

# 出雲空港における接着剤塗布型付着オーバーレイ工法の適用について

鹿島道路株式会社 生産技術本部技術部

伊藤 清志

鹿島道路株式会社 営業本部技術営業部

児玉 孝喜

鹿島道路株式会社 生産技術本部技術研究所

鎌田 修

日本工営株式会社 海外事業本部交通都市事業部

清田 直紀

島根県土木部出雲空港管理事務所 業務課

川上 雅史

## 1. はじめに

本稿では、不同沈下に伴う高さ修正(勾配修正)工事として平成26年度および27年度に実施された出雲空港エプロン改良工事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、工法の開発経緯から出雲空港における適用事例について報告する。

## 2. 接着剤塗布型オーバーレイ工法について

### 2.1 国土技術政策総合研究所と民間3社による共同研究

残留沈下などによるコンクリートエプロン舗装の不同沈下に伴う高さ修正(勾配修正)方法として国土技術政策総合研究所と民間3社による共同研究(以下、国総研共同研究)では、ウォータージェット・ショットブラスト併用工法とショットブラスト・接着剤併用工法の2工法が、付着強度試験、試験施工とその現地観測、さらに数値解析の結果より、試験施工後1年以上の経過観察による層間剥離等の損傷が生じないことの確認を省略できることを明らかにした<sup>1)</sup>。そして、この検討において種々の条件を考慮した解析結果から、界面に作用する水平応力は室内試験におけるせん断強度に比して非常に小さいが、界面に作用する垂直応力は室内試験における引張強度を超過する場合も確認され、新旧のコンクリート界面のはく離を防止するためには、界面に発生する垂直応力に着目する必要があることを明らかにした。さらに、試験舗装前後に実施した現場引張試験および室内引張試験結果を同一の界面処理を施した供試体の引張強度として整理した結果から、界面に必要な付着強度は最小引張強度が1.6MPa以上(材齢91日)必要であることが確認され、以下のとおり規定(案)された。

①付着強度：試験施工において採取した切取り供試体の室内引張試験を行い、最小強度が1.6MPa以上(材齢91日)である事を確認する。

②剥離：試験舗装を1年以上放置して、層間剥離等の損傷を生じない。但し、ウォータージェット・ショットブラスト併用工法ならびにショットブラスト・接着剤併用工法は①の規定を確認すれば、②の規定によらず適用してよい。

③ショットブラスト・接着剤併用工法について：投射密度150kg/m<sup>2</sup>としたショットブラストを用い

て既設コンクリート面を研掃した後に、平滑な面では1.0ℓ/m<sup>2</sup>、切削した凹凸面は1.3ℓ/m<sup>2</sup>(既設コンクリートのGmax40mmの場合)の接着剤を塗布する方法を標準とする。なお、接着剤の更なる耐久性の確認ならびに大規模補修への適用を視野に入れた機械散布装置の開発の検討も必要であることが指摘されている。

## 2.2 接着剤の開発

接着剤の耐久性向上させるためにフレッシュコンクリート打継ぎ専用接着剤の開発に着手し、接着剤に関する成分ならびに付着メカニズムなどの基礎研究として有機物によるセメント水和反応への影響確認を行い、水和阻害性を考慮した樹脂調合を検討することで、セメントの水和反応に対して耐久性の高い接着剤の調合が可能となり、新たにフレッシュコンクリート打継ぎを目的とした土木用高耐久型エポキシ樹脂接着剤を開発した。また、オーバレイ材料が異なる場合の付着強度はコンクリート中の骨材量と大きく関係し、接着剤とフレッシュコンクリートの接合には骨材が不可欠であることを確認した<sup>2)</sup>。このメカニズムは、まず骨材が接着剤の硬化により強固に接合し、その後にコンクリートが硬化することで被着体とコンクリートが一体化するもので、この原理に基づいた現場における品質管理方法(ナット引張など)についても確立した。

## 2.3 接着剤塗布機の開発

作業効率(大規模施工および冬季施工)と経済性(付着強度を確保できる最低塗布量の適用)の向上を目的として接着剤塗布機を開発した。機械は加温して温度調整された主剤と硬化剤を配合比に計量して圧送する「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、塗布機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)

この要求性能を踏まえ、構造や材質に耐久性があり、保守点検が容易なポンプユニットと塗布ユニットを開発した。接着剤塗布機の施工時系統を図-1に示す。

### 2.3.1 耐久性のあるポンプユニットの製作

施工能力を満足する複数の塗装用ポンプを用いて連続稼働時の挙動と分解点検による耐久性の検証を繰り返した結果、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をメインポンプとし、ユニット内における材料移送用のポンプに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の併用する仕様が最適であることを確認した。また、このポンプや材料タンクおよび加温循環システムなどを鋼製枠(1.8m×1.8m×2.1m(高さ))を2個連結させた中に組込むことで現場毎に調達(リース)した4t車に搭載する仕様とした。なお、動力は三相200Vと圧縮空気を用いて、各々はポンプユニットの4t車とは別に2t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に示す。

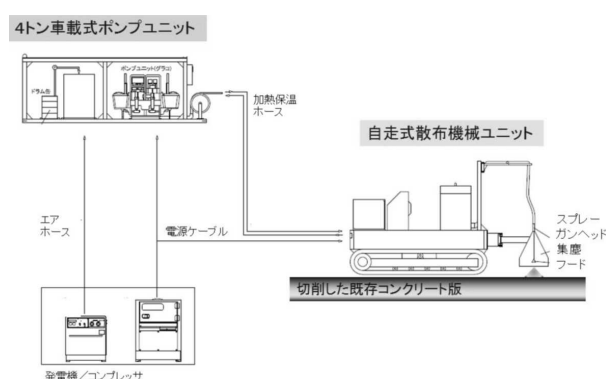


図-1 接着剤塗布機の施工時系統

また、このポンプや材料タンクおよび加温循環システムなどを鋼製枠(1.8m×1.8m×2.1m(高さ))を2個連結させた中に組込むことで現場毎に調達(リース)した4t車に搭載する仕様とした。なお、動力は三相200Vと圧縮空気を用いて、各々はポンプユニットの4t車とは別に2t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に示す。

### 2.3.2 塗布ユニットの製作

塗布ユニットはポンプユニットより供給される主剤と硬化剤を混合し、塗布量を制御できる機構を有し、自走が出来る仕様である。外観を写真-2に示す。この塗布ユニットは、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。また、電源は牽引する発電機よりインバーター制御により速度調整を行い、塗布動作は搭載する小型コンプレッサから供給される圧縮空気を用いた。また、ポンプユニットから供給される接着剤(主剤・硬化剤)はミキシングチャンバで混合されてから、スタティック・ミキサ(12エレメント×3)で完全に攪拌混合されて全自動ガンに圧送される。塗布量の制御は、ノズル・チップの種類と設置される全自動ガンの先端から塗布面までの高さ(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、塗布量は横行速度のキャリブレーションにより決定した。



写真-1 接着剤供給ユニット



写真-2 自走式塗布機ユニット

### 2.3.3 試験施工による確認

試験施工による施工性と耐久性の検証を行った。試験施工での設定条件はオーバーレイ厚さ、接着剤の塗布量、コンクリートの種類が異なる5工区とし、施工完了後に各工区から採取した切取供試体を用いて付着強度試験、せん断強度試験を実施した。この結果、直接引張による付着強度は $3.33\sim 3.80\text{ N/mm}^2$ となり、いずれの工区も基準値 $1.6\text{ N/mm}^2$ の2倍以上を確保し、また、せん断試験は $3.62\sim 6.92\text{ N/mm}^2$ と工区毎のバラツキが大きいものの、破壊位置はすべての供試体がコンクリートの内部破壊となり、新旧コンクリートの接着界面がコンクリート強度以上であることを確認した。また、試験ヤードの経過観察により不具合の有無と付着強度の低下がない事も確認した。

## 3. 出雲空港における接着剤塗布型付着オーバーレイ工法の適用

### 3.1. 出雲空港および施工の概要

島根県は日本海に面して東西に伸びた形状であり、西部に石見空港(萩・石見空港)、東部に<sup>出雲</sup>出雲空港(出雲縁結び空港)、そして日本海側に<sup>隠岐</sup>隠岐空港(隠岐世界ジオパーク空港)を擁する。施工を行った出雲空港は東京国際空港(羽田空港)、名古屋飛行場(県営名古屋空港)、大阪国際空港(伊丹空港)、福岡空港および<sup>隠岐</sup>隠岐空港との定期便や、季節運航となる新千歳空港への直行便に加え、臨時便ではあるが<sup>済州</sup>済州国際空港(韓国)などへの国際線も運行されており、地域の観光や商業誘致の観点において活用されている。この出雲空港は島根県の東部に位置する宍道湖の西端から湖に滑走路が飛び出す形状で、1963年に建設が開始され、延長 $1,200\text{ m}$ の滑走路で1966年に開港した。その後1970年と1991年の2回の滑走延長工事を経て、現在は $2,000\text{ m}$ の滑走路(平行誘導路無し)と滑走路両端のターニングパッドを備えた幅員 $150\text{ m}$ の形状となっている。この宍道湖湖畔という立地条件が故に長い供用期間を経て残留沈下が累積し、建屋周辺においては $30\text{ cm}$ 近い段差を生じ

たことからコンクリートエプロン舗装の勾配修正を目的とした大規模補修工事が複数年に分けて実施された。施工は2015年1月～3月に付着オーバーレイ4,970m<sup>2</sup>、分離オーバーレイ3,430m<sup>2</sup>、2016年2月～8月は付着オーバーレイ5,200m<sup>2</sup>、分離オーバーレイ11,420m<sup>2</sup>となった。

### 3.2. 既設エプロンの健全性評価と補修計画および補修

長い供用期間を経てコンクリートエプロンの舗装版は、乾燥収縮とその他の要因との相乗効果に起因すると推察される微細なひび割れや、残留沈下の進行による不平等沈下が主要因と考えられるコンクリート版中央部のひび割れ、或いは隅角部のひび割れ、また補修箇所の再損傷が発生していた。この為、付着オーバーレイ工の着工に先立ち既設エプロンの健全性を評価し、補修方針を決定する路面調査を実施した。調査は最初に目視による全体のひび割れ調査を実施し、その結果を踏まえてハンマによるたたき検査およびコア採取によるひび割れの貫通や鉄筋腐食の有無の確認を行い、損傷状況を5タイプに分類した。各々の損傷形態の特徴と発生要因、そして検討により決定した補修方法を以下に述べる。

#### 3.2.1. 補修タイプⅠ（隅角部ひび割れと剥離）

①特徴：ひび割れ幅が大きく段差が発生し、雨水も侵入しており、独立版として挙動している。

②発生要因：隅角部のひび割れ幅が大きく独立版となっていることから、コンクリート版下部の路盤が不平等沈下することで支持力が低下し、そこに荷重が繰り返し作用することでひび割れが発生したと推定される。

③対策：独立版となっている箇所を取り壊して接着剤を塗布してコンクリートを打ち込む。

④補修フロー：

・剥離部打換え：切断(深さ150mm)→機械切削し必要に応じて人力ハツリ→たたき検査→研掃(投射密度100kg/m<sup>2</sup>)→接着剤塗布→コンクリート打込み→養生→目地切削→目地注入



写真-3 隅角部ひび割れと剥離



写真-4 版端部縦横断ひび割れ

#### 3.2.2. 補修タイプⅡ（版端部縦横断ひび割れ）

①特徴：部分的にひび割れ幅は大きく、ひび割れがコンクリート版全体に横断しているものと、横断していない場合に大別できる。

②発生要因：ひび割れは隅角部のひび割れと同様に、路盤の不平等沈下が主要因と考えられる。コンクリート版全てを横断していないものも、今後の温度変化や荷重载荷によって横断するひび割れにまで進展する可能性も考えられる。

③対策：ひび割れがコンクリート版全てを横断して深さも貫通している場合は打換え、版全てを横断しても深さが貫通していない場合はひび割れ部の打換え、そして、版全てを横断していてもひび割れ幅が大きな場合は浸透性接着剤により補強する。

④補修フロー：

・打換え：全断面切断→「機械+人力ハツリ」または切削後に「機械+人力ハツリ」を実施→側面接着剤塗布→コンクリート打込み→養生→目地切削→目地注入。

- ・ひび割れ部打換え：切断(深さ150mm)→切削後に必要に応じて人力ハツリ→たたき検査→研掃(投射密度100kg/ m<sup>2</sup>)→接着剤塗布→コンクリート打込み→養生→目地切削→目地注入。
- ・接着剤浸透：ひび割れ部清掃→浸透性接着剤の塗布(浸透)→表面の余剰樹脂を研掃(投射密度200kg/ m<sup>2</sup>)にて除去。

### 3.2.3. 補修タイプⅢ (版中央縦横断ひび割れ)

- ①特徴：補修タイプⅢと同じ。
- ②発生要因：ひび割れは隅角部のひび割れと同様に路盤の不同沈下が主要因と考えられる。但し、供用後数年で発生した乾燥収縮ひび割れや、温度ひび割れ等の微細なひび割れがその後の不同沈下と荷重の繰り返し作用によりひび割れに進展していった場合もあると考えられる。また、コンクリート版の全てを横断していないものについても、今後の温度変化や航空機の荷重载荷により、コンクリート版の全てを横断するひび割れにまで進展する可能性も考えられる。
- ③対策：補修タイプⅢと同じ。
- ④補修フロー：補修タイプⅢと同じ。



写真-5 版中央縦横断ひび割れ



写真-6 目地補修跡

### 3.2.4. 補修タイプⅣ (目地補修跡)

- ①特徴：補修モルタルが浮いており、独立モルタル片として挙動している。
- ②発生要因：施工時の目地補修の再損傷。
- ③対策：すべてを撤去して、接着剤塗布後に繊維入り無収縮モルタルによる再補修。
- ④施工フロー：切断→既存目地モルタル撤去→清掃→接着剤塗布→モルタル充填→目地切削→目地注入。

### 3.2.5. 補修タイプⅤ (微細ひび割れ)

- ①特徴：ひび割れ幅は極めて小さく、コンクリート舗装表面の乾燥によるプラスチック収縮ひび割れであり、目地近傍にはやや幅広のひび割れが散見されるが構造的な問題はない。
- ②発生要因：ひび割れは表面から数mm程度の深さと考えられる微細なひび割れであり、乾燥収縮に伴うひび割れと考えられる。但し、特定の箇所にもみ発生している傾向にあり、乾燥収縮とその他要因との相乗効果によるものと考えられ、発生要因の推定には更なる調査が必要と考える。
- ③対策：ひび割れ幅の閉塞を目的とした浸透性接着剤の表面塗布
- ④補修フロー：ひび割れ部の清掃→浸透性接着剤塗布(浸透)→表面の余剰樹脂を研掃(投射密度200kg/ m<sup>2</sup>)にて除去

## 3.3. 付着オーバーレイ工事

滑走路側の南端を基点として建屋側の北端に向かって勾配規定に基づいた計画勾配で嵩上げとするため、南端のコンクリート版は50mmの最低厚さが確保できるまでの範囲を切削し、北側は嵩上げが200mm以上となる範囲はアスファルト舗装を中間層とする分離オーバーレイとした。また、空港を運用しながらの施工となるため、2015年1月～3月に第1施工ステップとして駐機エプロンの

東側を閉鎖して施工を行い、2016年2月～8月に第2施工ステップ(図-2)、第3施工ステップ(図-3)、第4施工ステップ(図-4)を順番に施工した。特に第3施工ステップと第4施工ステップについては滑走路より進入する航空機のマヌバリングを考慮した矩形の施工範囲とし、近接作業においては通過する航空機に支障を及ぼさないように注意して施工を行い、2016年9月にアスファルト舗装を完了し、竣工した。

#### 4. まとめ

平成26年度および27年度に実施された出雲空港エプロン改良工事において接着剤塗布機を用いた接着剤塗布型付着オーバーレイ工法が実施された。本工法は平成20年にPFI事業において検討から2件の本施工を実施している。しかし、今回の出雲空港では、基盤となる既設エプロンに不同沈下起因すると思われるひび割れや乾燥収縮などによる微細なひび割れがあり、エプロンの健全性の評価と適切な補修が求められ、調査検討により決定した対策(補修)を行ってから付着オーバーレイ工による高さ修正(勾配修正)を実施した。また、1月初旬～2月末の降雪の伴う冬期から梅雨を経て7月～9月における夏季まで多様な気象条件における施工となったが、基本的な寒中施工対策と暑中施工対策を補修工事から付着オーバーレイ工事において確実に実施することで有害なひび割れやはく離などを防ぐことが出来た。今回の施工経験を踏まえて、接着剤塗布型付着オーバーレイ工法の適用にあたり既設エプロンの健全性評価を行う診断技術および補修対策について検討を深め、今後の現場に応用したい。最後に本工法の開発における各種実験や検討、試験施工のフィールド提供などを住友大阪セメント㈱ならびに㈱ケミカル工事の両社に御協力をいただいた。また、出雲空港の現場施工では平成26年度に日発工業㈱・ヒカワ工業㈱特別共同体、平成27年度はまるなか建設㈱・ヒカワ工業㈱特別共同体にて施工が行われた。ここに感謝の意を申し上げる。

#### 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) 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F Vol.65 No.4、501-515、2009.11

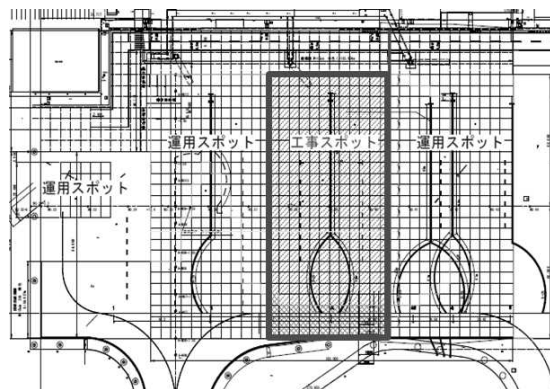


図-2 第2施工ステップ

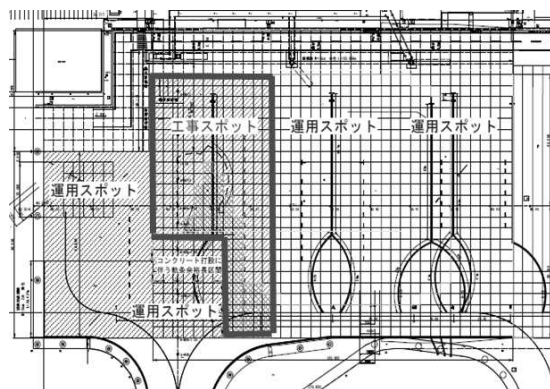


図-3 第3施工ステップ

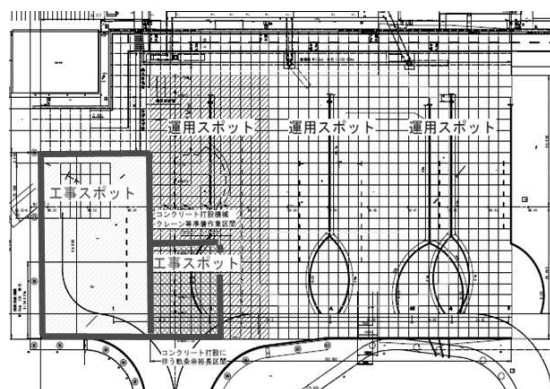


図-4 第4施工ステップ