

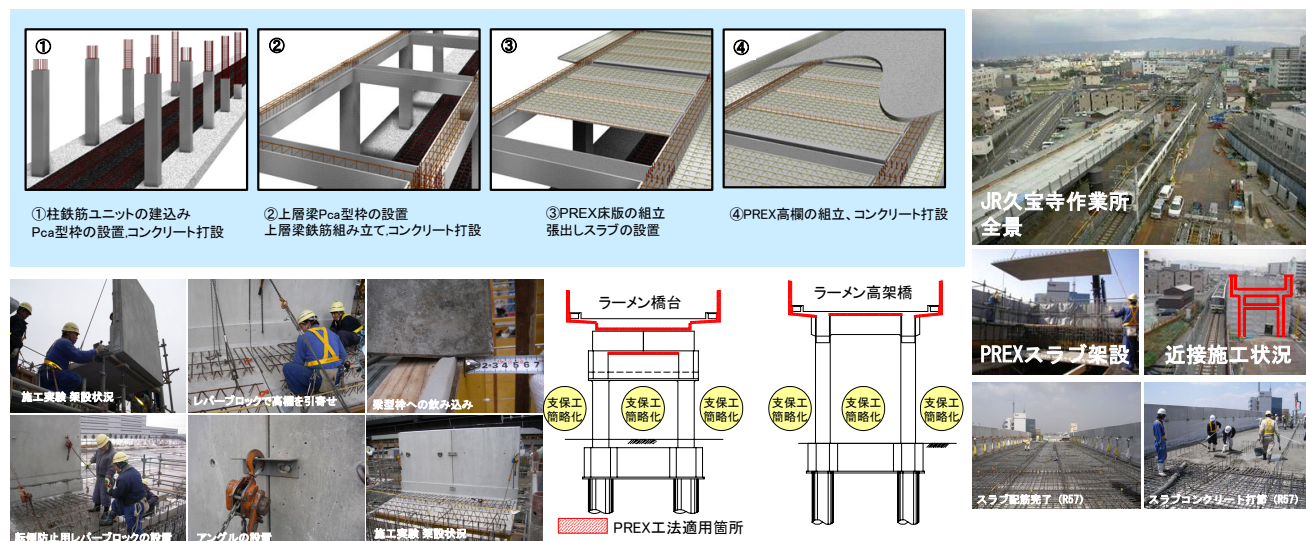
鉄道ラーメン高架橋の営業線近接工事における PREX スラブと

PREX 高欄の架設方法に関する検討

米田 大樹・大澤 泰治*¹・川井 晴至*²・原 夏生・今西 秀公*³・下田 誠剛*⁴

A Study on Erection Method of PREX SLAB and PREX PARAPET for Railway Elevated Bridge in the Neighboring Existing Railway

Taiju YONEDA, Taiji OOSAWA, Seiji KAWAI, Natsuo HARA, Hidekimi IMANISHI, Masataka SHIMODA



研究の目的

大阪外環状線鉄道整備事業の中で、関西本線と城東貨物線との合流部に位置する久宝寺工区への PREX 工法の適用は、スラブと高欄のみであり、柱と梁については在来工法のままである。したがって、梁のコンクリート打設前に PREX スラブと PREX 高欄の架設を行わなければならない。梁型枠と PREX スラブおよび PREX 高欄の取り合い部分について型枠の損傷防止やノロ漏れに対する検討が必要であった。さらに、営業線への近接施工であるため、PREX 高欄の転倒に対する検討も合わせて行った。

本稿は、久宝寺工区への PREX 工法適用に際して行った各種検討、および実施工を通じて得られた知見を本工法のこれまでの開発経緯や技術的特長も含めてまとめたものである。

技術の説明

PREX 工法の主な特徴は、高耐久性埋設型枠（PREX 型枠）とプレストレスを導入したハーフプレキャストスラブ（PREX スラブ）を用いることで、使用揚重機の高さを抑え、施工時の安全性と品質の向上、および狭隘地における急速施工を可能とした点である。特に、鉄道高架橋施工時の要となるスラブの架設では、PREX スラブ自身を足場および埋設型枠として無支保での施工を可能とし、活線直上施工のような状況下においても大幅な合理化施工を可能としている。

主な結論

PREX 工法を採用することで、支保工の簡略化による作業効率の改善と安全性確保の両立ができた。スラブの変形によるノロ漏れは、隙間テープ等を用いることで十分に防ぐことが可能であった。PREX 高欄の転倒に対する検討を行った結果、風荷重に対して転倒防止の補強を行うことで、安全に施工可能であることを確認した。

* 1 関西支店 JR 久宝寺作業所
* 2 香港支店 ストーンカッターズ橋作業所
* 3 本店 土木技術部
* 4 西日本旅客鉄道株式会社 大阪工事所

鉄道ラーメン高架橋の営業線近接工事におけるPREXスラブと PREX高欄の架設方法に関する検討

米 田 大 樹 大 澤 泰 治^{*1}
川 井 晴 至^{*2} 原 夏 生
今 西 秀 公^{*3} 下 田 誠 剛^{*4}

要 旨

近年、都市部の道路渋滞の緩和や交通事故防止を目的とした鉄道連続立体交差化事業の重要性が増している。しかし、都市部の鉄道連続立体交差化事業では、周辺環境、営業線の近接、工期など条件の厳しいものが多い。これらに対応する工法として、当社ではPREX工法を開発してきた。

大阪外環状線鉄道整備事業の中で、関西本線と城東貨物線との合流部に位置する久宝寺工区へのPREX工法の適用は、スラブと高欄のみであり、柱と梁については在来工法のままである。したがって、梁のコンクリート打設前にPREXスラブとPREX高欄の架設を行わなければならない、梁型枠とPREXスラブおよびPREX高欄の取り付け部分について型枠の損傷防止やノロ漏れに対する検討を行った。さらに、営業線への近接施工であるため、PREX高欄の転倒に対する検討も合わせて行った。

本稿は、久宝寺工区へのPREX工法適用に際して行った各種検討、および実施工を通じて得られた知見を本工法のこれまでの開発経緯や技術的特長も含めてまとめたものである。

キーワード 近接施工／急速施工／ハーフプレキャスト／PREX工法

目 次

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1. はじめに | 4. 実構造物へのPREXスラブ適用 |
| 2. PREX工法の開発経緯と技術的特長 | 5. 実構造物へのPREX高欄適用 |
| 3. 実構造物へのPREX工法適用検討 | 6. まとめ |

A STUDY ON ERECTION METHOD OF PREX SLAB AND PREX PARAPET FOR RAILWAY ELEVATED BRIDGE IN THE NEIGHBORING EXISTING RAILWAY

Taiju YONEDA	Taiji OOSAWA
Seiji KAWAI	Natsuo HARA
Hidekimi IMANISHI	Masataka SHIMODA

Synopsis:

Recently, requisition of continuous overpass for railway has increased to release urban traffic jam and avoid traffic accident. Construction of continuous overpass for railway, however, has many issues to be solved, such as surrounding environment, works in the neighboring existing railway and short project period. PREX Method has been developed to solve those.

PREX Method was applied to the contract in Kyuhoji, which was a part of the improvement project of Osaka Outer Loop Line (Osaka-soto-kanjosen). Kyuhoji was located in the intersection of Kansai Line and Joto Freight Line. The application of PREX Method in the contract was only into slabs and parapets. Therefore, it was necessary to erect PREX Slab and PREX Parapet before completion of beams. The erection method of PREX Slab and Parapet, treatment method of joint between beams and slabs or parapets, and prevention of collapse of PREX Parapet were considered.

This paper presents details of development and technical feature of PREX Method and findings obtained through the application in Kyuhoji.

* 1 関西支店 JR久宝寺作業所 * 2 香港支店 ストーンカッターズ橋作業所 * 3 本店 土木技術部
* 4 西日本旅客鉄道株式会社 大阪工事務所

1. はじめに

道路渋滞の緩和を目的とした鉄道連続立体交差化事業（以下、鉄道連立事業）は、都市再開発の中核事業として位置づけられ、優先公共事業の一つに挙げられている。都市部の鉄道連立事業は、狭隘な条件下で営業線を切り回す複雑な施工手順のため、合理的な工法の開発が強く望まれていた。このような背景から当社では、鉄道高架橋構築の合理化、省力化、急速施工を目的として、PRcast EXpress 工法（以下、PREX 工法と呼ぶ）を開発してきた（図-1）。PREX 工法の主な特徴は、高耐久性埋設型枠（写真-1）とプレストレスを導入したハーフプレキャストスラブ（写真-2）を用いることで、揚重機を可能な限り大型化せず、施工時の安全性と品質の向上、および狭隘地における急速施工を可能とした点である¹⁾²⁾。

新大阪駅と久宝寺駅を結ぶ延長約 20.3km の大阪外環状線鉄道整備事業の中で、関西本線と城東貨物線との合流部にあたる久宝寺工区は、関西本線の上下線間に高架橋を構築する営業線近接工事である³⁾⁴⁾。さらに、列車接近時の作業中断も頻繁に行わなければならない。このような厳しい施工条件の中で、安全性の確保と作業の効率化を図るため、現在、久宝寺工区において PREX 工法の適用を進めている（写真-3）。

本稿は、久宝寺工区への PREX 工法適用に際して行った検討、および実施工を通じて得られた知見を本工法のこれまでの開発経緯や技術的特長も含めてまとめたものである。2 章で PREX 工法の開発経緯および技術的特長、3 章で久宝寺工区への適用検討、4 章と 5 章において、久宝寺工区でスラブと高欄へ実際に PREX 工法の適用を進めている状況について報告する。これらは、今後の PREX 工法の適用拡大と施工に関する基礎資料として極めて有

用になると考える。

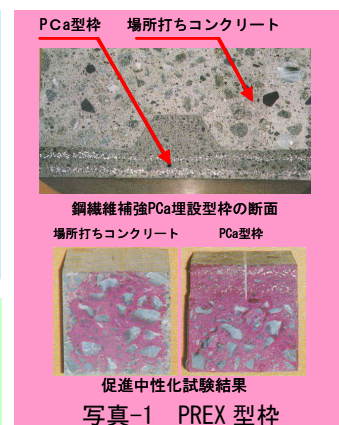
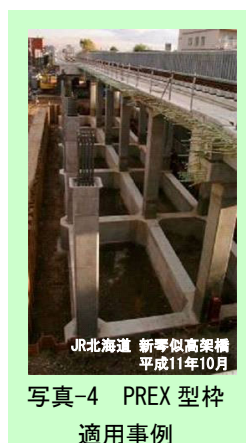
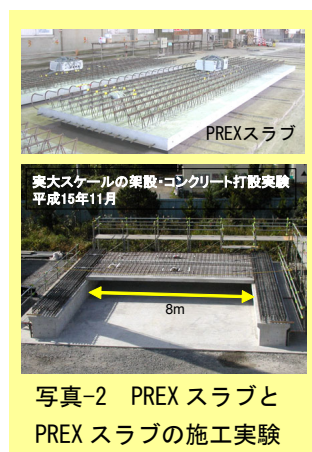
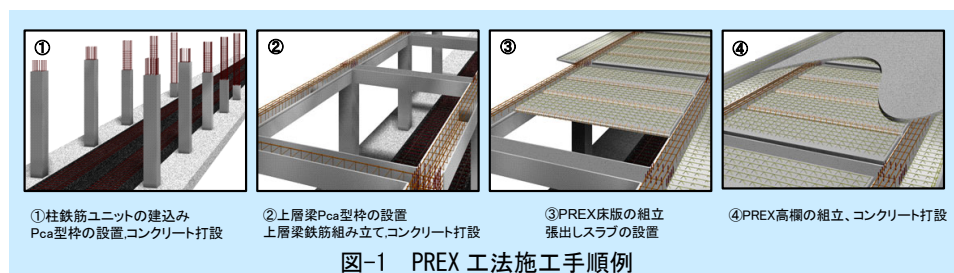
2. PREX 工法の開発経緯と技術的特長

本章では、最初に当社がこれまでに行ってきた PREX 工法の開発経緯および実績について述べる。次に、PREX 工法の特徴的な技術について既往の研究成果等も含めて整理する。

2.1 PREX 工法の開発経緯と適用実績

鉄道ラーメン高架橋の柱と梁について、PREX 工法は高耐久性埋設型枠（以下、PREX 型枠と呼ぶ）を採用することで狭隘地における急速施工と安全性の確保、および高品質・高耐久化を実現した（写真-1）。PREX 型枠は、「ステンレススティールファイバー混入モルタルによる高耐久性埋設型枠 SEED フォーム」⁵⁾として平成 7 年 3 月に財団法人土木研究センターより技術審査証明を取得している。また、「プレキャスト型枠工法を適用した鉄道ラーメン高架橋の設計・施工指針」¹⁾として、平成 11 年 3 月に財団法人鉄道総合技術研究所より指針が発刊されており、同年 10 月には JR 北海道札沼線複線化新川工区の新琴似高架橋へ PREX 型枠が採用されている⁶⁾（写真-4）。

スラブについては、プレテンション方式のプレストレスを導入したトラス鉄筋付ハーフプレキャストスラブ（以下、PREX スラブと呼ぶ）によって、標準的なラーメン高架橋および活線直上の門型ラーメン高架橋を想定した架設実験と打設実験を平成 15 年 11 月に行い、スラブスパン 8m 程度までの適用性を確認済みである（写真-2）。さらに、同年 12 月には「トラス鉄筋付プレキャスト版を用いた鉄道ラーメン高架橋スラブの設計・施工指



針」²⁾として財団法人鉄道総合技術研究所より指針が発刊されている。実構造物への採用実績としては、平成14年にJR東海愛知環状鉄道の高蔵寺工区のボックスカルバートでPREXスラブが活線直上床版へ適用されている⁷⁾（写真-5）。鉄道高架橋へのPREXスラブの本格適用は、今回の久宝寺工区が初めてとなる。

2.2 PREX 工法の技術的特長

ここでは、PREX 工法の技術的特長について当社のこれまでの研究成果を整理し、その内容を簡単に述べる。詳細については、各文献を参照されたい。

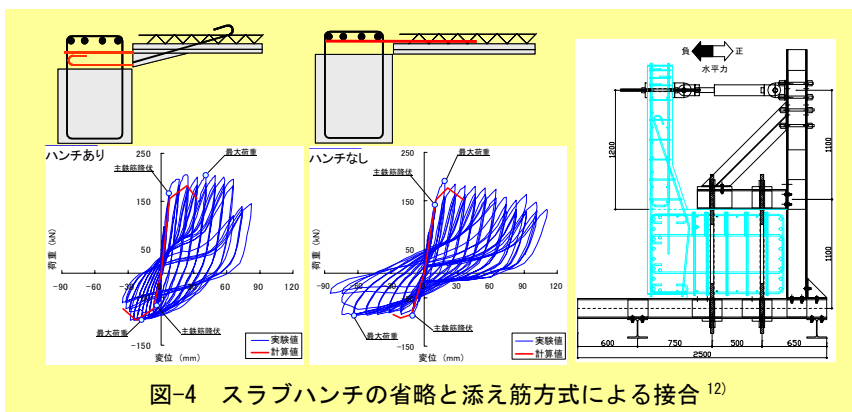
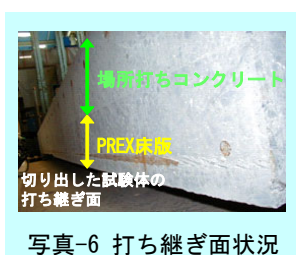
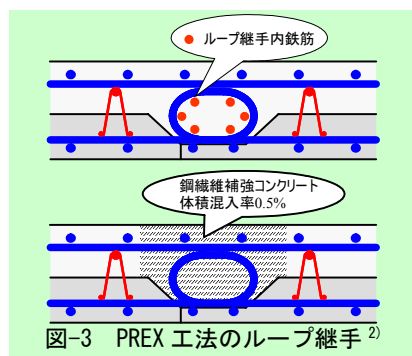
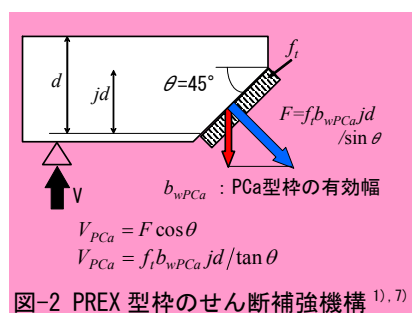
(1) 柱・梁部材について

PREX 型枠は、水セメント比30%の高強度モルタルにファイバーを混入したプレキャスト埋設型枠であり、促進中性化試験によって高い耐久性を有していることが確認されている^{1),5)}（写真-2）。また、型枠内部に目荒し処理を施すことで静的荷重および繰返し荷重に対して、本体構造の一部として使用可能である。PREX 型枠は梁の底面および側面に配置することで、曲げおよびせん断補強効果のあることが実験によって確認されており⁸⁾、これらの効果はPREX 型枠のせん断補強効果 V_{PCa} として指針¹⁾に反映されている（図-2）。

$$V_y = V_c + V_s + V_{PCa} \quad [1]$$

ここに、 V_y ：PREX 型枠のせん断補強効果を考慮した棒部材のせん断耐力、 V_c ：せん断補強筋を用いない棒部材のせん断耐力、 V_s ：せん断補強筋により受け持たれる棒部材のせん断耐力、 V_{PCa} ：PREX 型枠中の鋼繊維によるせん断補強寄与分である。

ただし、せん断補強筋比がパラメータとなる内部コン



クリートの拘束効果や主鉄筋の座屈防止効果に対しては、現時点でも明確でない点があるため、PREX 型枠の補強効果をせん断耐力のみに限定している^{1),9)}。

(2) スラブについて

鉄道高架橋施工時の要となるスラブの架設では、PREX スラブ自身を足場および埋設型枠として無支保での施工を可能とし、活線直上施工のような状況下においても大幅な合理化施工を可能としている（写真-2）。また、ハーフプレキャストスラブは、フルプレキャストスラブと比較して重量が軽く、揚重機を大型化する必要がないため、都市部の狭隘地における近接施工において有利となっている。

PREX スラブと場所打ちコンクリートの合成構造としての一体性については、実大スケール施工実験においてループ継手部分も含めてコンクリート充填の密実製が確保されていることが確認されている（写真-6）。また、実大スケールモデルから切り出した試験体を用いた梁曲げ試験において、終局状態までPREX スラブと場所打ちコンクリートの一体性が確保されていることが確認されている¹⁰⁾（写真-7）。

PREX スラブ同士の接続に関しては、ループ継手を用いており、2方向スラブとしての設計が可能である²⁾。ループ継手に関する力学的特性は、これまでも多数の研究が行われており、詳細は文献¹¹⁾に詳しい。また、実験によってもループ継手を含む部材の耐力および疲労特性は在来工法と同等であることが確認されている¹⁰⁾。PREX 工法では、継手に直交するループ継手内鉄筋を用いる方法と、鋼繊維コンクリートを用いる方法の2種類がある²⁾。今回の久宝寺工区では、ループ継手内鉄筋を用いる方法を採用している（図-3）。

PREX スラブは、梁との接続部分に添え筋を配置するこ

とで、ハンチの省略が可能である²⁾。ハンチを省略してもハンチを有する在来工法と同等以上の耐力および変形性能を有していることが実験によっても確認されている¹²⁾ (図-4)。ただし、今回の久宝寺工区のように在来工法で設計されたものを PREX 工法へ変更してハンチを省略した場合、梁の有効断面の変化によって梁の剛性が変化する可能性がある。これについての詳細は、3 章にてさらに述べる。

(3) 高欄について

PREX 工法は、高欄を単体とした場合と高欄・張り出しスラブを一体化した L 型の場合のどちらにも対応可能である (写真-8)。PREX 高欄は、在来工法による高欄と比較して、安全性および作業の効率化に優れるものの、プレキャスト部材である PREX 高欄を垂直に立ち上げるため、場所打ちコンクリートとの一体化が完了するまで不安定な構造形式となる。したがって、PREX 高欄は、施工時の転倒に対する検討が重要となる。今回の久宝寺工区では、高欄と張り出し部を一体化した L 型のものを採用している。久宝寺工区における PREX 高欄の転倒に対する検討、および施工の詳細は 5 章にて述べる。

3. 実構造物への PREX 工法適用検討

本章では、主に久宝寺工区の概要と PREX 工法適用のために行った設計に関する検討を報告する。

3.1 久宝寺工区の概要

久宝寺工区における鉄道高架橋構築工事は、大阪外環状線鉄道整備事業の一部として行われているものである。東大阪市南西部地区では、城東貨物線と道路が平面交差していることによって、多くの踏切があり、交通渋滞や



写真-8 PREX 高欄

交通事故の原因になっている。さらに鉄道により市街地が分断され、安全で快適なまちづくりを進めるうえで大きな障害となっている。これら諸問題を解決するため、大阪外環状線鉄道整備事業が推進されている^{3),4)} (図-5)。

大阪外環状線鉄道整備事業は、現在の城東貨物線の施設や用地を有効活用して複線化・電化を行うとともに新大阪駅に至る連絡線を新設し、新大阪駅から大阪東部地域を経て JR 関西線の久宝寺駅にいたる約 20.3km の旅客線を整備するものである。整備スケジュールは、Ⅰ期工事として南区間（放出～久宝寺）を平成 19 年度末に完成し、Ⅱ期工事として北区間（新大阪～放出）を平成 23 年度末に完成させることとしている^{3),4)}。

久宝寺工区は、関西本線と城東貨物線の合流部に位置し、主要工事は、SRC 桁区間（下部工：RC 橋脚・SRC 橋脚）が 112m、ラーメン高架橋区間が 270m、およびジオテキスタイル・重力擁壁盛土区間が 140m となっている。本工区は、関西本線の上下線間に高架橋を構築する営業線近接工事であり、施工位置と建築限界までが非常に近く、1 時間あたり上下 24 本の列車が両側を行き交う中で、列車接近時の作業中断も頻繁に行わなければならない。このような施工条件の中で安全性の確保と支保工簡略化、および資材ヤードの削減による効率化を目的として、PREX 工法の適用を進めている (図-5)。

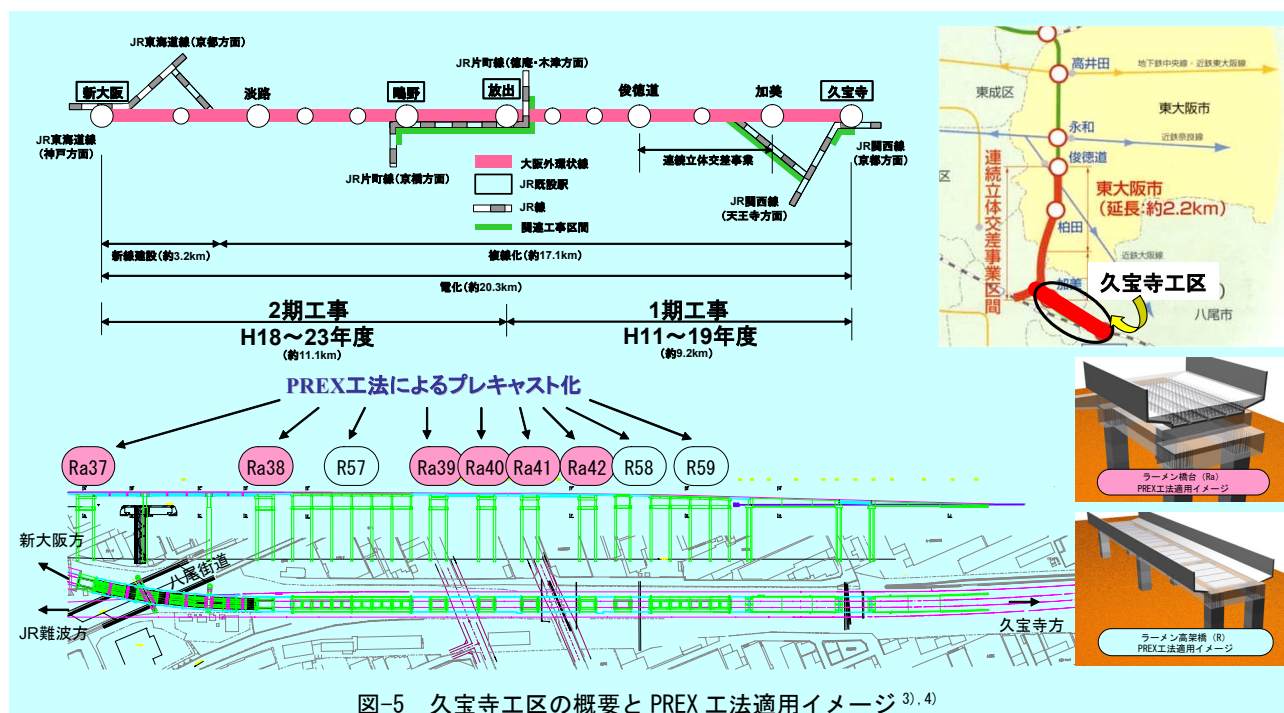


図-5 久宝寺工区の概要と PREX 工法適用イメージ^{3),4)}

3.2 久宝寺工区への PREX 工法適用範囲

今回の久宝寺工区では、高架橋構築において煩雑な中間スラブ・中層スラブおよび高欄・張り出しスラブの施工に対し、作業時の安全性確保と支保工簡略化による作業効率の向上を目的として PREX 工法を採用することとした。図-6 に在来工法と PREX 工法の支保工例を示す。また、合わせて図-7 に今回の久宝寺工区における PREX 工法適用箇所を示す。ただし、今回の久宝寺工区では、柱と梁は在来工法のままである。

3.3 在来工法からの設計変更

(1) 置換え設計について

久宝寺工区での PREX 工法の設計は、在来工法による原設計を置き換える手順で行った。各部材耐力および剛性は、原設計とほぼ同等になるように置き換えている。これは、各部材の仕様変化が原設計における全体系の破壊モードを変化させないようにするためである。

PREX スラブを用いた合成スラブでは、ハンチが省略されているため、在来工法によるスラブと仕様が大きく変わる。そこで、設計変更にあたっては、原設計と同等の照査を再度行った。また、梁についてもハンチの省略によって有効断面の変化が生じる。ハンチ省略による梁の仕様変化に対しては、以下の①～③を満足するような断面を設定できる場合に、フレーム再計算を行わず、原設計の断面力を使用することとした。すなわち、このような置換え設計方法を用いることで、在来工法によって設計された鉄道ラーメン高架橋を容易に PREX 工法へ置き換えることが可能となったのである。ただし、当初から PREX 工法の適用を前提として設計を進めていけば、ラーメン高架橋の中間横梁の省略など、さらに合理的な設計が可能である。したがって、今後の新設の鉄道高架橋については、早い段階で PREX 工法の適用を前提として計

画を進めることが望ましい。

置換え設計における検討項目

- ①梁の断面剛性の変化率 α が $\pm 5\%$ 以内
- ②(原設計の照査結果) $\times (1+\alpha/100) \leq 1.0$
- ③変化後の剛性を用いても梁の配筋が変わらない

ここに、原設計の照査結果 $=\gamma_i \times S_d / R_d$ 、 γ_i : 構造物係数、 S_d : 設計断面力、 R_d : 設計断面耐力である。図-8 に PREX 工法適用に伴う梁の照査フローを示す。

(2) 部材分割に関する検討

ここでは、在来工法からの置換え、および PREX 工法の適用を前提としていた場合のどちらにおいても重要な部材の分割について述べる。

一般的に、プレキャスト部材は同一形状の物を多用することがコスト削減に重要であり、PREX スラブにおいても、設計時に可能な限り同一形状の部材となるよう配慮しなければならない。PREX 工法では、1 径間あたりの PREX スラブおよび PREX 高欄の分割について部材の耐力以外に以下の①～③の制約条件の下で、可能な限り同一形状としつつ、部材分割数を少なくすることがコスト削減の上で重要となる。

PREX 工法における部材分割時の制約条件

- ①工場で製作可能な大きさ
- ②運搬・搬入可能な大きさ
- ③揚重機の設置位置、揚重能力の範囲内

久宝寺工区では、これらのことを検討した結果、橋台の中層スラブは 4 分割、ラーメン高架橋中間スラブについては 3 分割としている。

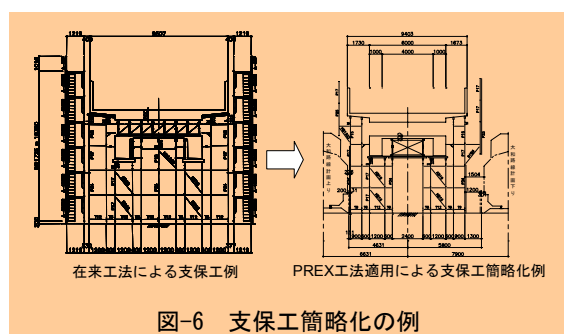


図-6 支保工簡略化の例

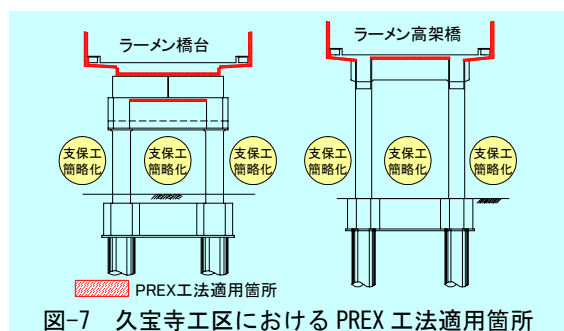


図-7 久宝寺工区における PREX 工法適用箇所

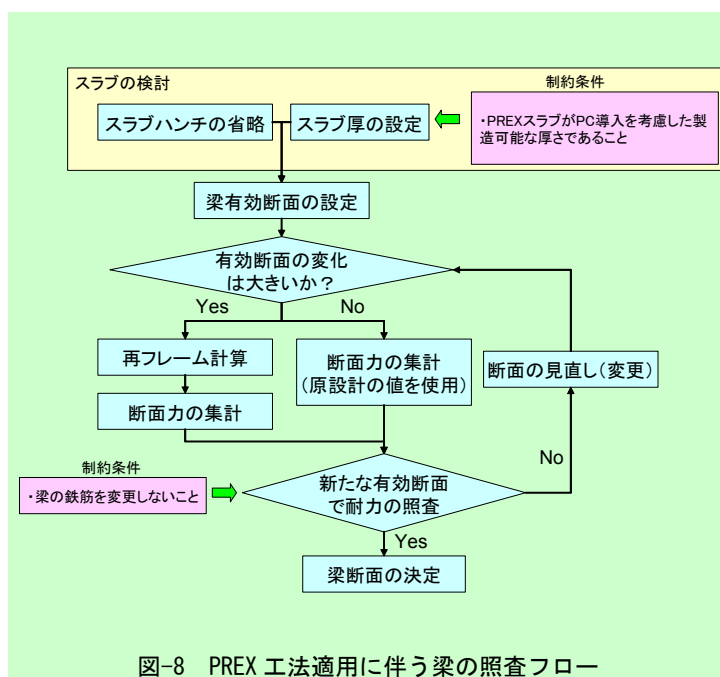


図-8 PREX 工法適用に伴う梁の照査フロー

4. 実構造物への PREX スラブ適用

本章では、久宝寺工区への PREX 工法適用に際して行った PREX スラブの架設方法に関する検討を報告する。今回、鉄道高架橋への PREX 工法適用が初めてであること、および近接施工による厳しい施工条件であることから、実際の適用を前に施工実験を行い（図-9）、各課題に対して問題の無いことを確認してから実施工を行った。

4.1 PREX スラブ架設時の課題

久宝寺工区への PREX 工法適用は、スラブ、および高欄と張り出しスラブのみである。すなわち、施工方法として、梁のコンクリートを打設した後に PREX スラブを架設するか、梁のコンクリート打設前に PREX スラブを架設するかの 2 種類の方法が考えられる。今回の久宝寺工区では、工期短縮を目的として、梁のコンクリート打設前に PREX スラブの架設を行い、梁とスラブのコンクリートを 1 回で打設する方法を採用した。

スラブと梁のコンクリートを 1 回で打設する場合、PREX スラブ架設の際、安定した梁に PREX スラブを預けることができないだけでなく、軽量で剛性の低い梁型枠とコンクリート部材である PREX スラブの接触によって、梁型枠を損傷する危険性が高い。また、両者の設置精度によっては、梁型枠と PREX スラブの取り付け部分からのノロ漏れが多量に生じる危険性もある。

4.2 型枠の強度と PREX スラブの荷重について

久宝寺工区の PREX スラブ架設では、先にも述べた通り梁の完成前にスラブを架設しなければならない。しかし、今回は営業線間での施工であり、活線直上での施工でないことから、梁間にサポートを設置して架設時荷重を支える方法を採用した（図-9）。ただし、安全性および施工時の柔軟性拡大を目的として梁型枠のみで PREX スラブの荷重を支えた場合について問題の無いことを確認している。具体的には、梁型枠側面の栈木に PREX スラブの荷重が作用した場合の圧縮および座屈に対して安全であることを確認した（図-10）。実際には、栈木は合板に固定されており、両端をピン固定としたオイラーの座屈荷重を用いている本検討は、相当安全側のものとなっている。また、実大スケールの施工実験を行い、実際に梁型枠のみに PREX スラブと PREX 高欄の荷重を作用させて問題の無いことを確認している。

4.3 梁型枠と PREX スラブ取り付け部分について

(1) ノロ漏れ対策について

プレストレスが導入されている PREX スラブには、製造時の段階で若干の反りが生じている（写真-9）。そのため、線路直角方向の梁型枠との設置面に隙間が生じ、ノロ漏れの発生が予想された。また、線路方向の梁型枠とスラブの取り付け部は、その内側にサポートを設置し

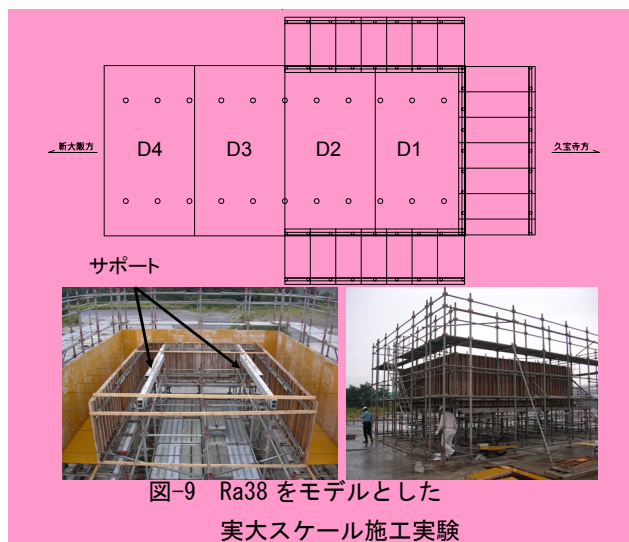


図-9 Ra38 をモデルとした
実大スケール施工実験

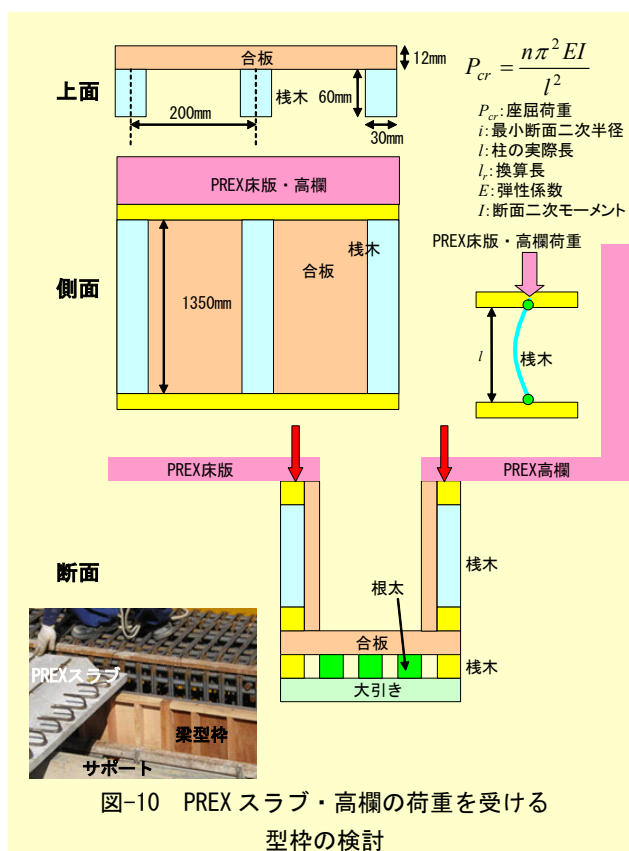


図-10 PREX スラブ・高欄の荷重を受ける
型枠の検討



写真-9 PREX スラブの反りとシーラ材貼り付け状況

ているため、コンクリートの打設および作業時荷重によって、PREX スラブの両端が梁から浮き上がることが懸念された。そこで、型枠と PREX スラブの設置面にシーリング材を貼り付けることでノロ漏れを防ぐ方法を採用し、試験施工においてスラブ架設位置の微調整でシーリング材に剥がれが生じないことを確認した（写真-9）。実施工においても、型枠と PREX スラブの取り付け部で若干のにじみが確認されたものの、ノロ漏れは生じなかった。

(2) PREX スラブの反り（たわみ）について

実施工を前に行った施工実験では、PREX スラブの反り（たわみ）の計算値と測定値の比較を行い、ノロ漏れにつながる型枠と PREX スラブの取り付け部の隙間の開きについて検討を行った。

今回行った架設時のたわみ計算は、1 枚の PREX スラブを棒部材と仮定し、断面に仮設鋼材であるトラス鉄筋および PC 鋼線を考慮したものである。プレストレスは、クリープと乾燥収縮を考慮した有効プレストレス¹⁴⁾を用いている。計算では、PREX スラブ搬入時（両端支持）のたわみは計算値よりも大きな値であったが、PREX スラブ搬入時から架設時へのたわみの変化量は計算値と測定値で一致していた。すなわち、両端支持でのたわみからサポート位置でのたわみを引いたものは、計算値（2.1mm）と実測値（2.2mm）でほぼ同じであった。また、計算によるコンクリート打設時の PREX スラブ端部の浮き上がりは 0.1mm 以下であり、実施工時にも PREX スラブの浮き上がりは確認されなかった（図-11）。

最初の両端支持状態でのたわみが計算値よりも大きかった理由は、プレストレスのクリープによる曲げ変形の増加を考慮できていないためと考えられる。これらの影響は、相当複雑な解析が必要であり、設計上考慮されて

いない。また、施工実験での計測値が計算値より大きかったが、割合としては、スパン 4000mm に対して 7.7mm の差であり、施工上問題になるものではないと考えられる。プレストレスのクリープによる曲げ変形の増加については、製造時にスラブ端部で支持した状態で養生することでほとんど問題になることはほとんど無いと考えられる。

4.3 ループ継手部の施工について

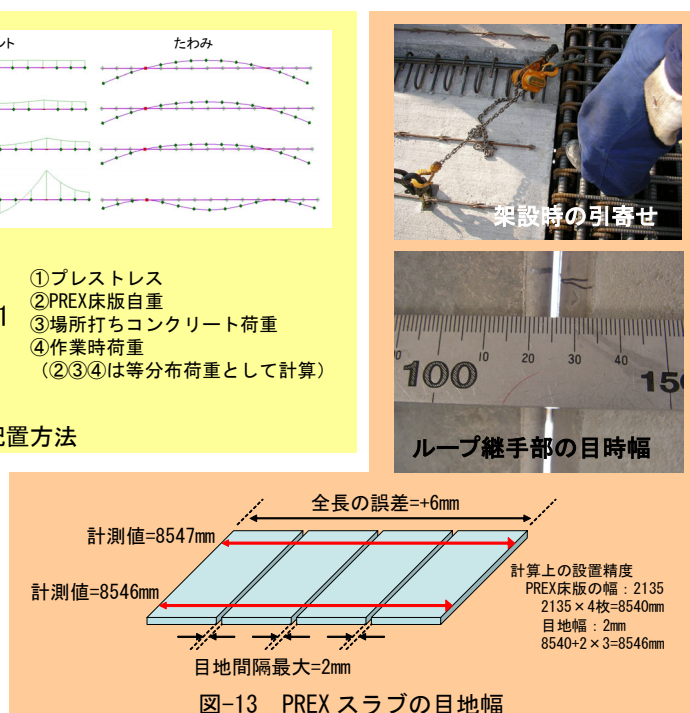
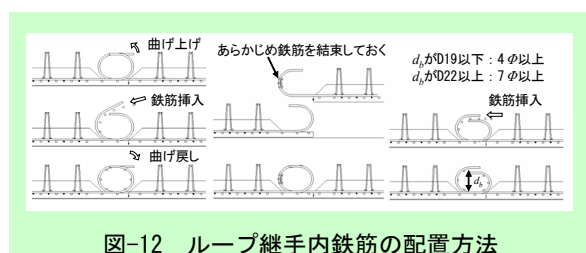
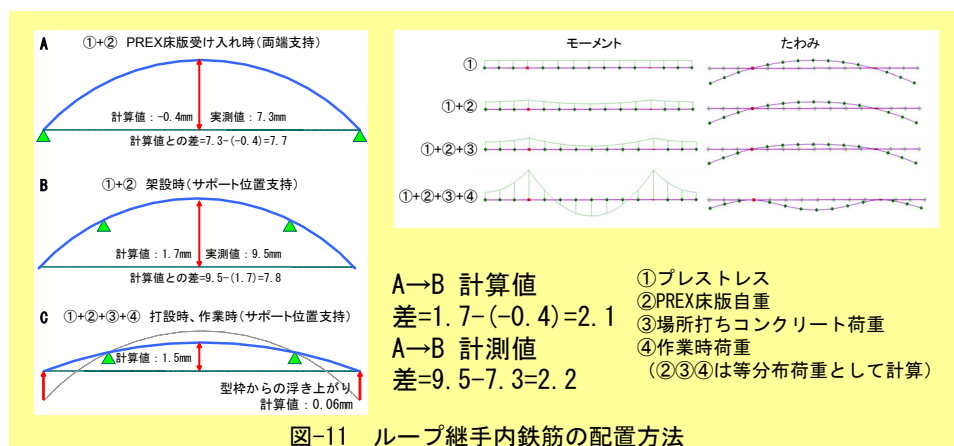
(1) ループ継手内鉄筋の配置方法について

久宝寺工区では、ループ継手内鉄筋を用いる方法を採用している（図-3）。ループ継手内鉄筋の配置方法には複数の方法があるが、ラーメン橋台の中層スラブについては後から架設するスラブのループ継手に鉄筋を抱かせて架設する方法を採用している（図-12）。これは、ラーメン橋台中層スラブのような厚さが 200mm しかない薄いスラブにおいて、ループ筋のかぶりを確保するためと、曲げ上げ・曲げ戻しの作業を省略するためである。一方、ラーメン高架橋の中間スラブは、スラブ厚が 250mm あるため、段違いのループ筋を採用している。

(2) 架設位置の調整と目地幅について

架設位置の調整は、図-13 のように PREX スラブをレバブロックで引寄せて位置調整を行った。引寄せの際、反力を既設の隣のスラブから取ると既設のスラブが動く可能性があったため、梁鉄筋にレバブロックを設置して引寄せを行った。PREX スラブと比較して梁鉄筋の質量の方が十分に大いため、梁鉄筋が動くことは無かった。また、梁鉄筋は十分強固に組み立てられており、変形することも無かった。

ループ継手部の目地幅と 4 枚の PREX スラブの架設完



了後の長さを計測し、設計図上の寸法と施工上の寸法の差を確認した（図-13）。誤差の許容範囲は、線路直角方向の梁型枠への掛かり代が確実に確保でき、梁鉄筋に干渉しない範囲として1目地あたり5mmを設定した。計測の結果、目地1箇所あたり最大で2mmの目地幅であり、4枚架設時の全体の施工誤差6mmで設定した容範囲内に収まっていた。

(3) エポキシ接着剤の塗布について

ループ継手部の目地部分については、クロロプレンゴムとエポキシ接着剤を用いて完全にシールを行うことでノロ漏れを防ぐ方法を採用している（写真-10）。実施工のコンクリート打設時にループ継手部を確認した結果、ノロ漏れは生じていなかった。

エポキシ接着剤は、場所打ちコンクリート部に配置されている最も外側にある鉄筋に対して、最小かぶりが確保できる領域までエポキシ樹脂接着剤を塗布する必要がある。例としてR57中間スラブのループ継手部を図に示す。今回、場所打ちコンクリートで5mm、クロロプレンゴム設置部を除いたPREXスラブで16mmと9mmの合計30mmのかぶりを確保している（図-14）。一般的に、クロロプレンゴムの外側までエポキシ樹脂接着剤の塗布を行うことは少ないが、今回はかぶり確保のためにクロロプレンゴムの下側までエポキシ接着剤の塗布を行っている。したがって、接着剤のはみ出しに対しては、架設時にマスキングテープを使用して対処した。

4.4 実施工への適用状況と架設時間

現在久宝寺工区では、Ra38 ラーメン橋台中層スラブおよびR57 ラーメン高架橋中間スラブの一部のみPREXスラブの架設が完了している（写真-11）。まだ、歩掛等の取得段階であり詳細なデータは今後になるが、現時点で

のPREXスラブ架設時間は、Ra38：1枚目：30分、2枚目：30分、3枚目：10分、4枚目：20分であった。また、R57 ラーメン高架橋中間スラブの架設時間は3枚のみのデータであるが、1枚目：15分、2枚目：18分、3枚目：14分であった（R57については、スラブ上へ仮置きしてからの架設）。列車接近時にはクレーンの旋回を中止しているため単純に比較はできないが、1枚あたり10分～30分程度の架設時間である。今後、作業の熟練と共に架設時間がさらに短縮されていくものと思われる。

5. 実構造物へのPREX高欄適用

本章では、久宝寺工区へのPREX工法適用にあたって行ったPREX高欄の架設方法についての検討を報告する。今回、久宝寺工区へ適用を進めているPREX高欄は、張り出し部と一体化したL型のプレキャスト部材である（写真-8）。

5.1 PREX高欄・張り出し部架設時の課題

PREX高欄の架設時においても、PREXスラブと同様に設置精度やノロ漏れに対して注意が必要である。一方、PREX高欄特有の課題として、L型のPREX高欄は、下側から支保工によって支えて架設を行わなければならない。すなわち、場所打ちコンクリートとの一体化が完了するまでは、非常に不安定な構造形式となるのである。また、施工位置と建築限界までの距離が非常に近く、プレキャスト化による急速施工、および安全性確保のメリットが大きい反面、転倒に対して細心の注意を払わなければならない。

5.2 転倒防止に対する検討

架設時における地震などの影響は、一般的にL1地震動に対応する設計震度の1/2とすることが多いようである



写真-10 ループ継手部の処理状況

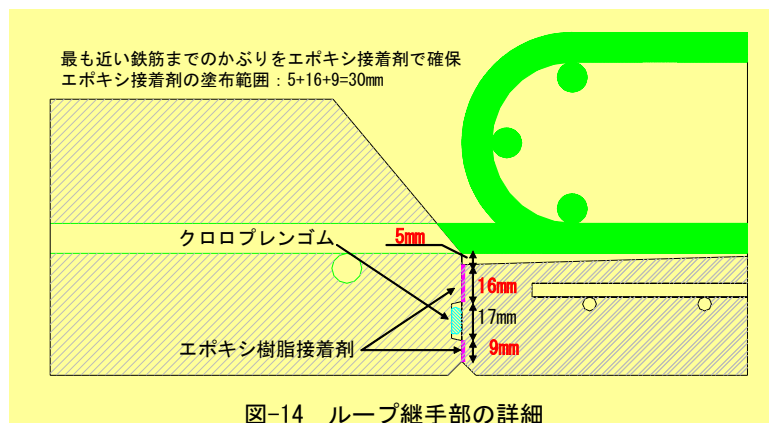


図-14 ループ継手部の詳細



写真-11 PREXスラブの架設状況

13). 今回、久宝寺工区での PREX 高欄架設時の地震荷重および風荷重に対しても、完成時に要求される耐力の 1/2 を満足することを条件として検討を行った。ただし、高欄のように面積の大きい部材の場合、地震による影響よりも風荷重による影響が大きくなるため、本稿では風荷重による影響のみについて述べる。

鉄道構造物等設計標準・同解説¹⁴⁾では、風荷重を主たる変動作用とする場合の構造物の垂直投射面に対する風荷重の単位面積当たりの特性値は、一般に 3.0kN/m^2 としている。また、単位面積当たりの風荷重は式 [2] によって算定している。

$$p_w = 1/2 \cdot c \cdot \rho \cdot v^2 \quad [2]$$

ここに、 p_w ：単位面積当たりの風荷重 (N/m^2)、 c ：抗力係数で長辺を風向にした長方形断面の推奨値は 2.2、 ρ ：空気の密度 (kg/m^3) 通常 1.25、 v ：風速 (m/sec) である。

今回、PREX 高欄の架設時に作用する風荷重として、既往の考え方と同様に 3.0kN/m^2 の 1/2 である 1.5kN/m^2 が高欄の中央に作用するものとした (図-15)。架設時の PREX 高欄の転倒に対しては、この 1.5kN/m^2 の風荷重が作用した時に安全であることを条件とした。なお、単位面積当たり 1.5kN/m^2 の風荷重とは、鉄道構造物等設計標準・同解説¹⁴⁾によれば、風速 33m/sec に相当する。

PREX 高欄の水平方向の重心位置は、外側から 348mm の位置である (図-16)。PREX 高欄を支える外側の支保工位置は、 230mm であり、この時の自重のみによる転倒

モーメントは内側へ 3.4kNm となる。一方、 1.5kN/m^2 の風荷重が高欄中央へ作用した場合の風荷重による外側への転倒モーメントは、 7.1kNm であり、その差 3.7kNm を負担するものとして、レバブロックを架設後に設置している。高欄を支持する支保工位置が内側へ入るほど転倒に対して危険となるため、外側のサポートの設置位置の管理は細心の注意を払った。また、作業時の目安として、張り出し部底面にある水きりを目印として設置位置の管理を行った (図-16)。

施工実験において、実際のサポート位置 (外側から 230mm の位置) で支えた高欄張り出し部をクレーンで引き上げて高欄張り出し部が転倒した時の荷重を計測した。これは、計算による転倒時の荷重と実際の荷重を比較して、重心位置の精度を確認するためである。計算結果と計測結果は一致しており、計算上の重心位置 (外側から 348mm) の精度に問題の無いことを確認した (写真-12)。

5.3 架設位置の調整と PREX 高欄の目地について

(1) 架設方法

PREX 高欄の架設は、スラブと同様に設置後にレバブロックを用いて引き寄せた。その際、既設の高欄が動くのを避けるために、既設高欄からは反力を取らないようにした。また、梁型枠と PREX 高欄の設置位置からのノロ漏れを防ぐため、PREX スラブの架設方法と同様に型枠上面に隙間テープを貼り付けた。

高欄の通りを合わせるため、高欄にあらかじめインサートを埋め込んでアングルを締め付けた。このアングルに穴を開けておき、転倒防止用レバブロックを設置で

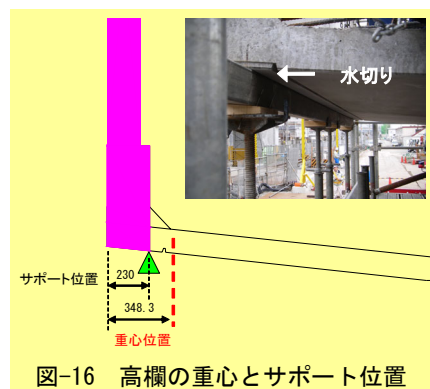
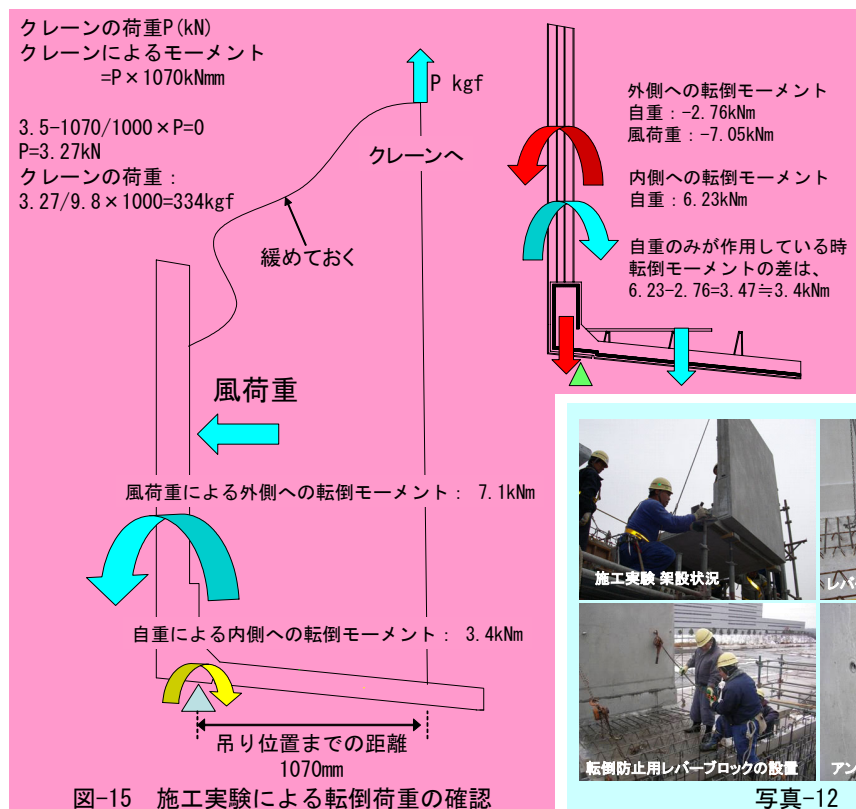


写真-12 施工実験による PREX 高欄の架設

きるようにした（写真-12）。

(2) 目地とエポキシ接着剤の塗布

PREX 高欄の目地部分についても PREX スラブと同様に、クロロプレンゴムとエポキシ接着剤を用いて完全にシールを行うことでノロ漏れを防ぐ方法を採用している（図-17）。実施工のコンクリート打設時に PREX 高欄の目地部分を確認したが、ノロ漏れは生じていなかった。

PREX 高欄の目地部分は、今回の PREX スラブのルーブ継手部と異なり、張り出しスラブ部の厚さは 120mm と十分に厚い。したがって、クロロプレンゴムの内側のみにエポキシ接着剤を塗布すれば十分にかぶり 30mm 以上確保でき、接着剤のはみ出しの心配も無かった。PREX 高欄の架設に際しては、マスキングテープ使用の必要が無く、実施工の際にも目地部からの接着剤のはみ出しは無かった（図-17）。

5.4 実施工への適用状況と架設時間

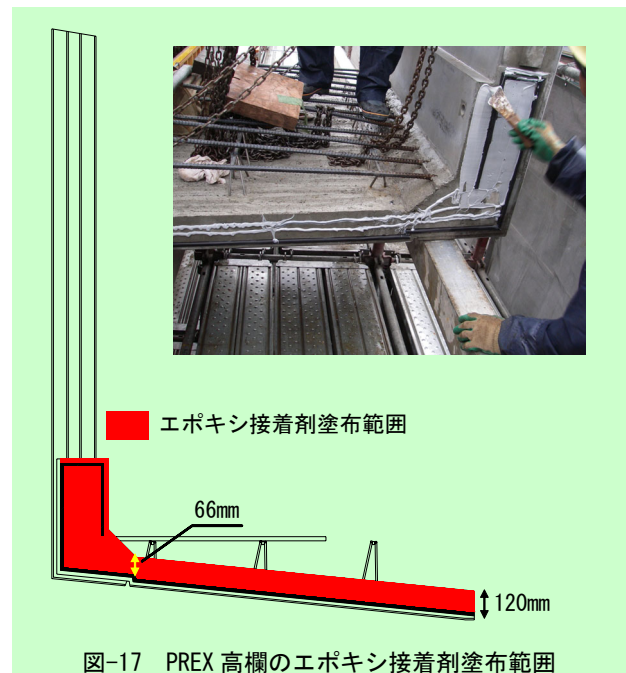
施工実験での PREX 高欄の架設時間は 1 枚目：30 分、2 枚目：47 分、3 枚目：18 分であった。また、R57 ラーメン高架橋での実施工時（写真-13）の架設時間は、搬入された PREX 高欄を高架橋下から直接架設した場合と、一旦中間スラブ上へ仮置きしてから架設したもので異なるが、直接架設した場合の平均：43 分、スラブ上へ仮置きして架設した場合の平均：27 分であった。スラブ上へ仮置きした場合には、ラーメン高架橋下からスラブ上への移動時間が含まれていないため、その時間を考慮すれば直接架設したものと同様となる。現時点では架設枚数も少なく時間にもバラつきが認められるが、1 枚あたり 40 分程度で架設が可能と考えられる。今後、施工枚数が増える事で架設時間の更なる短縮が可能になると思われる。

6. まとめ

今回、今後の PREX 工法適用のための基礎資料とすべく、久宝寺工区への PREX 工法の適用に際して行った各種検討や実施工状況について述べてきた。本研究の範囲内で得られた知見を以下に要約する。

(1) 在来工法によって設計された鉄道ラーメン高架橋およびラーメン橋台は、置換え設計を行うことで容易に PREX 工法へ変更することが可能である。また、より早い段階から PREX 工法の適用を進めることで、中間横梁の省略など、さらなる合理化が可能と考えられる。

(2) 在来工法と PREX 工法の組み合わせのため、梁型枠との取り扱いについて検討を行った。スラブの変形によるノロ漏れは、隙間テープ等を用いることで十分に防ぐことが可能であった。また、PREX スラブおよび PREX 高欄の目地部分にクロロプレンゴムとエポキシ接着剤を使用した結果、目地部分からのノロ漏れは生じなかった。



(4) PREX スラブおよび PREX 高欄の施工の際、既設のものへ引寄せることで架設位置の調整を行った。また、目時幅等も施工誤差の範囲内に収まった。

(5) PREX 高欄の転倒に対しての検討を行った結果、風荷重に対して転倒防止の補強を行うことで、安全に施工可能である。

(4) 今回の久宝寺工区では、PREX 工法を採用することで、支保工の簡略化による作業効率の改善と安全性確保の両立ができた。

謝辞：本試験施工および久宝寺工区での実施工にあたり、財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部コンクリート構造主任研究員の谷村幸裕様にご指導頂きました。また、日本カイザー株式会社の竹山博史様には試験施工および実施工において、PC 工場との調整等、多大なご協力を頂きました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：プレキャスト型枠工法を適用した鉄道ラーメン高架橋の設計・施工指針，平成 11 年 3 月
- 2) 鉄道総合技術研究所：トラス鉄筋付プレキャスト版を用いた鉄道ラーメン高架橋スラブの設計・施工指針，平成 15 年 12 月
- 3) 雨水千秋：大阪外環状線鉄道建設工事の概要，鉄道界，第 47 巻，pp.60-71，2006 年 4 月
- 4) 東大阪市建設局都市整備部：連続立体交差推進室のホームページ，<http://www.city.higashiosaka.osaka.jp/140/140070/p3/p3.html>，2006 年 2 月 23 日取得
- 5) 土木研究センター：民間開発技術の技術審査・証明事業認定規則に基づく土木系材料技術・技術審査証明報告書（技審証第 0607 号）ステンレススティールファイバー混入モルタルによる高耐久性埋設型枠 SEED フォーム，平成 7 年 3 月
- 6) 近藤眞生，三島徹也，山田尚義，柏原茂，谷村幸裕，佐藤勉：鉄道高架構造物の施工の合理化に関する研究，前田建設技術研究所報，Vol.41，pp.1-8，2000.9
- 7) 篠田勝，郡宗利：高蔵寺駅構内中央線こ線線路橋の施工，日本鉄道施設協会誌，2003.3
- 8) 原夏生，小原孝之，鈴木顕彰，篠田佳男：SF 補強プレキャスト型枠のせん断補強効果の定量的評価，コンクリート工学年次論文報告集 Vol.20,No.3,pp.307-312 1998.7
- 9) 鈴木顕彰，中島良光，三島徹也，渡部正：プレキャスト型枠の鉄道高架構造物への適用に関する研究，前田建設技術研究所報，Vol.37，pp.39-44，1996.10
- 10) 米田大樹，松林卓，福山雅典，原夏生，三島徹也：PREX 床版の合理化に関する研究，前田建設工業技術研究所報，Vol.46，2005
- 11) F.レオンハルト，E.メニッヒ：鉄筋コンクリートの配筋（レオンハルトのコンクリート講座③），鹿島出版会，1985.4
- 12) 山田尚義，原夏生，三島徹也：ハーフプレキャストスラブ下端鉄筋の梁への定着方法に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，2003
- 13) 土木学会：鋼構造架設設計施工指針，2001
- 14) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説—コンクリート構造物，平成 16 年