

論文 試料の採取方法の違いがウェットスクリーニングモルタルの性状に及ぼす影響

谷口 秀明*1・松田 拓*1・樋口 正典*2・藤田 学*2

要旨: フレッシュコンクリートの単位水量試験や凝結時間試験では、コンクリートをウェットスクリーニングしたモルタルが使用される。しかし、現状ではその採取方法は明確に定められておらず、試験値への影響も明らかではない。実験の結果、試料の採取過程でモルタル中の単位ペースト量及び単位水量の減少を生じ、その変化がモルタルのフロー、凝結及び圧縮強度に影響を及ぼすこと、高周波加熱乾燥法によって試料の単位水量の推定が概ね可能で、砂モルタル比及び水セメント比の変化を考慮すれば、フレッシュコンクリートの単位水量に対する推定精度が向上すること等が明らかになった。

キーワード: ウェットスクリーニング, 単位水量, 凝結, 強度, 高周波加熱乾燥法

1. はじめに

フレッシュコンクリートの単位水量や凝結時間の測定には、ウェットスクリーニングにより採取したモルタル（以下、本文中では WS モルタル、図表では WSM）が使用される。昨今、コンクリート構造物の品質確保・向上への気運が高まり、単位水量試験の研究開発及び品質管理・検査への適用が盛んになっている。

その一方で、単位水量の推定値には、WS モルタルの採取方法が影響しやすいことも事実である¹⁾。これは、同様に WS モルタルを用いる凝結時間やコンクリートの流動性状の推定²⁾等にも関係する可能性がある。しかし、現状では採取方法の具体化な規定はなく、品質変化のメカニズムや影響度は必ずしも明らかではない。

そこで、本研究では、試料の採取方法の違いが WS モルタルの性状（流動性状、凝結時間、強度）と材料構成比率の変化に及ぼす影響を確認するとともに、その影響を加味した単位水量の推定方法の検討を行った。

2. 実験概要

2.1 WS モルタルに対する基本的な考え方

単位水量の推定等では、コンクリートから採

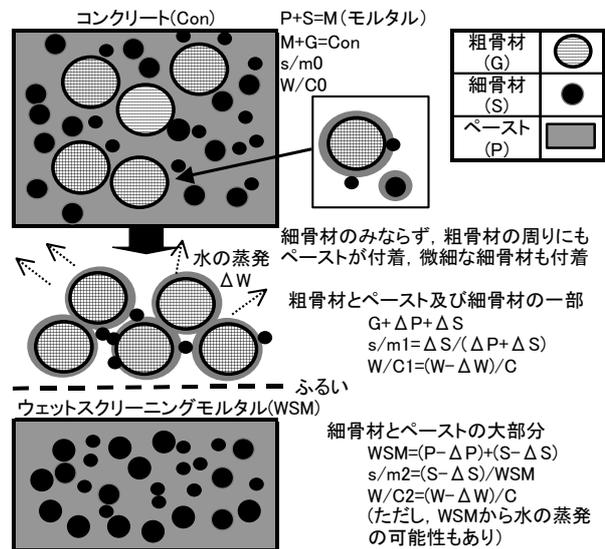


図-1 WS によるモルタルの材料構成比率の変化に対するイメージ

取した WS モルタルは配合上のモルタルと同一のものであるという前提で計算している場合が多い³⁾。しかし、入念に WS を行っても、図-1 に示すとおり、ふるいに残った粗骨材はペースト（若干の細骨材を含む）が付着した状態である。また、ペーストの付着は、WS 作業のみならず、練混ぜから試験までの過程で様々な箇所に見られる。そのため、WS モルタルには、その付着状態に応じたペースト量の減少を生じている

*1 三井住友建設（株）技術研究所 工修（正会員）

*2 三井住友建設（株）技術研究所 博(工)（正会員）

可能性が高い。また、一連の作業は、必ずしも高湿の環境下ではなく、練混ぜ、WS等におけるエネルギー供給もあって、コンクリートから水分の蒸発を生じる可能性もある。

2.2 コンクリート及びモルタルの条件

使用材料及び配合を、表-1、表-2に示す。シリーズ1では、水セメント比(W/C)を30、40、55%、碎石の単位絶対容積を0、0.2、0.4m³/m³としたコンクリート及びモルタルを用いた。ただし、碎石には5mmを通過するものが4%含まれるため、配合表では過小分(GI)を細骨材(S)に含めた。空気量は、碎石の絶対容積の変化に合わせ、順に7.5、6.0、4.5%とした。一方、シリーズ2は、シリーズ1のモルタル配合に対し、W/Cを一定としてペースト量を減じた配合(記号:P)、並びにセメントと細骨材の比率を一定とし、単位水量のみ減じた配合(記号:W)である。

2.3 製造方法

コンクリートの製造には公称容量50リットルのパン型ミキサを使用した。実験では、まず、モルタル練りを行い、これを採取してモルタルに関する試験を実施した。次いで、採取量を加味した量の粗骨材を加え、コンクリートの製造を行い、WSモルタルを採取した。練混ぜ量は、モルタルとして24~32リットル、コンクリートとしては約40リットルである。また、容量2、20リットルのホバート式ミキサを使用し、練混ぜ量を容量の0.5倍としたモルタルも製造した。

3. WSモルタルの品質変化

3.1 モルタルのフレッシュ性状及び硬化性状

(1) 実験方法

パン型ミキサを使用し、W/C=40%のモルタルとコンクリートを製造した。モルタルは、あらかじめモルタルを付着させたポリジョッキ(2リットル)で採取した。コンクリートは、振動ふるいを用いる方法(Tと表記)と棒状バイブレータを用いる方法(棒Vと表記)でWSを行った。振動ふるい(WS用市販品、振動数100Hz)の下には受け皿(208×266×40mm)を置き、1回

表-1 使用材料

材料名	種類, 物性, 成分	記号
水	水道水	W
セメント	早強ポルトランドセメント(密度3.13g/cm ³ , 比表面積4580cm ² /g)	C
細骨材	鬼怒川産川砂Sr(表乾密度2.56g/cm ³ , 吸水率3.41%, F.M 2.79)と5mmを通過する碎石GI	S
粗骨材	葛生産碎石2005A(硬質砂岩, 密度2.65g/cm ³ , 吸水率0.56%, F.M 6.65)	G
混和剤	高性能AE減水剤, ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体	SP
	AE剤, 変性アルキルカルボン酸化合物系陰イオン界面活性剤	AE

表-2 コンクリート及びモルタルの配合

	配合種別	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	C	S		G
					Sr	GI	
シリーズ1	M30B	30.0	275	917	914	0	0
	C30A	30.0	220	733	732	21	509
	C30B	30.0	165	550	548	42	1018
	M40B	40.0	275	688	1101	0	0
	C40A	40.0	220	550	881	21	509
	C40B	40.0	165	413	660	42	1018
	M55B	55.0	275	500	1254	0	0
	C55A	55.0	220	400	1004	21	509
	C55B	55.0	165	300	753	42	1018
	C30C	30.0	144	480	660	42	1018
C55C	55.0	188	342	660	42	1018	
シリーズ2	M30P1	30.0	265	883	968	0	0
	M30P2	30.0	255	850	1019	0	0
	M30W1	28.5	265	930	927	0	0
	M30W2	27.1	255	942	940	0	0
	M40P1	40.0	265	663	1147	0	0
	M40P2	40.0	255	638	1193	0	0
	M40W1	38.0	265	698	1116	0	0
	M40W2	36.1	255	707	1129	0	0
	M55P1	55.0	265	482	1295	0	0
	M55P2	55.0	255	464	1336	0	0
M55W1	52.3	265	507	1270	0	0	
M55W2	49.7	255	513	1288	0	0	

当たり2kgのコンクリートに対し、30,120,180秒間のWSを行った。後者の方法は、大型の角形ふるいを用い、コンクリートに棒状バイブレータ(棒径35mm, 振動数217Hz)を押しつけるもので、ふるい等の大きさを考慮し、WSモルタルの製造量を10リットル程度とした。

本実験では、モルタルのフロー、凝結時間及び圧縮強度を測定した。フロー試験と凝結時間試験はJIS(R5201, A1147)に準じた。圧縮強度試験にはφ50×100mmの円柱供試体を用い、材

齢 28 日まで標準水中養生を行った。圧縮強度への影響を考慮するため、容量 1 リットルのモルタル用圧力式エアメータで空気量を測定した。

(2) 実験結果

モルタルのフロー、凝結時間及び圧縮強度の試験結果を、図-2 に示す。フローと凝結時間の図には、参考として水セメント比 30,55% のモルタルの結果も示した。圧縮強度の結果は強度変化率 (M40B との圧縮強度の差を M40B の値で除して百分率で表示) で表した。空気量の変化は ±1% 以下で小さいが、空気量 1% 当たりの強度変化率を 5% として計算した結果も併記した。

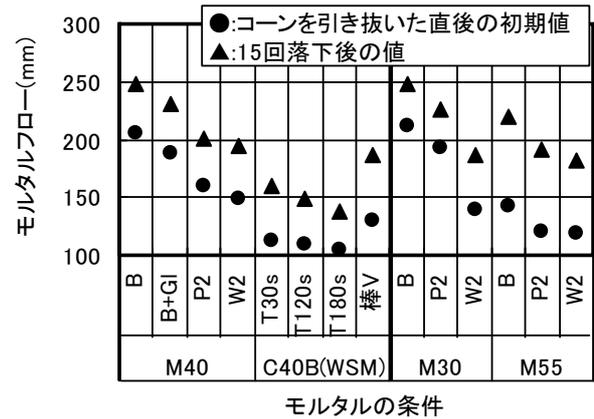
振動ふるいを用いた WS モルタルのフローは、配合を変化させたモルタル (P2, W2) と同様に基準配合 M40 の値よりも低下する傾向があるが、低下量は P2, W2 よりもかなり大きい。また、WS 時間が長くなるにしたがい、フローが低下している。碎石の過小分の混入 (B+Gl) により、フローが若干低下する傾向があるため、WS モルタルのフロー低下にはその影響も含まれるものと考えられる。凝結時間に関しても、WS モルタルの値はモルタルよりも短くなる傾向があり、振動ふるいの凝結時間は P2, W2 と概ね一致する。フロー及び凝結時間への影響度は異なるが、WS により単位ペースト量もしくは単位水量が減少している可能性がある。一方、WS モルタルの強度変化率は、W/C を 36% としたモルタル (W2) よりも小さいものの、WS による強度増大が明白である。本実験の範囲では、WS により W/C が 2% 程度低下していると判断される。

なお、WS 方法の違いによる凝結時間の差は小さく、これまで凝結時間試験に WS 方法の規定が存在しなかった理由の一つと考えられる。

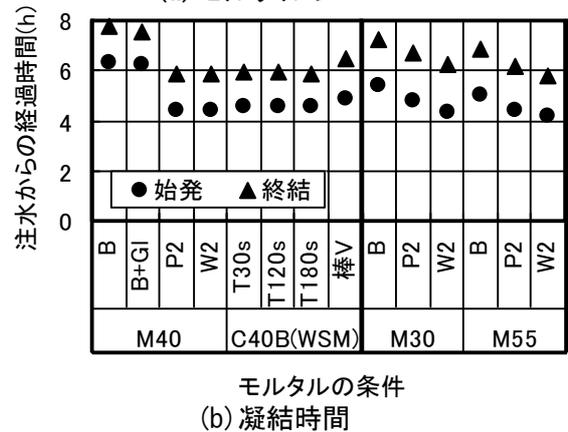
3.2 粗骨材に付着したモルタルの品質

(1) 実験方法

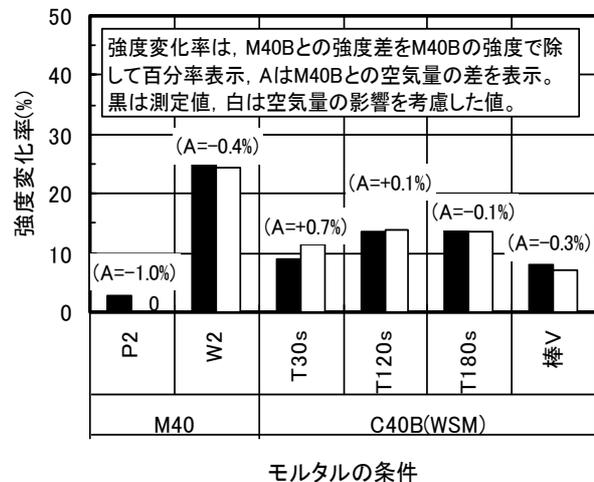
3.1 と同様の方法でシリーズ 1 のコンクリートの WS を行い、ふるいに残った粗骨材と付着モルタルを採取した。ふるいに残った試料 (4kg 以上確保) の中で容器との接触が少ない部分から 2.5kg 程度を採取した。練混ぜから約 30 分以



(a) モルタルフロー



(b) 凝結時間



(c) 圧縮強度

図-2 配合の変化及びWS方法の違いがモルタルの性状に及ぼす影響

内に試料の水洗いを開始した。骨材が流出しないように大きな容器内で試料を水洗いし、セメント分を含んだ水をオーバーフローさせながら徐々に排出した。採取した骨材は、数日間の空气中での乾燥後、電子レンジ(高周波出力:1800W, 電源定格:单相 200V)で質量が一定になるまで乾燥させた。乾燥後に細骨材と粗骨材にふるい分

表-3 ふるいに残った試料から推定した砂モルタル比及び単位水量の変化

WS 方法	配合	SP (%)	Δs/m			配合	SP (%)	Δs/m			ΔW
			付着M	WSM	ΔW			付着M	WSM	ΔW	
T180s	C30A	1.0	-0.12	0.01	-3	C40B	1.0	-0.21	0.05	-15	
	C30B	1.0	-0.14	0.03	-9	C40B	1.3	-0.21	0.03	-11	
	C30B	1.5	-0.14	0.02	-7	C55A	1.0	-0.23	0.01	-4	
	C30C	1.0	-0.12	0.04	-10	C55B	1.0	-0.19	0.04	-15	
	C40A	1.0	-0.20	0.01	-4	C55C	0.8	-0.25	0.03	-10	
T30s	C40B	1.3	-0.03	0.02	-7	推定値と配合上の値の差 (Δs/mは砂モルタル比, ΔWは単位水量)					
T120s	C40B	1.3	-0.18	0.03	-11						
棒V	C40B	1.3	0.02	-0.01	3						

け、電子レンジで求めた吸水率をもとに表乾状態の質量に補正してペースト、細骨材及び粗骨材の比率を求めた。同様の方法で砂を水洗いした場合の微粒分の減少量や、ペーストの付着により 5mm ふるいを通過しない川砂と碎石の量（選別は目視による）も考慮した。

(2) 実験結果

ふるいに残った試料による砂モルタル比(s/m)と単位水量(W)の推定値を、配合上の値との差で表したものが、表-3である。棒バイブレータを使用した場合を除き、粗骨材に付着したモルタル中の s/m は配合上の値よりも小さい。振動台ふるいによる WS では時間が長いほど、s/m が大きくなる傾向がある。WS による s/m の増加量はわずか 0.03 (棒 V 以外の平均) 程度であるが、その結果から求めた単位水量は、計画値よりも 15kg/m³ 少なくなるものも存在する。この結果と前述の WS モルタルの性状変化により、WS 過程で単位ペースト量の減少(s/m の増加)と単位水量の減少 (W/C の低下) を発生していることが明らかになった。

図-3は、表-3に示した T180s の 10 試料から集めた細骨材 (約 1kg) の粒度分布を調べた結果である。ふるいに残る粗骨材には、使用前の細骨材に比べ、0.6mm 前後の細砂を多く含むモルタルが付着していることがわかる。しかし、WS モルタル中の細骨材の粒度 (推定値) はあまり変化しないので、特に粗骨材の過小分の混入がなければ、WS モルタルの性状に大きく影響を及ぼすものではないと考えられる。

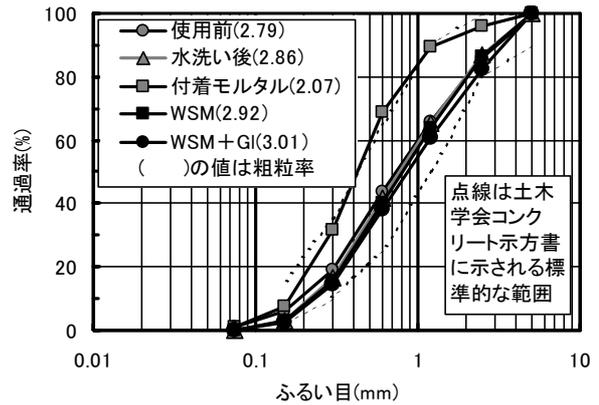


図-3 細骨材の粒度分布

4. 単位水量の推定値に対する採取方法の影響

4.1 単位水量の推定方法

実験には 3.2 と同一の電子レンジを使用し、試料の乾燥時間は 4 分 (質量が一定になることを確認) とした。単位水量の推定には、文献 3) で推定精度が確認された式(1)を用いた。

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_1} (W_0 + C_0 + S_0) + \frac{X}{100} C_0 - \frac{Y}{100} C_0 - \frac{P}{100 + P} S_0 \quad (1)$$

ここに、

W: 単位水量の推定値(kg/m³)

M₁, M₂: 試料の乾燥前後の質量(g)

W₀, C₀, S₀: 配合上の水, セメント及び細骨材の単位量(kg/m³)

X: 結合水率(%)

Y: セメントの質量減少率(%)

P: 細骨材の吸水率(%)

M₁, M₂ の計算には、使用した紙皿の燃焼等による質量変化を加味した。また、X, Y, P は本実験で使用した材料を用い、電子レンジにより加熱乾燥して求めた値を代入した。

4.2 試料の練混ぜ量及び採取方法がモルタルの単位水量の推定値に及ぼす影響

2.3に記載した3通りの製造方法によりモルタルを製造し、表-4に示す採取方法がモルタルの単位水量の推定値に及ぼす影響を確認した。なお、単位水量の推定値は計画値との差で表す。

図-4は、採取方法 F におけるミキサの容量

表-4 試料の採取方法

A	モルタルを付着させたハンドスコップで採取して紙皿に載せる。
B	モルタルを付着させたハンドスコップで採取し、きれいな受け皿に一度入れた後に紙皿に載せる。
C1	きれいなハンドスコップで採取し、試料1kgを振動ふるい90秒間で通過、4回分を受け皿(大)に入れた後、紙皿の上に乗せる。
C2	C1と同様の方法で採取、ふるいを通過し、4回分を受け皿(小)に入れた後、紙皿に載せる。
D	C1と同様の方法で採取、ふるいを通過し、2回分を受け皿(大)に入れた後、紙皿に載せる。
E	C1と同様の方法で採取、ふるいを通過し、1回分を受け皿(大)に入れた後、紙皿の上に乗せる。
F	モルタルを付着させたポリジョッキで採取し、紙皿に入れる。

受け皿の寸法：(大) 251×375×62mm (小) 208×266×40mm

とモルタルの製造量の組合せと単位水量の推定値の関係を表したものである。20 リットルミキサのデータは、シリーズ1の配合のみで評価には必ずしも十分なデータ数ではないものの、練混ぜ量が少量の場合には、単位水量の推定値が小さくなるのが明らかになった。

図-5は、試料の採取方法がモルタルの単位水量の推定値に及ぼす影響を調べたものである。試料を入れる物にあらかじめモルタルを付着しない場合や、ふるいを通し、WS作業を行った場合には推定値が小さくなっている。採取方法C1,D,Eのように受け皿の寸法が同一で試料の量を変化させても推定値への影響はほとんど変わらない。容器の寸法を小さくした採取方法C2の平均値は、採取方法Bとほぼ一致する。採取方法Fの値は、多少ばらつきはあるものの、概ね計画値と一致しており、一連の採取作業の中でペーストが取られない工夫が重要であることがわかる。

4.3 WS モルタルを用いた単位水量の推定

以上の結果を踏まえ、容器等はモルタルを付けた状態とし、振動ふるいの下には紙皿を直接置いて試料を採取した。コンクリートの採取量は1kgとし、余分な試料はモルタルを付着させたさじで取り除き、試料の量を約400gとした。

WSモルタルを使用し、コンクリートの単位水量の推定を行った結果が、図-6である。図中には、式(1)による計算値とs/m, W/Cの変化を考慮した計算値を併記した。配合C40A等の粗骨材量が少ないコンクリートは、ふるいに試料を入れた後、短時間でWSモルタルを得られ、蒸発

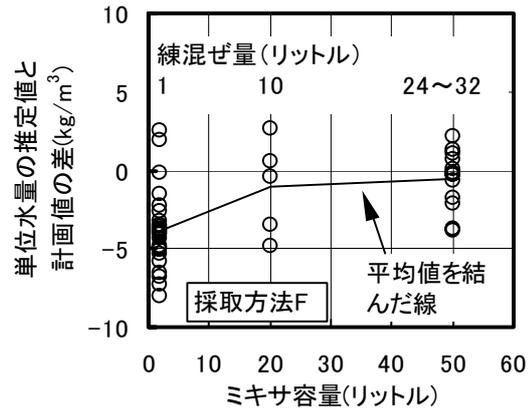


図-4 ミキサの容量及びモルタルの練混ぜ量と単位水量の推定値の関係

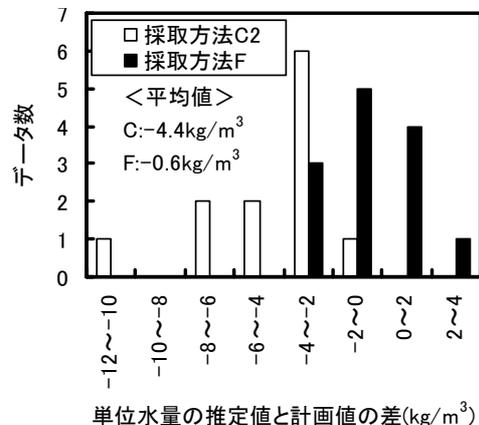
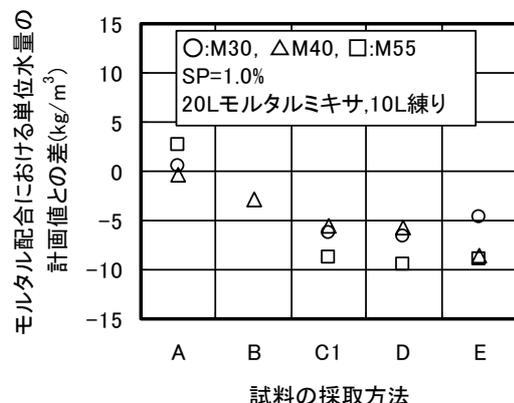
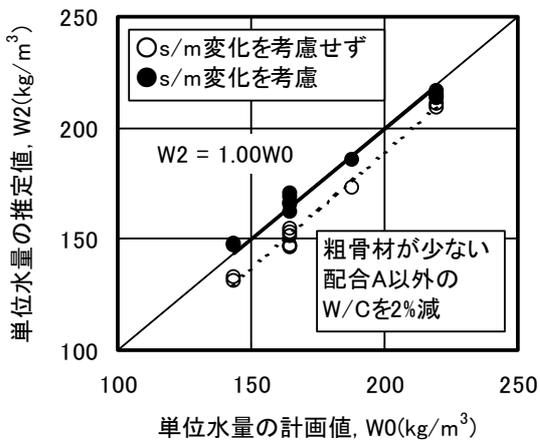
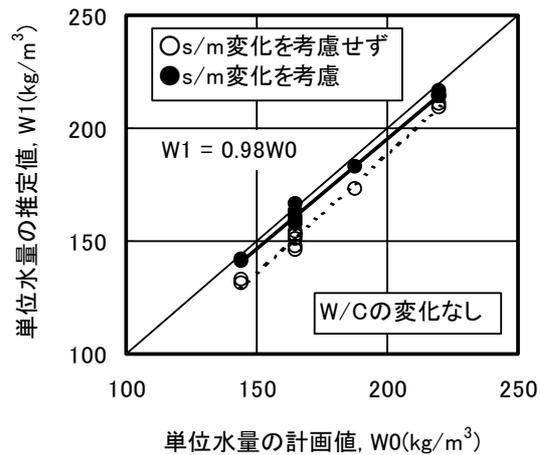


図-5 試料の採取方法と単位水量の推定値の関係

による水量変化は小さいものと判断し、W/Cを変更していない。図-6に示すとおり、WSモルタルの配合変化を考慮した単位水量の推定値は概ね計画値と一致することがわかる。すなわち、モルタル、WSモルタルの結果を総合すれば、試験室レベルでは、練混ぜ量、試料採取、WS方法の影響を考慮することで、高周波加熱乾燥法による単位水量の推定は概ね可能である。なお、



図一六 WS モルタルの品質変化を考慮した単位水量の推定結果

本実験では、s/m の変化を把握するために付着モルタルを使用した。WS モルタルを用いることにより測定精度が向上できる可能性がある。

式(1)の右辺の各補正係数を除けば、第一項は、乾燥前後の質量変化から WS モルタル中の水量を求め、乾燥前 WS モルタルの質量とモルタルの単位量の比率で 1m^3 換算を行っている。すなわち、この計算で得られる単位水量は、WS モルタル中の水量の 1m^3 換算した値であり、前述のように WS モルタルの配合が変化した場合、計画配合における単位水量は計算されない。コンクリートの単位水量を求めるには、変化後の単位量を式(1)に代入して WS モルタルの単位水量を求めた後、s/m 及び W/C の変化量をもとにコンクリートの単位水量に換算する必要がある。

s/m の変化量は 3%前後で小さい印象を受けるが、例えば、単位水量 5kg/m^3 の変化はコンクリ

ート 1m^3 に対して 0.5%、単位水量に対して 2~3%に過ぎない。品質管理への適用に当たっては、単位水量試験が微小な変化量を対象としていることを認識し、厳密性を高めた試料採取・WS 方法によってその影響を排除するとともに、実験での品質変動に対する推定値の変化を確認し、試験の順応性と精度を踏まえた適切な管理幅、試験頻度等を設ける必要がある。

5. まとめ

本実験の範囲で、以下のことが言える。

- (1) ウェットスクリーニングにより、モルタル中の単位ペースト量の減少及び水セメント比の低下（または単位水量の減少）を生じ、WS モルタルのフロー、凝結時間及び圧縮強度の結果に影響を及ぼす。
- (2) 練混ぜ量を確保し、あらかじめ採取する機具・容器へモルタルを付着させた場合には、高周波加熱乾燥法によってモルタルの単位水量を概ね推定することができる。
- (3) ウェットスクリーニングモルタルの砂モルタル比及び水セメント比の変化を考慮すれば、コンクリートの単位水量の推定精度を向上させることができる。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：フレッシュコンクリートの単位水量迅速測定および管理システム調査研究委員会報告書，2004.6.
- 2) 五味信治，岡本将昭，梶田佳寛，宮野和樹：高流動コンクリートからウェットスクリーニングしたモルタルに関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.25, No.1, pp.965-970, 2003.7.
- 3) 松田拓，谷口秀明，西本好克，蓮尾孝一：高周波加熱乾燥法による単位水量の推定に及ぼす各種要因の影響，第 59 回土木学会年次学術講演会講演概要集，5-149, pp.295-296, 2004.9.