

論文の内容の要旨

論文題目：散水によるコンクリート表層品質の簡易評価に関する研究

氏 名：西尾 壮平

本論文は、鉄筋コンクリート(RC)構造物におけるかぶりコンクリートの密実性に関して、RC 構造物の建設時の品質管理あるいは竣功検査の実務に導入可能な簡易評価手法の確立を目的としたものであり、全 7 章で構成される。なお、本論文における “コンクリート表層品質” あるいは “表層品質” とは、かぶりコンクリートの密実性、ないし物質透過抵抗性を指す。

第 1 章では、研究の背景および目的を論じた。RC 構造は所定の寸法を有したコンクリートが所定の位置に鉄筋を内包することによって成立するため、RC 構造の耐久性は鉄筋を腐食から保護するかぶりコンクリートの厚さと表層品質に依存する。かぶりコンクリートの厚さが構造物の施工時の型枠と鉄筋の位置関係によって一義的に定まるのに対して、実構造物における表層品質は、使用材料、施工方法、環境条件など複数の要因で変動する。また、長期間の供用を前提とする構造物やかぶりの設計条件に制限のある構造部材においては、コンクリート表面から作用する劣化因子の侵入に抵抗するバリアとしてのコンクリート表層部の密実性、すなわち表層品質が耐久性確保の面で重要となる。近年、かぶりコンクリートの品質向上、品質確保に向けた産官学の連携した取り組みが活発化しており、外観の見た目で評価することが困難な実構造物の表層品質に対する非破壊評価のニーズが高まっている。かぶりコンクリートの透気性や透水性の非破壊評価手法が提案され、実構造物への適用事例も複数報告されている。しかしながら、それらの報告は研究上の適用事例に過ぎず、適用された非破壊評価手法は構造物の建設や保守の実務への導入が困難な技術となっている。実構造物で表層品質を評価する仕組みを社会に実装するためには、実務者が使用可能な簡易評価技術を確立する必要がある。以上の背景の下、土木構造物の検査実務に対するコンクリート表層品質の検査の導入を想定し、簡便性を重視した非破壊評価手法の確立を目的として検討を行った。

第 2 章では、コンクリート表層品質の非破壊評価に関する既往の研究について論じた。実構造物の表層品質の評価を目的として提案された非破壊評価手法は各種あるが、いずれ

も専門家による調査や研究においてのみ使用可能であること、また精緻な測定を実施して取得される評価値がコンクリートの含水状態に左右される不確実な情報であることから、構造物の検査実務への導入に適した手法ではないものと結論付けた。

第3章では、本論文で提案する表層品質の簡易評価手法である「散水試験」の着想ならびにその具現化を目的とした試行的検討の結果を整理した。また、散水試験の検証において重要な要素となる表面色の定量的表現に関する基礎を整理するとともに、携帯型の測色機器によるコンクリート構造物の表面色に関する測定結果を示した。実験的検討の結果に基づいて、乾燥したコンクリート表面に対して微量の水分を散布し、微量の水分がコンクリートに吸収される状況を定量的に把握することで表層品質に関する情報を取得する、という散水試験の基本概念の、表層品質の簡易評価に対する妥当性と有用性を示した。

第4章では、第3章の試行的検討によって得られた知見を背景に、散水によって意図的に引き起こしたコンクリート表面色の変化に関する特性の詳細把握を目的として実施した各種の試験体および実構造物による実験的検討の結果を整理した。散水による表面色の変化は明度の変化で代表できること、また散水による明度の変化に関して、散水の実施直後の経時的な変化を詳細に計測することで多様な情報を含むデータが取得できることを明らかにするとともに、明度の経時変化を測色機器で詳細に計測したデータを分析することにより、表層品質との相関を有した指標となる最低明度計測時間および明度変化速度最大値が取得可能であることを示した。また、散水試験に適した散水方法として、一度に散布する水量は可能な限り減量した上で、一定の時間間隔を置いて同一箇所への散布を繰り返し行うという方法を考案し、明度の経時変化曲線から抽出される最低明度計測時間および明度変化速度最大値を散水の繰り返し回数と組み合わせることで表層品質の判定の確度が向上することを示した。一方、これらの評価指標を取得するための測定手順では、始終、測色機器を作動させて明度に関する連続的なデータを取得する必要がある、作業性の面で改良の余地があると考え、明度に関する離散的なデータの取得に適応した測定手順を考案し、明度変化速度最大値と置き換えが可能な指標として明度変化飽和度を提案した。また、鉛直面に散水試験を適用した際に副次的に発生する水の流下現象に関して、繰り返し散水時の流下距離の累積値が表層品質の評価指標となる可能性に言及した。

第5章では、散水による表層品質評価の簡便性の追求を目的として、散水試験で付与した水分の存在による表面色の変化ではなく、散水によって瞬間的に吸収されない余剰水分の挙動に着目し、コンクリート表面における余剰水の滞留時間、鉛直面での余剰水の流下発生状況を目視で定量的に評価する方法について論じた。余剰水の挙動の分析においては、独自の画像解析技術の開発を行った。コンクリートが吸水可能な容量に比して微量の水分を断続的にコンクリート表面へ付与するという散水試験特有の状況を撮影した動画の分析、

ならびに画像解析により、表層の水分の飽和に伴う吸水現象の停滞、それに伴って生じる表面における余剰水分の滞留、鉛直面における余剰水分の流下、これらの現象とコンクリート表面色の経時的な変化との関係性を整理し、散水試験で付与した水がコンクリート表面で滞留する様子は、コンクリート表面での水の存在による光の反射に起因する光沢感の有無として画像上、さらに人間の目視によっても認識できることを明らかにした。鉛直面において発生し得る余剰水の流下現象に関しては、第 4 章で言及した水の流下距離を指標とした評価方法ではなく、水の流下発生の有無による評価方法を提案した。流下発生の有無を目視で確かかつ容易に判定することを可能とする散水器具を新たに開発し、水の流下現象の観察に特化した測定手順を定めた。

以上の知見を基に、水の滞留現象および流下現象の発生に基づいた表層品質の測定手順を構築し、測定者の手動による散水と目視による観察によって表層品質の簡易評価を行う「散水試験」を提案した。散水試験では、約 0.1mg/mm^2 の散水を 60 秒間隔で同一箇所に対して繰り返し行い、コンクリート表面における吸水現象の停滞を目視によって識別し、吸水現象の停滞までに要した時間あるいは散水の繰り返し回数に基づいて表層品質を定量的に評価する。また、本章では、表層品質の評価に対する影響要因として考慮が不可欠であるとともに、既存の表層品質評価技術においては排除が不可能と考えられるコンクリートの含水状態の影響に関して、コンクリート施工時の型枠脱型直後における高含水状態のコンクリートに対する散水試験の適用方法を提案した。散水試験は既存の非破壊評価技術が適用不可能な若材齢のコンクリートに適用でき、かつ若材齢のコンクリートへの適用によって含水状態に起因する表層品質の評価の不確実性が散水試験においては軽減できることを明らかにした。すなわち、含水状態が支配的要因となり得る表層品質の非破壊評価において、散水試験では実構造物を対象とした評価値の取得を合理的かつ効率的に実現できることを示した。

第 6 章では、まず本論文で提案する散水試験の影響要因について論じた。散水試験の測定結果を左右する散水条件となる、散水の量と方向、繰り返し散水時の時間間隔は統一する必要がある。散水試験で乾燥したコンクリート表面に付与した水分は、一般的な環境下においてはコンクリート内部への吸水によって表面から消失し、外気への蒸発による消費の影響はほとんどない。しかし、実構造物の測定においては、測定対象のコンクリートの含水状態を変化させる日射や水がかりの影響を受ける場合に散水試験の測定値が増減したことから、実構造物に対する散水試験の適用条件を整理した。次に、散水試験の活用事例に関して論じた。散水試験に適した微量水分の繰り返し散布の精度を確保するために開発した専用の試験キットを提供することにより、他機関での散水試験の実施が可能となることを、事例の紹介という形で実証した。さらに、散水試験の応用技術に対する見解として、散水試験では結果的にコンクリートの表層品質の可視化を実現したものと捉え、表層品質の可視化が導く将来的な技術開発の先例として、散水試験を画像処理技術と融合させた技術の開発事例を示

した。

第7章では、本論文の各章で得られた結果を総括し、今後の展望を論じた。

実構造物の表層品質は、乾燥したコンクリート表面に散水して目視で観察するという手軽な手段、本論文で提案する散水試験によっておおよその優劣を定量的に区別できる。散水試験は、構造物の建設に携わる発注者を含むすべての実務者が、自身で、脱型や養生の完了の翌日から、表層品質をその場で可視化することを実現する。目視では不明であったかぶりコンクリートの密実性に対する不具合は散水試験で可視化され、目視で確認できる表面のひび割れや気泡といった外観上の不具合と同様に、確認や検査の対象とすることが可能となる。可視化された情報はその場で共有、共感ができる。散水試験は、建設に携わるすべての実務者に対して、コンクリートの品質確保に対する意識の向上、実務者同士の対話と協働を促し、耐久性に優れた構造物の構築に資するものとなる。