

伊丹空港におけるプレキャストコンクリート版のIPH工法を用いた延命化

山根 成陽¹

¹関西エアポート株式会社 基盤技術部 伊丹基本施設グループ

(〒560-0036大阪府豊中市蛍池西町3丁目555番地)

大阪国際空港のエプロン誘導路に存在するプレキャスト版は、長年の供用により舗装の劣化が見られ、舗装の延命化が課題となっている。そこで、内圧充填接合補強（IPH工法）を用いることで舗装延命化の検討を行った。施工にあたり、2023年度に試験施工を実施し、施工性や補修前後の強度について確認を行い、一定の効果が見られることから、2024年度に本工事を実施した。施工後は、点検において変状数が少ないことを確認している。本論文では、これら一連の取り組みについて報告する。

キーワード 延命化, プレキャスト版, IPH工法

1. はじめに

大阪国際空港（以下、伊丹空港）は、1939年の開港から2025年時点で86年を迎えた。航空機が駐機するエプロン及び、エプロンへ向かう航空機が通過するエプロン誘導路においては供用年数が50年以上経過している箇所もあり、点検結果を踏まえた上で、優先度を決めて改修を行っているところである。空港におけるコンクリート版の改修には、主に無筋コンクリート（以下、NC版）を用いているが、エプロン誘導路など日々復旧が求められるエリアについては、プレキャストプレストレストコンクリート舗装版（以下、PPC版）やプレキャスト鉄筋コンクリート版（PRC版）が用いられる。プレキャストコンクリート版はNC版に比べて改修費用が高く、舗装を延命化させることが課題となっていた。そこで、内圧充填接合補強 Inside Pressure Hardening（以下、IPH工法）という延命化工法を採用し、費用の低減を図りつつ安全・安心を確保できる方法を模索した。この工法は、空港のエプロンにおいては過去に県営名古屋空港²⁾において採用された実績がある。伊丹空港においては、2023年度に試験施工を実施し、施工直後及び1年後の経過観察において効果が認められたことから、2024年度に範囲を拡大して本工事を施工した（図-1、2）。本論文では、IPH工法を用いた舗装の延命化にむけた一連の取り組みについて報告する。

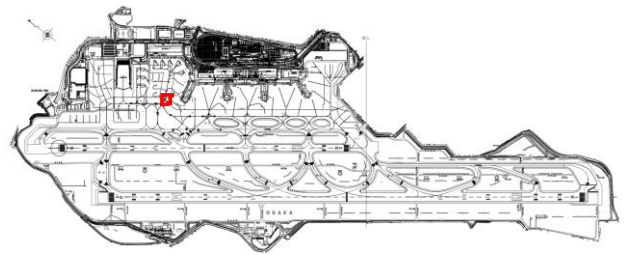


図-1 工事範囲

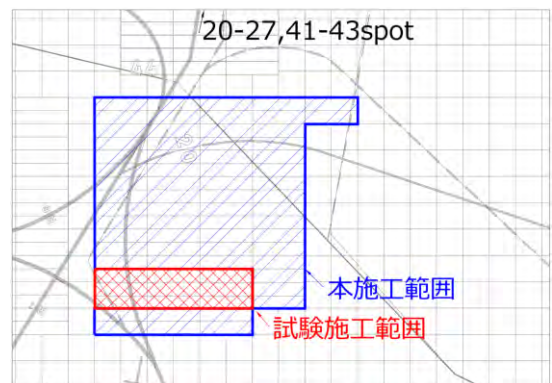


図-2 工事範囲（拡大図）

2. IPH工法の概要

本工法は、注入器具取付位置を穿孔し、コンクリート内部から流動性の高い樹脂を低圧で注入することで、微細なひび割れまで高密度・高深度・高拡散の充填が可能

な工法であり、土木学会技術評価委員会で評価²⁾を受けた実績を有する。注入用の樹脂は流動性が高く、硬化後は無収縮で高強度・高接合性によりコンクリートと一体化し、強度の回復が期待できる上に、耐久性の向上によりライフサイクルコストの低減を図ることができる。一般的な樹脂注入工法においてはコンクリート表面のひび割れ位置から樹脂を注入するため、微細ひび割れまで充填することができなかったが、IPH工法においては0.01mm幅の微細なひび割れまで流動性の高い樹脂を充填させることができるため、ひび割れや豆板（ジャンカ）、漏水に対して効果があり、今回補修の対象としたPPC版以外にも橋梁（梁・床版）やトンネルなどへの適用事例がある。また、空港土木施設等維持管理マニュアル³⁾においてコンクリートのひび割れに対する維持工法として記載され、本工法は2020年4月より空港における標準的な工法として位置づけられている。

3. 補修対象範囲の構造と破損状況

今回補修の対象としたのは図-2に示すPPC版72枚（A=1,800 m²）である。このエリアは航空機が駐機する20番スポット後方のエプロン誘導路上にあたり、20～27番スポット及び41～44番スポットへ向かう飛行機が行き来するため、重要な動線となっている。当該エリアは、2000年度にPPC版に改修され、供用から25年以上が経過している施設である。図-3、4にPPC版の平面図と断面図を示す。PPC版には版同士を接続する接手構造であるホーンジョイント（以下、HJ）があり、経年劣化によ

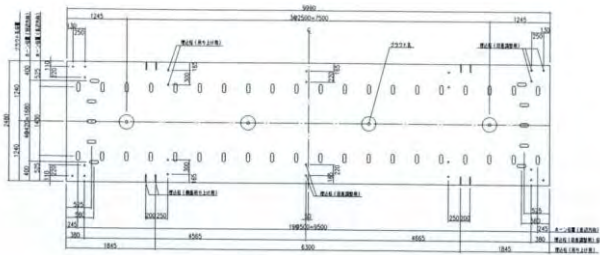


図-3 PPC版平面図

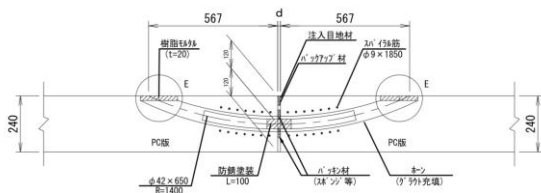


図-4 PPC版断面図



図-5 HJ部の変状状況 a)と従来の補修状況 b)

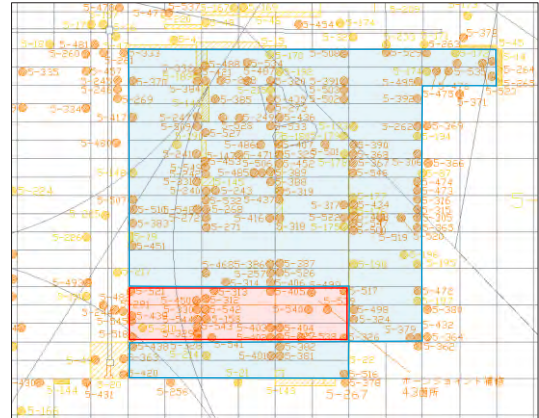


図-6 巡回点検における変状位置図

りHJ部の穴埋めモルタルの破損や飛散が発生している。（図-5）。また、HJ部以外にPPC版本体についても異常が見られており、浮きや表層剥離が生じている箇所がある。2018～2022年度までの5年間の巡回点検で見つかった変状数は試験施工範囲で計71箇所、本施工範囲で145箇所（図-6）と非常に多く、そのほとんどを樹脂モルタル等で補修していた。

4. 試験施工の実施と1年経過後の状況

(1) 試験施工の目的と概要

IPH工法による舗装の延命化の有効性及び施工性について確認するため、2023年にPPC版9枚（A=225 m²）及び1年経過後のモニタリングを実施した。本工事は、空港制限区域内での施工であり、航空機の運航に支障をきたさないように作業時間帯に厳しい制限が設けられており、具体的には運航終了後から始発便までの深夜帯（22時半から翌朝6時）のみ作業可能で、実質的な施工時間は1日7時間程度に限られていた。そのため、夜間に樹脂注入が完了し、硬化した上で翌朝施工区域を開放できるかについても確認を行った。

(2) 施工フロー

施工は、図-7に示すフローで実施した。大まかな流れとしては事前調査（打音調査等）により注入が必要と思われる箇所を抽出し、注入箇所を決定した後、樹脂注入のための事前準備である位置出し・清掃・穿孔・防漏処



図-7 施工のフロー

置・台座取付を行った後、樹脂注入と硬化のための養生を行い、最後に器具の撤去・清掃を行う。施工後は、施工結果について確認するため、事後調査（打音調査等）及び採取したコアに対し圧縮強度試験を実施し、設計基準強度を満足しているか確認を行った。なお、使用した樹脂は通常用いられるエポキシ樹脂ではなく、短時間でも硬化するアクリル樹脂を使用し、硬化に要する養生時間の短縮を図った。

(3) 補修範囲の決定と課題

事前調査においては目視・打音調査及びコンクリートの強度を叩くことで調べることのできるコンクリートテスト⁴⁾（以下、CTS）調査を実施し、樹脂の注入箇所を決定した。CTSには加速度計が内蔵されており、打撃力波形を測定でき、コンクリート表面部（深さ50 mm程度）の健全度が測定できる装置である。

なお、CTS調査はデータのばらつきを考慮し、HJ部は左右2点を各点3回ずつ測定、PPC版の浮き・剥離に対しては打音調査により40 cm四方を1箇所として不良箇所を選定した後、1箇所40 cm四方を4分割して、各点で3回ずつの測定を実施した。CTS調査で得られた表面劣化度指数（以下、INDEX値）の0.9～1.5を正常範囲とし、各点3回の平均値が正常範囲以外の場合、または3回のうち2回以上が正常範囲以外にある場合は不健全と判断し、補修

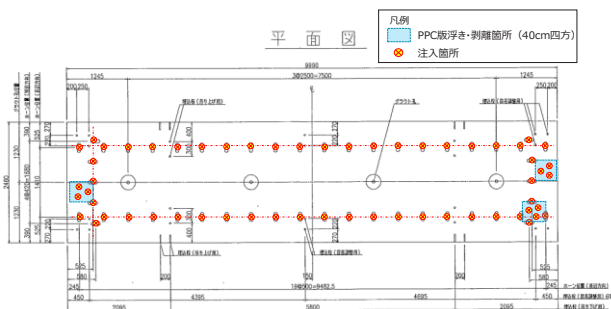


図-8 樹脂注入箇所

箇所とした。

注入は、図-8のように、HJ部については各HJで1箇所削孔して1本（50 cc以内）、PPC版の浮き・剥離箇所に対しては1箇所40 cm四方を想定し、各場所につき3本（合計150 cc以内）を想定していた。しかしながら、事前の打音調査等により1か所からの注入ではHJ部全面に樹脂が浸透しない懸念がある箇所は2か所からの注入に変更した。そのため、当初の想定と事前調査後の数量は表-1となり、当初よりも注入本数が1.4倍（155本の注入本数増）と大幅な数量増になった。本工法においては、調査による数量変更を想定した上で、施工をすることが望ましい。

表-1 事前調査による補修対象

	全数	要補修箇所 (注入本数)	要補修率 (%)
HJ部	448	244 (399)	54.5
PPC版 浮き・剥離	93	50	53.8

(4) 補修前後の強度変化

表-2に施工後に採取したコアに対して実施した圧縮強度試験の結果を示す。未補修の健全部の平均強度が7683 N/mm²に対して、補修前ではコア採取が困難な不健全部のIPH補修後のコアは8694 N/mm²と約1.1倍の強度の増強が確認できた。また、PPC版の設計基準強度は40 N/mm²であるため、約22倍の強度となり、十分な強度回復が得られたことが分かった。また、施工性については施工を実施した4月において樹脂の硬化時間は約15時間で、翌朝の解放までに硬化することが確認できた。

表-2 圧縮強度試験結果（試験施工）

	箇所	本/箇所	試験体数	平均圧縮強度 (N/mm ²)
健全部 (IPH未補修)	3	3	9	76.83
不健全部 (IPH補修後)	6	3	18	86.94

(5) 1年経過後のモニタリング結果

施工から1年経過後（2024年）に、現場の状況についてモニタリングするため、目視及びCTS調査によるINDEX値の計測を実施した。表-3に調査結果を示す。

HJ部については樹脂注入を実施した1箇所と、補修実施時は健全であり補修を実施しなかった1箇所で不健全と判定された。全補修数（371箇所）に対して異常が見られたのはわずか0.2%であり、経過は良好であった。なお、HJ部につい

ては目視点検により、新たな変状が12箇所発見されたが、樹脂注入を実施しなかった箇所の新規ひび割れや、樹脂注入箇所の欠損（図-9）であり、強度には影響を与えない軽微なものであった。これらの結果を踏まえ、経年劣化により1年前は健全であっても状況が変化する場合があるため、本施工では事前のCTS調査にかかわらずHJ部の全数を補修の対象とすることとした。

また、PPC版の浮き・剥離箇所については、補修を実施した全箇所で良好で、目視点検でも変状は見られなかった。これらの結果より、IPH工法がPPC版の健全化に有効であると認められたため、範囲を広げて本施工を実施した。

表-3 モニタリング調査結果

	全補修数	1年経過後 良好	1年経過後 不良
HJ部	371	370	1
PPC版 浮き・剥離	50	50	0



図-9 1年経過後のHJ部の欠損状況

5. 本施工の実施

(1) 本施工の実施内容

本施工は2024年度に、試験施工範囲を除くPPC版63枚（A=1,575 m²）で実施した。試験施工を踏まえて、HJ部については事前のCTS調査を省略し、全数を補修の対象とした。HJ部については試験施工時と同様、目視と打音調査の結果、1箇所につき2本注入の必要となる箇所が多かったため、当初の想定としていた2,923箇所に対して、4,211箇所（1,288箇所増）となった。また、PPC版の浮き・剥離箇所についてはCTS調査によって得られた結果から、試験施工時と同じ基準で不健全と判定された箇所に加えて、正常範囲を外れた箇所を抽出し、補修の優先度を定めるためのランクを表-4に示すLevel1～6まで設定し、施工者と協議の上補修対象範囲を決定した。なお、INDEX値のランク付けは、Level1は軽微な不健全箇所、

Level6に向かうほど表面劣化している可能性が高い指標となる。今回は軽微な不健全箇所も含めて全て補修するために、Level1～6に該当する全ての範囲を補修箇所とした。

表-4 CTS調査のINDEX値によるレベル分け

	INDEX 下限値	INDEX 上限値
Level1（軽微）	0.72～0.90	1.50～1.68
Level2	0.54～0.72	1.68～1.86
Level3	0.36～0.54	1.86～2.04
Level4	0.18～0.36	2.04～2.22
Level5	0～0.18	2.22～2.40
Level6（重度）	0以下	2.40以上

(2) 樹脂注入と1日の作業面積

本施工においては、試験施工と比べて注入箇所数が多いため、作業可能時間と硬化時間に注意しながら作業を進める必要があった。樹脂は調査後から硬化が開始するため、手早く注入作業を行う必要がある他、クラックの大きさによって注入速度が異なるため、注入が完了した場合は適宜注入器を取り外し、新たな注入器を取り付ける必要もあり、全体の作業エリアを見渡した上で、作業を進めていく必要があった。注入は硬化養生時間や最後の注入器取り外し等の清掃作業も考慮し、PPC版10枚/日（HJ部約660箇所注入）のペースで作業を実施し（図-10）、運用開始時刻よりも早めの朝4時ごろには施工を終えることができた。

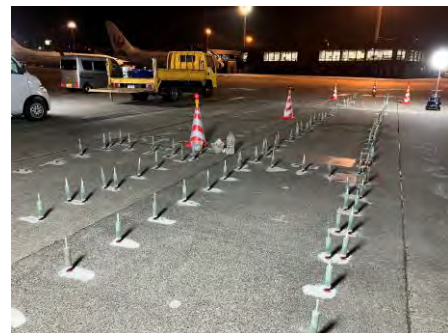


図-10 樹脂注入中の状況

(3) 施工結果と評価

樹脂注入後は、試験施工時と同じくCTS調査及び採取したコアの圧縮強度試験により確認を行った。表-5に事前調査と事後調査のCTS調査の結果を、表-6に施工後に採取したコアの圧縮強度試験の結果を示す。

HJ部のCTS調査結果においては、337箇所において不健全の判定が出てしまったが、その多くがLevel1で、一

部がLevel2の判定であった。本施工において、HJ部は事前調査を省略したため、補修前後での比較はできないが、不健全部は全体の5.8%であった。

また、PPC版の浮き・剥離箇所においては、補修対象としたLevel1～6の459箇所のうち、補修後でも77箇所がLevel1～3に該当していたが、いずれの箇所も補修前後でLevelは低下しており、軽微な不健全箇所の判定へと改善した。補修後で不健全箇所の判定が出た理由として、CTS調査においてはハンマーの打撃の角度等でデータのばらつきがあることや、剥離は線状に発生していることが多く、不連続の線状剥離が入り組んだ形となっている場合は、樹脂が注入されない剥離も残ることなどが考えられる。今回の施工においては、施工者の判断により注入後にも再度打音調査を実施し、注入が足りないと思われる箇所については再注入を実施している。また、工事完了時においても発注者側で不健全箇所を打音により確認したが、施工前後で打音した際の跳ね返りと音が変わっており、補修した効果が現れているものとする。

また、採取したコアの平均圧縮強度については、未補修の健全部については68.63 N/mm²、IPH補修後は68.99 N/mm²となり、いずれもPPC版の設計基準強度40 N/mm²を上回った。しかしながら、本施工における補修後の平均圧縮強度は、試験施工時よりも低く、健全部と比較して大幅な強度回復は得られなかった。この理由としては、ひび割れの状態や部材内部に入る樹脂の注入量によってばらつきがあることが考えられる他、今回補修を実施したエリアの

表-5 補修前後でのCTS調査の結果 (PPC版浮き・剥離)

	補修前	補修後
該当なし	2	384
Level1 (軽微)	10	60
Level2	32	12
Level3	123	5
Level4	117	0
Level5	83	0
Level6 (重度)	94	0
合計 (調査全数)	461	461

表-6 圧縮強度試験結果 (本施工)

	箇所	本/箇所	試験体数	平均圧縮強度 (N/mm ²)
健全部 (IPH未補修)	6	3	18	68.63
不健全部 (IPH補修後)	6	3	18	68.99

補修前強度が低かったことが考えられる。補修後の調査においてLevel1～3に該当した箇所については今後も注視して経過観察・点検を実施し、必要に応じて再注入も検討していきたい。

6. まとめ

本工事は、プレキャスト版を対象に、IPH工法を用いた延命化について検討を行った。試験施工エリアについては補修後の巡回点検において、2023年度と2024年度の2年間の変状数はゼロであり、経過は順調である。本施工エリアも含めて、今後も状況を経過観察していきたい。

また、伊丹空港にはプレキャスト版による舗装が約7,500 m²あり、今後は他のエリアへの適用も検討しており、安全・安心を第一に、ライフサイクルコストの低減につなげていきたい。



図-11 工事完了後の状況

謝辞：本論文の作成にあたり、試験施工及び本施工を実施いただいた協和道路株式会社及び技術提案をいただいた株式会社ガイアートには多大なるご協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 若山 裕泰, 波岡 雅昭: 名古屋空港におけるプレキャスト舗装版の補修対策と追跡調査結果について, 第20回空港技術報告会, 国土交通省航空局
- 2) 土木学会: 「コンクリート構造物におけるIPH工法(内圧充填接合補強)の設計施工法」に関する技術評価報告書, 土木学会技術推進ライブラリーNo.20(2017), 資料 1pp. 1-3, 2022
- 3) 国土交通省航空局: 空港土木施設等維持管理マニュアル(案), pp. 120-130, 2025
- 4) (一社)日本非破壊検査協会規格 NDIS 3434-3 「機械インピーダンス試験