

報告 後添加型高流動コンクリートの埋設水圧鉄管への適用

南将行*¹・島山昭*²・増田和機*³・牛島栄*⁴

要旨：埋設水圧鉄管の充填コンクリートは、鉄管応力を岩盤へ伝達するため、密実に充填する必要があるが、水平坑の場合、普通コンクリートによる充填では、鉄管下部やトンネル天端の不陸部に空隙が発生する可能性が大きい。そこで、そのような空隙を確実に充填するため、充填コンクリートの一部に間隙充填性に優れた高流動コンクリートの適用を考えた。適用にあたり、現場施工試験を実施し、高流動コンクリートの充填性を確認した。また、高流動コンクリートの製造方法としては、現場後添加方式を採用した。
 キーワード：高流動コンクリート、現場後添加方式、充填コンクリート、充填性

1. はじめに

山梨県大月市に建設中の葛野川水力発電所は、有効落差714m、最大出力160万kWの純揚水式発電所である(図-1)。上部ダムと下部ダムを結ぶ水路のうち、延長約2kmの水圧管路は、1m²あたり最大1,200tの水圧がかかるため、高張力鋼板製の鉄管(最大板厚94mm)を用い、その周りにコンクリートを充填し、作用応力の一部を岩盤に分担させる設計としている。

しかし、水平部においては、普通コンクリートの施工では、鉄管下部やトンネル天端の不陸

部等の締固めが困難であることから未充填箇所が発生が考えられる。従来、そのような箇所には、コンクリート打設後、鉄管内からの削孔や事前に配管することにより、グラウチングを実施してきた。

今回、水圧管路中段水平部の充填コンクリートとして、図-2に示す鉄管下部とトンネル天端部について、グラウチングに代わり、自己充填性を有する高流動コンクリートの適用を考えた。本稿では、実施工に際して、事前に実施した現場プラントでの製造実験と模擬試験体を用いた施工実験に関する内容について報告する。

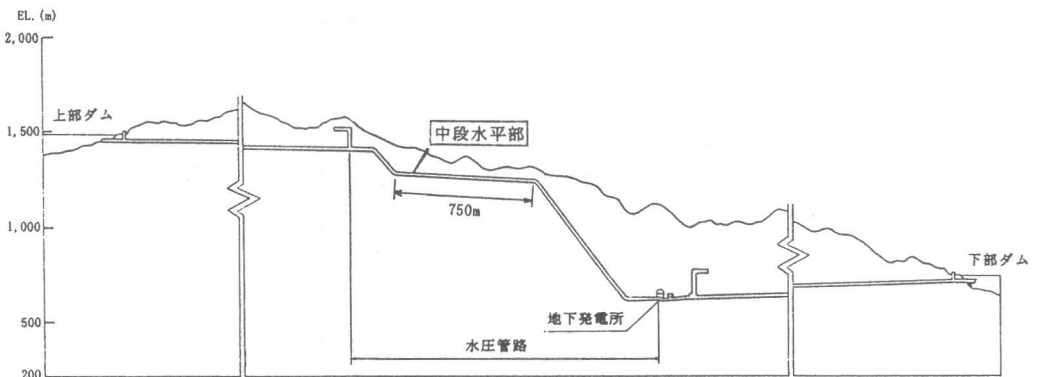


図-1 葛野川水力発電所水路縦断面図

*¹東京電力(株)葛野川水力建設所第二工事事務所 副主任(正会員)

*²東京電力(株)葛野川水力建設所第二工事事務所 所長

*³東京電力(株)電力技術研究所構造研究室 主任研究員(正会員)

*⁴(株)青木建設研究所材料研究室 室長、工博(正会員)

2. 高流動コンクリートの配合選定

現場プラントは、サイロが一本で他工事への出荷もあり、敷地にも余裕がないことから、増粘剤系の高流動コンクリートを採用した。表-1にコンクリートの使用材料を示す。

使用する高流動コンクリートの性能として、①静弾性係数の設計値を満足すること、②鉄管下部やトンネル不陸部への自己充填性を有すること、③18mの施工区間を1箇所の筒先から施工できる高い流動性と適度な材料分離抵抗性を持つこと等が要求される。

配合選定に当たっては、既往文献¹⁾に記載される施工実績のある配合をもとに、現場で使用しているセメント及び骨材を用いた室内試験を実施し、上記の要求品質を満足し、かつ経済性に優れた配合を決定した。なお、実施した試験及び目標値は、表-2に示す通りである。

3. 現場プラントにおける試験

3.1 試験練り

室内試験で選定された配合を基本に、現場プラントで試験練りを行い、表-2のフレッシュコンクリートの性状に関する試験を実施し、経時変化を調べた。現場プラントは、容量2.0m³の二軸強制練りミキサであり、材料一括投入で2分間練り混ぜた。1パッチ当たりの練り混ぜ量は1.5m³とし、経時変化試験時のみ3パッチ分をアジテータ車内に投入した。実機試験練りより選定された配合を表-3(配合1)に示す。

3.2 製造方法によるフレッシュ性状の検討

現場プラントにおいて、すべての材料をプラントのミキサに投入する方法(以下、工場添加方式と称す)と、水及び混和剤の混合溶液を現場においてアジテータ車内に投入し、高速攪拌を行う方法(以下、現場後添加方式)の2種類の製造方法で製造した高流動コンクリートについて、表-2のフレッシュ

コンクリートの性状に関する試験を実施し、経時変化を調べた。試験配合を表-3に、試験結果を図-3に示す。

なお、①ベースコンクリートは、プラントのミキサで均一に練り混ぜられ、かつ後添加した溶液がアジテータ車の中で均一に分散できるスランプを持つこと、②後添加する高性能AE減水剤が少なすぎると、流動性の保持能力に問題が生じること、等の事柄を検討し、後添加量を選定した。

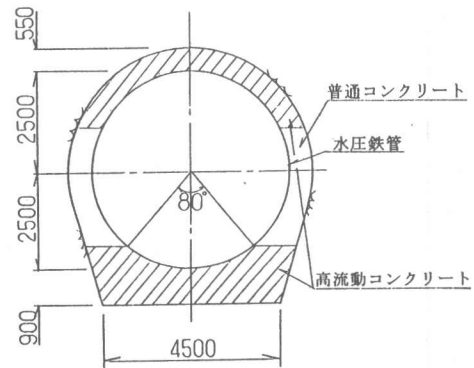


図-2 填充コンクリート断面図

表-1 高流動コンクリート使用材料

材料名	種類	物性・成分など
セメント	普通ポルトランドセメント	比重 3.16
細骨材	砕砂	葛野川産、表乾比重 2.65
粗骨材	砕石	葛野川産、表乾比重 2.70
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系
	空気量調整剤	起泡剤
	増粘剤	水溶性セルロース系

表-2 室内試験項目

フレッシュ性状	試験項目	測定項目	目標値
	スランプフロー試験	スランプフロー	65±5cm
V漏斗試験(吐出口75x75)	流下時間	10±4sec	
	U型充填試験(降着条件S1)	充填高さ	30cm以上
	空気量試験	空気量	5±1.5%
硬化性状	圧縮強度試験	圧縮強度	18.0N/mm ² 以上
	静弾性係数試験	弾性係数	20,600N/mm ² 以上

*試験方法は土木学会基準案¹⁾及びJISに基づく

表-3 高流動コンクリートの配合

配合	製造方式	製造位置	骨材の最大寸法 Gmax (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				高性能AE減水剤 (C×%)	空気量調整剤 (C×%)	増粘剤 (kg/m ³)
						セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G			
配合1	工場添加	プラント	20	42.8	55.4	423	181	941	757	1.6	0.0025	0.3
配合2	現場後添加	プラント	20	40.9	55.4	423	173	941	757	1.0	0.0025	0.0
		現場					8			0.6		0.3

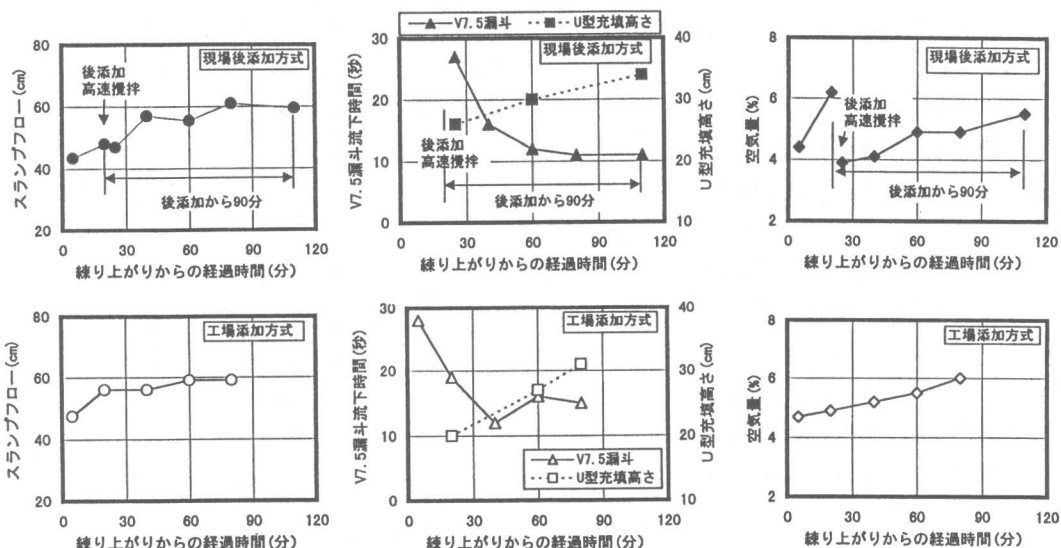


図-3 製造方式によるフレッシュ性状の経時変化の違い

(1) スランプフロー

それぞれ練り上がり及び後添加から20分後に、高性能A E減水剤の効果が明確に見られた。また、20分後までの伸び量に比べて、20分以後の伸び量は小さい。スランプフローの保持性に関しては、両方式に差異は認められなかった。

(2) V7.5漏斗流下時間

現場後添加方式の場合、後添加から40分後に目標値を満足し、それ以後はほとんど変化が見られなかった。一方、工場添加方式の場合、練り上がりから40分後までは後添加方式と同様の傾向が見られたが、40分以降はスランプフローはほとんど変わらないにもかかわらず、V漏斗流下時間は長くなった。

(3) U型充填高さ

両方式とも時間とともにU型充填高さは上昇し、目標値を満足している。

(4) 空気量

空気量の経時変化については、いずれの製造方式でも時間とともに増加する傾向にある。これは、アジテータ車内でコンクリートを攪拌する際に空気を巻き込んでいるものと推測される。

空気量以外の試験においては、コンクリート温度が12~14℃と低温であったため、それぞれ

目標値を満足するのに20~60分の時間を要した。温度の上昇に伴い、目標値を満足する時間が速くなるものと推定されるが、実施工における製造から打設までの所要時間(20分程度)以降に、目標値を満足するコンクリートの製造は可能であると考えられる。また、どちらの製造方式でも要求品質を満足する高流動コンクリートは製造可能であるが、①同日に他工区へ普通コンクリートの出荷もあるため、工場添加方式の場合、高流動コンクリートの製造後にミキサやホッパーの水洗いが必要であること、②現場後添加方式の場合、練り上がりからの時間(運搬・待機)に伴うコンクリートの性状変化に対応可能であること等の理由から、現場後添加方式を採用することとした。

4. 現場施工試験による充填性の確認

4.1 試験状況

中段水平部のコンクリートの充填は、5%の下り勾配で、逆打ち的に上流側から1ブロック18m区間を打設するため、作業坑の一部を用いて実打設箇所を模擬した施工試験を実施し、充填性の確認を行った。試験は実施工と同様に5%の下り勾配を設け、逆打ちの形で吐出量15~20m³/h、配管径150cm、水平換算距離約50mの配管内をポ

ンプ圧送し、高流動コンクリートは締固めなしで、普通コンクリートは下部施工試験時のみバイブレータによる締固めを行った。

4.2 鉄管下部の充填性確認

図-4に示すように、水圧鉄管の下部を模擬した円形型枠を設置し、コンクリートを打設した。コンクリート硬化後、型枠を脱型し、コンクリート表面状況を確認するとともに、表面のあばた、空隙等(径10mm以上)を透明ビニールシートにトレースし、画像解析装置により表面気泡面積率を測定した。試験は高流動コンクリートと普通コンクリートについて行い、高流動コンクリートは表-3の現場後添加の配合を、普通コンクリートについ

ては、表-4の配合を用いた。円形型枠を脱型した後のコンクリートの表面状況を図-5(a)~(d)に、表面気泡面積率等を

表-5に示す。ただし、普通コンクリートの配合A②と配合Bについては、延長(奥行)4.5mの試験区間の中央に仕切り型枠を設け、半分の長さで試験を実施した。

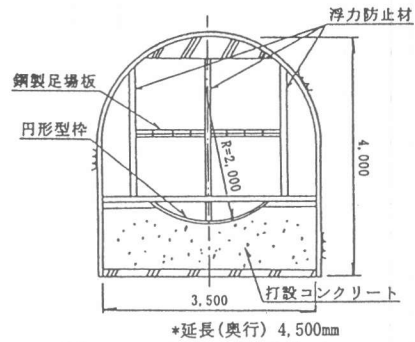


図-4 下部施工試験状況

表-4 普通コンクリートの配合

配合	粗骨材の最大寸法 Gmax (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	備 考
				セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	AE 減水剤			
配合A	40	62.5	45.5	260	163	859	1044	2.81	12±2.5	4±1	中段部で使用予定
配合B	40	58.5	45.0	280	164	840	1043	3.02	12±2.5	4±1	圧力トンネル巻立使用



図-5(a) 高流動コンクリート
表面仕上がり状況



図-5(b) 普通コンクリート(配合A①)
表面仕上がり状況

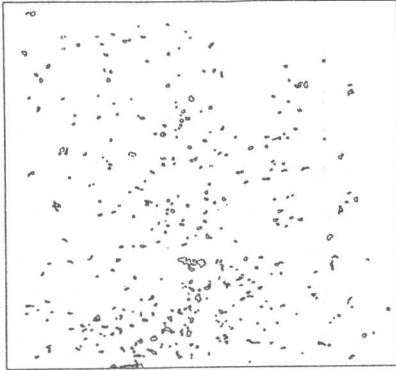


図-5 (c) 普通コンクリート(配合A②)
表面仕上がり状況



図-5 (d) 普通コンクリート(配合B)
表面仕上がり状況

表-5 表面気泡面積率, 表面気泡体積

配 合	表面気泡面積率	未充填集中箇所を除いた表面気泡面積率	あばた深さ			表面気泡体積	未充填集中箇所を除いた表面気泡体積
			最大	最小	平均		
高流動コンクリート	1.47%	1.47%	—	—	—	—	—
普通コンクリート(配合A)①	6.60%	2.22%	—	—	—	—	—
普通コンクリート(配合A)②	2.04%	2.04%	5 mm	1 mm	2.8mm	57cm ³ /m ²	57cm ³ /m ²
普通コンクリート(配合B)	8.44%	6.04%	7 mm	2 mm	3.8mm	997cm ³ /m ²	230cm ³ /m ²

また、高流動コンクリートについては、トラミキ毎に表-2の品質試験(フレッシュ性状)を実施し、目標値を満足することを確認した。さらに、普通コンクリートについても、スランプ、空気量試験を実施し、それぞれ表-4の目標値を満足することを確認した。

高流動コンクリートを使用した場合には、コンクリートの表面状況は、気泡の偏在、未充填による大きな空隙及びレイタンス等の脆弱部分もなく、良好な仕上がりであった。一方、普通コンクリートについては、未充填箇所の発生を

防ぐため、いずれもパイプレーターによる締固め等を入念に行ったが、図-5 (b), (d)のように、中央部に未充填箇所が見られた。ただし、図-5 (c)のように図-5 (b)と同配合の普通コンクリートを用いても未充填箇所が発生しない場合もあったが、図-5 (b)の場合と打設条件や打設方法を比較分析したが、図-5 (c)の状態を確保できる条件や方法を明確に出来なかった。このような施工の不確かさを解消し、常に均一なコンクリートを打設するには、高流動コンクリートの適用が必要であると判断される。

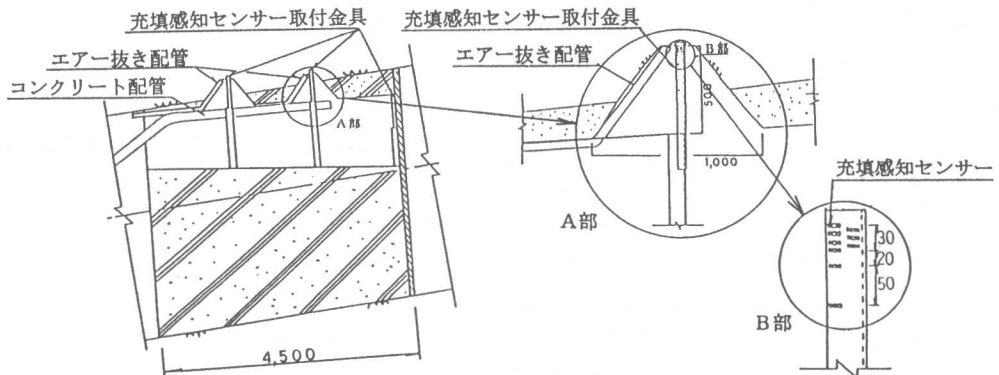


図-6 上段部打設状況, 充填感知センサー設置状況

4.3 トンネル天端部の充填性確認

トンネル天端部に関しては、著者らは、フライアッシュを用いた粉体系の高流動コンクリートが適用可能であることを確認している²⁾。しかし、増粘剤系の高流動コンクリートに関しては確認されていないこと、実際の工事ではトンネル天端部に不陸があることなどから、図-6に示すように、トンネル天端部の不陸を誇張して模擬した表面不陸(t=500mm)を2箇所設け、下部施工試験と同様の方法でコンクリート打設を行い、充填状況を確認した。ただし、トンネル天端部の充填状況は目視で確認できないことから、充填感知センサー³⁾を設置(各10個)した。また、不陸部分にはエア抜き配管を設置した。

なお、高流動コンクリートは下部施工試験と同様表-3の現場後添加の配合を、普通コンクリートは表-4のA配合を使用した。品質試験も下部施工試験と同様に実施し、それぞれ目標値を満足することを確認した。

高流動コンクリートの充填状況は、型枠奥側最上部のセンサー以外全て感知し、模擬不陸部分は頂部まで充填されたものと推測できる。型枠奥側最上部については、エア抜き管を設置していなかったため、気泡により未充填箇所が生じたと考えられる。また、コンクリートが硬化した後、模擬不陸頂部と型枠奥側最上部にコアボーリングを実施し、充填状況を確認したが、高流動コンクリートは吹付コンクリート面に付着しており、不陸部分、切羽上部まで隙間なく充填されていることが確認された。

一方、普通コンクリートでは、各位置最下部のセンサー感知後、ポンプ車のピストン前面圧(最大理論圧 $8\text{N}/\text{mm}^2$)が $11\text{N}/\text{mm}^2$ まで上がってもコンクリートを圧送できず、打設を中止した。充填状況を目視で確認するため棲型枠の一部開口したところ、コンクリートは棲型枠側まできているものの、不陸部分は全く充填できなかった。

以上より、高流動コンクリートでは、不陸部分にエア抜き管を設置することにより、隙間なく充填することが可能であると判断された。

5. まとめ

水圧鉄管の充填コンクリートへの高流動コンクリートの適用を目的に、現場プラントでの製造試験及び現場施工試験を実施した。その結果、以下の結果を得た。

(1) 高流動コンクリートのフレッシュ性状およびその経時変化に関しては、工場添加方式と現場後添加方式の試験結果に大きな差異はないことから、品質管理面で有利な現場後添加方式を採用することとした。

(2) 高流動コンクリートは、鉄管下部、トンネル天端部のいずれにおいても十分な充填性を有し、未充填箇所の発生はなかった。

また、鉄管下部及びトンネル天端部に高流動コンクリートを適用した場合の費用は、普通コンクリートを用いてグラウチングを行った場合と比較すると、約10%削減できる。

以上より、当工事現場の中段水平坑水圧鉄管の充填コンクリートの一部に、現場後添加方式により製造した高流動コンクリートを適用することとした。

平成9年4月より充填コンクリートの施工を開始し、現在、施工及び品質とも問題なく、平成10年7月までに約 $13,000\text{m}^3$ のコンクリートが打設される予定である。

【参考文献】

- 1) 土木学会：高流動コンクリートに関する技術の現状と課題、コンクリート技術シリーズ15、1996
- 2) 谷口秀明、増田和機、酒井芳文、牛島栄：高流動コンクリートのトンネル巻き立て打設実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 18, No. 1, PP. 183-188, 1996
- 3) 谷口秀明、牛島栄、塩野谷晃伸：充填感知センサーによるコンクリート工事の信頼性向上について、第50回セメント技術大会講演要旨、pp. 228-229, 1996