

[29] 透水試験結果による水密性に基づくコンクリートの耐久性の評価

正会員 大岸佐吉 (名古屋工業大学工学部)

正会員 ○棚橋 勇 (名古屋工業大学工学部)

正会員 小野博宣 (中部大学 工学部)

正会員 水谷且哉 (小原建設 建築部)

1. 序

コンクリートの耐久性を評価する上で重要な意味をもつものに水密性がある。

コンクリートの水密性に関しては、従来多くの貴重な研究があり、水密性を判断するための種々な利点を持つ〔透水試験方法^{1),2)}〕が提案されている。しかし、これらの試験方法は、コンクリートの透水性を満足に試験できることを示しているが、いずれの方法も装置の特性上、構造物に打ち込まれたコンクリート(以下構造物コンクリートと呼ぶ)について、透水性の試験を実施する事はできない。構造物コンクリートの透水試験結果に及ぼす、調合や運搬過程、圧送方法、打ち込み及び養生方法等の影響を明らかにし、耐久性の評価をするためには、構造体コンクリートの現場測定にかなう新しい透水試験装置の開発と判定方法の確立が必要である。

本研究は、構造物コンクリートの透水性を測定できる透水試験装置を開発し、試作した。そして、この装置の特性実験を行った。この装置を使用して、円板型供試体及び中空円板型供試体を用いた透水試験結果に及ぼすコンクリートの流動性及び調合の影響を調べ、両者の関係を明らかにした。更に、これらの結果とブリージング率、乾燥収縮率、重量減少率及び凍結融解に対する抵抗性との関連性を検討考察した。次に、建築施工現場において、構造物コンクリートの壁の上、下二層及び床の、透水試験結果に及ぼすまだ固まらないコンクリートの調合や運搬過程及び施工要因などによって生ずる品質の変動の影響を明らかにすると共に、これらの試験結果と計画調合の水セメント比と水量から算出した透水係数との比較検討からコンクリートの耐久性の評価を試みた。

2. コンクリートの透水試験装置の検討

2.1 試作透水試験装置と測定方法

透水試験装置の構造は、加圧給水装置と圧力調整装置の2系統から構成され、両者はシンプレックス管によって連結されている。透水試験装置の概略図を図-1に示した。測定方法は、円板型供試体(φ15×4cm,以下供試体Iと呼ぶ)について

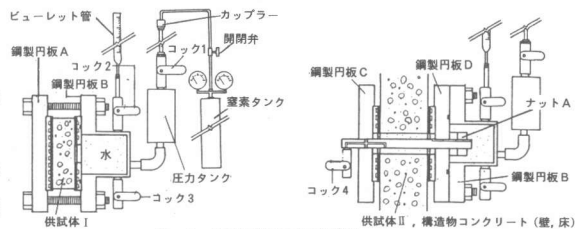


図-1 透水試験装置の概略図

は、図-1に示した鋼製円板Aと圧力タンクを取り付けた鋼製円板Bとの間にゴムパッキンを介して供試体をセットする。中空円板型供試体(内径3.5cm,外径15cm,厚さ4cm,以下供試体IIと呼ぶ)及び構造物コンクリートの壁の上、下層と床(以下それぞれB_{wu}, B_{wl}, B_sと呼ぶ)については、鋼製円板Cを供試体IIの内径部分及び壁と床に予め設けたスリーブ部分にゴムを介して挿入する。中空鋼製円板Dをゴムを介してボルトにはめ込み、ナットAで締め付ける。圧力調整装置で所定の透水圧力を試験時間まで加える。コンクリートに圧入された水量を、ビューレット管の目盛りで0.1ccまで正確に読み取る。

表-1 コンクリートの調合表

空気量 (%)	水セメント比 (%)	目標スラブ厚 (cm)	細骨材率 (%)	単位質量 (kg/m ³)				実測スラブ厚 (cm)	
				W	S ₁	S ₂	S ₃		
4	65	0	45.8	145	221	870	1058	0.88	0
		3	45.9	146	224	867	1058	0.80	2.0
		8	46.0	162	250	842	1017	1.00	8.4
		12	46.3	168	259	836	999	1.04	12.2
		15	46.5	173	267	831	985	1.07	15.0
		18	46.4	183	283	848	929	1.13	18.5
	55	21	50.5	193	298	865	872	1.19	21.5
		0	43.3	147	268	803	1084	1.65	1.0
		8	44.1	150	292	794	1038	1.17	8.0
		12	44.3	156	303	787	1021	1.21	12.7
		18	46.2	181	330	793	951	1.32	17.2
		21	48.0	191	348	825	916	1.39	21.0
45	0	40.2	140	308	740	1134	1.23	0	
	3	40.3	144	321	734	1118	1.28	2.6	
	5	40.5	159	354	711	1074	1.41	5.5	
	8	40.6	163	363	705	1061	1.45	8.3	
	12	40.7	169	376	696	1044	1.50	11.7	
	15	40.8	174	387	689	1030	1.55	14.0	
18	42.5	184	410	699	972	1.64	17.4		
21	44.3	194	433	709	915	1.73	20.1		

※1名古屋市上水道 ※2普通ポルトランドセメント(比重3.16) ※3細骨材(瀬戸山砂,最大粒径5mm,表乾比重2.55g/cm³,吸水率1.6%,FM2.82) ※4粗骨材(瀬戸山砂利と音羽産砂利の混合,最大粒径25mm,表乾比重2.63g/cm³,吸水率0.9%,FM6.94)

この測定を10分間隔で数回行う。供試体の試験材令は28日で行なった。透水係数 W_a は、単位面積、単位時間当たりの圧入された水量である。供試体I, IIの含水状態は、28日間水中養生したものを表面乾燥飽水状態 S_s (以下表乾状態と呼ぶ)、28日間水中養生した後、乾燥器内(約 60°C)で3日間乾燥した

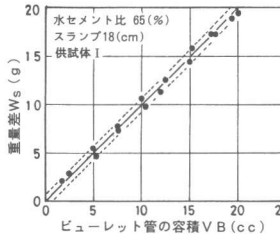


図-2 圧入水量に及ぼす測定方法の影響

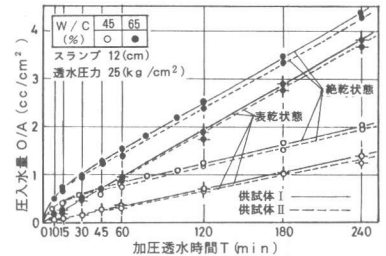


図-3 圧入水量と加圧透水時間の関係

ものを絶乾状態 A_d とし、それらの中間に近いものを気乾状態 A_a として示した。

2.2 透水試験装置の特性実験

実験に使用したコンクリートの調査は、表-1に示した調査表の中から水セメント比 $w/c = 45, 55$ 及び 65% 、各々スランプ $s_1 = 12\text{cm}$ とした3種類を選んだ。

A) 供試体に圧入された水量の容積法と重量法との比較

供試体Iに連続的に任意の水量を圧入したときの、ビューレット管の容積の読みによるものと、供試体の透水前後の重量差によるものとの関係について示したのが図-2である。結果から、両者の誤差はほぼ3%以内であった。又、本装置の操作は簡単で、1回の圧入水量の測定に要する時間は30秒以内であった。この結果、本装置は、コンクリートに圧入された水量を簡易、迅速かつ高精度に測定できるものである。又、この装置は軽量で携帯性に優れたものである。

B) 圧入水量と加圧透水時間

図-3より、供試体I, II共に絶乾状態のものは、透水時間が20分頃までは非定常流れを示すが、それ以後は、ほぼ定常流れを示している。この傾向に対して表乾状態のものは比例関係にあり、定常流れを示す事が判った。この結果より、透水試験での加圧透水時間を30分に設定した。なお、図-4の単位面積当たりの圧入水量と透水圧力との実験結果から、両者は直線関係を示す事が判った。本研究では、以下の試験において透水圧力を 25kgf/cm^2 とした。

C) 透水係数と供試体の含水状態

透水係数に及ぼす供試体の含水状態の影響を示したのが図-5である。この図から、透水係数は絶乾状態が最も大きく、供試体内の水分が増加するに従い直線的に減少する傾向を示す事が判った。又、透水係数に及ぼすコンクリートの打ち込み方向に対する加圧透水方向の差、垂直と水平の関係は図-6の如く示され、両者はよい一致を示した。これは試料の充填が良かった事によるものである。

3. 透水試験装置によるコンクリートの透水性の実験

3.1 標準供試体の透水性

A. 実験概要

1) 測定項目、測定装置及び測定方法; 測定項目はスランプ、貫入係数、空気量、単位容積質量、ブリージング量、調合量、圧縮強度、静弾性係数、乾燥収縮率、重量減少率、凍結融解に対する抵抗性及び透水係数の12項目である。使用した主な測定装置は、2.1節に示した透水試験装置と〔調合量測定装置³⁾〕及び〔棒貫入流動性測定装置⁴⁾〕である。これらの測定方法は、2.1節及び

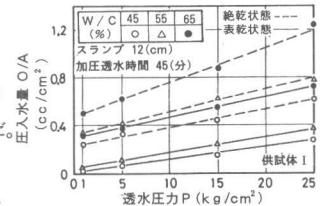


図-4 圧入水量と透水圧力の関係

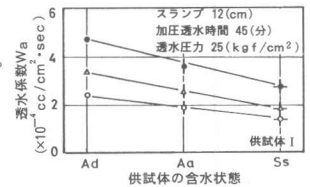


図-5 透水係数に及ぼす供試体の含水状態の影響

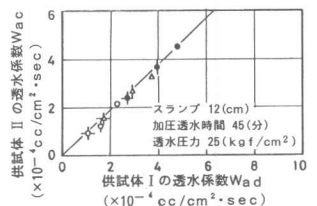


図-6 透水係数に及ぼす加圧透水方向の影響

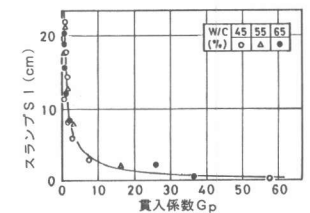


図-7 貫入係数とスランプの関係

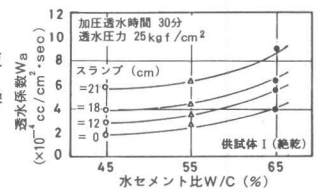


図-8 透水係数と水セメント比の関係

〔文献^{3),4)}〕を参照。なお、使用した電子天秤は、秤量30kg,感量0.1grである。

2) 調合及び使用材料;本実験で対象とした調合表を表-1に、使用材料の物理的性質の概要を表-1に注記した。なお、実験室の環境は、温度 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$,湿度65~75%,水温 $21 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ であった。

B. 実験結果と考察

表-1の調合について、コンクリートのスランブと貫入係数を測定し、両者の関係を図-7に示した。

1) 透水係数と水セメント比

図-8にみる如く、透水係数は水セメント比の増大に伴い増加割合は大きくなる。この原因として、過剰な単位水量によるブリージング水量の増大及び乾燥で生ずるセメントペーストの毛細間隙や空隙が水路を形成したと考えられる。

2) 透水係数とスランブ

透水係数に及ぼすスランブの影響については、図-9より、スランブが大きくなる程その増加割合は大きくなる傾向を示している。特にスランブが18cm以上になるとその増加割合は著しい。スランブは水セメント比を固定した場合、セメントペースト量によって調整されるものであり、スランブの増大はセメントペースト量の増大を意味し、その結果、透水性は単位水量に依存する。この事から、スランブは耐久性の見地から18cm以下が好ましいと考える。

3) 透水係数と単位水量

図-10より、両者の間には相関性が得られ、透水係数 W_a ($\times 10^{-4} \text{cc/cm}^2 \cdot \text{sec}$)を、単位水量 W_w (kg/m^3)と水セメント比 w/c (%)により表す式(3.1)を得た。

$$W_a = a \cdot (w/c - b)^c - d / (W_w - e) + f \quad \dots\dots (3.1)$$

本実験では、 $a = 0.016$ $b = 45$ $c = 1.7$ $d = 59.4$ $e = 206$ $f = 1$

4) 透水係数とブリージング率

図-11より、透水係数はブリージング率の増加に対し直線的に増加している。一般的にブリージング率は単位水量と密接な関係があり、この水量が過剰な場合にはブリージング量は増大する。その結果、水密性を減じ耐久性を損なうおそれがある。

5) 透水係数と乾燥収縮率

図-12より、透水係数は乾燥収縮率の増加に対し、同一スランブで見ると指数的に増加している。透水係数と重量減少率についても同様の傾向を示した。透水係数と圧縮強度の関係を図-13に示した。なお、透水係数と凍結融解に対する抵抗性との関係については、明確な所見は得られなかった。(図省略)

3.2 構造物コンクリートの透水性

A. 実験概要

1) 構造物の構造、規模;構造物Aは、鉄筋コンクリート造4階建、延べ床面積 3.600m^2 ,構造物Bは、鉄骨・鉄筋コンクリート造6階建,延べ床面積 13.200m^2 .測定項目,測定装置及び測定方法は3.1Aに準じた。

2) 調合;構造物Aの水セメント比は55及び58%,Bは57及び60%,スランブと空気量は構造物A,B共に18cm及び4 \pm 1%である。混和材料は減水剤である。

B. 実験結果と考察

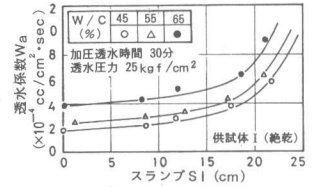


図-9 透水係数に及ぼすスランブの影響

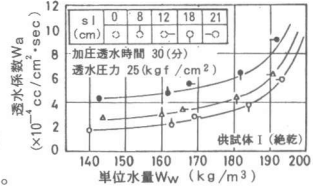


図-10 透水係数に及ぼす単位水量の影響

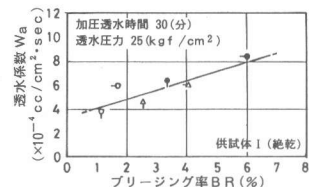


図-11 透水係数とブリージング率の関係

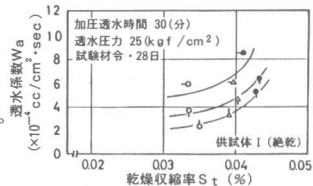


図-12 透水係数と乾燥収縮率の関係

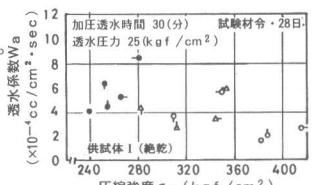


図-13 透水係数と圧縮強度の関係

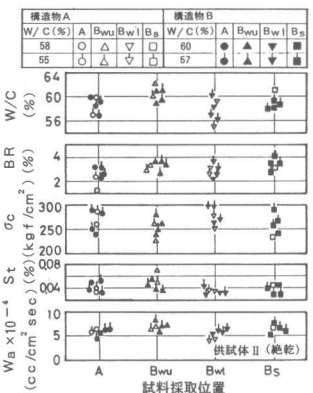


図-14 試料採取位置の影響

本実験で対象とした構造物AとBのコンクリートの品質に及ぼす試料採取位置の影響を、コンクリートの荷下ろし地点A、壁の上層部B_{wu}(FL+3m)、下層部B_{wl}(FL+1m)及び床B_sについて示したものが図-14である。

1) 相対透水係数と試料採取位置

計画調査の水セメント比と水量を、3・1式に代入して算出した透水係数W_{at}(以下計算値と呼ぶ)に対する各位置の透水係数W_{ac}を相対透水係数として、試料採取位置について示したのが図-15である。この結果から、相対透水係数は、壁の上層部を除き他の箇所は計算値に近い値を示している。このことから構造物A、Bのコンクリートは、充分水密性を有するものであると判断される。

2) 透水係数の変動率と水セメント比の変動率

コンクリートの調査や施工要因によって変動する均質性(=水セメント比)が、透水係数に及ぼす影響を調べるため、透水係数の変動率と水セメント比の変動率との関係について示したのが図-16である。変動率は下式により求めた。

$$\text{変動率(\%)} = 100 \times (X - A) / A \quad \dots (3 \cdot 2)$$

ここに、X:各試料採取位置のW_a及びw/c A;荷下ろし地点におけるW_a及びw/c

同図中の直線関係から、水セメント比の変動は透水係数に顕著な影響を与える事が判る。又、同図の第2象限の値については、水セメント比が減少しているのに透水係数が大きくなっている。これは、打ち込み締め固めが不十分によるものと考えられる。以上より、コンクリートの水密性を向上するためには、良好な流動性の採択と適切な施工計画を立案する事が肝要である。なお、透水係数は壁厚によって影響を受けることが判った(図-17)。本実験の壁厚について見れば、壁厚が小さいものと大きいものにその傾向が顕著に表れ、透水係数は大きくなっている。

以上の結果より、本研究で対象とした構造物コンクリートは、その透水係数と計算値の透水係数との比較検討から、大きな変動は認められず、充分水密性を有するものと判断され、耐久性を満足するものであると考察する。

4. 結論

- 1) 本透水試験装置は、コンクリートに圧入された水量を、簡易、迅速かつ高精度に測定できるものである。
- 2) 供試体が絶乾状態のものは、透水時間が20分頃までは非定常流れを示し、それ以後は定常流れを示す。これに対し、表乾状態のものは、透水開始初期から定常流れを示す事が判った。
- 3) 型枠内への充填が良好に行われたコンクリートの打ち込み方向に対する加圧透水方向の影響は僅少である(図-6参照)。又、圧入水量と加圧透水圧力の関係は直線関係を示す。
- 4) 透水係数を水セメント比と単位水量によって表示する式(3・1)を提示した。
- 5) コンクリートの水密性を高め耐久性を向上するためには、材料分離に対する抵抗性を有する良好な流動性と適切な施工計画を行う事が肝要である。特に、スラブや壁厚が大きい場合には注意を要する。(図-17参照)
- 6) 本実験で示した透水試験装置は、構造物コンクリートの透水性の試験に充分適用出来るものであり、その試験結果と計算値の透水係数との比較検討結果から、水密性の良否を判断し耐久性を評価する一手段と考えられる。

[参考文献] 1) 吉越 盛次; 電力技術研究所報土木第2巻, 第4号, 1950.
 2) 村田 二郎; 土木学会論文集63号, pp.1~7, 1959.
 3) 大岸, 棚橋他; コンクリート工学年次講演論文集, Vol 5, pp.65~68, 1983.
 4) 大岸, 棚橋他; コンクリート工学年次講演論文集, Vol 7, pp.301~304, 1985.

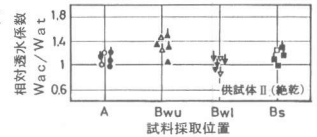


図-15 相対透水係数に及ぼす試料採取位置の影響

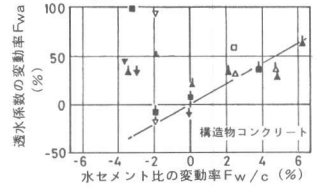


図-16 透水係数の変動率と水セメント比の変動率の関係

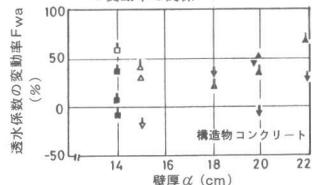


図-17 透水係数に及ぼす壁厚の影響