員4.5mで施工延長は50～100mのスパンを平均5時間程で散布作業完了している。常に後工程のオーバーレイコンクリート打設状況を見ながら散布を行い、適度なワークスタンスを維持しつつ現在は順調に施工が進んでいる（写真—7, 8）。



写真—7 大規模施工現場接着剤散布状況



写真—8 大規模施工現場コンクリート打設状況

冬季の施工となり、外気温が低くなるこの時期であるが接着剤の保温システムとともに、準備作業を工夫して接着剤の温度粘度を維持管理し、散布作業に支障をきたさないよう配慮している。

6. 今後の課題

今回の現場施工での状況を踏まえ、来年度も計画されている大規模施工へ対応すべく課題を以下に述べる。

(1) 取扱いマニュアルの充実と、オペレータの養成

特殊な機械であり、取り扱いも複雑であるので作業に慣れた専属オペレータが操作することが必須である。オペレータの養成と作業標準や取扱い指示の徹底を図り、人為的ミスの発生防止を図らなければならない。

(2) 機械管理及びメンテナンス

二液混合硬化型の接着剤を取り扱うため、日々のメンテナンスおよび長期保管時の機械管理が重要である。

特に二液混合後の接着剤通過管路部は、洗浄および保管用封入材の適切な処理を怠ると、硬化した接着剤の残りカスにより管路閉塞を招き、機械や作業工程全体に悪影響を及ぼすので慎重に行わなければならない。

また、一部輸入機器を採用しており部品供給などの手配に時間がかかることが予想されるので、適切な部品ストック等の検討が必要である。

(3) 小規模施工への対応

機械化施工による接着剤散布の品質向上とコストダウンは明らかであることから、今後小規模施工においても機械化散布が要望されるであろう、大規模施工現場においても狭所や端部での施工において機械の小型化の必要性は出てくると考える。その場合は単に機械の小型化のみならず、初期の旧システムのようにセパレートタイプでなくポンプと散布装置が一体化したシステムの開発が再度必要とされるであろう。

7. おわりに

粘性が高く、また硬化反応することより使用時間が限られるなど、その物性から取扱いと管理の難しい樹脂を、人力による塗布施工から機械化を初めて試みた旧システム「レジコートスプレーヤ」からもう20年の月日が経過した。付着オーバーレイ工法への対応機械の試作からでも6年を費やし、大規模施工現場での新規本システム「ボンドスプレーヤー」を投入稼働することができた。まだ細かな改良・改善点が多々あるので、今後は使いやすさを求めてより完成度の高い機械としていきたい。当機械システム製作に当たり、多大な尽力を提供していただいた関係各位にこの場を借りてお礼を申し上げます。

J C M A

《参考文献》

- 1) 児玉孝善・加形譲他「エポキシ樹脂の機械塗布による付着オーバーレイ工法の実用化に関する研究」
土木学会論文集F Vol.65 No.4, 501-515, 2009. 11

〔筆者紹介〕

木下 洋一（きのした よういち）
鹿島道路㈱
生産技術本部 機械部 開発設計課
次長／開発設計課長

