

表面吸水試験装置を用いた各種コンクリート供試体の表層品質傾向の検討

長岡工業高等専門学校 笠井 倫
長岡工業高等専門学校専攻科 学生会員 齋藤 充
長岡工業高等専門学校 正会員 井林 康

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の表層部は塩害や凍害、中性化などに対するコンクリート構造物の耐久性に大きな影響を及ぼすため、表層部の品質を確保することは重要である。表層部の品質が確保されずに新設された構造物はこれらの要因により、新設されてから比較的すぐに補修を必要とする場合があり、構造物の維持管理に大きな負担がかかる。

本研究では、表面吸水試験装置を用いて、コンクリート試験体の表層品質調査を行うことにより、角柱試験体において水セメント比(W/C)と養生温度ごとのコンクリートの表面吸水速度の傾向と気温や湿度などの測定環境を変更した場合の表面吸水速度の変化傾向を把握する。また、屋外試験体において養生方法と型枠が違う場合の表面吸水速度の傾向を把握する。表面吸水速度と他の測定値との関係性を調査する。これらの結果を用いることで将来的にコンクリート構造物の維持管理や新設構造物の表層品質向上に役立てることを目的とした。また、表面吸水試験において測定に多くの労力や時間がかかることから、試験時間の短縮や省力化を図った。

2. 表面吸水試験装置

表層品質を調査する方法として、本研究では表面吸水試験装置(以下、SWAT)を用いた。SWATは、吸水カップを通じてコンクリートが吸水する水量を計測するものである¹⁾。注水は、吸水カップに鉛直に接続されたシリンダーの上縁まで水を満たし、重力により注入し、10秒程度で完了する。計測には水圧センサーを用い、シリンダー内の水の体積の変化を水位変化によるセンサーの圧力変化として検知し、0.5秒毎に連続的計測を行う。コンクリート表面に吸水カップを固定し、注水完了後10分間測定を行う。計測後、10分時点での吸水速度(以下、表面吸水速度)が得られる。得られた表面吸水速度を吸水抵抗性の目安²⁾である良、一般、劣の値と比較し、コンクリート表層部の吸水抵抗性を判断することが可能である。

3. 角柱試験体における調査

3.1 角柱試験体概要

Table.1: Specified mix of square column specimen

Volume (m ³)	W/C (%)	s/a (%)	air (%)	Unit quantity(kg/m ³)				AE water reducing agent (78S)	AE agent (air)
				W	C	S	G		
1.000	65	42	4.5	168	258	779	1084	2.58	1.55
1.000	55	42	4.5	168	305	761	1061	3.05	0.61
1.000	45	42	4.5	168	373	737	1028	3.73	2.24

Table.2: Experimental parameter

Curing Temperature(°C)	W/C(%)		
	45	55	65
5	A	E	I
15	B	F	J
30	C	G	K
Underwater curing	D	H	L

試験体寸法は 150mm(W)×150mm(H)×100mm(D)の角柱試験体であり、示方配合を Table.1 に、実験パラメータを Table.2 に示す。コンクリートの表層品質は、脱型材齢、養生方法に影響することが既往の研究で報告されており³⁾、本実験ではこれらの因子に加え、養生温度および W/C を実験パラメータとした。各パラメータにおいて3体ずつ製作し、計12個の試験体それぞれを A, B, C...L と称した。

3.2 表面吸水試験結果

3.2.1 基礎的な室内での測定

測定を行う際、試験体と吸水させる水をあらかじめ前日から測定する環境に置き、慣らしをしてから測定を行った。初回の測定は水和反応による影響を考慮して90日程度経過してから測定を行った。初回測定の結果を Fig.1 に示す。W/C が小さい試験体ほど表面吸水速度は小さい傾向が見られた。養生温度ごとにみると水中養生した試験体の表面吸水速度が最も小さく、養生温度 5°Cの表面吸水速度が最も大きくなった。養生温度 15°Cと 30°Cの表面吸水速度は似たような結果が得られた。初回測定から1年経過後に、測定を行った。結果を Fig.2 に示す。データ整理の過程で表面吸水速度が算出されなかったもの、カップの不具合が発生したものを除く。再測定時と比べると、全体的に表面吸水速度が大きくなっている。試験体のなかには再測定時から SWAT を行っていなかったものも多かったため、このような結果となった可能性がある。

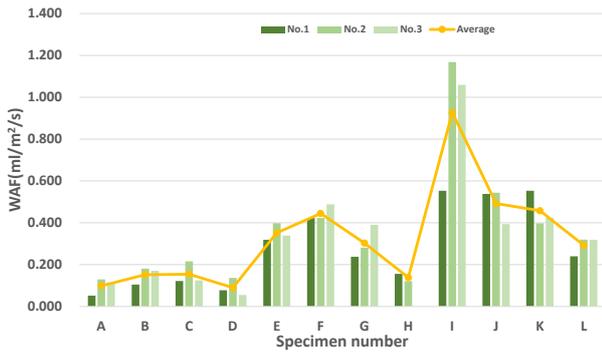


Fig.1: Measurement result of square column specimen(First time)

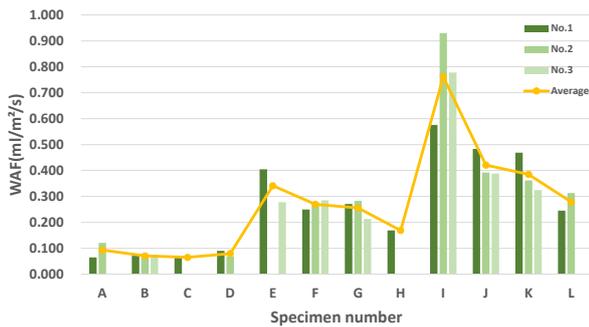


Fig.2: Measurement result of square column specimen(1 year later)

3.2.2 SWATの季節依存性に関する検討

SWATには温度依存や湿度依存などの季節依存性があるとされている。しかし、既往の研究では具体的な数値は示されていない。そのため、今回は季節性による表面吸水速度の補正に向けた基礎的な調査を行った。表面吸水速度の値は測定環境ごとに変化すると考え、異なる測定環境を用意し試験を行った。環境条件、測定期間をTable.3に示す。自然の気候に合わせて梅雨、夏、冬の3つの季節で測定を行った。測定環境をより実際の現場に近づけるため、実験室ではなく、雨の影響のない校内中庭にある小屋にてすべての測定を行った。測定に用いたのは12パラメータのうち、養生温度30°Cの試験体とW/C65%の試験体である。環境条件を季節ごとに変えてSWATを行った結果をFig.3に示す。すべての試験体において冬が最も表面吸水速度が小さくなった。また、すべての試験体で夏が最も表面吸水速度が大きくなった。冬と梅雨の環境条件では湿度と表面含水率が同程度であったが、表面吸水速度に差が生じている。これは湿度と表面含水率以外の環境条件が影響している可能性が考えられる。夏は気温、水温、表面温度が最も高く、湿度と表面含水率が最も低かった。環境条件が最も悪かったため、このような結果になったと考えられる。

3.2.3 環境条件と表面吸水速度に関する検討

先行研究により、環境条件が違う測定でも表面温度によって表面吸水速度の補正を行うことができることが報告されている。これは表面温度と表面吸水速度に高い相関性が見られるためである。そこで、本研究で使用する角柱試験体においても同様の相関性がみられるか、気温や湿度などの他の環境条件で表面吸水速度との相関性がみられるものはあるか調査した。調査した環境条件は気温、湿度、水温、表面温度の4つである。これらを冬、梅雨、夏の3つの季節における表面吸水速度の変化を調査した。結果をFig.4に示す。冬の測定においては4つの環境条件で表面吸水速度の値がまとまっていた。しかし、梅雨や夏では表面吸水速度の値が近い値を示しているも、4つの環境条件に差が生じていた。季節性の測定を行っていた小屋に日光や風の影響があったと考えられる。瞬間的に日光や風の影響がでることで、ある試験体の測定時の気温や湿度などに変化が生じた可能性がある。そこで、測定前の慣らしの段階においてデータロガーで記録していた気温と湿度について表面吸水速度と相関性がみられるか調査した。小屋で行った測定のうち夏のみ記録ができていなかったため、冬と梅雨の結果のみであり、慣らしの気温と湿度はその慣らし期間の平均の値をとっている。慣らし気温と湿度と表面吸水速度の関係をFig.5に示す。気温と湿度ともに表面吸水速度の値同士が非常に近い値を示している。

3.2.4 1秒と10分時点での表面吸水速度の比較

表面吸水速度との関係性の調査において注水完了後1秒時点での表面吸水速度(以下、a)と10分間の吸水量についても季節ごとに調査した。全ての試験体を測定した再測定時のaと表面吸水速度のグラフをFig.6に示す。全体としては大きな傾向はみられなかった。しかし、W/C65%の試験体においてはaと表面吸水速度は比較的比例関係にあった。夏の測定時のaと表面吸水速度の結果をFig.7に示す。継続的に測定していたW/C65%、養生温度5°Cの試験体はその後の測定でも表面吸水速度とaは高い関係性を持っていた。aが大きくても表面吸水速度が小さい試験体もあり、表層部のなかでも細かい部分がある可能性が考えられる。また、aの値は注水完了後1秒時点のため測定者の技能に左右される可能性が高い。一様に注水しなければ、傾向に差が出る可能性がある。なお、本実験では測定者は1人であるため、違う測定者が行うことで新たな知見を得られる可能性がある。

Table.3: Environmental conditions

	Air temperature(°C)	Humidity(%)	Water temperature(°C)	Surface temperature(°C)	Moisture content
Winter	5.6	72.8	5.7	4.5	4.1
Rainy season	26.4	75.4	25.1	23.7	4.1
Summer	37.0	43.9	36.8	36.2	3.5

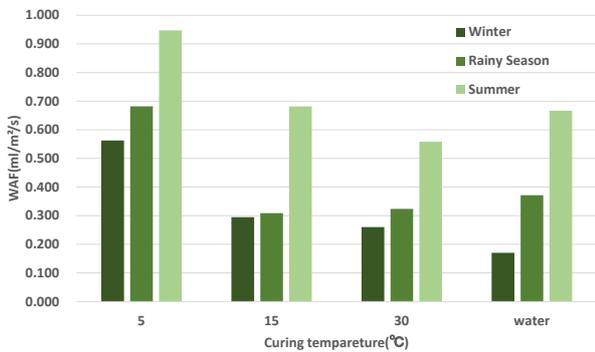


Fig.3: Measurement result of square column specimen

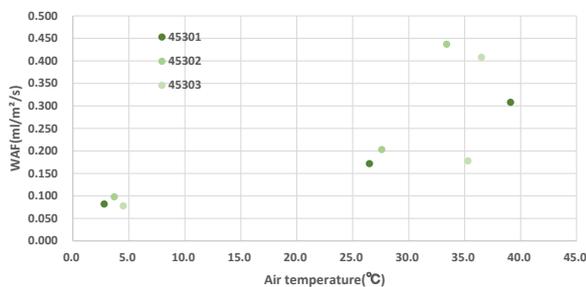


Fig.4: Relationship between Air temperature and WAF

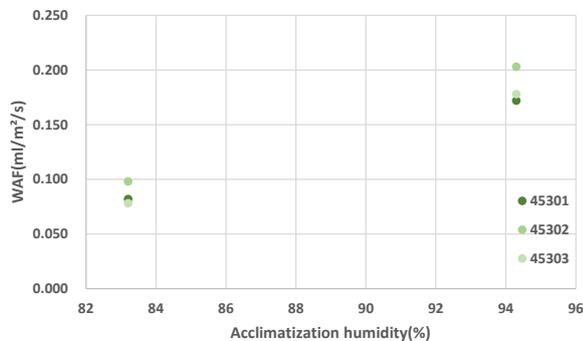


Fig.5: Relationship between Acclimatization humidity and WAF

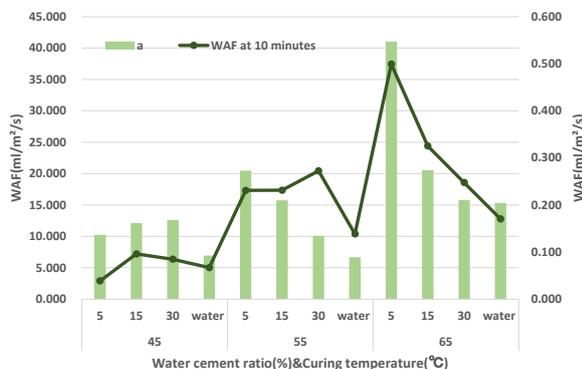


Fig.6: Relationship between a and WAF at 10 minutes

3.2.5 吸水量と表面吸水速度の関係性の検討

SWAT を行う際、結果として算出されるのは a と表面吸水速度の低減程度と表面吸水速度であるが、データシートには 10 分経過時の水頭を記入している。10 分経過時の水頭を初期の水頭から計算することで吸水量を算出できる。関係性を調査することによって、多様な面から表層品質を評価できると考えた。環境条件が違うことによって吸水量が変わるのか調査した。結果を Fig.8 と Fig.9 に示す。W/C についてみてみると環境条件が悪い方が吸水量も大きくなっている。全体の変化としては W/C が異なる場合でも似た変化をしている。吸水量においても表面吸水速度と同様に W/C が小さい方が結果は良い傾向を示している。また、表面吸水速度が比較的近かった再測定、冬、梅雨の 3 つは吸水量においても近い値であることがわかる。SWAT の表層品質評価の閾値ごとにみても、表層品質が良いクラスに入っても吸水量が必ずしも小さくならないことがわかる。夏の測定は Good のクラスに入る表面吸水速度が無かったため、空白になっている。初回測定よりも再測定時の方が吸水量は多くなっている。多くの試験体において再測定時の表面吸水速度は小さくなっていたが、吸水量ベースで閾値についてみると増加している。閾値のなかに幅があるため、閾値としては同じクラスでも値に差が生じる可能性があると考えられる。

4. 屋外試験体における調査

4.1 屋外試験体概要

校内の中庭に、断面 1800mm(W)×900mm(H)の壁型の屋外試験体が 2 基設置されている。試験体 2 基を A、B と称し、示方配合を Table.4 に示す。各試験体における特徴として、同一コンクリートパネル内で養生方法および型枠等が異なる。養生期間は共に 7 日間湿潤養生した後、11 日目に脱型を行った。養生方法は試験体 A が水中養生、試験体 B がラッピング養生である。型枠は試験体 A、B 共に 1~9 が透水型枠、10~18 が合板型枠であった。

4.2 表面吸水試験結果

調査は試験体 1 基において正面と背面でそれぞれ 9 箇所ずつ計 36 箇所で行った。ただし、SWAT のフレームの形状的に測定できない箇所があったため、その箇所は除いて測定を行った。測定できたのは 20 箇所だった。角柱試験体の章では試験体と水を前日から慣らしたが、屋外試験体は固定されているため、水のみを試

験体の場所で前日から慣らした。測定結果を Fig.10 に示す。水中養生の場合とラッピング養生の場合のどちらとも、透水型枠の方が表面吸水速度は小さくなっていった。また、透水型枠においてはラッピング養生よりも水中養生の方が表面吸水速度は小さくなっていったが普通型枠においてはラッピング養生の方が小さくなっている。

5. まとめ

角柱試験体を SWAT により調査した結果、W/C が小さいほど表面吸水速度が小さくなる傾向が得られた。養生温度ごとにみると、水中養生が最も表面吸水速度が小さく、5℃養生が最も表面吸水速度が大きくなった。15℃養生と 30℃養生は比較的似た結果となった。

角柱試験体における季節性の調査に関して、環境条件の変化傾向の把握に取り組んだが、相関性を確認することができなかった。測定を行った小屋が日光や隙間風の影響により、気温や湿度などが突発的に変化したため、環境条件が安定した室内において気温や湿度などの環境条件を変えて SWAT を行うことにより表面吸水速度に影響を与える環境条件を調査することができると考えられる。

吸水量と表面吸水速度の関係性については、W/C についてみると W/C が小さい方が表面吸水速度とともに吸水量も小さくなっている。初回測定時より再測定時に表面吸水速度は小さくなっているが、閾値についてみると吸水量は初回測定時より増加していた。閾値のなかに幅があるため、それぞれの閾値に値が入っても全体としての値が大きくなる可能性がある。

屋外試験体を SWAT により調査した結果、型枠では合板型枠よりも透水型枠の方が表面吸水速度は小さくなることがわかった。養生方法についてみると、透水型枠においてはラッピング養生よりも水中養生の方が表面吸水速度は小さくなり、普通型枠においては水中養生よりもラッピング養生の方が表面吸水速度は小さくなることがわかった。

引用文献

- 1) 林和彦, 細田暁: 表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 E2, Vol.69, No.1, 82-97, 2013
- 2) 国土交通省東北地方整備局「コンクリート構造物の表層品質確保の手引き(案)(橋脚, 橋台, 函渠, 擁壁編)」
- 3) 井上翠, 澤本武博, 樋口正典, 藤原貴央: コンクリートの表層品質に及ぼす配合および養生方法の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.68, 2015

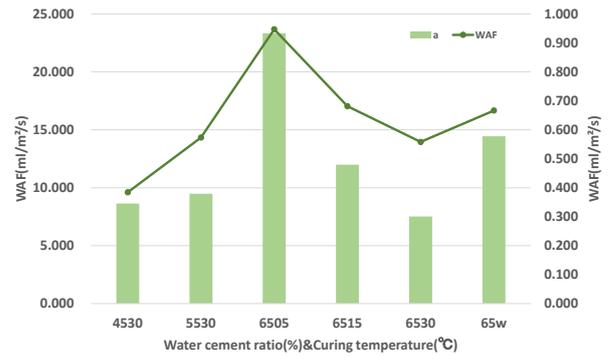


Fig.7: Relationship between a and WAF at 10 minutes

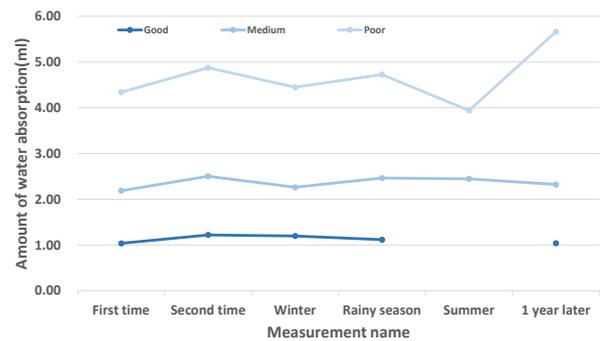


Fig.8: Measurement result of amount of water absorption

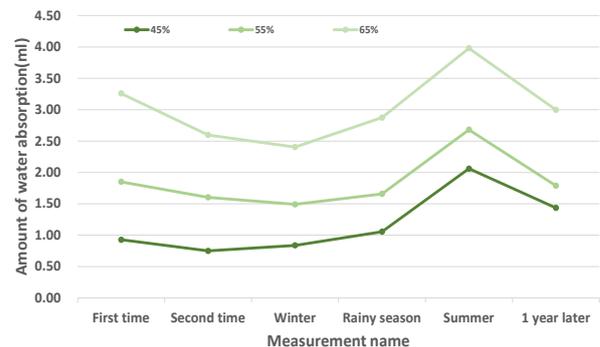


Fig.9: Measurement result of amount of water absorption

Table 4: Specified mix of wall specimen

Volume (m³)	W/C (%)	s/a (%)	air (%)	Unit quantity(kg/m³)				Admixture
				W	C	S	G	
1.000	53	41.2	4.5	140	265	783	1161	2.82

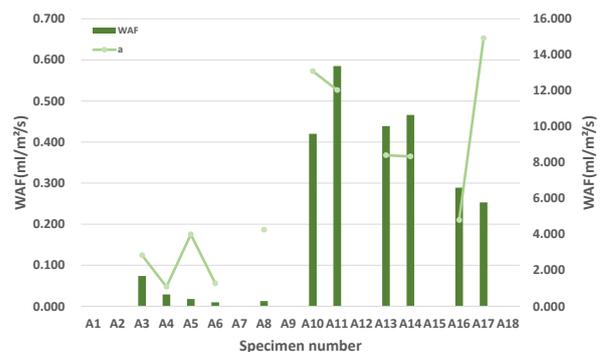


Fig.10: Measurement result wall of specimen