

空気圧力を用いたコンクリート表面吸水試験の温度補正方法の検討

香川高等専門学校 学生会員 ○三谷聖 正会員 林和彦 正会員 長谷川雄基 賛助会員 吉岡崇

1. はじめに

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（以下、SWAT）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300mmの水頭付与と吸水量計測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ないと測定が不可能であり、トンネルの内壁や構造物下面の測定には制約が生じた。増尾らは、空気圧力を用いることでシリンダーを撤去したSWAT（以下、空気圧力SWAT）を提案し¹⁾、任意の角度を有するコンクリート面に適用できることを示した。しかしこの手法は、空気タンク内と外気の温度差が顕著な場合、徐々に空気タンク壁面からの熱伝導により熱が伝わり、空気タンク内圧力が変化し、吸水量誤差が生じるといった課題点が存在する。

本研究では、コンクリート構造物の緻密性、吸水性をあらゆる場所で測定し評価できる非破壊試験の確立のため、空気圧力SWAT測定時の環境温度と装置温度の差によって生じる測定誤差の把握およびその補正方法を検討し、環境温度に関わらず十分な精度を有する吸水量評価が可能な空気圧力SWAT装置を開発することを目的とする。また、構造や制御方法を見直し、現場における測定の作業性や装置の可搬性を改善する。

2. 小型制御装置の作製

本装置を使って高所での測定を行う場合、装置に使用しているデータロガー、コンピュータ、I/O デバイスはサイズが大きく、測定面より低い位置に設置する必要があり作業性に劣る。また、空気圧力 SWAT は外

気と装置の温度差が顕著な場合、空気タンク内圧力が温度に影響して変化し、吸水量誤差が生じる。この吸水量誤差の把握および補正のためには高分解能（0.01℃程度）の温度測定が求められるが、従来の測定性能はこの分解能を満たしていない。この2つの課題点を改善するために、従来通りの圧力測定、電磁弁開閉制御に加え、高分解能な温度測定が可能な電子回路を作製し、小型コンピュータ Raspberry Pi の GPIO に組み込み、本装置に適用して電子制御を行う。

温度測定は高い分解能で環境温度を測定できる性能を要求するため、白金測温抵抗体と 24 ビット A/D コンバータで Raspberry Pi に電圧を入力する。圧力測定は従来と同じ圧力センサと温度測定と同じ 24 ビット A/D コンバータを用いて Raspberry Pi に電圧を入力する。電磁弁開閉制御は、GPIO の DC3.3V をソリッドステートリレーで AC100V に変換して I/O 操作することで、電磁弁を開閉する。電子回路はこの3つの制御が可能かつ電源電圧のノイズや導線の抵抗の影響を最小限にするように設計した。

3. 温度変化による空気タンク内圧力誤差補正

吸水量測定中、空気タンク内圧力は様々な外乱要因に影響し変化する。これまで、その外乱要因による誤差を実験により把握し、その対処法について検討してきた。表-1 に主要な外乱要因の影響とその対処法について示す。

空気タンク内温度変化による圧力測定誤差を把握するため、空気タンク内と外気に温度差が生じる条件下で空気タンク内圧力および温度の測定を行った。

表-1 空気タンク内圧力の外乱要因の影響と対処法

外乱要因	空気タンク内圧力（吸水量）への影響	対処法
電磁弁の発熱	・ 空気タンク内温度が上昇⇒圧力上昇	・ 測定中に電磁弁を稼働させない配管、開閉制御にする
管内の空気溜まり	・ 初期圧力の低下 ・ 初期空気体積が不定⇒圧力を吸水量に変換できない	・ 空気タンクと排水タンクの分岐点を2ポートの電磁弁から3ポートの電磁弁に変更し空気溜まり体積を最小限に
吸水カップスポンジのクリープ変形	・ 空気体積が経時的に上昇⇒圧力上昇	・ 装置を組み直すごとに規定条件で測定を行い、装置起因のみかけの圧力変化量を求めて補正する
空気タンクの空気漏れ	・ 経時的な圧力減少	
環境温度	・ 空気タンク内温度との差により 空気タンク内温度が変化⇒圧力変化	・ 空気タンク内圧力と同時に空気タンク内温度を測定し、実験で得られた温度-圧力の2次近似式で補正を行う

35℃に設定した恒温槽に 20℃の密閉空気タンクを入れて 15℃の温度差を作り出し、圧力および温度変化を測定した。空気タンク（容量 300cm³）の初期圧力は本試験法の基準となる初期圧力 3kPa とした。実験結果には、表-1 に示した空気漏れによる圧力誤差が含まれているため、別実験により得られた式より算出した空気漏れによる圧力変化量を差分して補正を行った。図-1 に空気タンク内温度変化量と圧力変化量の関係を示す。図中にはボイル・シャルルの法則に基づいて空気タンク内温度変化から算出した圧力変化量も共に示す。

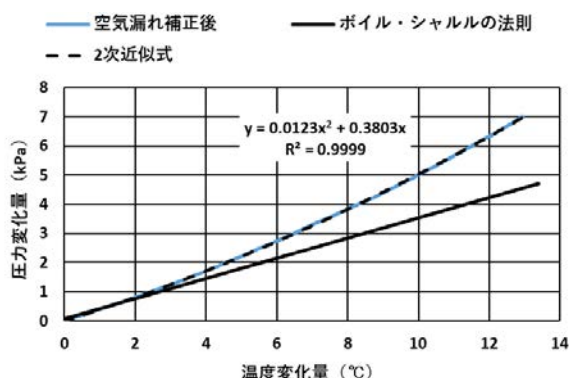


図-1 温度変化量と圧力変化量の関係

この図より、空気タンク内温度変化が生じたときの圧力変化量は温度の上昇に応じて上昇することを示した。実験で得られた温度変化量に対する圧力変化量の曲線はボイル・シャルルの法則に基づいて算出した圧力変化量の直線と一致していない。しかし、実験から得られた圧力変化量の曲線は図中に示している 2 次式で近似することができる。この近似式の決定係数 R^2 は高く、空気タンク内温度変化による圧力誤差は近似式を用いて補正を行うこととし、その補正量、温度変化による圧力変化量を式(1)に示す。

$$\Delta p_t = 0.01226\Delta t^2 + 0.38027\Delta t \quad (1)$$

ここに、 Δp_t ：温度変化による圧力変化量[kPa]

Δt ：温度変化量[℃]

4. 本試験装置の吸水量測定誤差

表-1 に示す各外乱要因への対処法を適用したときの本装置による表面吸水試験の吸水量誤差を把握した。コンクリートの吸水に見立てて手動で排水した水量をみかけの吸水量、本試験法の基本原理であるボイルの法則に基づいて空気タンク内圧力変化量から算出した吸水量をボイル吸水量とする。図-2 のように管内を水で満たして手動弁 A の操作で排水し、みか

かけの吸水量 0.2ml ほどの空気タンク内温度および圧力を記録した。空気タンク容量は 300cm³、初期圧力は 3kPa とし、排水は 4.0ml まで行った。みかけの吸水量とボイル吸水量の誤差の推移を図-3 に示す。

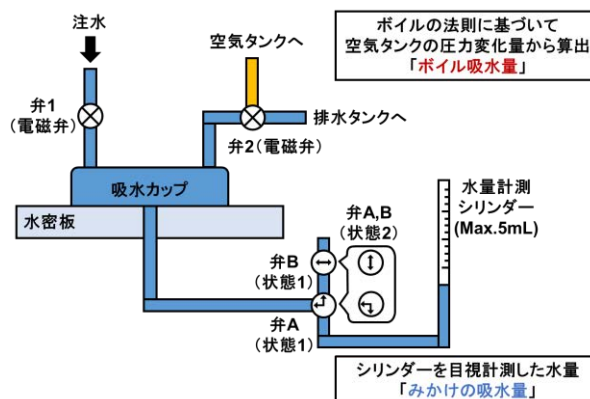


図-2 吸水量誤差測定実験の概要

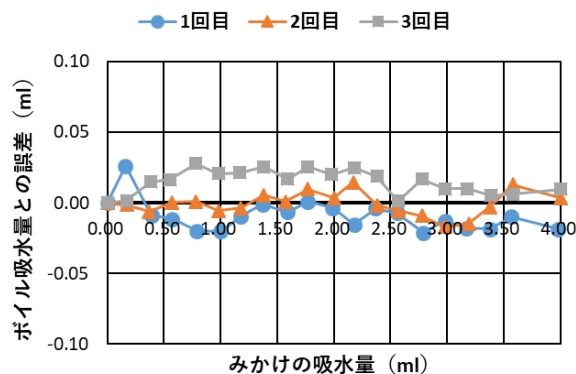


図-3 みかけの吸水量とボイル吸水量誤差の推移

図-3 より、みかけの吸水量とボイルの吸水量の誤差は±0.05ml 以下であると評価できる。この吸水量誤差は表面吸水試験のシリンダー水位に換算すると±1mm に相当し、一般的なコンクリート吸水量 2500mm³（水位変化 50mm）に対しては±2%に相当するため、本試験装置の吸水量誤差は小さい。

5. 結論

従来装置の課題点を踏まえて構造や制御方法を見直し、現場における測定の作業性や装置の可搬性を改善した。また、温度変化に対する圧力の補正方法を提案し、圧力の各外乱要因を抑制・補正したときの空気圧力 SWAT 装置の吸水量誤差は±0.05ml 以下であり、十分な精度で吸水量評価が可能である。

引用文献

1) 増尾敬，林和彦：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