

平成21年6月19日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2005～2008
 課題番号：17560517
 研究課題名（和文） コンクリートの吸引式簡易透気試験法の開発と耐凍害性の評価に関する研究
 研究課題名（英文） DEVELOPMENT OF RAPID AIR PERMEABILITY TEST AND ASSESSMENT OF FROST DAMAGE OF CONCRETE
 研究代表者
 月永 洋一（TSUKINAGA YOICHI）
 八戸工業大学・工学部・教授
 研究者番号：60124898

研究成果の概要：コンクリート表層部の透気性を評価するための純非破壊試験として吸引鐘を用いた簡易透気試験法を開発し、透気性指標値、測定条件、測定精度および試験の有用性を明らかにするとともに、近年、凍害による劣化形態の一つとして発生事例が急増してきたスケーリング（表層コンクリートが鱗状に剥離する劣化）を対象とし、簡易透気試験から得られる透気性指標値がスケーリング抵抗性を評価するための指標として使用できる可能性を示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	1,000,000	0	1,000,000
2006年度	1,100,000	0	1,100,000
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	3,500,000	420,000	3,920,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：建築構造・材料、コンクリート、凍害、透気性、劣化診断

1. 研究開始当初の背景

コンクリートの透気性は組織の緻密さを間接的に表し、外的劣化因子の浸入・拡散の程度を評価するための指標となることから、実構造物のコンクリートに適用可能な簡易型の透気試験法の提案が求められている。一方、実構造物コンクリートの耐凍害性を評価・予測するための試験法は未提示の状況にあるが、凍害は本質的にはコンクリートへの水の浸入がなければ発生しないことから、コンクリートへの水の浸入の程度を指標とすることにより耐凍害性を評価できるものと考えられ、水の浸入の程度を間接的に表す透

気性は有用な指標として使用できる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究は、実構造物コンクリートにも適用可能で、表層コンクリートを測定対象とする吸引鐘を用いた簡易型の透気試験法を開発し、試験から得られる透気性と凍害劣化との関係を調べて、耐凍害性の評価指標として採用することの妥当性を明らかにするとともに、耐凍害性を確保する透気性の具体値と評価方法を提案する。

3. 研究の方法

(1) 吸引式簡易透気試験法の開発

① 試験装置の製作

試験装置の基本構成は、Schönlinらが1980年代後半に提案した装置を参考とした。また、測定を自動化するため、デジタル・マルチメーターとパーソナルコンピューターを加えて測定系の構成を検討した。

② 透気性指標値の検討

透気性指標値は、コンクリート表面に設置した吸引鐘内を真空ポンプにより減圧し、減圧後の吸引鐘内における圧力変化と圧力低下時間の関係を調べることで検討した。

③ 測定条件、測定精度の検討

吸引鐘をコンクリート表面に設置するときの試験面シール幅、測定可能な部材端からの距離と部材厚さ、および吸引鐘のサイズについて、数種の条件を設定して検討した。

④ 試験の有用性の検討

簡易透気試験による透気性指標値とトレント透気試験およびアウトプット室内透気試験による透気係数との関係を調べて、簡易試験法の有用性を検討した。

(2) 簡易透気試験によるスケーリング抵抗性評価の適用性の検討

簡易透気試験による透気性指標値と ASTM C672 法に準拠したコンクリートの凍結融解試験から得られるスケーリング量との関係を調べて、スケーリング抵抗性評価手法としての適用性を検討した。

4. 研究成果

(1) 吸引式簡易透気試験法の開発

① 試験装置の製作

図1は吸引式簡易透気試験装置の概要を示したもので、装置は、吸引鐘、シリコンパテシール、差圧計、デジタル・マルチメーター、真空ポンプ、耐圧ホース、パーソナルコンピューターにより構成される。

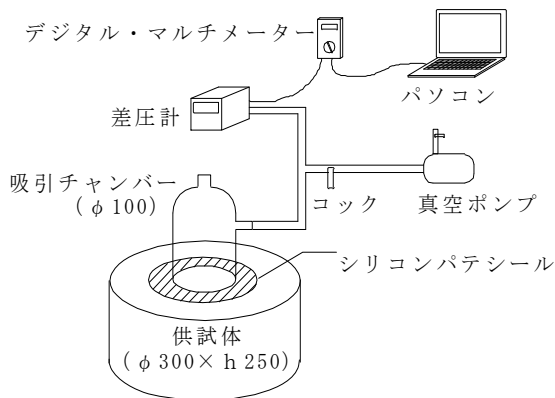


図1 吸引式簡易透気試験装置の概要

② 透気性指標値の検討

図2は、吸引鐘内部の圧力低下量と圧力低下時間の関係例を示したもので、両者は曲線関係にある。図3は、圧力低下時間を平方根とした場合の両者の関係例を示したもので、圧力低下量25~60kPaの範囲において直線関係が得られる。これより、本研究では、圧力低下量25~60kPaの範囲において、圧力低下量と圧力低下時間の平方根との関係から得られる直線の勾配を簡易透気係数として採用した。簡易透気係数は下式より求まる。

$$\Delta P = a\sqrt{t}$$

ここで、 ΔP : 圧力低下量 (kPa)

a : 簡易透気係数 (kPa/sec^{1/2})

t : 圧力低下時間 (sec)

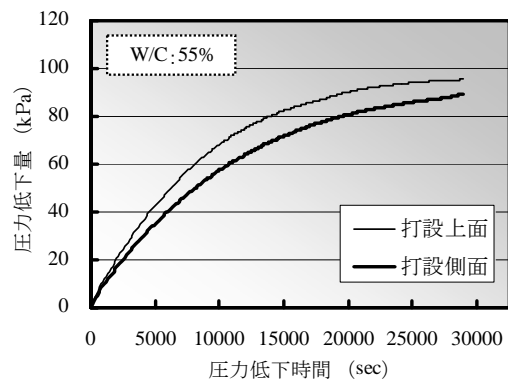


図2 圧力低下時間と圧力低下量の関係

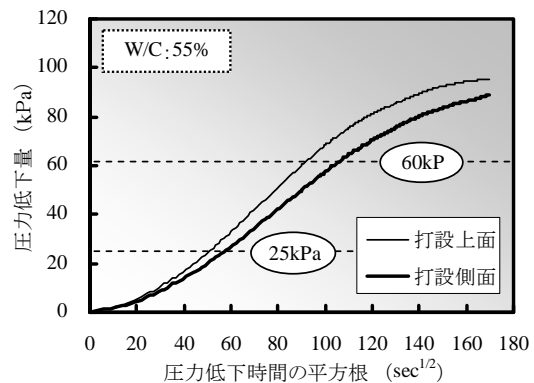


図3 圧力低下時間の平方根と圧力低下量の関係

③ 測定条件、測定精度の検討

試験面シール幅を15、30、45、60mmと大きくすれば、簡易透気係数の変動係数は小さくなることから、本研究では試験面シール幅を60mmとした。試験面シール幅の増加により、シール外周部からの空気の流入が少なく

なるために試験値のバラツキが小さくなるものと考えられる。

図4は、供試体直径と簡易透気係数およびその変動係数の関係を示したもので、供試体直径が大きくなると簡易透気係数は小さくなる傾向を示すが、その変動係数も小さくなる傾向を示し、供試体直径 300mm (部材端から吸引鐘中心までの距離 150mm) においては、変動係数 15%以下を実現している。これは、部材端からの測定箇所までの距離を大きくすることにより、部材端からの空気の流入が抑制されるためと考えられ、測定精度を確保するためには、部材端から吸引鐘中心までの距離を 150mm 以上とすることが望ましい。

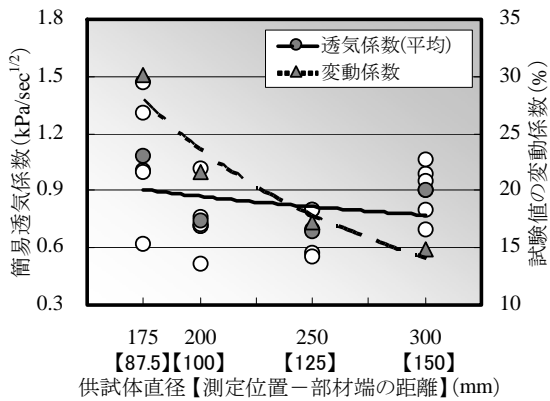


図4 供試体直径と簡易透気係数およびその変動係数の関係

図5および図6は、供試体高さとの簡易透気係数の関係を示したもので、図5は試験面シール幅を60mm、図6は試験面全面をシールしたときの結果である。なお、供試体側面はシールしている。当初は、供試体高さが大きくなると、供試体底面からの空気の流入が減少し、簡易透気係数は小さくなると思っていたが、図5に示すように、試験面シール幅を60mmとした場合では、予想とは反対に供試体高さが大きくなると簡易透気係数も大きくなる結果を示した。試験面シール幅を全面とした場合の図6の結果では、供試体高さによる簡易透気係数の変化は小さくなり、ほぼ一定の値を示した。これより、供試体高さ 100mm 以上の場合においては、供試体底面からの空気流入による影響は小さく、供試体高さが大きくなることによる表層の脆弱層の増加が影響するものと考えられる。すなわち、供試体高さが大きくなるにつれてコンクリートの容積が増加するためにブリーディング水は増加するが、この結果、ブリーディングに起因した表層部脆弱層が厚くなったと考えられ、これが簡易透気係数に影響を及ぼしたと考えられるが、明示するためには今後の検討が必要である。

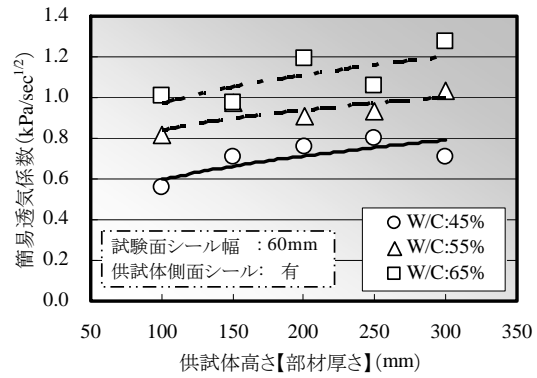


図5 供試体高さとの簡易透気係数の関係 (試験面シール幅: 60mm)

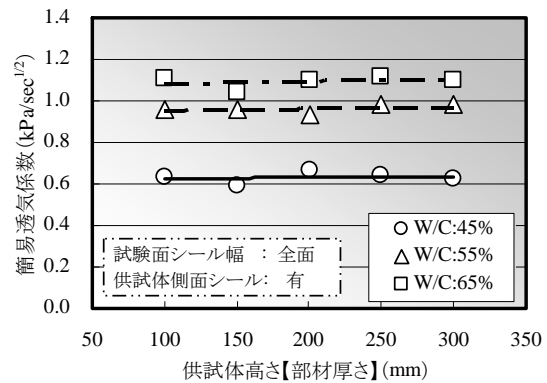


図6 供試体高さとの簡易透気係数の関係 (試験面シール幅: 全面)

図7は、吸引鐘の直径を50、75、100mmと変化させたときの水セメント比と簡易透気係数の関係を示したものである。吸引鐘の直径を小さくすると、その容積減少によって減圧回復時間が短くなることから、簡易透気係数は大きくなる傾向を示したと考えられるが、水セメント比による簡易透気係数の変化は同等であり、また、測定時間は、吸引鐘直径を 100mm から 75mm にすると約 5 割、50mm

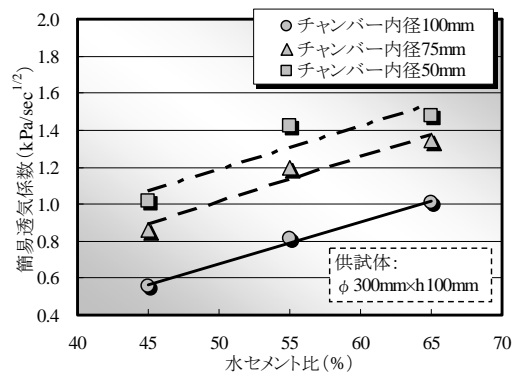


図7 吸引鐘直径を変化させたときの水セメント比と簡易透気係数の関係

にすると約7割の時間短縮が可能となることから、吸引鐘を小型化することにより、簡易透気試験の迅速化を図ることが可能である。

④ 試験の有用性の検討

図8はトレント透気係数と簡易透気係数の関係、図9はアウトプット透気係数と簡易透気係数の関係を示したもので、それぞれ良好な対応関係を示した。トレント透気試験およびアウトプット透気試験は、コンクリートの透気性評価のための試験として実績を有しており、簡易透気係数とこれらの試験から得られた透気性指標値は対応関係を示すことから、吸引鐘を用いた簡易透気試験はコンクリートの透気性評価のための試験として有用であるといえる。

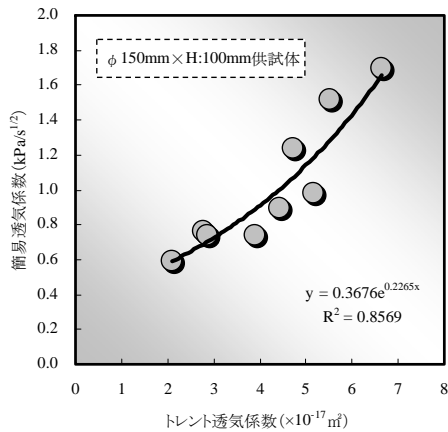


図8 トレント透気係数と簡易透気係数の関係

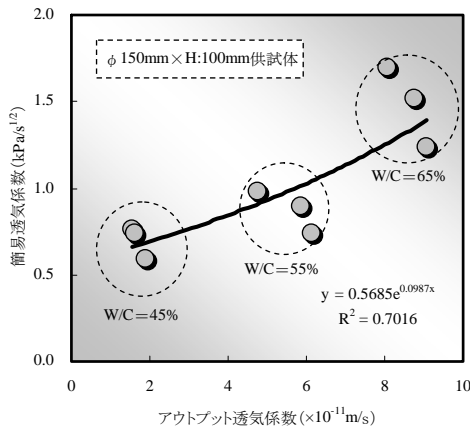


図9 アウトプット透気係数と簡易透気係数の関係

(2) 簡易透気試験によるスケーリング抵抗性評価の適用性の検討

図10は、ASTM C672法における凍結融解サイクル数とスケーリング量の関係を示したものであり、図11は、簡易透気試験法により得られた簡易透気係数とASTM C672法により得られた凍結融解60サイクル時のスケー

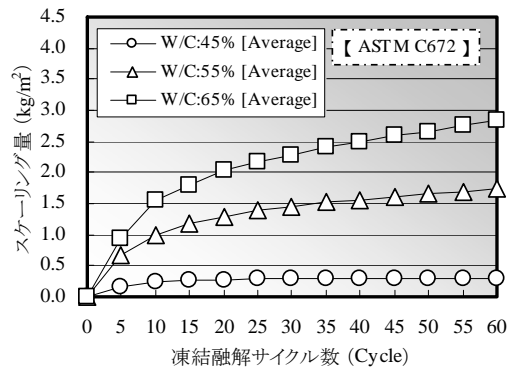


図10 凍結融解サイクルとスケーリング量の関係

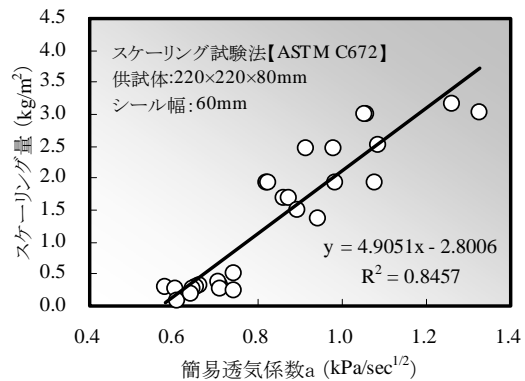


図11 簡易透気係数とスケーリング量の関係

リング量の関係を示したものである。簡易透気係数の大きいコンクリートは、スケーリング量も大きくなるという傾向を示し、両者の間には良好な対応関係が認められる。このことから、簡易透気係数はコンクリートのスケーリング抵抗性を反映するものと考えられ、簡易透気試験法は、スケーリング抵抗性評価手法としての適用性を有するものと考えられる。

スケーリングは、コンクリートの物質移動抵抗性に起因する表層劣化である。従って、表層コンクリートを測定対象とする簡易透気試験法は、スケーリング抵抗性の間接的評価手法として、妥当性を有するものと思われる。しかし現段階では、室内試験レベルでの検証に留まっており、簡易透気試験法をスケーリング抵抗性評価手法として実構造物に適用しようとした場合、更なるデータの蓄積による検討が必要である。今後、簡易透気試験法によるスケーリング抵抗性評価の妥当性を明確に提示するためには、コンクリートの含水状態の影響を含めた気泡特性と透気性の関係等についての検討を加え、表層コンクリートの組織構成と関連付けた透気機構を明らかにしていくとともに、スケーリング抵抗性を確保する簡易透気係数の値を明示する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① 権代由範、庄谷征美、月永洋一、子田康弘、塩化物環境下におけるスケーリング抵抗性の評価試験法に関する基礎的研究、日本コンクリート工学協会、コンクリート工学論文集、Vol. 20、No. 1、pp. 59-70、2009、査読有
- ② 権代由範、月永洋一、コンクリートの簡易透気試験法の測定条件に関する一検討、日本建築学会東北支部研究報告集、構造系、第 71 号、pp. 81-84、2008、査読無
- ③ 権代由範、月永洋一、コンクリートの耐凍害性評価のための簡易透気試験法の開発に関する研究、日本建築学会東北支部研究報告集、構造系、第 70 号、pp. 41-44、2007、査読無
- ④ 今野竜也、阿波稔、庄谷征美、月永洋一、凍結融解作用を受けるコンクリートの塩化物浸透性と鉄筋腐食、コンクリート工学年次論文集、Vol. 29、No. 1、pp. 1137-1142、2007、査読有
- ⑤ 上さおり、権代由範、月永洋一、吸引チャンバーを用いたコンクリートの簡易透気試験法の開発に関する基礎的検討、日本建築学会 2006 年度大会 (関東) 学術講演梗概集、A-1 材料施工、pp. 181-182、2006、査読無
- ⑥ 権代由範、上さおり、月永洋一、チャンバーセルを用いたコンクリートの簡易透気試験法の開発に関する基礎的検討、日本建築学会東北支部研究報告集、構造系、第 69 号、pp. 27-30、2006、査読無
- ⑦ M. Aba, M. Shoya, Y. Tsukinaga, Non-Destructive Testing for Assessing the Tightness of Cover Concrete, SEVENTH CANMET/ACI INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF CONCRETE, Supplementary Papers, pp. 35-52, 2006, 査読無
- ⑧ 阿波稔、庄谷征美、月永洋一、菅原隆、凍害劣化深さを指標としたコンクリートの耐久性評価、日本コンクリート工学協会、コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関するシンポジウム論文集、pp. 77-82、2006、査読有
- ⑨ 権代由範、月永洋一、庄谷征美、阿波稔、菅原隆、チャンバー吸引セルを用いた簡易透気試験法の有用性に関する基礎的検討、シンポジウム：コンクリート構造物への非破壊検査の展開論文集、Vol. 2、pp. 271-276、2006、査読有
- ⑩ 阿波稔、庄谷征美、月永洋一、菅原隆、凍結融解作用を受けたコンクリート表層

部の劣化度評価、シンポジウム：コンクリート構造物への非破壊検査の展開論文集、Vol. 2、pp. 243-248、2006、査読有

- ⑪ 佐々木康治、菅原隆、月永洋一、庄谷征美、透水型枠構法によるコンクリート製品の耐凍害性向上に関する研究、セメント・コンクリート論文集、No. 59、pp. 285-289、2006、査読有
- ⑫ 小野敬之、月永洋一、コンクリート製品の製造条件によるスケーリング抵抗性に関する研究、日本建築学会東北支部研究報告集、第 68 号、構造系、pp. 49-52、2005、査読無

[学会発表] (計 5 件)

- ① 権代由範、月永洋一、コンクリートの簡易透気試験法の測定条件に関する一検討、第 71 回日本建築学会東北支部研究報告会、2008 年 6 月 7 日、弘前文化会館
- ② 権代由範、月永洋一、コンクリートの耐凍害性評価のための簡易透気試験法の開発に関する研究、第 70 回日本建築学会東北支部研究報告会、2007 年 6 月 10 日、岩手県民情報交流センター・アイーナ
- ③ 上さおり、権代由範、月永洋一、吸引チャンバーを用いたコンクリートの簡易透気試験法の開発に関する基礎的検討、日本建築学会 2006 年度大会 (関東) 学術講演会、2006 年 9 月 9 日、神奈川大学
- ④ 権代由範、上さおり、月永洋一、チャンバーセルを用いたコンクリートの簡易透気試験法の開発に関する基礎的検討、第 69 回日本建築学会東北支部研究報告会、2006 年 6 月 18 日、秋田県生涯学習センター分館ジョイナス
- ⑤ 小野敬之、月永洋一、コンクリート製品の製造条件によるスケーリング抵抗性に関する研究、第 68 回日本建築学会東北支部研究報告会、2005 年 6 月 12 日、山形県文翔館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

月永 洋一 (TSUKINAGA YOICHI)
八戸工業大学・工学部・教授
研究者番号：60124898

(2) 研究分担者

庄谷 征美 (SHOYA MASAMI)
八戸工業大学・工学部・教授
研究者番号：80006684
阿波 稔 (ABA MINORU)
八戸工業大学・工学部・准教授
研究者番号：10295959

(3) 連携研究者