

表面吸水試験における吸水量測定の高精度化に関する研究

香川高等専門学校専攻科 学生会員 ○上高正寛 香川高等専門学校 正会員 林和彦
香川高等専門学校 非会員 吉岡崇 香川高等専門学校 正会員 長谷川雄基
香川高等専門学校 正会員 松本将之

1. 背景

コンクリートの品質評価のための非破壊試験法のひとつである表面吸水試験は、コンクリートの吸水抵抗性を原位置で測定し、表層の緻密性を定量化するものである。従来の手法では試験水の圧力付与と吸水量測定の目的でシリンダーを使用するため測定部の上部に空間が必要であり、トンネルの内壁や部材下面の測定には制約が生じた。既往の研究において、空気圧法を用いることでシリンダーを撤去した改善方法が提案され¹⁾、コンクリート構造物のあらゆる角度の面に適用可能な表面吸水試験装置の検討が進められていたが、測定現場の環境変化による空気タンク内の温度変化による誤差が大きく信頼度に欠けるため、吸水量測定手法の改善が求められた。

2. 目的

現場における測定作業では、外気温や日照条件等の測定環境の変化が大きく、既往の研究で開発された空気圧を利用した間接的な吸水量測定では真値を得るためには逐次の温度補正が必要とされた²⁾。その煩雑さや測定精度を改善するためには、吸水に伴い変動する空気タンク内の圧力から間接的に水量を推定¹⁾するのではなく、吸水量測定管（以下、測定管）内の試験水量の変動を直接的に測定することが必要であると考えられた。本研究では、コンクリート構造物のあらゆる角度に対応可能な表面吸水試験装置において、測定管内の水-空気界面の位置の移動を静電容量や光学式センサーを用いて直接的に測定することによる吸水量測定の高精度化を目的とする。

3. 静電容量における水量測定

静電容量における水量測定を行うため、1mm厚の塩化ビニル板を用いて平板型測定管を製作した。内寸は、幅50mm、長さ100mm、厚み1mmで、容積は既存の表面吸水試験の検討に十分な容量とみなせる5mlである。これに対し幅50mm、長さ100mmのアルミテープを電極と

して測定管表面に貼り付けた。0.5mlずつ水量を増加と減少させながらLCRメーターにて静電容量の測定を行った。結果を図-1に示す。図-1より、排水量と静電容量には直線関係がみられ、静電容量の変動から水量の測定が可能と示された。

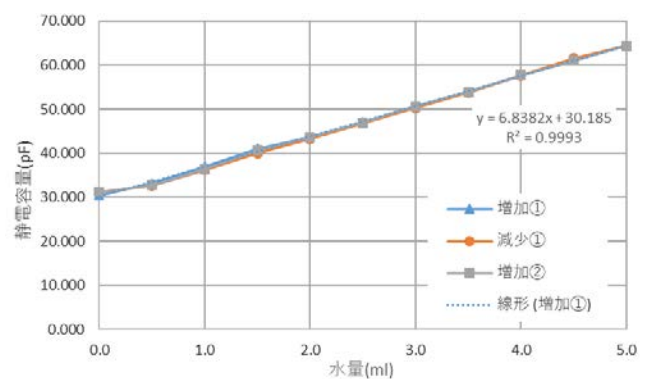


図-1 LCRメーターによる静電容量測定結果

微小な静電容量を測ることができるLCRメーターは体積が大きく、小型の表面吸水試験装置に搭載することは困難であるため、マイクロコンピュータ Arduinoを用いて時定数を測定する手法の静電容量測定器を製作した。オシロスコープを用いて電圧を確認しながら測定を行った結果を表-1に示す。

表-1 水量0mlに対応する静電容量測定器による測定結果

抵抗(kΩ)	カーソル値		静電容量(pF)		
	充電側 ΔY(V)	ΔX(μs)	計算値	Arduino	誤差
100	3.175	10.4	104.0	1560.0	1456.0
200	3.175	21.8	109.0	1540.0	1431.0
1000	3.175	128.0	128.0	308.0	180.0
2000	3.175	305.5	152.8	234.0	81.3
3000	3.175	403.0	134.3	256.0	121.7

表-1より、最低でも2000kΩにおいて81.3pFの誤差が確認された。実際に装置に組み込むためのマイクロコンピュータを使用した静電容量測定器には、5mlに対応する静電容量が小さすぎるため、小さい抵抗使用時の時間分解能の不足や大きい抵抗使用時のノイズが影響し、正確な静電容量の測定が難しく、表面吸水

試験装置に搭載するための測定精度としては不十分であることがわかった。

4. 光学式センサーを用いた水量測定

本研究において開発する表面吸水試験装置はあらゆる角度の面に対する適用を想定しているため、測定管の設置角度が変化しても水-空気界面が保持される必要がある。この制約条件を満たすため、表面張力により水-空気界面が保持されるよう、図-2に示すように断面2mm×4mmの水路を折り返すよう配置した測定管を設計し、光造形式3Dプリンターにて製作した。その結果、下り勾配でも表面張力により水-空気界面が保持される測定管を完成させた。製作した測定管の総水量は表面吸水試験の検討に十分な3.75mlであった。

画像から水量を推定するため、ディープラーニングを用いることとし、モデルは画像認識において一般的な畳み込みニューラルネットワーク（以下、CNN）を構築した。使用したモデルは画像分類において実績のあるResNet18の出力層を変更したものである。

表面吸水試験が適用される箇所は、様々な露光環境となることが想定される。精度向上及び適用範囲の拡大のためには一定の露光環境での撮影が必須となることから、図-3に示す撮影用の暗室を製作した。今回は1目盛の分解能が0.05mlのメスピペットを使用して測定管から0mlから3.75mlの範囲でメスピペット1目盛に相当する0.05mlずつ排水をした際の測定管全体の画像を76枚撮影し、撮影した画像と排水量を教師データとして学習を行った。学習過程の平均絶対誤差を図-4に示す。図-4より、最終テスト時の平均絶対誤差が水量換算で0.052mlまで低下しており、今回の測定分解能に相当する程度の精度が得られた。

5. まとめ

コンクリートの表面吸水試験における水量測定について以下の知見が得られた。

1) 静電容量を用いた水量測定を検討した結果、LCRメーターを使用した場合には静電容量の変動から水量を測定することが可能であった。しかし、実際に装置に組み込むためのマイクロコンピュータを使用した静電容量測定器には水量変化に対する感度が小さすぎることから、表面吸水試験装置に搭載するための精度としては不十分であった。



図-2 光学式センサー用測定管

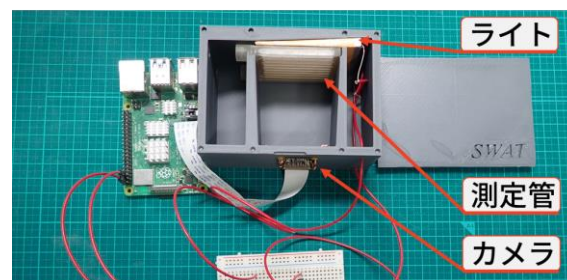


図-3 撮影用暗室

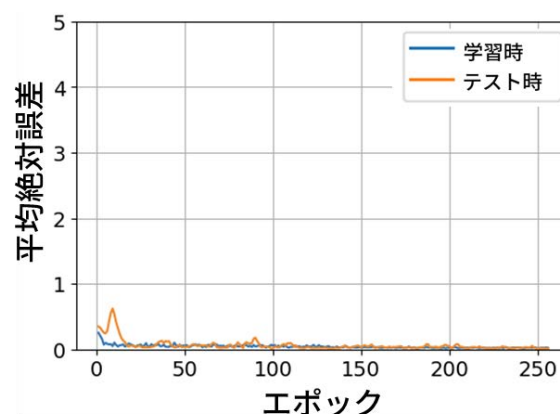


図-4 平均絶対誤差曲線

2) 光学式センサーを用いた水量測定では表面張力により角度を変化させても水-空気界面が保持される微細な測定管を製作し、測定管から任意の量排水した画像をCNNモデルに学習させた結果、測定管を撮影した画像から水量を測定することが可能であり、測定分解能に相当する程度の精度が得られた。

参考文献

- 1) 増尾敬ら：コンクリートの様々な角度の面に適用可能な表面吸水試験装置の開発，土木学会第71回年次学術講演会概要集，V-477，pp. 953-954，2016
- 2) 林和彦ら：空気圧力を用いた表面吸水試験の温度に起因する誤差補正方法，Vol. 7，コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集，日本非破壊検査協会，pp. 137-142，2022