

論文の内容の要旨

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

近年、日本では、スクラップアンドビルドからの脱却、持続可能な循環型社会へと移行が図られ、建築物の長寿命化が謳われている。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している場合が多く、中性化による鉄筋腐食、塩害、凍害、アルカリシリカ反応等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、透水性といったコンクリートの物質移動性と高い関係がある。

コンクリートの透気性とは、コンクリート内の気体の透過しやすさをあらわす性質であり、中性化と関係のある指標として研究の対象とされている。コンクリートの透気性の研究は、コンクリートの基本物性の一つとして、透気性に及ぼす材料、調合、養生等の条件の影響を試験体により確認している。透気性の試験方法は、従来、円柱および角柱の供試体に一定圧力の気体を作用させ、流れが定常となった後に供試体の反対の面から透過する気体の流量を測定し、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、透気性の関心は、コンクリートの透気性に及ぼす材料、調合、養生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。供試体による透気試験は、透気性を直接的に測定する方法であるが、実構造物の原位置ではコンクリートに定常流の空気を流すことは不可能である。

1970年代に入り、ヨーロッパでは実構造物の原位置で測定可能な透気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、笠井が1970年代に入り Figg により提案された削孔法による透気試験を構造体コンクリートに適用可能な方法として、整理・発展してきた。この方法は、直径10mm、深さ50mmのドリル削孔にコンクリート表面より10mmまでシリコン栓により封をする方法であり、表面法による透気試験と比しチャンバーを押しあてた直下のコンクリート組織の粗な影響を受けにくく、更にかぶりコンクリートの範囲である50mmまでドリル削孔を行うため、内部の影響も反映されていると考えることができる。現在では、国内外で多くの実構造物の原位置で測定可能な透気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研究開発とその利用例がみられる。

本論文では、こうした背景を受け、鉄筋コンクリート構造物の耐久性に関わる透気性を、笠井・湯浅らが整理・検討してきた方法に基づき、1996年以降に実施した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、削孔を用いた笠井・湯浅の方法を「簡易透気試験方法」として定義し、以下に示す検討を行った。

- ①ドリル削孔を用いた簡易透気試験方法の確立・提案
- ②簡易透気試験の結果と他の透気試験の結果の比較
- ③簡易透気試験を用いた構造体コンクリートの中性化抵抗性評価の検討
- ④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

本論文は、全6章にて構成されており、各章の要旨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の検討結果により、削孔径を $\phi 10\text{mm}$ 、削孔深さを 50mm と定めて簡易透気試験方法を確立・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。これらの成果に基づき、削孔径 $\phi 10\text{mm}$ 、削孔深さ 50mm 、ホース長さ 100cm 、削孔間隔（中心間距離） 50mm 以上で行い、一削孔での測定は4回のうち最初の1回目を除いた2回目以降の測定値を平均して簡易透気速度とする「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、水和の遅いセメントを使用するほど、水セメント比が大きくなるほど、空気量が大きいくほど、乾燥開始材齢が早いほど、測定材齢が遅いほど簡易透気速度は大きいことを明らかにした。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、測定材齢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、第一に、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 $\phi 100\text{mm}$ のコア供試体による透気試験による透気係数との関係を示した。

次に、簡易透気試験以外に、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（トレントの提案した方法）による透気性の指標値と簡易透気速度の関係を示し、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とともに、日本非破壊検査協会等で規格化する際には有益と考える。

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、打設後早期に行う試験材齢は、材齢毎の簡易透気速度と促進中性化試験による中性化深さの関係より、試験時期が遅くなるほど曲線の勾配が緩やかになり中性化の予測には有利なもの、実施の簡便さや早期の判定が望ましいことからコンクリート材齢で3ヶ月とした。

次に、材齢3ヶ月で測定した簡易透気速度と促進期間26週の中性化深さの関係をセメントの種類毎に示し、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試験による中性化深さが一律に対応することを示した。いずれのセメントを使用したコンクリートでも、それぞれ相関は高かった。

最後に、竣工時に、簡易透気試験により、日本建築学会 JASS5 に示される「計画供用期間の級」を確認する方法を構築するために、鉄筋が発錆し始める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、JASS5の「計画供用期間の級」毎に対応する促進期間26週の中性化深さを算出した。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を求め、使用した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、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、塩分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、また同様にコンクリートの品質向上を期待した各種塗布材を用いた方法（けい酸塩系表面含浸剤、シラン系表面含浸剤、塗布型収縮低減剤、膜養生剤）の中性化抵抗性、塩分浸透抵抗性とそれらが簡易透気速度で評価できるか検討した。各種養生方法を行った効果は、中性化抵抗性、塩分浸透抵抗性を一部の養生を除き簡易透気速度で評価できることを示した。中性化抵抗性に比し塩分浸透抵抗性の評価がしづらいこと、撥水性を形成することによるシラン系表面含浸剤等のメカニズムが緻密にならない塗布材の効果は評価しづらかった。

第6章「総括」は、本研究で得られた結果についてまとめ、今後検討すべき課題を示している。