

報告 RC 橋脚の水中耐震補強工法の開発

小原 孝之^{*1}・鈴木 顕彰^{*2}・田畑 稔^{*3}・中原 勝一^{*4}

要旨： 躯体が水中に位置する橋脚の耐震補強工事における仮設費用の削減を目的として、水中施工による耐震補強工法を開発した。本工法は、プレキャスト埋設型枠補強を用いたせん断・靱性補強と、水中あと施工アンカーによる曲げ補強を併用するものである。本報告は、水中あと施工アンカーの引き抜き試験結果および橋脚モデル試験体の正負交番載荷試験結果と、本工法が採用された橋脚耐震補強工事の実施工について報告するものである。

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

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削減が命題となっている。そこで、作業の大半を水中で行い、ドライアップを不用とする水中耐震補強工法を開発を行った。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削減を実現するものである。

本工法は、橋脚の躯体の周囲に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、躯体と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。

しかしながら、水中施工あと施工アンカーの

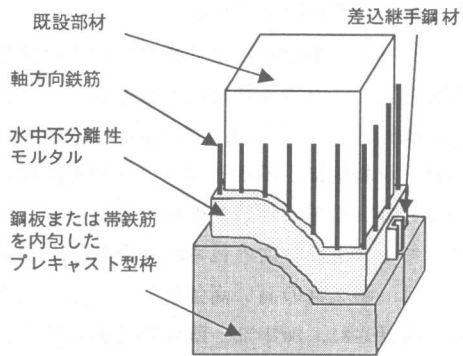


図-1 水中耐震補強工法の概要

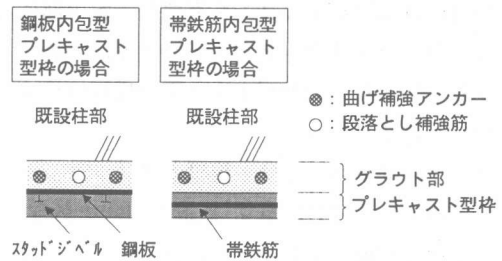


図-2 補強断面の構造

構造性能および信頼性は気中施工に比較して低いと考えられる。本工法の開発においては、構造性能に優れ、信頼性が高い水中あと施工アンカーの開発が必要不可欠であった。以上より、

*1 前田建設工業(株)技術本部技術研究所 工修 (正会員)

*2 前田建設工業(株)技術本部技術研究所課長代理 工修 (正会員)

*3 前田建設工業(株)技術本部技術研究所課長 工修

*4 前田建設工業(株)九州支店土木部所長

水中あと施工アンカーの開発を目的として行った水中あと施工アンカーの引き抜き試験と、水中あと施工アンカーによる曲げ補強とプレキャスト型枠補強を併用した橋脚モデル試験体の正負交番載荷実験を行った。

本報告では、本実験結果について報告するとともに、本工法が採用された実構造物の施工調査から本工法の優位性について検討を行った結果について報告する。

2. 水中耐震補強工法の概要

2.1 水中耐震補強工法の特徴

本工法の特徴を以下に示す。

- ①プレキャスト型枠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。そのため、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。
- ②プレキャスト部材に内包された鋼板または帯鉄筋は、耐久性の高い高強度モルタル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。
- ③既設橋脚とプレキャストパネルの間隙は、気中部には低収縮モルタルを充填し、水中部には水中不分離性モルタルを充填する。これにより、プレキャストパネルと既設橋脚は構造的に一体化される。
- ④プレキャストパネルは、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、大がかりな仮設を必要としない。

2.2 施工要領

本工法の施工の概念を図-2に、施工手順を図-4に示す。プレキャスト型枠の使用により煩雑な鉄筋組立、溶接や型枠作業が省略される。

2.3 プレキャスト型枠

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

ング上に巻きだ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。

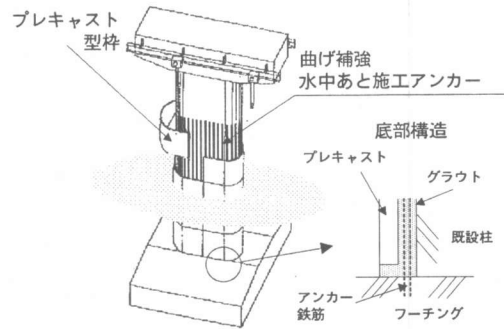


図-3 水中耐震補強工法の施工の概念

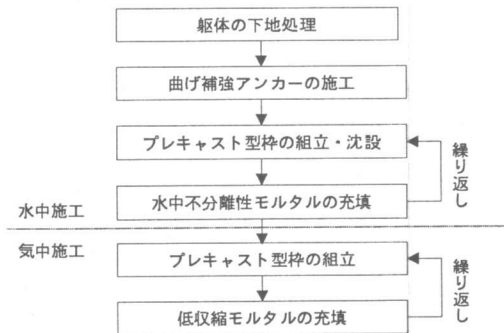


図-4 水中耐震補強工法の施工手順

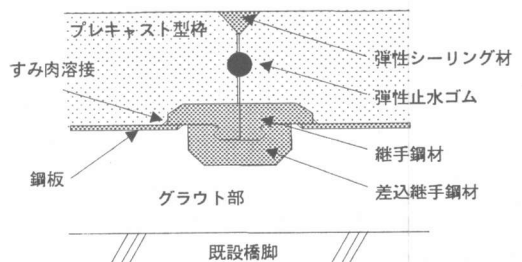


図-5 機械式継手の詳細

3. 水中あと施工アンカーの引き抜き試験³⁾

3.1 水中あと施工アンカーの概要

水中あと施工アンカーは図-6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）。本日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系樹脂を主剤とするものである。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ことが特徴である。

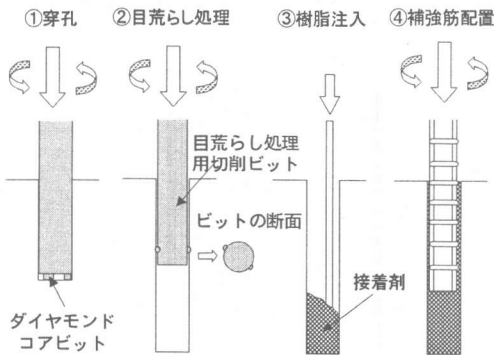


図-6 水中あと施工アンカーの施工手順

表-1 材料の諸元

仕様	鉄筋		コンクリート		接着剤
	降伏強度 f_y (N/mm^2)	引張強度 f_u (N/mm^2)	圧縮強度 $f_{c'}$ (N/mm^2)	割裂強度 $f_{t'}$ (N/mm^2)	圧縮強度 $f_{bc'}$ (N/mm^2)
SD345 D32	364	581	36.3	2.9	90.9

表-2 試験体の一覧

No.	定着長さ (mm)	破壊形態	最大耐力 P_{max} (kN)	P_{max}/P_y	P_{max}/P_u
1	320 (10×D)	抜け出し破壊	453	1.57	0.98
		抜け出し破壊	433	1.50	0.94
		抜け出し破壊	466	1.61	1.01
2	640 (20×D)	鉄筋破断	473	1.64	1.02
		鉄筋破断	467	1.62	1.01
		鉄筋破断	472	1.63	1.02
3	850 (27×D)	鉄筋破断	468	1.62	1.02
		鉄筋破断	480	1.66	1.04
		鉄筋破断	472	1.63	1.02

D: 鉄筋径、 P_y : 鉄筋の降伏荷重、 P_u : 鉄筋の降伏荷重、引張荷重

3.2 水中あと施工アンカーの概要

引き抜き試験を行った試験体の材料の諸元および試験体の性質、実験結果を表-1、表-2に示す。

本実験においてアンカーの施工はすべて水中で行った。アンカー鉄筋のサイズはD32であり、アンカー孔の径は38mmとした。試験体は、定着長さをパラメータとし、各々のケースに対して3体実験を行った。実験結果より、すべての試験体において鉄筋降伏後に終局を迎えたが、定着長さの最も短いNo. 1において抜け出し破壊により終局を迎え、No. 2とNo. 3においてはすべて鉄筋破断により終局を迎えた。

本実験結果より、アンカー鉄筋の定着長が補強筋径の20倍の時にすべての試験体において鉄筋破断の破壊モードが得られていることから、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。

4. 耐震補強効果の検証⁴⁾

4.1 試験体

本水中あと施工アンカーとプレキャストパネル型枠補強の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体の正負交番荷重試験を行った。

試験体の概要と材料強度を図-7、8および表-3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)を施工したが、定着長さは補強筋径の30倍(13×30=390mm)とした。このとき、孔内に水を充填した状態で樹脂を注入し補強鉄筋を配置し、アンカーの水中施工を模擬した。既設試験体の主鉄筋には段落としがあるため断落とし補強鉄筋を配置した。次に、曲げ補強アンカーの外側に鋼板内包型プレキャスト型枠をモデル化した補強鋼板を配置し、隙間に無収縮モルタルを充填した。プレキャスト型枠中のモルタル部分は、塑性域を超える繰り返し荷重下での一体性が明確でないため

設計上構造断面としていないことから、本実験では省略した。また、モデル化の都合上、グラウト厚さが50mmと実構造(150mm程度)より薄くなるため、グラウト材は充填性の高い無収縮グラウトで代用した。水中あと施工アンカーの施工は、小孔径のコアボーリングができないことから、ハンマードリルによる孔壁表面には凹凸があることと、寸法効果等の影響により細い鉄筋は付着強度が増すことから、ハンマードリルによる削孔を行い、目荒し処理は行わなかった。D32目荒し処理アンカーと、ハンマードリル削孔によるD13アンカーの付着性状の比較を行ったのが図-9である。図の縦軸は鉄筋に作用する応力(σ)を降伏強度(f_y)で、横軸

は抜け出し変位(δ)を補強筋径(D)で除して無次元化した。両アンカーの鉄筋応力-抜け出し変位関係は良く対応していて、両者の付着性状がおおむね同等であることを確認した。

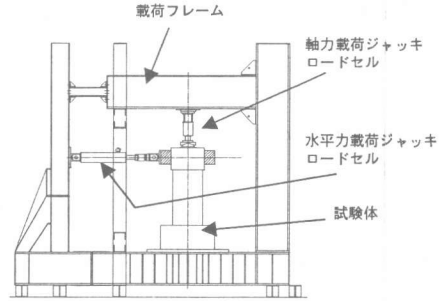


図-7 正負交番荷重試験の概要

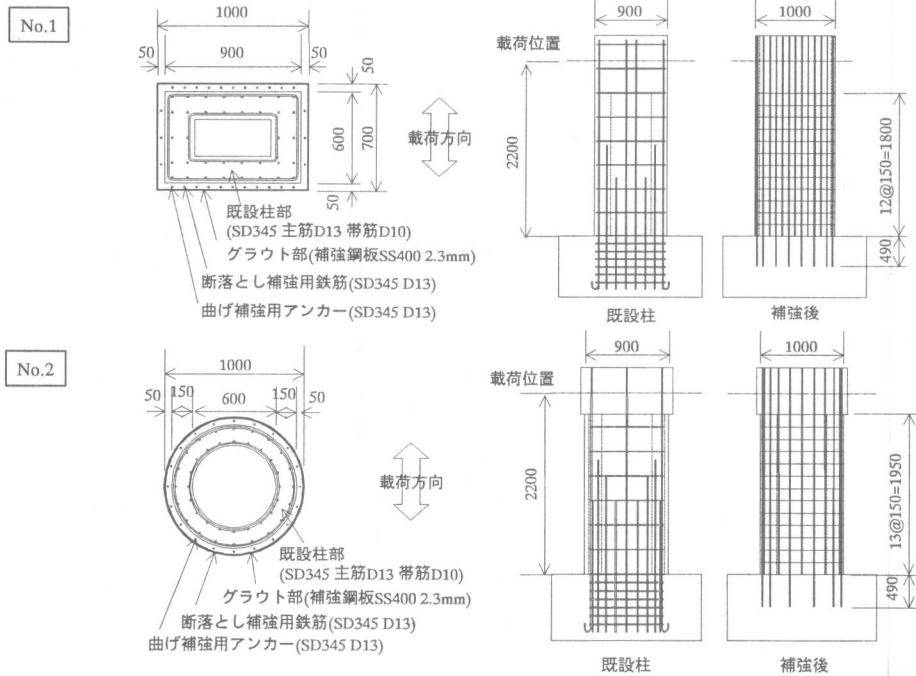


図-8 橋脚モデル試験体の概要

表-3 材料強度および実験結果の一覧

試験体	断面	軸力 σ_n (kN/mm^2)	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		
			フーチング	柱部	主鉄筋	帯鉄筋	グラウト	鉄筋	鋼板		
No. 1	矩形	1.3	44	42	392	392	56	372	276	462 (417)	20 (8.6)
No. 2	円形	2.0	43	45	392	392	59	372	276	647 (562)	20以上 (5.6)

f'_c : コンクリート強度(N/mm^2), f_y : 降伏強度(N/mm^2), δ_y : 降伏変位, δ_u : 終局変位, ()内は計算値

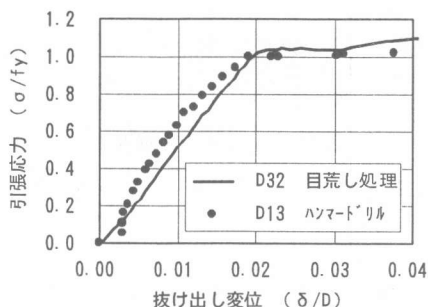


図-9 水中あと施工アンカーモデルの検証

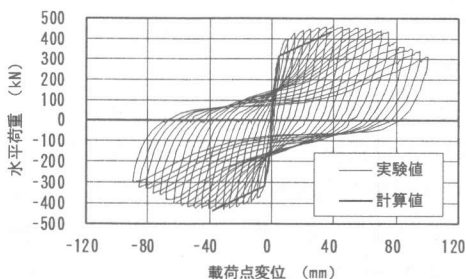


図-10 履歴性状 (No. 1)

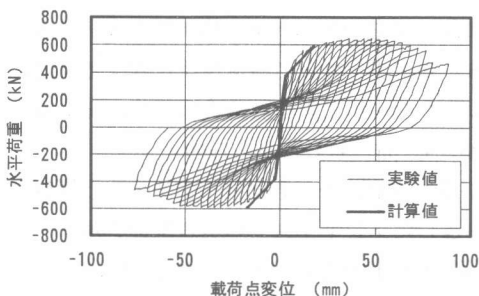


図-11 履歴性状 (No. 2)

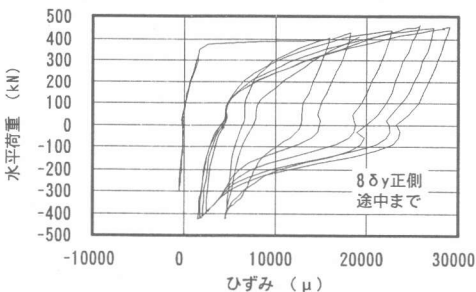


図-12 水中あと施工アンカーのひずみ性状

4.2 実験結果

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、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示した。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。また、図-12に試験体 No. 1の代表的なアンカーのひずみの履歴を示す。これより、アンカーが大きく塑性変形していることから、正負交番の繰り返し下でも曲げ補強に有効に寄与し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。

5. 水中耐震補強工法の実施工

5.1 実施工の概要

本工法の採用された橋脚は中央径間170m、全長1118mの橋梁の下部工を構成する橋脚のひとつである。対象橋脚の補強概要図を図-13に、補強断面図を図-14に示す。

5.2 標準施工サイクルと工期

表-4に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示す。水中部で5日、気中部で4日であった。

本工法の実施工で得られた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-15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。以上より、在来工法に比較して本工法は4ヶ月の大幅な工期短縮が実現できることがわかった。

6. 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により安全側に評価されることがわかった。

2) 橋脚の耐震補強工事に水中耐震補強工法が実施され、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わかった。

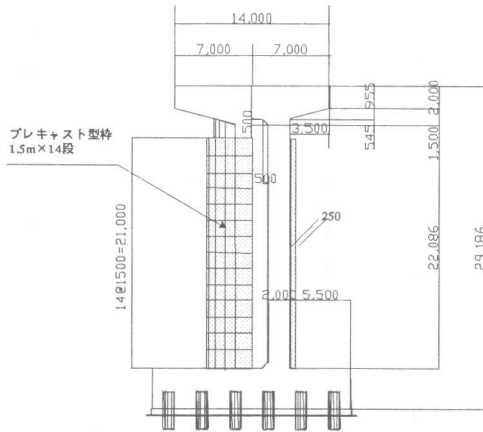


図-13 補強一般図

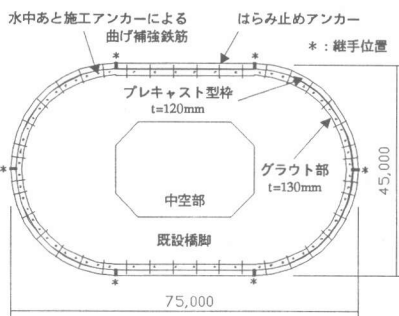


図-14 補強断面図

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

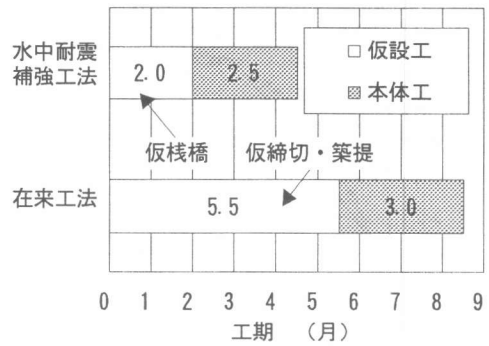


図-15 本体補強工事の工期の比較

参考文献

- 1) 中島 良光ほか：プレキャストパネル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
- 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パネル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