

プレキャスト PC 版舗装の新たな継手工法の開発

ーリングロックジョイントー

大阪支店	土木技術部 (九州支店駐在)	上城良文
技術本部	技術部	堀内達斗
技術本部	技術部	桐川潔
東京土木支店	土木営業部	遠藤俊之

概要: 空港や港湾のコンテナヤードおよび道路等で使用される PPC 版舗装において、従来の継手構造では目地部のポンピング現象や PPC 版舗装の破損発生が問題となっている。これらを解決するため、くさび機構を採用して目地部に圧縮力を導入し、PPC 版舗装の破損に伴う取替えが容易に行える新たな継手構造の開発を行った。本稿では、継手構造の要求性能を確認するために行った、定点疲労載荷試験および継手単体のせん断耐力確認試験の結果について報告する。また、港湾コンテナヤードにおける、実物大のテナー版を用いた試験施工を行い、性能および施工性を確認した。以上の結果から、新しい継手構造は、従来継手と同等以上の荷重伝達性能を示し、ポンピング現象の発生防止が期待でき、部分的な取替えが可能であることを確認した。

Key Words: プレキャスト PC 版舗装, 継手, 疲労耐久性, 二面せん断, テナー版

1. はじめに

プレキャスト PC 版 (以降, PPC 版) 舗装は、主に空港や港湾のコンテナヤードのコンクリート舗装に使用されており、航空機やトランスファークレーン等の重荷重を支持するために高い耐久性が求められる。PPC 版舗装はメンテナンスや更新工事のため、部分的な取替えが求められる場合がある。PPC 版舗装に用いられる従来のダウエルバー構造の継手では、目地部のポンピング現象に伴う PPC 版舗装の破損発生や取替え時に鋼棒の引抜きおよびコア削孔など手間を要する。特に空港のエプロン部や誘導路においては、夜間の限られた時間で施工を行う必要があり、施工時間の短縮や施工簡略化の観点から、取替えが容易な継手構造が望まれた。このような背景から、従来の継手構造と比較して、舗装上面からの施工や取替えが容易であり、PPC 版舗装の部分的な取替えに適した継手を開発し、これまでに静的載荷試験による継手構造

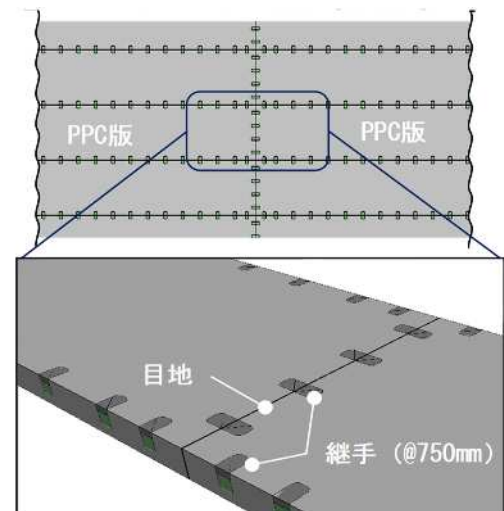


図-1 PPC 版舗装の概要図(空港例)



上城良文



堀内達斗



桐川潔



遠藤俊之

の基本的性能の確認を行っている¹⁾。本報告では、疲労に対する耐久性を確認した定点疲労载荷試験、継手 1 組あたりのせん断耐力を確認した二面せん断試験、港湾コンテナヤードにおける走行路版を用いた施工試験および継手の脱着試験の内容について報告する。



写真-1 継手組立写真 (上面より)

2. 継手の概要

本継手工法は、図-1 や写真-1 に示すように PPC 版の上面から部品を取り付けて、PPC 版同士を接続する工法である。図-2,3 に示すように、本継手工法は、締結ボルトによるくさびブロックを圧入することで、PPC 版目地部に圧縮力を導入し、さらに、高耐久な裏込めグラウト材¹⁾と組み合わせることで、ポンピング現象の抑制が可能となる。継手の部品は全て舗装上面からの脱着が可能であり、目地モルタルを切断することで PPC 版を容易に取替えることができる。設計上、継手の配置間隔は従来の継手工法と比較して大きくすることができ、配置箇所数の低減が可能である。

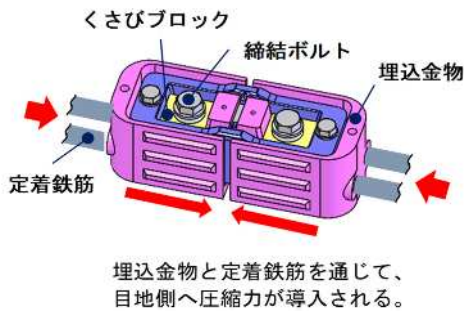


図-2 継手の詳細図

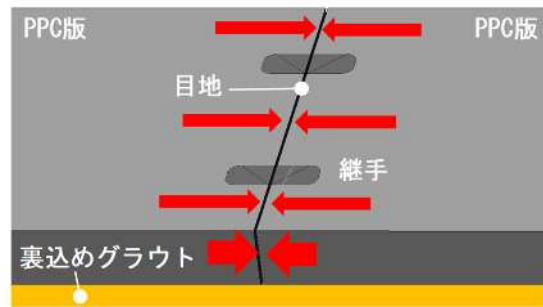
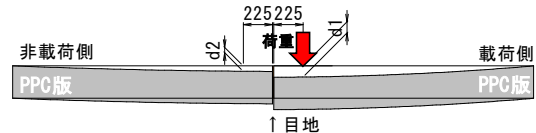


図-3 圧縮力導入イメージ

3. 定点疲労载荷試験

3.1 試験概要

载荷試験は、一般的な空港のコンクリート舗装における設計供用期間 20 年に相当する、繰り返し载荷 15 万回で定点载荷を実施した。この 20 年を想定した場合、エプロン部の 1 日当たり载荷回数を 10 便と想定すると往復分 20 回で、载荷回数は $N=20 \text{ 回} \times 365 \text{ 日} \times 20 \text{ 年}=146,000 \text{ 回} \approx 150,000 \text{ 回}$ となる。载荷荷重は空港土木施設設計要領(舗装設計編)³⁾に則り、路盤の支持力係数(0.07N/mm³)に対する版厚 240mm における航空機 B747-400 の等価単車輪荷重 (281kN) とした。1 万回、5 万回、10 万回、15 万回と载荷回数に応じて、段階的に静的荷重による変位を計測し、荷重伝達率 (図-4) を算定した。



$$\text{※荷重伝達率} = 2 \times d2 / (d1 + d2) \times 100$$

図-4 荷重伝達率イメージ図

3.2 試験体および試験方法

試験体の概要図を図-5 に示す。試験体は過去の事例を参考に、試験体幅は継手が有効に荷重を伝達することを考慮して、舗装の剛比半径の 1.8 倍程度とし、PPC 版 (3.0m×2.25m×0.24m) を 2 体接合した。なお、継手は 750mm 間隔で、4 組配置した。

コンクリートの設計圧縮強度は 50N/mm² とし、PPC 版同士の目地部には、繊維入りモルタル材を充填してモルタル製のせん断キーを設けることで、目地同士のずれを抑制

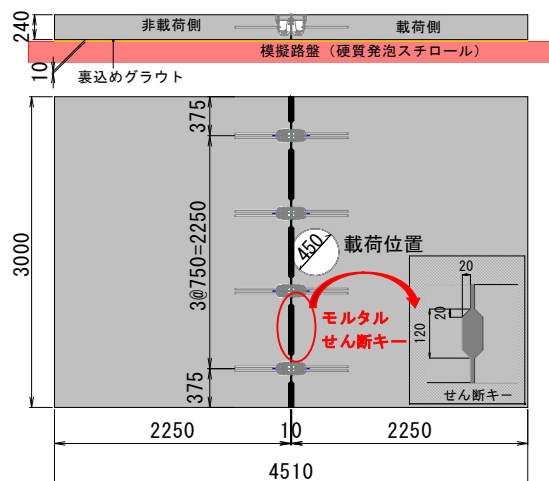


図-5 定点疲労試験体

する構造とした。PPC 版の接合は、モルタル硬化後に継手部材を組み付けて所定のトルクを導入することで完了する。なお、路盤を模擬した硬質発泡スチロールと PPC 版の隙間 10mm には、高耐久な裏込めグラウト材を注入した。荷重は、タイヤ接地面積相当である直径 450mm の鋼製板を目地近傍の PPC 版中央に載荷した(写真-2)。また、写真-3 に示す様に目地直上に水張りを行いながら載荷することで、モルタルへ水分の影響や圧縮力の効果を確認し、モルタル破損に起因するポンピング現象に対する抑制効果を確認した。



写真-2 定点疲労載荷試験状況



写真-3 載荷時の水張り状況

3.3 試験結果

繰返し載荷時の変位の変化を図-6 に示す。載荷初期では 1.20mm、15 万回載荷終了時には 1.53mm となり、載荷回数に比例して変位量も増加した。荷重伝達率の変化(図-7)は、繰返し載荷回数の増加に対して低下する傾向ではあるが、載荷初期では 97%、15 万回載荷終了時には 94%以上を保持し、ほぼ収束していることがわかる。従来継手のダウエルバー(荷重伝達率 70~90%)³⁾と同等以上の荷重伝達性能を確保することで、疲労に対する耐久性を確認し、試験後も問題なく取り外すことができた。このことから、PPC 版の部分的な取替えにも対応可能と評価できる。また、水張り試験において、目地内部に水の浸入は確認されたが、段差や大きな目開き、モルタル破損など、目地の変状は見られなかった。

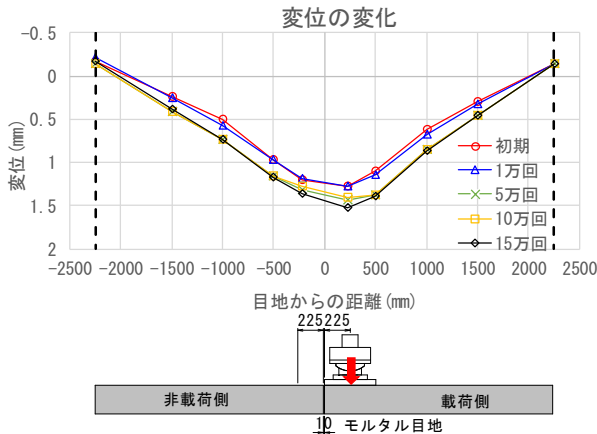


図-6 繰返し載荷時の変位の変化

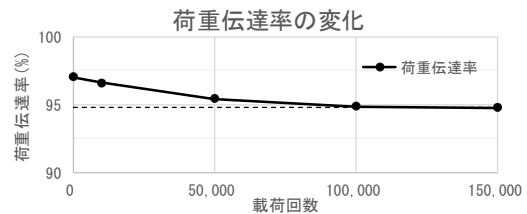


図-7 荷重伝達率の変化

4. 二面せん断試験

4.1 試験概要

本試験は、継手 1 組あたりのせん断耐力を求める試験であり、試験方法および試験体は既往の研究を参考とした²⁾。荷重は中央載荷部材の目地部直上に載荷して、目地の相対的なずれ量を計測した。図-8 に示す埋込金物、鋼製リング、定着鉄筋、各ボルト類には、ひずみゲージを設置して、トルク導入時や載荷中のひずみを測定した。載荷ステップは、目標破壊耐力×1/3 相当にあたる継手 2 組あたりの目標設計荷重 200kN(継手 1 組あたり 100kN) を 3 回繰返

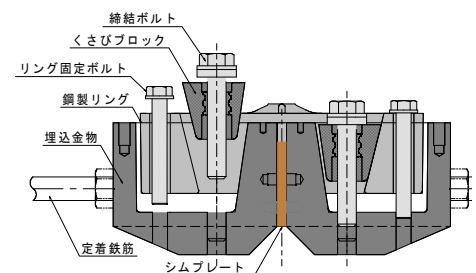


図-8 継手詳細図

して、以降は試験体が破壊するまで連続的に荷重した。

4.2 試験体

図-9 に示す試験体は、3つの部材(荷重部材×1体、非荷重部材×2体)で構成され、それぞれの接合部に継手を1組ずつ配置した。定点疲労荷重試験と同様に、コンクリートの設計圧縮強度は50N/mm²として、目地幅10mmでモルタル材を充填した。各継手部品は目地モルタル硬化後に組付けした。荷重試験の状況を写真-4に示す。

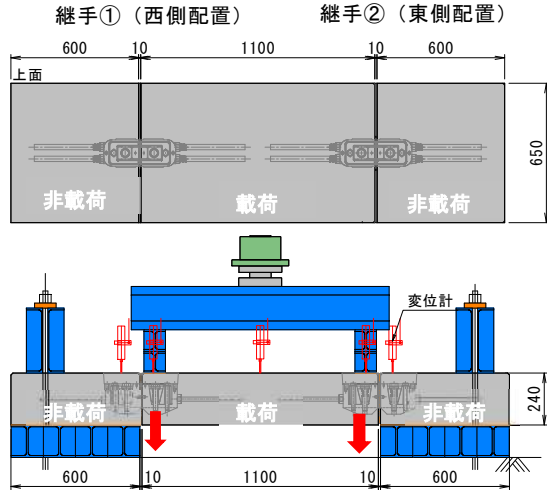


図-9 二面せん断試験体



写真-4 二面せん断試験 荷重状況

4.3 試験結果

4.3.1 荷重-相対変位

荷重荷重と相対変位の関係を図-10に、計測状況を写真-5に示す。目標設計荷重200kN(継手1組あたり100kN)時点では、変位は1mm程度であり、最終破壊荷重は目標耐力(600kN)を上回る約650kNとなった。

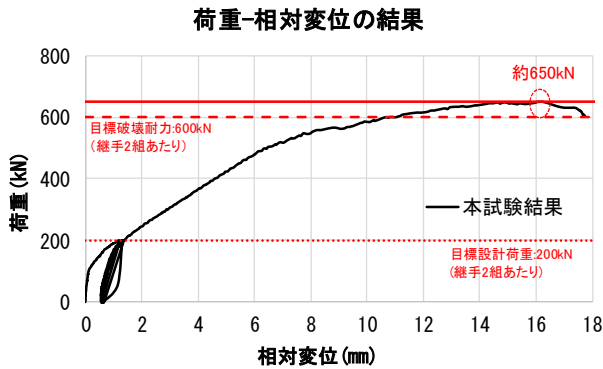


図-10 荷重-相対変位の関係

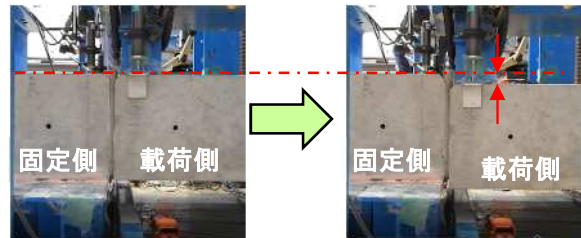


写真-5 目地の相対変位計測状況

4.3.2 継手部材のひずみ分布

図-11に、背面アンカー(SD345)、埋込金物(FCD700)および鋼製リング(FCD700)のそれぞれのひずみ計測位置、図-12~図-15にひずみ分布を示す。背面アンカーは、最終の破壊荷重時でも降伏ひずみ以下となった。鋼製リングは、短辺方向よりも長辺方向のひずみが卓越しており、最終荷重時で引張強度程度のひずみが発生している。また、埋込金物は、荷重側部材

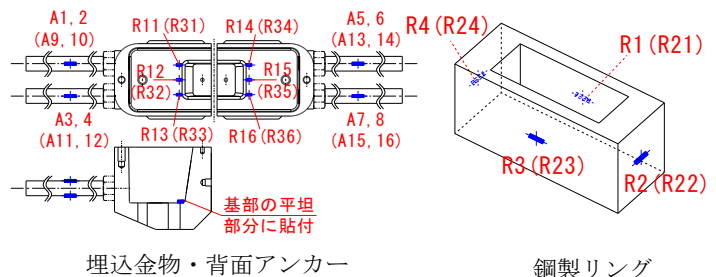


図-11 部材の計測位置

と非載荷部材で挙動が異なり、載荷側が圧縮を受ける形となった。各部材のひずみ分布は、目標設計荷重（目標破壊耐力×1/3）時点ではいずれも降伏ひずみ以下であった。

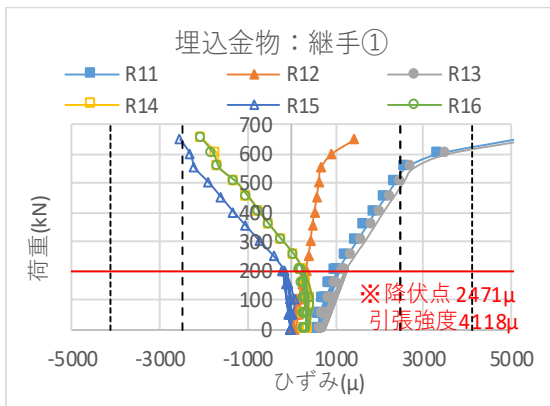


図-12 埋込金物（継手①）ひずみ

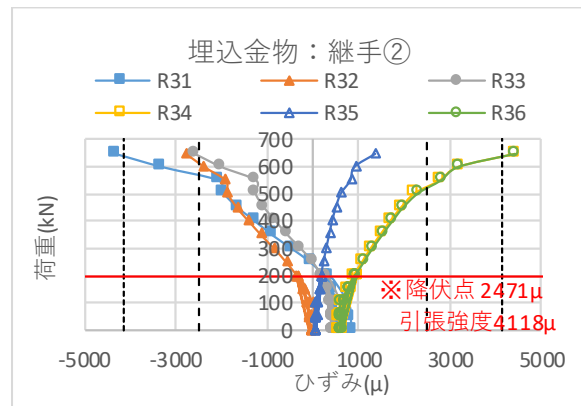


図-13 埋込金物（継手②）ひずみ

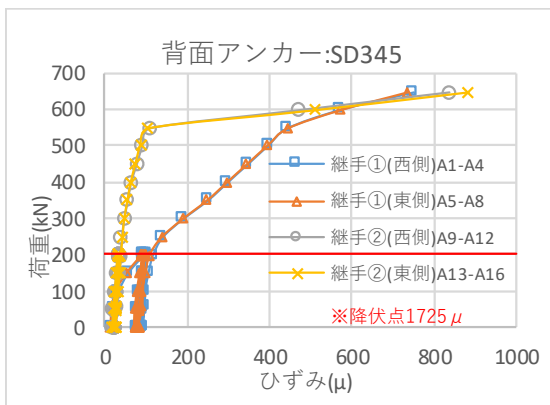


図-14 背面アンカーのひずみ

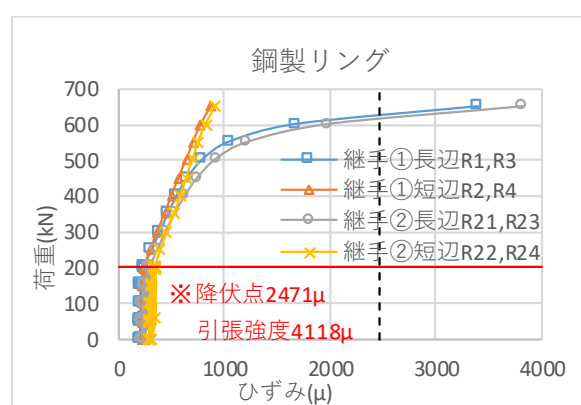


図-15 鋼製リングのひずみ

4.3.3 継手の設計せん断耐力

1組の継手が伝達する荷重を破壊荷重の1/3とし、これを設計せん断耐力と設定した。ただし、前項に示す様に、目標設計荷重（目標破壊耐力×1/3）相当において、各継手部材が降伏していないことを前提とした。

本試験結果は、継手2組あたりの数値であることから、継手1組あたりの設計せん断耐力は、二面せん断試験の破壊荷重650kNを1組あたりの325kNとし、安全率3.0で除した108kNとなる。

4.4 継手の配置間隔

継手間隔の設計は、空港土木施設設計要領（舗装設計編）に記載のあるダウエルバーの設計法³⁾の仮定に基づき、一部修正した以下に示す式を用いて算出した。継手の荷重伝達能力は、定点疲労載荷試験により算定した荷重伝達率を94%とみなして、設計荷重の47%とする。また、1組の継手が伝達する荷重は、二面せん断試験から求めたせん断耐力および安全率により算出した。継手間隔は、当初設定とした750mmピッチを満足できる結果となる。図-16にダウエルバーの概要と同条件による継手間隔を示すが、従来継手のダウエルバー以上の配置間隔で設計が可能であることを確認した。

$$S = \frac{1.8\lambda P_a}{0.47P'_e} = \frac{1.8 \times 869.8 \times 108}{0.47 \times 295} = 1,221\text{mm} > 750\text{mm}$$

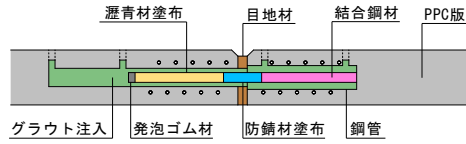
S：継手間隔(mm)

Pa：1組の継手が伝達する荷重（せん断耐力:kN）

λ：舗装の剛比半径(mm)

P'e：等価単車輪荷重(kN)

0.47：荷重伝達能力の係数(荷重伝達率/2)



$$S = \frac{1.8\lambda P_a}{0.4P'_e} = 543.7 \approx 500\text{mm}$$

Pa : 1本のダウエルバーが伝達する荷重(kN)
 ※φ42(SR295)を用いた場合

図-16 ダウエルバーの概要 (参考)

5. 施工性試験

5.1 港湾走行路版の施工試験

5.1.1 試験概要

本試験は、大井コンテナ埠頭（東京埠頭株式会社）第4バース内のRTG(Rubber Tired Gantry crane : タイヤ式門型クレーン)走行路において、リングロックジョイントを使用したPPC版（以下、テナー版）の接合箇所が、供用中の現地において所定の機能を確保されるかを検証するために実施した。図-17, 18に設置したテナー版および擦り付け部のバリッドスラブの概要図を示す。なお、施工性試験に用いた継手形状は、試験実施時点におけるものとなる。

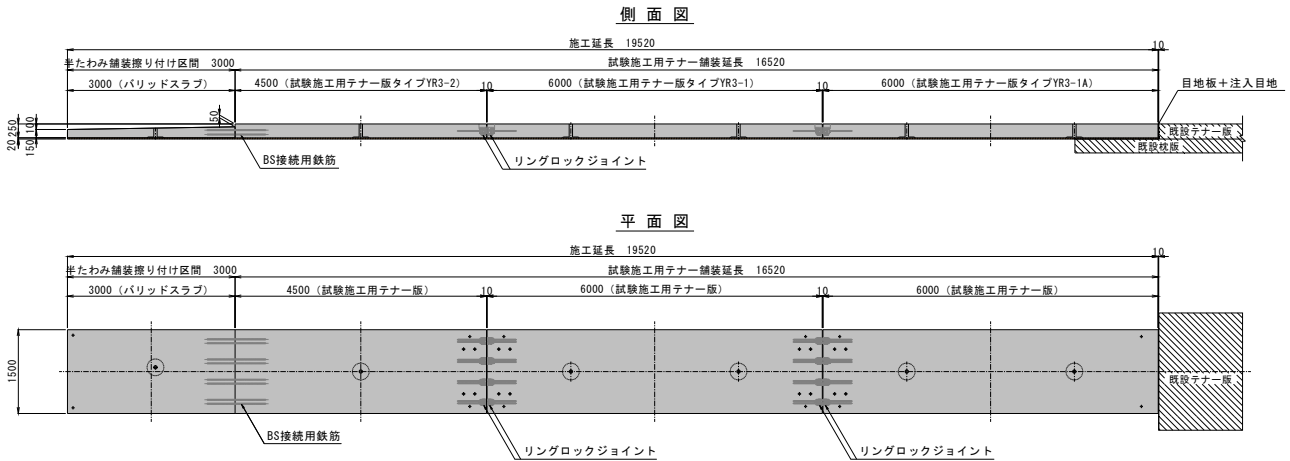


図-17 試験施工テナー版概要図

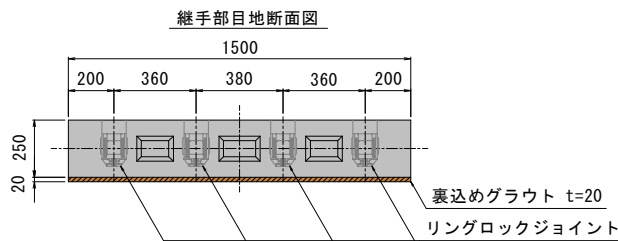


図-18 試験施工テナー版概要図(断面)

5.1.2 現地施工および定期点検の実施

テナー版およびバリッドスラブは工場にて製作を行い、現地に搬入した。対象箇所の既設舗装を撤去して、路盤の不陸整正にて現地と高さ調整を行った後に、テナー版およびバリッドスラブを架設した。接合部では、目地モルタルを打設後 2 時間経過した段階で、強度の確認を行い、継手部材の組付けと所定のトルクを導入した。トルク導入後の継手部には、テナー版上面から蓋を施工した。テナー版およびバリッドスラブ下面には裏込めグラウトを注入して、周囲のアスファルト舗装を復旧することで、現地施工を完了した。施工状況および完了写真を写真-6~写真-9 に示す。

定期的な点検として、施工後 1 年間は継手部の変状発生等が懸念されたため、3 ヶ月頻度で点検を実施している。本原稿執筆時点において、初期点検を除き計 5 回の定期点検を実施しているが、継手部周辺にひび割れが 0.05mm 以下で発生しているものの、長さおよび幅の進展はなく、軽微なものと推察される。また、テナー版の目地部には段差等の変状は見られず、荷重伝達性能等も問題なく機能していると判断される。



写真-6 試験体架設状況



写真-7 継手施工状況



写真-8 継手接合完了



写真-9 試験施工完了

5.2 脱着性試験

5.2.1 試験概要

リングロックジョイントを配置した PPC 版舗装の取替性を確認するために、部分的な PPC 版舗装の取替えを模擬して、リングロックジョイントの継手取外しから目地モルタルの切断、PPC 版の取替え、継手再接合までの一連施工について、実物大試験体を用いて施工試験を実施した（写真-10～写真-13）。なお、施工試験は、PPC 版（3.0m×2.25m×0.24m）に継手を 4 組配置した試験体を用いて実施した。

試験は、目地モルタル切断後片方の PPC 版を撤去・再設置することを想定していることから、背面部に仮想構造物として鋼材を設置し、撤去時の移動範囲を制限した状態で実施した。なお、裏込めグラウトおよび蓋の施工は、本試験の試験目的に影響がないことから、省略した。

5.2.2 取替えに伴う再利用性

継手の切断は 4 組配置されている継手のうち、1 組のみ撤去不能な状況を想定して、継手部材と目地モルタルを同時に切断する方式とした。残りの 3 組は、事前にトルクを解放して部材を取り外した状態で、目地モルタルの切断を実施した。目地幅 10mm の中心を鉛直に切断するために、1 回目は版厚の半分程度の深さ（120mm）まで刃を入れ、2 回目で完全切断することで、継手部材も含め問題なく切断することが可能であった。PPC 版撤去後に継手部材および PPC 版目地部の健全性を点検した結果、変状および変形等は確認されなかった。その後、目地部のモルタルせん断キーを復元し、PPC 版の再設置から継手の再接合を実施した。想定した一連の施工手順により、リングロックジョイントを有する PPC 版は、取替えおよび再利用が可能であることを確認した。このことから、コンクリートカッターによる切断方法では、残置側の PPC 版および継手部材が撤去後に健全であれば、再利用は可能であると判断される。



写真-10 目地切断状況

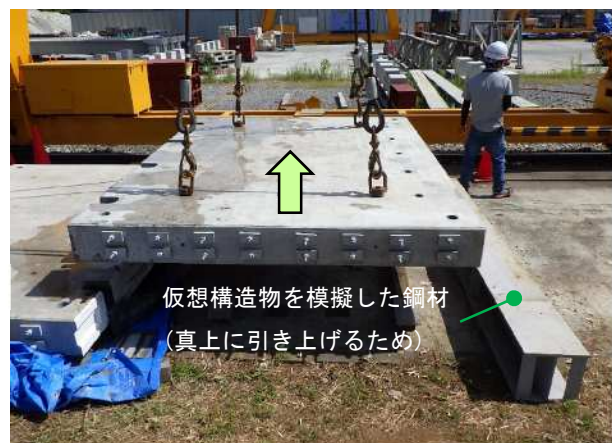


写真-11 PPC版の撤去状況



写真-12 目地部の撤去後状況



写真-13 再接合完了

6. まとめ

本継手工法を用いた各種試験から得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 定点疲労載荷試験では、15 万回載荷終了時には荷重伝達率が従来継手以上の 94%以上を保持することで、疲労に対する耐久性に問題はないことを確認した。さらに、載荷試験終了後に、継手部材は問題なく取り外すことができたことから部分的な取替えが可能であることを確認した。
- (2) 目地の水張り試験では、目地内部への水の浸入は確認されたものの、段差や目違いが生じるような隙間はなく、目地モルタルは健全であったことから、モルタル破損に起因するポンピング現象の抑制は可能であると評価できる。
- (3) 二面せん断試験では、継手 1 組あたりのせん断耐力を算出し、継手間隔の設計手法を確認した。これにより、従来継手のダウエルバーと比較して、配置間隔を広げることが可能となった。
- (4) 施工試験では、港湾のコンテナヤード走行路において、テナー版の設置およびその後の供用において、問題なく機能することを確認した。また、脱着試験では、継手および PPC 版の取替えまでを想定した一連の施工手順にて、取替えおよび再利用が可能であることを確認した。

謝辞

本継手の開発において、国土技術政策総合研究所 坪川室長、東洋大学 福手名誉教授には、各種試験において貴重なご助言を頂いた。また、東京埠頭株式会社には本施工試験の取組みにご理解・ご協力を頂いた。本試験に関わって頂いた関係各位に、謝意を表します。

参考文献

- 1) 堀内達斗, 雨宮美子, 坪川将丈: 空港舗装用プレキャスト PC 舗装版継手の開発, 第 29 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.29, pp.131-134, 2020.10
- 2) 伊藤彰彦, 山脇宏成, 田中秀樹, 横尾彰彦, 田辺忠頭, 八谷好高: 空港舗装における高強度 RC プレキャスト舗装版の設計に関する基礎検討, 土木学会舗装工学論文集, 第 8 巻, pp.173-181, 2003.12
- 3) 国土交通省航空局: 空港土木施設設計要領 (舗装設計編), p.8, 38, 付-92, 2019.