

論文 高周波加熱法による迅速単位水量測定方法に関する一提案

高尾 昇^{*1}・村田 浩三^{*2}・古賀 康男^{*3}

要旨：フレッシュコンクリートの単位水量測定方法の一つである高周波加熱法（以下：電子レンジ法）に着目し、検討した。測定時間の短縮および精度向上を図るため、加熱時間を固定した場合における補正方法、および配合通りのモルタルをウェットスクリーニングする方法について検討した。その結果、材料種類、調配合割合に関係なく蒸発水量から直接モルタル中の水量を的確に求める方法、および配合通りのモルタルを得ることができるウェットスクリーニング方法を確立した。また、種々のコンクリートに適用した結果、所要時間が5分程度と迅速で、誤差が設定単位水量に対して約±1%と高精度であることが判明した。

キーワード：単位水量、ウェットスクリーニング、水モルタル比、蒸発水率、高周波加熱法

1. はじめに

生コン工場における工程管理やコンクリート工事現場での確認試験としてコンクリートの単位水量測定に取り組むケースが増加している。単位水量測定方法には、電子レンジ法¹⁾をはじめ、エアメータ法²⁾、静電容量法³⁾や減圧乾燥法⁴⁾といった多くの単位水量測定方法が存在する。その中で、原理が明確であり、装置が入手し易く、更には安定した電源の確保が容易なことから、電子レンジ法が多く採用されている。しかし、電子レンジ法では、測定時間が長い、あるいは誤差が大きいといった問題がある。

そこで、本研究では現状の電子レンジ法の問題点を解決することを目的とし、迅速性および精度向上を目指して検討を行った。

2. 電子レンジ法の現状と課題

電子レンジ法では、まず練り上がったコンクリートをウェットスクリーニングしモルタル試料を得る。次に所定量のモルタル試料を業務用高出力の電子レンジで加熱し、加熱前後の質量変化からモルタル中の水分を求め、コンクリートの単位水量に換算する。原理が明確な上、作業が簡便であるため、実施例が多い。現在、全

国生コンクリート工業組合連合会より ZKT-210「フレッシュコンクリートの単位水量の迅速推定試験方法（高周波加熱法）」⁵⁾が規格化されているが、加熱時間や計算方法が異なる方法も提案されている。

例えば、加熱時間に関しては、ZKTのようにモルタルが恒量になるまで乾燥する方法（加熱時間変動型）のほか、加熱時間を固定（加熱時間固定型）し、未蒸発水分をセメント結合水率等で補正する方法⁶⁾などが知られている。一方、ウェットスクリーニング方法についてはほぼ共通しており、振動機を用い、より強力に、より長くふるうことによってモルタルを粗骨材から完全に分離する方法が一般的である。しかし、従来のウェットスクリーニング方法で得たモルタルから電子レンジ法でコンクリートの単位水量を求めると、配合値より小さくなる場合が多く、この傾向は水セメント比が大きいほど顕著である。すなわち、測定精度を向上させるためには、モルタルの代表性が高いウェットスクリーニング方法を見出す必要がある。

一方、測定時間はウェットスクリーニングに2分前後、加熱に4~10分程度必要であり、計量、計算も含めると合計で10分程度以上になる。

*1 (株) 宇部三菱セメント研究所 埼玉センター コンクリートグループ 主任研究員 (正会員)

*2 (株) 宇部三菱セメント研究所 埼玉センター コンクリートグループ 主席研究員 (正会員)

*3 (株) 宇部三菱セメント研究所 埼玉センター コンクリートグループ グループリーダー (正会員)

すなわち、迅速性に欠けるという問題もある。

本研究では上記問題点を改良すべく、以下の手順で検討を行った。

3. 迅速性の追求（水量測定方法の改良）

電子レンジ法の迅速性を高めるため、加熱時間を固定した。この方法ではモルタル中の水分が完全に蒸発しないと考えられるため、本章では未蒸発水量を補正する方法について検討した。

3.1 セメント結合水率

(1) ペースト実験

セメントには普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm^3 ）を用い、ペーストの水セメント比は 60, 50, 40% とした。練混ぜには容量 5L ホバートミキサを用いた。電子レンジには高周波出力値 1500W の業務用を使用した。加熱時間、加熱ペースト量、加熱開始時間をそれぞれ変化させたときのセメント結合水率の一例を図-1、図-2 に示す。セメント結合水率は式(1)により求めた。なお、強熱減量によるセメントの質量変化は無視した。

$$C_w = \frac{m_1 - m_2}{C} \quad (1)$$

ここに C_w : セメント結合水率 (%)

m_1 : 加熱前ペースト量 (g)

m_2 : 加熱後ペースト量 (g)

C : ペースト中のセメント量 (g)

実験の結果、セメント結合水率は水セメント比が大きいほど、またペースト量が多いほど大きくなる傾向にあった。なお、注水から加熱開始までの時間との関係は明確ではなかった。

(2) モルタル実験

表-1 に示すセメントと過大粒を除いた山砂（表乾密度 2.61g/cm^3 ）および砕砂（表乾密度 2.64g/cm^3 ）を用い、表-2 に示す配合でモルタルを練り混ぜた。なお、高温になるモルタル中の水分を正確に把握するため、細骨材は予め 250°C の高温で絶乾状態に調整した。1 バッチの

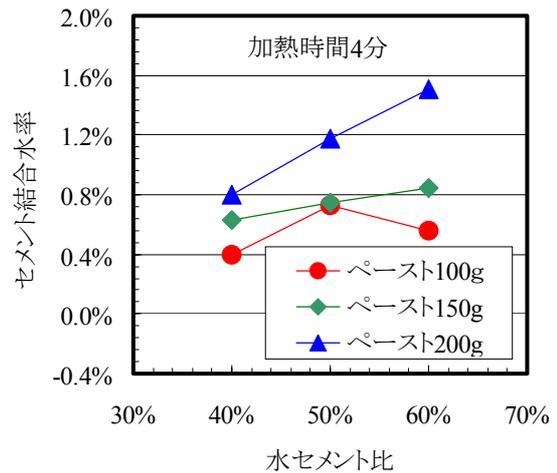


図-1 水セメント比とセメント結合水率

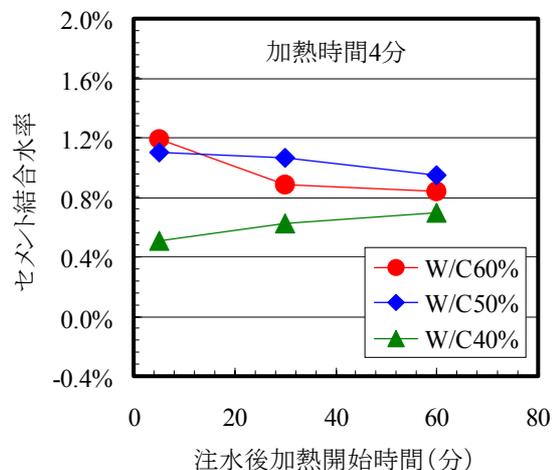


図-2 加熱開始時間とセメント結合水率

表-1 使用セメント

種類	記号	密度 (g/cm^3)	
ポルトランドセメント	普通	N	3.16
	早強	H	3.14
	中庸熱	M	3.21
	低熱	L	3.24
高炉セメント B 種	BB	3.04	

表-2 モルタル配合（単位：質量%）

セメント	水	絶乾細骨材
100	10~80	100~300

練り量は 2kg 程度とし、モルタル試料 $400 \pm 10\text{g}$ を 3 回分採取した。それぞれの加熱開始時間を注水後 5, 30, 60 分とし、各測定値の平均値をセメント結合水率とした。水セメント比とセメント結合水率との関係を図-3 に示す。なお、

水セメント比は、別途求めた 250℃乾燥時における吸水率を用いて補正した。実験の結果、セメント結合水率は水セメント比が大きくなるほど増加する傾向が窺えた。しかし、セメント種類による差異が大きく、また同一セメントにおいても相関性は低い。なお、セメント結合水率は加熱開始時間による差異は小さかった。

(3) 補正係数としてのセメント結合水率

ペーストおよびモルタルによる実験の結果、セメント結合水率は、セメント種類、配合割合等によって変化することが判明した。したがって、補正係数としてセメント結合水率を用いる場合には、対象とするコンクリートの材料、配合に基づくモルタル実験により、予め値を求めておく必要があると考えられる。

3.2 蒸発水率

(1) 水モルタル比と蒸発水率

前述のモルタル実験の結果をもとに、新たな補正方法を模索した結果、水モルタル比と蒸発水率とが極めて高い相関関係にあることが判明した。なお、水モルタル比とはモルタル質量に対するモルタル中の全水量（細骨材中の水も含む）の比、蒸発水率とは加熱前のモルタル質量に対する乾燥減量の比とした。セメントに普通ポルトランドセメントを用い、加熱時間を4分とした場合の水モルタル比と蒸発水率との関係を図-4に示す。また、セメントの種類および細骨材の有無・種類を変えた場合の両者関係を図-5に示す。これらの図より、水モルタル比と蒸発水率との関係は、モルタル配合やセメント種類によらず、細骨材の種類や有無にも影響されないといえる。

(2) 測定方法の提案

加熱時間固定型の補正方法について検討した結果、水モルタル比と蒸発水率とが高い相関関係にあることを利用することによって、モルタル中の水分量を精度良く直接求めることができると考えられる。すなわち、モルタルを電子レンジで所定時間加熱し、蒸発水率を測定することによって水モルタル比を逆算し、これにモル

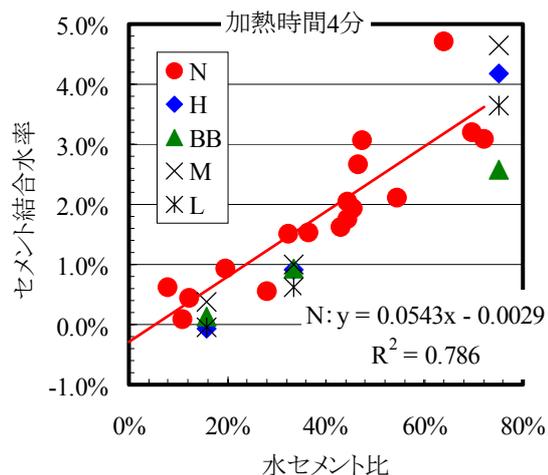


図-3 水セメント比とセメント結合水率

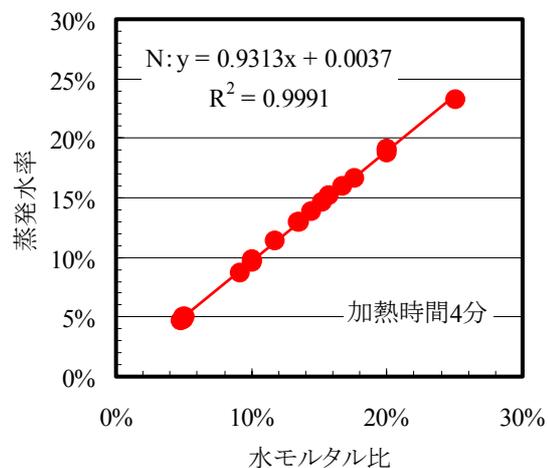


図-4 水モルタル比と蒸発水率 (N, 山砂)

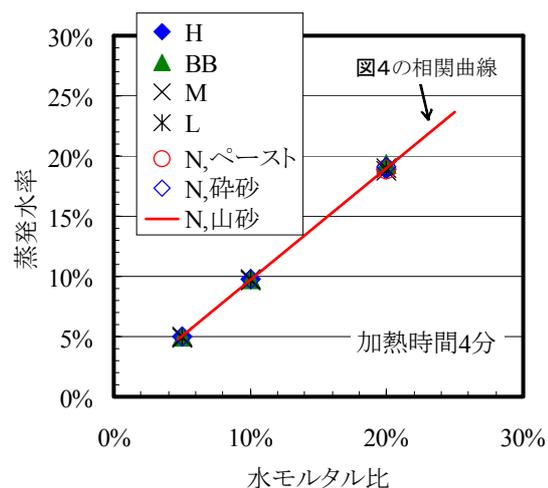


図-5 水モルタル比と蒸発水率

タル質量を乗じることによってモルタル中の全水量を求めることができる。

4.測定精度の向上（モルタル採取方法の改良）

精度の向上を目指し、代表性の高いモルタルを得るウェットスクリーニング方法を検討した。

4. 測定精度の向上（モルタル採取方法の改良）

精度の向上を目指し、代表性の高いモルタルを得るウェットスクリーニング方法を検討した。

4.1 従来法によるウェットスクリーニング

従来のウェットスクリーニング方法では粗骨材表面にペースト或いは水分が残り、モルタルと粗骨材を完全に分離することは困難である。したがって、得られたモルタル中の水分は配合値に比べて少なくなっており、単位水量測定値も配合値に比べて小さくなると考えられる。粗骨材表面にペースト或いは水分だけが残留することを防ぎ、如何にして代表性の高いモルタルを得るかが課題であるといえる。

4.2 ウェットスクリーニング方法の改良

代表性の高いモルタルを得る方法として、短時間ウェットスクリーニング方法について検討した。すなわち、従来法から発想を転換し、ふるい上にモルタルが残った状態でふるい終え、粗骨材表面へのペースト或いは水分だけの残留を防ぐ方法である。

(1) 実験内容

表-3に示す材料を用い、表-4の調配合でコンクリートを練り混ぜた。コンクリートの単位水量は 185kg/m^3 一定とし、混和剤は固形分の影響を避けるため使用せず、スランプ、空気量は成り行きとした。各コンクリートを短時間ウェットスクリーニングし、得られたモルタルを電子レンジで4分間加熱し蒸発水率を求めた。なお、ウェットスクリーニングには個人誤差を防ぐため振動機を用いた⁷⁾。また、ふるい時間は1回あたり3~10秒程度とした。

(2) 実験結果

短時間ウェットスクリーニング後の状況の一例を写真-1に、各コンクリートの水モルタル比と蒸発水率との関係を図-6に示す。なお、図-6には3章で得られた相関曲線を併記した。また、各コンクリートの水モルタル比は、配合

表-3 コンクリート材料

材料	備考
セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	山砂 表乾密度 2.61g/cm^3 吸水率 2.59%
粗骨材	砕石 表乾密度 2.71g/cm^3 吸水率 0.56%

(注) 吸水率は 250°C 加熱時の値

表-4 コンクリートの調配合

W/C (%)	W/M (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)			
			C	W	S	G
50	16.4	40	370	185	679	1062
40	15.5		463		648	1014
30	14.3		617		598	935



写真-1 短時間ウェットスクリーニング後

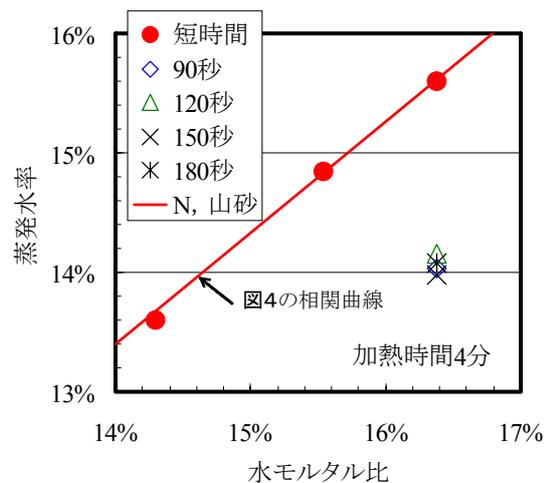


図-6 ウェットスクリーニング時間の影響

から計算することとし、上記相関曲線との乖離を検証するため、3章と同様に骨材の 250°C 吸水

率を用いて算出した。

試験の結果、ウェットスクリーニング時間が長い場合、得られるモルタルの蒸発水率は先述の相関曲線よりも下側にあり、これはモルタル中の水分が本来あるべき量より少なくなっていることを示している。一方、短時間ウェットスクリーニングにより得たモルタルの蒸発水率はほぼ相関曲線上にある。なお、本試験における短時間ウェットスクリーニングに要した時間は、コンクリートの水セメント比が小さくなるほど長くする必要があったが、従来のウェットスクリーニング時間の1/30程度以下であった。

(3) モルタルの代表性の確認

ウェットスクリーニング時間を従来法より極端に短くした場合、ふるい前後でモルタル材料の構成割合の変化や細骨材粒度の変化が危惧される。そこでモルタルの代表性を確認するため短時間ウェットスクリーニング後のモルタル中の細骨材粒度を測定した。

表-4に示したコンクリートに短時間ウェットスクリーニングを施し、得られたモルタルを0.15mmふるい上で水洗いしながらセメント分を除去、ふるいに残った細骨材の粒度を測定した。測定結果を図-7に示す。

測定の結果、ウェットスクリーニング時間が数秒であっても得られるモルタル中の細骨材粒度は変化しないことが確認された。また、モルタル中の水分が配合どおりであることから、モルタル材料の構成割合の変化は無いと考えられる。したがってモルタルの代表性は確保されているといえる。

(4) ウェットスクリーニングの提案

短時間ウェットスクリーニングにより得たモルタルは配合値どおりの水分を含んでいることが示された。また、ふるい前後でモルタル中の細骨材粒度も変化しないことから、モルタルの代表性は確保されていると考えられた。したがって、高精度を達成するためには短時間ウェットスクリーニングが推奨される。ただし、短時間ウェットスクリーニングは1回の作業で得ら

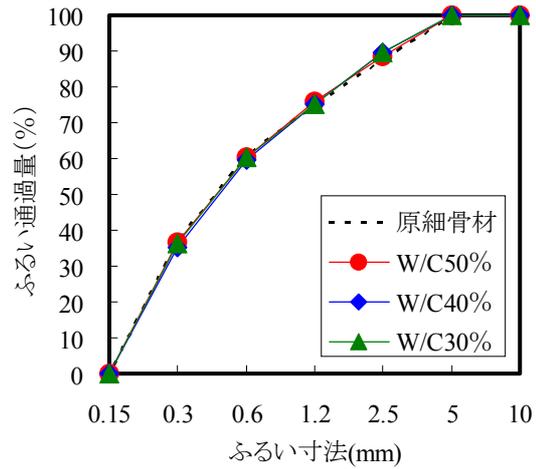


図-7 細骨材の粒度

表-5 コンクリートの配合条件

W/C (%)	セメント	sl.-air	混和剤	単位水量 (kg/m ³)
60	N	18-4.5	Ad1	170
50	BB	8-4.5		147
40	L	18-4.5	Ad2	152
30		60-3.0		175
20	SFC	60-2.0		152

れるモルタル量が少ないため所定量得るためには数回繰り返す必要がある。しかし、その場合でも従来法より遥かに迅速である。また、コンクリートを数回採取することは代表性の向上に効果的であるといえる。

5. 単位水量確認試験

5.1 改良型電子レンジ法

これまでの知見をもとに、種々のコンクリートの単位水量を測定した。測定にあたり、

- 1) 電子レンジの検量線(水モルタル比と蒸発水率との関係)として図-4の相関曲線を使用する
- 2) ウェットスクリーニング時間を短くする
- 3) 骨材の吸水率は250℃加熱時の値を使用する
- 4) 細骨材の過大粒、粗骨材の過小粒、および混和剤固形分(100℃乾燥残留分)を補正することとした。

5.2 コンクリート

表-1および表-3に示した材料のほか、シ

リカフューム混合セメント（密度 3.08g/cm³），AE 減水剤（Ad1）および高性能 AE 減水剤（Ad2）を使用し，表-5 に示す調配合条件でコンクリートを練り混ぜた。コンクリートは水セメント比 60% から 20% の 5 水準とし，20℃環境試験室で練り混ぜた。

5.3 試験結果

改良型電子レンジ法による単位水量測定結果を表-6，図-8 にそれぞれ示す。

試験の結果，測定時間は全ての配合のコンクリートで採取から約 5 分以内，誤差は約±1%以内と従来法に比べて迅速高精度であった。

6. まとめ

単位水量測定方法のうち，電子レンジ法について迅速化，高精度化を目指し検討した結果，以下の知見を得た。

- 1) 電子レンジ加熱時間を固定した場合，水モルタル比と蒸発水率の間には材料種類，調配合によらず高い相関がある。
- 2) 加熱時間を固定するため，加熱容器に紙皿も使用できる。
- 3) コンクリートのウェットスクリーニング時間を著しく短くすることで，得られるモルタルの代表性が向上する。
- 4) 上記の知見を反映した改良型電子レンジ法によれば，迅速且つ高精度に単位水量を測定できる。

参考文献

- 1) （社）日本建築学会：高性能 AE 減水剤コンクリートの調合・製造および施工指針・同解説，付 3 フレッシュコンクリートの単位水量推定試験方法，pp.130-136，1999.2
- 2) 若松岳ほか：フレッシュコンクリートにおける水セメント比の簡易推定方法に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.1，pp.391-396，1997.6
- 3) 斎充ほか：静電容量型水分計によるフレッシュコンクリートの単位水量推定，コンク

表-6 改良型電子レンジ法試験結果

W/C (%)	測定値 (kg/m ³)	配合値との誤差	
		(kg/m ³)	(%)
60	171.5	+1.5	+0.88
50	147.1	+0.1	+0.07
40	150.8	-1.2	-0.79
30	173.7	-1.3	-0.74
20	153.0	+1.0	+0.66

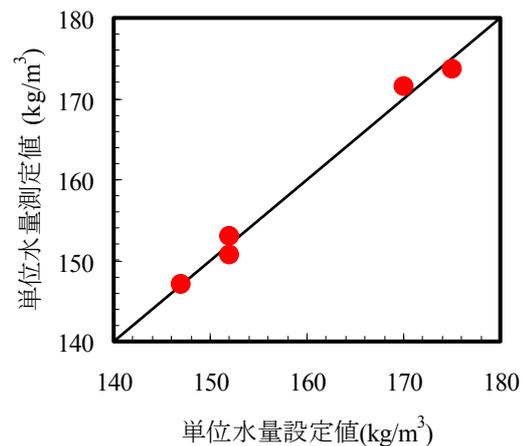


図-8 改良型電子レンジ法試験結果

リート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.307-312，1998.7

- 4) 中村博之ほか：減圧乾燥法を用いたフレッシュコンクリートの単位水量・水セメント比の推定について，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.349-354，2000.6
- 5) 辻本一志ほか：高周波加熱法における試験条件の相違が単位水量の推定値に及ぼす影響，フレッシュコンクリートの単位水量迅速測定及び管理システムに関するシンポジウム論文集，JCI-C57，pp.39-46，2002.12
- 6) 滝口博ほか：高周波加熱法によるフレッシュコンクリートの単位水量推定手法の開発と適用事例，コンクリート工学，Vol.41，No.10，pp.33-40，2003.10
- 7) 加藤淳司ほか：高周波加熱乾燥法による単位水量推定値に及ぼすウェットスクリーニング手法の影響，フレッシュコンクリートの単位水量迅速測定及び管理システムに関するシンポジウム論文集，JCI-C57，pp.63-66，2002.12