

空港エプロン舗装の機械塗布による接着剤塗布型付着オーバーレイ工法について

鹿島道路㈱ 生産技術本部技術部	正会員	○伊藤清志
鹿島道路㈱ 生産技術本部機械部		木下洋一
鹿島道路㈱ 東京支店第一営業所		阿部裕幸
大成建設㈱ 東京支店	正会員	大塚徳之
大成建設㈱ 東京支店	正会員	神谷 誠
鹿島建設㈱ 東京土木支店土木部		平佐健一
国土交通省 関東地方整備局 東京空港整備事務所		桐原憲一郎

1. はじめに

東京国際空港国際線地区エプロン等整備等事業は BTO(Build, Transfer and Operate)方式の PFI(Private Finance Initiative)事業であり、エプロン等の基本施設、航空保安施設、構内道路等の設計施工と共に 25.5 年間の維持管理を行うものである。この維持管理において供用後に発生する地盤の不同沈下に伴い、規定された勾配から逸脱したエプロンの勾配修正が大規模補修工事として計画されている。この勾配修正工法には既設コンクリート舗装版の取壊しを伴う打替工法と、既設コンクリート舗装版の上部にコンクリートを打継ぐ付着オーバーレイ工法等がある。この付着オーバーレイ工法は、既設コンクリート舗装の表面または切削面を表面処理することにより付着力を高め、オーバーレイコンクリートとの一体化を図る工法である。この表面処理工法について、平成 16 年～17 年度に国土技術政策総合研究所と民間 3 社による共同研究¹⁾（以下、共同研究と記す）において、従来工法として施工実績のあるウォータージェットを用いた工法と、接着剤塗布型付着オーバーレイ工法について付着性の確保が確認され、空港舗装工事の技術資料²⁾においても二つの工法が併記されている。本稿では、ウォータージェットを用いる工法に比較して、工期短縮やコスト低減などの観点から PFI 事業において採用された接着剤塗布型付着オーバーレイ工法について、材料開発から試験施工までをまとめた既往の報告³⁾を踏まえ、新たな機械塗布システムの開発と平成 25 年度大規模補修における施工結果について報告する。

2. 接着剤塗布型付着オーバーレイ工法のこれまでの開発経緯

共同研究¹⁾の結果を踏まえ、事前に羽田 PFI 事業の大規模補修における接着剤塗布型付着オーバーレイ工法の適用性について、接着剤の可使時間や薄層施工に適するオーバーレイコンクリートの配合についての検討、ならびに試験施工による施工性の評価を行った。その結果として、室内試験において作製した接着剤とコンクリートの複合供試体は、十分な付着特性と耐久性を有することや、塗布量は共同研究¹⁾の基準となっている 1.4kg/m^2 の半分である 0.7kg/m^2 でも十分な性能が得られることを確認し、報告³⁾した。

3. 試験施工において残された課題

試験施工に用いたポンプユニットを分解点検した結果、滑動部の摩耗による損傷が確認され、大規模補修工事に適用するには耐久性に懸念があることが判明した。この原因は試験施工に用いたポンプの構造が滑動部にパッキンを有しない構造(メタルタッチ)であり、オイルやウレタンなどの圧送には適しているが、今回の接着剤に含まれている粘度調整剤(炭酸カルシウム)の成分が研磨・摩耗を促進させたと考えられる。この事象は当

キーワード 薄層付着オーバーレイ、接着接合、勾配修正、空港コンクリート、PFI 事業

連絡先 〒112-8566 東京都文京区後楽 1 丁目 7 番 27 号 鹿島道路㈱ 生産技術本部技術部 TEL03-5802-8014

初より想定されており、摩耗が大きくなると思われる部位をセラミック製に改造していたが、十分ではなかった。このため構造や材質に耐久性があり、保守点検が容易なポンプを新たに選定し、選定したポンプを中核としたポンプユニットとポンプユニットの諸元に適応した塗布ユニットの計画・製作が必要となった。

4. 大規模補修工事に向けた機械開発(2号機)と試験施工

(1) 接着剤塗布システムの概要

接着剤塗布システムはエポキシ樹脂系接着剤(主剤+硬化剤)をそれぞれ定量供給する「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塗布する「塗布ユニット」から構成される。接着剤塗布システムの施工時系統を図-1に示す。塗布システムに要求された項目は以下の項目となる。

- ・均一な塗布ができること(温度管理、混合比管理、塗布量の安定化など)
- ・塗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)

(2) 耐久性のあるポンプユニットの製作

a) ポンプの機種選定

新たなポンプユニットの製作にあたり、カタログの仕様から耐久性と大規模補修における施工能力(吐出能力)を兼ね備えた複数のポンプから、2台の定容積型フルストロークプランジャポンプを候補とした。この2台のポンプについてデモ機を借用して、接着剤を実際に使用した72時間連続循環運転を行い、ポンプの挙動観察と終了後の分解点検による耐摩耗性の確認を行った。この検証の結果、候補とした1台のポンプについては構造的に負荷に耐えられず、またパッキンの摩

耗・変形も認められたことから除外し、適用可能な候補を1台に絞り込んだ。この選定されたポンプは、その後のモデルチェンジにおいて電子制御方式が導入され、同じ材質・機構で容積も同量である2台のエアレスプランジャポンプが、主剤と硬化剤が適切な配合比となるように、個別に往復動を制御する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となった。当初の候補とした定容量型では、接着剤の配合比率になるように2台のポンプの容積を組合せるため、汎用品と特注品を組合せて連動させた往復動をさせる構造であり、この構造では、特注品のポンプでは保守管理に使用する部品調達や本体破損時の製作に納期を必要とすることから、対応が迅速に出来る電子制御可変式が優位であると判断した。また、移送用ポンプにはダイヤフラムポンプとエアレスシングルプランジャポンプを併用とした。なお、ポンプユニットに積載される材料には接着剤と共に有機溶剤(エポキシシンナー)も含まれるので、防爆の観点から一連のポンプをすべてエア式駆動とした。

b) ポンプユニット構成と仕様

ポンプユニットは、現場毎に調達(リース)した4t車に搭載することを想定し、鋼製枠(1.8m×1.8m×2.1m(高さ))を2個連結させた中に組込んだ。各鋼製枠は材料(接着剤)の加温・攪拌を行う一次タンク・二次タンクと供給・循環を担う各ポンプで構成される材料ブロックと、最終温度調整される三次タンクと自走式塗布ユニットに材料(接着剤)を設定比率で圧送供給するメインポンプで構成されるポンプブロックに分かれている。各々のブロックの詳細構成として、材料ブロックには接着剤の主剤・硬化剤の供給ドラム缶(一次タンク)に攪拌加熱ドラム(二次タンク)への移送ポンプ(エアレス・シングルプランジャポンプ)が搭載され、攪拌加熱ドラム缶

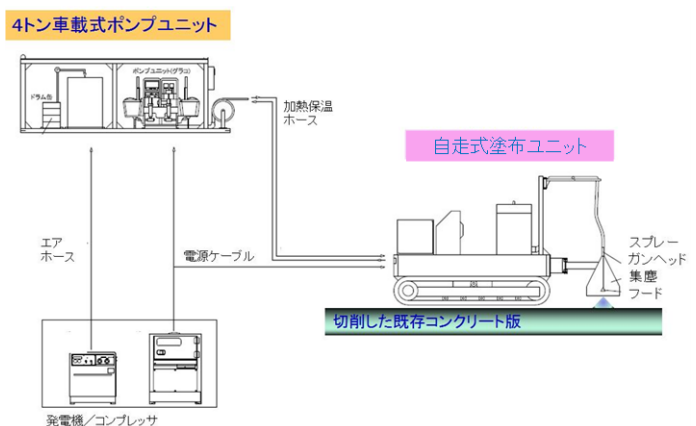


図-1 接着剤塗布システムの施工時系統

(二次タンク)には加熱装置(バンドヒータとビスコンヒータ)と攪拌装置(ピストン式エアアジテータ)，ならびに攪拌加熱ドラム缶(二次タンク)における循環や最終温度調整タンク(三次タンク)への移送を行うポンプ(ダイヤフラム式ポンプ)で構成される．一方，自走式塗布ユニットに材料(接着剤)を圧送するメインポンプブロックには，保温用の温水が隔壁内を循環する構造をもつ最終温度調整タンク(三次タンク)と保温用温水ポンプ(ダイヤフラムポンプ)，最終加熱を担うビスコンヒータと攪拌装置(ピストン式エアアジテータ)，更に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とシンナー洗浄用ポンプで構成されている．動力は三相200V と圧縮空気による稼働とし，各々はポンプユニットの4t 車とは別に2 t 車に搭載させる計画とした．ポンプユニットの外観を写真－1に，その仕様を表－1に示す．

c) 材料(接着剤)供給ホースとミキサ・マニホールド

ポンプユニット～塗布ユニット間は，主剤・硬化剤の送り側に電気ヒータを内蔵した保温ホース，戻り側には熱放散の少ない保温ホースを採用した．また，この各々のホースは中間部に継手を設置した15mのホースが2本連結して延長が30mとなる仕様とした．これにより，現場施工において不慮の部分損傷が発生しても，破損箇所のあるホースだけの交換により対応が可能となり，予備部品を少なく出来る．また，塗布ユニットに設置されているミキサ・マニホールド(混合部ユニット)は，塗布作業が停止中の循環運転時には，保温ホース(15m×2 本)を經由して三次タンクに戻り，循環する機構とした．

d) 塗布ユニットの構成と仕様

塗布ユニットは「ポンプユニット」より供給された主剤・硬化剤を混合し，規定量を塗布するための電動自走式ユニットである．外観を写真－2に，その仕様を表－2示す．前回(1 号機)の自走式塗布ユニットでは他の用途の機械を改造して製作したが，今回(2 号機)は車体剛性も含めて新たに設計・製作した．この塗布ユニットの構成は，前後移動のためのゴム製クローラを装備した車体と横行レール，そして横行する塗布フードから構成される．この動力はポンプユニットに電源を供給する発電機より三相 200V で受電し，塗布ノズルの作動用には塗布ユニットに搭載した小型コンプレッサから供給される圧縮空気を用いた．ポンプユニットから接着剤(主剤・硬化剤)が供給される電気ヒータ付き保温ホースが接続されるミキサ・マニホールドには，塗布と循環の切り替



写真－1 ポンプユニット

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	
最高圧力Mpa	35	
吐出流量ℓ／分	1.0～10	
タンク容量 ℓ	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



写真－2 自走式塗布ユニット

表－2 自走式塗布ユニット仕様

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	1.5Kw×2	左右独立ギヤドインバータ
動力	5kw	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	2500アタッチメント×2
コンプレッサ	0.4Kw×1	電動小型車載型
ミストコレクタ	1.5Kw×1	

えバルブが設置され、塗布停止時にノズルガンが閉まると同時に循環に切り替わり、戻りの保温ホースを経由して三次タンクに送られ、循環する仕組みとした。塗布時には、切り替えバルブを通った主剤・硬化剤はミキシングチャンバで混合されるが、更に横行レールを往復移動する塗布フードの動きに追従するようにスイングアームに添架した耐圧ホースを経由してから更にスタック・ミキサ(12 エレメント×3)で攪拌混合してから全自動ガンに圧送される。また、塗布施工終了時には洗浄ポンプより圧送された洗浄液(エポキシシンナー)を通過させることで、混合された接着剤が経路内で固化しないように洗浄が出来る構造とした。

塗布量の制御については、ノズル・チップの種類と設置される全自動ガン先の塗布面までの高さ(スタンド・オフ)から決定される吹き幅(スプレー幅)と塗付形状から塗り重ね幅を決定し、横行速度で塗布量が適正となるようにキャリブレーションを実施して設定値を決定した。なお、全自動ガンに装着するノズル・チップの種類選定とノズル・チップ先端から塗布面までの高さについては、塗布ユニット製作前に手作業において組合せの検証を行い、塗布ユニットの設計に反映させた。ノズル・チップ選定検証状況を写真-3 に示す。

施工幅員(塗布幅員)の調整と施工時の動作は、塗布フードに取付けられたリミットスイッチが横行レール上の任意の位置に取付けられる停止用治具に接触する事で、停止後あらかじめ設定した距離を車体が進行方向に後退し、スプレー・ノズルが反対方向に横移動しながら塗布を行い、反対側端部の停止用治具の箇所まで停止し、再び車体が進行方向に後退する。この一連の動作を繰り返すことで、ムラの無い均一な接着剤塗布を行う。横行レールは本体に装着された 3.0m を基本として、別途 2 種類 4 本のアタッチメントレール(0.75m 幅×2 本、2.0m 幅×2 本)を継ぎ足すことで最大 8.5m まで延長が出来る構造とした。これは空港エプロンにおけるコンクリート舗装版(最大幅員 8.5m)から一般道路(一車線幅員 3.0m)まで対応が可能であり、塗布幅については、停止用治具を用いて 8.5m 以内で任意に設定できる仕様とした。

飛散防止対策については、基本設計は前回(1 号機)を踏襲したが、更に吸引能力の大きな機種を採用した。

(3) 試験施工による確認

本施工を模擬した試験施工を自社機械センター構内において実施した。既設エプロンに相当するベースコンクリートは、オーバレイコンクリートと同じ配合を用いて厚さ 150mm で構築し、養生後に表面処理を行った。表面処理は、実施工では施工端部に最低打設厚($t=50\text{mm}$)を確保させるための切削後と研掃(ショットブラスト)併用させる箇所と、最低打設厚($t=50\text{mm}$)を確保される研掃のみの実施箇所となることから、塗布面形状の異なる二つの工区を設定した。これにより接着剤塗布システムの塗布状況、仕上がりを確認し、また、施工機械体制(コンクリートフィニッシャ、縦仕上げ機など)による施工性確認を実施した。この結果、試験施工では接着剤塗布システムによる接着剤塗布面はダレやムラのない均一



写真-3 ノズル選定検証状況



写真-4 試験施工における塗布状況

表-3 試験施工における塗布量

工区	目標塗布量 (kg/m^2)	平均塗布量 (kg/m^2)	標準偏差
研掃のみ	0.87	0.92	0.044
切削+研掃	1.13	1.12	0.038

※検査版(0.3m×0.3m)は各工区毎に 30 枚使用

な塗布面となり、検査板(n=30)を用いた塗布量の確認結果もバラツキの無いものであった。試験施工における塗布状況を写真-4に、試験結果を表-3に示す。

5. 大規模補修における本施工

(1) 施工概要

今回の大規模補修工事は2013年10月初旬～12月末までの期間に実施され、対象としたエリアは国際線エプロン北側に位置する。施工箇所を図-2に示す。施工の手順としては、まず計画高さに対してオーバーレイコンクリートの最少厚さ50mmを確保させる対象範囲を大型切削機や人力によるハツリにより切削した。次に新旧コンクリートの付着を確保するために切削箇所と非切削面の全面をショットブラストによる研掃(150kg/m²)を行い、レイトンスや切削機やハツリで緩んだ脆弱部を除去した。そしてオーバーレイコンクリートの打込みに先行して、専用に開発した高耐久型エポキシ樹脂系接着剤を機械塗布システムにより塗布を行った。

塗布量の設定は、羽田PFI事業における試験施工の最低塗布量0.7kg/m²について塗布量検査結果より確認された標準偏差(2σ)を考慮した0.87kg/m²を研掃のみとなる平滑面の塗布量とし、これに割増し(30%)を加算した1.13kg/m²を切削後に研掃を実施する切削面の塗布量とした。

施工箇所は二種類の幅員(8.5mと7.0m)のコンクリート舗装版が組合された4,369.6m²(延長61.5m×幅員71.05m)となり、これを17レーン(1レーンの施工幅員は既設幅員の1/2となる4.25mと3.5m)とした。この工区割りには、建築工事からの引渡し工程や、施工段取りなどを考慮した結果である。オーバーレイコンクリート(早強コンクリート、膨張剤入り、設計曲げ強度5.0N/mm²)の平均厚さは96mm(最小厚50mm～最大厚300mm)となった。オーバーレイコンクリートの配合を表-4に示す。付着オーバーレイ工法における施工断面(概念)を図-3、施工フローを図-4に示す。

(2) 施工性

a) 寒中施工に対する課題と対応

施工は平成25年10月10日から12月24日までの期間に17レーンを日中施工体制で実施した。この期間における

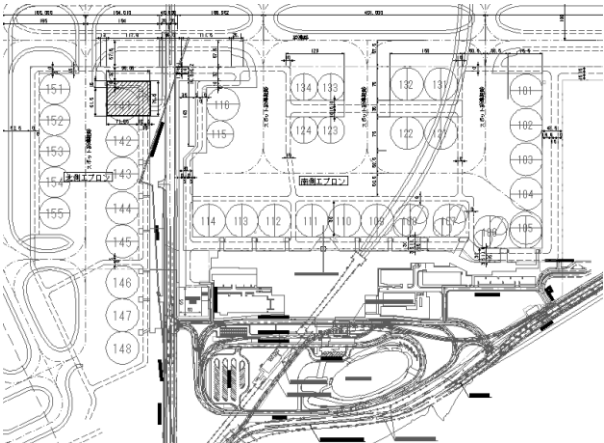


図-2 施工箇所(平成25年度大規模補修工事)

表-4 オーバレイコンクリートの配合表

Gmax (mm)	WC (%)	単位量(kg/m ³)					
		W	C	S1	S2	G	Ad
20	42.0	167	398	426	290	1030	C×1.3%

C：早強セメント、Gの岩質：石灰岩

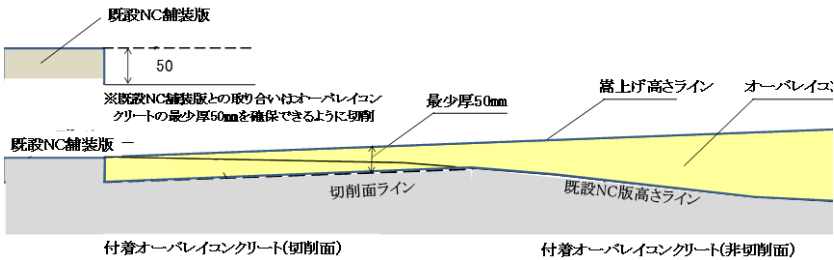


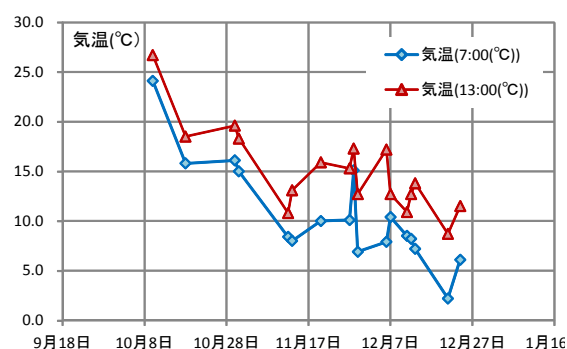
図-3 接着剤併用型薄層付着オーバーレイ工法における施工断面図

測量	現況高さの確認
切削工	最小厚さ50mm確保
ハツリ工	端部および付帯構造物周辺の人力ハツリ
研掃工	ショットブラストによる研掃
型枠工	計画高さに設定
打込み準備工	レール設置およびフィッシャなど組立
接着剤塗布工	切削面および非切削面
コンクリート打込工	
養生工	封緘養生
養生完了	

図-4 施工フロー図

施工時(日中)の気温(13:00)は10月10日の27℃から10月31日の18℃まで下がり、12月7日以降は13℃から9℃に推移した。また、施工準備を行う早朝時(7:00)は10月10日の24℃から10月31日の15℃まで下がり、12月7日以降は10℃から6℃で推移した(12月21日は2℃)。準備工として、主剤と硬化剤の粘度が概ね同等となる主剤60℃、硬化剤40℃に加温が必要となるが、材料毎の比熱の違いにより加温に要する熱容量が異なる。現在の仕様で加温に要する時間は、外気温や風速、タンク内容量などの要因により異なるが、12月21日の気温2.2℃では約90分が必要であった。ヒータの追加は電気容量に大きく影響し、発電機が大型となるので、次回以降では風よけや保温カバーの追加などの対策を講じて準備時間の短縮を図る必要があることが確認された。作業開始時(7:00)と日中(13:00)の気温を図-5に示す。

図-5 気温



b) 不連続施工(休止期間を伴う)における課題と対応

コンクリートの養生期間確保や近接作業との工程調整、施工段取りの制約から連続施工が出来ない工程であった為、3日間以上の休止期間後の施工開始時にノズル・チップの詰りに起因する塗布停止が頻発し、この復旧には20分弱程度の時間を必要とした。この対策として、作業終了時の洗浄時間の延長や起動時の手順の見直し、交換部品の用意などの改善を積み重ねて対応した。

(3) 品質管理について

オーバレイ施工における接着剤の塗布は、コンクリートの現場到着後に開始し、接着剤の可使時間以内にコンクリートの打込みが出来る一定の離隔を確保した先行作業とした。接着剤の可使時間は日々の試験(ナット引張試験)で確認を行い、12月の期間では試験結果から得られる可使時間は概ね270分となった。これに対し接着剤塗布からコンクリートの打込み、フィニッシャーによる締固め完了までの時間は概ね140分となり、可使時間以内での打込みが行えた。

塗布量は250mm×250mmのテスト板を用いて重量を量り確認した。この実測による平均塗布量は、切削面では平均1.17kg/m²(設計1.13kg/m²、但し人力塗布となった17レーンは除外)で標準偏差は0.03となった。非切削面では平均0.93kg/m²(設計0.87kg/m²)で標準偏差は0.043となった。塗布量管理図を図-6, 7に示す。この図中の規格値(下限値80%)は、2008年の試験施工結果報告における品質管理の最少散布量(目標散布量の80%)を用いた。なお、図-6の17レーンは人力塗布による施工箇所であり、接着剤の塗布量については、一日の使用数量を塗布面積で割り、平均塗布量とした。この結果よ

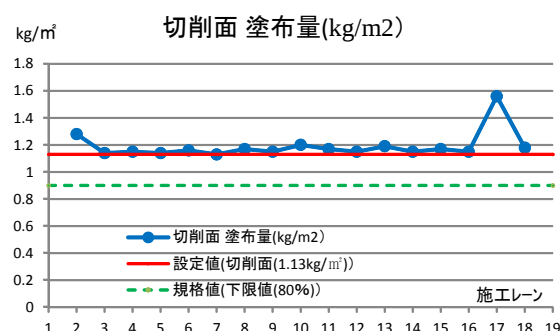


図-6 塗布量管理図(切削面)

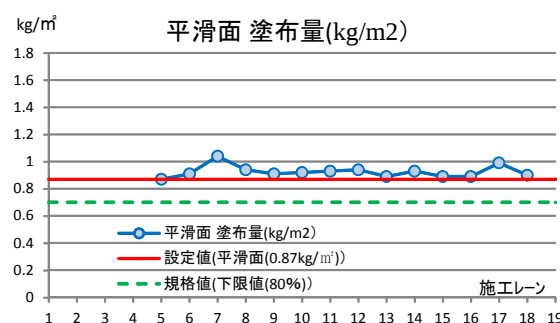


図-7 塗布量管理図(平滑面)



写真-5 大規模補修工事における塗布状況

り、機械塗布を前提とした設計塗布量に対して+31%となり、人力による施工ロスの大さが確認された。

養生は早強コンクリートにつき4日間の封緘養生を基本とし、既設目地に対する早期目地切断は2008年の試験施工における検討を反映し、コンクリート打込み翌日の早朝に実施した。この結果、施工箇所全体において、既設目地に起因するクラックの発生は認められていない。

付着強度は、施工日毎に模擬版(コンクリート平板に研掃処理を実施)に塗布機による接着剤塗布後、型枠に組込み、オーバーレイ・コンクリートを打込んだ供試体を製作して、養生終了後に建研式引張試験機で評価した。試験結果は規格値 1.6N/mm^2 以上に対して平均値 2.19N/mm^2 (最大値 2.59N/mm^2 、最小値 1.87N/mm^2)が得られた。大規模補修工事における施工状況を写真-5、6に、施工エプロンの使用状況を写真-7に示す。

6. まとめ

平成25年度に実施された羽田PFI事業の大規模補修工事において、本事業の為に新たに開発した接着剤塗布システムを用いた付着オーバーレイ工法が実施された。

2008年のPFI事業における検討では、塗布量は共同研究¹⁾の基準となっている 1.4kg/m^2 の半分である 0.7kg/m^2 でも十分な性能が得られることが確認され報告³⁾されているが、人力による塗布作業ではムラが生じ、特に切削面などの凹凸面では少ない塗布量では均一に接着剤の塗布が出来ないと予想され、当初から塗布機械の開発に着手していた。今回の施工時期は10月初旬～12月末となり、気温低下に伴う接着剤の粘度の増加により人力による塗布作業は更に困難な環境条件であったが、接着剤塗布システムを用いる事で、気象環境に影響されることなく、設定された塗布量に対して誤差の少ない、均一な塗布面に仕上げる事が出来た。また、比較的風の強い現場環境であったが、接着剤の周囲への飛散は認められず、飛散防止対策として強化した集塵機の効果も確認出来た。今回の施工経験を踏まえ、接着剤塗布システムの各ユニットについて、施工準備や保守管理作業をより迅速、効率的に行えるように機構の改良・改善を行い、更なる品質向上と合理化に努めたい。

参考文献

- 1)国土交通省国土技術政策総合研究所:空港コンクリート舗装の薄層付着オーバーレイに関する研究, 国総研研究報告 30号, 2006年9月。
- 2)財団法人港湾空港建設技術サービスセンター:空港舗装工事必携マニュアル, 2011年3月26日, pp319
- 3)児玉孝喜, 加形護, 岡本達也, 紀本一郎, 柿崎勉, 福手勤: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 FVol.65 No.4, 501-515, 2009.11



写真-6 大規模補修工事における施工状況



写真-7 供用状況