

論文 コンクリート表面における散水時の明度変化と水分の挙動に関する基礎的検討

西尾 壮平^{*1}・上田 洋^{*2}・岸 利治^{*3}

要旨：コンクリート表層部の物質透過性に関する非破壊評価の重要性が高まっている。本研究では、実構造物の簡易検査への適用性を重視して考案した「散水試験」における明度変化に関する基礎的な検討を行った。測定環境が同等の場合、散水試験では測定箇所の影響が小さく再現性の高い測定結果が得られることを実構造物で確認した。また、散水試験では表面における蒸発の影響は小さく、測定結果にはコンクリート内部の含水状態が反映されることが明らかとなった。含水状態の統一が困難な実構造物の評価においては、コンクリート表面からの強制的な含水状態の調整が有効となる可能性が示唆された。

キーワード：表層品質、物質移動抵抗性、散水、測色、明度、L*a*b*表色系、散水試験

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)構造物の耐久性は、内部の鉄筋を保護する表層部のかぶりコンクリートの品質に大きく左右される。従来、コンクリートの品質は圧縮強度や材料の配合で判断されてきたが、実構造物の耐久性を考える上では劣化因子となる各種物質の透過に対する抵抗性が重要となる。近年、主に RC 構造物表層の物質透過性を指し示す「表層品質」というキーワードが一般化しつつあり、表層品質の非破壊評価に関する研究が活発化している。各種の非破壊評価手法が検討、提案されるなか、著者らは実構造物検査に対する適用性の観点から簡便性に優れた手法の確立を目指し、コンクリート表面における散水時の水分逸散性状に着目した研究開発を行ってきた^{1)~7)}。研究開発の当初、乾燥したコンクリート表面に少量の水分を散水した際の表面色の経時変化特性が各種品質のコンクリートで大きく異なった特徴を有することから、意図的な散水の前後の表面色を測定することで表層品質の評価を試みる独自の試験手法を「散水測色試験」^{2),3)}と称し、表層品質の非破壊評価に活用可能な情報を簡易に取得できる可能性のある手法として提案してきた。実際に表層品質の向上が確認された実構造物ならびに屋外曝露試験体に散水測色試験を適用し、散水量の減量化が必要であること、少量の散水の繰返しによって得られる情報の量と質が向上することなどを明らかにしている^{2),3)}。また、測定結果から抽出される各種の評価指標および簡易な測定手順を提案^{2)~5)}するとともに、鉛直面に散水した際に観測される水の流下現象に着目した簡易評価の可能性を見出している^{6),7)}。研究の進展に伴い、「測色」は「散水」によって生じたコンクリート表面での諸々の変化を評価する一手段であり、「散水」という行為自体が

手法の主たる特徴となる可能性が見出されたことから、著者らの提案する表層品質の非破壊評価手法を本稿では最新の既報⁷⁾と同様に「散水試験」と表記する。

本稿では、散水試験（以下、本手法とする）における測定結果および評価指標を再整理するとともに、本手法を実構造物に適用した測定結果を基に、推測されるコンクリート表層における水分の移動状況と関連付けた考察を行った。また、表層品質に関する各種の非破壊評価手法において共通の課題となっているコンクリート内部の含水状態の影響に関する見解を述べる。

2. 散水試験の概要

2.1 測定手順

図-1 に、散水試験の概要を示す。本手法では、治具で測定箇所を固定化した上で、散水前のコンクリートの表面色を初期値として測色したのち、同一箇所でも散水と測色を繰返し行う。本手法は少量の水分を付与する以外にコンクリートに及ぼす影響はほとんどないと考えら

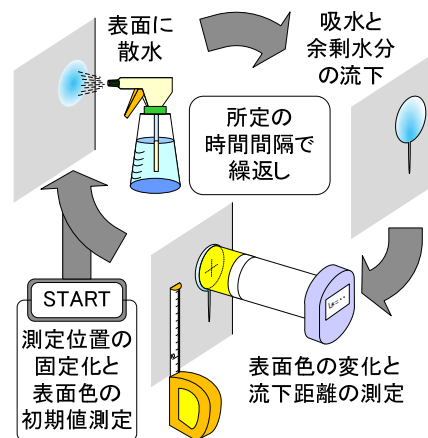


図-1 散水試験の手順

*1 (公財) 鉄道総合技術研究所 材料技術研究部 コンクリート材料 副主任研究員 修士 (工学) (正会員)

*2 (公財) 鉄道総合技術研究所 材料技術研究部 コンクリート材料 研究室長 博士 (工学) (正会員)

*3 東京大学 生産技術研究所 教授 博士 (工学) (正会員)

れるため、同一箇所での繰返しが可能である。詳細は既報^{2)~4)}で述べているが、散水以降の一連の流れを所定の時間間隔で繰返して実施することにより、本手法で得られる情報の確度が向上する。繰返しが可能であり、繰返しによってさらなる情報が得られる点は、本手法の大きな特長の一つである。本手法における散水方法は基本的に既報と同様でありここでは割愛するが、本稿で示す試験結果における散水量等は各箇所個別に示した。また、本手法では測定面の方向に応じて測定方法を変化させており、現時点では、本手法を水平面の上面および鉛直面の2方向に適用している。なお、本稿で示す実験結果では直接言及していないが、図-1中に示したように、鉛直面では散水直後に吸収されない余剰な水の流下現象が観測され、吸水抵抗性が高いコンクリートほど水の流下距離が大きくなる傾向が見出されている^{6)~8)}。

2.2 コンクリート表面色の特徴および測色方法

コンクリートの表面色を広義に表現するといわゆる灰色であるが、色を数値で表現する表色系を規定し、測色機器による測定を行うことで、表面色は数値化が可能である。また、表面色は光の反射、吸収特性に関係することから、非破壊で測定が可能である。本研究で用いたL*a*b*表色系⁹⁾では、色の三属性のうち明度をL*で表し、残る二属性の色相と彩度がa*, b*の組合せで表記される。本稿では表面色の明るさの度合いを広義に示す場合を「明度」とし、明度の測定値は「明度L*」と表記した。各種コンクリートの表面色の測定例については、詳細を既報^{1)~4)}で述べているが、骨材の露出などのない通常のコンクリートにおける表面色はほぼ無彩色であり、特徴は主に明度L*に現れる。また、例えば、雨後のコンクリートが明らかに黒味を帯びて感じられるように、明度L*はコンクリートの湿潤状態に依存して大きく変化する。コンクリートの表面色は配合や養生のほか使用材料によっても変化するため、諸元の明らかでない実構造物のコンクリートに対して表面色の測定値そのものを活用して評価することは困難である^{1)~4)}。一方、本手法では、乾燥したコンクリート表面へ意図的に少量の水分を付与し、明度L*を積極的に変化させることで観測可能な「明度L*の変化特性」に着目している。本手法を正確かつ簡潔に表現すると、乾燥したコンクリート表面に少量の散水を行い、散水領域における水分消失の挙動を、表面の明度変化として捉え、同時に観測される水の流下現象と併せて測定するもの、となる。

表-1に、本研究における測色条件を示す。使用機種は現場への携帯が可能で小型・軽量の機種で、測定に要する人員は1人である。測定時の光源は機器に内蔵され、機器はバッテリーで駆動するため、測定時に電源設備は必要としない。当該機種は市販の機器の中では測定径が

50mmと大きく、測定面における凹凸や気泡の存在が不可避であるコンクリートに対して平均的な評価を行うのに適した機種として選定した。

表-1 測色条件

表色系	L*a*b*
測色方式	刺激値直読式
測定径	φ50mm
照明・受光方式	拡散照明垂直受光方式(正反射光含)
観察光源	補助標準イルミナントC
視野角度	CIE 2°
特記事項	自動計測機能搭載(最短3秒間隔)

2.3 散水試験の測定データおよび評価指標の抽出

図-2は、散水試験の測定データを模式的に示したもので、代表的な明度L*の測定値をプロットし、各測定値の差分である明度変化量の主要なものを付記した。表-2に、図-2で示した記号の解説を示す。図-2でn=1と付記した初回の散水時の測定結果を表す曲線が示すように、明度L*は初期値である散水前の測定値L_t(=L_{0,0})が最高値となり、散水によって急激に低下する(明度L* = L_{TS,1})。明度L*の低下はコンクリート表面が散水で暗色化したことを表す。本手法で明度L*が変動する主要因は表面に付与した水分の存在に他ならないため、散水後の明度L*の変動は表面における水分の挙動に対応する。散水で付与した水分は、内部への拡散および表面からの蒸発により、鉛直面においては下方への流下の影響も加わり、時間の経過とともに測定領域の表面から徐々に消失するため、明度L*は経時的に初期値へと復元していく(明度L* = L_{TE,1})。続いて、復元段階の途中で2回目の散水を行ったのち再度測色を開始し、同様に10回まで繰返す。同図中でn=2以降と付記した曲線が示すように、散水を繰返すことで明度L*の経時変化曲線は低明度側である下方に推移する。繰返し回数の増加に伴い、明度L*の低下は底打ちとなり、経時変化曲線の勾配は鈍化すなわち明度変化の速度は停滞化する。本手法の測定結果におけるこれらの特徴は表面における水分消失の挙動を反映したものであり、表層における含水状態の飽和

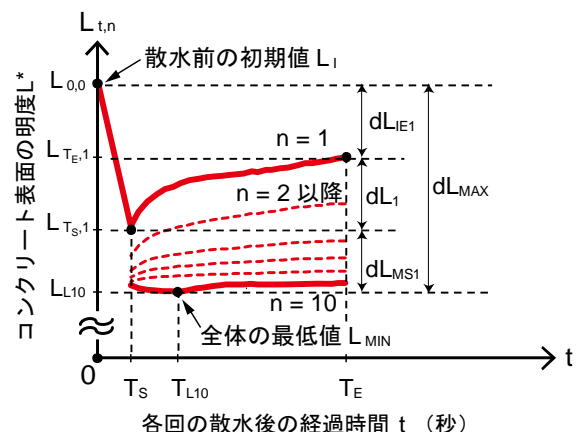


図-2 散水試験の測定データ(模式図)

挙動を捉えたものと考えられる。また、表層品質と関連性を有している可能性が高いと考えられるため、測定結果から評価指標の抽出を試みることに意義を見出し、各種コンクリートを対象とした実験的検討により複数の評価指標をこれまでに提案してきた。表-3に、既提案の評価指標を示す。これらは明度 L^* の初期値と最低値を基準の数値と捉えた上で、ある経過時間での明度 L^* の変化量や変化速度に着目したものである。これらの評価指標は、試験条件の統一が比較的容易な室内試験によってコンクリートの吸水抵抗性等との相関を有することを実験的に確認している^{3),4)}。

表-2 各数値の解説

n	散水試験の繰返し回数 (回)
t	各回における散水後の経過時間 (秒)
T_S	散水後の測色開始時間 (秒), 各回で統一
T_E	散水後の測色終了時間 (秒), 各回で統一
T_{Ln}	n 回目の測色時における明度 L^* の最低値が記録された経過時間 (秒)
L_{tn}	時間 t, 回数 n における明度 L^*
L_I	散水前の明度 L^* , 測定箇所での初期値 (= $L_{0,0}$)
L_{Ln}	n 回目の測色時における明度 L^* の最低値
L_{MIN}	全体の明度 L^* の最低値 (図-2 では $L_{MIN} = L_{L10}$)
dL_{MAX}	測定箇所における明度 L^* の最大変化量 $dL_{MAX} = L_I - L_{MIN}$
dL_n	n 回目の測色時における開始時 ($t = T_S$) から終了時 ($t = T_E$) までの明度 L^* の変化量 $dL_n = L_{TE,n} - L_{TS,n}$
dL_{MSn}	n 回目の測色開始時 ($t = T_S$) の明度 L^* と最低値との差 $dL_{MSn} = L_{TS,n} - L_{MIN}$

※ 添字は、I: Initial, M: Minimum, S: Start, E: End, A: Additional を意図したもの

表-3 既提案の評価指標

表記	説明	表-2 との対応
T_L	最低明度計測時間 ^{2),3),4),6),7)} , 明度 L^* の最低値記録までの経過時間 (秒)	$T_L = T_{Ln} \quad (n=1,2,\dots,10)$
V_H	明度変化速度最大値 ^{2),3),4),6),7)} , 復元段階における明度 L^* の時間当たりの変化量の最大値	$V = \frac{d(L_{t,n})}{dt} \quad (t \geq T_{Ln})$ の最大値
R_B	明度変化率 ^{3),5),7)} , 最低明度 (飽和時) に対する明度 L^* の変化量の比率	$R_B = \frac{(L_{t,n} - L_I)}{dL_{MAX}}$

3. 散水試験の測定値と水分挙動の関連性に関する検討

3.1 実験の概要

実構造物における散水試験の測定結果の再現性に関する検討を行った。測定の対象は国鉄時代に建設された宮崎リニア実験線高架橋の RC 柱である。使用されたコンクリートに関する正確な記録等が確認できていないため配合等の諸元は不明であるが、材齢は 30 年程度と考えられる。表-4に、試験条件および検討項目を示す。検討項目は、第一に、同一の柱における測定位置の相違の影響、第二に、内部の含水状態の影響とした。測定位置の相違の影響は、外観上の特徴が異なる 2 箇所において各

2 点で測定を行い検討した。図-3に、測定箇所の状況を示す。測定箇所は、地上高約 1m で柱の両側面から内側に約 10cm 入った 2 箇所(D1, W2), さらに約 10cm 入った 2 箇所(D2, W1)の計 4 箇所である。向かって右側の 2 箇所(W1, W2)は上部工からの漏水の影響で表面が汚れた箇所とした。以下、D1 と D2 を合わせて乾燥箇所と、W1 と W2 を合わせて漏水箇所とそれぞれ表記する。乾燥箇所と漏水箇所では外観上の色合いや付着物等の状況が異なっており、表面の付着物は 4 箇所ともに散水試験の実施前に乾いたスポンジで磨いて除去した。含水状態の影響は乾燥箇所と漏水箇所の比較のほか、乾燥箇所において散水試験を実施したのちドライヤーで強制乾燥を行い、再度、散水試験を行うことで検討した。表-5に、含水状態の調整手順を示す。

表-4 試験条件および検討項目

測定対象	RC 高架橋柱
測定環境	屋外, 日射の影響の少ない日陰の東側の 1 面, 天候: 晴, 気温: 28~32℃, 湿度: 不明
測定方向	鉛直に近い直立面 (柱の側面)
散水方法	散水量: 約 0.8 ml, 散水領域: ϕ 60mm, 繰返し間隔: 約 240 秒, 回数: 5 回
測色時間	$T_S = 20$ 秒, $T_E = 210$ 秒, 5 秒間隔
検討項目	測定位置の影響, 内部の含水状態の影響

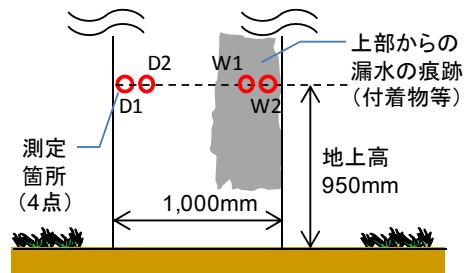


図-3 測定箇所の状況

表-5 含水状態の調整手順

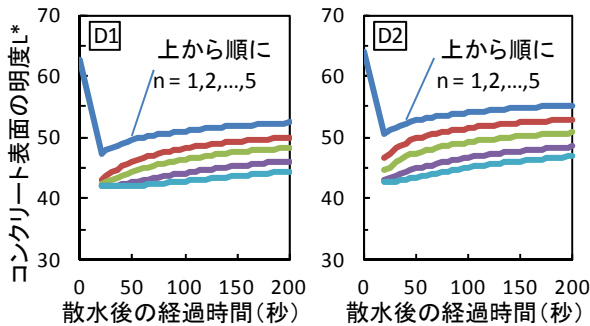
1.	1 度目の散水試験実施 (散水量 0.8ml, 繰返し回数 5 回)
2.	多量の散水で表層を飽和させる (散水量 0.8ml を 30 回)
3.	ドライヤーで強制的に乾燥させる (10 分程度)
4.	明度 L^* が試験前の初期値まで復元していることを確認
5.	表面温度が試験前と同等となっていることを確認
6.	2 度目の散水試験実施 (散水量 0.8ml, 繰返し回数 5 回)

3.2 実験の結果および考察

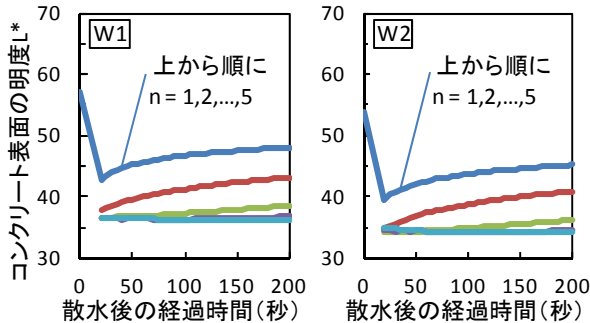
(1) 測定位置の相違の影響

図-4に、測定結果を示す。乾燥箇所内の 2 点(D1, D2)ならびに漏水箇所内の 2 点(W1, W2)の結果がそれぞれ類似し、乾燥箇所と漏水箇所でき大きく測定結果が異なることがわかる。図-5に、同一の繰返し回数で比較した測定結果を示す。図-5(a)が示すように、1 回目の測定結果において、各測定箇所では初期値には差が見られるが散水後の明度 L^* の経時変化はほぼ同等となった。また、測定回数 n が増加しても、乾燥箇所内の 2 点および漏水箇所内の 2 点では散水後の明度 L^* の経時変化はそれぞれ同

等となった。測定箇所状況に差がない場合、散水試験では測定位置の影響がほとんどないことが確認された。また、今回の乾燥箇所と漏水箇所が生じていると推定される表層品質や含水状態に対する差異は、繰返し回数 2 回目以降の測定結果に現れることが明らかとなった。

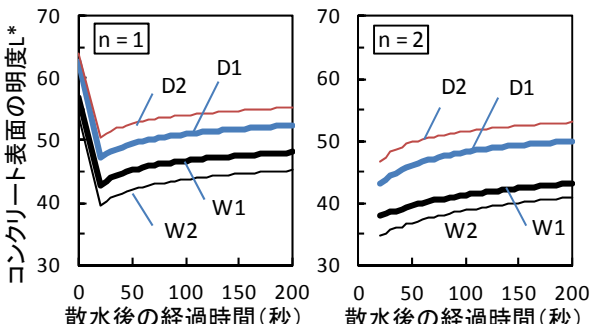


(a) 乾燥箇所(D1, D2)



(b) 漏水箇所(W1, W2)

図-4 測定箇所の比較



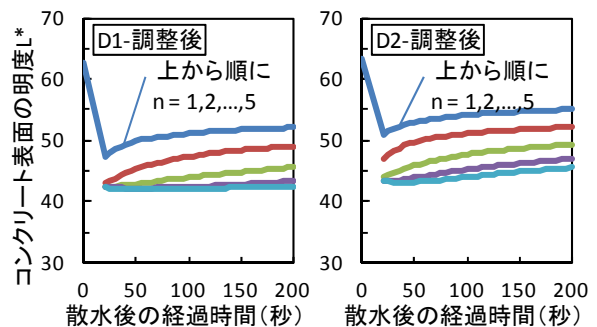
(a) 1 回目の測定結果 (b) 2 回目の測定結果

図-5 同一繰返し回数での測定結果の比較

(2) 含水状態の影響

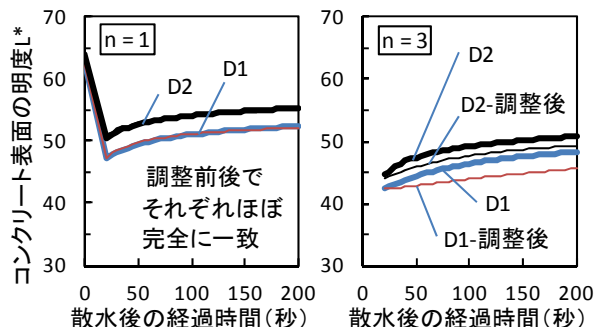
乾燥箇所と漏水箇所の比較においても表層の含水状態の影響が示唆される結果が得られたが、乾燥箇所において含水状態を強制的に変化させた状態で再試験を行い、同一箇所でも異なった含水状態を想定した状況下における測定を行った。図-6 に、含水状態調整後の測定結果を示す。図-4(a)と比べて、散水 3 回目以降の明度 L^* の経時変化が鈍化し、漏水箇所の測定結果 (図-4(b)) のような挙動に近づいていくことがわかる。なお、図-6 では、D1 に比べて D2 における明度 L^* の経時変化が大きい。これは強制乾燥の程度が統一できておらず、乾燥の度合いに差があったためと考えており、D2 の方がより乾

燥していたことなどが推定される。図-7 に、含水状態調整前後の測定結果を同一繰返し回数で比較したものを示す。図-7(a)に示すように、1 回目の散水後の明度 L^* の経時変化は調整前後でほぼ完全に一致した。n=2 以降、調整後の測定結果が低明度側に推移し、n=3 で両者の差が明瞭となった。含水状態の調整は給水とドライヤーによる強制乾燥によって行い、明度 L^* と表面温度は 1 度目の散水試験前と同等に戻ったことを確認した上で 2 度目の散水試験を実施したが、内部に吸水された水はドライヤーによるコンクリート表面からの 10 分程度の処置では除去されなかったものと推定される。散水試験を繰り返した際の明度 L^* の経時変化は、内部の含水状態に関連する情報を含んでいることが明らかとなった。また、含水状態調整の前後で 1 回目の測定結果がほぼ完全に一致したことから、表面からの強制的な乾燥の効果の及ぶ範囲内で、散水試験では含水状態の影響を排除した測定が実施できる可能性が見出された。



(a) D1 (b) D2

図-6 含水状態調整後の測定結果



(a) 1 回目の測定結果 (b) 3 回目の測定結果

図-7 含水状態の調整の効果

(3) 散水試験で得られる代表的な測定値の分析

以上で示したすべての測定結果について、代表的な測定値を詳細に分析し、測定箇所の相違の明確化および各測定箇所における類似性の再現を試みるとともに、水分挙動と関連付けた考察を行った。

図-8 および図-9 に、散水各回の明度変化量 dL_n およびその総和 ΣdL_n と繰返し回数の関係を示す。ここで、 dL_n は、n 回目の測色時における開始時から終了時までの明度 L^* の変化量であるが、言い換えると、散水後の明度

L^* の復元量である。明度 L^* の復元は主にコンクリートの吸水で引き起こされるものと見なすと、 dL_n は内部へ吸収された水量と関連性を有した測定値と考えることができる。 dL_n が負の値を示す場合は、 n 回目の測色開始から終了までの間に明度 L^* が復元せず、さらに明度低下が生じたことを意味する。これは、時間をかけて表層に水が浸透したということ、つまり、コンクリートがほとんど吸水しないという状況を表すものと考えられる。図-8(a)に示すように、繰返し回数4回目以降に漏水箇所(W1, W2)では dL_n が負の値となった。一方、図-8(b)に示すように、含水状態調整後のD1における dL_n は、D2に比べて漏水箇所(W1, W2)の測定結果に近い。

図-9に示した明度変化量の総和 ΣdL_n は、散水の繰返しで付与した水分のうちコンクリート内部へ吸収された水の総量に関連した測定値と考えることができる。図-9より、 ΣdL_n は含水状態などの差を明瞭に示すことができる。なお、上述のように散水の繰返しで dL_n が負の値となった場合、総和である ΣdL_n は最大値をとったのち微減する。そのため、評価に用いる場合は ΣdL_n の最大値による評価が適切と考えられる。

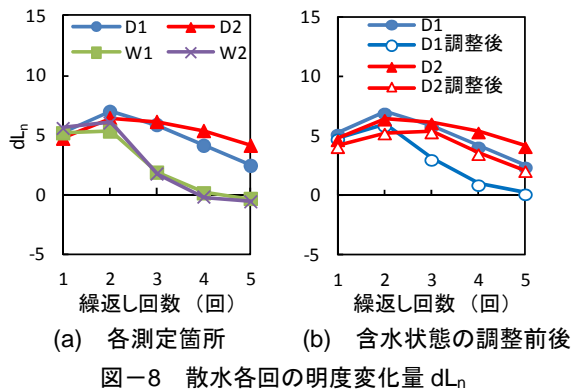


図-8 散水各回の明度変化量 dL_n

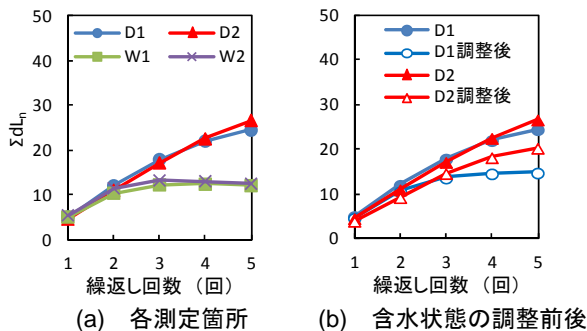


図-9 散水各回の明度変化量の総和 ΣdL_n

図-10に、散水各回における測色開始時の明度 L^* と最低値 L_{MIN} との差である dL_{MSn} と繰返し回数との関係を示す。 dL_{MSn} は、明度 L^* の最低値 L_{MIN} を基準とした際の、散水直後の時点における明度 L^* の相対的な位置を示した値であり、最低値 L_{MIN} までの明度変化量の余裕分に相当する。ここでは散水の20秒後であるが、散水によって付与した水が吸水され始めた直後の表面における水の存

在を意味する数値であると仮定すると、表面における水の飽和度と言い換えることができる。図-10(a)に示すように、乾燥箇所と漏水箇所の dL_{MSn} の差は比較的小さく、また、図-10(b)に示すように、含水状態の調整前後で dL_{MSn} はほぼ一致する結果となった。 dL_{MSn} は測定対象のコンクリートの表面における水分状態あるいは凹凸等の表面性状を捉えた数値である可能性が考えられる。

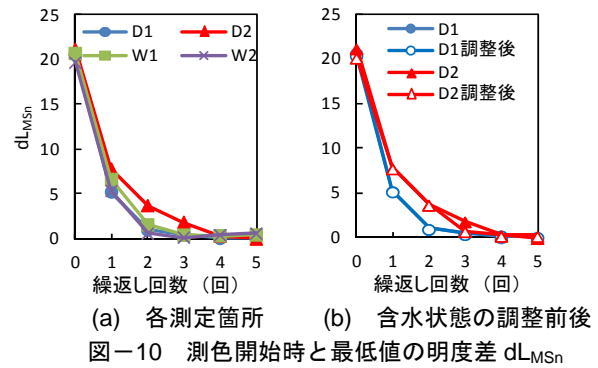


図-10 測色開始時と最低値の明度差 dL_{MSn}

4. 散水試験の影響要因に関する基礎的検討

4.1 実験の概要

散水試験で得られる測定値にはコンクリート表面における水分状態に関する情報が含まれている可能性が示唆された。一方、散水試験では少量の水分を利用し、付与した水分の消失状況をコンクリート表面で観測している。しかし、水分の消失における蒸発の影響はほとんどないものと見なしてきた。また、著者らが別途実施中の実験において、屋外曝露の試験体で時季と天候の条件を変えて検討を行ったところ測定結果が変動し、外気温、湿度の影響を検討する必要性が明らかとなった。外気温、湿度による影響として具体的には蒸発量の相違が考えられる。そこで、簡易な室内試験により散水試験におけるコンクリート表面から外部への蒸発量に関する検討を行った。表-6に、試験体の概要を示す。試験体は他用途の実験にて作製した角柱供試体で、作製直後から約7年間、標準水中養生を行ったまま水槽内に静置されたものである。長期間の水中養生で飽水状態となった試験体を利用し、水槽から取り出した直後からの表面の明度変化および蒸発量を計測した。なお、蒸発量の計測には、秤量を0.01g単位とするために断面が100×100mmで厚さ10mmの小型の試験片を切り出して用いた。

4.2 実験の結果および考察

図-11および図-12に、飽水状態の試験体における蒸発量および表面の明度と経過時間の関係を示す。蒸発量の経時変化は計測開始の直後が最大であるのに対し、明度 L^* は計測開始から6時間以上経過してから緩やかに上昇した。明度 L^* の経時変化は24時間後付近で最大となり、それ以降、蒸発量と同様に経時的に変化量が小さくなった。飽水状態のコンクリート表面では表面からの

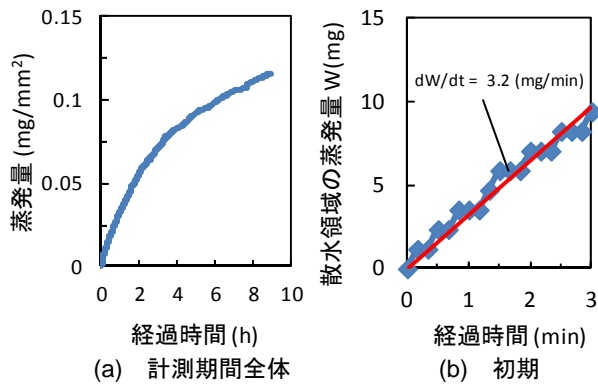


図-11 飽水状態からの蒸発量

表-6 コンクリート試験体の概要

W/C	50% (W = 165kg/m ³ , C = 330kg/m ³)
セメント	普通ポルトランドセメント
フレッシュ性状	スランブ 10cm, 空気量 4.9%
圧縮強度	54.3MPa (材齢 28 日, 標準水中養生)

表-7 散水試験における蒸発の影響 (20°C, 60%RH)

最低量とした際の 1 回あたりの散水量	約 250mg
散水領域からの蒸発による水の消失量	約 3.2mg/min
蒸発による明度 L* の変化量の最大値	約 0.04/min

蒸発によって内部の水分が表面側に移動すると考えられるため、蒸発量と明度変化にタイムラグが生じたものと推定される。これらの結果から、経時変化曲線の最大勾配に基づいて、散水試験における散水領域の面積を考慮した蒸発による水の消失量、ならびに、明度変化量の最大値を算出した。表-7 に、算出結果を示す。散水量に比べて蒸発による消失量は 1%程度となり、蒸発による明度 L* の上昇は 1 分間に最大で約 0.04 となった。飽水状態から蒸発させた状況において、コンクリート表面から外部への蒸発による明度変化はほとんどないことがわかった。散水試験における明度変化特性は主に内部方向への移動による水分の消失を捉えていると考えられる。

5. まとめ

表層品質の簡易な非破壊検査手法として考案した散水試験を実構造物に適用し、測定結果の再現性および含水状態の影響を検討するとともに、コンクリート表層部における水分の移動と関連付けた考察を行った。また、コンクリート表面における蒸発の影響を実験的に検証した。本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 測定環境が同等の場合、散水試験では測定箇所の影響は小さく、再現性の高い測定結果が得られる。
- (2) コンクリート表面からの強制的な乾燥により、散水試験では内部の含水状態の影響を除去した測定が可能となる。なお、乾燥の効果が及ぶ範囲については別途検討が必要である。
- (3) 散水試験で得られる測定値を詳細に分析することに

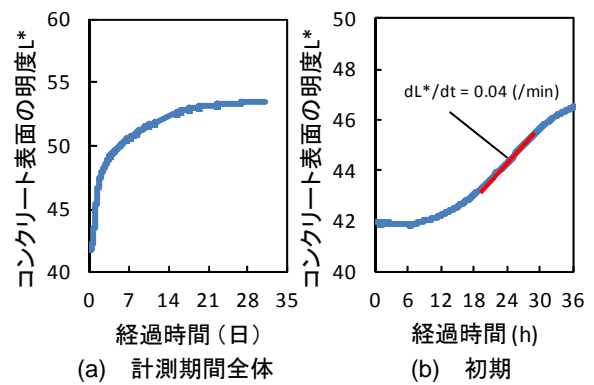


図-12 飽水状態からの蒸発による表面の明度変化

より、コンクリートの吸水性状だけでなく表面性状に関する情報が取得できる可能性がある。

- (4) 気温 20°C, 相対湿度 60% の環境下では、コンクリート表面から外部への蒸発が散水試験における明度変化特性に及ぼす影響は小さい。

参考文献

- 1) 西尾壮平ほか：表面色によるコンクリート表層部の物質移動抵抗性の非破壊評価に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.1, pp.1751-1756, 2011
- 2) 西尾壮平ほか：散水によるコンクリート表層部の品質評価に関する基礎的検討，第 66 回セメント技術大会講演要旨，pp.250-251, 2012
- 3) 西尾壮平ほか：散水時の明度変化によるコンクリート表層品質の非破壊評価に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.34, No.1, pp.1732-1737, 2012
- 4) 西尾壮平ほか：表面色によるコンクリート表層部の物質移動抵抗性評価，コンクリート構造物の非破壊検査論文集，Vol.4, pp.189-196, 2012
- 5) 西尾壮平ほか：コンクリート表面への散水時の明度変化に着目した表層品質の簡易評価手法の検討，第 56 回日本学術会議材料工学連合講演会講演論文集，pp.11-12, 2012
- 6) 西尾壮平ほか：コンクリート表面における散水時の明度変化および水の流下特性，土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集，V-017, pp.33-34, 2012
- 7) 西尾壮平ほか：コンクリート表面への散水時の諸特性による表層品質の非破壊評価，土木学会コンクリート技術シリーズ 97, pp.657-662, 2012
- 8) 家辺麻里子ほか：水の流下試験によるコンクリート構造物の表層品質評価に関する研究，第 66 回セメント技術大会講演要旨，pp.94-95, 2012
- 9) JIS Z 8729 色の表示方法 - L*a*b* 表色系および L*u*v* 表色系