

# PC巻立て工法による水中橋脚の耐震補強

ドライアップ不要の水中施工

渡辺 寛

WATANABE Hiroshi  
正会員

㈱ピーエス三菱 土木本部 メンテナンス部 課長

河口付近のRC橋脚耐震補強工事では、水面下の橋脚周囲を仮締切りによりドライアップして施工するのが一般的である。しかし、ドライアップによる施工は仮設備の建設コストが高く、仮設備に対するコスト縮減が課題であった。

そこで誕生したのが、PC巻立て工法によるドライアップ不要の水中橋脚耐震補強工法である。

本工法は、陸上でのPC巻立て工法を水中施工へと展開したもので、従来の仮締切り工法と比較し、大幅な工期短縮とコスト縮減を実現した。

## PC巻立て工法とは

PC巻立て工法は、大規模地震での橋脚の耐荷力と変形性能を向上させ、橋脚をねばり強い構造にすることを目的として開発された耐震補強工法である。

この工法は、既設のRC橋脚の周囲に高降伏点のPC鋼材をらせん状に巻き付け、所要のプレストレス量を導入することで既設橋脚との一体性（コンファインド効果）を高め、橋脚の地震時保有水平耐力と靱性を大幅に改善・向上させることができる方法である（図-1）。

本工法により補強されたRC橋脚の性能は、実物大供

## 大震災に学ぶ

1995年1月17日の早朝に発生した兵庫県南部地震は、神戸市を中心とした阪神間の大都市圏に甚大な被害をもたらした。なかでも、高速道高架橋の倒壊は土木関係者に大きな衝撃を与えた。

倒壊した高架橋の橋脚は、帯鉄筋量の不足から軸方向鉄筋がつぶれた提灯のように外側へ座屈してしまい、1980（昭和55）年以前の旧基準に基づいて構築された橋脚の帯鉄筋量不足が指摘された。

「これほどの被害を防ぐには、地震に対してねばり強い橋脚を造るしかない。高強度のPC鋼材を既存の橋脚に巻き付けてプレストレスを導入してはどうか。」

このアイデアが、既設の鉄筋コンクリート（RC）橋脚をPC鋼材で締め上げて補強するというPC巻立て工法開発のきっかけとなった。プレストレスコンクリート（PC）構造物に熟知した土木技術者の発想だった。

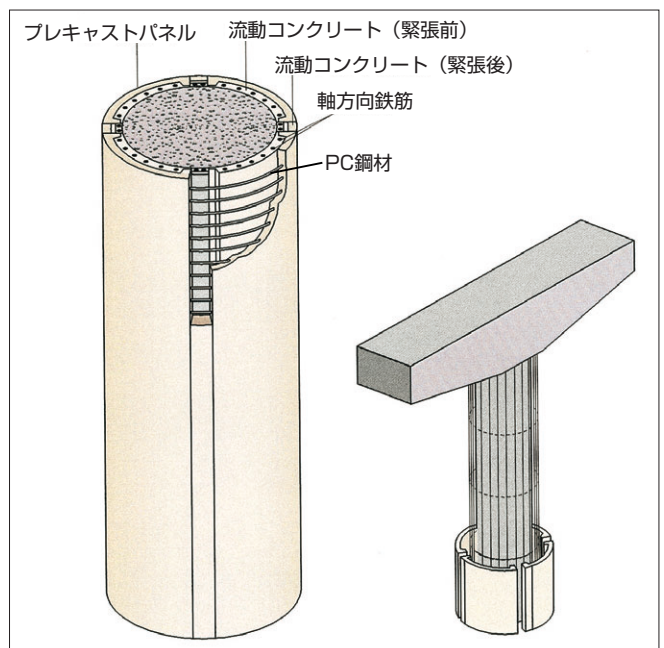


図-1 PC巻立て工法の概要

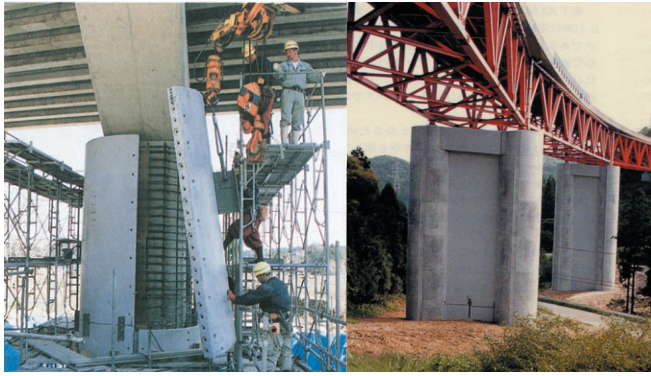


写真-1 熊木川橋パネル組立状況（左）、豊川橋完成状況（右）



写真-2 早岐瀬戸大橋完成状況

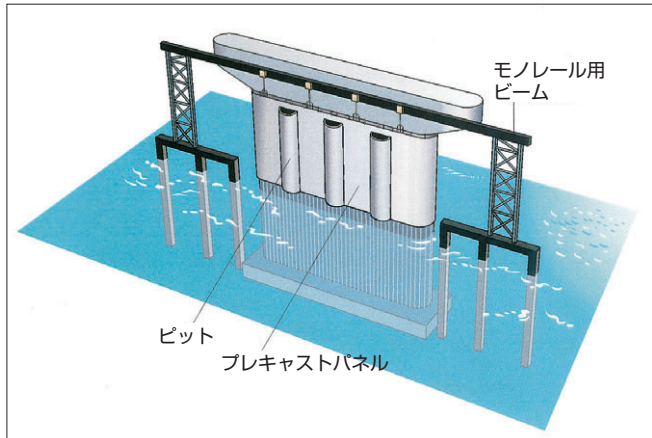


図-2 PC巻立て工法による水中施工法の概要



写真-3 界橋完成状況

試体による交番載荷実験ですでに実証されている。

設計手法は種々の載荷試験結果を基に確立されており、施工面ではらせん状に配置したPC鋼材を連続的に緊張できる緊張システムが実用化されている。

これらの研究成果は、豊川橋（石川県）を初めとした約50件の実績につながった（写真-1）。

### 陸上部から水中部への水平展開

大震災以後に始まった橋脚補強の動向は、陸上部ではほぼ一巡している。しかし、河川や海などの水中部に位置するRC橋脚の耐震補強分野では、水中施工を必要とするため未着手の橋脚が数多く存在する。

従来、水中部のRC橋脚耐震補強工事においては、橋脚周囲を鋼矢板などで仮締切りして水をポンプで汲み出し、作業空間をドライな状態にしたうえで巻立て補強を行うのが一般的であった。しかし、ドライアップによる施工は、仮設工事であるドライアップ工事自体に建設コストや工期がかかるという難題を抱えていた。

そのため、仮設備コストの縮減と工期の短縮を目的として、PC巻立て工法を水中の橋脚へ応用した耐震補強工法が開発された。

この工法は、ドライアップをする必要がなく、既設の橋脚を包み込むように筒状のプレキャストパネルを建て込み、これを水中の所定の位置に一括沈設して、最後に

水中部でプレストレスを与えて既設橋脚と一体化する方法である（図-2）。もちろん、プレキャストパネルの組立段階から水中施工を行うことも可能である。

本工法の開発によって、河口付近の水中部に位置するRC橋脚の耐震補強工事は、在来工法である二重締切りによるRC巻立て補強工法と比較して、約15%のコスト縮減と大幅な工期短縮が可能となった。

### 水中施工での実績

PC巻立て工法による水中施工で、国内初の実績となったのは早岐瀬戸大橋（長崎県）である。この工事では海中に立つ橋脚6基の耐震補強を実現し、塩害対策、プレキャストパネルの一括沈設および作業用鋼製ピットの使用を具現化した（写真-2）。

また、続いて施工した界橋（島根県）では、桁下空間が水面まで1.8m程度と作業空間が少ないため、プレキャストパネルの組立から巻立て補強の完成に至るまで、すべて潜土工による水中施工を行い、潜土工作業のみでも適切な施工管理に基づく確実な水中施工が可能であることを確認した（写真-3）。

### 早岐瀬戸大橋における水中施工の特徴

早岐瀬戸大橋は海上部に位置するため、塩害対策と海中部での厳しい作業条件を考慮し、次の事項に配慮して





写真-4 プレキャストパネルの一括沈設システム



写真-5 潜水士による水中作業



写真-6 水中での鉄筋定着



写真-7 遠隔操作型カメラ

施工を行った。

塩害対策：塩害対策区分Ⅰに位置することから，所定のかぶり 7.0 cm を確保できないパネル内の鉄筋はエポキシ樹脂塗装鉄筋とした。

耐食性 PC 鋼材：一時的に海中に浸かる軸方向下段鉄筋は，耐食性に優れたエポキシ樹脂塗装鉄筋とした。また，らせん状の横拘束 PC 鋼材についても耐食性・曲げ特性に優れたポリエチレン被覆 PC 鋼材とした。

水中不分離コンクリート：既設橋脚とプレキャストパネルの間に打設するコンクリートは，パネルの設計基準強度と同等の品質強度を有する水中不分離コンクリートとした。

プレキャストパネルの一括沈設システム：海中部のプレキャストパネルの組立は，作業構台上にて筒状に仮組みを行い，特殊ジャッキによる自動制御システムで移動量と作用荷重を管理しながら一括沈設した。このシステムは，高精度でのパネル接合と気中での PC 鋼材の挿入作業を容易にした（写真4）。

作業用鋼製ピット：PC 鋼材の緊張・グラウト作業，中間貫通鋼材の施工など重要な作業は，作業用鋼製ピットを使用することで，気中での十分な施工管理が可能となった（図2）。

### 界橋における施工管理システムと施工性確認試験

界橋の水中部での作業は，すべて潜水士によって行った。陸上部からの目視による施工管理が不可能であることから，水中施工の確実性を実証するため，水中での施工管理システムを事前に構築して実施した。また，水中における施工性確認試験も行った（写真5，6，7）。

施工管理システム：水中での施工品質と作業内容を確実に把握するため，使用する施工管理用機器（全体監視用の遠隔操作型水中ビデオカメラ，局部監視用の小型水中ビデオカメラ，写真撮影用水中カメラおよび水中無線）を選定し，正確な情報を共

有する施工管理システムを構築した。実施の結果，構築した施工管理システムが支障なく運用できることが実証された。

水中不分離コンクリートの打設性能確認試験：既設橋脚とパネルとの間の充填コンクリートについては，高性能減水剤を使用することで，その充填の確実性はすでに気中部では実証済みであった。しかし，水中打設での事例が少ないことから，供試体による水中不分離コンクリートの打設性能確認試験（圧縮強度試験，スランプフロー試験，打設性能や充填性の確認など）を行った。実施に際しては，試験結果に基づいた配合の水中不分離コンクリートを採用し，確実な充填性能と所定の品質性能を確認した。

エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着性能確認試験：軸方向のエポキシ樹脂塗装鉄筋は，フーチングの所定の位置に削孔した鉄筋挿入孔にエポキシ樹脂接着剤を注入して定着する。橋脚付け根での所定の曲げ耐力を確保するためには，エポキシ樹脂による水中での定着を確実に行うことが必要で，かつその付着性能を容易に確認できなければならない。本工事では，供試体によるエポキシ樹脂塗装鉄筋の引抜き試験を行って，水中充填での付着性能を確認し，土木学会基準に準じて定着長を鉄筋径の 25 倍とした。

### さらなる技術の飛躍を目指して

今回紹介した施工事例によって，二重締切り等の大規模な仮設備を整備しなくても，多種多様な施工条件下で簡易に水中施工にて RC 橋脚の耐震補強を行えることが実証できた。特に，PC 鋼材で躯体を締め上げてのコンファインド効果はアルカリ骨材反応による劣化被害にも有効であり，他工法にない本工法特有の特徴である。

今後は，より靱性の高い丈夫な公共資産の新生を目指して，本工法のさらなるコスト縮減，省力化および工期短縮の実現に取り組んでいきたい。