

PRISM工法（プレキャストパネルによる橋脚の耐震補強工法） の開発と水中橋脚への適用

鈴木 顕 彰 小 原 孝 之
三 島 徹 也 田 畑 稔
西 川 浩 二*¹ 中 原 勝 一*¹

要 旨

多くが未着手となっている水中橋脚の耐震補強工事は、橋脚のドライアップに要するコストが工事費用の多くを占め、コストダウンが命題となっている。PRISM工法は、水中橋脚に対するドライアップ不要の耐震補強工法であり、補強鋼材を内包したプレキャストパネルを既設橋脚周囲に巻立て、既設橋脚との空隙をグラウトすることを基本としている。

臨海部に位置する水中橋脚への実工事を経て、PRISM工法の主要材料に関して、施工性・品質を向上するための仕様・方策を把握し、プレキャストパネルの組立・設置方法、精度管理と精度確保の方法など一連の施工方法を確立することができた。また、補強工事の全体工程、サイクル工程、工事費用を把握し、在来工法に比較したPRISM工法の優位性を検証することができた。

キーワード 耐震補強／橋脚／水中施工／プレキャストパネル／ドライアップ／コストダウン

目 次

- | | |
|-------------|-------------|
| 1. はじめに | 4. 在来工法との比較 |
| 2. PRISM工法 | 5. おわりに |
| 3. 水中橋脚への適用 | |

DIVEROPMENT AND APPLICATION OF PRISM METHOD TO PIERS IN WATER

Akira SUZUKI	Takayuki OBARA
Tetsuya MISHIMA	Minoru TABATA
Koji NISHIKAWA	Shouichi NAKAHARA

Synopsis:

PRISM Method is a seismic reinforcement method of piers in water without dry up which is very expensive. In this method, piers are surrounded by precast panels include reinforcement steel plates, and mortar is filled between pier and panels.

Then we applied this method to a pier in sea water, through this application, we could understand the points to improve workablity and quality about main materials of PRISM Method, and we confirmed the serial construction method. And we could verify the superiority of construction term and total costs to the conventional method.

* 1 九州支店

1. はじめに

兵庫県南部地震以降の橋梁の耐震基準見直しに伴い、各地で耐震性能照査や耐震補強工事が進められてきた。現在までに、比較的施工の容易な陸上部に構築された橋脚については、対策工事も一段落したともいえるが、海上、河川、運河など水中部に構築された橋脚の耐震補強は未着手のところも多い。

このような水中橋脚の耐震補強工事は、仮締め切りし、橋脚周囲をドライアップした後、RC巻立て工法、鋼板巻立て工法などを行うことが一般的であるが、この場合ドライアップにかかる費用が工事費用の多くを占め、コストダウンの課題となっている。

当社では、兵庫県南部地震直後から炭素シート接着補強工法に代表される新工法が開発されてきたのと機を同じくして、RCプレキャスト型枠補強工法を開発し、その成果は(財)鉄道総合技術研究所によりとりまとめられている。¹⁾

PRISM工法(Precast Rapid Intensification System to Manipulate RC piers)は、その発展型として開発した、ドライアップ不要の水中橋脚の耐震補強工事である。本文ではPRISM工法の概要と1件目の適用例となった補強工事について報告する。

2. PRISM工法

2.1 工法の概要

PRISM工法(以下、本工法と呼ぶ)の概念を図-1に示す。

本工法は補強鋼材を内包したプレキャストパネル(以下、単にパネルとも呼ぶ)によって既設橋脚を巻き立て、既設橋脚との間隙にグラウトを充填し既設橋脚と一体化させる工法である。曲げ補強鉄筋はその間隙に設置することができる。本工法の特徴は以下のとおりである。

- ①プレキャストパネルに内包された補強鋼材は、かみ合わせ式の機械式継手によって連結される。現場での溶接作業が不要であり、水中施工でも確実な補強効果が得られる。
- ②プレキャストパネルに内包された鋼材は、低水セメント比で耐久性の高い高強度モルタルによつ保護されており海中部、臨海部での耐久性に優れている。
- ③既設橋脚とプレキャストパネルの間隙へのグラウト材は水中部では水中不離性モルタルを適用する。
- ④プレキャストパネルは、小型チェンブロックなどを用いて容易に運搬・設置が可能であり、大がかりな仮設備を必要としない。また、プレキャストパネルの組立ほか一連の作業は高所作業車で行い、組立足場は不要である。

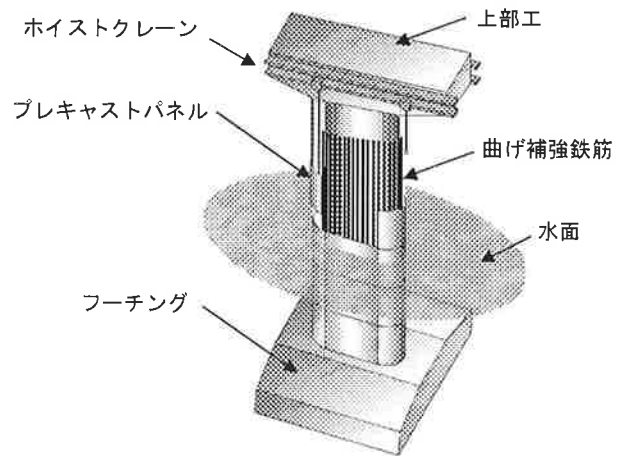


図-1 工法の概念

2.2 施工手順

標準的な施工手順を図-2に示す。曲げ補強鉄筋を設置した後、パネルの設置とグラウトを繰り返しながら、橋脚下部から上部へと施工する。ここで、水中部に設置するパネルは橋脚周囲に構築した作業構台上にてリング状に組立て、この形状を保持したまま順次1リングずつ沈設する。気中部ではプレキャストパネルを1ピースずつ、あるいは数ピースを作業構台上にて連結させ、直接下段のパネル上に設置する。パネル間の水平目地は、ゴム、接着剤などで止水処理するが、構造的な連続性は必要としない。

2.3 構造的な特徴

(1) プレキャストパネル

本工法で使用するプレキャストパネルは補強鋼材と継手を内包した高強度モルタル製である。プレキャストパネルの構成は以下のようにになっている。なお、モルタルはコンクリートとすることも可能である。

- ①モルタル：補強鋼材および継手鋼材のかぶりとして機能する。水セメント比を30%程度とすることで塩分浸透による鋼材の腐食に対して高耐久性を期待できる。
- ②補強鋼材：構造部材として補強設計により仕様を決定するが、鋼板、鉄筋のいずれも適用可能である。補強鋼材を鉄筋とする場合、鉄筋の周囲には適切なかぶりをとるものとし、鋼板の場合、鋼板とかぶりモルタルとの一体化を図るため、スタッドジベル等を設置する。(図-3参照)
- ③継手部：継手はパネル間を接合するとともに、接合面で分断された補強鋼材を連結し、所定の補強性能を確保するものである。構成は、補強鋼材に溶接され、パネルに内包される継手鋼材とパネル設置後挿入する差込継手鋼材からなる。(図-4参照)

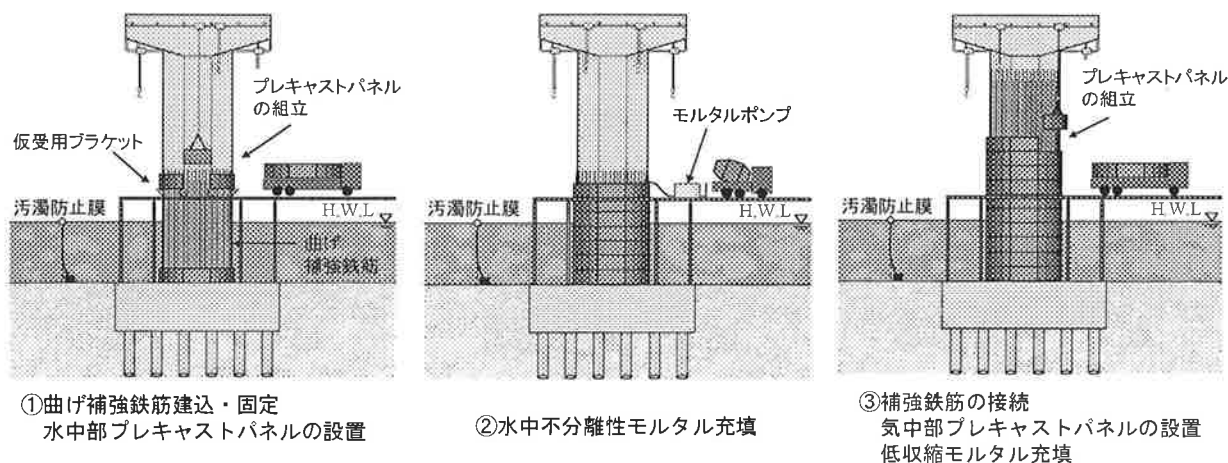


図-2 標準的な施工手順

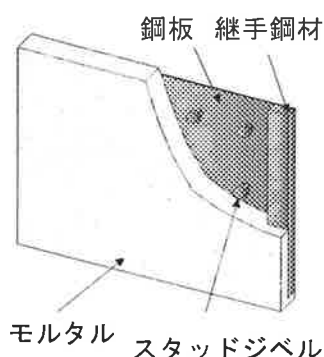
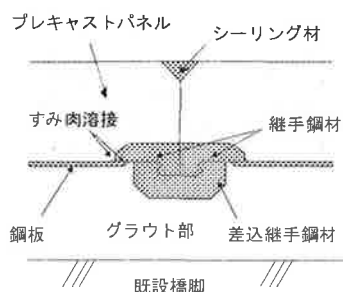
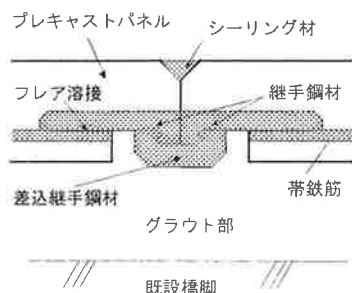


図-3 プレキャストパネル（鋼板内包型）の概念



補強鋼板内包型



補強鉄筋内包型

図-4 継手の概念

(2) 曲げ補強鉄筋の定着

曲げ補強鉄筋の定着はフーチングに削孔し、水中硬化性接着剤により行うが、削孔壁面を特殊なビットで目荒らし処理することにより、水中での定着力を確実なものとする。（図-5、図-6 参照）

実際に水中施工を行った本方法により定着させた鉄筋の引抜き試験結果によれば、定着長が鉄筋径の20倍あれば、鉄筋破断を生じることがわかっており、設計上必要な削孔長を短くすることが可能となった。²⁾

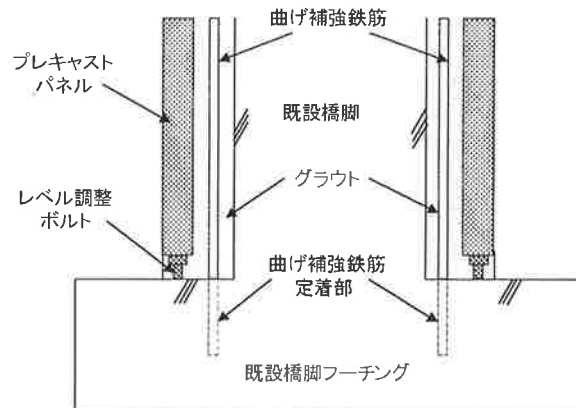


図-5 曲げ補強鉄筋定着の概念

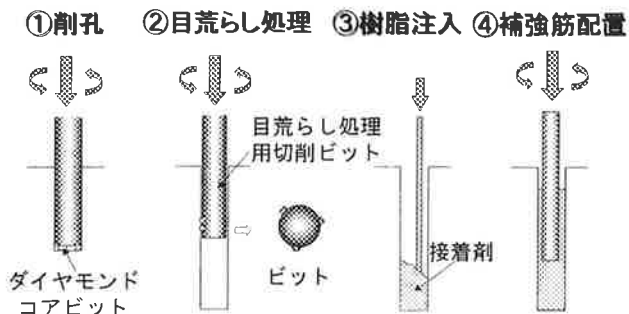


図-6 水中における曲げ補強鉄筋の定着方法

(3) 耐震補強効果の確認

P R I S M工法の補強効果は鉄筋内包型パネル、鋼板内包型パネルそれぞれについて模型試験体を用いた正負交番載荷試験により確認した。^{2)・3)} 曲げ補強鉄筋を設置した鋼板内包型パネルモデルによる補強試験体概要を図-7に、試験方法を図-8に示す。試験結果より荷重—載荷点変位関係を図-9に示す。図中には道路橋示方書耐震設計編⁴⁾に従って求めた計算値を併せて示している。最大荷重、靱性率とも計算値を上回っており、曲げ補強鉄筋とプレキャストパネルとの併用により十分な耐震補強効果が得られること、その性能は道路橋示方書により安全側に評価されることがわかった。

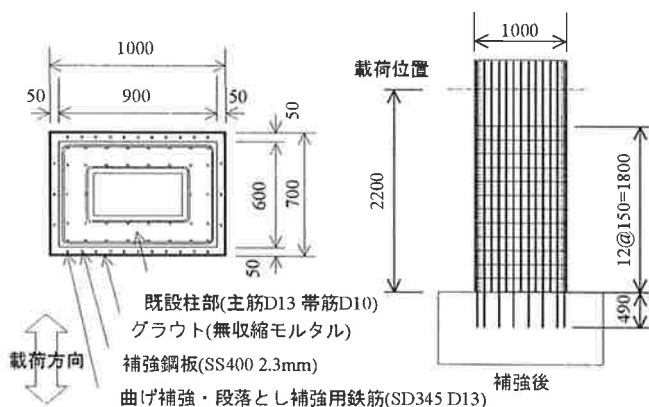


図-7 補強試験体

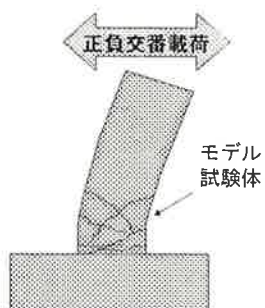


図-8 試験方法

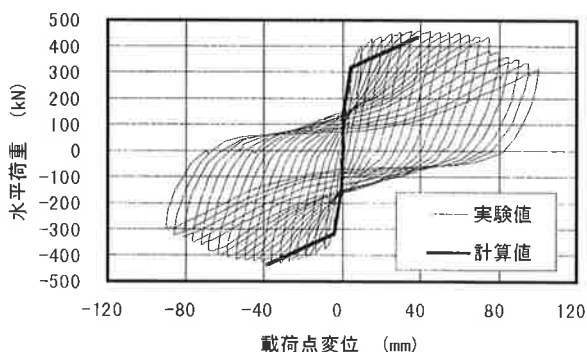


図-9 荷重—載荷点変位関係

3. 水中橋脚への適用

3.1 泊大橋 P 1 6 橋脚

泊大橋は、那覇港内の各ふ頭間を連絡する臨港道路 1 号線のほぼ中央に位置し、沖縄本島周辺の離島への定期航路や港内遊覧船が多数離発着する泊ふ頭の入り口をまたぐ中央径間 170m、桁下のクリアランス 27.5m、全延長 1,118mの橋である。昭和 55 年以前の耐震基準に基づき設計され、昭和 61 年度に供用を開始されたが、兵庫県南部地震後の新基準に基づき橋梁の耐震性能を照査したところ、各橋脚の耐震性能の不足が判明したため、平成 8 年より、陸上部の橋脚の補強工事が行われている。これらには経済性、飛来塩分に対する耐久性から RC 巻立工法が適用された⁴⁾。海上部橋脚の補強に際しては、橋脚周囲に止水壁を設置しドライアップする工法（築堤方式またはコルゲートパイプによる仮締め切り併用の RC 巻立て工法）と橋脚を水中に設置したまま施工する工法について施工性、経済性を検討した結果、P 1 6 橋脚にはドライアップ不要の P R I S M工法が採用された。

P 1 6 橋脚は小判形中空断面でフーチング上面から梁下までの高さは 21.5m であり、満潮時の水位はフーチング天端より +2.6m、干潮時の水位は +0.5m であった。



写真-1 泊大橋（左から 2 本目が P 1 6）

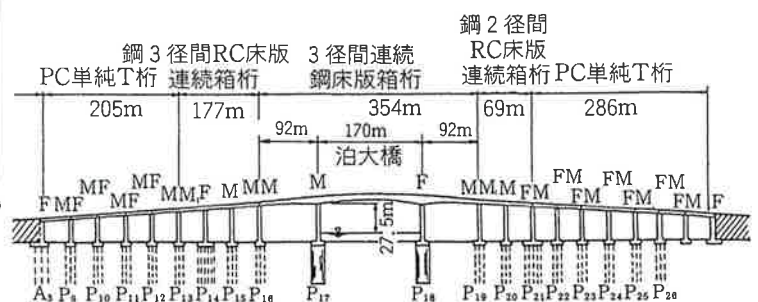


図-10 泊大橋一般図

3.2 補強仕様

補強設計は「復旧仕様」⁵⁾により行い、プレキャストパネルに内包する補強鋼板の厚さ（ $t=9\text{mm}$ ，SM400）および曲げ補強鉄筋の配置（64-D32，SD295）を決定した。図-11に補強一般図，図-12に補強断面図を示す。

パネルの割付は，製作・運搬・設置における施工性および経済性を考慮し，橋脚断面の周方向に6分割（平板状のパネル2ピース，4分円弧状のパネル4ピースで1リング），橋脚の高さ方向には1段当たり1.5mで14段積重ねとした。1ピースの重量は平板パネルが1.6t，円弧パネルが1.8tである。

なお，本橋脚の補強設計においてはプレキャストパネルのモルタルは補強鋼材の保護層として耐久性向上に寄与するが，構造的には有効高さとしては考慮しないこととした。

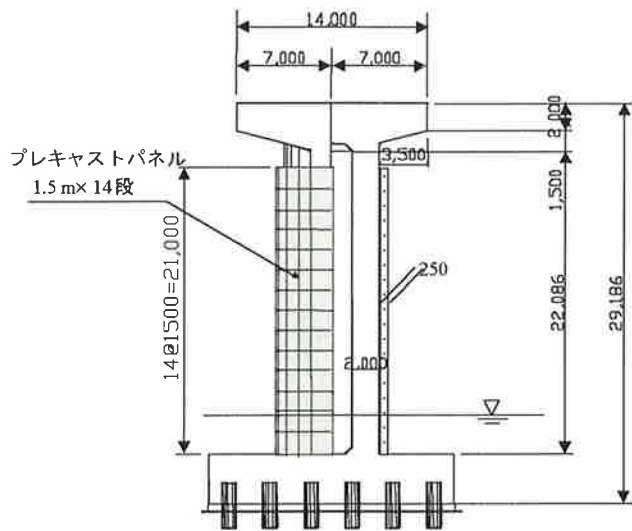


図-11 補強一般図

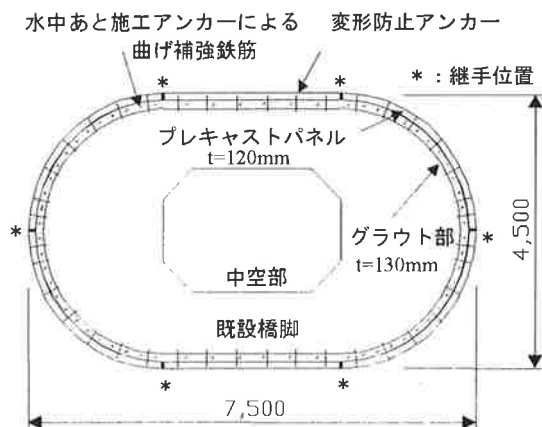


図-12 補強断面図



写真-2 P16橋脚補強完了状況

3.3 施工状況

本工事の施工手順は図-2に示した標準的な施工手順に従った。ここでは，施工ステップに沿って施工上の特徴を示す。

(1) 曲げ補強鉄筋の定着

曲げ補強鉄筋定着孔の削孔（ $\phi=38\text{mm}$ ， $L=960\text{mm}$ ）は電動コアドリルによって行った。ドリルは延長ロッドの回転ブレ防止機能を有する架台に取り付け，本体を気中に置いて操作した。（写真-3）水中部での架台の橋脚への取付けとビットの位置合わせは潜水士により行った。

なお，削孔に先立ち，水中仕様の鉄筋探査機によりフーチング上面の配筋状況を調査し，既存の鉄筋を損傷する恐れのある箇所では，削孔位置を移動することとした。また，今回は水深が比較的浅いため本体を気中に置いてロッドの延長により水中削孔したが，これ以上の水深下ではドリルの防水機構について検討する必要がある。



写真-3 削孔状況

(2) 水中部パネルの組立・沈設

1) パネル昇降のための揚重設備

プレキャストパネルの組立・設置のため、橋脚梁部にI形鋼のレールを取り付け、吊荷重 2.8 t の電動チェーンブロック 6 台を設置した。橋脚近傍にパネルを荷下ろしした後は、この揚重設備を利用した。(写真-7 参照)

2) パネルの組立

橋脚周囲に設置した仮受けブラケット上の所定の位置に平板パネルを設置し、別途作業構台上で、円弧パネル 2 枚を半円状に組み立てた後、これらを仮受けブラケット上で連結してリング状に組み立てた。(写真-4、写真-5)

組立精度を確認した後、継手部の止水のため、鉛直目地にはパネル表面側からポリウレタン系の弾性シーリング材を充填した。(図-4 参照)

3) 沈設準備

1 段目リング (以下、リング状に組み立てたパネルを単にリングと呼ぶ) を所定の位置に水平に設置するため、あらかじめフーチング上にレベル調整用ボルトをあと施工アンカーにより設置し、リングをその上に設置した。平面的位置はフーチング上に設置した位置あわせガイド金物にあてがうようにリングを下ろすことで設置精度を確保した。

4) 沈設

リングの沈設は写真-5 に示すように滑車を複数個取り付けた吊り治具に 1 本のワイヤーロープを取り回して行った。これにより 6 台のチェーンブロックに作用する荷重を均等にし、各チェーンブロックの昇降量を均等に制御できなくてもリング全体は水平を保ちながら昇降することを可能とした。

5) 設置精度管理

設置精度は、設置基準線と設置したリング上の 6 点の距離 (トランシットにより測定)、およびリングを積み重ねた上下のリング間の目違い量 (スケールにて測定) の両者と管理基準値との比較によって管理した。

管理値内に設置するため、図-13 に示すガイド鋼材により上段リングを誘導した。ガイド鋼材は、上下リングの寸法差、下段リングの設置精度、上段リング設置時の上下リング間予想目違い量を考慮し、平面的にバランス良く設置できるように調整ワッシャーで調節した。

6) 水平目地処理

水平目地は構造的には連結する必要がないが止水のため、クロロブレンゴム (8 mm×8 mm) と水中硬化性エポキシ樹脂により処理した。(図-14 参照)

7) 変形防止アンカー

グラウト充填圧に対するパネルの変形を防止するため、支保工として変形防止アンカーを設置した。アンカーは既設橋脚躯体のかぶりコンクリート内に定着した。水中でのアンカー設置作業にはエアツールを用い、アンカー頭部を保護するため、アンカー設置後パネルの開口部はエポキシバテで閉塞した。なお、気中ではそれぞれ電動ツール、ポリマーセメントモルタルを用いた。



写真-4 継手挿入状況



写真-5 リングの沈設

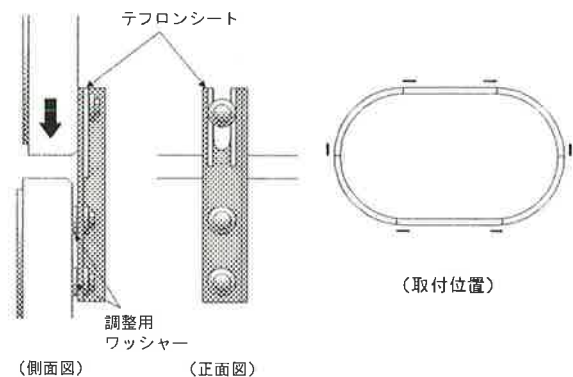


図-13 リング設置位置の調整

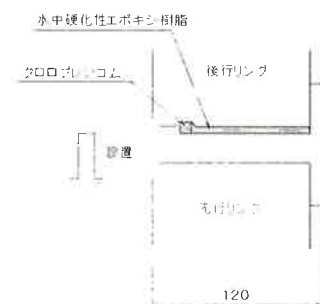


図-14 水平目地処理

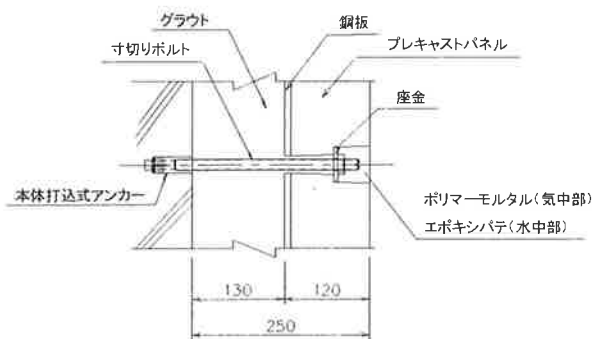


図-15 変形防止アンカー



写真-6 変形防止アンカーの施工

(3) 気中部パネルの設置

気中部では下段リングの上に直接上段パネルを組立てた。仮受けブラケット上で水中部のパネル組みを行ったのと同様に、まず平板パネルの位置を決定し、2枚を半円状に組み立てた円弧パネルをU字形の専用の吊り治具を用いて吊り上げ、平板パネルの近くに誘導・設置した。（写真-7 参照）



写真-7 気中部パネルの組立

(4) グラウト

水中部には水中不分離性モルタル、気中部には低収縮モルタルをモルタルポンプにより充填した（共にスランプリフロー値 $65 \pm 5 \text{ cm}$ で管理）。水中では充填状況を直接目視できないため、各所でレッドを用いて打ち上がり高さを逐次測定し、流動勾配、充填量との打ち上がり高さの関係を把握することで確実に充填が行われていることを確認した。

また、1段目リング下面とフーチングの間はレベル調整ボルトによる隙間があり、グラウト漏出防止のため、この隙間に外側からクロロプレンゴムをもぐり込ませるように配置し、山形鋼でリング側面に押しつけるように固定した。これらはグラウト硬化後撤去し、整形した。



写真-8 水中部グラウト状況

3.4 施工結果

(1) 施工サイクル

基本的な施工サイクルは、水中部では表-1 に示すように2段を5日、気中部では1段（高さ 1.5m）を2日であった。プレキャストパネルの適用により鉄筋組立、型枠解体にかかる手間と型枠解体までの養生期間を削減できることを確認できた。

表-1 標準的な施工サイクル（水中部）

工 種	1日	2日	3日	4日	5日
パネル組立・設置	■		■		
止水処理		■		■	
パネル沈設		■		■	
はらみ止めアンカー設置			■		■
グラウト					■

(2) 水中施工性

水中部に設置するパネルも組立は気中作業であり、パネルの連結状況は直接目視確認できる。潜水士による作業は以下に示すように曲げ補強鉄筋定着以外は補助的な

ものが主体である。

- ①水中部橋脚躯体の清掃・調査
 - ②曲げ補強鉄筋の定着
 - ③パネルの沈設準備（レベル調整アンカー設置）
 - ④沈設リングの誘導（ガイド鋼材設置）
 - ⑤はらみ止めアンカーの設置
 - ⑥水中グラウトの漏出防止処置、充填中の異状監視
- 従って、水中施工であっても気中作業に比較して遜色ない施工品質を確保できたものと考えられる。

(3) パネルの設置精度

パネルの設置精度は、既設橋脚の出来形調査結果に基づき設置基準線を設定し、これに対して管理基準値を満足するようするとともに、上下段パネルの水平目地での目違い量が管理基準値を満足するようにした。

工場で製造されたパネルは、高精度で仕上げられており、専用の組立治具と組立架台により比較的スムーズに精度良く組み立てることができた。また、滑車を利用した吊り込み方法、および設置用ガイドにより、パネル設置位置を数mm単位の精度で制御しながら設置することができた。

ただし、今回の施工例は比較的水深が浅いため、潮位によってはパネルの設置精度も直接目視にて管理することができたが、数段のリングが完全に水没するような水深下では工夫を要する。

(4) グラウト

3～5段目のリングに適用した低収縮モルタルは硬化時の発熱量が大きく、パネルに温度応力を発生させ、ひび割れを誘発することとなった。その対策として6段目以降には単位セメント量を低減したモルタルを、発熱量を把握した上で適用し、併せてパネル周囲をシート養生したところ、良好な結果を得た。

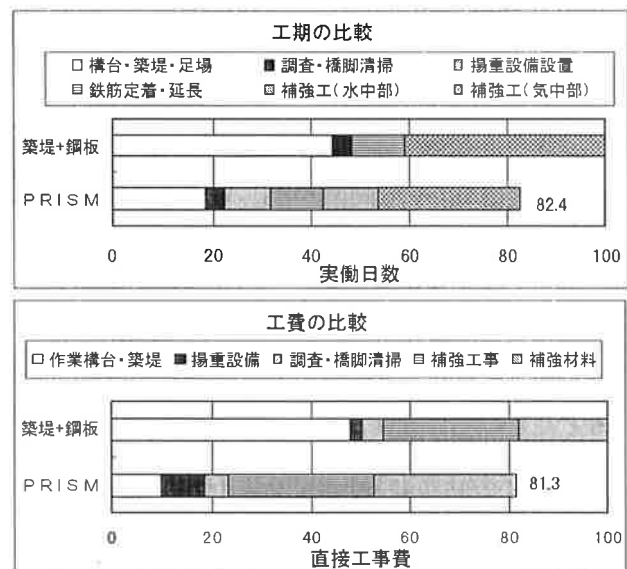
4. 在来工法との比較

在来工法としてドライアップを伴う鋼板巻立工法の工期・工費を本工事での実績を参考に推定した。在来工法を100とした本工法との比較を表-2に示す。ドライアップのための仮設は鋼矢板+築堤としたが、試算によれば在来工法ではドライアップを含む仮設に要する工期・工費がそれぞれ全体の50%近くを占め、ドライアップを不要とするPRISM工法の優位性が明確となった。

5. おわりに

水中橋脚の耐震補強は多くが未着手といってよく、今後、施工事例も増加していくものと思われる。今回の施工により、水中橋脚の耐震補強工事においてなっていた

表-2 工期・工費の試算結果



ドライアップを行わなくとも施工可能であることを実証し、今後の同種工事の大幅なコストダウンを可能にしたと考えている。

しかしながら水中橋脚には水深が深い、水面からの作業空間が低い、またフーチング上に堆積する土砂の掘削を要するなど施工条件の厳しいものも多い。水中橋脚補強工事においてはそれぞれに解決すべき技術課題もあると思われるが、今回の実施工を踏まえ、技術課題の解決を図るとともにPRISM工法の適用性を拡大していきたいと考えている。

参考文献

- 1) (財)鉄道総合技術研究所：既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計施工指針—RCプレキャスト型枠工法編一、1996.12
- 2) 山本、小原、新保、三島、丸山：あと施工アンカーと鋼板を内包したプレキャストパネル型枠を用いた橋脚の水中補強工法の開発に関する研究、前田技術研究所報VOL40、pp1～pp8、1999.9
- 3) 中島、三島、鈴木：プレキャストパネルによるコンクリート高架橋柱の耐震補強工法に関する研究、前田技術研究所報VOL38、pp33～pp40、1997.9
- 4) 吉見昌宏：那覇臨港道路橋梁の耐震補強—RC小判型断面橋脚へのRC巻立補強工法の適用—、土木技術、Vol52・No.9、1997.9
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V、耐震設計編、1996.12
- 6) 建設省道路局：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様、1995.2