

RC 橋脚の水中耐震補強工法の開発と施工

前田建設工業株式会社	技術研究所	正会員	小原 孝之
前田建設工業株式会社	技術研究所	正会員	鈴木 顕彰
前田建設工業株式会社	九州支店		中原 勝一
沖縄開発庁	沖縄総合事務局		知念 正尚

1. はじめに

躯体が水中に位置する RC 橋脚の耐震補強工事では、橋脚周辺を仮設構造により締め切ってドライアップするのが一般的である。しかし、ドライアップにかかる建設コストが高額であるため、この分野では仮設にかかるコストの縮減が命題となっている。そこで、作業の大半を水中で行うことにより、ドライアップを不用とする、水中耐震補強工法の開発を行った。本工法は、仮設構造を栈橋程度に簡略化し、仮設にかかる工費、工期の大幅なコストの縮減を可能にし、確実な耐震補強を実現するものである。

本工法は、橋脚の躯体の周囲にパネル状のプレキャスト埋設型枠（以降、プレキャスト型枠と言う）を巻き立ててせん断・靱性補強を行う補強法¹⁾²⁾（以降、プレキャスト型枠補強と言う）を応用し、水中施工に発展させたもので、既設橋脚躯体とプレキャスト型枠の間隙には水中不分離性モルタルを充填するものである。本プレキャスト型枠には補強材である帯鉄筋または鋼板が内包されていて、かみ合わせ方式による機械式継手により周方向に連結される。曲げ補強には水中あと施工アンカーが用いられ、プレキャスト型枠と躯体の間隙に配置することができる。本工法の概要を図-1に、補強断面の構造を図-2に示す。プレキャスト型枠の使用により煩雑な鉄筋組立、溶接および型枠作業が省略される。

本工法の特徴をまとめると以下の3項目に要約される。

1) 施工の大幅な合理化

水中施工によりドライアップが不要となり、仮設構造が大幅に簡略化される。プレキャスト型枠は、仮設ホイストクレーン等を用いて容易に組立・設置が可能であり、大がかりな設備を必要せず、本プレキャスト型枠の使用により型枠・脱型作業が省略される。

2) メンテナンスフリー

補強部の補強鋼材（曲げ補強鉄筋、帯鉄筋、継手鋼材）は、プレキャスト型枠の基材である耐久性の高い高強度モルタル¹⁾²⁾によって保護され、海中部、臨海部であってもメンテナンスフリーである。

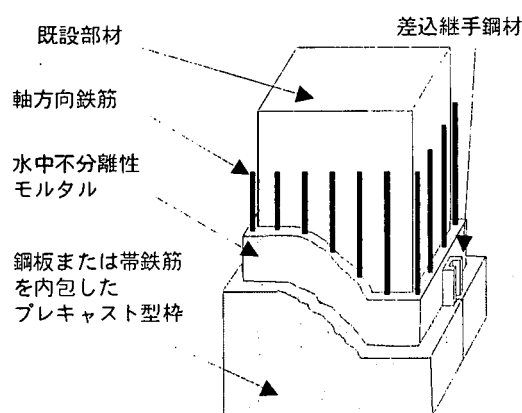


図-1 水中耐震補強工法の概要

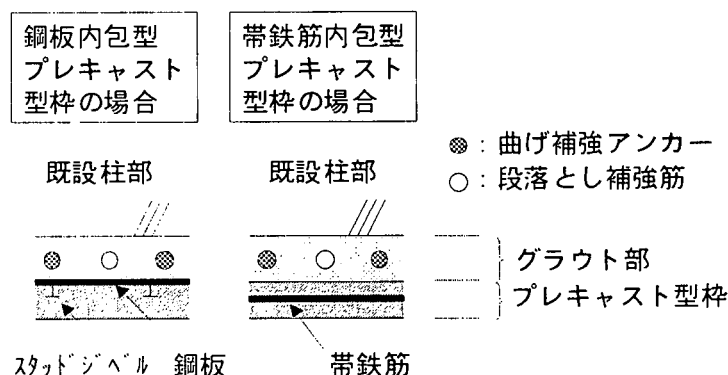


図-2 補強断面の概念

キーワード：RC 橋脚，耐震補強，水中施工，プレキャスト埋設型枠，あと施工アンカー

〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 TEL03-3977-2333 FAX03-3977-2251 obarat@jcity.maeda.co.jp

3) 確実な補強効果

曲げ補強に使用するあと施工アンカーは水中施工用に開発したものであり、高い定着性能と信頼性を有するものである。また、プレキャスト型枠内に内包された鋼板または帯鉄筋は、差し込み継手鋼材によるかみ合わせ方式の機械式継手¹⁾²⁾によって連結されるため、現場溶接が不要となり、水中施工においても確実な補強効果が得られる。補強効果検証のために行った構造的な実験に関しては、以下の章で後述する。

2. 水中耐震補強工法の概要

2.1 施工要領

本工法の施工手順の概略を図-3に、施工フローの概略を図-4に示す。

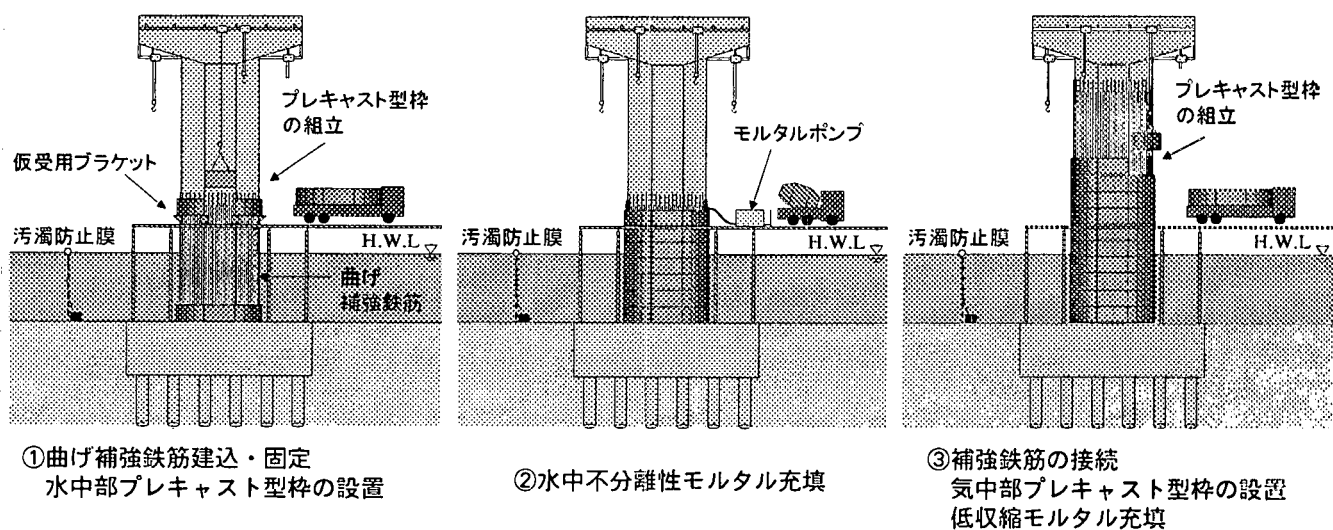


図-3 施工手順の概略

2.2 プレキャスト埋設型枠

プレキャスト型枠は水セメント比 30%程度の高強度モルタル製であり、50N/mm²以上の一軸圧縮強度を期待できる。プレキャスト型枠をリング上に巻き立てることにより補強を行うが、水平方向の補強鋼材の接合は差し込み継手による機械式継手(図-5)によって行われる。

プレキャスト型枠は、帯鉄筋または鋼板を内包して、部材のせん断補強やコンクリートの横拘束による靱性補強に効果がある。

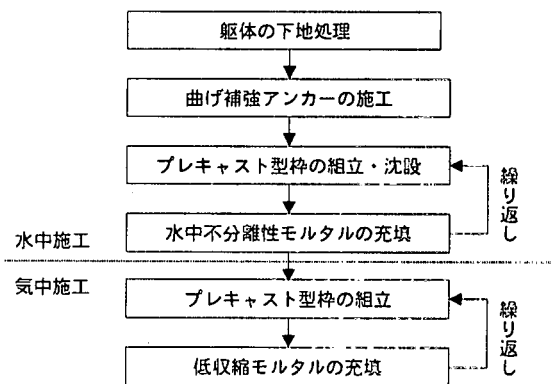


図-4 施工フロー

2.3 水中あと施工アンカー

水中あと施工アンカーは図-7に示す手順で施工されるものである。ダイヤモンドコアボーリングによって穿孔したアンカー孔に、突起の付いたビットを回転させながら押しこむことによって孔表面に凹凸をつける(以降、目荒し処理と言う)。本目荒し処理により孔壁面と接着剤の間の付着強度が向上し、高い定着耐力が得られる。接着剤はビニルエステル

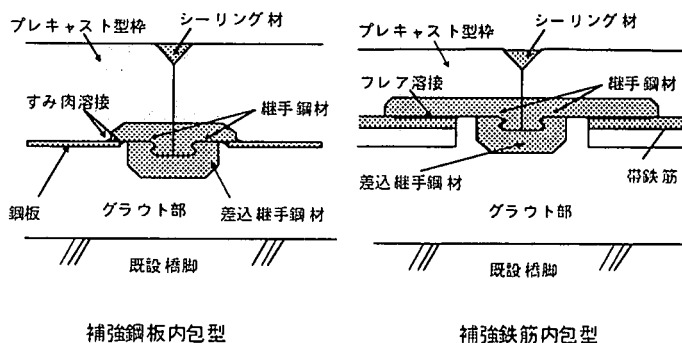


図-5 機械式継手の詳細

系樹脂を主剤とするもので、低温下や水中などの環境要因に強く、迅速かつ安定的に硬化する点に特徴がある。

実際に水中施工を行った本アンカー鉄筋の引き抜き実験結果より、定着長が補強筋径の 20 倍あれば鉄筋破断を生じせしめることがわかっている⁹⁾が、実施工のばらつきに対する安全係数 1.5 を考慮して、本アンカーの定着長さは補強鉄筋径の 30 倍を標準としたものである。

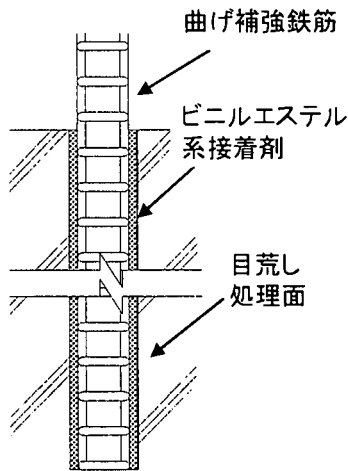


図-6 水中あと施工アンカー

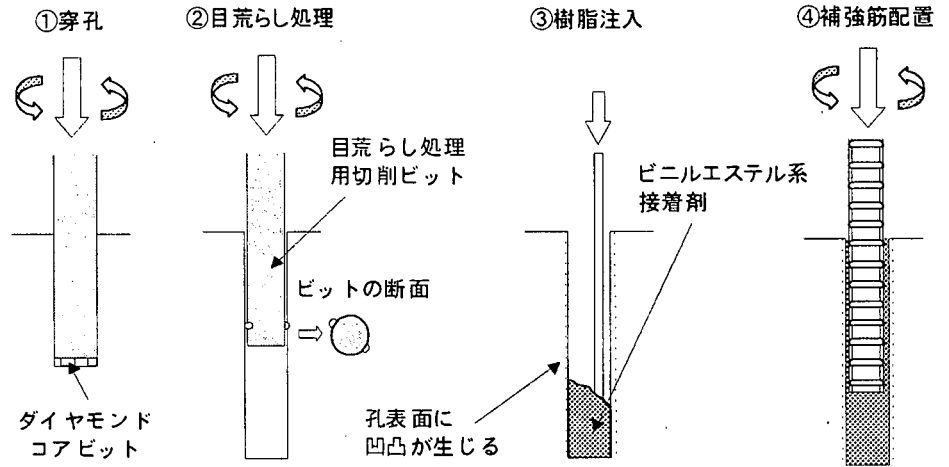


図-7 水中あと施工アンカーの施工手順

2. 4 補強効果の検証実験

本水中あと施工アンカーとプレキャスト型枠補強併用工法の耐震補強効果の検証を目的として、おおよそ 10 分の 1 スケールの矩形中空断面および円形中空断面を有する橋脚モデル試験体 2 体の正負交番載荷試験⁹⁾を行った。試験体の概要と材料強度を図-8、図-9 および表-1 に示す。既設橋脚試験体に、柱躯体の周囲に曲げ補強アンカー (D13) を施工し、定着長さは補強筋径の 30 倍 (13×30=390mm) とした。

実験結果の一覧を表-3 に、水平荷重-載荷点変位関係の履歴を図-10、図-11 に示す。また、道路橋示方書耐震設計編の計算方法にしたがって求めた計算値も同時に示す。実験結果から、最大荷重、靱性率とも実験値は計算値を上回り、水中あと施工アンカーの曲げ補強効果と併用工法による耐震補強効果が発揮されていることがわかった。以上より、本工法により十分な耐震補強効果が得られ、その耐震性能は道路橋示方書耐震設計編の計算方法により安全側に評価されることがわかった。

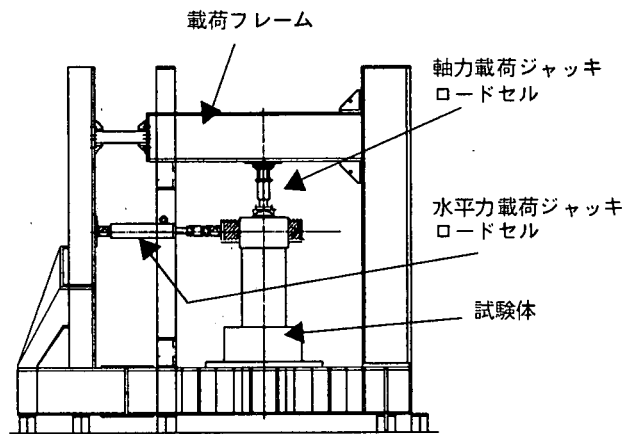


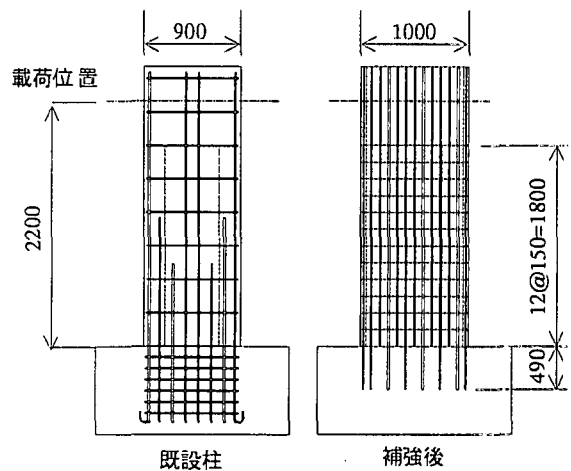
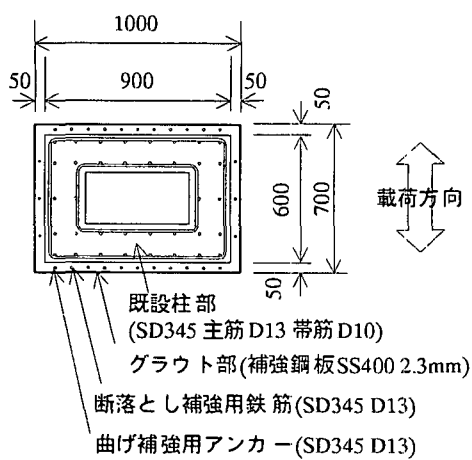
図-8 正負交番載荷試験の概要

表-1 試験体の概要と実験結果の一覧

試験体	断面	軸力 σ_n	既設部				補強部			最大荷重 (kN)		靱性率 δ_u / δ_y	
			f'_c		f_y		f'_c	f_y	鋼板	補強前	補強後	補強前	補強後
			フーチング	柱部	主鉄筋	帯鉄筋	グラウト	鉄筋					
No. 1	矩形中空	1.3	44	42	392	392	56	372	276	(232)	462 (417)	(3.3)	20 (8.6)
No. 2	円形中空	2.0	43	45	392	392	59	372	276	(342)	647 (562)	(2.6)	20以上 (5.6)

σ_n : 軸力(N/mm²), f'_c : コンクリート強度(N/mm²), f_y : 降伏強度(N/mm²), δ_y : 降伏変位, δ_u : 終局変位, () 内は計算値

No.1



No.2

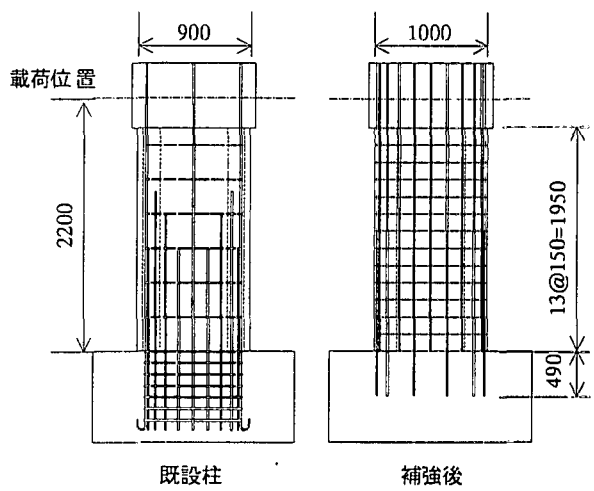
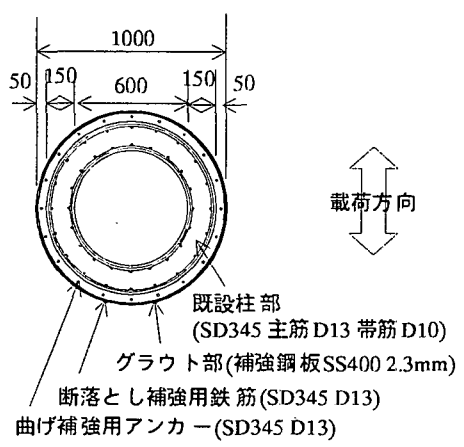


図-9 試験体の概要

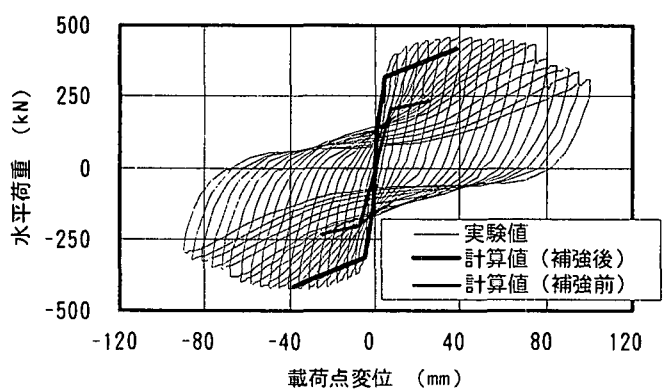


図-10 履歴性状 (No.1)

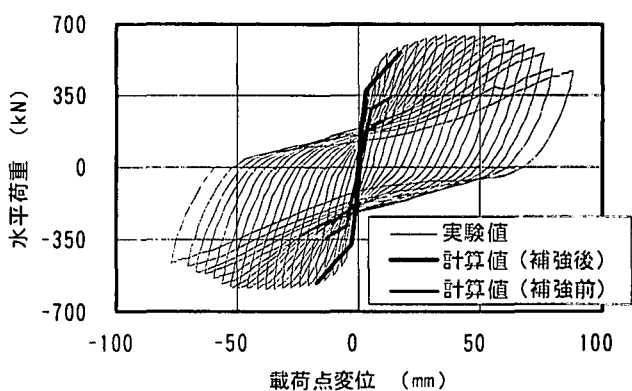


図-11 履歴性状 (No.2)

3. 泊大橋 P16 橋脚耐震補強工事への適用

3.1 橋梁の概要

泊大橋は、泊ふ頭の入り口をまたぐ中央径間 170m、全長 1118m の橋梁で、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。図-12 に泊大橋一般図を、写真-1 に補強後の橋脚の全景を示す。工事の対象となった P16 橋脚は、本橋梁の下部工を構成する橋脚のひとつであり、兵庫県南部地震クラスの地震動に対する橋梁の耐震性能を照査したところ、各橋脚の耐震性能が不足しているとの結果が得られ、耐震補強設計が行われた。陸上部の RC 橋脚については、RC 巻立て工法を用いて既に耐震補強工を実施済みであったが⁵⁾、躯体の一部が水中に没している P16 橋脚の耐震補強工事に、工費、工期ともに有利である本工法が採用された。

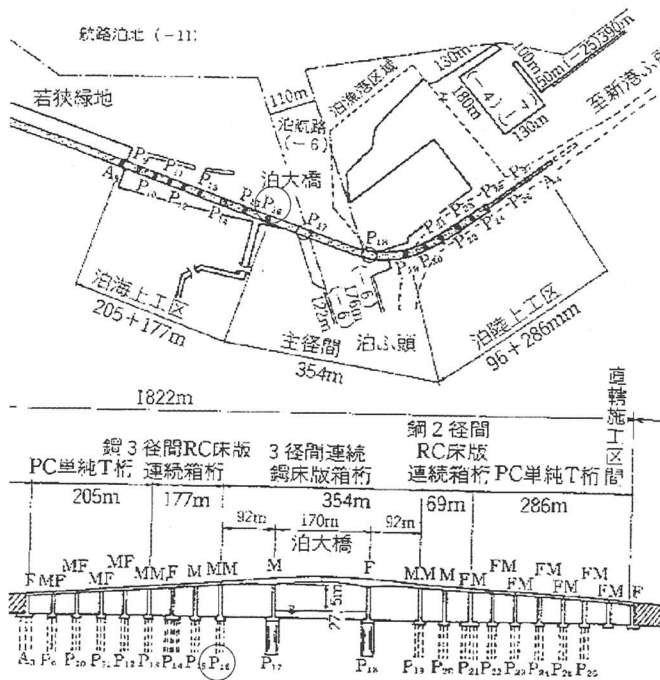


図-12 橋梁一般図

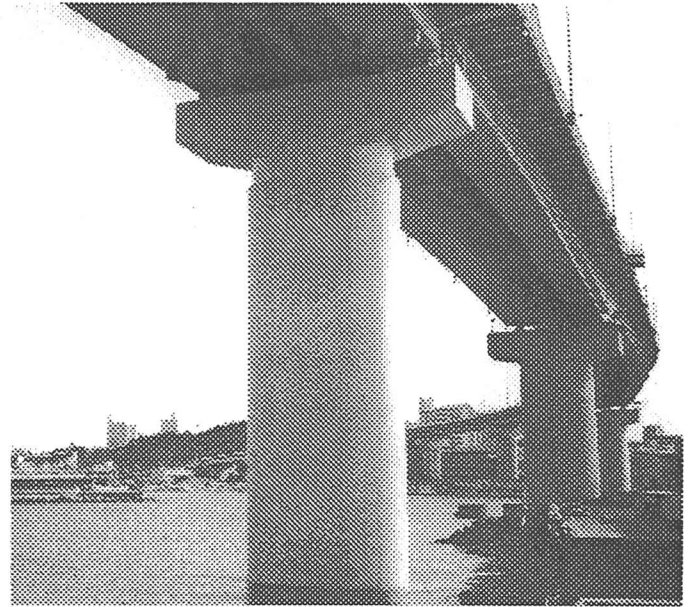


写真-1 P16 橋脚補強工完了全景

3.2 P16 橋脚の概要と補強仕様

P16 橋脚は、高さ 25.586m、断面寸法 7m×4m の小判型中空断面橋脚である。泊港沿岸に位置し、フーチング天端からの水深は満潮時で 2.6m である。

耐震補強においては、曲げ補強とせん断・靱性補強を併用する必要があり、鋼板を内包したプレキャスト型枠によるせん断・靱性補強に加えて、水中あと施工アンカーを既設橋脚とプレキャスト型枠の間に 64 本配置した。プレキャスト型枠は厚さ 9mm の補強鋼板を内包した鋼板内包型とし、鋼板を含めたパネルの厚さは 120mm とした。パネルの高さを 1.5m とし、割付は、平板と 4 分の 1 円弧からなる 6 枚のパネルにより構成した。グラウトは水中部には水中不分離性モルタルを、気中部には低収縮モルタルを充填し、グラウト厚さは 130mm とした。

本橋脚の補強仕様の一覧を表-2 に、補強概要図を図-13 に、補強断面図を図-14 に示す。

表-2 補強仕様の一覧

プレキャスト パネル	モルタル	W/C 30% パネル厚さ 120mm
	補強鋼材	鋼板 SM400 厚さ 9mm
	グラウト厚さ	130mm
併用補強	曲げ補強 アンカー鉄筋	SD295 D32 64 本 定着長 96cm (30Φ)

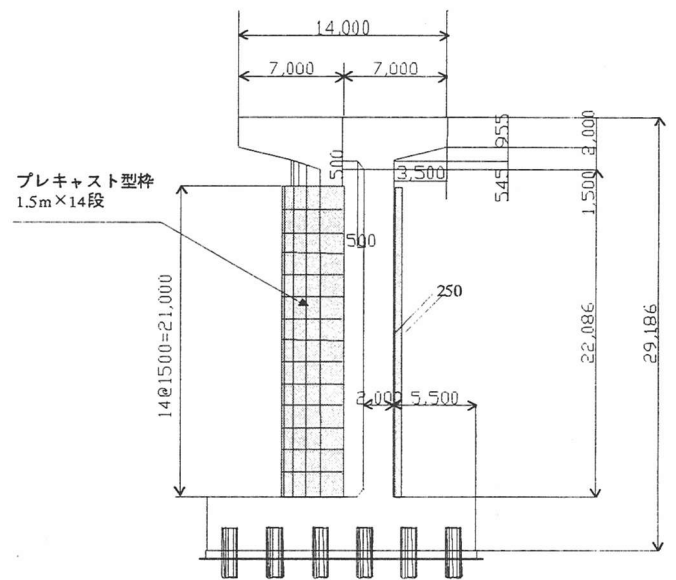


図-13 補強一般図

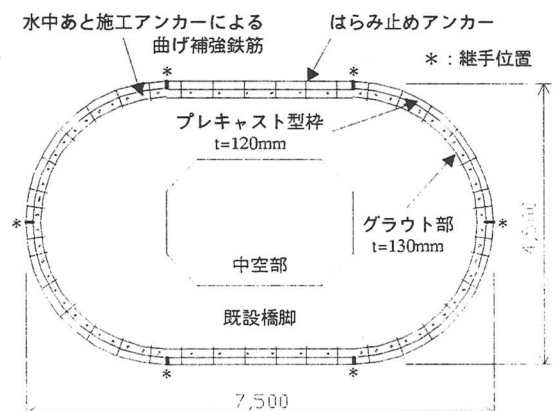


図-14 補強断面図

3. 3 施工の概要

1) プレキャスト型枠の組立

プレキャスト型枠継手部の詳細を図-15に示す。鋼板を接合する継手は、鋼板に溶接された継手鋼材と差込鋼材からなり、継手鋼材に差込鋼材を上から差し込むことにより容易に組み立てることができる。

また、プレキャスト型枠の組立は、橋脚梁部に設置したホイストクレーンによって作業構台上で容易に行うことができ、大規模な設備を必要としないものである。水中部のプレキャスト型枠の設置精度を向上するため、写真-3に示す滑車を利用した吊り治具を用いて水中に沈設した。

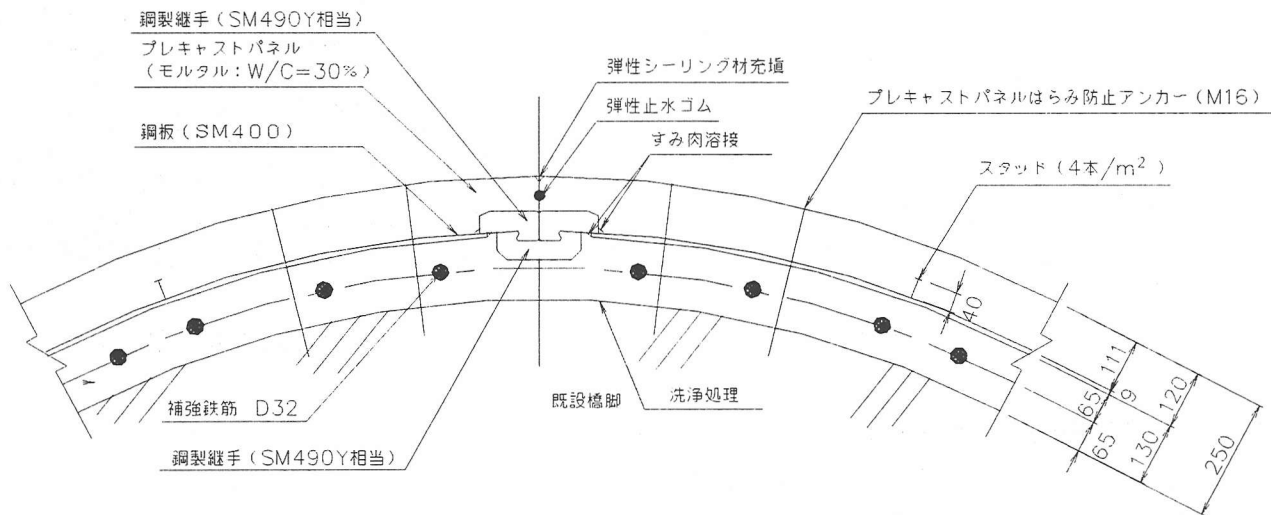


図-15 継手部詳細図



写真-2 継手差込状況

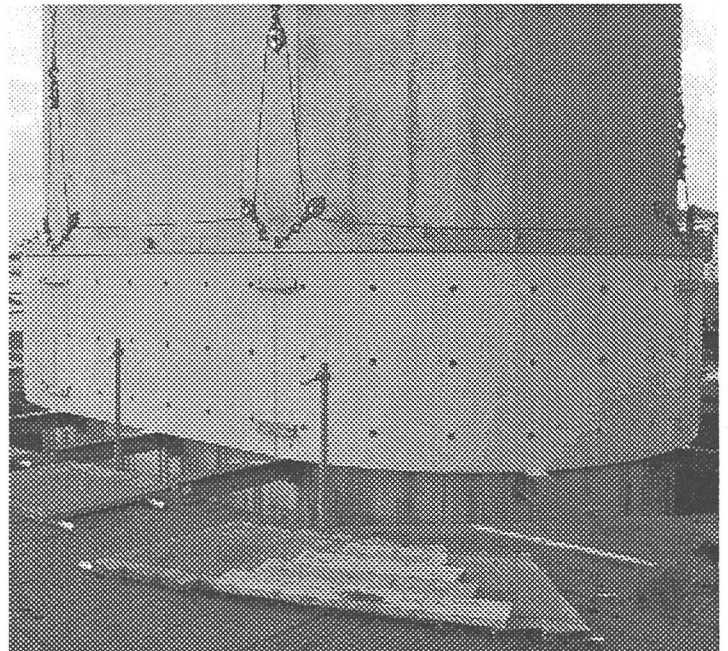


写真-3 プレキャスト型枠リング組上がり状況

2) はらみ止めアンカー

グラウトの充填圧に対する型枠の支保として、既設橋脚躯体にあと施工アンカーを配置した(はらみ止めアンカー)。プレキャスト型枠 1m^2 当たり 4 本配置した。はらみ止めアンカーの構造の概要を図-16に示す。本はらみ止めアンカーは、プレキャスト型枠の設置後に施工され、プレキャスト型枠にあらかじめ設けられた穴から削孔、打設を行った。また、この穴は水中硬化性エポキシパテによって埋め戻した。

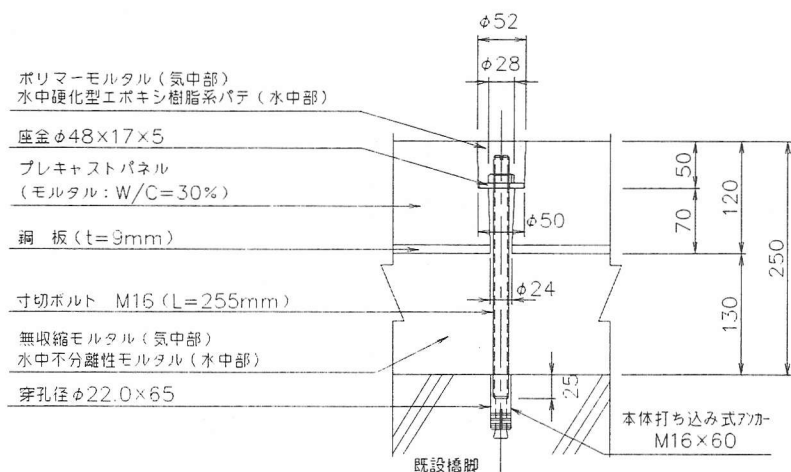


図-16 はらみ止めアンカー詳細図



写真-4 はらみ止めアンカー施工状況

3) プレキャスト型枠接合部の止水処理

プレキャスト型枠鉛直方向の目地の止水処理は、図-17に示すように、目地の延長方向に楕円形の弾性止水ゴムを配置し、パネル表面の間隙には弾性シーリング材を充填した。また、水平方向の目地は、目地の延長方向に 8mm×8mm の弾性止水ゴムを配置し、水中硬化性エポキシ樹脂で目地を接着した。

表-3 充填材の性質

部位	水中部	気中部
配合	水中不分離性モルタル	低収縮モルタル
コンシステンシー	スランプ 70-65±5cm	スランプ 70-65±5cm
ブリージング率	0.00%	0.29%
設計基準強度	24N/mm ²	

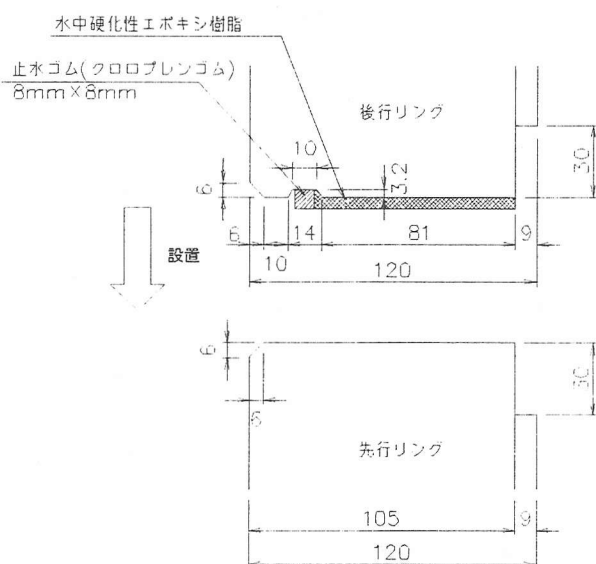


図-17 水平目地の止水処理

4) グラウト

プレキャスト型枠と既設橋脚躯体の間隙の充填材にはモルタルを用いた。表-3に充填材の性質を示す。1ロットの充填高さを3m以下に設定し、モルタルポンプにより流動距離2.5m以下で充填した。水中不分離性モルタルの充填状況を写真-5に示す。

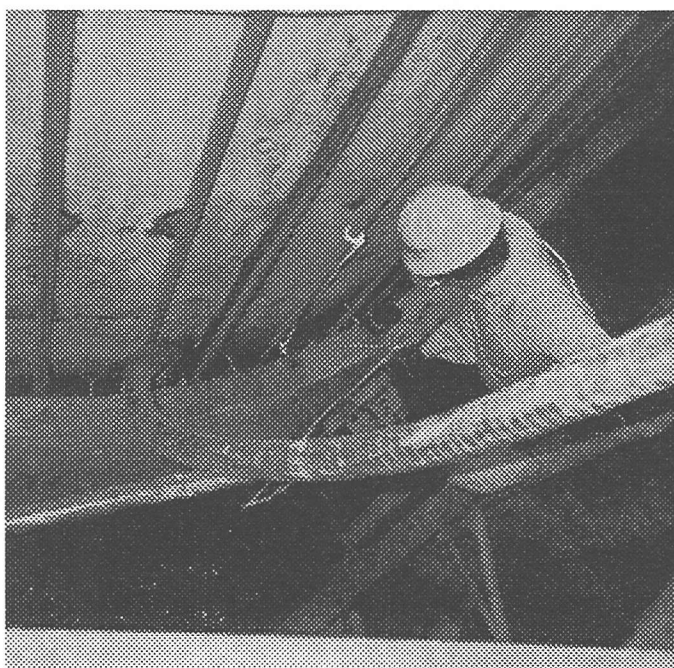


写真-5 水中不分離性モルタルの充填状況

3. 4 施工実績

1) プレキャスト型枠の据え付け精度

プレキャスト型枠の据え付け精度は、設置基準線からの設置誤差とパネル間の目違い量によって管理した。1リング当たり8カ所の設置誤差と16カ所の目違い量を管理したが、設置誤差、目違い量ともにほぼ5mm以内をほぼ満足し、極めて高い精度の設置を実現した。

2) 工期の検討

実施工で得られた1リフト（プレキャスト型枠2段分3m）当りの標準施工サイクルを表-4に示す。水中部で5日、気中部で4日であった。

全体工期においては、本工法の実施工程と在来工法で施工すると仮定した場合の検討工程の比較を図-19に示した。本工法の仮設は栈橋とし、在来工法の仮設は仮締切および築堤とした。本比較により、本工法は、在来工法に比較して4ヶ月の大幅な工期短縮が実現できることがわかった。

4. まとめ

本報告の範囲内で得られた結論を以下に示す。

- 1) 水中補強あと施工アンカーの引き抜き試験と、正負交番載荷試験の結果から、本工法により十分な耐震補強効果が得られ、その耐震性能は道路橋示方書耐震設計編の計算方法で安全側に評価できることがわかった。
- 2) 泊大橋 P16 橋脚耐震補強工事に採用、実施工され、本体補強工事のサイクル工程と全体工程が明らかになり、在来工法と比較して有利であることが立証された。

参考文献

- 1) 中島 良光ほか：プレキャスト型枠による高架橋の耐震補強工法に関する研究、「コンクリート系構造物の耐震技術」に関するシンポジウム論文報告集，日本コンクリート工学協会，pp229～235，1997. 4
- 2) 鉄道総合研究所：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
- 3) 小原 孝之ほか：水中で施工する樹脂接着系あと施工アンカーの耐荷性状に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 21，No. 3，pp. 343～348，1999.6
- 4) 小原 孝之ほか：あと施工アンカーと鋼板を内包したプレキャスト型枠型枠を用いた橋脚の水中耐震補強工法に関する実験的検討，土木学会第54回年次学術講演会講演概要集第5部，V-283，No. 3，pp. 566～567，1999.9
- 5) 與那覇健次：那覇港臨港道路の耐震補強工事，土木施工，39巻9号，pp89～94，1998.9

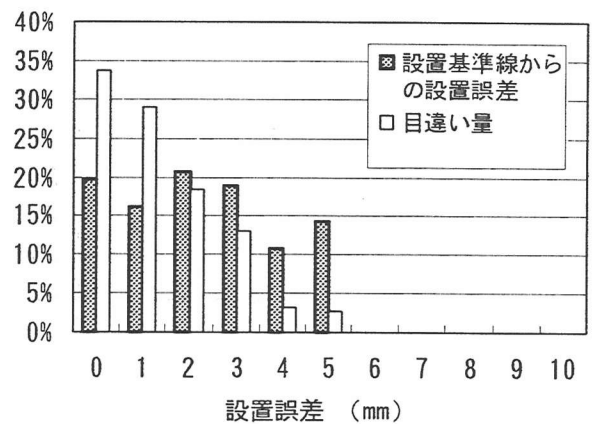


図-18 設置精度の評価

表-4 サイクル工程表

工事種別	1日	2日	3日	4日	5日	備考
プレキャスト型枠組立	■		■			1リフト 3m 1.5m×2リング
止水処理		■		■		目地処理
プレキャスト型枠沈設		■		■		水中部のみ
はらみ止めアンカー打設			■		■	型枠支保
グラウト工					■	モルタル充填

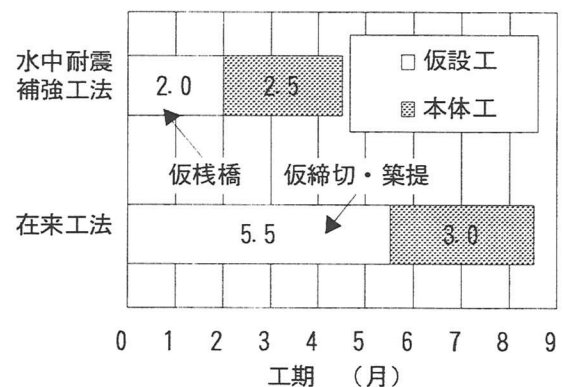


図-19 全体工期の比較