

[14] 流動化剤を用いた貧配合コンクリートのポンプ圧送性に関する研究

正会員 吉田 弥智 (名古屋工業大学)  
 正会員 ○ 吉岡 保彦 (竹中技術研究所)  
 正会員 高 英雄 (竹中技術研究所)  
 鈴木 志朗 (竹中土木, 技術本部)

1. まえがき

中小規模の重力式コンクリートダムの施工を従来のケーブルクレーンおよびバケットを用いた工法からコンクリートポンプ工法に変え、合理化を行なうことが計画されている<sup>1)</sup>。このようなダムコンクリートは大粒径骨材を用いた貧配合、低スランプコンクリートであり、ポンプ施工のための資料は極めて少ない現状にある。一方、流動化剤を使用し、品質の向上あるいは施工性の改善を計ることが建築構造物で広く行なわれ、ポンプ圧送性についてもデータが得られている<sup>2)</sup>。本研究は上記のダムコンクリートあるいは大型構造物の底版コンクリートのような大粒径骨材を用いた貧配合コンクリートに流動化剤を適用した場合のポンプ圧送性の改善効果、圧送前後の品質変化等を把握することを目的として行なったものである。

2. 使用材料および配合

2.1 使用材料：セメントは表-1に示す物理的性質を有するB種フライアッシュセメントを用いた。細骨材には海砂と砂丘砂の混合砂を、粗骨材には最大寸法40mmおよび60mmの碎石を用いた。これらの物理的性質を表-2に示す。流動化剤添加前のコンクリート(以下ベースコンクリートと記す)にはA E剤を、流動化剤にはアルキルアシルスルホン酸塩高縮合物を主成分とするものを用いた。

2.2 配合：実験に用いた配合は表-3に示すように、最大寸法が40mm, 60mmで単位セメント量を230kg/m<sup>3</sup>としたベースおよび流動化コンクリート(40B, 40S, 60B, 60S, Bはベースコンクリートを、Sは流動化コンクリートを示す)の4配合、及び40mm骨材で一般のマッシブな構造物に使用されている比較的セメント量の多いベースおよび流動化コンクリート(40RB, 40RS)の計6配合とした。貧配合コンクリートの所要スランプはベースで8cm, 流動化コンクリートで15cmとした。試しねり試験においては運搬時間の長いことを考え、練上り後15分間静置した後の添加前後に所定のスランプ, 空気量が得られるように設定した。

3. コンクリートポンプおよび配管

実験に使用したポンプは横型単動複列油圧ピストン式(最大吐出量, 85m<sup>3</sup>/h, シリンダー径, 220mm, ストローク長, 1400mm)である。このポンプは吐出口径を8インチに変更するとともに、ホッパー容量および攪拌機構を汎用タイプから改良したものである。配管には8インチ管を用い、図-1に示すように"コ"字型の水平配管の後、5mの鉛直立上りを設け

表-1 セメントの物理的性質

セメント	比重	粉末度		凝 結		歯げ強さ (kg/cm <sup>2</sup> )			圧縮強さ (kg/cm <sup>2</sup> )			
		ブレン(%)	88μ残(%)	水量(%)	始発(時分)	終結(時分)	3日	7日	28日	3日	7日	28日
B種フライアッシュセメント	2.96	319.0	1.0	27.5	2.54	44.8	32	44	68	125	201	361

表-2 骨材の物理的性質

種類	産地名	最大寸法(mm)	比 重		吸水率(%)	表積(%)	粗粒率(%)	粗粒率(%)	粗粒率(%)	ふるい通過率(%)									
			乾燥	表積						6.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0.25	0.125	0.0625	0.03125	0.015625
細骨材	宝珠海砂(7μ)	25	25.4	25.6	0.82	6.48	3.24	-	-	-	100	94	75	45	17	1			
			25.7	26.0	1.02	5.50	1.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
粗骨材	丸山産砕石(角形丸粒)	60	2.94	2.96	0.75	6.52	7.80	9.9	7.2	3.5	1.3	2	-	-	-	-			
		40	2.94	2.96	0.78	6.16	7.28	10.0	9.9	5.0	2.0	3	-	-	-	-			

表-3 実験に使用した配合

記号	目録空気量(%)	目録スランプ(cm)	目録スランプ(%)	目録スランプ(%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					流動化剤添加量(セメント×%)
					C	W	S	G	AD	
40-B	40	80	6.87	4.50	230	15.8	7.99	12.22	0.104 (A E剤)	-
40-S	15.0	*	*	*	*	*	*	*	*	0.45
60-B	45 <sup>2)</sup>	80	6.26	5.85	230	14.4	7.27	13.47	0.138	-
60-S	15.0	*	*	*	*	*	*	*	*	0.45
40-RB	40	120	5.40	4.08	295	15.9	7.56	12.64	0.735 (A E剤)	-
40-RS	18.0	*	*	*	*	*	*	*	*	0.4

た。配管の実長は9.2mであり、土木学会標準示方書による水平換算長は約17.0mである。図中の $P_1 \sim P_4$ は管内圧力測定位置を示す。

#### 4. 実験方法

ベースコンクリートは生コンプラントにて製造し、4.5 $m^3$ 搭載したアジテート車にて運搬した。所定の流動化剤添加後、2分間の高速攪拌を行なった。各配合ごとに基準の設定吐出量を30 $m^3/h$ とし、3~4段階に吐出量を変

化させて圧送実験を行なった。圧送時にはポンプ車のストローク数、作用油温度、攪拌油圧、主油圧および圧送時間の計測を行なうとともに、図-1に示した位置に設置した圧力検出器により管内圧力の計測を行なった。圧送前後の品質変化を把握するために30 $m^3/h$ 圧送時にポンプ車ホッパーおよび配管出口から圧送前後の試料が同一となる時期にコンクリートを採取し、スランプ、空気量の測定および材令28日、91日圧縮強度試験用供試体の作成を行なった。なお最大寸法60mmの骨材を用いたコンクリートは40mmふるいでウェットスクリーニングの上各試験に供した。このような圧送に伴う各種試験の他に、アジテート性能実験および経時変化試験を行なった。前者は大粒径、貧配合コンクリートに対するミキサー車のアジテート能力を評価するために、搭載量の1/4、1/2および3/4の3段階におけるスランプ、空気量、強度を比較するものである。また後者は流動化剤添加前後の品質変化あるいは再添加効果を知る目的で配合40Sに対して実施した。

#### 5. 実験結果および考察

5.1 圧送前後の品質変化：図-2に圧送前後および流動化剤添加前後のスランプ、空気量の変化を示す。流動化剤の添加量は各配合でセメント量の0.45%一定としたが、スランプの増加量は骨材径で差はなく約6cmであった。この値は通常の20~25mmの骨材を用いたコンクリートの場合に比べるとやや小さかった。圧送前後のスランプの変化は流動化コンクリートの方がベースコンクリートよりも大きいことが認められた。圧送に伴う空気量の減少はベース、流動化コンクリートで差はなく0.2~1%であった。また流動化剤の添加により空気量が減少しているが、耐久性の観点からベースコンクリートの空気量の設定には配慮が必要と考えられる。図-3には圧送前後の圧縮強度を対比して示すが、ベースおよび流動化コンクリートとも圧送による強度低下は認められなかった。

5.2 アジテート性能：図-4に生コン車からの各排出段階におけるスランプ、空気量および圧縮強度を60mm骨材を用いたコンクリートについて測定した結果を示す。これによればベースおよび流動化コンクリートとも各排出段階における品質の差は少なく、通常のアジテート車を用いての60mmコンクリートの攪拌および排出能力については特に問題はないものと思われる。

5.3 経時変化試験：図-5にスランプ、空気量および圧縮強度の経時変化試験の結果を示す。試験車は出荷後90分で到着しており、本実験には不適当かと思われたが、条件の悪い状況下でのデータが得られると判断で実験を遂行した。到着まで90分間のスランプロス量は約3cmであり、40mm骨材を用いた貧配合コンクリートにおいても通常の配合に比べて特に大きいとは思われなかった。流動化剤の添加後60分のスランプ低下量は約5cmであり、添加前の

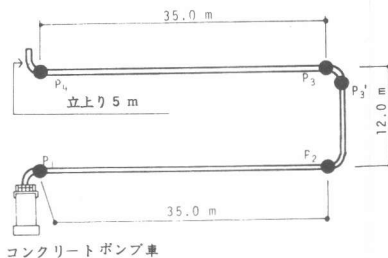


図-1 配管および管内圧力測定位置

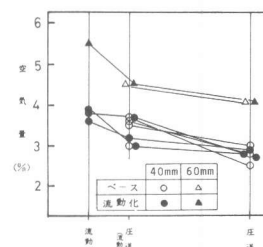
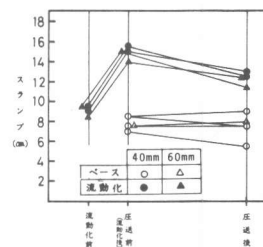


図-2 圧送前後のスランプ

#### 空気量の変化

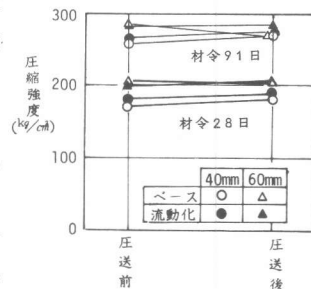


図-3 圧送前後の圧縮強度の変化

スランプに近くなった。再添加あるいは再々添加によりスランプは回復するが、最初の添加に比べると流動化効果は減少する傾向にある。空気量は第1回の添加時に減少しているが、その後においては添加による影響は少ないといえる。図中に圧縮強度試験結果を併せて示すが、到着後2時間程度、流動化剤を用いてスランプを維持したコンクリートにおいても圧縮強度の低下は認められなかった。

### 6. ポンプ圧送性

6.1 吐出効率：吐出効率は、生コン車1台分の搭載量から各種試験に供したコンクリート量を差引いた量を、圧送に要した全ストローク数にシリンダー容量を乗じた理論上の吐出量で除した値として求めた。なお以後に述べる理論吐出量はシリンダー容量を1ストローク圧送するに要する時間で除したものであり、実吐出量はこれに吐出効率を乗じて求めたものである。図-6にベースおよび流動化コンクリートの吐出効率を対比して示す。これによれば、貧配合コンクリートにおいて流動化させることによる吐出効率の向上が大きいことがわかる。骨材寸法が大きくなると効率はやや劣るが、40mm骨材を用いたコンクリートでは貧配合、低スランプのものの方が効率が高く、これはコンクリートの粘性に原因があったものと考えられる。

6.2 圧送負荷(主油圧)：図-7に実吐出量と主油圧の関係を示すが、これらの間にはほぼ直線的な関係がみられた。今回の実験では主油圧は最大でも90 kg/cm<sup>2</sup>に満たず、ポンプ車の最大作動油圧に対して十分な余裕があるが、これは配管条件の他8インチという大口径の管を用いたことが寄与しているものと考えられる。図-8に実吐出量40 m<sup>3</sup>/hにおける6種のコンクリートの主油圧を示す。40mm骨材コンクリートでは流動化による圧送負荷の低減効果は貧配合の場合において大きく、ベース配合よりも約20%低減した。60mm骨材コンクリートでの低減効果は40mmの場合よりもやや小さいが15%の主油圧の減少がみられる。スランプが大きくしかも富配合なコンクリートの方が貧配合コンクリートよりも主油圧が大きかったのは、ペーストの水セメント比の差により粘性抵抗が大きかったためと考えられ、貧配合コンクリートにおいても分離に対する

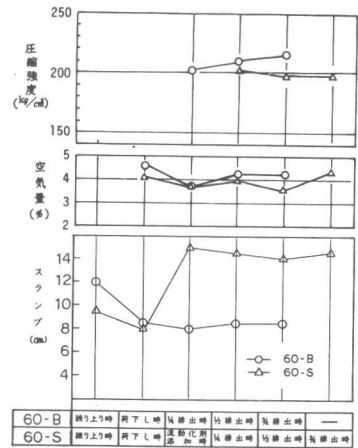


図-4 アジテート能力試験結果

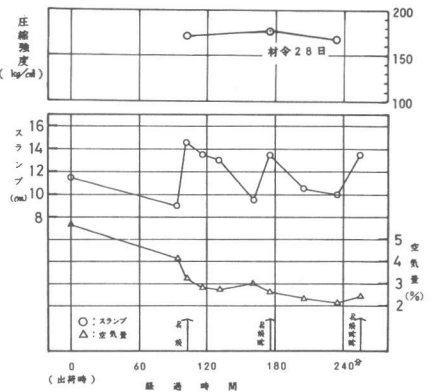


図-5 経時変化試験結果

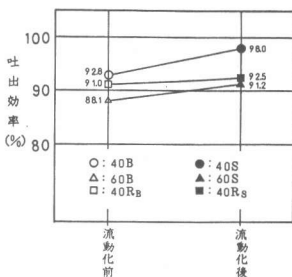


図-6 流動化前後の吐出効率

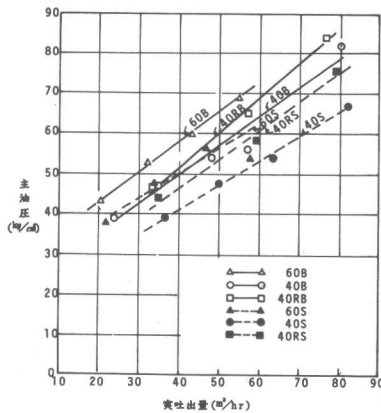


図-7 主油圧と実吐出量の関係

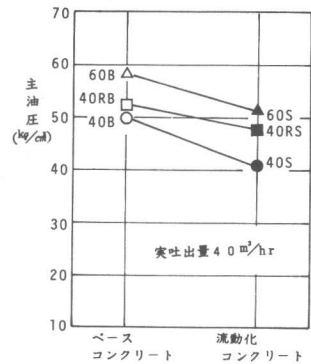


図-8 流動化による主油圧の低減効果

る抵抗性を高めた配合を選定すれば、圧送負荷をむしろ小さくできることを示唆している。今回の実験で同一セメント量、同一スランブを有する40mmと60mmコンクリートを比較した場合、後者が前者の約1.2倍の負荷となった。

6.3 管内圧力および圧力損失：図-9に60mm骨材を用いたベースコンクリートについてオシログラフにより観測した管内圧力の波形を示す。この波形は流動化させた場合や他のコンクリートの波形と相似であり、また他の測定例に比べて顕著な差は認められなかった。図-10に設定吐出量を50

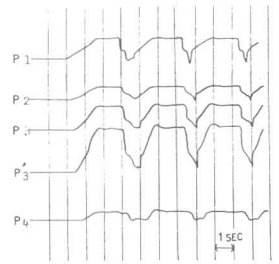


図-9 管内圧力波形(60B)

$m^3/h$ としたときの管内圧力の分布を示す。ベント管を含まない $P_1 \sim P_2$ 、 $P_3' \sim P_4$ 間の勾配を比較すると前者の方がやや大きい。主圧からピストン前

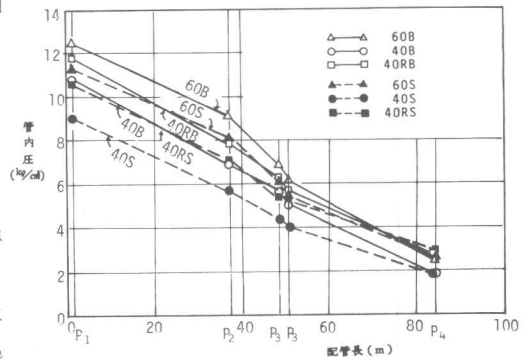


図-10 管内圧力分布(設定吐出量, 50  $m^3/h$ )

面圧を求め、 $P_1$ における圧力と比較した場合にも $P_1$ の測定値の方がやや大きく、これは $P_1$ 位置がベント管直後であり、ベント管周辺の圧力の乱れを若干受けたためと考えられる。ここでは安全側の評価として $P_1 \sim P_2$ 間の圧力損失を求め、実吐出量との関係に整理したものを図-11に示す。圧力損失に関して6種類のコンクリートを比較した場合、主圧と同様の傾向が認められるが、流動化による圧力損失の低減効果は60mm骨材コンクリートの方が40mmの場合よりも大きい結果となった。(吐出量40  $m^3/h$ において、60mmで25%、40mmで15%) 40mm骨材を用いたコンクリートを5インチ管で圧送した実験報告<sup>3)</sup>の圧力損失と比べると40~60%であり、管径を増すことによる圧送負荷低減効果が非常に大きいことがわかる。ベント管前後の $P_3, P_3'$ 間の圧力損失と $P_1 \sim P_2$ 間の損失の比から求めたベント管の水平換算長は60mm骨材の場合で約4m、40mm貧配合コンクリートで3.5mであり、文献における3mと比べるとやや大き目の値となった。上記の結果からあるダムでの配管計画に従って求めた水平距離は50  $m^3/h$ 圧送時で約140mであり、流動化剤を用いた場合にはさらに50mの延長が可能という結果になった。

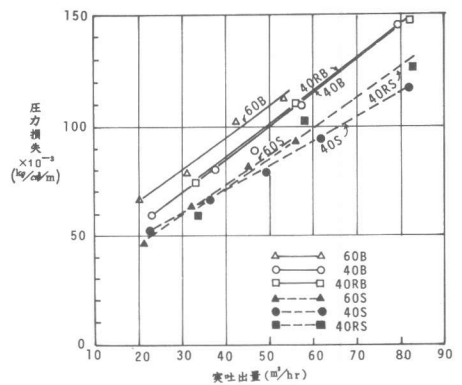


図-11 実吐出量と圧力損失の関係

## 7. あとがき

本実験により貧配合、大粒径骨材を用いたコンクリートに対してもポンプ圧送が可能であり、また流動化剤を用いることにより品質低下を生ずることなく圧送負荷を約20%低減できることが分った。スランブ5cm、骨材寸法80mmセメント量200  $kg/m^3$ のダムコンクリートの圧送計画もあり<sup>2)</sup>、このような場合にも流動化剤の使用は有効であるものと考えられる。最後に本実験の遂行に終始協力して頂いた竹中土木、竹中工務店九州支店、西新再開発作業所、竹本油脂(株)、石川島播磨重工業(株)、福岡愛光コンクリート(株)の諸氏に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 富所, "コンクリートポンプによるダムの施工", 建設の機械化, 1979, 10月
- 2) 嵩他, "高流動コンクリートのポンプ圧送性に関する実験的検討" セメント技術年報  $\times \times \times$  Ⅱ, '78
- 3) 全日本コンクリート圧送事業連絡会, 特定配合コンクリート圧送実験報告書, 昭54年