構造体コンクリートの表層透気性評価におけるシングルチャンバー法の適用性の検討

APPLICABILITY OF SINGLE CHAMBER METHOD FOR EVALUATING THE AIR PERMEABILITY OF COVER CONCRETE

今本 啓一*, 山崎 順二**, 下澤 和幸***, 永山 勝****, 二村 誠二*****

*Keiichi IMAMOTO, Junji YAMASAKI, Kazuyuki SHIMOZAWA,
Masaru NAGAYAMA and Seiji NIMURA*

Permeability of cover concrete strongly affects the durability performance of reinforced concrete structures. This paper deals with a single-chamber method to evaluate the air-permeability of the cover concrete. The original methods have been developed by Schönlin and Hilsdorf in 1987 and by Berissi et al. also in 1987, respectively. In Japan, over 400 thousand RC buildings are newly constructed per year. Hence, authors intend to develop a simplified air-permeability test method which would be suitable to the diagnosis by contractors (not expert engineers). A correlation between the air permeability indexes (A.P.I.) of the proposed method and the air permeability ($K_{\text{cembureau}}$) of RILEM TC PCD method (Cembureau method) was quite good. In this study, the air-permeable area and variances of the full sized concrete walls from the view point of air-permeability were also experimentally investigated.

Keywords: Air permeability, Non-destructive, Cover concrete, Single-chamber, Vacuum, Carbonation depth

透気性, 非破壊, かぶりコンクリート, シングルチャンバー, 吸引, 中性化深さ

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の耐久性能は、一般に、鉄筋の腐食度合いで定義されるが、コンクリート内部に有害物質が無い限り、鉄筋を腐食せしめる因子は外的環境よりかぶり部分のコンクリートを通して侵入する。したがって、この表層部かぶりコンクリートの粗密の評価を行うことができれば、鉄筋コンクリート構造物の耐久性評価に大きく貢献できると考えられる。一方国内では年間約 40 万件のコンクリート系構造物が建設されている¹⁾。この膨大な数に対応する試験方法に要求される性能として、迅速・簡便性が一つにあげられる。本研究は、表層かぶりコンクリートの緻密性を簡易にかつ迅速に評価する試験方法として、Schönlin, Hilsdorf²⁾, Berissi³⁾, 福島⁴⁾らが開発したチャンバーを原型とした簡易な透気試験方法の適用性を実験室レベルおよび実構造物レベルで検証した結果を述べるものである。

2. 既往の研究における本研究の位置づけ

実構造物の表層透気性に関する研究は古くより行われており、1994年に氏家によって当時の研究成果が吸水性・透水性も含めて紹介されている⁵⁾。この分野の試験方法は大きく2つ、すなわち、Figg⁶⁾によって提案された「削孔法」とコンクリート表面に装置を取り付ける「表面法」

に分類することが可能である⁷⁾。Figgによって開発された削孔法は、Dhirら⁸⁾によって精度改善のための減圧レベル、削孔径の検討がなされた。Kasaiら⁹⁾はこの削孔の間隔などについて実験的な検討を行い、削孔粉を用いた中性化深さ、塩分含有量試験、削孔を用いた吸水試験との組み合わせにおける構造物の耐久性評価方法を提案している¹⁰⁾。一方、加圧を主体とした手法が削孔法も提案されており、Reinhardtら¹¹⁾によって開発されたTUD法は窒素ガスを使用し、50~35kPaにおける圧力変化の時間を測定する。他にもHong-Parrot法¹²⁾、孔周辺の流出ガスを捕集して透気係数を算定するPaulmann法¹³⁾そしてHansen, Ottosenら¹⁴⁾によって開発されたGerman法がある。German法は、空気の流れに対して半無限体に作用する圧力による一次元流れを仮定し、ダルシー則を基本に理論式を導出し、その理論曲線と実験値の一致点をもって透気係数を算定している。表面法は「シングルチャンバー法」と「ダブルチャンバー法」に分類される。本研究のプロトタイプとするSchönlin, Hilsdorfによって開発されたシングルチャンバー法は試験時間が短く、取り扱いも簡便であるが、床に対してはブリーディングやこて仕上げなど、壁に対しては早期脱型などによって形成されるごく表層部の粗な組織(Skin)の存在が致命的な誤差をもたらす可能性があることが報告されている¹⁵⁾。Torrent法¹⁶⁾は内部セルと外部セルの

本論は、文献22), 23)に新たな知見と考察を加えて再構成したものである。

* 足利工業大学工学部建築学科 助教授・博士(工学)

** 榊沼組技術研究所 主任

*** 財団法人建築総合試験所材料部材料試験室

**** 財団法人建築総合試験所材料部 部長・博士(工学)

***** 大阪工業大学工学部建築学科 助教授

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Ashikaga Institute of Technology, Dr. Eng.
Senior Research Engineer, Asanuma Corporation
Mat. Lab. Material Dept., General Building Research Corporation of Japan
Manager, Mat. Lab. Mat. Dept., General Building Research Corporation of Japan,
Dr. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Osaka Institute of Technology

二つのセル（ダブルチャンバー）中の圧力を平衡させて内部セルにおけるコンクリート表層部の透気性を評価する。シングルチャンバー法と比較して若干の時間と特殊な装置を要するこの試験方法は、シングルチャンバーの最大の弱点である Skin の影響を物理的に排除し、透気性を評価する上でベンチマーク試験として位置づけられる RILEM TC 116-PCD 法(Cembureau 法)¹⁷⁾とほぼ一致する空気流を原位置試験で実現した点で特筆される。Zia-Guth 法¹⁸⁾は、同種のダブルチャンバー法として、弁が閉ざされた内部チャンバーから外部チャンバーへの空気流入による圧力変化により透気性を評価する。

各種存在するコンクリートの表層透気試験方法は、その精度・取り扱いの簡便性も様々である。これらの試験方法の特性を統一的に評価する共通試験も RILEM によって実施されている¹⁹⁾。一方、わが国においては年間約 40 万件のコンクリート系構造物が建設されている。これら膨大な数の構造物に対応する試験方法には精度のみならず簡便・迅速であることが要求される。そこで本論は、Schönlin²⁰⁾らによるシングルチャンバー法による透気試験方法をプロトタイプとし、気密性の観点、コンクリートの含水率の影響評価の観点から検討を行った所産としての改良試験方法の、試験室レベルおよび実構造物レベルにおけるその試験方法の適用性について述べる。

3. シングルチャンバー法

3.1 接着樹脂の適用性の検討

既往の表面法におけるチャンバーとコンクリート表面は、多くの場合、シール材によって接着が図られている。本論ではこのシール材として市販の酢酸ビニル系樹脂²⁰⁾の適用性を検討する。用いるチャンバーは福島ら⁴⁾によって提案されたものと同じである（図 1）。

図 1 シングルチャンバーの形状⁴⁾

ここで透気指数(Air permeability index: A.P.I.)は下式により算定する。

$$A.P.I. = \frac{33.3 - 16.0}{T} \quad (1)$$

ここに、

T: 33.3 ~ 16.0kPa における経過時間(Sec.)

使用材料を表 1、計画調合を表 2 に示す。

表 1 使用材料

材料	物性
セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	山砂 表乾密度 2.55g/cm ³ 吸水率 2.15%
混和剤	高性能 AE 減水剤

表 2 計画調合

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)			混和剤転嫁率(%)
	水	セメント	細骨材	
70	313	449	1349	—
50	286	573	1180	0.30
30	261	870	1012	1.40

試験体は 300×300mm、厚さがそれぞれ 10、20、50、100mm のモルタル板を使用した。試験体作成には合板型枠を用い、縦置きでモルタルを打設した。試験体は打設後 4 日まで上面をラップし、脱型後 24 日間 20℃水中養生し、その後 20±3℃、60±5%の恒温恒湿室にて 1 ヶ月間気中養生した。その後 110℃乾燥機に 12 日間、ラップした状態で恒温恒湿室に 2 日間存置し、絶乾に近い状態でまず、透気指数を測定した。その後試験体表面に水分を段階的に噴霧し、1 時間後に透気指数をそれぞれ測定した。なお、表面含水率の測定には、静電容量押当て式含水率測定器による指示値を用いた。

試験結果を図 2 に示す。図に示されるように含水率の指示値の増加に伴い、透気指数はモルタルの厚さ、W/C に関わらず低下する傾向にある。これは水噴霧によるコンクリート表層の水分が空气の透過経路を遮断したためと考えられ、本実験では含水率指示値として 8%強で透気指数はほぼ 0 近くになっている。このことはすなわち、本試験に用いた樹脂により、限られた範囲の検証ではあるが、セメント系材料表面の凹凸部とチャンバー間における気密性が確保できることを意味している。したがって、以降の試験では気密性を担保するための接着材として、酢酸ビニル系樹脂を用いることとした。

図 2 含水率指示値と透気指数 (A.P.I.) の関係

3.2 樹脂によるシール幅の検討と透気領域

図 1 に示すチャンバーにより、コンクリートを対象としたシール幅の検討を行った。使用材料と計画調合を表 3、4 に示す。

表 3 使用材料

使用材料	物性
セメント C	普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm ³
水 W	上水道水
細骨材 S	山砂 (枚方産) 密度: 2.57g/cm ³ 、FM: 2.75
粗骨材 G	碎石 (高槻産) 密度: 2.68g/cm ³ 、実積率: 58%
混和剤 Ad	N:AE 減水剤, H:高性能 AE 減水剤

表 4 計画調合

供試体記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 kg/m ³				Ad 添加率(%)
			W	C	S	G	
45-197	45	45.7	197	438	754	933	H:0.6
55-198	55	47.4	198	360	805	933	N:1.0
55-165	55	48.8	165	300	853	933	N:1.3

1ヶ月水中(20℃)養生後11ヶ月間気中(20℃, 60%R.H.)に存置した300×300×厚さ100mmの試験体において、チャンバー周辺アルミ箔テープを1cmづつ貼り増し、表層における空気流入経路を段階的に遮断し(図3)、透気指数の変化を測定した。

図3 アルミ箔テープの貼り増し

図4はアルミ箔テープの貼り増しにともなう透気指数比の変化を示したものである。ここで透気指数比は、アルミ箔無しの状態の透気指数を1.0とした場合の各貼り増し時の透気指数の比を意味する。図に示されるように、表層部からの空気流入経路を遮断することにより、透気指数比は低下するが、その遮断幅が2~3cm以上では透気指数に大きな変化はみられない。従って、十分に養生された、表層から内部における組織が概ね均質と仮定される本試験体を用いた実験の範囲内において、コンクリートにおける透気領域は2~3cm程度と予想される。また、チャンバーとコンクリートのアタッチメント幅を2cm確保することにより、透気領域をチャンバー直下に概ね限定できるとともに、従来⁴⁾の「線」(図1)ではなく、「面」による安定した気密確保が可能になると考えた。

図4 透気指数の変化

なお、この透気試験方法はTorrent¹⁵⁾によって指摘されているように、型枠の早期脱型などによって形成されるコンクリートのごく表層部の脆弱層(Skin)の影響を受けることが考えられる。そこで、シール幅を図5に示すように2cmとして、各種水セメント比(42.5, 55.5, 71.5%)・型枠脱型材齢(1, 3, 7, 14日)における透気領域を検討した。

実験で使用したコンクリートの使用材料、計画調合そして基礎物性を表5、表6、表7にそれぞれ示す。ここで検討する試験体は、表層と内部における組織構造が明らかに異なるため、前述の均質を仮定した試験方法は適用できない。そこで、写真1,2に示すように、コンクリート内部に設置(図5)した真鍮管に接続された圧力センサーにより、内部圧力を直接的に測定し、透気領域を検討した。圧力分布の測定結果は水セメント比ごとの差が顕著ではなかったため、一例としてW/C55.5%における結果を図6に示す。なお圧力は、透気試験時の圧力変化によって時々刻々変化(増加)するため、ここでは透気試験終了時における圧力値をプロットした。

表5 使用材料

セメント(C)	普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm ³)
細骨材(S)	①砕砂 表乾密度2.62g/cm ³ 吸水率1.38%
	②陸砂 表乾密度2.59g/cm ³ 吸水率1.63%
粗骨材(G)	砕石 表乾密度2.68g/cm ³ 実積率59.0%
混和剤	高性能AE減水剤(H)
	AE減水剤(N)

表6 調合表

No.	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤
			W	C	S①	S②	G	
1	42.5	45.2	174	410	537	230	957	H:Cx0.7%
2	55.5	49.6	180	325	608	261	909	N:Cx0.25%
3	71.5	51.2	180	252	650	279	909	N:Cx0.25%

表7 基本物性試験結果

No.	スランブ (cm)	スランブフロー (cm×cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(℃)	F ₂₈ (N/mm ²)
1	20.0	34.0×30.0	3.0	26.0	40.8
2	16.0	21.0×23.0	3.5	28.0	38.3
3	15.0	-	3.0	27.8	28.5

図5 圧力測定位置

写真1 真鍮管先端の処理

写真2 真鍮管の配置および試験状況

図6に示されるように、チャンバー中心においては深さ方向15mm程度までは圧力が伝達されていることが確認できる。一方アタッチメント部真下において圧力は急激に低下し、チャンバーの外側においては圧力がほとんど伝わっていない。伝達される圧力の大小は養生材齢によって異なるが、圧力伝達領域(透気領域とみなす)は、他のW/Cのコンクリートも含めてほぼ同様であった。

以上のことから型枠脱型材齢を種々変化した試験体における本試験方法の透気領域は、前述とほぼ同様に、コンクリート表層部15~20mm程度と考えられ、本実験条件の範囲内では、アタッチメント外部での空気の移動はほとんど無いものと判断される。

図6 コンクリート内部の圧力分布

3.3 コンクリートの含水状態の評価

透気試験に及ぼす含水率の影響の大きいことは一般に指摘される⁷⁾。この影響を考慮するためにはコンクリート中の含水率を把握する必要があるが、その含水率を原位置で精度よく測定する方法は未だ確立されていない。一方、吸引による透気性試験はその過程で、コンクリート中の水分も周囲から表層部に引き寄せることは容易に推察される。この推察に基づき、コンクリートの含水状態の影響評価方法を検討した。使用材料を表3、計画調査を表8に示す。

表8 計画調査

供試体記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 kg/m ³				Ad.添加率 (%)
			W	C	S	G	
60-195	60	48.8	195	300	853	933	N:1.3

300×300×厚さ 100mm の板試験体を対象とし、試験体は1ヶ月間標準水中養生後、2種類の条件下で試験を行った。すなわち1つは湿気(R.H.100%)空間内に約3ヶ月間存置した比較的含水率が高い(Wet condition)と想定されるもの、もう1つはその後、20±3℃、60±5%恒温恒湿室に存置したもの(Dried condition)である。表面含水率は静電容量法により評価した。同一箇所における透気指数と含水率の測定を3回繰り返し、その変化を調査した。これを図7に示す。Wet conditionでは試験回数の増加に伴い、含水比(1回目の含水率指示値を1.0とした場合の各指示値の比)が増加するとともに、透気指数比も低下してい

る。一方、Dried conditionの試験体では、試験回数にともなう含水率と含水比・透気指数比の変化は相対的に小さい。したがって、透気試験前後の相対的な含水率指示値の変化を評価することにより、おおよそではあるが、透気試験に影響を及ぼす試験体含水率の多少を把握することが可能と考えられる。

図7 試験回数にともなう透気指数と含水率指示値の変化

3.4 提案する試験方法の手順

上記の検討に基づいた本試験手順は以下の通りである。

1. 試験位置において静電容量を測定する(写真3参照)。
2. 2cm幅のシリコンリング(内径11.5cm)を酢酸ビニル樹脂により接着する(写真4参照)。
3. シリコンリング上へシングルチャンバー(セパブルカバー: 内径12.0cm)を装着する(写真5)。
4. 吸引(ポンプ排気量20l/min)および11.6~33.3kPaの気圧変化に要する時間Tを測定する。透気指数(Air Permeability Index: A.P.I.)は式(1)により算出する。
5. 試験位置で静電容量を再度測定*。透気試験前後において含水率指示値に顕著な差がなければ、含水率の影響は無視する。

*含水率の多少の目安として、Fig⁹⁾が指摘するように降雨後の試験を避けることなどがあげられるが、この点の検討は今後の課題である。

写真3 静電容量の測定

写真4 シリコンリングの取付け

写真5 透気試験実施状況

図8 本方法で想定する透気領域

4. 試験室実験における透気性評価の適用性

前述した試験方法の適用性を試験室レベルで検討した。

4.1 コンクリートの物性

使用材料を表3とした計画調合を表9に示す。表中の*印は本計画調合における基準の調合であることを示しており、他の調合は、この基準調合に加水もしくは減水（W/C相当として ± 5 および $+10\%$ ）したものである。また W/C80 および 100%の計画空気量は 1%とした。コンクリートの物性を表10に示す。

表9 計画調合

供試体 記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 kg/m ³				Ad.添加 率 (%)
			W	C	S	G	
30-175*	30	46.8	175	583	734	870	H:1.2
40-175*	40	45.7	175	438	754	933	H:0.6
45-162	45	47.4	162	360	805	933	N:1.0
45-175*	45	46.8	175	398	787	933	H:0.6
45-197	45	45.7	197	438	754	933	H:0.6
50-180*	50	47.4	180	360	805	933	N:1.0
50-219	50	45.7	219	438	754	933	H:0.7
55-165	55	48.8	165	300	853	933	N:1.3
55-180*	55	48.2	180	327	831	933	N:1.1
55-198	55	47.4	198	360	805	933	N:1.0
60-180*	60	48.8	180	300	853	933	N:1.3
60-216	60	47.4	216	360	805	933	N:1.0
65-180*	65	50.2	180	277	887	917	N:1.5
65-195	65	48.8	195	300	853	933	N:1.3
80-200	80	53.5	200	250	977	886	-
100-200	100	54.5	200	200	1018	886	-

表10 基本物性

供試体 記号	フレッシュコンクリート			材齢 28 日 標準養生 圧縮強度 (N/mm ²)	促進中性化深さ (mm)		
	SL (cm)	Air (%)	C.T. (°C)		4W	13W	26W
30-175	-	1.3	25.0	71.3	0.0	0.0	0.0
40-175	19.0	5.5	23.0	46.3	0.3	0.0	6.1
45-162	2.0	5.0	22.0	40.4	2.8	4.7	5.9
45-175	20.0	4.7	24.0	44.5	1.3	4.1	6.7
45-197	21.0	3.8	23.0	40.9	1.6	4.6	7.9
50-180	16.5	5.2	22.0	33.7	3.8	6.4	8.5
50-219	21.0	3.8	23.0	31.6	5.3	9.4	13.9
55-165	18.0	4.6	22.0	25.6	3.6	12.1	17.5
55-180	19.0	5.6	22.0	30.1	2.9	8.8	15.0
55-198	22.0	3.3	22.0	32.5	5.1	8.4	14.2
60-180	18.0	5.2	21.0	23.6	7.3	13.9	21.9
60-216	25.5	2.2	22.0	30.0	5.5	8.1	13.3
65-180	20.0	4.0	23.0	16.6	13.6	23.4	31.6
65-195	23.0	4.9	21.0	25.1	6.9	11.5	16.2
80-200	5.5	2.6	23.0	13.6	15.6	27.6	37.0
100-100	18.0	1.0	22.0	8.8	27.4	47.9	69.1*

*ルート t 則による外挿推定

4.2 透気性の評価

水セメント比と透気指数の関係を図9に示す。水セメント比が高くなるに従い、特に水セメント比 60%以降において透気指数は急激に増加する傾向が顕著に認められる。一般建築物に使用されるコンクリートの計画水セメント比が 50~60%であることを考慮した場合、骨材の表面水管理の誤差及び何らかの加水による単位水量の大幅な増加によるコンクリートの組織構造の変化は、本方法によって概ね評価可能であると考えられる。

図9 水セメント比と透気指数の関係

透気指数と RILEM TC 116-PCD 法(Cembureau 法)¹⁷⁾による透気係数の関係を図10に示す。図に示されるように、十分に養生されたコンクリートにおいて透気指数と透気係数の相関は高く、両者には線形関係が認められる。RILEM 共通試験で用いられた、Hong-Parrot 法¹²⁾、Autoclam 法²¹⁾および Torrent 法¹⁶⁾においても Cembureau 法による透気係数($K_{cembureau}$)との間には同様の線形関係が認められており、この点で、本試験方法はコンクリートの表層透気性の評価方法として、他の方法と同様の適用性を有していると判断される。

図10 透気指数と透気係数の関係

5. 実機における透気性評価の適用性

5.1 透気性評価の適用性

実構造物は型枠の早期脱型などにより表層部に脆弱層が形成され、この層が表面法としての本方法の透気試験結果に影響する可能性のあることは既に述べた。この点について透気指数と促進中性化深さの関係の観点から検討を行う。使用材料は4.の試験室実験で用いたものと同一ロットであり、レディーミクストコンクリートの基本調合(Mix.1)と物性は表11に示す通りである。呼び強度は 24N/mm²であり、試験体寸法は 15x15x53cm とした。試験ではさらにこの基本調合に約 20kg/m³ (高周波加熱乾燥法による推定値)の加水を行ったコンクリート(Mix.2)も作製した。試験体の型枠は材齢3日で脱型し、雨掛りのない屋外に存置し、透気試験は材齢約7週で実施するとともに、JIS A 1153 に準じた中性化深さを測定した。

表 11 計画調合とコンクリートの性質

単位量 kg/m ³				フレッシュコンクリート			F ₂₈ (N/mm ²)
W	C	S	G	Slump(cm)	Air(%)	C.T(%)	
180	316	732	909	20.5	5.5	5.5	33.5

F₂₈:材齢 28 日標準養生圧縮強度

前述図 9, 表 10 に示される試験室実験におけるコンクリートの透気指数と中性化深さの関係(図 11 中白抜き)に、本基本調合と加水を行ったレディーミクストコンクリートの透気指数と中性化深さをプロット(●, ◆, ▲)したものを図 11 に示す。黒印のうち、A.P.I.の大きいもの(右側に位置するもの)が加水を行ったコンクリート(Mix.2)である。室内コンクリート試験体ほどに十分な養生がなされていない、すなわち表層部(Skin)の組織が粗であることが考えられる本試験体においても、本実験の範囲内では、図中白抜きで示される室内コンクリート試験体(Mix.1)と良好な一致を示している。Torrent によって指摘される Skin の影響は、床コンクリートの上面と下面を対象とした検証に基づくものであり、この点については今後さらに検討を進めて行く必要がある。

図 11 透気指数と促進中性化深さの関係

5.2. 実大壁における透気指数の分布

本試験方法を実構造物に適用するにあたり、透気性の観点から見た構造物の品質のばらつきを評価することは重要である。この点について検討を行う。実大壁に使用された材料とコンクリートの調合を表 12, 表 13 に示す。また実大壁の形状を図 12 に示す。

表 12 使用材料

使用材料	物性
セメント(C)	普通ポルトランドセメント (密度 3.15g/cm ³)
水(W)	上水道水
細骨材(S)	①山砂 表乾密度 2.57g/cm ³ 粗粒率 2.80% ②砕砂 表乾密度 2.66g/cm ³ 粗粒率 2.80%
粗骨材(G)	砕石 表乾密度 2.69g/cm ³ 実績率 58.0%
混和剤 Ad.	高性能 AE 減水剤

試験材齢は約 4 ヶ月である。透気試験は各面(壁体の表裏面)について実施し、各面における試験数はそれぞれ 20 ヶ所(合計 40 箇所)である。本試験はほぼ半日で終了しており、一回の試験に要した平均時間は約 5 分であった。

表 13 計画調合

W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)					
		C	W	S		G	Ad
50.0	47.4			①	②		
		360	180	401	418	936	2.92

壁厚:200mm

配筋:D16@225 ダブル

ジャンカ: ● ひび割れ: ⊗

図 12 壁寸法と透気試験位置

写真 6 透気試験状況

本実大壁における透気試験の分布を図 13 に示す。表層部にひび割れまたはジャンカの形跡の認められる部分の透気性は測定不可能であった。一方その他の部分の全体的な傾向としては、壁体上部において透気指数が比較的大きい傾向にあった。これはコンクリートの圧密(下部ほど上部の自重によって圧縮され緻密な組織となる)によるものと推察される。壁の裏面と表面の差異は明確ではなかった。なお、見かけ上健全な部分の測定値の平均値と標準偏差は表 14 に示すようであり、水セメント比 50%のコンクリートを用いた本検討の範囲内では、透気性の観点からみた変動指数(標準偏差/平均値)は概ね 30%程度を見込む必要があると思われる。

図 13 実大壁における透気指数の分布 (上: 表面, 下: 裏面)

表 14 実大壁における透気指数の測定結果

	平均値	標準偏差	変動係数
表面	1.90 kPa/s	0.65 kPa/s	34.2 %
裏面	1.54 kPa/s	0.51 kPa/s	33.1 %

6. まとめ

実構造物の表層透気性を原位置で評価するための試験方法は数多く提案されている。本研究は、国内において建設される膨大な数の建設物に対応可能な試験方法の一つとして、Schönlín, Hilsdorf らによって開発された簡便かつ迅速なシングルチャンパー法をベースとし、シール材、シール幅および含水率の影響の評価方法に関する検討を行い、その所産としての改良試験方法の適用性について検討を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 提案する試験方法における透気領域は、チャンパー下のコンクリート表層部約 2~3cm と想定される。
- 2) 1ヶ月間の十分な水中養生 (水温 20℃) を終えて以降 20℃, 60% R.H. の気中養生したコンクリートにおいて、透気指数と RILEM TC 116-PCD 法 (Cembureau 法) の間には良好な線形関係が認められた。この点において、本試験方法は他の試験方法同様、コンクリートの原位置透気性評価方法としての適用性を有していると考えられる。
- 3) 材料を同種のものに限定した水セメント比 50% のレディーミクストコンクリートにおいて、脱型材齢 3 日の透気指数と促進中性化深さの関係は、十分に養生された試験室コンクリートとはほぼ同様の関係にあり、本実験の範囲内においては表層脆弱層

(Skin) の影響は認められなかった。この点については今後の検討が必要であると考えられる。

- 4) 水セメント比 50% のコンクリートを用いた実大壁における透気指数の観点からみた変動係数は約 30% であった。

謝辞

本実験を実施するにあたり、(株) 松村組 渡邊聡氏のご助力を賜った。また実験の実施にあたり足利工業大学工学部建築学科研究生 石井寿美江女史、成田瞬氏および卒業研究生諸氏のご助力を賜った。付して謝意を表する。

参考文献

- 1) 平成 14 年度版建築統計年報, 国土交通省総合政策局情報管理部, 建設調査統計課, 2002.9
- 2) Schönlín, K. and Hilsdorf, H., Evaluation of the effectiveness of curing of concrete structures, ACI SP-100, Concrete Durability. Katharine and Bryant Mather Intern. Confer., Vol. 1, pp. 207-226, Detroit, ACI, 1987.
- 3) Berissi et al., Mesure de la porosité ouverte des betons hydrauliques, Bull. Liaison Labor. Ponts Chauss. No.142, 59-67. 1987.
- 4) 福島礼規, 谷川恭雄他: 構造体コンクリートの透気性に関する実験的研究; 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.911~912, 1993.9
- 5) 氏家勲: 実構造物におけるかぶりコンクリートの吸水性, 透水性, 透気性の測定方法, コンクリート工学, Vol.32, No.12, pp.43-47, 1994.
- 6) Figg, J.W., Methods of measuring the air and water permeability of concrete, Magazine of Concrete Research, Vol. 25, No. 85, pp. 213-219, Dec. 1973.
- 7) RILEM TC 189-NEC (Non-Destructive Evaluation of the Covercrete), State-of-the-Art Report, Chapter3, "Non-destructive methods to measure air-permeability", Draft Version, November 2005.
- 8) 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 Concr. Res., V. 39, No.141, Dec. 1987, pp. 183-195.
- 9) Kasai, Y., Matsui, I. and Nagao, M., On site rapid air permeability test for concrete, ACI SP-82, pp.501-524, In Situ/Nondestructive Testing of Concrete, V.M. Malhotra (Ed.), ACI, Detroit, 1984.
- 10) 笠井芳夫, 松井勇, 湯浅昇: 簡易な試験による構造体コンクリートの品質評価の試み, セメント・コンクリート, No.559, pp.20-28, Sept. 1993.
- 11) Reinhardt, H.W. and Mijnsbergen, J.P.G., In-situ measurement of permeability of concrete cover by overpressure, The Life of Structures. Physical Testing. Armer, G.S.T., Clarke, J.L., Garas, F.K. (Eds.). London, Butterworths, pp. 243-254, 1989.
- 12) Hong, C.Z. and Parrott, L.J., Air permeability of cover concrete and the effect of curing, British Cement Assoc. Report C/5, October 1989.
- 13) Paulmann, K. and Rostasy F.S., Praxisnahes Verfahren zur

- Beurteilung der Dichtigkeit oberflächennäher Betonschichten im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Techn. Univ. Braunschweig, 1989.
- 14) Hansen, A.J., Ottosen N.S. and Petersen, C.G., Gas-permeability of concrete in situ: theory and practice, ACI SP-82, pp. 543-556, In Situ/Nondestructive Testing of Concrete, V.M. Malhotra (Ed.), ACI, Detroit, 1984.
 - 15) Torrent, R., und Ebensperger, L., Studie über Methoden zur Messung und Beurteilung der Kennwerte des Überdeckungsbetons auf der Baustelle – Teil 1, p 119, Office Fédéral des Routes, Suisse, Zürich, Januar 1993.
 - 16) Torrent, R., A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Mater. & Struct. , v.25, n.150, pp.358-365, July 1992.
 - 17) RILEM TC 116-PCD, Recommendations of TC 116-PCD, Tests for gas permeability of concrete. B. Measurement of the gas permeability of concrete by the RILEM – CEMBUREAU method, Mater.& Struct., 32, pp. 176-179, 1999.
 - 18) Guth, D.L. and Zia, P., Evaluation of new air permeability test device, ACI Materials Journal, Vol. 98, No. 1, Jan-Feb, pp. 44-51, 2001.
 - 19) Romer, M., Comparative test –Part1-Comparative test of ‘penetrability’ methods, Mater.& Struct. 38, pp. 895-906, 2005.
 - 20) 国本正恵他, 構造体コンクリートのコールドジョイント評価方法の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.433-434, 2000.9
 - 21) Basheer, P.A.M., Long, A.E. and Montgomery, F.R., The ‘Autoclam’ for measuring the Surface Absorption and Permeability of Concrete on Site, CANMET / ACI Int. Workshop on Advances in Concrete Technology, Athens, pp. 107-132, May 1992.
 - 22) 今本啓一他, かぶりコンクリートの非破壊透気性試験方法の開発, 日本建築学会関東支部研究発表会, pp.33-36, 2005.
 - 23) 今本啓一他, チャンバー法によるかぶりコンクリートの非破壊透気性評価, 日本建築学会学術講演梗概集(近畿), A-1 材料施工, pp.691-692, 2005.9

(2006年2月7日原稿受理, 2006年5月26日採用決定)