

論文審査の結果の要旨

氏名：野中 英

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：簡易透気試験による構造体コンクリートの品質評価方法に関する研究

審査委員：（主査） 教授 湯浅 昇

（副査） 教授 小松 博 教授 小井戸純司

名誉教授 松井 勇 教授 中田 善久

近年、日本では、スクラップアンドビルトからの脱却、建築物の長寿命化、持続可能な資源循環型社会の構築が謳われている。日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009」（以下 JASS 5 と略記）では、構造体および部材の建設時の初期性能を高め入念な施工を行うことにより長期の耐久性を有すること、維持管理を定期的に行うことにより長期の耐久性を実現することが重要であるとしている。

鉄筋コンクリート構造物の劣化は、二酸化炭素、塩化物イオン、水、酸素等の劣化因子が、コンクリート表面から内部へと移動することが起因となっている場合が多い。中性化による鉄筋腐食、塩害、凍害、アルカリシリカ反応等の劣化を引き起こしている。劣化因子の移動現象は、コンクリートの透気性、透水性といった物質移動性に依存しているといえる。

コンクリートの透気性は、一般環境下でおきる中性化に関係がある指標として、古今東西研究の対象となっている。コンクリートの透気性の研究といえば、古典的にはコンクリートの基本物性の一つとして、透気性に及ぼすコンクリートの材料、調合、養生等の条件の影響を試験体により明らかにすることからはじまっており、空気をコンクリート試験体に透過させる実験により構築されてきた。試験体に一定圧力の空気を作用させ、流れが定常となり試験体の反対側の面から透過する空気の単位時間当たりの流量を測定し、ダルシー則を適用して透気係数を求めて評価している。しかし、近年、透気性に関する関心は、コンクリートの透気性に及ぼす材料、調合、養生等の影響要因の解明から、実構造物の原位置における透気性を評価しその構造物の耐久性を予測、維持管理に利用する方向に移っている。コンクリートに定常流の空気を流すことは、実構造物の原位置では不可能である。

1970 年代に入り、ヨーロッパで実構造物の原位置で適用可能な透気性の試験方法を開発する研究がみられるようになった。日本では、1980 年代に入り笠井がその内の一つの方法である削孔を用いた Figg の方法を導入し、その整理・検討に着手した。現在では、国内外で更にいくつかの実構造物の原位置で適用可能な透気性試験が考案され提案されており、日本でも削孔による方法、シングルチャンバーによる方法、ダブルチャンバーによる方法の開発研究とその利用例がみられる。

本論文は、笠井・湯浅の指導の下、1996 年より Figg・笠井の方法に携わった野中英氏による実構造物に適用可能な透気性の試験方法に関する研究により構築されている。本論文では、削孔を用いた Figg・笠井の方法を「簡易透気試験」と定義し、以下の目標を挙げ研究を行った。

1. 簡易透気試験方法を確立・提案する。
2. 提案した簡易透気試験方法により測定される透気性の指標値「簡易透気速度」に及ぼすコンクリートの材料、調合、養生等の影響を明らかにする。
3. 壁を模擬した試験体に簡易透気試験を適用させ、簡易透気速度と採取コアによる透気係数の関係を示す。
4. 日本で一定の利用が認められるシングルチャンバーによる方法、ダブルチャンバーによる方法による透気性の指標値と簡易透気速度の関係を示す。
5. 簡易透気試験で得られる簡易透気速度と中性化の進行を結びつける仕組みを構築する。

6. 竣工時前後に、簡易透気試験により測定される簡易透気速度により、建物に設定された日本建築学会 JASS5「計画供用期間の級」を確認する仕組みを構築する。
 7. 近年、普及・採用されている各種養生改善方法を適用されたコンクリートについて、簡易透気試験を適用し、その改善効果を簡易透気速度で評価することを試みる。
- 本論文は、全6章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的、実構造物に適用可能な透気性の試験方法に関する既往の研究および本研究の構成を示している。

第2章「ドリル削孔を用いた構造体コンクリートの簡易透気試験方法の提案」では、Figgの発想に基づき、1996年までに笠井・湯浅らが整理・発展させてきた簡易透気試験方法の検討結果に基づき、削孔径を $\phi 10\text{mm}$ 、削孔深さを 50mm と定めて簡易試験方法を確立・提案するために、まず削孔径、削孔深さが簡易透気速度に及ぼす影響を明らかにした。次に接続ホースの長さが減圧部全体の容積を変化させるためその長さの影響、また隣接する削孔の影響を明らかにした。それらの成果に基づき、削孔径 10mm 、削孔深さ 50mm 、接続ホース長さ 100cm 、削孔間隔（中心間距離） 50mm 以上で行い、測定4回のうち最初の1回目を除いて2回目以降の測定値を使用する「ドリル削孔を用いた構造体コンクリートの簡易透気試験方法」を提案した。

提案した「ドリル削孔を用いた構造体コンクリートの簡易透気試験方法」による簡易透気速度に及ぼすコンクリートの材料、調合、養生の影響を検討し、使用セメントの種類、水セメント比、単位水量、空気量、乾燥開始材齢、乾燥期間の違いと簡易透気速度の関係を明解にした。使用したセメントの種類、水セメント比の種類、乾燥開始材齢の影響は大きく、単位水量、空気量、乾燥期間の影響は小さかった。

第3章「簡易透気試験の結果と他の透気試験の結果の比較」では、まず第1に、コンクリートの条件を変えた模擬壁に簡易透気試験を適用させ、簡易透気速度と採取した $\phi 100\text{mm}$ コアによる透気係数の関係を示した。

次に、簡易透気試験以外に日本で開発研究とその一定の利用・普及が認められるシングルチャンバーによる方法、ダブルチャンバーによる方法（トレント法）による透気性の指標値と簡易透気速度との関係を示し、実構造物で適用可能な試験方法間において各試験値を相互に互換させる仕組みを構築した。今後、日本で一定の利用・普及が認められる簡易透気試験方法、シングルチャンバーによる方法、ダブルチャンバーによる方法を共に日本非破壊検査規格等に規格化する上で有益となろう。

第4章「簡易透気試験方法による構造体コンクリートの中性化抵抗性評価」では、まず使用したセメント種類毎に、水セメント比・乾燥開始材齢によらず、簡易透気速度と促進中性化試験による中性化深さが一律に対応することを示した。

次に、竣工時前後に、簡易透気速度により、建物に設定された日本建築学会 JASS 5「計画供用期間の級」を確認する方法を構築するにあたり、まず JASS 5「計画供用期間の級」毎に、鉄筋が腐食する可能性に対応した促進中性化深さを、日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説」で示された計画耐用年数と促進26週における中性化深さを求める考え方にに基づき算出した。この算出した中性化深さを、使用したセメント種類毎に示した材齢3ヶ月における簡易透気速度と促進中性化深さの関係に対応させ、JASS5の計画供用期間の級に対応する簡易透気速度として求め、セメントの種類毎に表として示した。

第5章「簡易透気試験方法を用いた各種養生方法の効果に対する評価」では、乾燥開始材齢を遅らすことに匹敵するコンクリートの品質向上を期待した各種湿潤養生（水中養生、散水養生、テープ養生、マット養生）の中性化抵抗性、塩化物浸透抵抗性への効果とそれらが簡易透気速度で評価できるか、また同様に乾燥開始材齢を遅らすことに匹敵する品質向上を期待した各種塗布剤を用いた方法（けい酸塩系表面含浸剤、シラン系表面含浸剤、収縮低減剤、膜養生剤）の中性化抵抗性、塩化物浸透抵抗性への効果とそれらが簡易透気速度で評価できるかを検討した。概ね各種養生改善方法の効果を評価できたが、中性化抵抗性に比し塩化物浸透抵抗性の効果は簡易透気速度では評価しづらいこと、また撥水性を形成することによ

るシラン系表面含浸剤等メカニズムが組織を緻密させることによらない塗布剤の効果は簡易透気速度では評価が難しいことを明らかにした。

第6章「総括」は、各章で得られた結果をまとめ、今後の課題について示した。

これらの成果は、生産工学、特に建築工学に寄与し、社会資本の維持保全に貢献するものと評価できる。よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成27年3月12日