

PC 舗装の設計・施工

江口 逸雄*

1. はじめに

道路や空港の舗装は、アスファルト舗装とコンクリート舗装に大きく分けることができる。わが国では施工や補修の簡便さなどからアスファルト舗装の実績が勝っているが、道路舗装における重交通化や航空機荷重の大型化による舗装のわだち掘れや耐久性の低下、さらには、アスファルト舗装が一因となっている都市のヒートアイランド現象の問題などがあり、コンクリート舗装の必要性が増大してきている。

コンクリート舗装は、一般的に無筋コンクリート舗装（以下、NC舗装）で作られることが多い。コンクリートは圧縮には強いが、引張りには弱いという性質を有している。これを改善するために、1つは縦方向に異形鉄筋を連続的に配置することにより、コンクリートの収縮や温度降下に起因する横方向ひび割れを分散し、交通荷重に対するひび割れ面での荷重伝達を確保しながらコンクリート版の一体性を保持しようとする連続鉄筋コンクリート舗装がある。もう1つはコンクリートにあらかじめ圧縮力を与え、ひび割れの発生を積極的に抑制しようとするプレストレストコンクリート舗装（以下、PC舗装）がある。

PC舗装は、1947年にフランスのオルリー空港の滑走路に初めて採用されている。以来イタリア、英国、オランダ、米国、ドイツ、オーストリア、ベルギー、ニュージーランドなどの各国で施工されてきた。日本初のPC舗装は、1958年に施工した大阪市靱公園前道路の舗装工事である。その後、さまざまな試験工事が実施され、1964年には空港舗装として大阪国際空港のエプロンに初めて採用された。現在では、空港の滑走路や誘導路（写真-1）、道路舗装および港湾施設のコンテナヤードなどPC舗装が幅広く採用されている。

本稿では、PC舗装の現状と将来の展望について、施工事例等を交えて報告する。

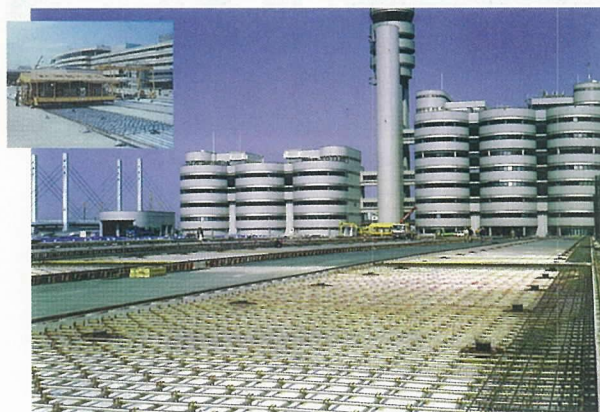


写真-1 東京国際空港エプロン舗装施工状況

2. PC 舗装の現状

2.1 PC 舗装の設計概要

2.1.1 PC 舗装の構造

PC舗装版に作用する荷重の増加に伴い、図-1の破線に示すように荷重直下の正の曲げモーメントは増加し、図-2の(a)のようにPC版下面にひび割れが発生するが、プレストレスが作用しているため、このひび割れは中立軸以上進展することがなく、この部分が塑性ヒンジを形成して曲げモーメントの再分配が行われる。このため、荷重直下の正の曲げモーメントはひび割れ発生直前より大きくなることはなく、逆に、図-1の実線に示すように荷重荷点周辺の負の曲げモーメントが増大し、図-2の(b)のように版上面にもひび割れが発生するようになる。この負の曲げモーメントにより版上面にひび割れを発生させる荷重は、正の曲げモーメントによるひび割れ発生荷重の5倍程度といわれ、舗装版にプレストレスを導入することにより舗装版の

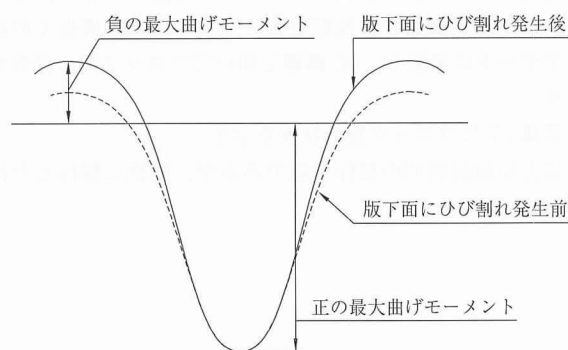


図-1 PC 舗装版に生じる曲げモーメント



* Itsuo EGUCHI

(株)ピーエス三菱 東京土木支店
土木工事統括部 技術部 開発
グループリーダー

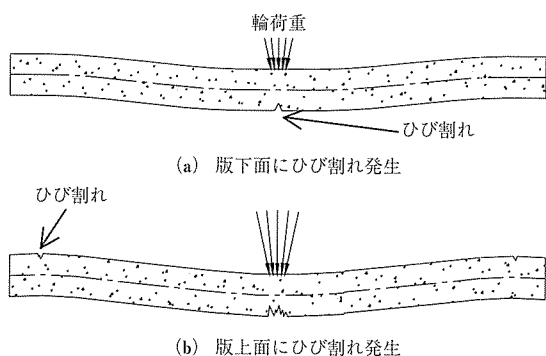


図-2 PC 舗装版の曲げ挙動

曲げ特性は著しく向上することになる。

2.1.2 PC 舗装の構造解析理論

(1) 輪荷重による応力

PC 舗装版はプレストレスの影響によって舗装版にひび割れが発生したのちでも、かなりの弾性的性質が持続されることが分かっている。また、コンクリート舗装においてはコンクリート版が主要な構造部材であることから、コンクリート舗装の構造解析は、コンクリート版を弾性平板とし、路盤以下はこの弾性平板を支える弾性支承として解析する。この解析手法に基づくさまざまな公式が提案されているが、通常、舗装上を走行する車両の輪荷重による応力度は、Westergaard の載荷公式により算出する。また、他の方法として弾性床土上の版として FEM 解析により算出する方法もある。

(2) 温度応力

温度の影響による応力には、版の深さ方向の温度勾配が直線的でないために生じる内部応力、版の上下面の温度差によるそり変形を版自重が拘束することによって生じるそり拘束応力および温度変化による版の伸縮を路盤との摩擦拘束によって生じる路盤摩擦拘束応力の3種類がある。PC 舗装の場合、目地間隔がかなり長くなることから完全拘束と考え、内部応力を無視してそり拘束応力を求めておけば一般に安全側にあると考えられている。

(3) プレストレス

プレストレスは、通常のコンクリートの弾性変形による減少、PC 鋼材とシースとの摩擦による減少、PC 鋼材のリラクゼーションによる減少およびコンクリートのクリープ・乾燥収縮による減少以外に、導入時における路盤摩擦による減少を考慮して求める。また、PC 舗装版の伸縮目地間隔は長くなる場合が多いので、PC 鋼材が偏心配置されていても、端部を除く中間部ではコンクリート版の自重によってそり変形が打ち消される。このため、プレストレスは緊張材の配置位置にかかわらず断面に一樣に分布する。

(4) 荷重の組合せ

設計上検討すべき荷重の組合せは、版に有利に働く温度応力を考慮しないため、以下の3ケースとなる。

- 1) (輪荷重応力度) - (プレストレスによる応力度)
- 2) (輪荷重応力度) + (温度上昇時のそり拘束応力度) - (プレストレスによる応力度)
- 3) (輪荷重応力度) + (温度下降時の路盤摩擦拘束応力

度) - (プレストレスによる応力度)

2.1.3 PC 舗装の部材照査

PC 舗装の部材照査は、限界状態設計法に基づいて行う。使用限界状態の検討方法としては、ひび割れの発生を許さないⅡ種設計法とひび割れの発生を許すⅢ種設計法がある。Ⅲ種設計法はコンクリートの下面に発生した引張りひび割れによる断面減少を PC 鋼材の引張力増加とコンクリート上面の圧縮応力度増加によって補う方法が行われている。Ⅲ種設計法による PC 舗装の設計フローを図-3に示す。

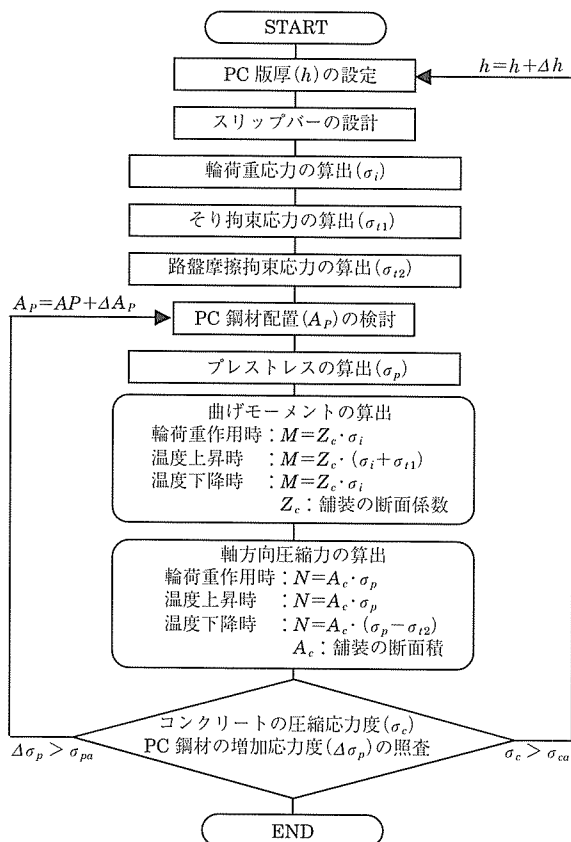


図-3 PC 舗装の設計フロー (Ⅲ種設計法)

2.1.4 PC 舗装の目地構造

目地は PC 舗装の弱点部分であり、破損の多くは目地付近に発生する。目地構造の一般的な構造を示す。図-4は枕版(RC 構造)を設置する方法である。枕版は PC 版相互の段差を防止することを目的とし設置する。また、枕版を設置することにより PC 版下面の支持力が大きくなり、輪荷重による縁部応力が小さくなる。通常は場所打ち PC 舗装の版端部に設けられる。目地部分には大きな伸縮量を吸収できるゴムジョイントが用いられる。

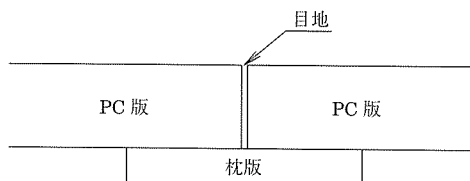


図-4 枕版構造

図-5はダウエルバーを配置する構造である。この構造は版相互の段差防止と隣接版への荷重伝達を目的とした構造であり、主にプレキャストPC舗装に使用される。目地幅が大きい場合にはゴムジョイント、小さい場合には目地板+注入目地材などが用いられる。

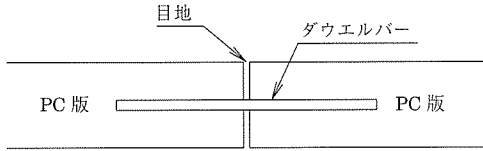


図-5 ダウエルバー構造

2.2 PC舗装の施工事例

2.2.1 場所打ち舗装

施工は図-6に示す施工サイクル図に沿って行われ、型枠を設置した先施工版とその間詰めであるあと施工版を縦・横に緊結して一枚の大判であるPC舗装が完了する。大量の施工規模の場合、PC工・コンクリート工はすべて機械化が図られている。地盤の不同沈下を修正する補修工法は、リフトアップ金具を設置したリフトアップ技術が特筆すべき点である。

各工種の説明

- ①型枠設置工：型枠は、PC工・コンクリート工の施工機械荷重に耐えられる強度・剛性が必要であるため、鋼製型枠にリブ補強を加えた構造が一般的である。
- ②路盤切削工：リフトアップ金具の反力受板設置のため上層路盤面を切削する。

- ③反力受板設置：反力受板を設置し下面の空隙にモルタルを充填する。
- ④路盤紙・剥離シート敷設工：路盤摩擦力減少用に路盤紙（ビニールフィルム）と剥離シート（上面でPC舗装版と付着するが、下面ではリフトアップ後に施工するグラウト材に付着しない特殊シート）を敷設する。
- ⑤リフトアップ金具設置工：リフトアップ時にコンピュータ制御された油圧ジャッキを装着するためのリフトアップ金具を反力受板上に設置する。
- ⑥～⑪PC工・端部鉄筋工：横方向シース配置機械で縦・横方向のシースの交点を特殊治具で自動結束する。
- ⑫コンクリート舗設工：セットフォーム工法による機械施工である。先施工版は型枠上に設置されたレール上を舗設機械が移動するが、あと施工版は先施工版上にレールを設置して舗設作業を行う。
- ⑬, ⑭緊張・グラウト工：緊張はひび割れ防止の一次緊張、舗設機械載荷用の二次緊張、横・縦方向の本緊張の三種類がある。先施工版は三種類の緊張を行いあと施工版は一次緊張、本緊張の2種類となる。

2.2.2 プレキャストPC舗装

プレキャストPC舗装版（以下、PPC舗装版）は、耐荷力やたわみ追従性などに優れ、耐久性が高いため、舗装の維持修繕サイクルの低減を図ることができる。また、既設舗装の撤去から取替えまでの施工サイクルが6～8時間で可能なため、交通量の少ない時間帯に合わせて施工が可能となる。

このような利点を活かして、道路舗装では、大量の走行車両が錯綜する箇所、交通規制による車線の減少が困難な

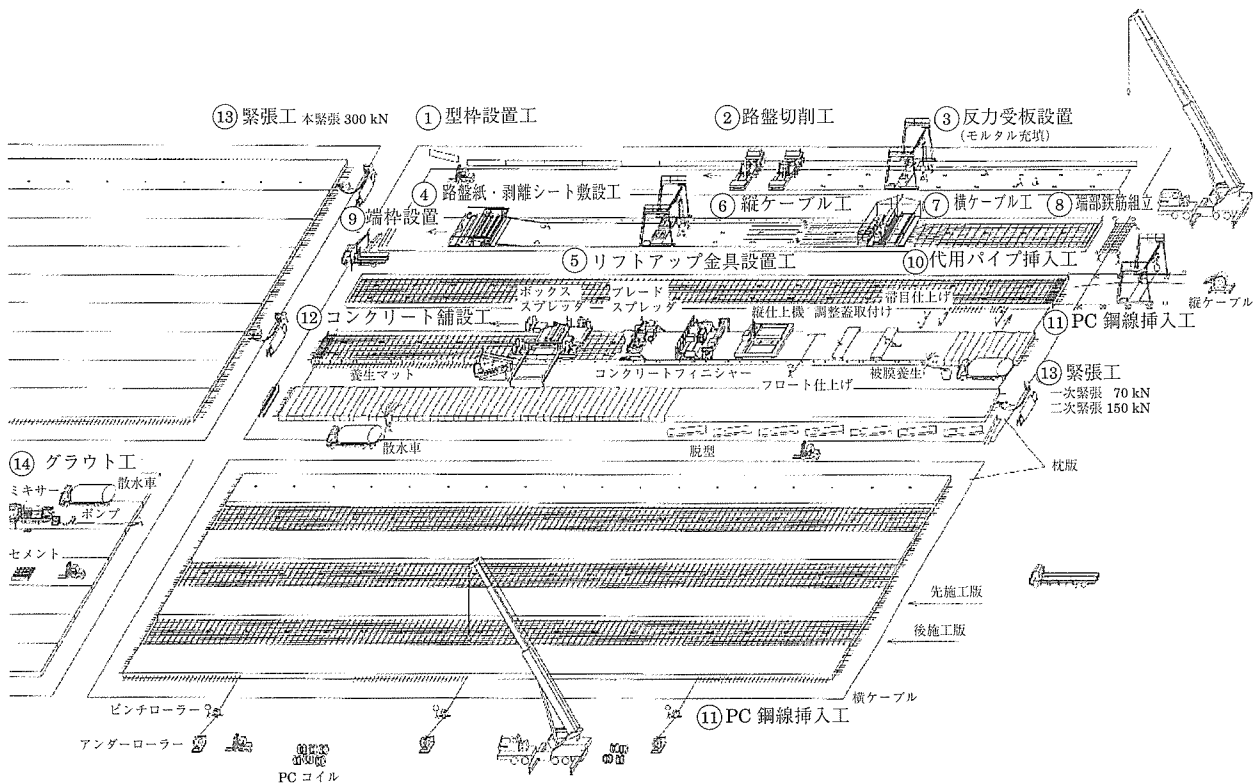


図-6 場所打ちPC舗装施工サイクル図

箇所である主要幹線の交差点部やトンネル部における舗装の維持補修にもっとも多く採用され、空港舗装では、昼間の施設閉鎖ができないエプロンや誘導路などの補修に採用されている。

ここでは、一般国道19号の交差点の一つである名古屋市中区古渡の九丁堀交差点で採用されたプレキャストPC舗装版の施工事例について紹介する。

(1) 工事概要

- 1) 発注先：国土交通省中部地方整備局
- 2) 施工年度：平成12年度
- 3) 施工面積：1076 m² (PPC舗装版88枚)

(2) PPC舗装版の施工手順

既設舗装の撤去から取替えまでの1日の施工サイクルを図-7に示す。

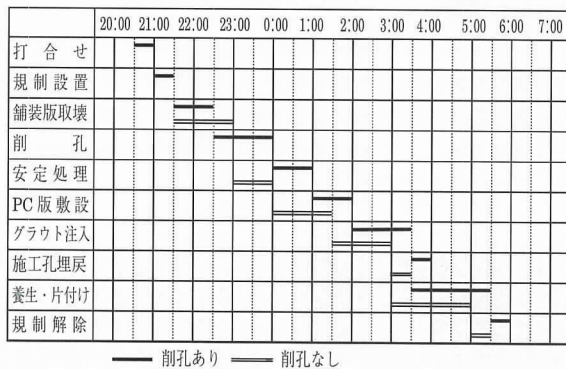


図-7 施工サイクル

(3) 技術的特徴

①水平ジョイント

PPC舗装版の目地には、荷重伝達装置として図-8に示す水平ジョイントが配置され、PPC舗装版を連続構造とすることにより、縁部載荷による応力集中を減少している。

②変断面PC版

舗装厚の異なるPPC舗装版端部と既設NC舗装との目地部に輪荷重が作用すると、剛性の小さいPPC舗装版の変形が大きくなり、PPC舗装版の荷重負担が増加する。このため、図-9に示すようにNC舗装版と同じ舗装厚にすり付けた変断面PC版を用いている。

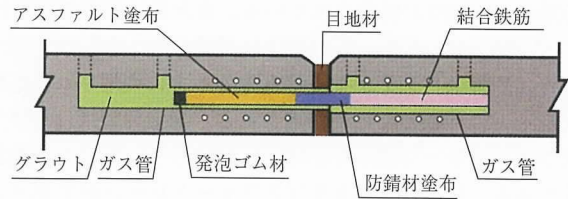


図-8 水平ジョイント機構

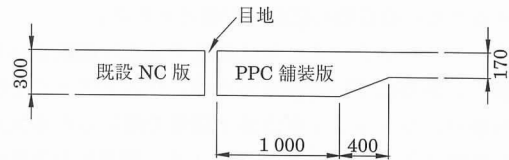


図-9 PPC舗装版のすり付け

③裏込めグラウト材

繰返し荷重によって裏込めグラウトのレキ化・粉泥化によるポンピング現象を防止するため、セメントにフィラーを混入し、弾性係数を低く抑えた低弾性グラウトを用いている。

2.2.3 コンテナヤード

コンテナターミナルは、船から荷下ろししたコンテナを仮置きする場所である(写真-2)。コンテナは3～5段に積まれるが、この作業を行うトランスファークレーンの走

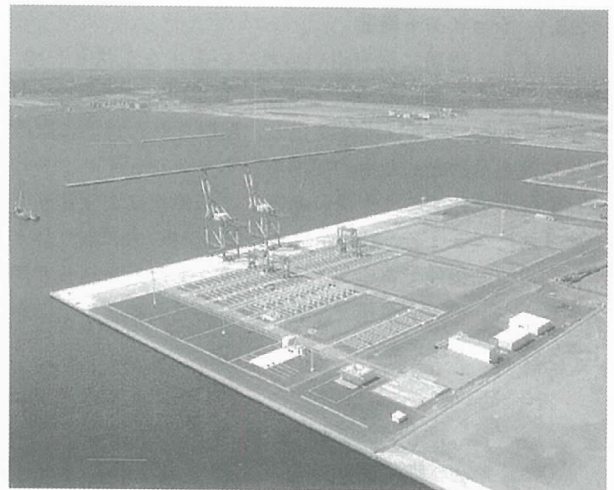


写真-2 コンテナターミナル全景

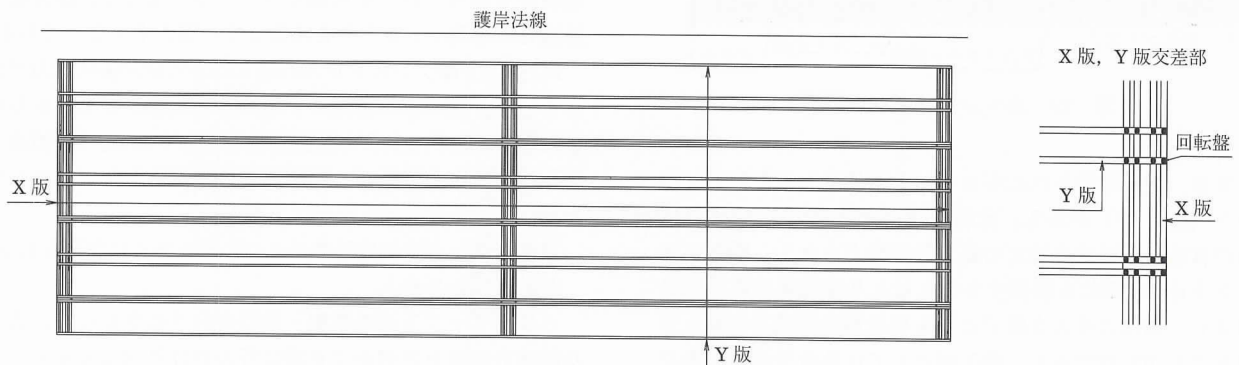


図-10 コンテナヤード全体図および交差部

行版にPC舗装が使用されている。走行路は護岸法線方向に設置されるY版と、直角方向に設置されるX版で構成される。Y版はコンテナを段積みするときに使用され、X版はレーンの移動のために使用される。構造的特徴はトランスファークレーンがレーンの移動を行うX、Y版の交差部分にある。片側4輪のトランスファークレーンがY版上交差部まで移動し、ここで直角に車輪を回転して次のレーンに移動する。このため車輪の回転位置には車輪の摩擦を軽減するために金属製の回転盤が設けられる。

また、コンテナターミナルは埋立て地上に建設されることが多く、地盤沈下に対応するためにリフトアップを行うことも多い。リフトアップ方法は空港で用いられる大がかりなものではなく、図-11に示すように簡易的な方法が用いられている。金具の設置は約5m間隔とし、裏込めグラウトには早強性かつノンブリージングのセメントが用いられる。

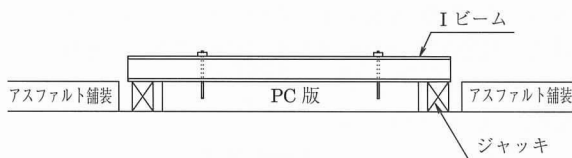


図-11 リフトアップ例

2.3 特徴ある技術

2.3.1 ジョイント構造

ジョイント構造に従来用いられている主な工法として、ホーンジョイント(図-8)と水平ジョイント(図-12)の2種類がある。両者は段差防止と、配置された鉄筋による荷重伝達を目的としたものである。ホーンジョイントの特徴は直径が変化するサヤ管にある。この形状により鉄筋と充填されたグラウトの撤去が容易となり、PC版の取り替えや再利用に効果的である。水平ジョイントは道路舗装で開発されたジョイント構造で、施工の容易さと跡埋め部分が小さいことに特徴がある。

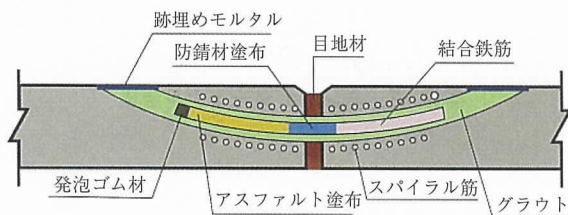


図-12 ホーンジョイント機構

また、近年開発されたジョイント工法として圧縮ジョイント(図-13)がある。目地部の破損原因は、雨水・地下水の存在、路盤の支持力の低下等が考えられる。圧縮ジョイントはPC鋼材を緊張することにより目地部に圧縮力を導入し、雨水の浸入を防ぐとともに荷重伝達機能を向上させることが可能である。施工例としては仙台空港誘導路で試験施工が行われている。このときのプレストレス量は、

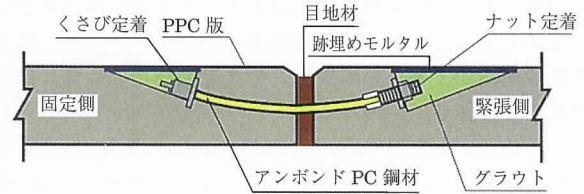


図-13 圧縮ジョイント機構

目地部に作用する温度による引張力と荷重伝達に必要な圧縮力の合計値以上のものとして、シングルストランドφ17.8mmを1.0m間隔で配置している。

2.3.2 リフトアップ工法^{2),3),4)}

埋立て地や高盛土などに建設される空港舗装は、建設後の沈下や不同沈下が予想され、供用後にこの沈下に対する補修が必要となる。補修工法としてはコンクリートやアスファルト舗装のオーバーレイ工法一般的であるが、コンクリートを打設した場合は養生期間が必要となり、その間施設を閉鎖しなければならない。また、アスファルトの場合には航空機の輪荷重が大きいと、わだち掘れができやすく不向きである。この解決策として開発された者がリフトアップ工法である(写真-3)。



写真-3 リフトアップ施工状況

リフトアップ工法は、コンクリート舗装の沈下部分に所定の間隔で専用の油圧ジャッキを取り付けて、コンピュータ制御によりこれらを同時に作動させ、その圧力をPC舗装版と反力受板に作用させることにより、所定の高さにPC舗装版を持ち上げ、その後リフトアップしたPC舗装版と路盤との隙間にグラウトを充填して、復元するものである。

PC舗装ではプレストレスの導入によりひび割れ耐力が大きくなり、版の厚さを薄くすることが可能となる。さらに版が薄くなることにより変形性能が大きくなる。PC舗装が持つこのような特徴が、不同沈下への追従とリフトアップ工法の開発を可能にしたといえる。

リフトアップ工法は以下の6つのシステムに分けられる。

(1) 測量システム

リフトアップ工法の計画・作業を行うにあたって、広大な範囲の測量を迅速かつ正確に行わなければならない。このため測量システムは測量範囲中央に設置されたレーザー

光発信装置，測量点を順次移動する受光感応装置付きスタップおよびデータ処理装置から構成されている。

(2) プロセス決定システムと FEM 解析

プロセス決定と PC 舗装版の安全性を確保するため，①最大ジャッキ反力②最大ジャッキストローク③最大充填可能グラウト量④ PC 版の発生応力の制限値（FEM 解析）をもとにコンピュータで解析を行う。

(3) 制御システム

リフトアップ作業は各ジャッキのストローク量に基づく変位制御により行われる。この制御装置は，各ジャッキに対応した制御回路を有しているため，各ジャッキから連続して送られてくるストローク量と事前にインプットされた所要量を比較し，これに基づいて各ジャッキの油圧回路の開閉をリアルタイムにおこなうことができる。

(4) リフトアップジャッキシステム

リフトアップジャッキは，ジャッキのストロークの伸びを検出するセンサーを内蔵し，かつ一対の油圧ポンプとワンボードマイコンを備えている。ワンボードマイコンはリフトアップジャッキで検出したストローク量およびリフトアップ荷重について制御コンピュータから支持された値と比較・照査し，油圧ポンプの油量とそのリフトアップ速度を調節・制御する。

(5) データ処理システム

ジャッキシステムから送られたデータを基にリフトアップ作業の実際の結果を示す各点のリフトアップ量，リフトアップ荷重等のデータがパソコンにより図表を主体として整理・出力される。

(6) グラウトシステム

グラウトの作業速度はリフトアップ作業全体の作業時間にもっとも大きな影響を与える。したがってリフトアップ工法のグラウト作業の特徴は，所定の性能を満足させながら，かぎられた時間内にいかに大量のグラウトを充填させるかにある。グラウトシステムは，プラントを固定してアジテータ車でグラウトを運搬する固定方式と，設備を車に積み込んだ車載移動式の 2 つがある。

2.3.3 大版によるプレキャスト PC 舗装版の施工

プレキャスト PC 舗装版（以下 PPC 舗装版）の敷設方法として以下の 3 工法が行われている。

- ①工場で製作された PPC 舗装版を運搬，敷設する方法
- ②現地に製作工場を建設して大型の PPC 舗装版を製作，敷設する方法
- ③工場で製作された PPC 舗装版を運搬し，数枚を現地で一体化して敷設する方法

①は一般的に行われている工法で，小，中規模の敷設に向いている。NC 舗装の目地が通常 7.5 m であることと，一般道を運搬するときの幅の制限により版の形状は 2.5 m × 7.5 m 程度が多く，1 日の敷設面積は②，③に比べて小さい。

②，③は大規模な敷設面積があり，製作工場の建設が可能で経済性で有利となる場合は②，それ以外は③の工法となる。②の施工例として新千歳空港の滑走路補修工事，③の施工例として厚木基地の滑走路補修工事，大阪空港のエプロン補修工事などが挙げられる。大版敷設の特徴は 1 回

の敷設面積が大きいいため工期短縮や施工費の減が見込まれることと，構造上弱点部分である目地が少なくなることから，耐久性の向上が期待できる。一方大型の運搬機材や仮設機材，剛性の大きな吊りジグなどが必要となるため，それらを加味して検討を行わなければならない。施工フローの例を図 - 14 に示す。

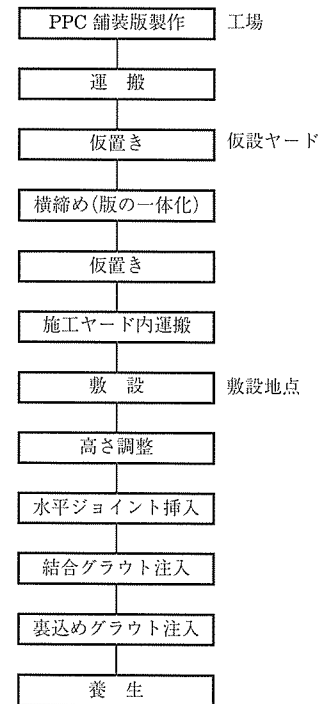


図 - 14 大版施工のフローチャート

3. PC 舗装の将来展望

3.1 ポーラス PC 舗装版の開発

近年，舗装の高機能化や環境問題が注目され，この対策としてポーラスコンクリート舗装の開発・施工が盛んに進められている。ポーラスコンクリート舗装は，排水性に優れ，雨天時の走行安定性が向上し，車両の騒音低下が可能となる。さらに，放熱性にも優れていることからヒートアイランド現象の対策にも有効な手段の 1 つと考えられている。

このポーラスコンクリート舗装と迅速な施工により早期の交通開放が可能なプレキャスト PC 版舗装を一体化させたポーラス PC 舗装版の開発が行われた⁹⁾。ポーラス PC 舗装版は，図 - 15 に示すように通常のプレキャスト PC 舗装版の上にポーラスコンクリートを敷設し合成したものである。開発にあたっては，ポーラス PC 舗装版を舗装に適用するために，静的載荷試験や疲労載荷試験を実施した。その結果，設計耐用期間において十分な疲労耐力を有し，ポーラス部分と普通コンクリート部分の付着性能も確保されることがわかった。

今後は，ポーラス PC 舗装の特性を活かし，バスターミナルや道路交差点部，高速道路の料金所ブース，トンネル内の舗装改良工事への採用が期待される。

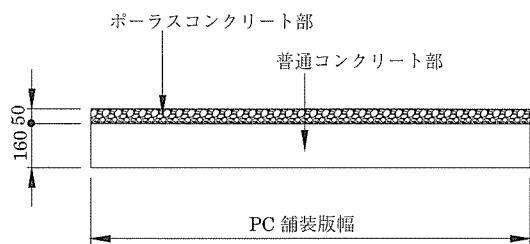


図 - 15 ポーラス PC 舗装版の断面形状

3.2 舗装のライフサイクルコスト

PC 舗装は、耐荷力変形性能に優れることから不同沈下に追従することが可能である。また、昼間の供用を妨げないリフトアップ等の補修が可能な維持管理性に優れたコンクリート構造物である。アスファルト舗装の打替えやオーバーレイといった補修と比べると、初期建設コストが高価であるが、維持管理コスト（補修頻度の比較）・内部コスト（活動主体が直接支払うコスト）および外部コスト（経済社会活動の結果として生じる不利益）を比較するライフサイクルコストの観点から採用の適否を決定することが重要と考える。今後も、特殊な制約条件下では採用されると想定されるが、耐久性の向上や施工の工夫による外部コストの

低減を図れば PC 舗装の有効性がより発揮できると考えられる。

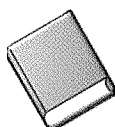
4. おわりに

PC 舗装はジョイント工法や裏込めグラウト材、リフトアップ工法などの開発により飛躍的に発展した舗装工法である。しかし、舗装版自体の耐久性は優れるものの弱点部分である目地部分の構造、初期コストの低減など解決しなければならない問題点も多い。これらを克服し、さらに多岐にわたって PC 舗装が採用されことを期待するものである。

参考文献

- 1) 福手勤, ほか: 第三種設計法による PC スラブの空港舗装への適用性に関する研究, 港湾技術研究所報告, 第 18 巻, 第 3 号, 1979
- 2) 八谷好高, ほか: 沈下したプレストレストコンクリート舗装版のリフトアップ工法の開発, 土木学会論文集, 第 421 号 / IV-13, 1990 年 9 月
- 3) 佐藤勝久, ほか: プレストレストコンクリート舗装とそのリフトアップ工法の概要, 土木施工 32 巻 4 号 (1991.4) 技術資料
- 4) 運輸省第二港湾建設局監修: 東京国際空港沖合展開事業技術総録
- 5) 奥山和俊, ほか: ポーラス PC 舗装版の疲労載荷試験, コンクリート工学年次論文集, 第 26 巻, 2004

【2004 年 9 月 21 日受付】



刊行物案内

プレストレストコンクリート構造物の 新たな動向

第 32 回 PC 技術講習会

(平成 16 年 2 月)

頒布価格 会員特価: 5 000 円 (税込み・送料別途 500 円)
非会員価格: 6 000 円 (税込み・送料別途 500 円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会