

本コーナーでは、PC 構造物やその技術に関して会員の知見をより広げるために、社会インフラとして幅広く利用されているさまざまな PC 技術を紹介します。

PC 舗装

志道 昭郎*1・吉松 慎哉*2

1. はじめに

コンクリート舗装は、無筋コンクリート (NC) 舗装、連続鉄筋コンクリート (CRC) 舗装、プレストレストコンクリート (PC) 舗装の3つに大別されます。PC 舗装は、わが国では 1958 年より施工され、以来さまざまな舗装構造が開発されてきました。道路、空港、港湾などさまざまな場所で使用されており、コンクリート舗装にプレストレスを導入することで、薄い版厚で重交通荷重に対応できる、耐久性の高い舗装といえます。また、工場製作のプレキャスト版を用いることにより、夜間などかざられた時間内での施工が可能といった特長もあります。近年では、実績の大部分がプレキャスト PC 版 (以降、PPC 版) 舗装となっています。そのため、本稿では、まず PC 舗装全般について述べ、具体の用途以降からは PPC 版舗装に特化して述べます。

2. PC 舗装の歴史

舗装の材料をめぐって「コンクリートかアスファルトか」の「白黒論争」が戦後から繰り広げられるなかで、1947 年にフランスのオルリー (Orly) 空港で PC 舗装が完成し、ヨーロッパ諸国をはじめ海外の空港舗装を中心に施工されてきました。

国内では、1958 年に大阪市鞆公園前道路が日本初の PC 舗装として施工され、1965 年から本格的な道路舗装として場所打ち PC 舗装が行われました。しかし、その後国内の一般道路ではアスファルト舗装が主力となり、場所打ち PC 舗装の採用はほとんどなくなりました。そのため、PC 舗装は主に空港での採用を目指し、空港を閉鎖する夜間の限られた時間内での施工が可能となる、PC プレキャスト版舗装工法が運輸省港湾技術研究所 (現在は、国立研究開発法人 港湾空港技術研究所) で開発され、1981 年に大阪国際空港 W2 (誘導路) で採用されました。PPC 版を用いた本工法は、耐久性が要求される自動車が停止・発進を繰り返す交差点などの道路や、耐重荷重性が要求されるコンテナヤードなどの港湾施設でも活用されています。

場所打ち PC 舗装は、道路舗装での採用はなくなりましたが、空港舗装では、1991 年から東京国際空港西側エプロンで施工されました。エプロン舗装では、舗装勾配が 1.0 % 以上で駐機中の航空機が自然移動し、0.5 % 以下で雨

水が滞水するため、舗装勾配は 0.5 ~ 1.0 % に維持する必要があります。東京国際空港は埋立地の軟弱地盤上であったため、地盤沈下や不同沈下が予想されました。不同沈下等による舗装勾配の変化を修繕するため、油圧ジャッキで舗装版を持ち上げるリフトアップ工法が開発され、リフトアップされた舗装版の耐荷性の確保と、広い面積の同時施工を可能とするため、場所打ち PC 舗装が採用されました。リフトアップ工法による場所打ち PC 舗装は、関西国際空港や東京国際空港東側エプロンでも採用されています。

3. PC 舗装の種類

3.1 場所打ち PC 舗装構造

(1) 構造一般

場所打ち PC 舗装は、新設工事や交通等の閉鎖が可能な工事、かつ比較的大規模な工事に適しています。路盤修正後に型枠を組み立て、シース・PC 鋼材の配置、鉄筋組立てを行い、コンクリート打設、強度発現後にポストテンション方式でプレストレスを導入します。写真 - 1 に示す東京国際空港のエプロン部への適用では、1 辺 75 ~ 100 m の区画に対して、一方向を幅 7.5 m 程度の場所打ち PC 版で分割製作し、横方向にプレストレスを導入して一体化しています。



写真 - 1 東京国際空港エプロン工事

(2) リフトアップ工法用の治具

場所打ち PC 舗装は、リフトアップに必要な工夫がされています (図 - 1)。

*1 Akio SHIJI : PC舗装専門研究会

*2 Shinya YOSHIMATSU : PC舗装専門研究会

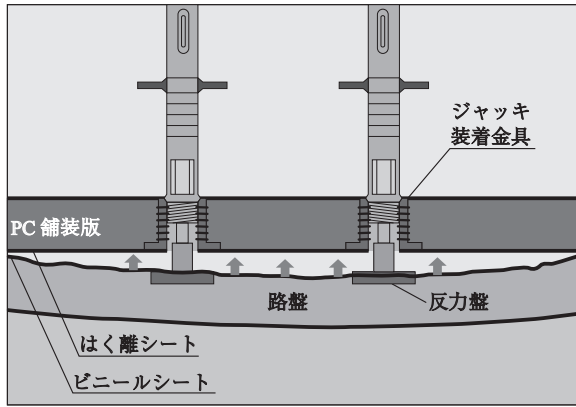


図 - 1 リフトアップ工法のイメージ図

① はく離シート

リフトアップしたときに、PC版と路盤との縁が切れるように、PC版の下面には剥離シートを貼っています。

② リフトアップジャッキ装着金具

PC版とジャッキとを接続するためのジャッキ装着金具と反力盤が埋め込まれています。

3.2 PPC版舗装

(1) 構造一般

PPC版は、版長方向にはプレテンション方式によるプレストレスが導入されており、版短方向には用途によってポストテンション方式によるPC構造かRC構造となっています。PPC版舗装は、PPC版および版相互を連結するジョイントと、版と路盤との間に注入する裏込めグラウトから構成されます(図-2)。

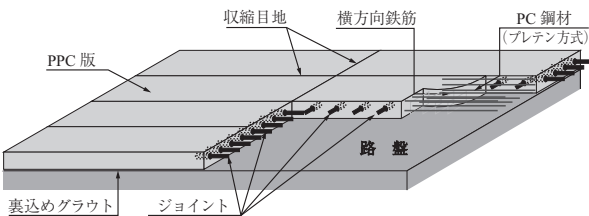


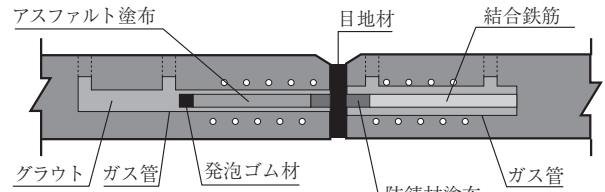
図 - 2 PPC版舗装の構造

(2) ジョイント構造

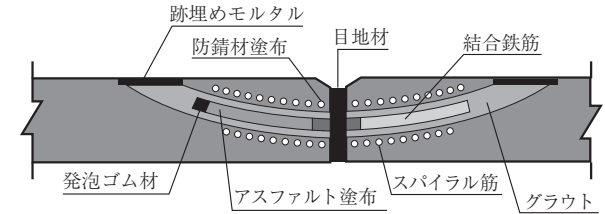
ジョイントは、鞘管、鋼棒および鞘管内に充填するジョイントグラウトから構成されています。ジョイント構造としては、水平ジョイントおよびホーンジョイントがあります(図-3)。一般に水平ジョイントが用いられますが、地盤沈下の影響などが想定される場合、PPC版の交換が容易なホーンジョイントが用いられることもあります。

(3) 裏込めグラウト

裏込めグラウトは、上層路盤の最上部に用いられるセメント安定処理土の一軸圧縮強度が2 N/mm²以上であることから、交通解放時には2 N/mm²以上の強度が求められます。PPC版下の路盤との空隙が10 mm前後であり、広範囲に注入するので、流動性の高いグラウトが使用されています。また、PPC版下に滞留水があり、重荷重が繰り返し載荷されるような厳しい条件下では、裏込めグラウトが破



a. 水平ジョイント



b. ホーンジョイント

図 - 3 ジョイント構造

碎、粉泥化して流失する現象が確認されており、疲労耐久性を向上させるため、セメント単味にフィラーを混入し、弾性係数を低く抑えたグラウト材が用いられ、繊維入りタイプも開発されています。

4. PC舗装の修繕方法

PC舗装は、港湾や空港施設では、埋立地の軟弱地盤上に設置されることが多く、地盤沈下や不同沈下が生じた場合には、舗装勾配を修復する必要があります。ここでは、その方法について説明します。

4.1 走行路版の舗装勾配の修復

トランスファークレーンなどの走行路の場合、写真-2に示すような治具を用いて嵩上げし、空隙に裏込めグラウトを注入して舗装勾配を修復します。

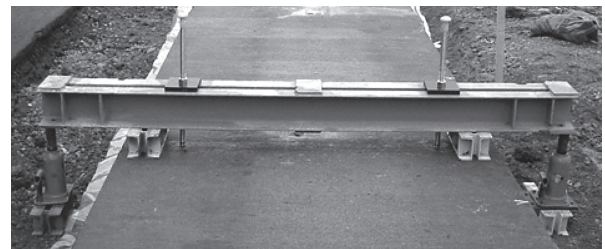


写真 - 2 嵩上げ治具による補修状況

4.2 リフトアップ工法

リフトアップ工法は、図-1に示すようにPC舗装版の沈下した部分に、所定間隔で専用の電動油圧ジャッキを取り付け、コンピューター制御によりPC舗装版を所定の高さに持ち上げて、路盤との隙間に裏込めグラウトを充填して舗装勾配を修復する工法です。

リフトアップジャッキは、油圧ジャッキ、油圧ポンプ、制御用コンピューターが一体となっており、各ジャッキごとにリフトアップ速度を調整、制御します。東京国際空港のリフトアップ工事では、最大54台のリフトアップジャッキを使用して、6～8時間の夜間閉鎖時間内で施工され

○ もっと知りたいPC 技術 ○

ました（写真 - 3）。1日の施工量は、裏込めグラウトの最大注入量が 30 m^3 以下になる範囲内とし、所定の舗装勾配となるように日々繰り返します。



写真 - 3 リフトアップ状況

5. PPC 版舗装の主な用途

5.1 道路舗装

自動車が停止・発進を繰り返す交差点では、アスファルト舗装はわだちぼれが生じ易く、また、耐用年数も10年程度と短いため、耐久性が高く、耐用年数も長いPPC版舗装が採用されています（写真 - 4）。



写真 - 4 道路交差点での適用事例

5.2 空港舗装

大型の航空機では、総重量満載時で約 400 t となり、脚荷重は 91 t にもなります。空港では、飛行機の走行回数が多くなる滑走路に平行な誘導路にPPC版舗装が採用されています（写真 - 5）。

5.3 港湾舗装

港湾では、荷役作業のためのトレーラー・トラックや大型フォークリフトが走行する岸壁のエプロン部、コンテナヤードのコンテナの運搬・積み卸しを行うためのトランスファークレーンの走行路にPPC版舗装が採用されています（写真 - 6）。



写真 - 5 大阪国際空港誘導路



写真 - 6 トランスファークレーンの走行路

6. PPC 版舗装の設計方法

6.1 PPC 版の形状

PPC版の形状は、輸送上の制約や敷設機材の性能、舗装範囲への版配置等から決定します。版長 $10 \sim 15 \text{ m}$ 程度、版幅 2.5 m 程度の実績が多く、厚さは、車両等の上載荷重による応力検討によるほか、かぶり厚やPC鋼材・鉄筋の配置、版相互を接合するジョイントの配置、施工性から決定されます。道路舗装は 170 mm 程度、空港舗装は 240 mm 程度の実績が多く、コンテナヤードの走行路版は使用クレーンによって様々な版厚が採用されています。

6.2 材 料

PPC版のコンクリートには、設計基準強度 40 N/mm^2 、設計曲げ強度 5.0 N/mm^2 のものが標準的に使用されます。プレテンションPC鋼材にはJIS G 3536に定められるPC鋼より線（T12.7、T15.2）が、ポストテンション鋼材にはJIS G 3109に定められるPC鋼棒または同上のシングルストランドタイプのPC鋼より線が用いられています。

6.3 路盤支持力

路盤支持力は、設計支持力係数で与えられ、一般に K_{75} で 70 MN/m^3 以上とされています¹⁾。これは、プレストレスが導入されるPPC版は、他のコンクリート舗装に比べて薄くできるため、交通荷重による路床や路盤の変形が大きくなることに配慮したものです。

6.4 荷重による応力度の算出

PPC版の設計では、使用限界状態においてひび割れの発生を許容しないひび割れの発生限界と、許容するひび割れ幅限界の2つが用いられます。版中央部には前者で、版縁部には後者で検討される事例が多いようです。以下に設計で考慮する各荷重について示します。

(1) 上 載 荷 重

上載荷重には、対象とする施設に適用される設計要領等で規定される交通荷重が用いられます。道路舗装では交通車両を対象とし、道路橋示方書²⁾の規定に則り、一輪100 kN荷重(接地圧0.7 kN/mm²)とするのが一般的です。空港舗装では、航空機やトーイングトラクターを対象とし、タイヤ配置や重量の異なる複数輪の航空機主脚荷重を換算した、等価単車輪荷重(ESWL)が用いられます³⁾。コンテナヤードの走行路版については、具体的設計例が示される要領等はありませんが、空港舗装と同様の手法を用いてトランスファークレーンの複数車輪荷重を換算して設計した事例もあります。

PPC版の応力解析モデルには平板モデルが用いられ、路盤を一次元の弾性バネで評価し、応力度はWestergaadの公式を用いて算出する手法が一般的です。

(2) 温 度 荷 重

温度荷重では、そり拘束の影響と路盤との摩擦拘束の影響が考慮されます。そり拘束応力とは、PPC版の上下面に温度差が生じると、伸縮量の差に伴うそり変形が版自重によって拘束されることにより発生する曲げ応力です。路盤摩擦による拘束応力とは、温度変化によるPPC版の伸縮を路盤との摩擦が拘束することによって生じる応力で、版端までの距離分の版自重に相当する引張力がそれぞれの断面で考慮されます。

(3) プレストレス

一般に、PPC版の長手方向にはプレテンション方式によりプレストレスは導入されます。一方、ポストテンション方式によるプレストレスは、PPC版の短手方向または複数枚のPPC版を一体化して大版架設する場合に用いられます。有効プレストレスには、以下の損失を考慮します。

- ① 導入前リラクセーションによる損失(プレテンション部材)
- ② シースとの摩擦による損失(ポストテンション部材)
- ③ コンクリートの弾性変形による損失
- ④ 導入後リラクセーションによる損失
- ⑤ コンクリートのクリープ、乾燥収縮による損失

7. PPC版舗装の施工手順

PPC版舗装の施工は、工場でのPPC版製作と現地でのPPC版敷設作業があります。施工手順を図-4に示します。

① 既設舗装の撤去

カッターおよび重機を用いて、既設のアスファルト舗装またはコンクリート舗装を撤去します。

② 路盤整正工

路盤材を敷き均し、所用の支持力が得られるよう転圧するとともに、上層路盤の高さを調整します。

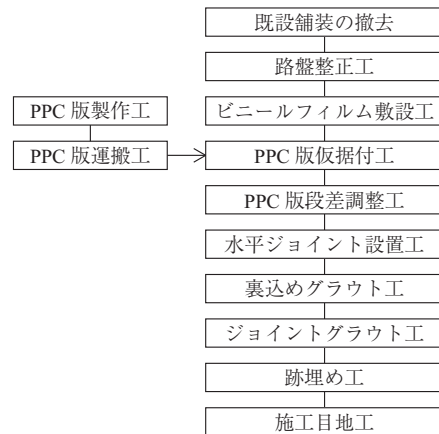


図-4 施工手順

③ ビニールフィルム敷設工

裏込めグラウトが路盤に浸透するのを防止するため、路盤上にビニールフィルムを敷設します。

④ PPC版仮据付工

工場から輸送したPPC版をクレーンで据付けます(写真-7)。



写真-7 仮据え付けの状況

⑤ 段差調整工

仮据え付けしたPPC版は、図-5に示す高さ調整装置で段差調整を行います。スクリーボルトは、裏込めグラウトが所定の強度($\sigma_{2h} = 3 \text{ N/mm}^2$)を発現してから取り外します。

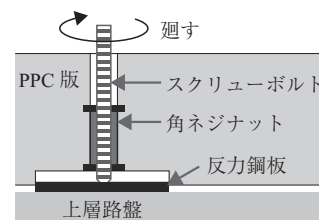


図-5 高さ調整装置

⑥ 水平ジョイント設置工

PPC 版の仮据え付け前に、あらかじめ PPC 版の鞘管に挿入したスリッパを圧搾空気で所定の位置に移動させます。スリッパの位置は、確認孔より確認します（図-6）。

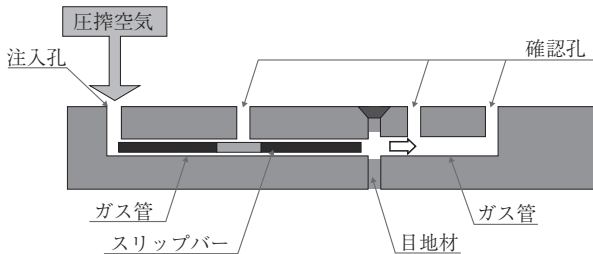


図-6 スリッパの設置方法

⑦ 裏込めグラウト工

裏込めグラウトは、グラウトミキサーを用いて練り混ぜ、計画高の低い方から順次自然流下で注入します。

⑧ ジョイントグラウト工

ジョイントグラウトは、スリッパが所定の位置に配置されたことを確認した後、ジョウロ等を用いて鞘管内に注入孔から注入します。

⑨ 跡埋め工

PPC 版吊上げ用インサートの跡埋め部、スクリューボルトおよび水平ジョイントの各孔の跡埋め部を樹脂モルタルで跡埋めします。

⑩ 施工目地工

PPC 版間の目地に、バックアップ材を所定の高さに挿入・設置し、プライマー塗布後、目地材を注入します。

8. おわりに

わが国の舗装の多くはアスファルト舗装です。アスファルト舗装は、走行性、静音性に優れ、施工コストが安価で交通解放までの時間が短いなどのメリットがある一方、重交通に対するわだちぼれ等の損傷が生じやすいことや、輸入材料のアスファルトが原油価格の変動の影響を受けやすいことその他、最近ではヒートアイランドに対する影響が懸念されることなどが報告されています。

一方、コンクリート舗装は、視認性に優れ、重交通に対しても高い耐久性を有し、使用材料の大半を国内で調達が可能というメリットを持っています。デメリットとしては、打設後の養生期間が長く必要で、交通解放が遅くなることや、温度伸縮の対応に一定の間隔で目地が必要となるため、走行性に劣ることなどがあげられます。これらの特徴を踏まえ、コンクリート舗装は、重交通箇所やバスターミナルや駐車場、補修による交通規制の実施が困難な箇所、トンネル内舗装等への適用が合理的と考えられます。

PPC 版舗装は、場所打ちコンクリート舗装に比較して、施工時間を大幅に短縮でき、プレストレスの導入でより高い耐久性を付与した舗装構造です。PPC 版舗装を適材適所に採用することで、今後さらなる高齢化社会を迎えるわが国では、より耐久性に優れ、ライフサイクルコストの低減に寄与できる舗装施設を提供できると考えられます。

参考文献

- 1) 「プレキャスト PC 版舗装 設計・施工マニュアル (案)」PC 舗装専門研究会, 平成 12 年 3 月
- 2) 「道路橋示方書 I 共通編」日本道路協会, 平成 24 年 3 月
- 3) 「空港舗装設計要領及び設計例」SCOPE, 平成 20 年 7 月 (平成 25 年 4 月一部改訂)

【2015 年 12 月 24 日受付】



刊行物案内

PC グラウトの設計施工指針
—改訂版—

平成 24 年 12 月

定 価 3,600 円 / 送料 300 円
会員特価 3,000 円 / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会