

図-3 桁下高さ (P2 橋脚)

3. 施工方法の検討

(1) 仮設も含めた工法の比較検討

施工方法としては、A1-P1 間、P2-A2 間の桁下の陸地か、P1-P2 間の港湾を利用して仮締切工や RC 巻き立て工を行う方法が考えられる。

仮締切工は一般的な鋼矢板による工法か桁下高さの低い狭隘な箇所でも締切可能なライナープレートによる工法が考えられる。また RC 巻き立て工法の場合、水中で潜水士により鉄筋や型枠組立、コンクリート打設等が可能であるため、躯体本体の構築は高価となるが締切を用いずに水中で施工する方法も可能である。

以上のことから、RC 巻き立て工法に対し、締切を用いて気中で施工する場合と、締切を用いず水中で施工する場合の比較を行う。締切の形状及び施工に用いる機器等の組み合わせより、下記の4案について比較を行い、表-1 に施工案の概要をまとめ、表-2 に比較結果をまとめる。

①施工案1 鋼矢板土留め工+台船施工

クレーン付き台船を併用して油圧圧入機で鋼矢板を圧入する。桁下で圧入することになるため、1.0~2.0m の継施工となる事から、鋼矢板については買取となる。その後、バックホウ台船にて構造物掘削を行う。巻き立てコンクリートについては、陸上よりポンプ打設とする。なお、台船設置により既設航路に対して大きく干渉するため、航路確保のための浚渫が必要である。

②施工案2 ライナープレート+台船施工

バックホウ台船により構造物掘削を行い、クレーン台船にて止水用のライナープレートを設置し、止水コンクリート打設後、締切内をドライアップし、コンクリート巻き立てを行う工法である。水中でオープン掘削を行う事になるため、法面保護のための薬液注入を行う。巻き立てコンクリートについては、陸上よりポンプ打設とする。なお、台船設置により既設航路に対して大きく干渉するため、航路確保のための浚渫が必要である。

③施工案3 ライナープレート+陸上施工

小型バックホウにて地上よりオープン掘削を行い、小型クレーン及び人力(潜水士含む)により止水用のライナー

プレートを設置し、止水コンクリート打設後、締切内をドライアップし、コンクリート巻き立てを行う工法である。水中でオープン掘削を行う事になるため、法面保護用の薬液注入を行う。巻き立てコンクリートについては、陸上よりポンプ打設とする。この工法については、橋脚周辺に吊足場を設置する事になるが、既存の航路に干渉しない範囲で設置可能であるため、浚渫等は不要となる。

④施工案4 締切工無し+陸上施工

小型バックホウにて地上よりオープン掘削を行い、潜水士により水中不分離性コンクリートでコンクリート巻き立てを行う工法である。水中でオープン掘削を行う事になるため、法面保護用の薬液注入を行う。この工法については、ライナープレートを設置しないため吊足場を必要とせず、簡易な材料搬入通路を桁下空間から単管足場まで設置するため、浚渫等は不要となる。

表-1 施工方法概要表

| | 主な施工方法 | 掘削方法 | 仮締切方法 |
|------|--------|---------|----------|
| 施工案1 | 台船施工 | バックホウ台船 | 鋼矢板 |
| 施工案2 | 台船施工 | バックホウ台船 | ライナープレート |
| 施工案3 | 陸上施工 | 小型バックホウ | ライナープレート |
| 施工案4 | 陸上施工 | 小型バックホウ | なし |

表-2 施工方法比較表

| | 航路に対する影響 | 施工性 | 経済性 | 評価 |
|------|--------------------|-----|-----|----|
| 施工案1 | 干渉あり | × | △ | - |
| 施工案2 | 干渉あり | × | × | - |
| 施工案3 | 干渉なし (現況航路使用可能) | ○ | ○ | - |
| 施工案4 | 干渉なし (現況航路使用可能) | △ | ◎ | ○ |

施工案1、2のように台船を使用した場合、航路を確保するために浚渫する必要があり、浚渫費が高額となる。また、バックホウ台船による掘削は小型バックホウ掘削に経済性が劣る。施工案1のように仮締切工を鋼矢板で行う場合、買取となり高額となる。施工案2は上記に加え地盤改良費が必要となることから経済性に劣る。施工案3は、現況の航路を使用可能であり、ライナープレートによる仮締切工を行うことで作業効率や天候に左右されないなど施工性は優れているが、経済性に劣る。施工案4も同様に現況の航路を使用可能であり、潜水士施工や水中不分離コンクリート等の躯体本体の構築は高価となるが締切を用いないため総合的な経済性は最も優れる。よって、施工案4を採用する。

(2) 潜水士による施工について

地上から施工を行う場合においても、水中となる部分の施工については、仮締切工を行わないため潜水士による施工が必要となる。

水中で施工となる工種と、施工対応の可否及び対応方法に対する潜水士会社からのヒアリング結果を表-3 に示す。

表-3 潜水士ヒアリング

| 工種 | 回答 |
|------------|--|
| 水中補助掘削 | 施工可能 (人力により対応) |
| 水中コンクリート | 水中不分離性コンクリートポンプ打ちが望ましい。通常の水中コンクリート使用のコンクリートをポンプでゆっくりと打設することは可能。(高炉 30-15-40 B 種) |
| 護岸等の取り壊し | 施工可能 (水中取り壊し) |
| RC 巻き立て | 施工可能 |
| 水中鉄筋レーダー探査 | 施工可能 (特許あり) |
| 護岸復旧 | 鋼製型枠のバラ組み立ては可能であるが、垂直面に限る。ブロックを復旧することは地上で施工するより速度は落ちるが水中で施工することは可能。 |
| 足場等の組立 | 施工可能 (水中単管足場等実績は多い) |

(3) 水中不分離性コンクリートの性能

仮締切無しの水中でコンクリートを打設する事になるが、一般の水中コンクリートの場合、図-4 に示すコンクリート標準示方書 2012 (施工編) ¹⁾ に水中落下させると、材料分離が生じてセメントが流出するため、「水中を落下させてはならない」と記載されており、当該箇所では適していない。

8.2.2 打込み

8.2.2.1 一般

- (1)コンクリートは、静水中に打ち込まなければならない。
- (2)コンクリートは、トレミーもしくはコンクリートポンプを用いて打込むのを原則とする。
- (3)コンクリートは、水中落下させてはならない。
- (4)コンクリートは、その面をなるべく水平に保ちながら所定の高さまたは水面上に達するまで、連続して打ち込まなければならない。
- (5)打込み中、コンクリートをかき乱さないようにしなければならない。
- (6)コンクリートが硬化するまで、水の流動を防がなければならない。
- (7)一区画のコンクリートの打込み終了後、レイタンスをのぞかなければ、次の打込みを始めてはならない。

図-4 水中コンクリート打込み抜粋 ¹⁾

水中不分離性に優れている水中不分離性コンクリートは基本的に、静水中で行うことが望ましいが図-5 に示すコンクリート標準示方書 2012 (施工編) ²⁾ に「水中不分離性コンクリートは多少の速度を有する流水中へ打ち込んだり、水中落下させて打ち込んでも信頼性の高いものが得られる性能を有している。」と記載されている。ただし、なるべく品質低下を生じないように注意し、水中落下打設箇所を減らすため、干潮時に施工する事が望ましい。

水中不分離性コンクリートの一回当たりの打設高さは50cm 以下であり、打継が必要となる。水中は遅延剤の使用や、機械はつりによる方法が困難であるため、水中不分離性コンクリートの打継面は、ワイヤブラシを使用する。

8.3.4 打込み

- (1)打込みは、静水中で、水中落下高さは50cm 以下として行うことを標準とする。
- (2)打込みは、コンクリートポンプあるいはトレミーを使用する方法とし、水中不分離性コンクリートの品質低下を生じさせないように行なわなければならない。
- (3)水中流動距離は、5m 以下を標準とする。

【解説】(1)について 水中不分離性コンクリートは多少の速度を有する流水中へ打ち込んだり、水中落下させて打ち込んでも信頼性の高いものが得られる性能を有している。しかし、必要もないのに品質を低下させる施工方法は避けるべきであるから、このような条項を設けた。ここで静水中とは、流速が5cm/s 程度以下の意味である。

図-5 水中不分離性コンクリート打込み抜粋 ²⁾

また、図-6 に示すコンクリート標準示方書 2002 (基準編) ³⁾ に水中不分離性混和材の性能規定があり、気中水中強度比は80%以上とあることから、呼び強度30N/mm² の水中不分離性コンクリートであれば、気中部のコンクリート強度24N/mm² と同等になる。

表1 水中不分離性混和剤の性能規定

| 品質項目 | 種類 | | 標準形 | 遅延形 |
|----------------------------------|------------------------|------------------------|-----|---------|
| | フリーディング率(%) | フリーディング率(%) | | |
| フリーディング率(%) | 0.01 以下 ⁽¹⁾ | 0.01 以下 ⁽¹⁾ | | |
| 空気量(%) | 4.5 以下 | 4.5 以下 | | |
| スランプフローの経時低下量(cm) | 30 分 後 | 3.0 以下 | | |
| | 2 時 間 後 | - | | 3.0 以下 |
| 水中分離度 | 懸濁物質質量 (mg/l) | 50 以下 | | 50 以下 |
| | pH | 12.0 以下 | | 12.0 以下 |
| 凝結時間(時間) | 始 発 | 5 以上 | | 18 以上 |
| | 終 結 | 24 以内 | | 48 以内 |
| 水中作製供試体の圧縮強度(N/mm ²) | 材 齢 7 日 | 15.0 以上 | | 15.0 以上 |
| | 材 齢 28 日 | 25.0 以上 | | 25.0 以上 |
| 水中気中強度比(%) ⁽²⁾ | 材 齢 7 日 | 80 以上 | | 80 以上 |
| | 材 齢 28 日 | 80 以上 | | 80 以上 |

注(1) この値は、フリーディング試験結果の表示の最小値であって、実質的にはフリーディングが認められないことを意味する。

(2) 気中作製供試体の圧縮強度に対する水中作製供試体の圧縮強度の比率。

図-6 水中不分離性混和材の性能規定 ³⁾

4. 施工手順

施工手順については、図-7の施工フローにより示し、概要と施工上の注意点を記載する。

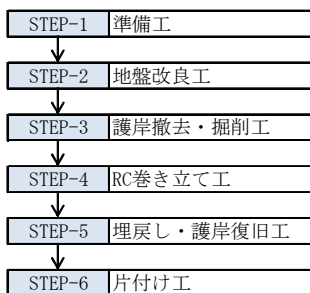


図-7 施工フロー

STEP-1 準備工

桁下の陸地へ重機、機材を搬入し、汚濁水拡散防止フェンスを設置する。重機については2.9tクローラークレーン及び0.2m³バックホウは搬入可能である。

STEP-2 地盤改良工

掘削後の法面保護が目的とし、2.9tクローラークレーン及びボーリングマシンにより地盤改良(薬液注入工)を行う。

STEP-3 護岸撤去・掘削工(図-8)

掘削、護岸撤去の順で繰り返し施工する。水中部は潜水土施工とし、気中部は小型バックホウ及び人力施工とする。潜水土施工時は、潜水土、潜水連絡員、潜水送気員、潜水土世話役が必要である。

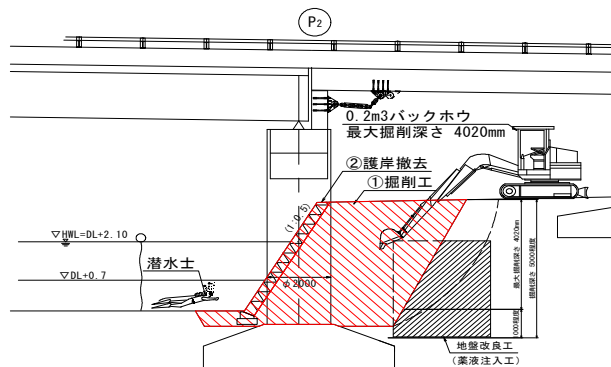


図-8 STEP-3 護岸撤去・掘削工図

STEP-4 RC巻き立て工(図-9)

巻き立て用のアンカーを打設するために、水中で鉄筋レーダー探査を行う。その後、橋脚周辺に単管足場・材料搬入通路を設置し、アンカー削孔、鉄筋組立、型枠設置、水中部の巻き立てコンクリート(水中不分離性コンクリート)打設を行う。水面より上の巻き立てコンクリートの構築後、単管足場等を撤去する。水中不分離性コンクリートの落下高さは50cm以下とし、打継面は、ワイヤブラシを使用する。また、波の影響を考慮して鋼製型枠を使用する。

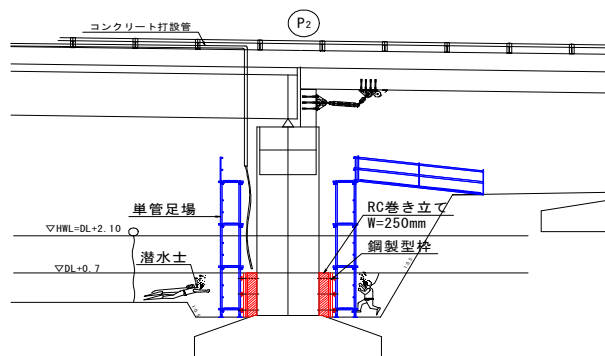


図-9 STEP-4 RC巻き立て工図

STEP-5 埋戻し・護岸復旧工

護岸復旧は、埋戻し、ブロック積、裏込め材・裏込めコンクリートの順で繰り返し施工する。

STEP-6 片付け工

汚濁水拡散防止フェンスを撤去し、桁下の陸地から重機、機材を搬出する。

5. まとめ

本業務では、航路確保や桁下高さなどの施工条件があり、陸上施工か台船施工など様々な工法を検討した結果、潜水土と陸上からの小型重機を併用する施工方法となった。桁下空間の陸地を有効活用し、小型重機で施工できる場所は施工し、施工できない箇所は潜水土施工により対応した。また、潜水土施工及び水中部の巻き立てコンクリートに水中不分離性コンクリートを使用することにより、仮締切工を不要にし、航路を確保した。

今後、益々既設橋に対して維持管理業務が増えていく中で、狭隘な場所での施工を求められる業務は増えると考えられる。狭隘な場所での施工計画は施工条件が制約されることから施工が困難となる場合があり、より現実的な施工計画を立案する必要がある。そのため、設計者は実際に設計通りに施工可能かどうか、施工業者やメーカーにヒアリングを行うことで、設計者と施工者の思想の誤差を小さくする必要がある。

あとがき

本論文を作成するにあたり成果品を引用させて頂いた和歌山下津港湾事務所の方々に厚くお礼申し上げます。また、本業務を遂行するにあたり、ヒアリングで有益な情報提供を頂いた施工業者、メーカーの皆様に感謝いたします。

引用文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 2012(施工編) P.275
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 2012(施工編) P.276
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書 2002(基準編) P.34