

水中不分離性コンクリートの施工について

Construction of Anti-Washout Underwater Concrete

谷 喜 宣^{※1}
Yoshinori Tani

岩 田 誠^{※2}
Makoto Iwata

若 月 真 一 郎^{※3}
Shinnichirou Wakatsuki

【要旨】

粟生頭首工の右岸側に魚道機能を有した下流放流工を築造するもので、既設固定堰・護岸擁壁を縦断方向に取壊し、岩盤掘削完了後に構築工を着手する計画であったが掘削が進行した段階で、固定堰上下流部の水位差は8.8mあり、下流部固定堰エプロン下端から大量の湧水が発生した。湧水対策として、魚道工最下流部の構築作業は水中コンクリートを採用して施工したので、その施工実績を報告する。

【キーワード】 固定堰 水中不分離性コンクリート セルフレベリング

1. はじめに

粟生頭首工は、昭和30年代に宮川用水事業により築造された農業用水の取水施設であり、完成後約45年が経過している。今回、宮川流域ルネッサンス事業等における、自然生態系の維持・保全・増強のための流量回復方策の一環として、粟生頭首工の右岸側に魚道機能を有する下流放流工（延長=153m、放流量=0.842m³/sec）が新たに計画された。

本報告では、粟生頭首工下流放流工工事（本体工事）において、工事の概要と魚道工築造における水中不分離性コンクリート施工について報告する。

2. 工事概要

本工事の概要を以下に示す。

工事件名：宮川用水第二期地区 粟生頭首工下流放流工
工事

工事場所：三重県度会郡大紀町打見及び多気郡大台町粟
生地内

工 期：平成21年9月9日～平成23年3月22日

発注者：農林水産省 東海農政局

施工者：飛鳥建設株式会社 中日本土木支社

河川名：一級河川宮川水系宮川

工事内容：下流放流工 L=140.76m

① 魚道式コンクリート水路：L=99.00m

② 上流部取付工 L=30.00m

③ 下流部取付工 L=11.76m

④ 洗掘防止鋼矢板 N=177枚

高水敷保護工 A=1,333 m²

護岸ブロック補修工 A=29m²

左岸魚道補修工 : 1式

既設コンクリート取壊し : V=2,360m³
仮設工 : 1式
復旧工 : 1式



写真-1 全景

3. 施工手順

本工事は河川区域内での作業であるため、仮設工として大型土嚢と盛土による仮締切兼用の工事用道路を設置する。構造物撤去工は、既設固定堰天端から1mをカッター切断し縁切りを行った後、大型ブレーカー（2m³級）及び油圧式割石機（ビッグー）を使用し、大割（80cm～100cm程度）での取壊しを行う。魚道構造物の構築は、固定堰上下流部で施工区域を分け2班体制での施工を行う。

本工事の実施手順を以下のフロー（図-1）に示す。

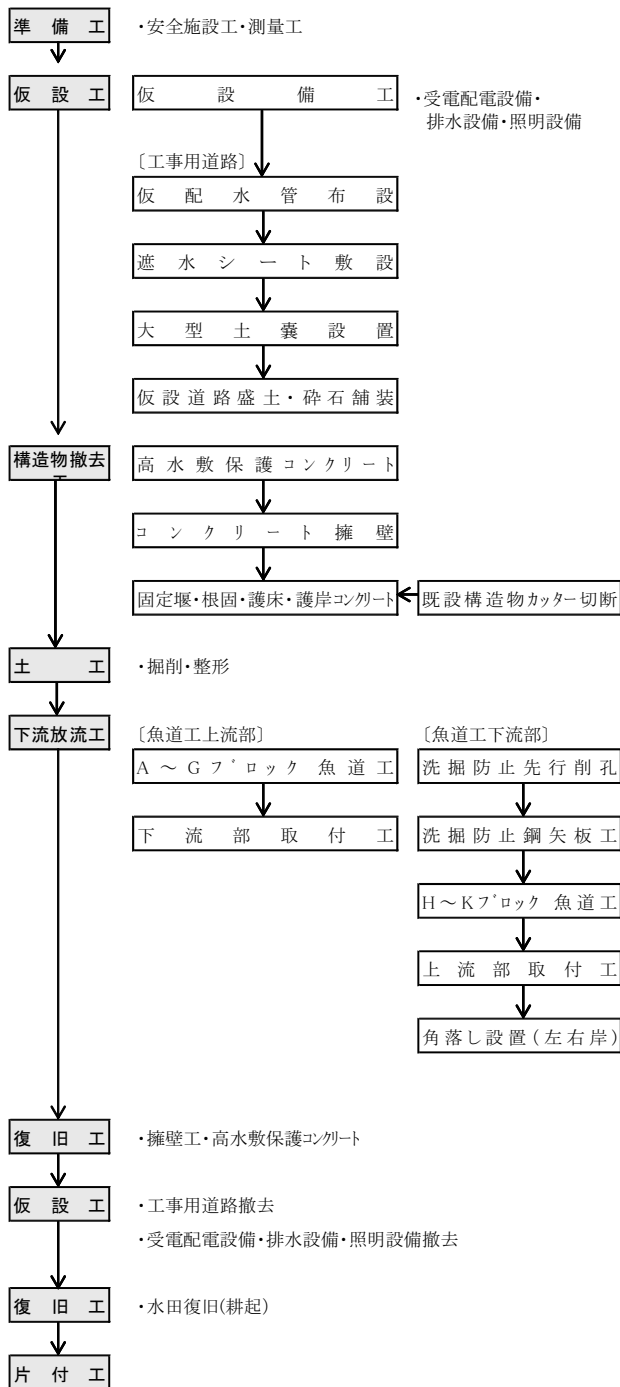


図-1 施工フロー

4. 湧水対策

仮設工（仮締切兼用工事用道路）完了後に既設固定堰取壊しを行い上流側より順次構造物掘削に着手した。最下流部の掘削を開始したところ既設固定堰下流エプロン下部からの浸水が発生した（図-2、3、写真-2）。

湧水量は 19.34m³/min と、大量で良質なコンクリート構造物を構築するために湧水対策が必要となった。

浸水対策は、以下の4点（表-1）で検討を行い経済性・工程等を考慮し、底版部の水中不分離性コンクリートによる水中施工を採用した。

- ① 固定堰エプロン部に遮水鋼矢板を打設し、浸水量を低減する。

- ② 底版に箱抜きを増設し、釜場排水を強化する。
- ③ 底版コンクリートの下流側半分を水中施工する。
- ④ 底版コンクリートを水中施工する。

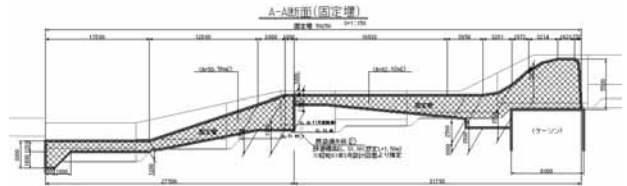


図-2 固定堰縦断面図

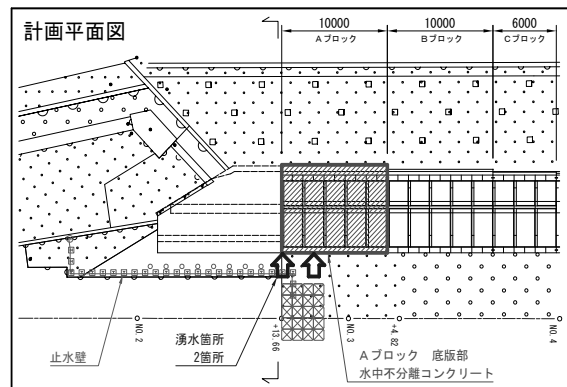


図-3 平面図



写真-2 湧水状況

5. 水中不分離性コンクリート配合

試験練りによって品質を確認する配合を、配合条件、製造条件および使用材料などから設定した。表-2に配合条件を、表-3に使用材量を示す。

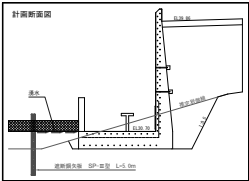
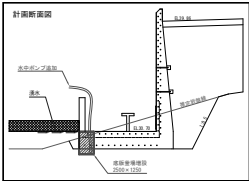
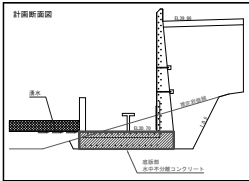
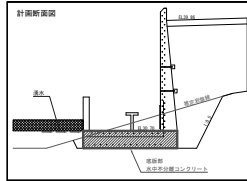
5.1 気中作製状態を基準とする配合強度

気中作製状態を基準とする配合強度（以降、気中作製配合強度と呼ぶ）は、設計基準強度（ f_{ck} ）に予想される変動係数（ V ）から得られる割増し係数（ α ）および水中打込みによって低下する強度の割増し係数（ β ）を掛けたものである。（式(1)）

$$f_{cr} = \alpha \times \beta \times f_{ck} \quad \dots (1)$$

今回対象となる大宮ナマコン株式会社の通常出荷されている普通コンクリートの変動係数は9.0%である。水中不分離コンクリートとすることを考慮し、安全側の判断として変動係数（ V ）を10.0%と仮定した。

表-1 検討比較表

策案	1. 湧水量を低減する	2. 底版釜場排水を強化する	3. 下流側底版コンクリートを水中施工する	4. 底版コンクリートを水中施工する
施工方法	固定堰に遮断鋼矢板を施工し湧水量の低減を図る。 	底版釜場を増設し水中ポンプを追加することにより揚水能力を強化する。 	Aブロックを2分割し(均等にはならない)、水量の多い下流側の底版を水中不分離コンクリートで施工する。 	Aブロックの底版を水中不分離コンクリートで施工する。 
問題点	締め切りが完全ではないため、完全な止水効果は期待できない。既設構造物(固定堰エプロン)復旧工事が発生。	底版箱抜きが増大するため将来的な耐久性に疑問。底版の閉塞が水中施工となり困難。釜場排水運転管理が必要。	水中不分離コンクリートの配合計画が必要。水中不分離コンクリートの養生期間増加。施工継ぎ目及びブロック数の増加による、工事費、工程の大幅増。底版箱抜きは最小限となる。(1250×1250×1450 1箇所)	水中不分離コンクリートの配合計画が必要。水中不分離コンクリートの養生期間増加。底版箱抜きは最小限となる。(1250×1250×1450 1箇所)
工程	準備・資機材搬入 1日 片付け 1日 鋼矢板設置部のコンクリート切断・取壊し 8日 岩盤部への鋼矢板打設(ダウエルバー) 5日 (別途既設構造物復旧) 鋼矢板引抜・固定堰復旧	準備・資機材搬入 1日 水中ポンプ設置・配管 2日 片付け 1日 開口部型枠工 1日 (別途底版閉塞・釜場排水運転管理費)	鉄筋工 4日 型枠工 2日 コンクリート工 8日 (水中養生含む) ダウエルバー・止水板設置 1日 排水工 1日	コンクリート水中養生7日 排水工 1日
	計15日 + 復旧 ×	計 5日 + 閉塞 ○	計 16日 ×	計 8日 ○
経済性	1,000万円 ×	100万円 ○	100万円 ○	300万円 △
その他	固定堰の復旧方法が困難 △	構造物への悪影響大 ×	湧水位置より均等2分割は不可 △	
総合評価	×	△	△	○

水中打込みによって低下する強度の割合は、土木学会基準 JSCE-D104「コンクリート用水中不分離性混和剤品質規格(案)」²⁾の水中不分離性混和剤の性能規格において水中気中強度比(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)が80%以上であることとしている。

このことから、水中打込みによって低下する割増は、規定により2割増とし、割増係数を1.2とした。

$$\alpha = 1 / \{1 - (1.64/100) \times V\}$$

$$= 1 / \{1 - (1.64/100) \times 10\} = 1.196$$

$$f_{cr} = \alpha \times \beta \times f_{ck}$$

$$= 1.196 \times 1.20 \times 24 = 34.4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

以上から気中作製配合強度は、35N/mm²とした。

f_{cr} : 配合強度(気中作製配合強度)

f_{ck} : 設計基準強度

α : コンクリート品質のばらつきを考慮した割増係数

β : 水中打込みにより低下する強度の割増係数

V : 変動係数

5.2 水中作製状態を基準とする配合強度

水中作製状態を基準とする配合強度(以降、水中作製配合強度と呼ぶ)は、設計基準強度(f_{ck})に予想される変動係数(V)から得られる割増し係数(α)を掛けたものである。(式(2))

$$f_{cr} = \alpha \times f_{ck} \quad \dots (2)$$

$$= 1.196 \times 24 = 28.7 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

以上から水中作製配合強度は、29N/m²とした。

5.3 水セメント比

対象となる大宮ナマコン株式会社の実績より、通常のコンクリートの材齢28日の圧縮強度(f_{cw})とセメント水比(C/W)の関係式(式(3))を用い、5.1で設定した気中作製配合強度(f_{cr})から水セメント比(W/C)を算出した。

$$f_{cw} = -16.8 + 25.2 \times C/W \quad \dots (3)$$

$$(W/C) = 25.2 / (f_{cw} + 16.8) \times 100$$

$$= 25.2 / (35 + 16.8) \times 100 = 48.6$$

耐久性から定まる W/C の上限値は 65% となる。

以上から水セメント比 (W/C) は、48.6% とした。

表-2 配合条件

項目	要求品質	備考
設計基準強度	24N/mm ²	
気中作製配合強度	35N/mm ²	
水中作製配合強度	29N/mm ²	
水セメント比	48.60%	土木学会編「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」
単位水量	220kg/m ³	土木学会編「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」
単位セメント量	452kg/m ³	
最大粗骨材寸法	25mm	
スランプフロー	55cm	土木学会編「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」
細骨材率	40%	土木学会編「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」
空気量	4%以下	土木学会編「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」
水中不分離性混和剤の単位量	2.5kg/m ³	アスカクリーン技術資料
AE減水剤の単位量	0.25%	土木学会編「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」

表-3 使用材料

材料	種類・銘柄	製造会社	その他
セメント	普通ポルトランドセメント	住友大阪セメント	密度3.15
練り混ぜ水	水道水	工場内	密度1.00
減水剤	ポリリス 78S	㈱エヌエムビー	密度1.08
流動化剤	レオビルドNP-20	㈱エヌエムビー	密度1.13

5.4 単位水量

単位水量は、土木学会編「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」¹⁾の解説にスランプフロー50cm前後の水中不分離コンクリートの単位水量は、210~230kgとされている。

以上から単位水量は、220kg/m³とした。

5.5 単位セメント量

単位セメント量は、単位水量と水セメント比から定まる。

$$C = 220 / (48.6/100) = 452$$

以上から単位セメント量は、452kg/m³とした。

5.6 最大粗骨材寸法

最大粗骨材寸法は、指定条件により、25mmとした。

5.7 スランプフロー

水中不分離コンクリートとする場合、土木学会編「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」¹⁾の解説では、標準的なRC構造物に打込む場合、「スランプフローの範囲は45~55cm」とされている。また、打設箇所が底版で比較的広いことを考慮すると、ある程度のセルフレベリング効果が必要となる。

以上からスランプフローは55cmとした。

5.8 細骨材率

細骨材率は、土木学会編「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」¹⁾において「細骨材率は40%を標準とする」とされており、これに準じて細骨材率40%とした。

5.9 空気量

空気量は、土木学会編「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」¹⁾において「空気量は4%以下を標準とする」とされており、これに準じて空気量4%以下とした。

5.10 水中不分離性混和剤の単位量

水中不分離性混和剤の単位量は、水中気中強度比80%以上を満足できる量とし、実績値より2.5kg/m³とした。

(アスカクリーン技術資料³⁾より)

5.11 混和材料の単位使用量

高性能減水剤の使用量は、土木学会編「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」¹⁾の解説において「一般に高性能減水剤の使用量は、単位セメント量に対して2%前後である」としていることから、一般的な使用量の単位セメント量の2%とした。

また、ベースコンクリートに使用するAE減水剤の使用量は、標準使用量である単位セメント量の0.25%とした。試験練りにおけるスランプフロー試験、水中での供試体作成、セルフレベリング効果確認の状況を、それぞれ写真-3, 4, 5に示す。

6. 水中不分離性コンクリートの施工

図-4に水中不分離コンクリートの施工フローを示す。底版に箱抜きを作り強制排水を行うことで、構築工(鉄筋・型枠工)を水中作業とすることなく作業効率を上げることができた。また、コンクリート打設作業は水中での潜水士による作業となり、特に仕上り高さ管理は、出来形精度に直接影響を及ぼすため事前に仕上り天端に目



写真-3 スランプフロー55cm±3cm



写真-4 水中での供試体作製

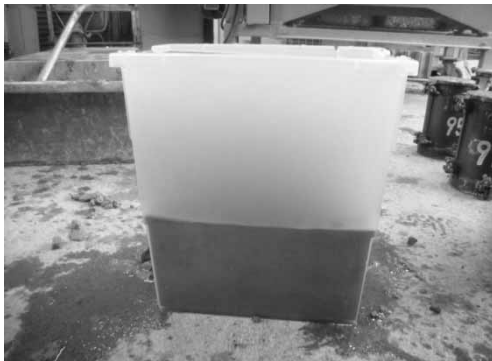


写真-5 セルフレベリング効果確認

安(ヌキ板)を設置した(写真-6)。コンクリート打設作業中は濁りが発生することも無く、水中養生完了後のPH値も基準値以内であった。また、懸案事項であった表面の仕上り精度は社内管理値(±15mm)内であった。

供試体によるコンクリートの圧縮強度確認については、気中・水中採取ともに所定の強度を満足することが確認できた(表-4)。



写真-6 仕上がり天端の明示(ヌキ板の設置)

注水状況を写真-7に、品質管理状況を写真-8、9に、水中コンクリート打設状況を写真-10~12に、配水完了状況を写真-13に、仕上り状況を写真-14にそれぞれ示す。

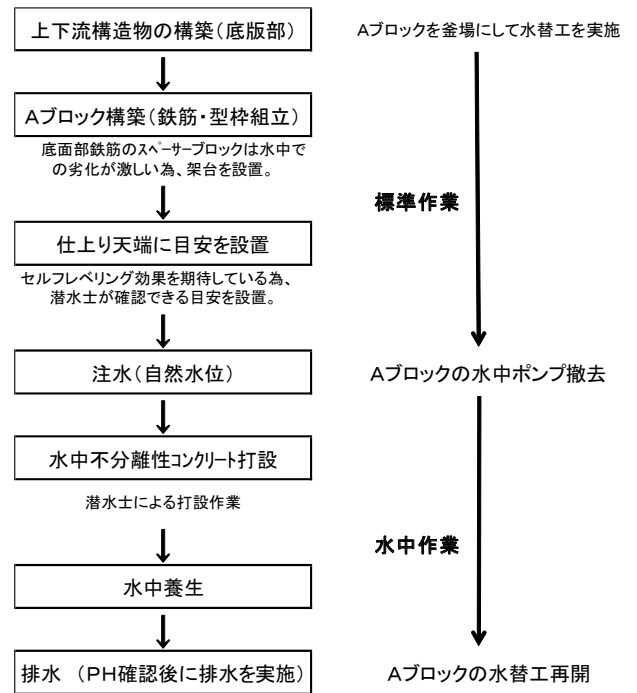


図-4 施工フロー

表-4 コンクリート圧縮強度

	配合強度 (N/m ²)	1週強度 (N/m ²)		4週強度 (N/m ²)		
		実測値	平均値	実測値	平均値	
試験練り (気中)	35.0	33.1	33.1	46.3	46.7	
		33.2		47.6		
		33.0		46.3		
試験練り (水中)	28.7	27.4	27.1	42.9	41.4	
		26.1		40.2		
		27.8		41.1		
Aブロック (気中)	35.0	31.8	33.3	43.8	45.8	
		33.1		49.3		
		34.9		44.2		
		31.8	30.9	43.8		42.8
		30.6		41.4		
30.4	43.2					
Aブロック (水中)	28.7	30.7	31.3	46.5	44.2	
		31.8		44.2		
		31.4		42.0		
		27.9	27.8	40.9		39.5
		27.6		38.1		
		27.8		39.5		



写真-7 注水状況



写真-8 品質管理

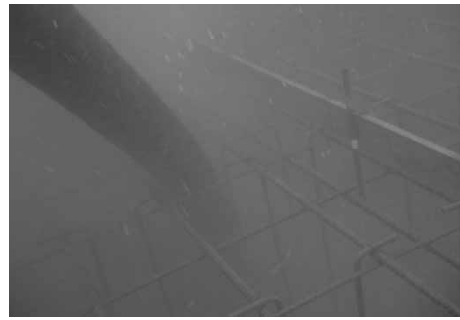


写真-12 水中コンクリート打設状況



写真-9 攪拌状況



写真-13 排水完了



写真-10 水中コンクリート打設状況

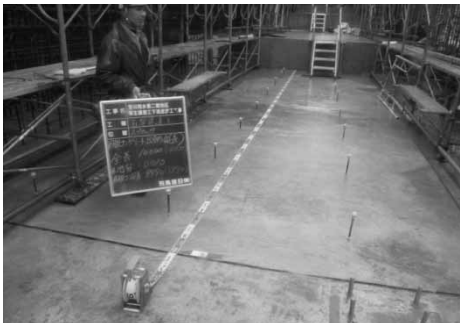


写真-14 仕上り全景



写真-11 潜水士による打設作業状況

謝辞：今回の工事に於きましては、農林水産省東海農政局 宮川用水第二期農業水利事業所の皆様、本支店関係職員の皆様のご指導により完成させることができました。感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 土木学会編「水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)」, 1991.
- 2) 土木学会基準 JSCE-D104「コンクリート用水中不分離性混和剤品質規格(案)」, 2007.
- 3) 信越化学工業(株) アスカクリーン技術資料

Summary Downstream outlet works with a fish ladder were constructed on the right bank of the Awau headworks. There was a plan to longitudinally destroy an existing fixed weir and revetment wall and start construction work after the completion of rock excavation. As excavation progressed, however, difference in water level between downstream and upstream of the fixed weir was found to be 8.8 m and large quantities of seepage occurred at the bottom end of the apron of the fixed weir in the downstream area. In order to control seepage, underwater concrete was adopted for constructing the bottom end of the fish ladder. The result of construction is described in this paper.

Key Words : Fixed Weir, Anti-Washout Underwater Concrete, Self-leveling