

鉄道ラーメン高架橋の営業線近接工事における トラス鉄筋付きハーフプレキャストスラブの 架設方法に関する検討

大澤泰治¹・玄田昌彦¹・米田大樹²・川井晴至³・原夏生²・福山雅典⁴・西田寿生⁵・
下田誠剛⁵

¹前田建設工業株式会社 関西支店（〒541-0056 大阪市中央区久太郎町二丁目5-30）

²前田建設工業株式会社 技術研究所（〒179-8914 東京都練馬区旭町一丁目39-16）

³前田建設工業株式会社 土木技術部（〒179-8903 東京都練馬区高松五丁目8）

⁴前田建設工業株式会社 総合企画部（〒102-8151 東京都千代田区富士見二丁目10-26）

⁵西日本旅客鉄道株式会社 大阪工務所（〒532-0011 大阪市北区芝田二丁目4-24）

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。都市部における鉄道連続立体交差化事業では、周辺環境への配慮、施工用地確保の難しさ、営業線の近接、複雑な施工条件や限られた施工時間など施工条件の厳しいものが多い。

大阪外環状線連続立体交差事業の久宝寺地区高架橋新設他工事では、ラーメン高架橋が営業線間に位置する近接施工である。また、安全のため列車通過時の作業中断が必要であり、従来の施工方法では大幅な工期の増加が予想された。このような背景から、安全性向上および施工の合理化を目的として、鉄道ラーメン高架橋にトラス鉄筋付ハーフプレキャストスラブの適用を進めている。本稿では、トラス鉄筋付ハーフプレキャストスラブの適用について、これまでの経過を報告する。

キーワード： 近接施工、急速施工、ハーフプレキャスト

1. はじめに

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、既設の城東貨物線を電化・複線化して旅客化を図り、大阪外環状線として使用するための連続立体交差事業が推進されている¹⁾(図-1)。

大阪外環状線新設プロジェクトのうち関西本線との合流部にあたる久宝寺工区(写真-1)は、関西本線の上下線間に高架橋を構築する工事となるため、列車が両側を行き交う中での営業線近接工事となる。そのため、施工位置と建築限界までが非常に近く、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基で安全性の確保と作業

の効率化を図るため、鉄道ラーメン高架橋のプレキャスト化および急速施工技術(PRecast EXpress 工法



図-1 施工位置図¹⁾

以下、PREX 工法と呼ぶ)の適用を久宝寺工区で進めている。

本稿では、2章でPREX工法の概要および本久宝寺工区への適用に当たったの課題、3章で各課題に対して行った検討と試験施工、4章で実施工での状況について報告する。

2. PREX工法の概要と久宝寺工区への適用検討

(1) PREX工法について

PREX工法は、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)(図-2)と高耐久性埋設型枠(以下、PREX型枠と呼ぶ)(図-3)を用いることで、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工法である^{2),3)}。

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(図-4)。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である。

PREX工法は、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においてスラブスパン8m程度までの適用性を確認済みであり、財団法人鉄道総合技術研究所よ



写真-1 施工用地状況

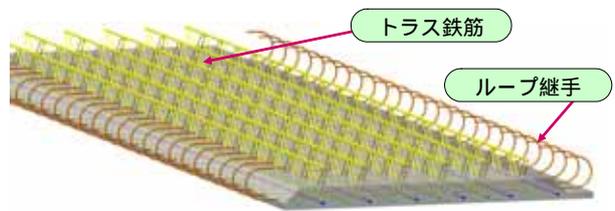


図-2 トラス鉄筋付ハーフプレキャストスラブ (PREX スラブ)

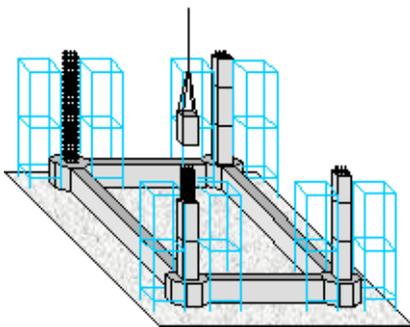


図-3 PREX 型枠の組立て

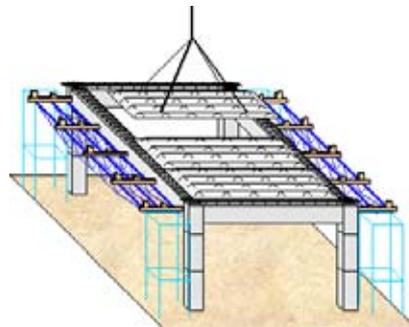


図-4 PREX スラブの架設

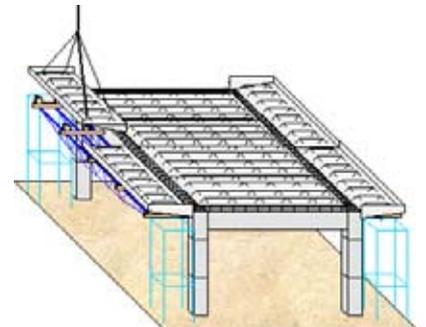


図-5 張り出し部の架設

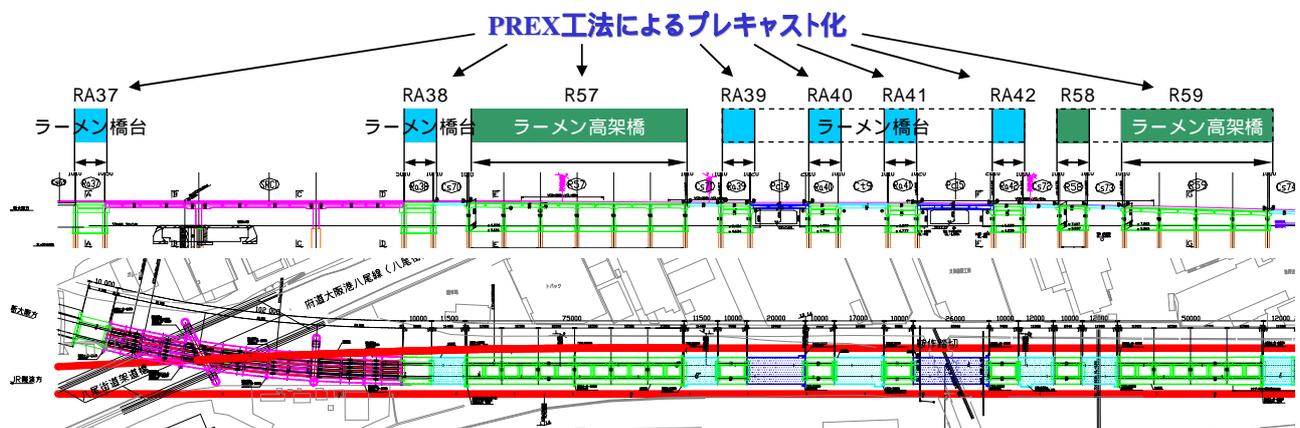


図-6 久宝寺工区のPREX工法適用範囲

り「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」⁴⁾および「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」⁵⁾として指針が発刊されている。

採用実績としては、JR東海高蔵寺のカルバートでPREX床版が活線直上床版へ適用されている⁶⁾が、鉄道高架橋での本格適用は久宝寺工区が初めてとなる。

(2) 適用範囲と施工方法の検討について

a) 適用範囲

久宝寺工区の主要工事は、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である。久宝寺工区でPREX工法を適用するラーメン橋台およびラーメン高架橋の位置を図-6に示す。今回、ラーメン高架橋構築において施工が煩雑なスラブと高欄張り出し部に対し、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-7,8)。ラーメン高架橋の柱および梁については、在来工法のままである。

b) 施工手順

ラーメン橋台中間スラブ施工時のイメージを図-9に示す。久宝寺工区でのPREX工法適用は、在来工法による原設計を置き換える手順で行ったため、ラーメン橋台およびラーメン高架橋の柱と梁については在来工法のままである。したがって、施工手順としてスラブの架設を梁の完成前に行い、その後場所打ちコンクリートを打設する。

c) 主な課題

PREX工法の適用を前提として設計を進めた場合、スラブの架設前に梁の場所打ちコンクリート打設が完了しているため、PREXスラブを安定した梁にあずけることが可能だけでなく、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となる。しかし、久宝寺工区でのPREX工法適用は在来工法からの置換え設計であるため梁のコンクリート打設前にスラブの架設を行わなければならない。これは、架設時にPREXスラブを安定した梁に預けることができないだけでなく、場所打ちコンクリート打設後の合成構造としての一体化が完了するまで、構造形式として不安定な状態が続くことになる。また、ラーメン橋台・高架橋の高欄張り出し部架設時も、合成構造としての一体化が完了するまで不安定な構造形式となる。

以上のことから、久宝寺工区へのPREX工法適用に際し、以下のことについて特に細心の注意を払って

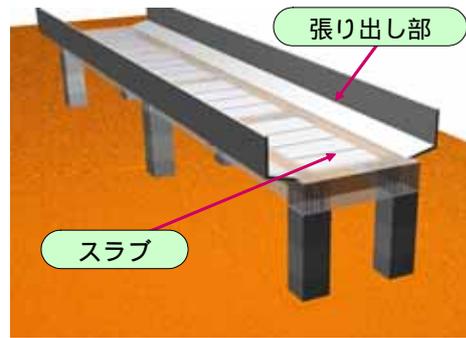


図-7 ラーメン高架橋の完成イメージ

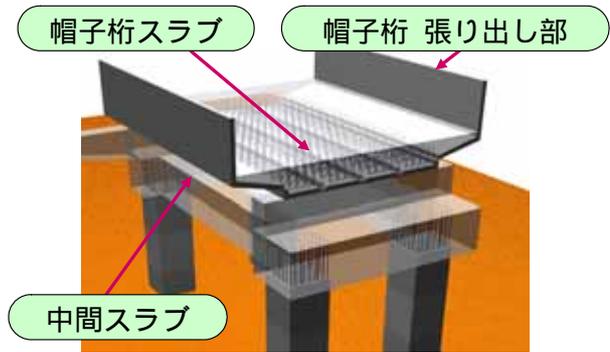


図-8 ラーメン橋台の完成イメージ

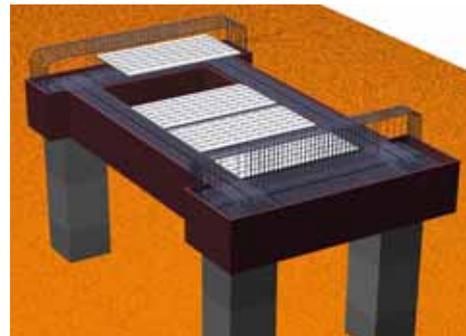


図-9 ラーメン橋台の架設時イメージ

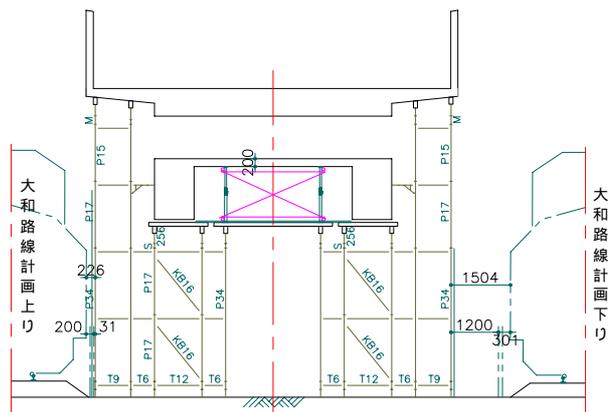


図-10 RA38 支保工位置

検討を行った。

PREXスラブおよび高欄張り出し部の架設時の安定性について

プレキャスト部材同士の設置精度について

場所打ちコンクリート打設時のノロ漏れ対策について

3. 試験施工による確認

(1) 試験施工の概要

久宝寺工区は、営業線間での近接施工による厳しい施工条件である。また、鉄道ラーメン高架橋構築

において、本工法の適用が初めてであることから実施を前に試験施工を行った。試験施工はRA38ラーメン橋台（図-6参照）をモデルとした実大スケールのPREXスラブおよび高欄張り出し部を用いて、それぞれの架設方法について検討を行った。本章では、それぞれの試験施工について報告する。

(2) PREXスラブについて



写真-2 試験施工状況



写真-3 架設状況 1



写真-4 架設状況 2



写真-5 スラブの反り 1



写真-6 スラブの反り 2



写真-7 シール材貼り付け

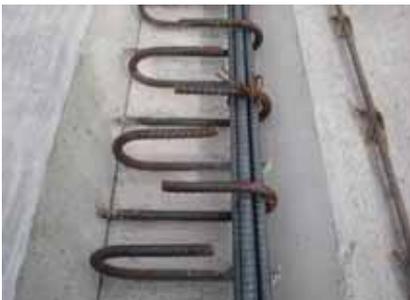


写真-8 ループ内鉄筋の挿入



写真-9 設置位置の微調整



写真-10 微調整時のシール材

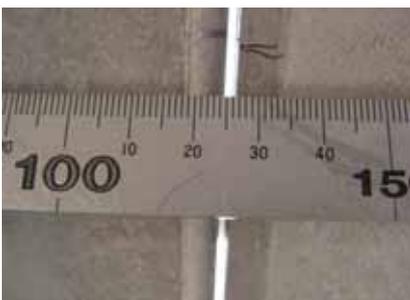


写真-11 スラブ接合部目地幅

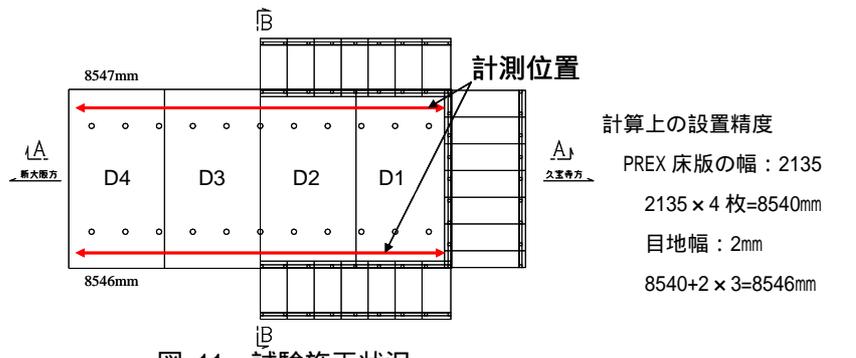


図-11 試験施工状況

a) 架設方法と作業時荷重への対応

PREXスラブの試験施工の状況を写真-2から写真-11に示す。モデル化の範囲は、RA38ラーメン橋台中間スラブの梁から上部分で縦横梁の型枠についてもモデル化を行った(図-10, 写真-11)。

久宝寺工区でのPREXスラブの架設では、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ぬ。しかし、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-10)。ただし、安全性を考慮して梁型枠のみで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別途確認している。

b) 型枠とスラブ設置面について

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。そのため、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(写真-5,6)。そこで、型枠とスラブの設置面にシール材を貼り付けることでノロ漏れを防ぐ方法を採用し(写真-7)、試験施工においてスラブ架設位置の微調整(写真-9)でシール材に剥がれが生じないことを(写真-10)確認した。

また、実際のPREXスラブの反りについては、計算上のたわみと同じであることを確認している。

d) ループ継手部の施工とノロ漏れ対策

PREXスラブ同士の接続に関しては、ループ継手を用いている。場所打ちコンクリート打設後の合成構造としての力学的特性は、過去に多くの研究が行われており、詳細は文献7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は在来工法と同等であることが確認されている⁸⁾。

PREX工法のループ継手では、継手に直交するループ継手内鉄筋を用いる場合と、ループ継手内鉄筋を省略して鋼繊維コンクリートを用いる2種類の方法がある。久宝寺工区では、ループ継手内鉄筋を省略しなければ施工ができない状況ではなかったため、ループ継手内鉄筋を用いる方を採用した(写真-8)。

ループ継手内鉄筋を用いる場合、どのような方法でループ継手内鉄筋を配置するかが施工性に影響を与える。今回は、後から架設するスラブのループ継手にループ継手内鉄筋を抱かせて架設することで鉄筋を挿入した(写真-8)。

試験施工では、写真-9のように後から架設したPREXスラブを引寄せて架設位置を調整した。その後、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(写真-11, 図-11)。計測の結果、

目地1箇所あたり2mmの目地幅であり、4枚架設時の全体の施工誤差も設定した容範囲内に収まっていた。ループ継手部の目地部分については4章でも述べるが、クロロブ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。

(3) 高欄張り出し部について

a) モデル化範囲と作業手順について

帽子桁の高欄張り出し部についての試験施工はRA38ラーメン橋台をモデルとして、図-12のような範囲でモデル化を行った。高欄張り出し部については、実大スケールのものを3枚、帽子桁のPREXスラブは実施工時の約半分の長さを用いて試験施工を行った。高欄張り出し部架設の作業手順の流れを図-13に示す。

b) 転倒防止対策について

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⁹⁾。今回、架設時の地震荷重および風荷重に対して、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、高欄張り出し部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¹⁰⁾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(1a)によって算定している。

$$p_w = 1/2 \cdot c \cdot \rho \cdot v^2 \quad (1a)$$

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、高欄張り出し部の架設時に作用する風荷重として、地震荷重の考え方と同様に 3.0kN/m^2 の1/2である 1.5kN/m^2 が図-14のように高欄の中央に作用するものとした。高欄張り出し部の転倒に対しては、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検討する。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¹⁰⁾によれば、風速33m/secに相当する風荷重である。

試験施工では、図-14のように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

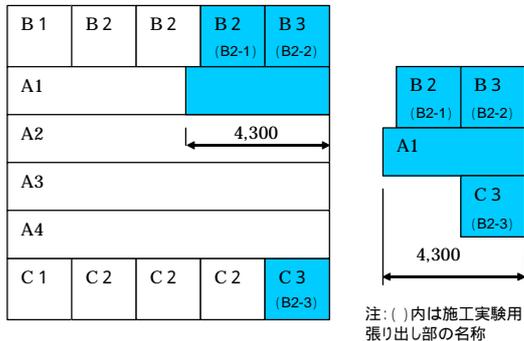


図-12 帽子桁の高欄張り出し部
試験施工モデル化範囲

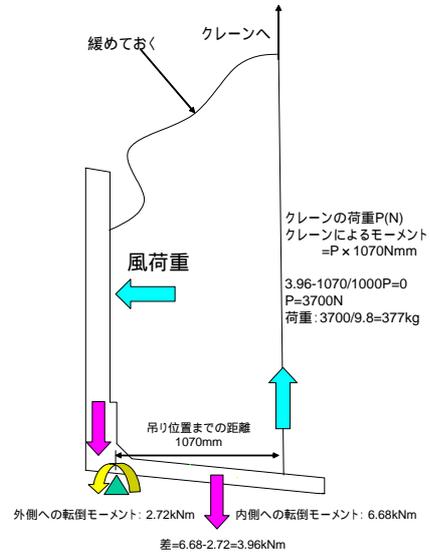


図-14 試験施工時の重心位置の確認方法

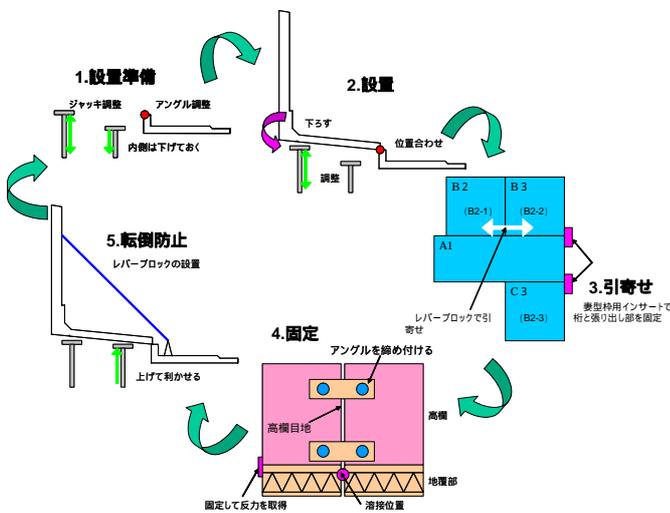


図-13 高欄張り出し部の作業手順

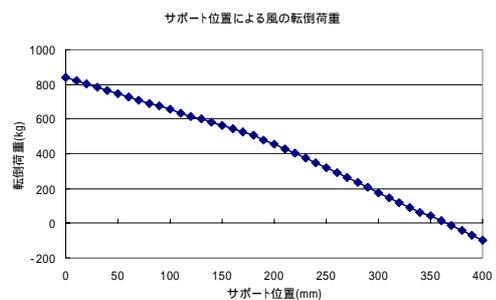


図-15 転倒時における外側からのサポート位置と風荷重の関係



写真-12 試験施工状況



写真-13 帽子桁スラブの設置



写真-14 吊り状況



写真-15 位置合わせの状況



写真-16 サポート設置状況



写真-17 転倒防止対策



写真-18 妻部の固定



写真-19 引寄せ状況



写真-20 架設完了



写真-21 施工位置全景



写真-22 クレーン設置状況



写真-23 PREX スラブ搬入

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。計測結果は計算結果と一致しており、計算上の重心位置（外側から365mm）の精度に問題の無いことを確認した。したがって、風荷重が高欄中央に作用した場合における転倒モーメントの増加についても計算によって間接的にはあるが、精度よく評価可能である。図-15に高欄張り出し部の転倒時におけるサポート設置位置と風荷重の関係を示す。

高欄張り出し部を支えるサポートの状況を写真-16に示す。外側のサポートの設置は、高欄張り出し部の重心位置よりも外側になるように管理を行った。ただし、今回の施工条件におけるサポート位置と自重のみでは、風速33m/secの風荷重による転倒には耐えることができないため、写真-17に示すように高欄とスラブを接続して転倒防止対策を別途行った。

c) 位置合わせおよび微調整方法について

高欄張り出し部の最初の位置あわせは、写真-15に示すようにあらかじめ設置しておいたアングルに高欄張り出し部を沿わせて下ろすことで行った。また、両者の引寄せ時の反力を取得するために、妻型枠設置用のインサートとアングルを用いてスラブと高欄を固定した（写真-18）。写真-19に隣り合う高欄張り出し部架設後の引寄せ状況を示す。

今回の試験施工の架設順序は、B2-3 B2-2 B2-1の順序で行い、それぞれの架設時間は 30分 47分 18分であった。現時点では架設時間にバラつきが認められるが、実施工での施工枚数が増える事

で架設時間の短縮と均一化が図れるものと考え、試験施工での高欄張り出し部の架設完了状況を写真-20に示す。

4. 実施工の状況

(1) クレーン位置とスラブの搬入

久宝寺工区RA38ラーメン橋台中間スラブ架設時の状況を写真-21から写真-29に示す。写真-21に示すように、ラーメン橋台のすぐ横を関西本線が通る非常に厳しい施工条件である。また、周辺は住宅地のため夜間工事に対しては制限がある。しかし、昼間は活線直上をクレーンの旋回ができないことから線間にクレーンを配置することとした（写真-22）。一方、施工性を損なわないことを考慮して中間スラブの分割数を4分割とした。

(2) ループ継手の目地部の処理

ループ継手部の目地の処理は、あらかじめ地上でクロロブレンゴムの貼り付け（写真-24）とエポキシ接着剤の塗布を行った（写真-25）。4枚のPREXスラブの架設完了後、ループ継手部の上側から再度エポキシ接着剤の塗布を行った（写真-26）。

(3) 架設状況

写真-27と写真-28にPREXスラブ架設時の状況を示す。架設時間は、1枚目：30分、2枚目：30分、3枚目：



写真-24 クロロブレンゴム貼り付け

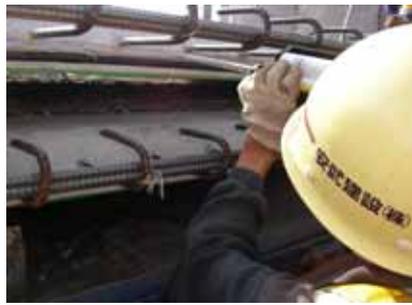


写真-25 エポキシ接着剤塗布1



写真-26 エポキシ接着剤塗布2



写真-27 架設状況1



写真-28 架設状況2



写真-29 架設完了

10分、4枚目：20分であった。列車接近時にはクレーンの旋回を中止していたにも関わらず、4枚の架設が1時間30分で完了しており、本工区のような近接施工での効果が非常に高いことが確認された。架設完了後の状況を写真-29に示す。

5. まとめ

久宝寺工区での高欄張り出し部の施工時期は現時点ではまだ先である。したがって、本稿ではPREXスラブと高欄張り出し部の試験施工、およびラーメン橋台中間スラブの実施工について報告を行った。これまでの試験施工および実施工の状況から、高欄張り出し部の実施工においてもPREX工法の適用は、非常に高い効果が得られると考えている。今後は、スラブおよび高欄張り出し部両方の実施工を基に、さらに合理的な架設方法を追求したいと考えている。

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) 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
- 2) 中島良光，三島徹也，田畑稔，秦宗之，戸塚信弥，佐藤勉：鉄道高架構造物へのプレキャスト型枠の適用に関する研究，前田建設工業技術研究所報，Vol.39，1998
- 3) 山田尚義，原夏生，三島徹也，大屋戸理明：継手を有するハーフプレキャストスラブの疲労試験，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，2002
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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），鹿島出版会，1985.4
- 8) 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
- 9) 土木学会：鋼構造架設設計施工指針，2001
- 10) 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