

# 中空円筒形供試体を用いる透水試験方法

正 員 村 田 二 郎\*

## ON THE METHOD OF TEST FOR PERMEABILITY OF CONCRETE USING HOLLOW CYLINDRICAL SPESIMEN

By Jiro Murata, C.E. Member

**Synopsis** : Studies on the method of test for permeability of concrete using hollow cylindrical specimen are presented, i.e. the effect of specimen size, pressure direction and skin of specimen on the results of permeability test, and the results of permeability test of mass concrete by this method, are presented. It is concluded that we can satisfactorily measure the permability of plastic concrete carefully consolidated using hollow specimen.

**要旨** 本文は、中空円筒形供試体を用いる透水試験方法における、供試体の寸法、水圧の方向および供試体の周辺部が試験結果におよぼす影響について研究し、この試験方法を用いて行つたダム用コンクリートの透水試験結果を述べ、中空円筒形供試体を用いる試験方法によつて、プラスチックなコンクリートを入念に締固めた場合におけるコンクリートの透水性を満足に試験できることを示したものである。

### 1. 緒 言

コンクリートの水密性については、従来多くの貴重な研究があるが、なお不明な点が多く、その試験方法もまだ十分満足な方法がないため、諸外国においても水密性試験の標準方法を定めている国は少ない。透水試験はコンクリートの水密性を判断するための重要な試験であつて、従来、円板または円柱形供試体の側面を水密に保ち、一端面に水圧を加える方法が広く行われた。この試験方法については、Merkle<sup>1)</sup>、Glanville<sup>2)</sup>、McMillan<sup>3)</sup>、Ruettgers<sup>4)</sup>等の研究があるが、高水圧に対して供試体側面を完全に水密に保つことが相当に困難である。

昭和 25 年、吉越盛次氏<sup>5)</sup>は、中空円筒形供試体の上下端面を水密に保ち、供試体側面から水圧を加える試験方法を提案された。この試験方法は、水密に保つべき供試体の端面が平面であるから、供試体の端面と試験装置との間にゴムパッキングを介して、ボルトで締めつけるだけで容易に水密的に供試体を設置しうる長所を持つほか、境界条件が簡単であるから、透水の解析も容易であること、コンクリートの打込み方向と水圧方向との関係が、止水壁その他の構造物のコンクリートと類似の関係にあること等の利点があるといわれておりすぐれた方法である。しかしこの試験に用いる供試体の適当な寸法、水圧方向が試験結果におよぼす影響等、なお検討すべき点がある。

本文は、中空円筒形供試体を用いる透水試験における供試体の寸法、水圧方向および供試体周辺部が試験結果におよぼす影響について研究し、この試験方法を用いて行つたダム用コンクリートの透水試験結果を取りまとめたものである。

### 2. 中空円筒形供試体を用いる透水試験方法

(1) 供試体の寸法が試験結果におよぼす影響 粗骨材の最大寸法を 25 mm、スランプを約 9 cm としたコンクリートを用い、供試体の直径を 15, 20 および 30 cm, 中心孔の直径を 2 および 5 cm に相違させた場合の透水試験値のちらばりを比較した。試験の結果は表-1 のようである。表-1 において (供試体の肉厚)/(粗骨材の最大寸法) が 2.6 および 3.6 の場合、試験値の変動係数は比較的小さく、それぞれ約 50% および 60% であり、(供試体の肉厚)/(粗骨材の最大寸法) が 2 および 5.6 の場合は、約 70% となつている。これは、用いた粗骨材の最大寸法に対する供試体の肉厚が過少な場合は、コンクリートの打込みが容易でなく、均等質なコンクリートが得難いこと、また供試体の寸法が大きき場合は、打込み、締固めのわずかな差異によつて生ずる品質の変動箇所が多くなることによるものと思われる。従つて、供試体の寸法の選定に当つては、中空円筒形の肉厚を、用いる粗骨材の最大寸法の 2.5~3.5 倍程度とするのが適当と思われる。

中心孔の直径は、水圧を中心孔から加える場合に、内圧によつて供試体が破壊するおそれを少なくするために

\* 山梨大学助教授、工学部土木工学教室

表一 供試体の寸法が試験結果におよぼす影響

供試体の直径 (cm)	中心孔の直径 (cm)	(供試体の肉厚) / (粗骨材の最大寸法)	流出量 (g/h)	透水係数 ×10 <sup>-10</sup> (cm/sec)	試験値の 変動係数(%)
15	5	2.0	3.1 2.9 3.5 5.2	10.3 9.5 11.5 31.0	68
15	2	2.6	4.1 2.5 5.3 1.7 7.4 4.4 2.8 8.1 2.6	24.8 14.9 32.2 10.4 44.6 26.5 16.5 48.7 15.5	52
20	2	3.6	3.7 5.2 9.8 4.1 2.2	25.9 35.9 68.2 29.3 15.1	58
30	2	5.6	12.8 5.6 0.6 3.3 4.0 9.6	102.1 45.0 4.8 26.4 31.8 76.9	71

備考：アサノ普通セメント使用，粗骨材の最大寸法=25 mm，C=270 kg，W=178 kg，W/C=66%，  
S/A=45%，スランプ=9 cm，材令=7日，試験水圧=5~15 kg/cm<sup>2</sup>  
流出量は水圧が 5 kg/cm<sup>2</sup> の場合に換算した値である。

はなるべく小さくするのがよいが，供試体の製造上少なくとも 2 cm 程度とするのが適当と思われる。供試体が構造物から採取したコアの場合は，その中心軸に所要径のボーリングをするのであるが，この場合孔の位置が供試体の中心軸から偏倚しやすい。孔の位置の偏倚が理論上流出量におよぼす影響は近似的に次式で与えられる。

$$\frac{Q_e}{Q} = 1 - \frac{\log(1 - \delta^2/r_0^2)}{\log r_0/r_i + \log(1 - \delta^2/r_0^2)}$$

ここに

Q：孔の中心が供試体の中心軸に一致した場合の流出量 (cc)

Q<sub>e</sub>：孔の中心が供試体の中心軸から δ cm だけ偏倚した場合の流出量 (cc)

r<sub>0</sub>, r<sub>i</sub>：それぞれ供試体および中心孔の半径 (cm)

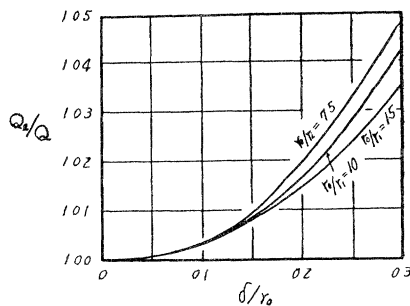
図一は r<sub>0</sub>/r<sub>i</sub>=7.5, 10 および 15 の場合の δ/r<sub>0</sub> と Q<sub>e</sub>/Q との関係を示したもので，中心孔の直径が 2 cm，供試体の直径が 15~30 cm の場合，中心孔の偏心が 1 cm であっても，これが流出量におよぼす影響は 1% 以下である。従つて，孔の位置が供試体の中心軸から多少偏倚しても，理論上試験結果におよぼす影響はきわめて小さい。

次に 表一 において，透水係数は供試体の肉厚が大きい程大となることが示されている。すなわち，中心孔の直径が 2 cm のとき，供試体の直径を 30 cm とした場合の透水係数は，15 cm とした場合の約 1.8 倍である。これは供試体の寸法の相違によるブリージングの相違，供試体周辺の比較的水密性の大きい層の厚さと，供試体の肉厚との比が相違すること等によるものと思われる。

従つて，構造物のコンクリートの透水性は，プラスチックでウォークャブルなコンクリートを入念に施工した場合でも，これと同じコンクリートで造つた供試体の透水性にくらべ，相当大となるものと思われる。

(2) 水圧の方向が試験結果におよぼす影響 中空円筒形供試体を用いる透水試験においては，水圧を供試体の中心孔から加える場合 (内圧法) と，外側面から加える場合 (外圧法) とがある。表二は粗骨材の最大寸法を 25 mm としたコンクリートを用い，内圧法および外圧法による透水試験値を比較したものである。表二において，内圧法による透水係数および耐透水指数は，外圧法による場合のそれぞれ 55~96% および 103~100% であつて，いずれの方法によつても得られる試験結果はほぼ同程度であることが示されている。従つて，内圧法によつ

図一 δ/r<sub>0</sub> と Q<sub>e</sub>/Q との関係



表一 内圧法および外圧法による透水試験値の比較

コンクリートの配合	スラ ブ (cm)	透 水 係 数 $\times 10^{-10}(\text{cm}/\text{sec})$			耐 透 水 指 数				
		内 圧 法	外 圧 法	内 圧 法 外 圧 法	内 圧 法	外 圧 法	内 圧 法 外 圧 法		
C=270 kg, W=178 kg W/C=66%, S/A=45%	9	44.6 16.5	30.6	48.7 15.5	32.1	0.96	8.57	8.56	1.00
C=285 kg, W=171 kg W/C=60%, S/A=43%	7.5	6.0 3.7 2.8	4.2	5.1 5.2	5.1	0.81	9.40	9.29	1.01
C=302 kg, W=181 kg W/C=60%, S/A=44%	14	0.8 5.0 0.5 3.9 3.1 1.3	2.4	2.3 8.8 2.2	4.4	0.55	9.75	9.45	1.03

備考：アサノ普通セメント使用，粗骨材の最大寸法=25 mm，試験水圧=10 kg/cm<sup>2</sup>，材令=7日

ても、外圧法によつてもよいのであつて、内圧法による場合は、供試体からの水の流出状況を観察できること、供試体端面からの漏水を容易に見え、ただちに漏水防止の処置を構じること等の利点があるが、供試体が内圧をうけて破壊するのを防ぐこと、供試体表面に流出した水の蒸発を防ぐこと等の処置が必要である。このため筆者は予め鉄製バンドで供試体を締めつけ、透明な硬質ビニール製カバーとゴムパッキングとを用いて供試体側面を気密におおつた。また試験装置全体を 20±1.5°C の恒温室に入れた。これは夜間外気温の低下により、流出量の一部が水滴となつてビニールカバーの内面に付着し、これが試験結果に大きい影響をおよぼすからである。

(3) 供試体周辺部が試験結果におよぼす影響 一般にコンクリート体周辺の型ワクに近接する部分は、主として粗骨材量が比較的少なくなるために水密性が大となる。中空円筒形供試体における供試体周辺部が透水性におよぼす影響を確かめるために、粗骨材の最大寸法を 40 mm スラップを約 7.5 cm としたコンクリートを用い

(i) 直径 2 cm の中心孔を持つ直径 15 cm 高さ 30 cm の供試体

(ii) (i) と同様な供試体で材令 2 日においてブラシを用いて外側面のセメントペーストの表皮を除いたもの

(iii) 直径 2 cm の中心孔を持つ直径 30 cm 高さ 30 cm のコンクリートから採つた直径 15 cm の中空円筒形コア、の 3 種を造り透水性を比較した。試験の結果は表一3 のようである。表一3 において、供試体の外側周辺部の水密層を除いたコアの流出量は、除かないもの大の約 1.7 倍となつてゐる。これは、供試体周辺部の影響と打ち込んだ時のコンクリート体の大ききの相違とによるものである。表一1 の直径を 30 cm とした供試体の流出量は、直径を 15 cm とした場合の約 1.4 倍となることを用い、供試体の内外周辺部の水密層の厚さを、用いた粗骨材の最大寸法の 1/2、すなわち、この場合 2 cm と仮定して計算すれば、周辺部水密層の透水係数は内部のコンクリートの約 1/5 となる。Ruettgers は円柱形供試体を用いて行つた透水試験の結果、供試体端面部の水密層の影響は、厚さ 15 cm のコンクリートを

表一3 供試体周辺部が透水性におよぼす影響

供 試 体	流 出 量 (g/h)	透 水 係 数 $\times 10^{-12}(\text{cm}/\text{sec})$
供試体の内外側面ともに表面処理をしない。	0.07	9.6
	0.08	11.5
	0.17	25.6
供試体外側面のセメントペーストの皮膜を除く	0.08	12.2
	0.06	8.7
	0.06	8.0
直径 30 cm の中空円筒形供試体から採つた直径 15 cm のコア	0.27	39.9
	0.11	16.7
	0.12	17.4

備考：アサノ普通セメント使用，粗骨材の最大寸法=40 mm，C=239 kg，W=160 kg，W/C=67%，S/A=40%，スラップ=6~7.5 cm，材令=101~115日，試験水圧=20 kg/cm<sup>2</sup>

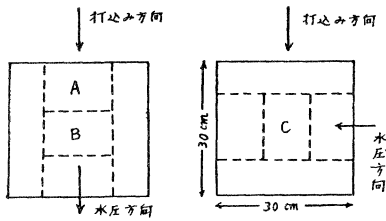
を添加した場合に相当することを述べている。この実験結果について、用いた粗骨材の最大寸法が 40 mm の場合につき同様に計算すれば、供試体端面部の透水係数は、内部のコンクリートの 1/4.8 となり筆者の得た結果とほぼ同様である。

また表一3 において、供試体表面のセメントペーストの表皮が透水性におよぼす影響は認められない。従つて、試験に際して特にこれを取除く必要はないものと思われる。

(4) コンクリートの打込み方向に対する水圧方向が透水性におよぼす影響 水圧方向がコンクリートの打込み方向に直角となることが、中空円筒形供試体を用いる透水試験方法の特徴といわれている。コンクリートの打込み方向と水圧方向との関係が透水性におよぼす影響を確かめるために、粗骨材の最大寸法を 40 mm，スラップを約 14 cm としたコンクリートを用い、1 パッチのコンクリートから 30×30×30 cm の立方体供試体を 2 個造り、それぞれからコンクリートの打込み方向およびこれに直角方向に直径 15 cm のコアを採り、カッターで切

断して、厚さ 10 cm の円板形供試体を造り、**図-2** に示す A, B および C 部の供試体の透水性を比較した。試験の結果は **表-4** のようである。**表-4** において、コンクリート体の上面から 10 cm 程度以下の下層部のコ

**図-2 供試体の位置**



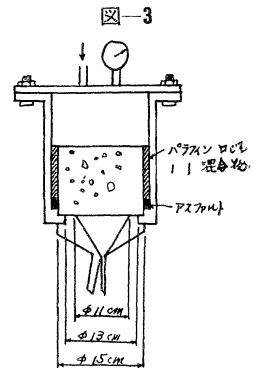
**表-4 コンクリートの打込み方向に対する水圧方向の相違が透水性におよぼす影響**

コンクリートの打込み方向に対する透水性方向	平行		直角	材令 35 日の圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
	最上部(A)	中央部(B)	中央部(C)	
透水係数 ×10 <sup>-9</sup> (cm/sec)	2 186 56.4 14.6 1.7	692	1 8 0 6 7 6 3 1	238 228 235 232
			3.3 4.0	233

備考：アサノマスコンセメント使用，粗骨材の最大寸法=40 mm，C=250 kg，W=165 kg，W/C=66%，S/A=44%，スランブ=14 cm，材令=35日，試験水圧=15 kg/cm<sup>2</sup>

ンクリートにおいては、水圧方向が相違しても透水係数はほぼ同等である。これは、材料の分離の影響が比較的少ない部分の透水性は、水圧方向によつて変化しないことを示すものである。しかし、上面から 10 cm 程度以内の上層部コンクリートにおいて、水圧方向がコンクリートの打込み方向に平行である場合は、主としてブリージングによつて生じた水途のために、透水性が著るしく大となっている。このようにプラスチックなコンクリートでも各部の透水性に著るしい変化があるのであつて、水密的なコンクリートを得るためには、材料の分離を最少にとどめるよう、適切な施工がきわめて大切であることを示すものである。

なお、この実験において **図-3** に示すような二重の集水ロートを用い、直径を 11 cm とした内側のロートから得られる流出量を試験値とした。これは、コア供試体の側面は、砂利の面が露出しているため、高水圧に対して供試体側方からの漏水を完全に防ぐことが特に困難であつて、供試体の端面より小さい径のロートを用いれば、側方からの漏水があつても、これが試験結果におよぼす影響を多くの場合なくし得ると思われたからである。



**3. 中空円筒形供試体を用いて行つたダム用コンクリートの透水試験結果**

中空円筒形供試体を用いる試験方法により、AE 剤およびセメント分散剤がダム用コンクリートの透水性におよぼす影響について実験した。

(1) 使用材料およびコンクリートの配合 用いたセメントはアサノマスコンセメント，骨材は通常の品質の川砂および川砂利であつて、予め数種にふるい分けたものを所定の割合に混合して用いた。これらの粒度は **表-5, 6** に示すようである。用いた AE 剤はビンゾール，セメント分散材はポゾリス No. 8 である。

**表-5 用いた砂の粒度**

ふるい目 (mm)	通過百分率		
	釜無川産 1	釜無川産 2	御勅使川産
5	100	100	100
2.5	85.4	85.1	89.7
1.2	67.2	67.4	60.1
0.6	39.0	42.0	32.6
0.3	16.0	19.8	11.8
0.15	5.1	4.6	3.4
粗粒率	2.88	2.81	3.02

**表-6 用いた砂利の粒度**

ふるい目	通過百分率	
	最大寸法を 150 mm としたもの	60mm以上の粒を除いたもの
150	100	100
100	75	100
80	65	100
60	55	100
50	45	82
40	40	73
25	25	46
15	15	27
10	7	13
5	0	0

コンクリートの配合は、重力ダムの内部に用いるコンクリートをめやすとして定め、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 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 **表-7** に示すように、粗骨材の最大寸法を 150 mm，スランブを 3~5.5 cm，AE 剤またはセメント分散剤を用いたときの空気量を約 3%，単位セメント量を 180~139 kg とした。

(2) 試験方法および試験結果 粗骨材の最大寸法を 150 mm としたダム用コンクリートの配合を定めた後、これから予め 60 mm 以上の粒を除いて練り混ぜたコンクリートを透水試験に用いた。この場合 AE 剤およびセ

メント分散材を用いた時の空気量は、粗骨材の最大寸法を 150 mm とした場合に 3% となるように調節した。ただし、一部の試験では、練り混ぜたダム用コンクリートから 60 mm 以上の粒をふるい去つて用いた。取り除く粒

表一 7 材令 7~28 日の供試体の透水試験結果

区分	AE 剤またはセメント分散剤	基準としたダム用コンクリート				スランブ (cm)	空気量 (%)	透水試験開始の材令 (日)	試験水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	透水係数 × 10 <sup>-10</sup> (cm/sec)	耐透水指数 (%)	圧入水量 (%)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )				用いた砂の粗粒率												
		配合											7日	14日	28日	3月													
		C(kg)	W(kg)	W/C	S/A																								
I	用いない	180 (1.00)	98 (1.00)	54.4	26.5	3.0	1.6	14	15	15	9.0	1.6	—	154	319	390	2.88												
	セメント分散剤	167 (0.93)	80 (0.82)	47.8	24.0								3.0	0.5	10.3	0.9		—	206	381	457								
		158 (0.88)	81 (0.83)	51.2	24.5									6) 12) 9)	9	9.1		1.9	—	150	307	364							
II	用いない	160 (1.00)	108 (1.00)	67.4	27.0	3.0	1.4	28	15	360	7.5	0.6	—	121	191	255	2.81												
	A E 剤	149 (0.93)	95 (0.88)	63.8	25.0								3.0	71) 133) 16)	73	8.3		1.0	—	117	197	257							
		144 (0.90)	97 (0.90)	67.3	25.5									65) 284) 279) 165) 16) 105) 137)									150	8.0	1.0	—	96	159	206
	セメント分散剤	149 (0.93)	88 (0.82)	59.1	24.5								3.0	34) 37) 15) 11)	24	8.7		0.6	—	141	230	292							
		144 (0.90)	88.5 (0.82)	61.5	25.0									50) 72) 24)									49	8.4	0.8	—	130	214	267
		139 (0.87)	89 (0.82)	64.0	25.5									228) 285) 345) 462)															
A E 剤	180 (1.00)	86 (1.00)	47.8	22.0	3.0	3.0	7	18	11	9.1	2.6	307	—	—	—														
セメント分散剤	162 (0.90)	78 (0.91)	48.1	22.0												15) 1) 23) 15)	13	9.1	2.2	339	—	—	—						
IV	A E 剤	170 (1.00)	92 (1.00)	54.1	25.0	5.5	3.0	7	15	59	8.3	2.6	142	219	297	349								3.02					
	セメント分散剤	160 (0.94)	85 (0.92)	53.1	25.0												53) 34) 26) 1) 0.2) 8) 19) 18)	20	9.1	1.8	171	—	340		396				
		153 (0.90)	86 (0.93)	56.2	25.5												76) 79) 144) 86) 350) 147) 60) 88)									129	8.0	1.9	151

備考：区分 III の供試体の平均養生温度は 25°C である。圧縮強度は 40 mm 以上の粒をふるい去つたコンクリートについて試験した。圧縮強度試験供試体は 15×30 cm の円柱形とし、試験値は供試体 3~8 個の試験値の平均値である。

の大きさを 60 mm 以上としたのは、用いる供試体の寸法および 2 (1) の実験結果を参考にして定めたのである。

供試体は直径 2 cm の中心孔を持つ、直径 30 cm、高さ 30 cm の中空円筒形とし、コンクリートを 2 層に詰め各層を小型内部振動機を用いて締め固めた。供試体を 21±1°C の水中で所定の材令まで養生し、表面乾燥飽和状態として透水試験を開始した。試験水圧は 15~20 kg/cm<sup>2</sup> とし、圧力水を供試体の中心孔から加え、1 時間当りの流出量がほぼ一定となった時の平均流出量を用い、透水係数および耐透水指数を計算した。供試体の材令が 3 月の場合は、供試体から水が流出しなかつたので、室内で 1 週間乾かした供試体に 20 kg/cm<sup>2</sup> の圧力水を 48 時間加えた後、ただちに供試体を直径方向に割つて断面を撮影し、印画上で水の浸透している部分の面積を測定し、平均浸透深さを計算した。次に、一様断面の均等な多孔質体の側面を水密に保ち、一端面から圧力水を加えた場合、水の浸透深さは次式で示される。

$$D^2 = 2PT \frac{K}{v} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 $D$  : 水の浸透深さ (cm)、 $P$  : 水圧 (g/cm<sup>2</sup>)、 $T$  : 水圧を加えてからの経過時間 (sec)、 $K$  : 多孔質体の透水係数 (cm/sec)、 $v$  : 多孔質体の空ゲキ率

中空円筒形の場合は

$$D_1^2 \left( \log \frac{D_1}{r_i} - \frac{1}{2} \right) = 2PT \frac{K}{v} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 $D_1$  : 供試体の中心から水の浸透部の尖端までの距離 (cm)、 $r_i$  : 供試体の中心孔の半径 (cm)

よつて、

$$K' = \frac{K}{v} = \frac{D_1^2}{2PT} \left( \log \frac{D_1}{r_i} - 0.5 \right) \dots\dots\dots(3)$$

を浸透深さ係数と名づけ、浸透深さ係数によつて水密性を比較した。コンクリートの場合は、水圧を加えてからの経過時間が増すと、浸透深さと経過時間との関係は上記の (1) または (2) 式通りとはならないようであるが、この実験では、経過時間および水圧を一定としたから、(3) 式を用いて計算した浸透深さ係数によつても比較の目的は達せられたと思われる。現在、経過時間および水圧と浸透深さとの関係について実験的に研究している。

透水試験の結果は 表一7, 8 に示すようである。

表一8 材令 3 月の供試体の透水試験結果

AE 剤またはセメント分散剤	基準としたコンクリートの単位セメント量 (kg)	平均浸透深さ (cm)	浸透深さ係数 ×10 <sup>-9</sup> (cm/sec)
A E 剤	170	9.1	26.8
		8.1	20.3
		5.6	8.6
		7.6	17.8
		7.2	15.5
		5.5	8.4
		8.3	21.4
		5.9	9.8
セメント分散剤	160	7.1	15.0
		6.7	13.4
		7.0	14.6
		6.9	13.9
		6.7	13.2
		5.7	9.3
		7.0	14.8
	153	6.3	11.5
		7.5	17.1
		7.6	17.6
		7.4	16.5
		9.6	30.4
		5.8	9.4
		6.7	14.0
		6.7	14.0

備考: 実験に用いたコンクリートは 表一7 区分 IV のコンクリートである。

表一7, 8 において、同じコンシステンシーのコンクリートの透水性は、従来いわれているように、単位セメント量が大なる程著しく小となるが、良質な AE 剤またセメント分散剤を用いれば、これらを用いないコンクリートに較べ、単位セメント量のある程度減じてもお水密性が改善されるのであつて、特に、セメント分散剤を用いる場合、単位セメント量が 160~180 kg の範囲の AE 剤を用いたコンクリートおよび用いないコンクリートに較べ、同じコンシステンシーおよび水密性を得るに必要な単位セメント量を、それぞれ約 6~10% および 13% 程度減じ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定される。これは、粗骨材の最大寸法を 150 mm としたダム用コンクリートは、実験に用いたコンクリートに、混和剤を用いた場合も用いない場合も、ほぼ等量の大粒の粗骨材を添加したものと考えられる。

こと、およびさきに筆者が報告<sup>7)</sup>したように、粗骨材の最大寸法を 150 mm としたコンクリートから 25 mm 以上の粒を除いたコンクリートと、60 mm 以上の粒を除いたコンクリートとで、単位セメント量と透水性との関係がほぼ同様になつたからである。このように、AE 剤またはセメント分散剤の使用によつてコンクリートの水密性が改善されるのは、主として所望のウォーカビリチーのコンクリートを得るに必要な単位水量を減じ、水セメント比、ブリージングが減少するためであつて、特に、良質なセメント分散剤を重力ダムのコンクリートに用いることは、コンクリートの水密性を改善するのみならず、コンクリートの温度上昇を減じてひびわれを少なくし、漏水の原因を少なくする上に有効である。以上の実験結果から、中空円筒形供試体を用いる透水試験方法によつて、プラスチックなコンクリートを入念に締固めた場合におけるコンクリートの透水性を満足に試験できるものと思われる。

#### 4. 結 語

この実験の範囲内で次のことがいえると思われる。

1. 中空円筒形供試体を用いる透水試験方法によつて、プラスチックなコンクリートを入念に締固めた場合におけるコンクリートの透水性を満足に試験できるが、試験を行うに当り、

(1) 供試体の寸法は、中心孔の直径を 2 cm 程度以上とし、供試体の肉厚を用いる粗骨材の最大寸法の 2.5～3.5 倍程度とするのが適当である。なお、中心孔の位置が供試体の中心から多少偏倚しても、理論上、試験結果におよぼす影響はきわめて小さい。

(2) 水圧は、これを供試体の外側面から加えても、中心孔から加えても、供試体から流出した水の蒸発を防止すれば、得られる透水試験値はほぼ同様であるから、外圧法によつても内圧法によつてもよい。

(3) 供試体側面のセメントペーストの表皮の有無は試験結果に影響をおよぼさないから、試験に際して特にこれを取除く必要はない。しかし、供試体周辺部の型ワクに近接する部分は、内部のコンクリートにくらべ水密性が大きであつて、粗骨材の最大寸法を 40 mm としたコンクリートにおいて、周辺部水密層の厚さを 2 cm と仮定した場合、周辺部のコンクリートの透水係数は内部のコンクリートの大約 1/5 となる。

従つて、コアによる試験結果から構造物の水密性を論ずる場合には、型ワクに近接する部分の水密層の影響について注意しなければならない。

2. コンクリート体において、材料の分離が比較的少ない下層部のコンクリートの透水性は水圧の方向によつて変化しない。しかし、上層部のコンクリートにおいて、水圧の方向がコンクリートの打込み方向に平行である場合は、透水性が著しく大となるのであつて、プラスチックなコンクリートでも、その透水係数が下層部のコンクリートの数百倍に達することがある。従つて、水密的なコンクリートを得るためには、材料の分離をできるだけ少なくするよう、適切な施工が特に大切である。

3. AE 剤またはセメント分散剤がダム用コンクリートの水密性におよぼす影響について研究する場合、大粒の粗骨材を除いたコンクリートについて行つた実験によつても、これらの混和剤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水密性を比較することはできる。

なお、良質な AE 剤またはセメント分散剤を用いれば、ダム用コンクリートの水密性は相当に改善され、特にセメント分散材を用いる場合、AE 剤を用いたコンクリートおよび用いないコンクリートにくらべ、同じコンシステンシーおよび水密性を得るに必要な単位セメント量を、それぞれ約 6～10% および約 13% 減じうる。

この研究は、文部省科学研究費による研究の一部であり、研究の実施に当つては、吉田徳次郎先生、国分正胤先生より終始御懇篤な御指導を賜つた。謹んで厚く御礼申し上げます。また、内藤昭吾君の御協力を衷心より感謝します。

#### 参 考 文 献

- 1) Merkle, G.: "Die Wasserdurchlässigkeit von Beton", Berlin 1926.
- 2) Glanville, W. H.: "The Permeability of Portland Cement Concrete", Building Research Technical paper No.3 1926.
- 3) F.R. McMillan and Inge Lyse: "Some Permeability Studies of Concrete", Journal of A.C.I. Dec. 1929.
- 4) Arthur Ruettggers, E.N. Vidal and S.P. Wing: "An Investigation of the Permeability of Mass Concrete with Particular Reference to Boulder Dam", Journal of A.C.I. March April 1935
- 5) 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.
- 6) M. Muskat: "The Flow of Homogeneous Fluids Through Porous Media", p.172.
- 7) 村田二郎: "コンクリートの水密性に関する研究 (1)", 土木学会論文集 第 46 号