

コンクリート表層部に着目した簡易透水試験法の開発に関する基礎的研究

庄谷征美¹・月永洋一²・佐々木幹夫¹・杉田修一³

¹正会員 工博 八戸工業大学教授 工学部土木工学科 (〒031-8501 青森県八戸市妙字大開 88-1)

²博(工) 八戸工業大学教授 工学部建築工学科 (〒031-8501 青森県八戸市妙字大開 88-1)

³正会員 博(工) 八戸工業大学教授 工学部土木工学科 (〒031-8501 青森県八戸市妙字大開 88-1)

コンクリート表層部の透水性を現場で簡便に評価するための試験としてゴムチューブの加圧力を利用した簡易透水試験を提案することを目的とし、試験の有用性を多面的に検討した。本研究では、試験方法の基本概念を明確にするため、試験小孔よりの透水現象が圧力に関する拡散理論式で表現できることを示した。また、透水性に関連する各種要因の影響を二次元の理論解析から求めた拡散係数を用いて総括し直すとともに、インプット法による室内透水試験から求めた拡散係数との関係について検討した。これらの結果から、簡易透水試験法は、コンクリート表層部の透水性を評価するための現場試験として、また、拡散係数を評価しうる室内簡易試験として適用可能であることを示した。

Key Words : permeability, in-situ test, rubber tube, water pressure, rapid water permeability coefficient, water penetration, diffusion theory

1. はじめに

コンクリートは元来空隙を有する多孔体であり、外力や乾燥などによるひびわれなどの欠陥も存在する。これらの空隙やひびわれはコンクリートの透過性を増加させ、構造物の耐久性を損なう要因となる。特にコンクリート構造物のかぶり部に対応する表層部のコンクリートは、酸素、炭酸ガス、塩化物イオン、水分などの外的劣化因子の侵入・拡散を抑制する役割を果たすため、表層部の透過性を評価することはコンクリートの品質管理、施工管理、維持管理および劣化診断を遂行する上で極めて有用な情報を提供することになる。

コンクリートの透過性は、外的劣化因子が水などの液体を対象とする場合は透水試験により評価できるが、水圧を作用させるために装置は大型となり、コンクリートを透過する水量、あるいは水の浸透深さを測定する必要があるため、現場での試験は困難である。

コンクリートの各種管理や劣化診断の立場からみれば、試験は現場で簡便に実施できるものであることが望ましく、簡易的な透水試験方法の確立が期待される。

現場で圧力を作用させる簡易型の透水試験法は、海外においては GWT (Germanns water permeation test)¹⁾ および AUTOCLAM (Clam water permeability test)²⁾ が提案されており、国内では壁や床などの小断面にの

み適用可能な大岸ら³⁾の試験法および筆者ら^{4), 5)}、⁶⁾の試験法の計 4 種類が提案されているに過ぎないようである。GWT は、装置をエポキシ樹脂とアンカーボルトを用いてコンクリート面に固定し、圧力室の蓋をねじ込むことによって 0.6 MPa までの可変圧力を作用させる。AUTOCLAM は、装置をエポキシ樹脂またはアンカーボルトを用いてコンクリート面に固定し、ピストンによって 0.15 MPa の圧力を作用させる。大岸らの方法は、壁または床に貫通孔を設け、断面の表裏に鋼製円板をボルトを介して固定し、窒素ポンペを用いて 2.45 MPa の圧力を作用させる。筆者らの試験法は、装置をエポキシ樹脂でコンクリート面に固定し、ゴムチューブの加圧力によって 0.29 MPa の圧力を作用させる。測定値は、GWT および大岸らの試験法が圧入された水量であり、AUTOCLAM および筆者らの試験法は水圧の低下量である。簡易型の透水試験は、現場で簡便に一定時間の水圧を作用させるための装置の開発が必要であり、装置のコンクリート面への固定および圧力水の漏出防止のための工夫などが必要である。

本研究は、コンクリート構造物のかぶり厚さの最小値 30~40 mm をコンクリート表層部と考え、深さ 35 mm までの透水性を現場で簡便に評価するための試験法として、ゴムチューブを利用したひび割れ部への樹脂注入工法にヒントを得て開発した簡易透水試験法の有用

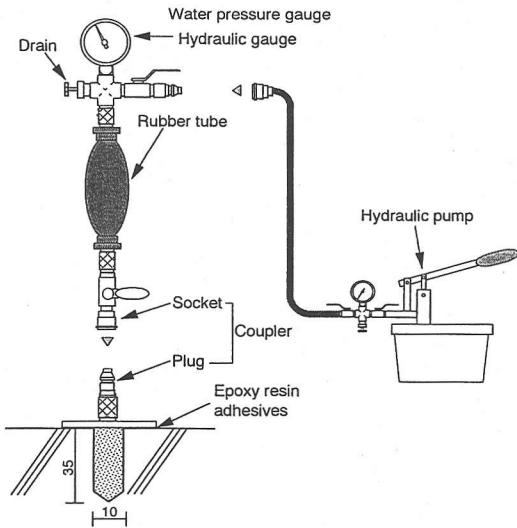


Fig. 1 Schematic diagram of rapid water permeability test

Table 1 Properties of rubber used in rapid test

Hardness (Hs : JIS A)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Permanent set *1 (%)
47	25.5	550	13

Tests were conducted in accordance with JIS K 6301

*1 : Maintain 22 °C *500 hours

性を検討するものである。

本研究では、本透水試験手法の基本概念を明確にするため、試験小孔よりの透水現象が圧力に関する拡散理論式で表現できることを示した。また、小孔内の圧力変化を考慮して求めた拡散係数を用いて、透水性に関係する要因の影響^{4), 5), 6)}を総括し直すとともに、従来のインプット室内試験法による拡散係数との対応関係を述べた。これらの検討をふまえ、本試験法で定義した簡易透水係数が透水性の指標値として十分適用可能であることを示した。

2. 簡易透水試験法の基本概念

(1) 透水試験装置の構成および試験方法

試験装置の概要を Fig. 1 に示す。試験装置は圧力計を装着した直径 15 mm、長さ 50 mm、厚さ 3 mm のネオプレンゴムチューブとこれをコンクリート表面に固着させるためのカプラー、および加圧ポンプにより構成される。装置本体の質量は約 700g である。

ゴムチューブは Table 1 に示す特性のものを用いる。試験は、コンクリート表層に直径 10 mm、深さ 35 mm

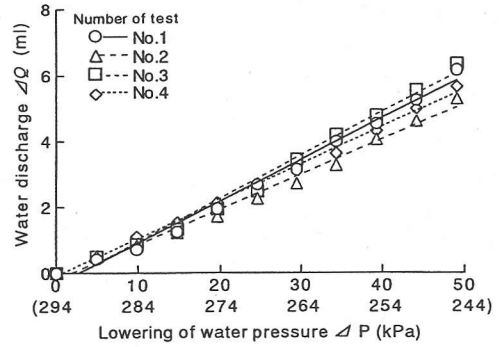


Fig. 2 Lowering of water pressure ΔP versus water discharge ΔQ

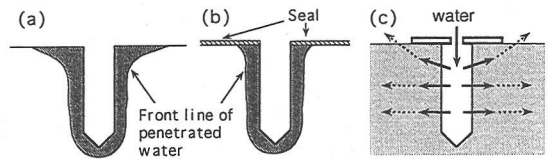


Fig. 3 Schematic diagram of water penetration (a),(b) and flow of water (c)

の試験孔を設け、試験孔内の残留切削粉をコンデンサブラシおよび圧搾空気で十分に取り除いて、コンクリート表面にカプラーのプラグ部分をエポキシ樹脂を用いて接着する。ゴムチューブに加圧ポンプを用いて注水加圧し、ドレインから装置の中の気泡を取り除いて、圧力を 314 kPa 程度に調節する。

スパイナル注射針の先端を試験孔底部まで挿入してプラグ上端まで注水し、直ちに圧力計付きゴムチューブをカプラーを介して試験孔に連結する。ドレインにより初期圧力が 294 kPa となるように調整し、コックを開いて試験孔内壁に透水させる。

水圧の低下量 ΔP と低下時間 T を測定し、式(1)により係数 a および指数 b を求める。

$$\Delta P = a T^b \quad (1)$$

ここで ΔP : 水圧低下量 (kPa)
 T : 水圧低下時間 (sec)

Fig. 2 は、水圧が 294kPa の時を起点としてドレインからの放水により水圧を 5kPa ずつ低下させていった時の水圧低下量 ΔP と放水量 ΔQ の関係を示したものである。ドレインからの放水量をコンクリートへの浸透水量と考えれば、水圧が 294~245kPa 程度の範囲では水圧低下量 ΔP と放水量 ΔQ の間には直線関係が成立することから、水圧低下量 ΔP を浸透水量の指標と

して扱おうとするものである。

本試験法においては、後掲の Table 4 および Fig. 13 にも示しているが、コンクリート表層に設ける試験孔の間隔あるいはエッジまでの距離を 75 mm 以上とすると、試験値に及ぼす影響は小さく、また、Fig. 3 に示すように試験面のシーリングを行わないと、圧力負荷によって水の流れは表面方向にも生じ、抵抗のない外気へ抜けだそうとするため、水の浸透深さは表面に近づくほど大きくなって、簡易透水係数および変動係数が増加するという知見を得ている⁶⁾。したがって、本研究では試験孔の間隔あるいはエッジまでの距離を 75 mm とし、半径 75 mm の試験面をシーリングして実験を行った。

(2) 透水の理論的考察

a) 基礎方程式

コンクリートの透水性に関する理論的な研究は、1961 年に村田が発表した論文⁷⁾をはじめ、一次元的現象としての取り扱いに限れば数多く見られる。しかし、現象を二次元的、三次元的に取り扱った理論的研究は数少なく不十分な点が多い。本試験法においては、試験孔奥行き方向を無視すると、圧力により浸透した水は試験孔に対して二次元的に同心円状に拡散すると仮定できる。これより、水の拡散を二次元平面問題と仮定し、村田の研究⁷⁾を参考に基礎方程式を導く。

試験孔中空部が水で満たされ圧力が加わると水はコンクリートの中で移動するが、水が速度 u で移動する場合を考える。Fig. 4 に示すように、高さ h の供試体内に極座標をとり、 $r \geq r_0$ なる位置に断面 1、これより微小距離 dr だけ離れたところに断面 2 をとる。断面 1 から dt 時間に二断面 1、2 間の中に流入する水量 Q_1 は式 (2) となる。

$$Q_1 = u(r) h d\theta r dt \quad (2)$$

断面 2 から dt 時間に二断面 1、2 間から流出する水量 Q_2 は次式のようになる。

$$Q_2 = (u + \frac{\partial u}{\partial r} dr) h d\theta (r + dr) dt \quad (3)$$

よって断面 1、2 間の水の増加量 ΔQ は次式となる。

$$\begin{aligned} \Delta Q &= Q_1 - Q_2 \\ &= u h d\theta r dt - \left\{ (u + \frac{\partial u}{\partial r} dr) h d\theta (r + dr) dt \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

高次の微少量を省略すると増加量 ΔQ は次式となる。

$$\Delta Q = - \frac{\partial(ru)}{\partial r} dr A \frac{dt}{r} \quad (5)$$

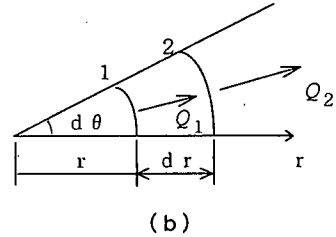
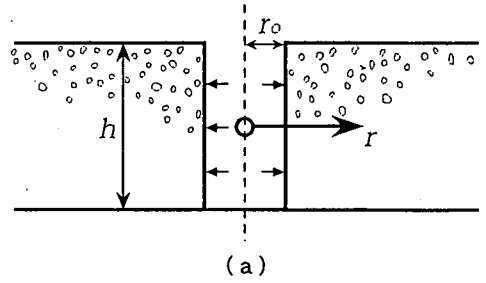


Fig. 4 (a) Definition of the symbol and (b) water flow in concrete

$$\text{ここに } A = r d\theta h$$

速度 u は r の正の方向に減少している。したがって、この増加量 ΔQ は微小要素 dr の部分が弾性変形を起こしたために生じたものであり、 ΔQ はこの部分の収縮量に等しい。この圧縮現象は断面 1、2 間において圧力 p が dt 時間に dp だけ増加したために生じたものである。

いま、水とコンクリートを共通に考えた場合の弾性係数を E とすれば、 dp は次式のように表わせる。

$$dp = E \frac{\Delta Q}{A dr} \quad (6)$$

一方、圧力の時間的変化 dp は次式で与えられる。

$$dp = \frac{\partial p}{\partial t} dt \quad (7)$$

よって、式 (6) に式 (5)、(7) を代入することにより次式が得られる。

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -E \left(\frac{u}{r} + \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (8)$$

いま、コンクリート中の水の流れはダルシーの法則に従うものとする。したがって、コンクリートの透水係数を k 、水の密度を w_0 とすると、 u は次式で表わされる。

$$u = - \frac{k}{w_0} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (9)$$

よって、式 (8), (9) より次式を得る.

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \beta^2 \left(\frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} \right) \quad (10)$$

ここに、
$$\beta^2 = \frac{kE}{w_0} \quad (11)$$

式 (10) に示すように、コンクリート内の水の透水現象は圧力分布を求めることに帰着する。式 (10) は、現象を支配するパラメーターは拡散係数 β^2 だけであることを示している。

b) 基礎方程式の解

中空部の水は圧力 p_0 で加圧されているが、 p_0 は時間的に変化しており、 $p_0 = F(t)$ と表せる。この場合の初期条件および境界条件は式 (12~14) のようになり、このとき圧力分布 p は式 (15) で示すことができる。解の導出過程を付録に示す。なお、 $F(t)$ は前述のように中空部の圧力 p_0 を表す関数であるが、後掲 (19) 式より p_0 は \sqrt{t} の関数で表せるので、 $F(t) = F(0) - \alpha\sqrt{t}$ としている。ここに、 $F(0)$ は $t=0$ での圧力 (本研究では 294 kPa) である。

初期条件

$$p(r, 0) = 0 \quad r_0 > 0, \quad t = 0 \quad (12)$$

境界条件

$$p(r_0, t) = p_0(t) \quad r = r_0 \quad (13)$$

$$p(\infty, t) = 0 \quad r \rightarrow \infty \quad (14)$$

$$p = F(0) \frac{1}{\int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t}u + r_0} du} \int_{2\beta\sqrt{t}}^{\frac{r-r_0}{\sqrt{t}}} \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t}u + r_0} du + \int_0^1 \frac{\partial F}{\partial \tau} \frac{1}{\int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t}(1-\tau)u + r_0} du} du + \int_0^1 \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t}(1-\tau)u + r_0} du d\tau \quad (15)$$

本実験では、一定時間 t 後に供試体を割裂して水の浸透深さ $Dm (= r - r_0)$ を測定し、 Dm の位置における圧力 p を 98 kPa と仮定して⁷⁾、繰り返し計算により拡散係数 β^2 を求めた。式 (15) による理論解については、一部付録にも示したが、数値解析との対比によりその妥当性が検証されている⁸⁾。

なお、一次元の透水現象は、コンクリート表面 ($r - r_0$) を $x = 0$ とする新座標 x により次のように表わせる。

$$p = \frac{1}{f_1} \int_0^x F(\tau) \frac{x}{4\beta\tau^{3/2}} e^{-\frac{x^2}{4\beta^2\tau}} d\tau \quad (16)$$

ここに、
$$f_1 = \int_0^\infty e^{-u^2} du = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \quad (17)$$

二次元解と一次元解の比較は付録図 (App. Fig. 3) に示したが、その差は大きく、透水現象を一次元で近似することは無理があることを示している。

3. 実験概要

(1) 使用材料および配合

セメントは Table 2 に示す 4 種類を使用した。粗骨材は硬質砂岩碎石 (比重 2.71) とし、最大寸法を 5~40 mm までの 5 種類に変化させた。細骨材は陸砂 (粗粒率 2.76, 比重 2.68%) を使用した。混和剤は天然樹脂酸塩を主成分とする AE 剤を用いたが、水セメント比 30% の配合においては高縮合芳香族スルホン酸化合物を主成分とする高性能減水剤を併用した。

簡易透水試験におけるコンクリートへのアタッチメントの接着は、6 時間 / 20℃ 硬化型のエポキシ樹脂接着剤 (粘度 2×10^5 cps / 20℃, 引張強度 27.5 MPa : JIS K 6911) を使用した。

コンクリートの配合は、骨材最大寸法、水セメント比およびセメントの種類を要因とした場合では Table 3 に示すようであるが、材齢、飽水係数および測定時の気温を要因とした場合では、普通ポルトランドセメントを用い、骨材最大寸法 20 mm, 水セメント比 55%, 目標スランプ 8 cm, 目標空気量 5% とした配合を用いた。また、供試体直径を要因とした場合の配合は、水セメント比 55%, 空気量 5% のモルタルとした。

(2) 供試体

簡易透水試験用の供試体は $\phi 150 \times 300$ mm の鋼製型枠を用いて底面から 150 mm の高さまで打設し、寸法を $\phi 150 \times 150$ mm とした。室内透水試験用の供試体は、同様に打設した $\phi 150 \times 150$ mm の供試体を、打設上端から 50 mm までをカットし $\phi 150 \times 100$ mm の供試体とした。

供試体数は、簡易透水試験においては 6 体、室内透水試験においては 3 体とした。しかし、簡易透水試験においては圧力を負荷させるため、希ではあるが装置や接着面からの微量の水漏れを生じ、異常値を示す場合がある。したがって、本試験では 9 体の供試体を準備して 6 体の供試体について測定を開始し、測定中に

Table 2 Chemical composition and physical properties of cement

Type of cement	Chemical compositions (%)			Specific gravity	Blaine's specific surface area (cm ² /g)	Setting time (hr : min)		Compressive strength of 40 mm cubes (MPa)		
	MgO	SO ₃	lg. loss			Initial set	Final set	3 day	7 day	28 day
Ordinary (OPC)	2.2	2.1	1.0	3.16	3,330	2 : 18	3 : 28	16.2	25.2	41.8
High early strength (HPC)	1.4	3.1	1.1	3.15	4,560	1 : 53	3 : 03	28.7	37.8	48.8
Moderate heat (MPC)	1.7	1.8	0.7	3.20	3,170	3 : 10	4 : 20	10.8	15.8	35.7
Blast-furnace slag (BC)	3.9	1.8	1.0	3.05	3,790	3 : 10	4 : 25	12.4	22.7	43.5

Table 3 Proportions of concrete mixtures

W/C (%)	Type of cement	G max (mm)	Slump (cm)	Air (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				AE agent (C×wt%)	HWR *1
						W	S	S	G		
55	OPC	5	(187) *2	5.5	(3.1) *3	260	473	1,448	—	0.014	—
		15	8.2	5.8	47.6	176	320	858	955	0.022	—
		20	8.5	4.3	44.6	168	305	819	1,029	0.026	—
		25	9.0	4.5	42.6	160	291	798	1,086	0.033	—
		40	7.3	4.2	39.6	154	280	751	1,158	0.036	—
30	OPC	20	8.5	5.0	39.6	171	570	635	980	0.049	0.99
40			9.2	4.7	41.6	171	428	718	1,019	0.032	—
55			7.8	5.6	44.6	168	305	819	1,029	0.026	—
70			7.0	4.4	47.6	168	240	901	1,003	0.023	—
55	OPC	20	8.7	5.1	44.6	168	305	819	1,029	0.026	—
	HPC		7.2	4.4	44.0	171	311	802	1,032	0.031	—
	MPC		9.1	5.3	44.6	168	305	821	1,031	0.024	—
	BC		7.4	4.6	45.6	160	291	849	1,024	0.031	—

*1 : High range water reducing agent

*2 : Flow (mm)

*3 : S/C

水漏れに起因した異常値が出現した場合は測定を中止して新たに測定を追加することとし、最終的には6点の測定数を得られるようにした。

供試体はブリーディングの影響を考慮して、簡易透水試験においては打設底面を試験面とし、室内透水試験においては打設底面を加圧面とした。供試体の作製はJIS A 1132 に従い、締固めは棒突き法で行った。

(3) 養生方法

供試体の養生は材齢 28 日まで標準水中養生とし、その後 20℃・60%RH の室内で 7 日間の乾燥期間⁷⁾ を設けて試験に供した。

(4) インพุット室内透水試験⁷⁾

Fig. 5 に試験装置の概要を示す。載荷圧力 981 kPa を 48 時間加えたインพุット法を採用した。加圧終了後、供試体を割裂して水の浸透深さを測定し、次式から拡散係数を求めた。

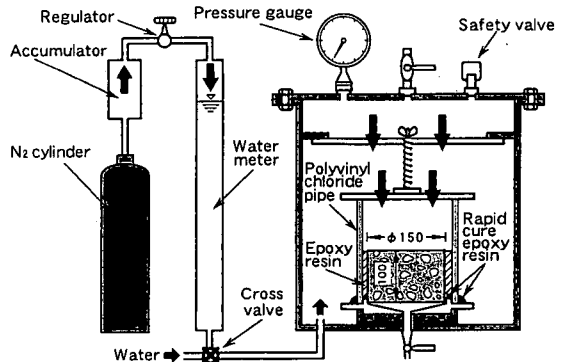


Fig. 5 Schematic diagram of water permeability test by input method

$$\beta^2 = \alpha \frac{Dm^2}{4t\xi^2} \quad (18)$$

ここに、 β^2 : 拡散係数 (m²/sec)
 α : 加圧時間に関する係数

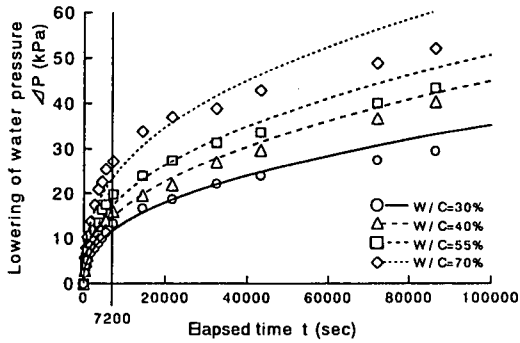


Fig. 6 Elapsed time t versus lowering of water pressure ΔP

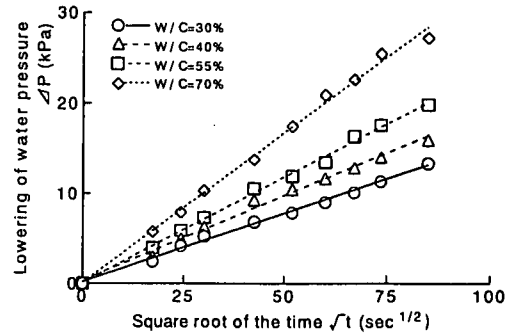


Fig. 8 Square root of elapsed time \sqrt{t} versus lowering of water pressure ΔP

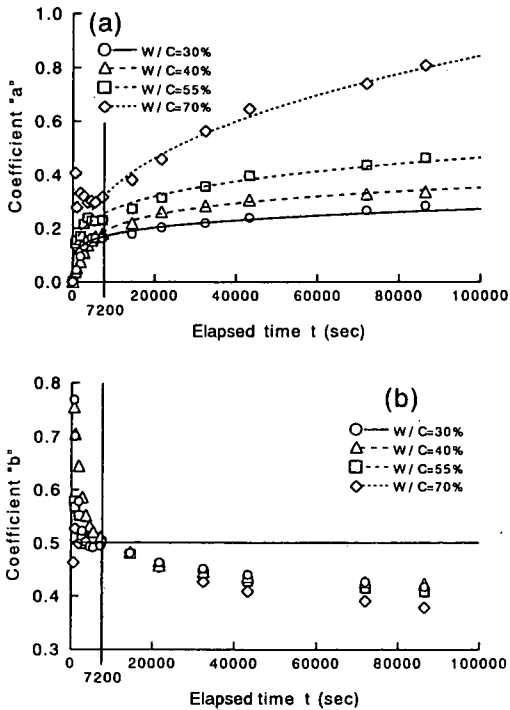


Fig. 7 Elapsed time t versus coefficient "a" or "b"

D_m : 水の浸透深さ (m)
 t : 加圧時間 (sec)
 ξ : 水圧の大きさに関する係数

4. 実験結果および考察

(1) 透水性状の時間的依存性と簡易透水係数の定義

Fig. 6 は透水時間を 24 時間とした時の測定時間 t と水圧低下量 ΔP の関係を水セメント比を要因とした場合について示したものである。両者の関係はべき乗式 (1) 式で近似できる。

Fig. 7 は任意時間 t までの測定データを用い、式 (1) より評価した係数 a および係数 b の値と時間 t との関

$$\Delta P = a \sqrt{t} \quad (19)$$

係を示したものである。

係数 a は測定時間とともに増加し、水セメント比による変化が大きい。係数 b は測定初期において水セメント比による変化は大きい、測定時間が 7,200 秒 (2 時間) 程度経過すると水セメント比に関係なく、係数 b はほぼ 0.5 近くの値をとるようになる。

べき乗式では係数 a と b の二つを求める必要があり、評価の簡易性に欠ける。そこで、係数 $b=0.5$ と固定すれば、(1) 式は (19) 式に変換でき、係数 a のみを透水性の指標値として扱うことができる。

Fig. 8 は、測定時間 7,200 秒までの測定時間の平方根 \sqrt{t} と水圧低下量 ΔP の関係を示したもので、式 (19) に示すように ΔP は \sqrt{t} の関数で表示できることを示している。

以上から、本試験では測定時間を 2 時間 (7,200 秒) までとし、係数 a を簡易透水係数と定義して、種々の検討を行った。

なお、Basheer ら²⁾ が提案する Clam water permeability test においても、透水量を測定時間の平方根から回帰し、その勾配を透水係数と定義しており、本試験法と同様な方法で透水性の指標値を求めている。

(2) 簡易透水係数に及ぼす各種要因の影響^{5), 6)}

Table 4 に、材齢、水セメント比、セメントの種類、骨材最大寸法、供試体の直径、即ち試験孔の間隔・エッジまでの距離、飽水係数および試験時の気温を要因とした場合の結果の一覧を示す。表には、簡易透水係数 a 、変動係数 V 、水の浸透深さ D_m 、透水が二次元的あるいは一次的に生じると仮定して拡散方程式の解から求めた拡散係数 (以下、二次元拡散係数 β_{II}^2 あるいは一次元拡散係数 β_I^2 と呼ぶ)、およびインプット室内透水試験から求めた拡散係数 β^2 を示した。

Table 4 Results in rapid tests and in indoor tests

Test items		Coefficient of rapid water permeability a (kPa/s ^{1/2})	Coefficient of variation V (%)	Depth of penetration of water Dm (mm)	Diffusivity by two dimensional solution β_{II}^2 ($\times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)	Diffusivity by one dimensional solution β_I^2 ($\times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$)	Diffusivity by Input method β^2 ($\times 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$)
Age +7 : drying period (day)	3+7	0.716	30.3	29.2	85.20	7.97	98.07
	7+7	0.412	21.9	16.1	10.30	2.17	29.40
	28+7	0.226	23.6	12.9	4.80	1.31	6.91
	91+7	0.147	18.5	7.7	1.15	0.46	1.43
Water to cement ratio (%)	30	0.157	20.5	10.8	2.82	0.90	1.19
	40	0.186	26.9	12.4	4.20	1.20	6.80
	55	0.226	23.6	12.9	4.80	1.31	6.91
	70	0.324	29.3	13.8	6.20	1.55	11.17
Type of cement	OPC	0.235	23.1	12.4	4.30	1.22	9.12
	HPC	0.118	20.7	8.2	1.38	0.53	5.36
	MPC	0.265	29.2	18.4	13.20	2.70	10.08
	BC	0.216	27.5	10.1	2.45	0.80	6.04
Maximum size of coarse aggregate (mm)	5	0.207	22.7	7.2	1.06	0.43	/
	15	0.278	24.4	9.2	2.21	0.72	
	20	0.223	28.8	15.4	7.75	1.10	
	25	0.256	23.9	14.0	7.42	2.02	
	40	0.386	41.5	14.8	8.63	1.38	
Diameter of specimen (mm)	50	0.289	39.9	15.2	9.50	1.86	/
	100	0.237	29.4	13.8	7.31	1.51	
	150	0.187	25.7	13.6	5.29	1.44	
	200	0.216	24.5	12.7	4.55	1.30	
Coefficient of water content (%)	27.7	1.040	38.6	28.7	152.0	8.90	/
	44.2	0.804	39.3	27.5	81.7	7.33	
	60.0	0.481	30.6	14.0	7.31	1.68	
	75.0	0.343	32.7	13.9	6.38	1.58	
	97.5	0.235	36.5	13.2	5.12	1.38	
Temperature in test (°C)	5	0.137	/	19.3	/	/	/
	20	0.127		12.9			
	35	0.333		8.2			

各種要因の影響について、これまでに得た知見^{5) 6)}を整理すると次のようである。

- 1) 簡易透水係数 a は、材齢、水セメント比およびセメントの種類による変化を反映し、組織の緻密化により低下する傾向を示す。
- 2) 簡易透水係数 a は骨材最大寸法が大きくなると増加する傾向を示す。
- 3) 簡易透水係数 a は、供試体の直径が 150 mm より小さいと増加する傾向を示し、試験孔の間隔およびエッジまでの距離に影響を受ける。
- 4) 簡易透水係数 a は、飽水係数 60~70% 以上で変化は小さいが、含水状態の影響は極めて大きく、構造体コンクリートへの適用にあたっては含水状態による補正方法について検討する必要がある。
- 5) 簡易透水係数 a は、測定時の気温が 5°C および 20°C においては変化を生じないが、35°C において大きく増加し、ゴムチューブの変形性能が温度に大きく依存するためと推察される。
- 6) 簡易透水係数 a の変動係数 V は、供試体の直径が小さい場合、骨材最大寸法が大きい場合、コンクリートが著しく乾燥または湿潤している場合、初期材齢および高水セメント比の場合で 30~40% と大きな値を示すが、これらを除いた場合の変動係数 V は 18~29%、平均 24% を示す。

(3) 簡易透水試験による二次元拡散係数の評価

Fig. 9~Fig. 14 に二次元拡散係数 β_{II}^2 の変化を示す。図にはインプット室内透水試験による拡散係数 β^2 の

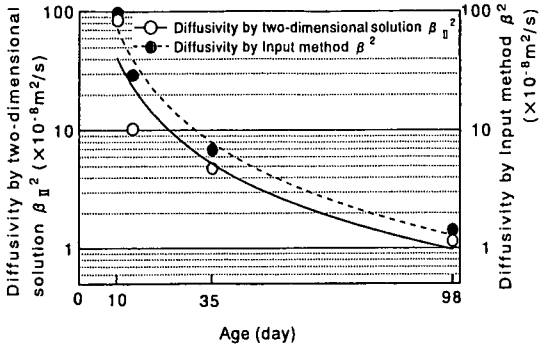


Fig. 9 Age versus diffusivity by two-dimensional solution β_{II}^2 and diffusivity by Input method β^2

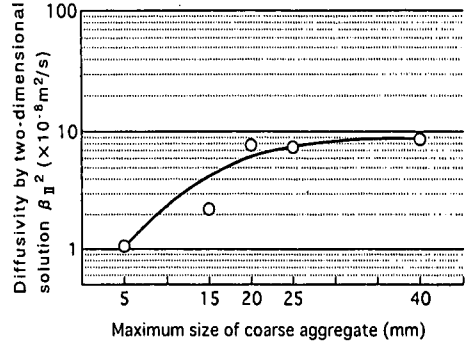


Fig. 12 Maximum size of coarse aggregate versus diffusivity by two-dimensional solution β_{II}^2

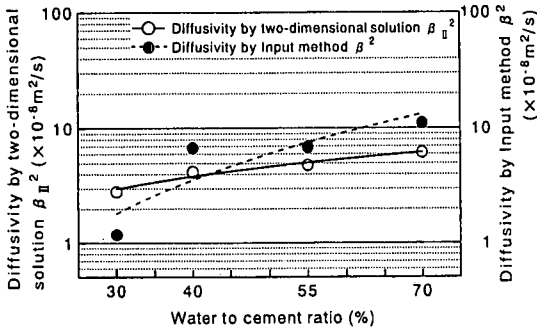


Fig. 10 Water to cement ratio versus diffusivity by two-dimensional solution β_{II}^2 and diffusivity by Input method β^2

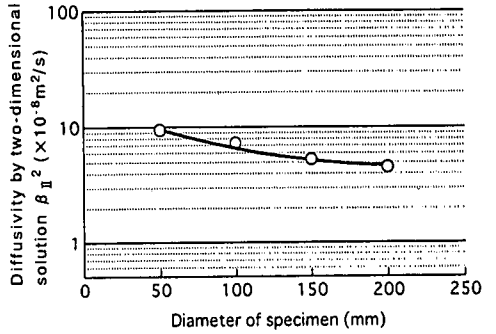


Fig. 13 Diameter of specimen versus diffusivity by two-dimensional solution β_{II}^2

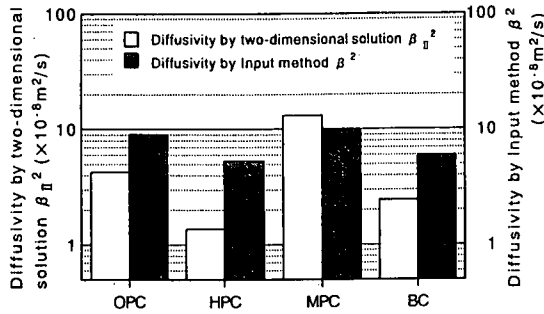


Fig. 11 Type of cement versus diffusivity by two-dimensional solution β_{II}^2 and diffusivity by Input method β^2

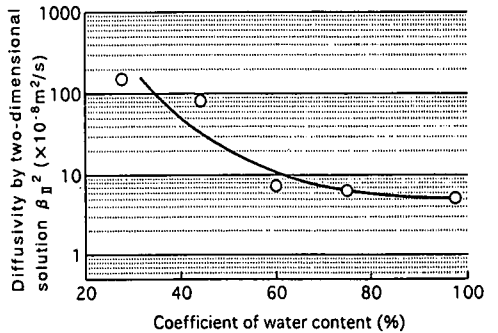


Fig. 14 Coefficient of water content versus diffusivity by two-dimensional solution β_{II}^2

変化も併せて示している。また、Fig. 15 に二次元拡散係数 β_{II}^2 と簡易透水係数 a の関係を示す。

二次元拡散係数 β_{II}^2 は、材齢、水セメント比、セメントの種類、骨材最大寸法、供試体直径による変化性状を反映し、簡易透水係数 a の変化と対応している。また、二次元拡散係数 β_{II}^2 は村田⁷⁾ の求めた拡散係数 (1~1000) $\times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ の範囲にあり、本試験より得られた試験条件によりほぼ対応する傾向にあることから、簡易透水試験は拡散係数を評価しうる室内簡

易試験としても適用可能であると思われる。

(4) 室内透水試験による拡散係数との関係

Fig. 16 にインプット室内透水試験による拡散係数 β^2 と簡易透水係数 a の関係を示す。Fig. 17 には拡散係数 β^2 と二次元拡散係数 β_{II}^2 の関係を示す。

室内透水試験による拡散係数 β^2 の変化は、Fig. 9 ~ Fig. 11 に見られるように、材齢、水セメント比およびセメントの種類による性状変化を反映しており、簡

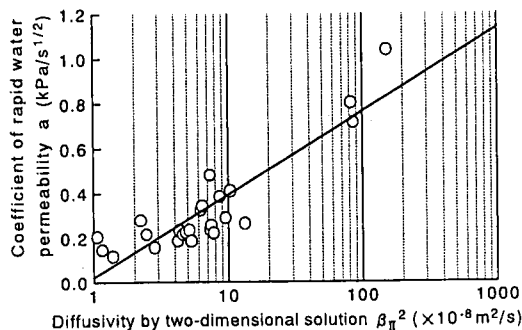


Fig. 15 Diffusivity by two-dimensional solution β_{II}^2 versus coefficient of rapid water permeability a

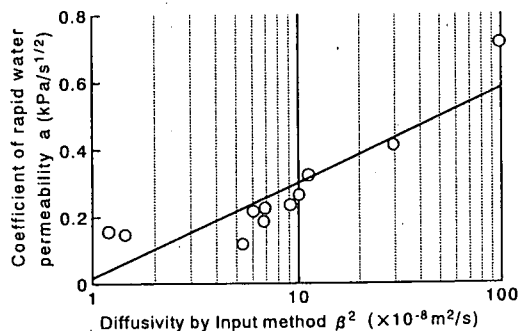


Fig. 16 Diffusivity by Input method β^2 versus coefficient of rapid water permeability a

易透水係数 a および二次元拡散係数 β_{II}^2 の変化と対応する。また、室内試験から求めた拡散係数 β^2 は簡易試験から求めた二次元拡散係数 β_{II}^2 とオーダー的にも近似する値を示す。

これらの結果は、簡易透水係数を透水性の指標値として用いることが可能であることを示唆していると考えられる。

5. 簡易透水試験の有用性と今後の課題

簡易透水試験はゴムチューブの加圧力を利用した試験法であり、装置本体の質量は約 700g と軽量である。試験装置のコンクリート面への固着は 38mm 角のアタッチメントをエポキシ樹脂を用いて接着するもので、圧力を負荷させる方式としては簡便な装置を用いており、試験の簡易性は高いと考えられる。

実構造物への適用においては、圧力負荷方式であるため、部材の上部、下部および側面など殆ど全ての位置で試験が可能であるが、ゴムチューブ部は柔軟性があるため、装置を自立させて取り付けのための工夫が必要である。

試験から得られる簡易透水係数の変動係数は 30%

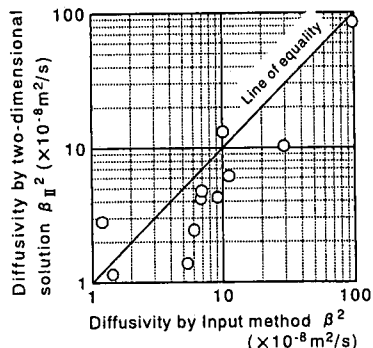


Fig. 17 Diffusivity by Input method β^2 versus diffusivity by two-dimensional solution β_{II}^2

程度以下と若干大きな値を示し、この値は、コンクリートの透水性そのもののばらつきと測定上のばらつきを含んでいるが、村田⁷⁾がインプット室内透水試験から求めた拡散係数の変動係数は 24~30% であり、試験精度は村田の行った試験とほぼ同等であると考えられる。GWT¹⁾、AUTOCLAM²⁾ および大岸ら³⁾の試験法による試験値の変動係数は不明であるが、100mm の水頭を設けて透水させる Figg 法は、一定質量となるように乾燥した供試体を用いても 32~40% の変動係数を示し⁹⁾、この点から推し量ると、本試験法の試験精度は良好であると考えられる。

簡易透水係数は、コンクリート表層部の透水性を良好に反映するとともに、拡散係数とも対応関係を示し、本試験法は現位置における透水性評価のための試験として、また、拡散係数を評価する室内簡易試験として適用可能であると思われる。

しかし、簡易透水係数は含水率によって大きく影響され、精度の高い試験を要求する場合は、含水率による補正方法を検討する必要がある。含水率の問題はこの種の透過性試験において共通の課題であり、簡易かつ精度の高い含水率測定法の開発が期待される。

この他、広範な構造物に適用するためには、初期圧力を変化させた時の特性に対する検討、35℃前後の高温下でも変形が小さいゴムチューブの材質に対する検討、およびコンクリートの劣化と透水性の関係についてのデータ集積と劣化指標値の検討などが必要である。

6. まとめ

簡易透水試験の有用性について種々検討した結果を以下にまとめる。

- (1) 本試験法の基本概念を明確にするため、透水現象が圧力の拡散理論式で表現できることを示した。また、試験小孔内の圧力変化を考慮した拡散方程式の解を示した。

(2) 簡易透水係数は2時間という短い時間の測定から、圧力の低下量と測定時間の平方根 \sqrt{t} との線形式の係数として求めることができる。

(3) 簡易透水試験による透水性状は、測定時のコンクリートの含水状態に大きく影響を受けるが、材齢、水セメント比、セメントの種類および骨材最大寸法によるコンクリート品質の変化を反映し、簡易透水係数の変動係数は、特殊な場合を除くと18~29%、平均24%を示す。

(4) 簡易透水係数と理論解析による拡散係数は、室内試験から求めた拡散係数と対応関係を示し、簡易透水試験法は拡散係数を評価するための室内簡易試験としても適用可能である。

(5) 簡易透水試験法はゴムチューブの温度依存性の改善など解決すべき問題を残しているが、圧力を負荷する試験法としては装置が簡便であり、現位置における透水性評価のための試験法として期待がもてる。

謝辞：本研究の遂行において、日本大学工学部 原忠勝教授、ショーボンド建設補修工学研究所 土門勝司氏（現在 化工建設株式会社技術部 勤務）より多大なるご協力をいただいた。記して謝意を表します。

付 録

新たな変数 ξ を次のようにとる。

$$\xi = \frac{r - r_0}{2\beta\sqrt{t}} \quad (\text{付 1})$$

よって、各微分作用素は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} &= -\frac{1}{2t} \frac{\partial}{\partial \xi} \\ \frac{\partial}{\partial r} &= \frac{1}{2\beta\sqrt{t}} \frac{\partial}{\partial \xi} \\ \frac{\partial^2}{\partial r^2} &= \frac{1}{4\beta^2 t} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} \end{aligned} \right\} \quad (\text{付 2})$$

よって、式(10)は次のようになる。

$$-\frac{1}{2t} \frac{\partial p}{\partial \xi} = \frac{1}{4t} \left\{ \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi + \zeta} \frac{\partial}{\partial \xi} \right\} p \quad (\text{付 3})$$

$$\text{ここに } \zeta = \frac{r_0}{2\beta\sqrt{t}} \quad (\text{付 4})$$

式(付3)は、次式(付5)のように書き改められる。

$$\frac{\partial^2 p}{\partial \xi^2} + \left(\frac{1}{\xi + \zeta} + 2\xi \right) \frac{\partial p}{\partial \xi} = 0 \quad (\text{付 5})$$

いま、次のように

$$\frac{\partial}{\partial \xi} = D_\xi \quad (\text{付 6})$$

とおくと、式(付5)は次式のようになる。

$$\{D_\xi^2 + \left(\frac{1}{\xi + \zeta} + 2\xi \right) D_\xi\} p = 0 \quad (\text{付 7})$$

式(付7)の解として次式を得る。

$$D_\xi p = \frac{e^{-\xi^2}}{\xi + \zeta} \quad (\text{付 8})$$

式(付8)の解として次式を得る。

$$p = c_1 - c_2 \int_\xi^\infty \frac{e^{-u^2}}{u + \zeta} du \quad (\text{付 9})$$

式(付9)は式(付7)を満足している。積分定数 c_1 および c_2 が、初期条件式(12)および境界条件式(13)を満足するようにとられるならばそれが求める解となる。

いま、 $-c_2$ を新たに c_2 とし、さらに、新たに $f(\zeta)$ を次のように

$$f(\zeta) = \int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{u + \zeta} du \quad (\text{付 10})$$

とおくと、式(付9)は次式のように表わされる。

$$p = c_1 + c_2 f(\zeta) \left\{ 1 - \frac{1}{f(\zeta)} \int_0^\xi \frac{e^{-u^2}}{u + \zeta} du \right\} \quad (\text{付 11})$$

c_1 は、初期および境界条件より、すなわち、 $t=0$ および $\xi \rightarrow \infty$ にて、 $p=0$ より、 $c_1=0$ となる。よって、次式を得る。

$$p = c_2 f(\zeta) \left\{ 1 - \frac{1}{f(\zeta)} \int_0^\xi \frac{e^{-u^2}}{u + \zeta} du \right\} \quad (\text{付 12})$$

次に、境界条件を満足するように積分定数 c_2 を取る。いま、 $r=r_0$ 、 $t=\lambda$ にて $p_0 = F(\lambda) = u_0$ とする。すなわち、式(付12)より、中空部の圧力は次のようになる。

$$\begin{aligned} p &= c_2 f(\zeta_\lambda) \left\{ 1 - \frac{1}{f(\zeta_\lambda)} \int_0^{\xi_\lambda} \frac{e^{-u^2}}{u + \zeta_\lambda} du \right\} \Big|_{\xi_\lambda=0} \\ &= c_2 f(\zeta_\lambda) = u_0 \end{aligned} \quad (\text{付 13})$$

$$\text{ここに } \zeta_\lambda = \frac{r_0}{2\beta\sqrt{t-\lambda}} \quad \xi_\lambda = \frac{r-r_0}{2\beta\sqrt{t-\lambda}} \quad (\text{付 14})$$

よって、積分定数 c_2 は時間 λ においては、次のようになる。

$$c_2 = \frac{u_0}{f(\zeta_\lambda)} \quad (\text{付 15})$$

よって、圧力 p は次式で表わされる。

$$p(r, t-\lambda) = u_0 \left\{ 1 - \frac{1}{f(\zeta_\lambda)} \int_0^{\xi_\lambda} \frac{e^{-u^2}}{u+\zeta_\lambda} du \right\} \quad (\text{付 16})$$

いま、 ϕ を次のようにおくと、

$$\phi = 1 - \frac{1}{f(\zeta_\lambda)} \int_0^{\xi_\lambda} \frac{e^{-u^2}}{u+\zeta_\lambda} du \quad (\text{付 17})$$

圧力 p は次式のようになる。

$$p(r, t-\lambda) = u_0 \phi(r, t-\lambda) \quad (\text{付 18})$$

式(付 18)は $t < \lambda$ にて $p=0$ 、 $t > \lambda$ にて $p|_{r=r_0} = p_0$ を満たす解となる。しかし、これは時刻 λ における瞬間において中間部の圧力を満たしているだけである。何故ならば、中空部の圧力は変動しているからである。しかし、いま、その時刻の前後は近似的に式(付 18)で圧力を表現できるようにする。すなわち、 u_0 は $\Delta\lambda$ 時間内で近似されているものとする。そうすると、時間 $\lambda + \Delta\lambda$ 以降は式(付 18)は正しくない。よって、App. Fig. 1 に示すように、 $\lambda \sim \lambda + \Delta\lambda$ で正しい圧力 p_s は次のようになる。

$$\begin{aligned} p_s &= u_0 \{ \phi(r, t-\lambda) - \phi(r, t-\lambda-\Delta\lambda) \} \\ &= u_0 \left[\phi(r, t-\lambda) - \left\{ \phi(r, t-\lambda) + \frac{\partial \phi(r, t-\lambda)}{\partial \lambda} \Delta\lambda \right\} \right] \\ &= u_0 \left\{ - \frac{\partial \phi(r, t-\lambda)}{\partial \lambda} \Delta\lambda \right\} \end{aligned}$$

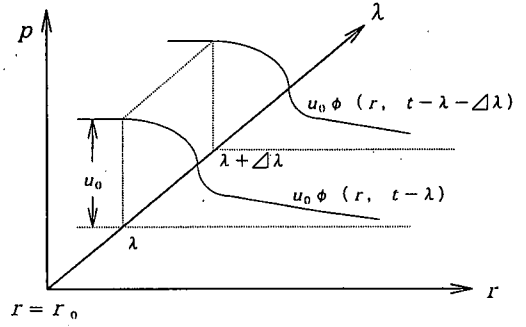
ここで、次に示すように、 t と λ の微分は交換可能となる。

$$- \frac{\partial \phi(r, t-\lambda)}{\partial \lambda} = \frac{\partial \phi(r, t-\lambda)}{\partial t} \quad (\text{付 19})$$

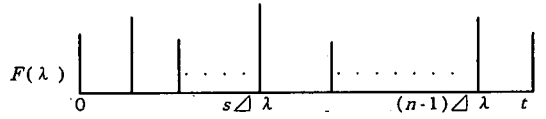
これより、圧力 p_s は次のようになる。

$$p_s = u_0 \frac{\partial \phi(r, t-\lambda)}{\partial t} \Delta\lambda \quad (\text{付 20})$$

よって、 $\lambda = 0 \sim \lambda$ では $p|_{r=r_0} = F(\lambda)$ となるので、App. Fig. 2 より、圧力 p は次式で表わされる。



App. Fig. 1 Approximation of $\Delta\lambda$



App. Fig. 2 Approximation on the time $s\Delta\lambda$

$$p = \sum_{s=0}^{n-1} F(s\Delta\lambda) \frac{\partial \phi}{\partial t} \Delta\lambda \quad (\text{付 21})$$

よって、

$$p = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \sum_{s=0}^{n-1} F(s\Delta\lambda) \frac{\partial \phi}{\partial t} \Delta\lambda$$

とすると、中空部の圧力が変動する境界条件を満たす解として次式(付 22)を得る。

$$p = \int_0^t F(\lambda) \frac{\partial \phi(r, t-\lambda)}{\partial t} d\lambda \quad (\text{付 22})$$

式(付 22)を r, t で表わすと次式(付 23)のようになる。

$$\begin{aligned} p &= \int_0^t F(\lambda) \left[\frac{\frac{r_0}{4\beta(t-\lambda)^{3/2}} \int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{\left(u + \frac{r_0}{2\beta\sqrt{t-\lambda}}\right)^2} du}{\left\{ \int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{u + \frac{r_0}{2\beta\sqrt{t-\lambda}}} du \right\}^2} \right. \\ &\quad \times \left. \int_0^{\frac{r-r_0}{2\beta\sqrt{t-\lambda}}} \frac{e^{-u^2}}{u + \frac{r_0}{2\beta\sqrt{t-\lambda}}} du \right. \\ &\quad \left. - \int_0^{\frac{r-r_0}{2\beta\sqrt{t-\lambda}}} \frac{r_0}{4\beta(t-\lambda)^{3/2}} \frac{e^{-u^2}}{\left(u + \frac{r_0}{2\beta\sqrt{t-\lambda}}\right)^2} du \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \frac{r-r_0}{2\beta(t-\lambda)^{3/2}} \frac{e^{-\left(\frac{r-r_0}{2\beta\sqrt{t-\lambda}}\right)^2}}{\frac{r-r_0}{2\beta\sqrt{t-\lambda}} + \frac{r_0}{2\beta\sqrt{t-\lambda}}} \right] d\lambda \quad (\text{付 23}) \end{aligned}$$

また、中空部の圧力 $F(\lambda)$ が単純な変動をしている場合には以下に示す解 p を使用した方が便利である。すなわち、式(付 19)より解式(付 22)は次式のようにになる。

$$p = -[F(\lambda)\phi(r, t - \lambda)]'_0 + \int_0^t \frac{\partial F(\lambda)}{\partial \lambda} \phi(r, t - \lambda) d\lambda \quad (\text{付 24})$$

式(付 24)右辺第 1 項は ϕ が次のように、

$$\phi(r, t - \lambda)|_{\lambda=t} = 1 - 1 = 0 \quad (\text{付 25})$$

$$\phi(r, t - \lambda)|_{\lambda=0} = 1 - \frac{1}{\int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t}u+r_0} du} \int_0^{r-r_0} \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t-\lambda}u+r_0} du \quad (\text{付 26})$$

となるので、式(付 23)は次のように表わされる。

$$\begin{aligned} p = F(0) & \left\{ 1 - \frac{1}{\int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t}u+r_0} du} \right. \\ & \times \left. \int_0^{r-r_0} \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t-\lambda}u+r_0} du \right\} \\ & + \int_0^t \frac{\partial F(\lambda)}{\partial \lambda} \left\{ 1 - \frac{1}{\int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t-\lambda}u+r_0} du} \right. \\ & \times \left. \int_0^{r-r_0} \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t-\lambda}u+r_0} du \right\} d\lambda \quad (\text{付 27}) \end{aligned}$$

ここで、解の計算を容易にするために、次に示す変数 τ を導入する。

$$\tau = \frac{\lambda}{t} \quad (\text{付 28})$$

また、 ϕ は次に示すように、

$$\phi(r, t) = 1 - \frac{1}{\int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t}u+r_0} du} \int_0^{r-r_0} \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t}u+r_0} du$$

$$= \frac{1}{\int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t}u+r_0} du} \int_{\frac{r-r_0}{2\alpha\sqrt{t}}}^{\frac{r-r_0}{2\alpha\sqrt{t}}} \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t}u+r_0} du \quad (\text{付 29})$$

同様に、

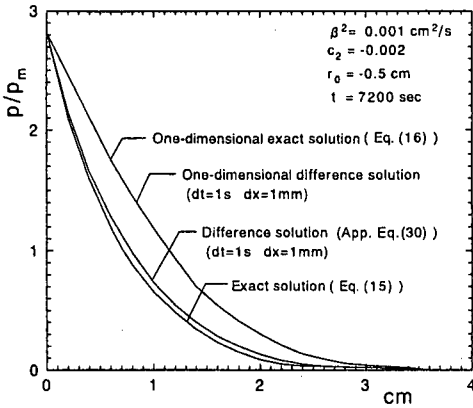
$$\begin{aligned} \phi(r, t - \lambda) &= 1 - \frac{1}{\int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t-\lambda}u+r_0} du} \\ & \times \int_0^{\frac{r-r_0}{2\beta\sqrt{t-\lambda}}} \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t-\lambda}u+r_0} du \\ &= \frac{1}{\int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t-\lambda}u+r_0} du} \\ & \times \int_{\frac{r-r_0}{2\alpha\sqrt{t-\lambda}}}^{\frac{r-r_0}{2\alpha\sqrt{t-\lambda}}} \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t-\lambda}u+r_0} du \quad (\text{付 30}) \end{aligned}$$

と表わせるので、結局、圧力分布 p は式 (15) で与えられる。

$$\begin{aligned} p = F(0) & \frac{1}{\int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t}u+r_0} du} \int_0^{r-r_0} \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t}u+r_0} du \\ & + \int_0^t \frac{\partial F}{\partial \tau} \frac{1}{\int_0^\infty \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t(1-\tau)u+r_0} du} du d\tau \\ & \times \int_{\frac{r-r_0}{2\beta\sqrt{t(1-\tau)}}}^{\frac{r-r_0}{2\beta\sqrt{t(1-\tau)}}} \frac{e^{-u^2}}{2\beta\sqrt{t(1-\tau)u+r_0} du d\tau \quad (15) \end{aligned}$$

式 (15) は、きわめて複雑な解析解であり、解の計算も容易でない。それは、被積分関数が $\tau=1$ 近くで急変し、積分には性質の悪い関数となっているからである。ここで、計算が単純で、解が容易に求まる差分解を示すと次のようになる。

$$\begin{aligned} p_i^{n+1} &= p_i^n + \Delta t \beta^2 \frac{p_{i+1} - 2p_i + p_{i-1}}{(\Delta r)^2} \\ & + \Delta t \beta^2 \frac{1}{r_i} \frac{p_{i+1} - p_{i-1}}{2\Delta r} \quad (\text{付 31}) \end{aligned}$$



App. Fig. 3 Difference solution and exact solution

App. Fig. 3 は、それぞれの解を比較したもので、中空部の圧力 $F(\tau)$ は次のようにとられている。

$$F(\tau) = (c_1 + c_2 \sqrt{t} \sqrt{\tau}) p_m \quad (\text{付 32})$$

ここに、 p_m : 場の代表的な圧力 (98 kPa)

App. Fig. 3 において、差分解は $\Delta t = 1 \text{ s}$ 、 $\Delta r = \Delta x = 1 \text{ mm}$ としており、 $\beta^2 = 0.0001$ の場合、一次元解では、この Δt と Δx で差分解と厳密解は一致しているが、二次元の場合には、差分解は定性的な傾向は一致しているが、厳密解式(15)よりやや大き目の値になっている。差分間隔をさらに細かくすると、差分解は二次元の場合でも厳密解と一致する。拡散係数 β^2 が大きい場合にはさらに、差分間隔並びに差分スキームを工夫する必要がある。

参考文献

- 1) Germann Instruments : GWT-4000, Germann's water permeation test ; Instruction and Maintenance Manual, Germann Instruments A/S, 4p., 1996.3.
- 2) Basheer, P.A.M., Montgomery, F.R. and Long, A.E.: The autoclam permeability system for measuring the in-situ permeation properties of concrete, International Conference on NDT in Civil Engineering, The British Institute of Non-destructive Testing, Vol.1, pp.235-260, 1993.4.
- 3) 大岸佐吉, 棚橋勇, 小野博宣, 水谷且哉: 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, 第 8 回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.113-116, 1986.6.
- 4) 庄谷征美, 月永洋一: コンクリートの簡易透水試験法に関する一検討, 第 21 回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.23-28, 1994.10.
- 5) 月永洋一, 庄谷征美, 杉田修一, 石橋学: 簡易試験による表層部コンクリートの透過性評価に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.50, pp.290-295, 1996.12.
- 6) 月永洋一, 庄谷征美, 笠井芳夫, 土門勝司: 簡易試験による表層部コンクリートの透過性評価に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.506, pp.7-14, 1998.4.
- 7) 村田二郎: コンクリートの水密性に関する研究, 土木学会論文集, 第 77 号, pp.69-103, 1961.11.
- 8) 佐々木幹夫, 庄谷征美, 月永洋一: コンクリートの透水性に関する理論的考察, 八戸工業大学紀要, 第 16 巻, pp.117-124, 1997.2.
- 9) Dhir, R.K., Hewlett, P.C. and Chan, Y.N. : Near-surface characteristics of concrete; assessment and development of in situ test methods, Magazine of Concrete Research, Vol.39, No.141, pp.183-195, 1987.12.

(1998. 9. 14 受付)

A FUNDAMENTAL STUDY ON DEVELOPMENT OF RAPID WATER PERMEABILITY TEST FOR NEAR-SURFACE LAYER OF CONCRETE

Masami SHOYA, Yoichi TSUKINAGA, Mikio SASAKI and Shuichi SUGITA

The applicability of new in-situ testing method for permeability of surface layer of concrete, whose original concept has been proposed by authors using water pressure originated from rubber tube, is examined.

In order to make clear a basic concept of this "rapid water permeability test" method, the water permeation from the test hole was presented by a basic equation concerning pressure diffusion. The effects of factors relating to the water permeation were summarized using the diffusivity estimated from the basic diffusion equation, and the mutual relationship between the diffusivity in the estimation and that obtained in conventional in-door water permeability test, was examined.

In conclusion, this method was judged promising for the in-situ test to assess the water permeability and the simplified in-door test to assess the diffusivity in the surface layer of concrete.