

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の結果について

株式会社ガイアート *¹ 若山 裕泰
*² 波岡 雅昭

1. はじめに

プレキャストプレストレストコンクリート舗装版（P P C版）は、全国21の空港において、昭和51年より計373,000㎡敷設され、県営名古屋空港においても、エプロン誘導路に約40,300㎡が敷設(写真-1)されている。P P C版相互はホーンジョイント（以下、H J）（図-1）によって接合され、航空機の輪荷重を伝達しているが、H Jの蓋（後埋モルタル）の破損や飛散、版の表層剥離(写真-2・3)が発生している。全国の空港においても同様な損傷が発生し、コンクリート片の飛散は航空エンジンの異物衝撃破損（FOD）の原因となり、重大事故へ繋がる懸念があることから、日々の舗装面点検と定期的な補修工事が行われている。航空機運用の安全性の確保と維持費低減等を目的に、高耐久補修工法の採用が喫緊の課題となっている。

従来のH J蓋の補修は、破損した蓋を除去してメタクリル系の跡埋め補修材を充填する方法で行われてきたが、補修後半年程度で、破損や飛散が生じる箇所が認められた。空港担当者と従来補修方法に替わる工法を検討するにあたり、「健全度調査」と「試験施工」を行うこととした。「26年度試験施工」により良好な結果が得られた内圧充填接合補強工法（I P H工法）が、平成27年度より設計採用されることになった。

本報文は、県営名古屋空港において、平成27年度から4年間、約6,000箇所におけるI P H工法による補修効果について取りまとめたものである。



写真-1 P P C版

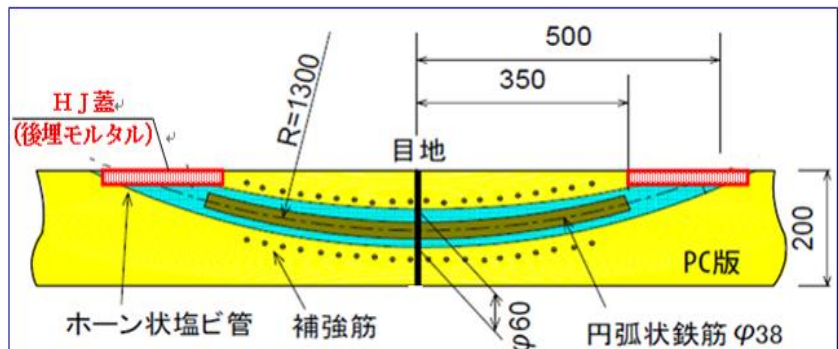


図-1 ホーンジョイントの構造イメージ



写真-2 H J蓋 破損状況



写真-3 版表層剥離状況

*¹ 関東支店営業部長 ， *² 中部支店営業部長

2. 事前調査方法

2.1 調査方法の選定

従来は、目視調査により「蓋部が飛散している箇所」および「ひび割れが顕著な箇所」を選定し、補修箇所を決定していたが、客観的な判定基準がなく、調査担当者の感覚にたよる点が大きかった。試験的に打音調査を行ったところ、調査員による判定結果の違いがあるうえ、同じ調査員であっても開始時と数百箇所の調査後では判定結果に違いが生じた。一方で、ひび割れが微細でも浮き、剥離が生じて簡単に剥がれる箇所が有り、打音検査でも見落とすことが判明した。このため、調査データの記録が残り、補修の要・不要を客観的に判定できる非破壊での調査方法を検討することとした。

コンクリート構造物の非破壊検査は、打音系のほかに赤外線・弾性波・X線・電磁波レーダー・レーザー・中性子等 多数の機器・検査方法があり、検査により得られる情報は様々で価格の幅も広いいため、下記の条件より検査機種の選定・検討を行った。

- ① 汎用品で入手（レンタル・購入）が容易で、出来れば安価なもの
- ② 測定・取扱いに高度な熟練を要しない（短時間の練習程度で測定可能）
- ③ 測定が容易（前処理や外部電源を必要とせず、可搬性に優れる）
- ④ 現地で測定結果を確認でき、記録が残せる
- ⑤ 補修の要・不要が容易に判断できる
- ⑥ 測定原理等が明確である

以上の検討から、以下に示す打音調査と2種類の非破壊検査機器に絞りこみ、試験調査を行った。

(1) 打音調査

- a. ハンマーの打撃音による健全度判断

(2) 非破壊検査機器 (1) コンクリートテスタ. CTS-02（以下、CTS）（参考文献-3）

- a. 圧縮強度の推定・表面の劣化度合い・表面近傍の浮き・剥離を評価
- b. 加速度計内蔵のハンマ打撃によって得た打撃力波形を「機械インピーダンス法」で解析

(3) 非破壊検査機器 (2) iTECS-6（以下、iTECS）（参考文献-2）

- a. 衝撃弾性波法で、健全性（圧縮強度・内部欠陥・浮き・ハクリ・ひび割れ深さ等）を評価
- b. インパクト（ハンマー）の打撃によって伝播する弾性波を加速度センサーにて受信・解析

2.2 非破壊検査による試験調査

調査対象範囲の約半数のHJ蓋にひび割れが発生しており、多くは蓋中央付近で発生し、打音による調査ではひびの左右で音質が違う箇所が多いことから、蓋の左右で測定することとした。両調査方法とも測定に要する時間は1箇所1分以内で、準備・移動の時間を含めても1箇所当り2分程度であった。測定に必要な技術者は、CTSは1名、iTECSは2名1組であった。熟練技術者によるデータ解析、結果整理に、両方法とも50箇所程度/日を要した。

浮き・剥離の有無の判定は、CTSとiTECSでは同様の判定結果となったが、これらの判定結果と打音検査との比較では、一致する結果はわずか41%であった。（表-1）

表-1 測定結果の比較

| 判定結果 | | 箇所数 | 割合 |
|-------|---------|-----|-----|
| 打音検査 | ※ 非破壊検査 | | |
| 健全 | → 浮き・剥離 | 220 | 57% |
| 浮き・剥離 | → 健全 | 9 | 2% |
| 同判定 | | 158 | 41% |
| 計 | | 387 | |

※ 非破壊検査機器は、弾性波法の「CTS」と「iTECS」の2種

両非破壊検査方法とも、圧縮強度の推定等の情報を得ることが出来るが、補修の要・不要の判断基準を「蓋の浮き・剥離」に限定すれば、CTS（写真-4）は表面劣化の指標として表示されるインデックス値（打撃力が作用している時間とハンマーが押し戻される時間の機械インピーダンスの比率）にて、容易に判定できることが確認された。また、解析時間もインデックス値に限定することで、iTECSと比べ、約1/3に短縮できた。

以上の結果より、CTS調査より得られるインデックス値(図-2)を補修箇所選定の判定指標とした。

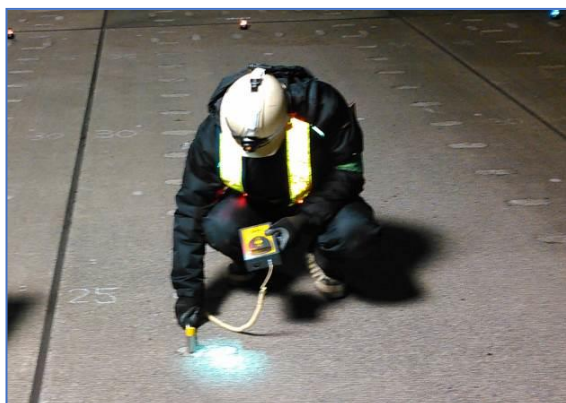


写真-4 非破壊試験 CTS

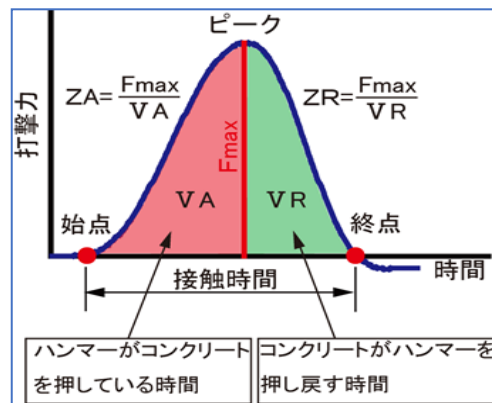


図-2 CTS波形モデル

3. 補修方法の選定

従来の「HJ蓋部に後埋めモルタルを充填する補修方法」に替わる工法として、HJ蓋に穿孔し、樹脂注入することで、コンクリート部材の強度回復や耐力向上についても期待できる『内圧充填接合補強工法（IPH工法）』を候補として、従来工法との比較調査を行った。

3.1 内圧充填接合補強工法（IPH工法）の概要

IPH工法は、注入器具取付け位置を事前に穿孔し、内部に存在する空気と置換しながら流動性の高い樹脂を低圧で注入することで、0.01mm幅の微細なひび割れまで密実に充填でき、コンクリートの耐久性を向上する工法である。(図-3、図-4)

概要を以下に記載する。(参考文献-1より抜粋)

(1) コンクリート補修・補強対象

- コンクリート構造物補修対象：
- a. ひび割れ、豆板(ジャンカ)、断面欠損、漏水抑制効果が期待できる対象
 - b. 中性化、塩害

(2) 特徴

- 特徴 1： 注入孔穿孔
- 特徴 2： 躯体内部空気を抜くカプセル構造
- 特徴 3： 高流動樹脂採用 (エポキシ/アクリル)
- 特徴 4： 超低压注入 (従来工法の1/10)

この注入システムにより、コンクリート内部の空気を排出することで負圧の状態を作り出し、高密度・高深度の樹脂注入と耐力の向上が確認されている。

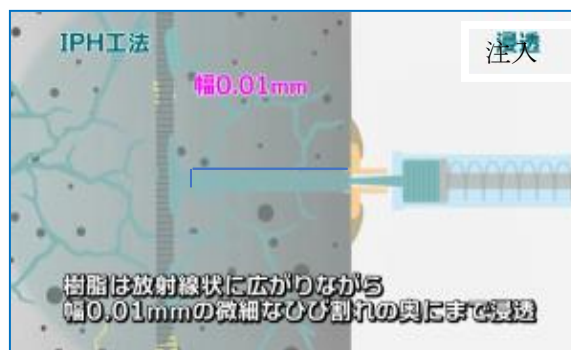


図-3 IPH工法 イメージ図

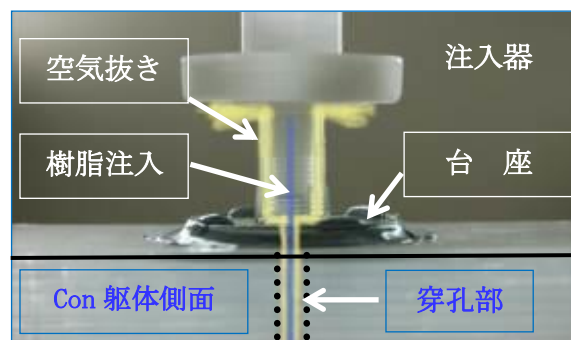
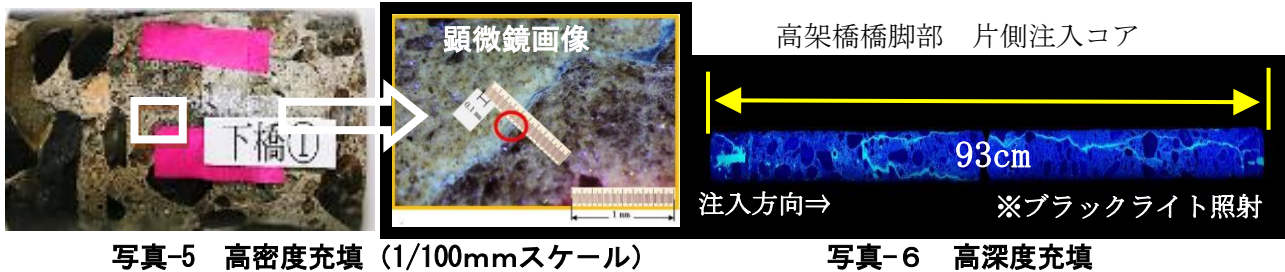


図-4 IPH工法 特徴イメージ

(3) 効果

写真-5のコアでは、明るく光っている部分が注入された樹脂であり、ひび割れ部やコンクリート本体の0.01mmの毛細管部にも充填されていることが、顕微鏡で確認できる。また写真-6のコアでは、左側から穿孔・注入をしており、コンクリートの深い位置（注入箇所より93cm）の微細部まで充填されている。



3.2 空港における補修検討

3.2.1 樹脂材料の選定

通常、IPH工法で構造物の補修注入を行う場合は、エポキシ系樹脂を使用して24時間の加圧養生を行うが、空港補修では時間的な制約があり、約2時間で硬化するアクリル系樹脂を採用した。

3.2.2 注入箇所数の検討および充填確認

樹脂注入箇所数の選定にあたり、試験的に、蓋1枚当たり①1箇所、②左右2箇所、③左中右3箇所、で注入し、コア採取により確認した結果、1箇所の注入で蓋全体の剥離部・ひび割れ部に充填されていた。コアはPPC版本体とHJ蓋部の接合部で採取している。HJ蓋と本体との界面部だけでなく、HJ後埋め部やPPC版本体の毛細管状の空隙にも樹脂が高密度に充填され、蓋部とPPC版本体が一体化されていることが確認された。この結果より、樹脂カプセル1本(50cc)/HJ蓋を注入することとした。(写真-7・8)



写真-7 樹脂注入状況

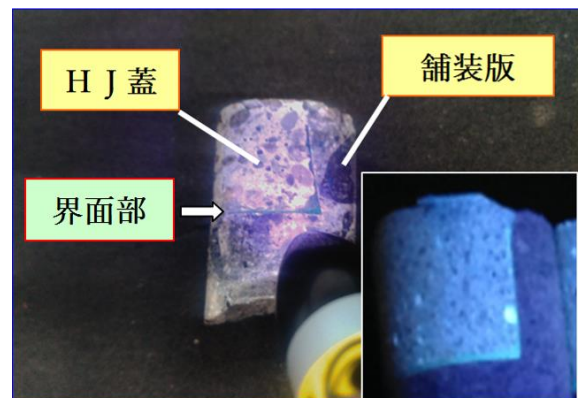


写真-8 HJ蓋補修 コア

3.3 IPH工法の採用

平成27年2月中旬に試験補修を行い、3月中旬まで1週間おきに確認調査を5回実施した。補修後1箇月と短期間ではあったが、非破壊検査で良好な結果が得られ、その後の路面点検においてIPH補修箇所にはひび割れ・飛散が生じていなかったため、翌年度からIPH工法による補修工事が継続して発注された。

4. 追跡調査

今回、令和元年9月におこなった追跡調査は、平成25年度～平成30年度の補修箇所（6年間分）の飛散箇所数を目視にて調査を取りまとめたものである。本調査では、年度毎の補修箇所数に対する飛散個数の割合により補修の効果を比較検証した。

4.1 飛散率調査結果

従来の「蓋部打換補修箇所」については平成25・26年度工事の補修記録がある1,696箇所、「IPHによる補修箇所」は平成27年度～平成30年度までの4年間の6,059箇所、ならびに「非破壊検査で健全と判断し補修不要」とした3,617箇所について調査を行った。調査の結果を表-2に集計した。

表-2 調査結果集計表

| 補修方法 施工年度 | 打換補修(従来工法) | | | IPH補修 | | | | |
|--------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | H25 | H26 | 計 | H27 | H28 | H29 | H30 | 計 |
| 補修箇所数 | 534 | 1,162 | 1,696 | 1,113 | 1,166 | 1,780 | 2,000 | 6,059 |
| 飛散箇所数 | 36 | 4 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 飛散率(%) | 6.74% | 0.34% | 2.36% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 補修不要箇所数 ※ | / | | | 448 | 303 | 2,184 | 682 | 3,617 |
| 飛散箇所数 | | | | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 飛散率(%) | | | | 0.00% | 0.00% | 0.05% | 0.00% | 0.03% |

※ 補修不要箇所数は、非破壊調査で健全部と評価され樹脂注入を行っていない箇所数

4.2 補修効果の検証

調査結果より、従来工法による補修箇所の飛散率は、2.36%であったのに対し、IPH工法による補修箇所の飛散率は0%であった。この結果よりIPH工法は有効な補修工法である事が確認された。また、CTS調査にて「健全な状態」と判断され補修を行わなかった箇所も、飛散率は0.03%と低く、補修工事の経済性から考えて、CTS調査は有効な調査・判定方法と考えられる。

5. 表層剥離

HJ蓋部調査の結果、コンクリート版本体にも空洞が生じている箇所があることが分かった。コンクリート浮き部を穿孔して調べたところ、表面から2～5cmの深さで水平剥離が生じ、0～5mm程度の空洞となっていた。浮き・剥離の多くはHJ蓋と蓋の間に発生し、中にはコンクリート版表面までひび割れが達し、陥没して口が開いている箇所もあった。（写真-9）

5.1 表層剥離部の補修

表層剥離部の補修は、開口がある場合はメタクリル系の跡埋め補修材で閉塞した後IPH工法により150mm間隔で樹脂注入を行った。（写真-10）樹脂注入の速度が極端に早い場合は、ひび割れがコンクリート版を貫通していることが考えられるため、各注入位置から樹脂カプセル1本（50CC）を注入し、樹脂が硬化し貫通開口部を閉塞するのを待って再注入することで、剥離部コンクリートと本体コンクリートの結合を図った。



写真-9 表層剥離箇所



写真-10 樹脂注入

5.2 樹脂充填確認

コアは、カッター（25mm径）で深さ70mm程度削孔し、コアを折ることで採取した。破碎位置はひび割れ接合部ではなく、本体母体部で破断していることが確認された。樹脂はひび割れ部とコンクリ

ート母体の毛細管部の微細なひび割れまで充填・接合されていたことから、表層剥離部の補修方法としてIPH工法が有効であることが確認できた。(写真-11・12)

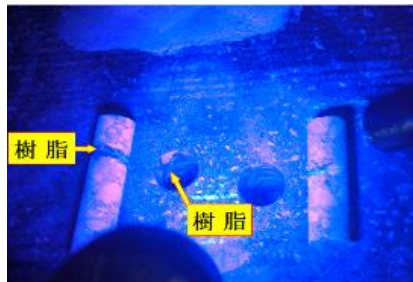


写真-11 剥離補修コア



写真-12 水平クラック

5.3 表層剥離部の事前調査

表層剥離については、調査対象が面であり範囲が広いため、赤外線や電磁波レーダーを使用した調査が一般的である。

赤外線サーモカメラにてコンクリート舗装版を撮影したところ、剥離の範囲を確認できた。(写真-13、写真-14)

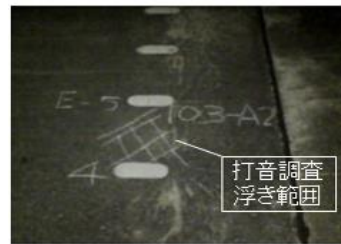


写真-13 薄層剥離部

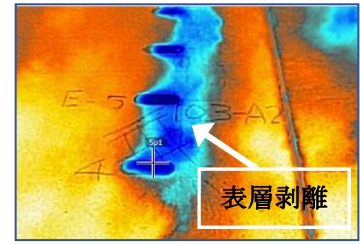


写真-14 サーモカメラ画像

今後は、ドローン搭載の赤外線サーモカメラにて舗装版を撮影し、調査範囲を絞ったうえでCTSにて確認して補修箇所を選定する方法が、調査効率と費用の面から有効と考えられる。現在、本試験調査の実施を名古屋空港事務所担当者と検討している。

6. まとめ

今回の調査結果により得られた知見を以下に示す。

- 1) PPC版のHJ蓋飛散抑制補修の事前調査による補修箇所選定には、CTSによる非破壊検査が効率的で有用である。
- 2) 空港におけるHJ蓋の補修は、従来の「メタクリル系跡埋め補修材への打換工法」に比べ、「アクリル系樹脂を使用したIPH工法」が有用である。
- 3) コンクリート舗装版の表層剥離部補修に対しても、IPH工法の有用性が確認できた。

IPH工法は、HJの弱点の根本解決策ではないが、特に空港における耐用年数を迎えたコンクリート版の修繕更新工事は費用の面で長期的な計画が必要であるため、本格的な修繕工事までのコンクリート版の延命措置として有効な工法であると考えられる。

今後、継続して調査を行い長期の耐久性について検証し、検討・改良を加えることで、より有効な点検・補修方法を早期に確立させることが望まれる。

謝辞

最後に、県営名古屋空港の担当者の皆様には、計画・立案等多大なご指導を頂き、この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 「コンクリート構造物におけるIPH工法(内圧充填接合補強工法)の設計施工法」に関する技術評価、土木学会技術評価証 第0009号(平成23年)・第0020号(平成29年)
- 2) (一社)ITECS技術協会 : ITECS技術によるコンクリートの非破壊試験
- 3) (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方法」
- 4) (一社)日本非破壊検査協会規格 NDIS 2426-2 「衝撃弾性波法」
- 5) 技術解説、日経コンストラクション 2018.3.12 p36～p37
- 6) PC舗装専門研究会 実績集 空港舗装