

論文 コンクリート実構造物に適用できる表面吸水試験方法の開発

林 和彦^{*1}・細田 暁^{*2}

要旨: コンクリート構造物の物質移動抵抗性を非破壊で測定するために、実構造物に適用できる完全非破壊の表面吸水試験装置を開発した。この装置は粗骨材の露出したコンクリート壁面でも水漏れなく設置可能で、短時間で安定的に注水完了して測定を開始できる。検討の結果、吸水面積、注水完了時間は測定結果に影響を及ぼすため、限界値を規定する必要がある。初期水頭の影響については表層のマイクロクラックを有する場合を除けば、影響が小さい可能性がある。竣工検査への適用をおこなうためには、材齢と含水条件が与える影響を明らかにし、測定箇所、測定点数、評価基準についても整備しなければならない。

キーワード: 表面吸水試験, 実構造物, 非破壊検査, 物質移動抵抗性, 竣工検査

1. はじめに

新設あるいは既設のコンクリート構造物の耐久性を非破壊で調査する手法が求められている¹⁾。中性化や塩害などによる鋼材腐食や、凍害や ASR などのコンクリートの劣化について、劣化因子に対する物質移動抵抗性を直接的に測定することが有効である。実構造物においては、ひび割れ、打重ね部、打継目、コンクリート表面に現れるマイクロクラックや、粗骨材とモルタルの界面、ブリーディングによる水みちも存在し、その部位における物質移動抵抗性が低下することが知られているため、それらの影響も考慮する必要がある。

物質移動抵抗性を直接的に測定する手法としては、空気の動きに着目した透気性試験、水の動きに着目した透水性試験や吸水性試験がある²⁾。前述のコンクリートの劣化には、水が化学反応、物理作用等により、大きく関与することが知られている。例えば非常に乾燥した環境においては中性化残りが 0mm であっても鋼材は腐食していない事例もあり、特に水の動きを捉えることは重要なことといえる。一般的な構造物に作用する水圧は降雨等によるものであり比較的小さい。コンクリートに作用する水や気体の圧力の違いにより物質移動に支配的となる細孔径や物質移動メカニズムが異なるため、試験においても同等の低圧力であることが望ましい。特に、数 N/mm² の水圧をかける透水試験においては、コンクリートの組織を破壊してしまい、試験後の透水性が上昇してしまう例¹⁾もある。よって降雨による圧力程度の水を作作用させる吸水試験が有効であると考えられる。

小型の供試体を対象とした吸水試験方法や、ドリル削孔を伴う試験方法はこれまで存在するものの²⁾、実構造物に適用可能で完全な非破壊による吸水試験装置および評価手法はこれまでに確立されていない。特に新設構造物の竣工検査への適用では完全な非破壊であること

も求められるし、既設構造物の調査では表層の劣化により平坦でない困難な条件での試験も求められる。よって本研究においては、これらの問題を解決するための非破壊での表面吸水試験装置を開発し、試験方法を提案する。

維持管理や耐久性向上の目的で用いられる表面含浸材は、コンクリートへの液状水の浸入を抑制することを目的に用いられるが、その塗布効果を定量化するためにも表面吸水試験は有効である^{3),4),5),6)}。断面修復工法に用いられるプライマーは一般に無色透明であり、定量的に塗布量を管理することは難しいものの、表面吸水試験を適用することで、施工管理を定量的におこなうという用途なども考えられる。

2. 表面吸水試験の既往の手法と課題

2.1 既往の試験手法

コンクリートの表面においてコンクリートが吸収する量を測定する表面吸水試験手法はこれまでにいくつか提案されている^{7),8)}。British Standard 1881-5 に規定される Initial Surface Absorption Test⁷⁾ (以下, ISAT) が代表的であり、この手法では水頭 200mm とした場合の吸水速度を測定する。200mm の水頭は激しい雨によって発生するものよりわずかに大きい程度である⁹⁾。水平面と鉛直面に適用する構造が提唱されているものの、実際には供試体を用いて水平面に対して試験されることが多いようである¹⁰⁾。その理由として、本規準は基本構造の提示に留まり、水密性を確保して装置をコンクリート壁面に固定する手法が確定していないことが挙げられる。

壁などの鉛直部材を対象に装置を固定する手法として、浅野ら¹¹⁾、著者ら^{3),4),5)}によりパテ状シリコンや速硬性のエポキシ樹脂等を用いるものが提案されている。これらは試験後に装置の固定の跡が若干残り、表面の軽い研磨による除去が必要であり、完全な意味での非破壊と

*1 横浜国立大学大学院 工学研究院 特別研究教員 博 (工) (正会員)

*2 横浜国立大学大学院 環境情報研究院 准教授 博 (工) (正会員)

はいえない。完全な非破壊で装置を固定する手法としては、市販の製品として真空圧力を用いてフレームを壁面に固定し吸水試験装置の反力をとるもの¹⁾があるが、評価方法まであわせて提示されているわけではない。

2.2 課題

表面吸水試験においては、次の項目について検討をおこなう必要がある。

- (1) 作用させる水頭
- (2) 吸水させる面積：吸水現象は広がりを持った3次元方向である。実構造物のマイクロクラック等の影響も含む。
- (3) 水を注入し始めてから完了するまでの時間：この時間の吸水量が測定できない。
- (4) 非破壊でかつ水漏れをせずに装置を固定する手法
- (5) 測定時間および結果の評価手法
- (6) 測定点の選定や1回の測定点数：その手法自体および構造物の測定部位によるばらつき程度の検討。
- (7) 含水率や降雨の影響：新設構造物の場合には脱型直後から乾燥を開始して含水率が変化する。試験直前の降雨も試験結果に影響を与える懸念もある。

本論文においては、主として開発した表面吸水試験装置について説明をおこない、装置を用いて計測した事例を紹介する。測定結果の評価方法についても検討し、今後の課題をあわせて示す。

3. 提案する表面吸水試験装置

提案する試験装置は、図-1のようにコンクリートの鉛直面に設置することを想定した装置であり、吸水させる部分（以下、吸水カップ）（図-1(a)）および吸水カップを固定する装置（以下、固定装置）（図-1(b)）により構成される。図-1(c)のように全体を構成する。

3.1 吸水カップ

(1) 形状

吸水カップはコンクリートに接して吸水させる部分と、水頭をかけるとともに吸水量の変化を読み取るシリンダー部分により構成される。下部には水の注入および排出用のバルブがある。内径8mmのシリンダーには目盛りが刻まれており、吸水部分の中心からシリンダー上面までの距離が300mmとなる。コンクリートに作用する初期の平均水頭が300mmである。本装置は吸水とともに作用水頭が減少するが、シリンダー部が水平で作用水頭が常時一定となるISATと比較して、装置がコンパクトとなる利点がある。吸水とともに水頭が減少することの影響については5.3に示す。コンクリートに水が接

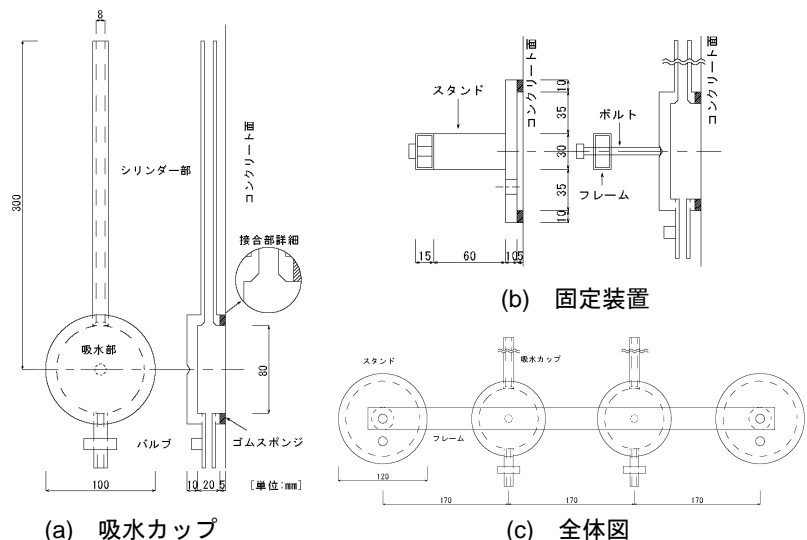


図-1 表面吸水試験装置

する部分の直径は80mm、断面積は5024mm²となる。これはISATの下限値の規定(5000mm²)を満足する。

吸水部の周囲で幅10mm、初期厚さ5mmの独立気泡ゴムスポンジ（硬度の規格値：アスカ-C型硬度計にて25±5度）がコンクリートに接する。固定装置のフレームからボルトを用いて反力を取りコンクリートにスポンジを押し付け、スポンジが弾性変形することによりコンクリート表面の凹凸部に密着する。このスポンジは独立気泡を含み、素材自体の吸水性はほとんどないが、切断面は多孔質であるためスポンジを事前に吸水させてから使用する。経年劣化して表面のペーストやモルタルが失われ細骨材や一部の粗骨材が露出した既設構造物においても、ゴムスポンジが変形に追随することにより、水が漏れることなく、試験をおこなうことができる。ただし表面にマイクロクラックがある場合、ひび割れがバイパスとなり水が漏れることがあり、5.2、5.4に示す。

(2) 吸水カップへの注水

吸水カップへの注水には、次の2種類の手法がある。

(i) 注水チューブを用いて上部から注入する方法

目盛り付シリンダーの内径よりも小さな外径のチューブ（外径7mm、内径5mm、シリコン製）を接続した注水タンクを用いて、上部から水を入れる簡易構造である。チューブの先端が吸水カップの底面に位置するようにして、重力による水の落下で注入を開始し、チューブの先端が常に水中になるように制御しながら水位の上昇と共にチューブを抜き取る。内部の空気はチューブとシリンダーのわずかな隙間から抜けることで、吸水カップに空気溜まりができることなく水を満たすことができる。本手法では15secで注水が完了する。

(ii) 吸水カップ下面からの注入方法

吸水カップ下面のバルブに管で接続した外部のタンクから重力の作用で下方から水を入れる。シリンダーの

上端に水が達したらバルブを閉めて注水が完了する。この手法では5secで注水が完了する。

(i)および(ii)の方法ともに、シリンダー基部の接続部に45度の円錐状の傾斜をつけることにより空気溜まりができないようにしている。吸水カップ自体は透明の亚克力樹脂で作製しているため、空気溜まりの有無や、試験時のコンクリート表面の状況を視覚的に確認できる。

3.2 吸水カップの固定装置

(1) 真空ポンプを利用した固定装置

真空ポンプを利用して2つのスタンドを壁面に固定しそこへ1本のフレームを設置する。1つのスタンドの基部は直径120mmの円形で、内径100mm、幅10mm、厚さ5mmのゴムスポンジ(材質は吸水カップのゴムスポンジと同じ)を用いてコンクリート面に接する。このスタンドとゴムスポンジに囲まれた領域を接続した真空ポンプで吸引することにより、スタンドがコンクリート表面に密着され、反力を確保する。

用いた真空ポンプは17ℓ/minの小型ドライポンプであり、作動時容量は100V、1A程度である。小型発電機や車載用インバーターでも給電可能であり、同容量の直流電源式の真空ポンプに変更することでバッテリーでの動作も可能である。測定中に真空ポンプの圧力が変化すると、吸水カップへの反力に影響を及ぼし、見かけの水位が変化する。これを最大限に防ぐために、1ℓ程度の圧力タンクを直列で接続している。1台の真空ポンプユニットから、複数の真空ラインの分岐を設けており、同時に複数のスタンドを固定できる。

真空ポンプはスタンド固定の目的のみに使用し、測定時の真空圧力が一定となっていればよい。ポンプの真空度の要求性能は高くない。実構造物を用いた予備検討では、新設構造物の壁面で真空度は $-0.08\text{N}/\text{mm}^2$ 、不陸のある既設構造物で $-0.06\text{N}/\text{mm}^2$ 程度で安定していた。

1組の固定装置には2個の吸水カップを同時に接続できる(図-1(c))。スタンド基部では常時コンクリート表面を真空吸引するため、負圧の影響を受けないように吸引部から吸水カップまでは60mm離している。フレームを伸ばすことにより3個以上の吸水カップを接続可能であるが、3.5のように2個の接続の場合には30sec毎に1回目盛りを読みとる必要があるため、現状の装置では1人による同時測定は2個程度が限度となる。

(2) セパレーターを利用した固定装置

電源が確保できない場合を想定して、実構造物のセパレーターの後埋めをおこなう前のボルト部を利用して吸水カップを固定することもできる。ボルトと同径の雌ネジを有するスタンドをねじ込み、フレームを固定するものである。1つのセパレーターから2つの吸水カップが固定可能である。

3.3 終了後の水の排出

測定終了後には、吸水カップ下部の管を利用して水を回収することができ、高所による試験においても周囲への水の飛散を最小限に抑えられる。

3.4 使用する水

コンクリート面への目詰まり等を防ぐために、水道水を用いることを基本とする。試験時の水温が外気温やコンクリート表面温度と著しく相違している場合には試験中に水温が変化して体積変化を起こすため¹⁾、外気温へ水温を調整する必要がある。

3.5 試験方法

注水開始時からストップウォッチで時間を測定し、注水完了時に水頭を300mmとした時点を開始点として1minごとに10回、10minまでシリンダー部の水位を1mm毎に刻まれた目盛りより読み取る。1つ目の吸水カップへの注水開始から30sec程度遅れて2つ目の注水および測定をおこない、30sec毎に交互に目盛りを読み取ることにより、約10minで2箇所の測定が可能となる。注水に要した時間については5.1に記述したとおり結果に影響を及ぼすことがあるため記録しておく必要がある。

試験時間は任意に増やすことができ、大きく水量が減少した場合には水を継ぎ足して補正する。なお、60min程度の測定であれば、シリンダー上面(断面積 50mm^2)からの水の蒸発は無視しうるが、長時間の測定になる場合には、覆いをして蒸発を防がなければならない。

参考までに表面吸水試験を実施する前に、コンクリート表面の温度を非接触式温度計で、コンクリート表層の含水率を2点表面接触式の水分計あるいは四電極法による電気抵抗率試験により把握しておくといよい。

4. 表面吸水試験結果の評価方法

4.1 表面吸水率

Levitt¹²⁾は単位時間、単位面積あたりの吸水量をInitial Surface Absorption(以下、表面吸水率と呼ぶ)と定義し、任意の時刻 t における表面吸水率は式(1)で求められる。

$$p = \frac{V_w}{A_c \cdot T} \quad (1)$$

ここに、 p は表面吸水率($\text{ml}/\text{m}^2/\text{sec}$)、 V_w は時刻 t (sec)における微小時間 T (sec)の吸水量(ml)、 A_c は水がコンクリートに接する面積(m^2)である。

提案する試験装置の内径8mmのシリンダー、内径80mmの吸水カップを用いた場合には、表面吸水率は式(2)により計算できる。

$$p = 10 \frac{L_w}{T} \quad (2)$$

ここに、 L_w は T のシリンダー水位の変化量(mm)である。ISATにおいては、微小時間 T は60secと規定されてい

表-1 表面吸水率のクラス分け

時間	10min	30min	60min	120min
High	> 0.50	> 0.35	> 0.20	> 0.15
Average	0.25-0.50	0.17-0.35	0.10-0.20	0.07-0.15
Low	< 0.25	< 0.17	< 0.10	< 0.07

(単位: ml/m²/sec)

表-2 検証に用いた実構造物

構造物	材齢	セメント	特徴
橋台	8年	高炉B種	打重ね部、セパレーター下のマイクロクラックが多数。表面は乾燥。
ボックスカルバート	7年	高炉B種	内部は日射が直接当たらず、常時湿度が高いためコンクリート表面は湿っている。

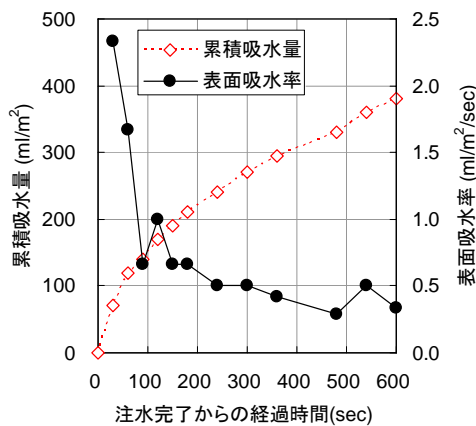


図-2 橋台構造物の表面吸水試験結果

る。Levitt¹²⁾は、表面吸水率の値から、表-1のとおり、各時間に対して High, Average, Low の3段階に区分分けをしている。ただし、この時の条件は ISAT による水頭が 200mm 時の条件下であることや、注水に要した時間が必ずしも明らかでないこと、設定根拠が明確にされていないことに注意を要する。

4.2 結果の評価

検証に用いた実構造物の橋台およびボックスカルバートについて、表-2に特徴を示す。図-2は橋台構造物について、累積吸水量および表面吸水率の時間変化を示したものである。この図より吸水開始直後に吸水の速度は最大値をとり、その後減少することがわかる。特に初期の2min程度は吸水の速度が以降と比較して大きい。

橋台(注水完了時間:15sec)とボックスカルバート(同13sec)の測定結果について表面吸水率の時間変化を図-3に示す。この図は両対数で表示するとほぼ直線になることから、表面吸水率は式(3)で近似することができる¹²⁾。なお、図-3においてデータのばらつきがみられるのは、装置の目盛りの分解能が水位の変化量に比べて比較的大きいためである。適切な処理により補正可能であり、別報にて論じる予定である。

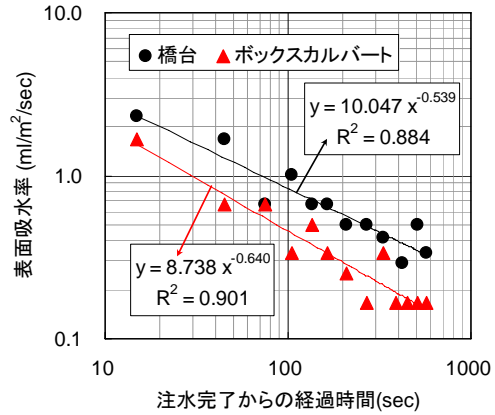


図-3 表面吸水率の時間変化

$$p = a \cdot t^{-n} \quad (3)$$

ここに、 a , n は定数である。

定数 a は、ごく初期の急速な吸水量を反映するため、コンクリートの乾燥状態の影響を受けにくく¹²⁾、またペーストにおいてごく初期の急速な吸水は毛管空隙に支配されることも指摘されている¹³⁾。定数 n は、既往の研究から 0.5 ± 0.2 の値をとることが知られている¹²⁾。定数 n は時間の経過による吸水挙動の変化を表すパラメータであり、時間の経過とともに表面吸水率が低下する度合いを示す。 n が大きいほど短時間に表面吸水率が減少する。反対に、 n が小さいほど時間が経過しても初期の吸水量に近いまま吸水が継続することを表し、コンクリートが乾燥している可能性や、内部コンクリートがポーラスで水を吸い続ける可能性がある。

図-3の橋台 ($n=0.539$) は桁下で乾燥環境下に、ボックスカルバート ($n=0.640$) は湿度が高い環境下にあることの影響を、 n の値は示している可能性がある。

5. 表面吸水試験に及ぼす各種要因の影響

5.1 注水完了時間の影響

注水を開始した瞬間からコンクリートの一部は水と接触して吸水を開始するが、注水完了時間までは物理的にその吸水量を計測することはできない。著者らの既報の手法^{3),4),5)}においては、注水完了まで1min以上の時間を要していた。そこで、前述の注水完了時間が15secであった橋台の結果を処理することで、仮に注水完了時間が45secから3min15secまでの長い時間となった場合を想定し、その時間までの吸水量を除外して計算した結果を図-4に示す。注水完了時間が15secでは両対数のグラフが概ね直線形状になっているものの、注水完了時間が増加するにつれて直線形状から乖離していくこと、および計測された吸水量自体も減少することがわかる。よって、表面吸水試験においては、注水完了の最大時間を規定する必要があるといえる。

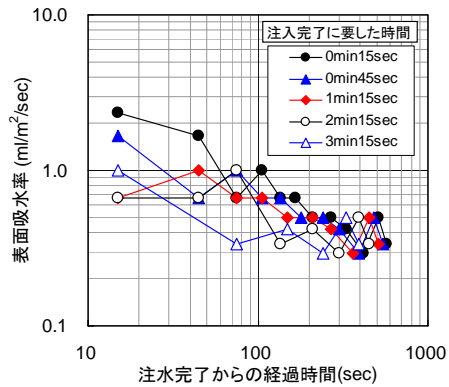


図-4 注水完了時間と吸水率との関係

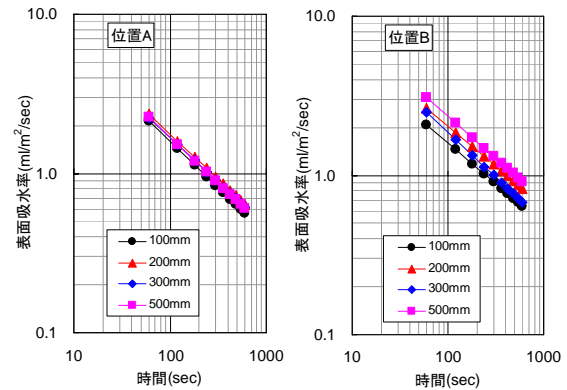


図-5 水頭の違いによる影響

5.2 吸水面積の影響

コンクリートの表面に微細なマイクロクラックが生じている場合には、カップ周囲においてひび割れを通じた水の移動も生じる。秋山および著者らの既報¹⁾では、吸水カップの寸法を変えた実験により、面積が小さい場合(490mm²)には、それよりも大きな寸法(1890mm², 4540mm²)に比べて単位面積あたりの吸水量が大きくなった。この実験結果は吸水カップの固定方法の違い(スポンジと樹脂接着)の影響も含むものの、周長と断面積の比率が大きい小型の吸水カップにおいて水が周囲に広がる影響が大きかったためと考える。ISATにおいても吸水カップの面積の下限(5000mm²)を規定しており、提案する本寸法(5024mm²)は妥当であるといえる。

5.3 水頭の影響

秋山および著者らの既報¹⁾においては、W/Cの不明なプレキャストコンクリート製品を対象として初期水頭を105mmから315mmに変化させた結果、水頭による差は見られなかった。その理由は毛管力による吸水が卓越していたためと考察している。

初期水頭を100, 200, 300, 500mmに設定した表面吸水試験の検討をおこなった例を示す。供試体は主鉄筋と帯鉄筋を有するRC柱供試体(1辺800mm, 高さ1400mmの直方体)であり、普通ポルトランドセメントを用いW/C=0.54でナイロン短繊維(直径15μm)を0.04vol%添加したものである。打設後室内に2年10ヶ月静置され、乾燥収縮により表面に微細なマイクロクラックが発生しているのが確認できる。1つの側面に設定した8箇所において、同じ位置で各水頭1回の測定をおこなった。1回につき2時間の吸水試験をおこない、その後46時間室内で自然乾燥させた。試行順番の影響が出ないように、8箇所の測定では水頭の順番をランダムとした。

測定値を最小二乗法により補正して整理した測定結果の一例を図-5に示す。結果は概ね、図-5左のように水頭の影響が少ないものと、図-5右のように初期水頭が大きいほど吸水量が大きい結果に二分された。両方の測定

点ともにマイクロクラックは存在するが、柱供試体内でマイクロクラックの幅や分布状況にばらつきが大きかったことから、その幅や密度が大きい箇所を測定した場合について水頭の影響が出たものと考えた。ひび割れ内を通る水の動きは、吸水よりも透水が卓越し、ひび割れ幅が大きいほどその傾向は大きくなると考えられる。よって、ひび割れの幅や密度が大きい場合には、水頭の影響が顕著となり、それらが小さい部分においては毛管吸水が卓越して、水頭の影響が少なかったものと推察した。

図-5右で得られた表面吸水率の水頭による差は有意なものであるが、前述の表-1の表面吸水率の10min時の区分けではLowの限界値である0.5ml/m²/secを上回る0.6~0.9ml/m²/secであることから、品質の低いコンクリートにおいて水頭の影響が生じるものといえる。よって、実務的な問題は少ないと考えるが、今後この影響について明らかにすることが必要である。図-5右の水頭の影響が出た場合において、水頭が200mmと300mmで差が小さいことは、測定中に吸水とともにシリンダー部の水位が低下することによる影響は少ないことが示唆される。

5.4 水漏れの影響

提案する装置と同形状であるがスポンジを押さえつける反力のみが小さい旧型の装置において、水漏れの影響について考察をおこなう。雨水の影響により表面が溶脱し粗骨材が一部露出する供用30年が経過した壁部材を測定したところ、測定中に吸水量が徐々に増加する傾向が見られた。測定中に描いた両対数のグラフにおいて右下がりの直線の傾向がみられなかった。目視では明らかな水漏れは確認できなかったが、過去の同一部材の調査結果よりも明らかに大きな吸水であったため、わずかな水漏れがあったと判断している。このように、本表面吸水試験装置では、透気試験とは異なり、水漏れを視覚的に確認できる特徴をもつ。ただし、微少量の水漏れを目視のみで確認することは困難であるが、測定中にグラフ化することにより、チェックすることが可能である。

5.5 材齢および含水状態の影響

新設構造物の竣工検査を想定して、実構造物の壁部材で材齢による表面吸水率の経時変化を調べた。対象構造物は高炉セメントB種を使用したW/C=0.52の壁部材(壁厚 600mm)である。春季(5月)に打設され、その後、降雨や日射の影響を受ける環境にある。測定箇所は、柱に挟まれた1つの壁内であるが必ずしも同一点ではない。同時に2電極式の高周波容量式のコンクリート表面水分計で表面水分率を測定した。

測定結果は表-3のとおりであり、材齢の経過と共に表面水分率の値は減少し、表面吸水率は材齢49日で0であったものが、その後増加している。材齢の増加とともに、水和反応が進み緻密化することによる減少と、コンクリートが乾燥を受けることによる増加の、両方の影響を受けた結果、表面吸水率が増加したと考えている。よって、竣工検査に適用する場合には、材齢の規定を設ける必要があり、環境条件や含有する水分についての配慮が必要となると思われる。

表-3 測定結果の経時変化

材齢(day)		49	130	199	264
表面水分率(%)		6.2	5.7	5.3	4.9
表面吸水率 (ml/m ² /sec)	平均値	0.000	0.031	0.046	0.059
	最大値	0.000	0.050	0.085	0.087
	最小値	0.000	0.000	0.004	0.012
測定点数(点)		1	6	5	4

6. まとめ

本研究で得られた成果を以下に示す。

- (1) 実構造物に適用できる完全に非破壊での表面吸水試験装置を開発した。これは、骨材が露出している既設構造物においても水漏れなく垂直壁面に設置が可能であり、短時間で安定的に注水を完了でき、空気泡が溜まらない、などの特徴をもつ。
- (2) 表面吸水試験の確立に向けての課題を明示した。吸水面積、注水完了時間が試験結果に影響を及ぼすため、限界値を規定する必要があることを示した。初期水頭の影響については、表面のマイクロクラックを有する場合を除けば影響が少ない可能性を示した。
- (3) 竣工検査への適用をおこなうためには、材齢と含水条件が与える影響を明らかにし、測定箇所、測定点数、評価基準についても整備しなければならない。

謝辞：本研究の一部の実施には、平成21、22年度 鉄道建設・運輸施設整備支援機構、運輸分野における基礎的研究推進制度(研究代表者：岸 利治 東京大学生産技術研究所教授)の助成を受けました。深謝いたします。

参考文献

- 1) 土木学会：構造物表面のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会(335委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集、コンクリート技術シリーズ、No.80, 2008.4
- 2) 湯浅昇監修：第三者が検証可能なRC構造体の品質・性能評価方法、建築技術、No.703, pp.91-177, 2008.8
- 3) 石川真穂, 細田暁, 小林薫, 松田芳範：表面含浸材を施した実構造物における吸水抑止効果の評価方法に関する研究、第61回セメント技術大会講演要旨, pp.324-325, 2007.5.
- 4) 細田暁, 林和彦, 下田智也, 吉田早智子：コンクリート表層のマイクロクラックが表面の吸水性と透気性に及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集, No.63, pp.196-203, 2010.2
- 5) 下田智也, 細田暁, 松田芳範, 小林薫：含水率による表層の吸水抵抗性と表面含浸材の効果の分析、コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.1613-1618, 2010
- 6) 芦澤良一, 松田芳範, 林大介, 坂田昇：実構造物に塗布した浸透性吸水防止材の長期耐久性および元位置吸水試験方法、コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, pp.655-660, 2008
- 7) British Standard, BS1881, Part 5, Methods of testing hardened concrete for other than strength, 1971
- 8) JIS A6909-2003, 建築用仕上塗剤, 透水試験A法および透水試験B法
- 9) A. M. Neville, 三浦尚訳：ネビルのコンクリートバイブル, 技報堂, pp.600-604, 2006.6
- 10) Concrete Society Working Party: Permeability Testing of Site Concrete - A Review of Methods and Experience, *Concrete Society Technical Report*, No.31, pp.1-95, 1987
- 11) 浅野幸男, 加藤久也, 六郷恵哲：コンクリート用撥水材の防水効果を現場で簡便に評価するための透水試験方法、コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.2009-2014, 2006
- 12) M. Levitt: Non-destructive Testing of Concrete by the initial surface absorption method, *Proceedings of a Symposium on Non-Destructive Testing of Concrete and Timber*, London, June 1969, Institution of Civil Engineers, pp.23-26, 1970
- 13) T. C. Powers and T. L. Brownard: Part.7 Permeability and Absorptivity, Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste, *Journal of the American Concrete Institute*, Vol.18, No.7, pp.865-880, Mar. 1947