

コンクリートの様々な角度に適用できる表面吸水試験の自動測定装置の開発

香川高等専門学校 学生会員 ○三谷 聖, 正会員 林 和彦, 長谷川 雄基

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。従来の手法ではシリンダーを使用するためトンネルの内壁や構造物下面を測定できないという制約があり、測定部の上部に空間がないと測定が困難である。そのため、既往の研究において様々な角度に適用できる空気圧力法を用いた表面吸水試験装置が提案された¹⁾。本研究では本装置の自動化をすることを目的とする。

2. 装置機構の変更

コンクリートが吸水するときに、装置内の水の体積が減少すると同時に同じ体積だけ空気タンクに繋がる空間内の体積が増加することから、空気タンク内圧力 P と空气体積 V を測定することでボイルの法則「 $PV=一定$ 」を用いてコンクリートの吸水量が算出できることを本装置は基礎理論としている。装置の運転は水や空気の流れを電磁弁により電子的に制御しているため注水・測定が自動で行うことができる¹⁾。まず、図-1の概要図のとおり、既往の研究の装置機構から表-1の変更点を踏まえ装置を自動化した。

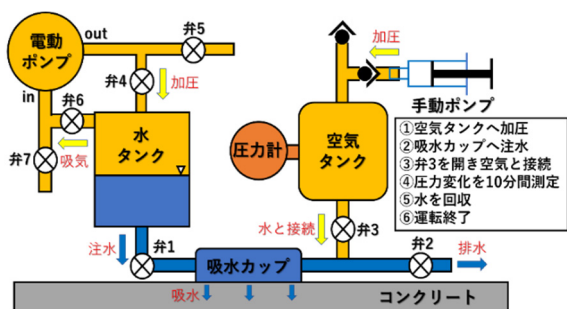


図-1 装置の機構概要図

表-1 装置機構の変更点

	目的	変更点
1	加圧時のタンク内空気温度の上昇を抑える	空気タンクへの加圧方式を電動ポンプから手動ポンプへ変更
2	電動ポンプを自動で大気圧に直し再稼働を可能にする	電磁弁を追加し運転終了時に電動ポンプの吸排気口を開放
3	装置内の水の回収を自動化し作業を効率化する	電動ポンプの吸気口と水タンクを接続

3. 吸水以外の要因による測定中の圧力変化の影響

ボイルの法則による吸水量測定において、温度変化による圧力の増加や空気漏れなどの吸水以外の要因による空気タ

ンク内の圧力変化がないことを確認する必要がある。そこで、吸水しない水密板を試験体にみたてて装置作動中の圧力を測定し、空気タンク内の圧力の変化を確認した。

測定の結果、空気タンク内の測定中の圧力の変動は $\pm 0.005 \text{ kPa}$ となり、この変動を見かけの吸水量に換算すると 25 mm^3 となる。本装置（吸水面積 5024 mm^2 ）における一般的な品質のコンクリートの10分間の吸水量は約 2500 mm^3 であり、その値と変動を比較すると約1%であり、測定に対しては大きな影響を与えないと考えられる。

4. 空気接続時の初期圧力減少による影響

水を空気と接続した直後に圧力減少が生じる。装置には図-1の弁2-3間のように空気接続管と排水管との分岐点が存在し、弁3が閉じたときに空気タンクの外側にも水が充填されずに空気が残る箇所（以下、空気溜り）が生じる。そこで、測定開始時に生じる空気溜まりとタンク内空気を混合する際の空気タンク内の圧力変化を調べた。初期圧力 3 kPa 固定の空気接続管の管長を $10, 20, 30 \text{ cm}$ 、初期空気圧力を $3, 4, 5 \text{ kPa}$ 、初期空气体積 $300, 400 \text{ cm}^3$ の組み合わせについて全12ケースの検討を行った。得られた実験の結果より、図-2に管長と圧力減少量の関係を、図-3に初期圧力と圧力減少量の関係を示す。

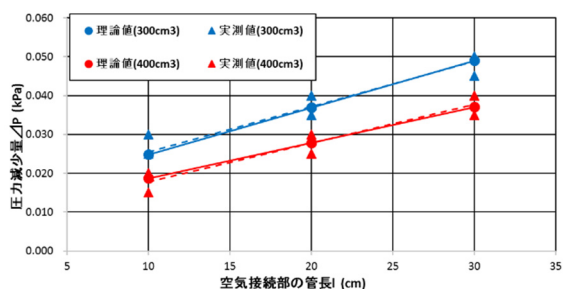


図-2 管長と圧力減少量の関係

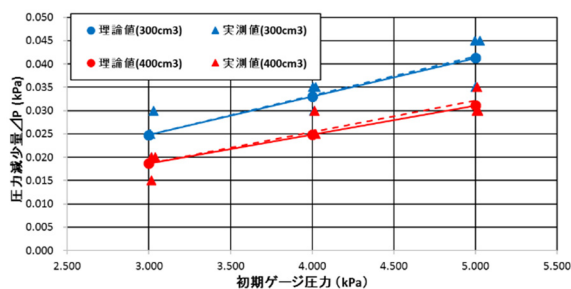


図-3 初期圧力と圧力減少量の関係

キーワード：コンクリート、非破壊試験、表面吸水試験、自動化

連絡先：〒761-8058 香川県高松市勅使町355 TEL:087-869-3920

図-2, 図-3 より, 圧力減少量の理論値と実測値の平均値の誤差が最大で 0.002kPa (吸水量に換算すると 10mm³) と実測値が理論値と近い値を示していることから理論の妥当性は十分であるといえる。圧力減少量は管長, 初期圧力が大きいほど増加し, 初期体積 300cm³の方が 400cm³に比べ大きくなっている。したがって, 最低限の範囲内で管長や初期圧力を小さく, 初期体積を大きく設定することで初期圧力減少は小さくできる。計測開始時の圧力を一定 (3kPa) とするためには, 動作前の空気タンクの初期圧力を圧力減少量の理論値分大きく補正した値とする必要がある。

5. 注水過程における水圧変化の影響

コンクリートが水と接する吸水カップ部への注水終了後, 弁を閉じる動作により管内の流速を急激に変化させるとウォーターハンマー現象が生じてしまうことから, 管内の圧力の上昇を抑えるために図-1 の弁 1 と弁 2 を閉じる時間差を設けている。その時間差の値を変更することで測定開始前後の空気タンク内の圧力がどのように変化するかを明らかにするため, 注水(弁 1)・排水弁(弁 2)動作間時間は 0.5 秒と 2.0 秒の 2 ケースを検討した。吸水しない水密板を試験体にみたくて装置作動中の圧力を 10 回ずつ測定し, 空気タンク内の圧力の変化を確認した結果の代表的な一例を図-4 に示す。これより, 空気タンク内圧力は弁 3 開放時に急な減少と上昇を繰り返す, 約 0.6 秒後に落ち着いた後に緩やかに上昇するという変化を示した。図-4 において弁 3 開放時から圧力上昇開始時までは区間 A, 圧力上昇開始時から圧力が概ね一定となる(弁 3 開放後 15 秒後)までは区間 B, 弁 3 開放後に圧力が概ね一定となるまでは区間 C とし, それぞれの平均圧力変化量と標準偏差を示したものを表-2 に示す。また, 区間 B の圧力上昇に関して算出した諸量を表-3 に示す。

表-2 より, 注水・排水弁動作間時間 0.5 秒の場合, 2.0 秒と比べ圧力変化量およびばらつきは共に大きい。注水・排水弁の動作間隔が短いとウォーターハンマー現象により圧力が上昇した空気溜まりが大気圧に落ち着く過程で空気タンク内圧力と混合するため, 混合前の空気溜まりの圧力は大气圧から大きくばらつくことが考えられる。その結果として, 0.5 秒のときは, 表-3 に示す圧力一定になったときの圧力が 2.0 秒のときに比べ小さい。これは, ボイルの法則「PV=一定」において空気溜まりの圧力が大気圧より小さい値(大きい)であるとき, 空気溜まりの圧力が大気圧のときに比べ, 圧力変化後の圧力は小さく(大きく)なるためであると考えられる。

表-2 より, 圧力減少後の緩やかな圧力上昇, すなわち区間 B の圧力上昇量は 0.5 秒のとき 0.016kPa(吸水量に換算すると

80mm³), 2.0 秒のとき 0.010kPa(同 50mm³)という結果を示した。表-3 の区間 B の圧力の上昇率を用いて圧力上昇分を補正した結果, 区間 B の平均圧力変化量はいずれも補正前の約 90%低減することができた。補正後の変動すなわち装置の有する誤差は 0.5 秒のとき 0.0010kPa(同 5mm³), 2.0 秒のとき 0.0013kPa(同 7mm³)を示し, これらは一般的なコンクリートの吸水量(約 2500mm³)の 1%にも満たさないため, どちらを採用しても吸水量の測定に影響を与えないと考えられる。

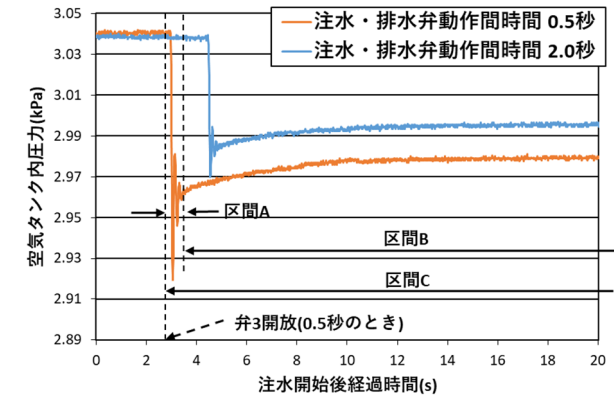


図-4 注水開始後の空気タンク内の圧力変化

表-2 空気タンク内圧力の測定結果

注水・排水弁動作間時間 (s)	0.5			2		
	A	B	C	A	B	C
平均圧力変化量 (kPa)	0.077	0.016	0.061	0.052	0.010	0.041
平均圧力変化量の標準偏差	0.009	0.002	0.007	0.003	0.001	0.003

表-3 区間 B の圧力上昇に関する諸量

注水・排水弁動作間時間 (s)	0.5	2
一定となったときの圧力 (kPa)	2.974	2.995
弁3開放から圧力が一定になるまでの時間 (s)	6.0	3.5
平均圧力変化率 (kPa/s)	0.0030	0.0034
補正後の平均圧力変化量 (kPa)	0.0010	0.0013
補正後の平均圧力変化量の標準偏差	0.0010	0.0008
補正による変化量の減少率 (%)	93.6	86.7

6. まとめ

表面吸水試験装置の自動制御を行う過程において, 次のような知見が得られた。

- (1) 空気と水の接続時には初期圧力の減少が生じるが, その圧力減少量分を補正することで吸水量の測定に影響を与えない。
- (2) 注水・排水弁動作間時間が短いと初期圧力変化量および変化量のばらつきは大きくなる。初期圧力減少後は緩やかに圧力上昇が生じるが, 圧力上昇率から得られる補正值により補正可能である。

参考文献

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