

# コンクリートの水密性に関する研究 (1)

セメント分散剤がコンクリートの水密性に及ぼす影響

正員 村田二郎\*

## STUDIES ON THE PERMEABILITY OF CONCRETE (1)

### EFFECT OF DISPERSING AGENT ON THE PERMEABILITY OF CONCRETE

*Jiro Murata, C.E. Member*

#### Synopsis :

Studies on the permeability of mass concrete using dispersing agent "Pozzolith" are presented. It is concluded that the concrete using dispersing agent which has the same workability and strength to plain concrete is rather impermeable than plain concrete.

**要旨** 本文は、重力ダムに用いるコンクリートについて、セメント分散剤としてポゾリスを用いた場合と、これを用いない場合における透水性を比較した実験の結果を述べ、ポゾリスを用いることによつて、これを用いないコンクリートと同じウオーカビリチイ及び強度を得るために、単位セメント量を 12% 程度減じて、なおポゾリスを用いた場合の方が、水密性が幾分すぐれていることを結論としたものである。

#### 1. 緒言

セメント分散剤の特性は、所望のウオーカビリチイのコンクリートを得るに必要な単位水量を、AE 剤を用いない場合は勿論、通常の AE 剤を用いた場合に比べても、相当に減らすことができることである。コンクリートの諸性質を改善する上に最も大切なことは、単位水量をできるだけ少くすることにあるので、近年我が国においても、各種の工事にセメント分散剤が盛んに用いられるようになった。

従来、セメント分散剤ポゾリスについては、国分正胤教授その他の詳細な研究があり、貴重な資料となつているが、これ等の研究は、主として、ポゾリスを用いたコンクリートのウオーカビリチイ、強度、凍結融解に対する耐久性に関するもので、水密性について論じたものはほとんどない。

ポゾリスを重力ダムのコンクリートに用いることは、通常の AE 剤を用いる場合に比べ、所望の強度を得るに必要な単位セメント量が減じ、コンクリートの温度上昇を減じうること、及び長期における強度増進もすぐれていること等から、特に有利であるといわれている。ダムコンクリートにおいては水密性が特に大切であるから、ポゾリスを用いたダム用コンクリートの水密性について研究することは、きわめて重要と思われる。

本文は、コンクリートの水密性に関する研究の一部として、ポゾリスを用いたダム用コンクリートの透水性について実験した結果をとりまとめたものである。

#### 2. 使用材料

用いたセメントは、日本セメント西多摩工場製のアサノマスコンセメントで、その試験成績は表-1 のようである。

表-1 用いたアサノマスコンセメントの試験成績  
Physical properties of Asano Moderate Heat Cement used

比重	粉末度		凝結		安定度 煮沸法	フロー (mm)	曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		
	0.088 残分 (%)	ブレン 比系面積 (kg/cm <sup>2</sup> )	始 発 (時, 分)	終 結 (時, 分)			3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
3.20	1.9	3050	2.15	4.10	完全	243	20.9	31.9	64.0	76.3	130	347

\* 山梨大学助教授, 工学部土木教室

表-2 用いた砂の粒度  
Grading of Sand used

フルイ目(mm)	フルイを通る量の百分率
5	100
2.5	85.4
1.2	67.2
0.6	39.0
0.3	16.0
0.15	5.1
洗い試験によつて失われる量	1.0
粗 粒 率	2.88

備考 この表の値は、試験期間中数度ふるい分け試験をした結果の平均値を示すものであって、粗粒率の変化は 2.79~2.94 であった。

表-3 用いた砂利の粒度  
Grading of Gravel used

フルイ目 (mm)	フルイを通る量の百分率		
	最大寸法を150mmとしたものを除いたもの	60mm以上の粒を除いたもの	25mm以上の粒を除いたもの
150	100	100	100
100	75	100	100
80	65	100	100
60	55	100	100
50	—	82	100
40	40	73	100
25	25	46	100
1/2"	12	22	48
板フルイ 10	—	9	20
5	0	0	0

骨材は山梨県釜無川産のもので、砂の比重は 2.63、吸水量は 1.65%、粒度は 表-2 のようである。砂の使用に当つては、湿潤状態で貯蔵したものを、表面水量を測定して用いた。

砂利の比重は 2.66%、吸水量は 2.62% で、使用に当つては、あらかじめふるい分けたものを 表-3 に示す粒度に配合し、表面乾燥飽和状態として用いた。

用いたセメント分散剤はポゾリス No. 8 で、これはダムその他のマスコンクリートに用いるためのものである。ポゾリス No. 8 はセメント重量の 0.25% を用いたが、この使用量で所望の空気量のコンクリートを得られないときは、その原料に用いている AE 剤を適当に添加した。

3. コンクリートの配合

重力ダムの内部に用いるコンクリートをめやすとしてコンクリートの配合を定め、これを基準とし、透水試験装置の大きさの都合上、基準としたコンクリートから 25 mm 以上及び 60 mm 以上の粒を除いたものを用いた。基準としたコンクリートの配合は、粗骨材の最大寸法を 150 mm、スランプ 3 cm、ポゾリスを用いたときの空気量を 3% とし、単位水量は所定のスランプが得られる 範囲内で最少となるように定めたのであつて、ポゾリスを用いた場合の単位水量は、これを用いない場合より約 18% 減少した。単位セメント量はポゾリスを用いない場合 180 kg とし、ポゾリスを用いる場合は、このコンクリートと同じ強度が得られるように定めたのであつて、5. (1) の圧縮強度試験の結果から、158 kg とした。これはポゾリスを用いない場合に較べ、12% 減少している。なおポゾリスを用いて単位セメント量を 167 kg (7% 減少) としたコンクリートについても実験した。基準としたコンクリートの配合及び用いたコンクリートの配合はそれぞれ 表-4 及び 表-5 のようである。

表-4 基準としたダム用コンクリートの配合  
Mixture of Mass Concrete

粗骨材の最大寸 (mm) 法	セメント分散剤	単位セメント量		単位水量		水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
		kg	比	kg	比				
150	用 いない	180	100	98	100	54.4	26.5	3.0	1.6
	ポゾリス No. 8	167	93	80	82	47.8	24.0		3.0
		158	88	80.5	82	50.8	24.5		

表-5 用いたコンクリートの配合  
Mixture of Concrete used

コンクリート	セメント分散剤	基準としたコンクリートの単位セメント量 (kg)	単位セメント量		単位水量		水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
			kg	比	kg	比				
25 mm 以上の粒を除いたコンクリート	用 いない	180	332	100	181	100	54.4	59.0	13	2.4
	ポゾリス No. 8	167	320	97	153	84	47.8	55.8	16	5.5
		158	302	91	154	85	50.8	56.5	14	5.5
60 mm 以上の粒を除いたコンクリート	用 いない	180	248	100	135	100	54.4	39.7	5.5	1.9
	ポゾリス No. 8	167	234	95	112	83	47.8	36.5	6.0	4.4
		158	222	89	113	84	50.8	37.1	5.5	4.4

4. 試験方法

(1) 強度試験 透水試験に用いるコンクリートの配合を定めるために、粗骨材の最大寸法を 150 mm とした表-6 に示す配合のコンクリートを、1 バッチの量を 100 l として、バレル型 6 切可傾式ミキサを用いて練り混ぜた。練り混ぜ時間は材料全部の投入を終つてから 4 分間とした。練り混ぜたコンクリートは、40 mm 網フルイを用いて、40 mm 以上の粒を取り去り、練り直して、スランプ及び空気量 (容積方法による) の試験をするとともに圧縮強度試験供試体をつくつた。

圧縮強度試験に用いた供試体は、直径 15 cm、高さ 30 cm の円柱形とし、 $21 \pm 1^\circ\text{C}$  の水中で養生した後、材令 14 日、28 日及び 3 月において試験し、供試体 3 個の試験値の平均値を試験値とした。

(2) 透水試験

(イ) 供試体の製造及び養生 透水試験に用いるコンクリートは、表-4 の配合から、あらかじめ 25 mm 以上及び 60 mm 以上の粒を除いて練り混ぜたもので、ポゾリスを用いたときの空気量は、粗骨材の最大寸法を 150 mm とした場合に約 3% となるように調節した。大粒の粗骨材を除いたのは、透水試験装置の大きさを考慮したためであるが、基準としたダム用コンクリートは、これらのコンクリートに、ポゾリスを用いた場合と用いない場合とで、ほぼ等量の大粒の粗骨材が混入したものと考えられるから、この試験によつて、ポゾリスを用いた場合と用いない場合とのダム用コンクリートの透水性を比較することはできると思われる。

コンクリートは 1 バッチの量を 50 l とし、バレル型 3 切可傾式ミキサを用いて 4 分間練り混ぜ、スランプ、空気量を試験し、透水試験供試体をつつた。

透水試験供試体は直径 2 cm の中心孔を持つ高さ 30 cm の中空円筒形で、その外径は、25 mm 以下のコンクリートの場合 15 cm、60 mm 以下の場合 30 cm とした。これ等の供試体を造るには、円柱形型枠の中心軸に直径 2 cm の丸鋼を固定したものをを用いた。コンクリートの打込み方法は、25 mm 以下のコンクリートの場合は圧縮強度試験標準方法に準じ、60 mm 以下のコンクリートの場合は 2 層に詰め、各層を振動棒の直径が 2.5 cm の小型内部振動機を用いて適度に締固めた。コンクリートを打込んだ翌日、ストレートエッジを用いてセメントペーストの表面仕上げを行つた。この場合、コンクリートとペーストとの間に弱点が生じないように、特に入念にレイタンスを取り除いた。

材令 2 日で脱型した供試体の側面及び内面を、それぞれタワシ及びブラシを用いて表面のペーストの部分を取り除き、 $21 \pm 1^\circ\text{C}$  の水中で養生し、材令 14 日において、表面乾燥飽和状態として透水試験を開始した。

(ロ) 透水試験機及び試験方法 用いた透水試験機は荷重式蓄圧装置による定水圧機構を備えたもので、その大要は図-1 に示すようであつて、圧力水は供試体の中心孔から外表面に流出するようになってゐる。従つて、供試体は圧力水による内圧をうけて破壊するおそれがある

ので、幅約 1 cm、厚さ約 1 mm の鉄製バンドで供試体を 2ヶ所しめつけた。供試体の上下端面と試験装置との境界面をゴムパッキングを介して十分にボルトで締めつけ、上下端面を水密に保つた。また供試体表面に流出した水の蒸発を防ぐために、供試体の側面は風防ガラスとゴムパッキングを用いて気密におおひ、更に試験装置全体を  $22 \pm 1^\circ\text{C}$  の恒温室に入れた。これは夜間外気温の低下によつて、流出水の 1 部が水滴となつて風防ガラスの内面に附着し、これが流出量の測定値に大きい影響を及ぼすからである。

試験水圧は  $15 \text{ kg/cm}^2$  または  $20 \text{ kg/cm}^2$  として、供試体からの流出量を 1~3 時間ごとに重量で測定した。流出量は一般にごく少量であるから、集水容器からの水分の蒸発が試験値に影響する。それで、あらかじめ集水容器に流動パラフィンを少量入れておき、水面に流動パラフィンの皮膜をつくつて水分の蒸発を防いだ。

測定した単位時間流出量は、始め漸次増加し、ほぼ一定値を示し、再び減少する傾向がある。筆者はほぼ一定となつた時の平均流出量を用ひ、次式によつて透水係数及び耐透水指数を計算した。

$$\text{透水係数: } K = \frac{\mu}{\mu_1} \frac{\rho \log_e r_0/r_i}{2\pi h} \frac{Q}{P_i - P_0}$$

$$\text{耐透水指数: } pK = -\log_{10} K$$

ここに K: 供試体の透水係数 (cm/sec)

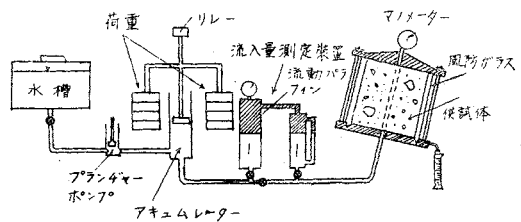


図-1 透水試験機  
Fig-3 Permeability Apparatus

- $P_i$ : 供試体の内側における水圧 (kg/cm<sub>2</sub>)  
 $P_o$ : 供試体の外側における水圧 (kg/cm<sub>2</sub>)  
 $Q$ : 流出量 (cc/sec)  
 $\rho$ : 水の単位容積重量 (kg/cm<sub>3</sub>)  
 $r_o$ : 供試体の半径 (cm)  
 $r_i$ : 供試体の中心孔の半径 (cm)  
 $\mu$ : 試験時温度における水の粘性係数 (g/cm $\cdot$ sec)  
 $\mu_4$ : 4°C における水の粘性係数 (g/cm $\cdot$ sec)  
 $pK$ : 供試体の耐透水指数

透水係数及び耐透水指数は、供試体 3~4 個の試験値の平均値を試験値とした。

従来透水係数の算出に、供試体への流入量を用いた研究もあり、この透水試験機にも流入量測定装置が附属しているが、その主要部は最小目盛が 10 cc の風防ガラス製ゲージから成っており、また送水パイプの継手等からの僅かな漏水も流入量の測定値に大きい影響を及ぼすので、この実験では流出量を基としたのである。

## 5. 試験結果

(1) 強度試験結果 この実験は透水試験に用いるコンクリートの配合を定める資料を得るために実施したものであつて、粗骨材の最大寸法を 150 mm とし、ポゾリスを用いない場合の単位セメント量を 180 kg、ポゾリスを用いる場合の単位セメント量を 167 kg、162 kg 及び 157 kg とし、スランブ約 3 cm、ポゾリスを用いた時の空気量を約 3% としたコンクリートを造り、材令 14 日、28 日及び 3 月の圧縮強度を比較した。試験の結果は表-6 のようである。

表-6 圧縮強度試験結果  
Results of Compression Test

粗骨材の最大寸法 (mm)	セメント分散剤	コンクリートの配合						スランブ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		
		単位セメント量		単位水量		水セメント比 (%)	細骨材率 (%)			材令		
		kg	比	kg	比					14日	28日	3月
150	用いない	180	100	98	100	54.4	26.5	2.5	1.6	154	319	390
	ポゾリス No. 8	167	93	80	82	47.8	24.0	2.5	2.8	206	381	457
		162	90	80.5	82	49.7	24.0	3.0	2.9	171	335	397
		157	87	81	83	51.8	24.5	3.5	3.0	143	298	353
備考	1. コンクリートの圧縮強度は 40 mm 以上の粒をふるい去ったコンクリートについて試験した。供試体は 15×30 cm の円柱形である。 2. 試験値は供試体 3 個の試験値の平均値である。											

表-6 から、ポゾリスを用いた場合、これを用いないコンクリートと同じウオーカビリチイ及び強度を得るために、単位セメント量を 11~12% 程度減じ得ることが認められる。これは、ポゾリスの持つセメントの分散作用によつて、単位水量を著しく減じ得ること、及びセメントと水との化学反応が起りやすい状態になることによるものと思われる。ポゾリスの使用による単位水量の減少率は約 18% である。

この実験の結果から、ポゾリスを用いて単位セメント量を 12% 及び 7% 減じたコンクリートを、透水試験に用いることにしたのである。

(2) 透水試験結果 表-5 の配合のコンクリートを用い、ポゾリスを用いた場合と用いない場合との透水性を比較した。試験の結果は表-7 のようである。

表-7 において、透水試験値の偏差は相当に大きく、その変異係数は 35~92% に達しているが、ポゾリスの使用がコンクリートの水密性に及ぼす大体の傾向を知ることができる。すなわち、ポゾリスを用いて単位セメント量を 12% 減じても、その水密性はこれを用いない場合より幾分すぐれていることが認められる。これは、主として、ポゾリスの使用によつて、単位水量が著るしく減じ、水セメント比、ブリーゲンが減少することによるものと思われる。

図-2 は、単位セメント量と透水係数との関係を示したもので、25 mm 以下のコンクリートの場合も、60 mm 以下のコンクリートの場合も、ポゾリスを用いることによつて、所望のウオーカビリチイ及び水密性を有するコンクリートを得るために必要な単位セメント量を、ポゾリスを用いない場合より、13% 程度減じ得ることが示されている。この関係は、粗骨材の最大寸法を 150 mm としたコンクリートにおいても、ほぼ同様になるものと推

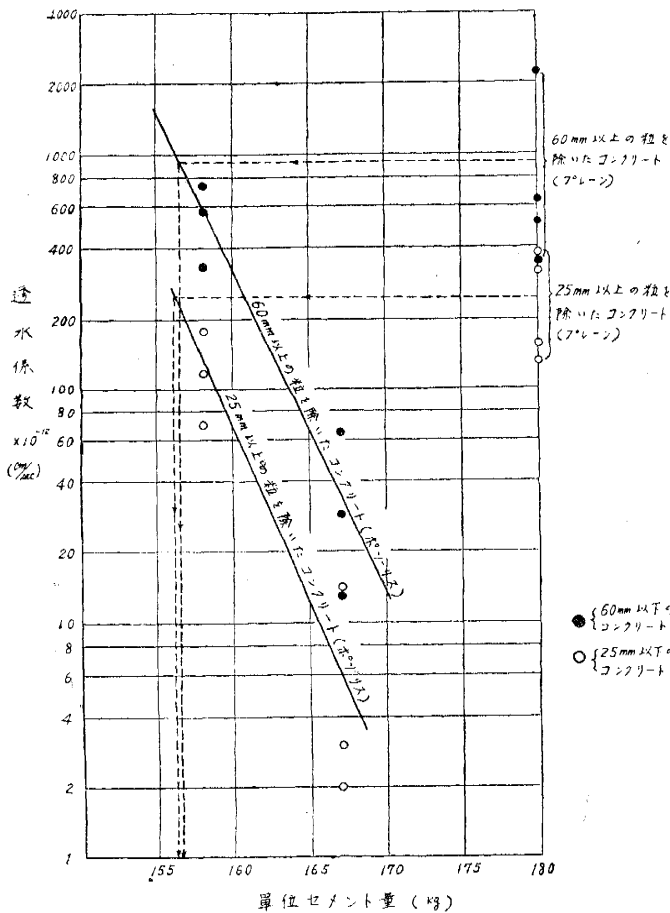
表-7 透水試験結果  
Results of Permeability Test

コンクリート	セメント分散剤	基準としたダムコンクリートの単位セメント量 (kg)	スランブ (cm)	空気量 (%)	流出開始までの経過時間 (時, 分)	単位時間流出量 (cc/時)	透水係数 $K \times 10^{-12}$ (cm/sec)	耐透水指数 $dK$	圧入水量 (%)	
25 mm 以上の粒を除いたコンクリート	用いない	180	12.5	2.5	45.40	1.02	153	246	9.8	1.2
			13	2.3	1.50	0.87	131		9.9	1.5
			14	2.2	6.50	2.14	321		9.5	3.1
			12.5	2.5	4.20	2.53	380		9.4	1.9
	ボゾリス No. 8	167	15	5.7	43.00	0.01	2	6	11.9	2.4
			16	5.5	29.00	0.10	14		10.8	2.2
60 mm 以上の粒を除いたコンクリート	用いない	180	6.0	1.8	1.20	8.16	2177	923	8.7	1.9
			5.8	1.8	8.00	1.91	507		9.3	1.7
			5.0	2.0	5.00	1.33	351		9.5	1.2
			5.5	2.0	1.20	2.40	638		9.2	1.7
ボゾリス No. 8	167	5.5	4.4	5.40	0.11	28	34	10.6	0.8	
		6.3	4.2	5.00	0.05	13		10.9	0.9	
		6.5	4.3	2.00	0.11	30		10.5	0.7	
		6.0	4.5	—	*0.32	60		10.2	1.0	
	158	5.2	4.3	5.00	1.34	355	557	9.5	2.1	
		6.2	4.5	1.00	2.80	743		9.1	1.2	
			5.5	4.5	2.15	2.16	574	9.2	2.4	

備 考  
 1. 透水試験開始時の供試体の材令は 14日とした。  
 2. 試験水圧は、25 mm 以下のコンクリートの場合 20 kg/cm<sup>2</sup>、60 mm 以下の場合 15 kg/cm<sup>2</sup> とした。但し \*印は 20 kg/cm<sup>2</sup> とした。  
 3. 供試体の外径は 25 mm 以下のコンクリートの場合 15 cm 60 mm 以下の場合 30 cm である。

表-7 透水試験結果

Fig-2 Relation between the Unit Cement Content and Permeability Coefficient



定される。

工事現場のコンクリートの水密性は、用いるコンクリートの配合のほか、打込み、締固め等の施工方法の良否によつて大きい影響をうけるのであつて、一般に、ポゾリスを用いればコンクリートのウオーカピリチイが改善され、打込んだコンクリートに欠点の生じることが少いから、ポゾリスを用いた現場コンクリートの水密性は、これを用いない場合に較べ、更によい結果が得られるものと思われる。従つて、ダム等の特に水密性を要する構造物のコンクリートに、ポゾリスを用いることは有効な手段と思われる。

図-3は単位時間流出量の時間的変化的状況を示したもので、単位時間流出量は、一般に、始め漸次増加し、ほぼ一定値を示し、再び減少する傾向がある。単位時間流出量が減少する理由は、この実験におけるように水道水を用いた場合は、セメントの水和作用の進行、溶出した酸化カルシウムが炭酸カルシウムとなつて沈澱し、スキマを詰めること等によるものと思われる。図示のように、流出開始までの経過時間、単位時間流出量がほぼ一定となるまでの経過時間、一定値を保持している時間、減少の状況等が同一種のコンクリートにおいても相当の差異があるが、これは締固めその他の僅かな差異によるものと思われる。

本実験に用いた中空円筒方式の透水試験方法には、次のような利点があり、すぐれた考案である。すなわち、(1)水密に保つべき端面が平面であるから  $20 \text{ kg/cm}^2$  程度の水圧なら、ゴムパッキングを介するだけで、容易に水密的に供試体を設置しうる。また端面からの漏水を容易に発見でき、直ちに漏水防止の処置を構うことができる。(2)境界条件が簡単であるから、透水の解析が容易である。(3)コンクリートの打込み方向と透水方向との関係が、構造物のコンクリートと類似の関係にある。(4)供試体からの水の流出状況を観察できる。上記のような利点があるが、なお検討すべき点があるので、現在、この試験方法の研究及び他の透水試験方法との比較研究を行つている。

## 6. 結 語

コンクリートの透水性はきわめて複雑な性質であつて、試験値の一様性を得ることは困難であるが、この実験の範囲内では次のことが言えると思われる。

重力ダムに用いるコンクリートにおいて、ポゾリスを用いることによつて、これを用いないコンクリートと同じウオーカピリチイ及び強度を得るために、単位セメント量を12%程度減じて、なおポゾリスを用いた場合の方が水密性が幾分すぐれている。

一般に、工事現場のコンクリートは、ポゾリスの使用によつてウオーカピリチイが改善され、齊等的なコンクリートが得られやすいことを考えれば、ポゾリスを用いた現場コンクリートの水密性は、これを用いない場合に比べ、更に良好な結果が得られるものと思われる。従つて、ポゾリスを重力ダムのコンクリートに用いることは、コンクリートの温度上昇の減少、長期におけるコンクリートの強度増進のみならず水密性の点からも有利である。

この研究の実施に当つては、吉田徳次郎先生、園分正胤先生より、終始御懇篤な御指導、御奮励を賜つた。謹んで厚く御礼申し上げます。又、早川方明、斎藤悟而君の御援助を衷心より感謝します。

## 参 考 文 献

- 1) 園分正胤：各種A E材の使用方法に関する研究，土木学会論文集，第23号。
- 2) 吉越盛次：コンクリートの水密性試験方法に関する一考察，電力技術研究所所報，土木，第2巻，第4号。
- 3) Arthur Ruettgers, E.N. Vidal and S.P. Wing "A Investigation of the Permeability of Mass Concrete with Particular Reference to Boulder Dam", Journal of ACI March-April 1935.
- 4) F.R. McMillan and Inge Lyse "Some Permeability Studies of Concrete", Journal of ACI Dec. 1929.
- 5) Paul T. Norton and Dan H. Pletta "The Permeability of Gravel Concrete", Journal of ACI May 1931.

(昭 31.6.20)

図-3 単位時間流出量の時間的変化的状況の一例 (60 mm 以下のコンクリート，試験開始時の供試体の材令=14日，試験水圧= $15 \text{ kg/cm}^2$ )

Fig-3 Rate of Discharge curve

