

4. 博士論文：各種測定条件の影響を考慮した表層透気性の評価方法と構造体コンクリートの中性化進行に関する研究

Study on evaluation method of air permeability of cover concrete considering influence of various testing conditions and prediction of progress of carbonation of structural concrete

山崎 順二*1

□ はじめに

鉄筋コンクリート構造物の耐久性や構造安全性は、一般に鉄筋腐食の度合いによって定義される。内在塩分など鉄に対する有害物質が存在しない限り、腐食の進行はかぶりコンクリートの品質に大きく左右され、その部分における物質透過性が小さいほど、鉄筋腐食の進行が抑制されることになる。この鉄筋コンクリート構造物の耐久性確保のために重要な要因となるかぶりコンクリートの物質浸透性を適切に評価することは、構造物の竣工時点での耐久性予測、経過年数に応じた寿命予測、健全性評価、補修時期の立案などに関して、極めて有用な情報を得ることにつながると思われる。

これまで、鉄筋コンクリート構造物の耐久性評価のための指標の1つとして、コンクリートの中性化深さが用いられてきている。これは、コンクリートに内在塩分が存在しない場合、かぶりコンクリートの中性化深さが鉄筋位置付近にまで到達することによって、アルカリ環境下において鉄筋表面に形成されている不動態被膜が破壊され、水分と酸素の供給によって鉄筋腐食が進行しやすくなるためである。

コンクリートの中性化深さの測定は、通常、構造体コンクリートから破壊もしくは微破壊により採取されたコンクリートコア供試体やドリル削孔粉を用いて実測により評価することが一般的である。その他、既往の研究により提案されている、調査条件、使用材料、環境条件に応じた係数などを含んだ中性化進行予測式により推定する場合もある。一方、実構造物においては降雨の影響や仕上材の影響などによって中性化の進行の程度が影響を受けることなどにより、中性化予測式による推定精度は必ずしも高いとは言えないことから、建物の耐震診断において中性化深さを把握する際には、構造体コンクリートからコアを数本採取して実測評価しているのが現状である。しかし、コア採取などの破壊試験による中性化深さの評価は、鉄筋コンクリート構造物のある部材の局所的な評価であり、採取本数も少なく採取位置も限定される場合が多いことから、鉄筋コンクリート構造物全体の耐久性の評価としては情報量が不十分となる場合も考えられる。

このことから、竣工前の鉄筋コンクリート構造物や既存構造物に対して、構造物のおかれる環境状態や測定条件の影響を適切に考慮してかぶりコンクリートの物質透過性、ここでは中性化深さの進行評価が可能となり、かつ、経過年数に応じて経時的にそれが把握できるような測定技術を提案することは、耐久性評価のためには有用である。そこで本研究は、竣工前の鉄筋コンクリート構造物や既存構造物を対象とし、構造体コンクリートの打放し面における各種の測定条件を考慮した表層透気性試験による中性化進行に基づく耐久性評価のための手法を提案することを目的とする。

□ 概要

本論は、鉄筋コンクリート構造物の耐久性を確保するために重要な要因となる表層コンクリートの物質浸透性を、竣工前のRC系構造物や既存構造物の原位置つまり構造体コンクリートにおいて非破壊もしくは微破壊にて適切に評価することを主眼として、中性化の進行速度と高い相関関係にあるとされる透気性に着目し、透気性の測定および評価に影響を及ぼすと考えられる測定条件や、各種の透気性試験の関連性とそれらによるコンクリート内部の透気領域の評価に加え、測定精度を向上させるための手法などについて、共通試験（ラウンドロビン・テスト）その他の実験を行い検討した結果について述べたものである。

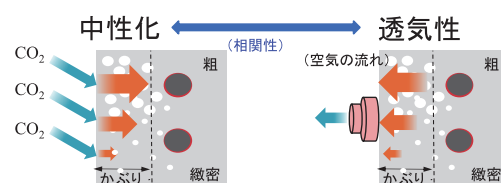


図1 コンクリートの中性化と透気性の関連イメージ

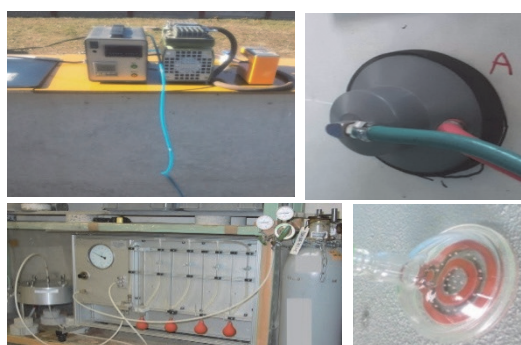


図2 各種の透気性試験状況

□ 実験結果および結論

本論は全6章で構成している。まず第1章で研究背景や目的を、第2章で国内で研究開発されている各種透気性試験方法について整理し、本研究の意義を示した。以下に3～5章に示した本研究で得られた知見を述べる。

本研究では、構造体コンクリートの原位置における中性化進行予測に基づく耐久性評価のための非破壊・微破壊的な手法として、主として国内外で研究されているダブルチャンバー（DC（TPT））法、シングルチャンバー（SCM）法およびドリル削孔（FIM）法を代表的な透気性試験方法として抽出し、これらの透気性試験を実大のコンクリート壁を用いた共通試験を実施した。

3章に示した共通試験の結果から、DC（TPT）法およびFIM法は透気性のベンチマーク試験であるRILEM法と相関が高く、FIM法はDC（TPT）法との相関が極めて高いことを示した。また、モルタル供試体を用いた透気領域に関する検討の結果、DC（TPT）法およびSCM法ではコンクリート表面から概ね2 cm程度の深さまでの領域の透気性を評価していること、FIM法ではコンクリート表面からの空気の流入よりもドリル孔側面からの空気の流入が卓越していることから表層コンクリートの内部の透気性を評価していることを示した。

一方、DC（TPT）法における透気係数 k_T の変動係数は、測定機の差のみによるものが25%、実大コンクリート壁での6点の測定値を平均した場合には平均65%であることが分かった。これよりコンクリートの表層品質の違いによる透気係数 k_T の変動係数は40%程度となり、既存RC構造物の中性化深さの変動係数と同程度であることが分かった。さらに、FIM法における透気速度 $P.V.$ の変動係数は約35%程度、SCM法では平均41%となり、いずれもDC（TPT）法によるコンクリートの表層品質の違いに起因する変動係数の大きさと概ね一致した。

次に、4章では、測定誤差を考慮した実用的評価手法に関する検討において、また、DC（TPT）法およびSCM法を用いて同じ位置を複数回繰り返して測定する場合の時間間隔が測定値に及ぼす影響について、コンクリート内部の圧力変化を用いて検討した。併せて、内部圧力の深さ方向の変化から、DC（TPT）法およびSCM法での透気試験における影響深さについて検討した。また、試験機の測定精度に関する点検方法について検討した。さらに、透気性測定値の異常値の取扱い方、構造体コンクリートの表層透気性の評価を行うために必要となる測定点数の考え方についても検討を加えた。

検討の結果、DC（TPT）法もしくはSCM法において同一箇所で繰返し測定を行う場合、透気性測定値が直前の試験による影響を受けないようにするためには、試験間の時間間隔を10～15分程度以上とすれば良いことを示した。また、試作した検定器によって、透気性試験機の測定精度や試験機の劣化の程度、機差の確認、測定前の漏気の有無の点検などが可能となること、また、試験機間の検量線を整備することによって異なる透気性試験の結果の相互評価が可能となることなど、検定器を透気性試験に適用することの有効性が確認できた。

さらに、測定データの解釈について、変動係数と併せて、Grubbsの棄却検定に基づき異常値（特異値）を選別した後に相乗平均することによって、表層コンクリートの透気性を概ね適切に評価できること、部材全体の評価を目的とした場合のサンプル数としては、経験的に実施可能な回数の観点も考慮して6回を一応の目安とすることが有効であることを示した。本章の最後に構造部材の平均的な評価を行う際に必要となる透気性評価値を得るための実用的なフローを示した。

第5章では、打放し面での透気性とかぶり厚さによる中性化進行評価に基づく耐久性評価として、中性化速度係数と透気性測定値との相関性、かぶり厚さとかぶりコンクリートの透気性に基づく構造体コンクリートの耐久性評価や寿命予測について検討した。

その結果、中性化速度係数と透気性試験結果との間には高い相関が得られ、それらの関係を用いて、コンクリートの品質変動に起因する透気性の変動係数を評価目的や評価しようとする建物に応じて適切に設定することによる透気性の変動を考慮した中性化速度係数の導出のための手法を示した。この手法により得られた中性化速度係数を用いてかぶり厚さと透気試験の結果に基づく構造物の耐久性予測のためのチャートを示した。

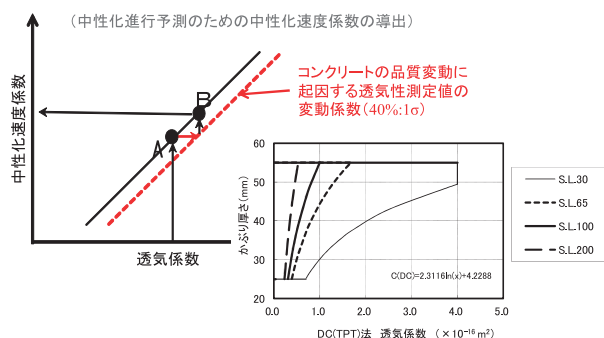


図3 中性化速度係数の導出イメージと耐久性評価チャート例