

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）

ZKT-210：2002（制定）
2006（改正）
2007（確認）
[全生工組連試験方法]

1. 適用範囲 この規格は、ウエットスクリーニングしたモルタルを高周波加熱装置によって加熱乾燥し、乾燥前後の質量差からフレッシュコンクリートの単位水量を推定する場合に適用する。
2. 引用規格 次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS A 1109 細骨材の密度及び吸水率試験方法
JIS A 1115 フレッシュコンクリートの試料採取方法
JIS A 1138 試験室におけるコンクリートの作り方
JIS A 8610 建設用機械及び装置 - コンクリート内部振動機
JIS R 5201 セメントの物理試験方法
JIS Z 8801-1 試験用ふるい - 第1部：金属製網ふるい

3. 試験器具

- 3.1 ふるい ふるいは、JIS Z 8801-1 に規定される公称目開き 4.75mm のものとする。
- 3.2 振動機 振動機は、JIS A 8610 に規定されるもの又は振動面が平面の振動機（図1参照）とする。
- 3.3 練混ぜ用さじ 練混ぜ用さじは、JIS R 5201 に規定されているもの、又はこれに準ずるものとする。
- 3.4 はかり はかりは、目量が0.1g 又はこれより小さいものとする。
- 3.5 高周波加熱装置 高周波加熱装置は、高周波出力が1,600W 以上のものとする。
- 3.6 試料容器 試料容器は、磁性製又は耐熱性で、その直径は 230 ± 30 mm のものとする。
- 3.7 スペーサ スペーサは、高周波加熱装置内のテーブルと試料容器との間に空間を設け、装置内温度が局部的に上昇することを防ぐことができる耐火性レンガ等とする。



図1 振動機の一例

4. 試料 試料は次による。

- 4.1 試験室で作る場合 コンクリートを試験室で作る場合は、JIS A 1138 による。

4.2 その他の場所で採取する場合 コンクリートをミキサ、ホッパ、トラックアジテータ、打ち込んだ箇所などから採取する場合は JIS A 1115 5.分取試料の採取方法による。

5. 試験方法 試験方法は、次による。

1) 採取した約2kgのコンクリートを公称目開き4.75mmの網ふるいへ投入し 振動機によってふるい枠の上端、又は側面に振動を加えながら、練混ぜ用さじでコンクリートをかき混ぜ、モルタルをふるい取る⁽¹⁾。

注⁽¹⁾ ふるい分けは、モルタルがふるいを通しなくなるまで行う。

備考 ウェットスクリーニングの専用機器を使用する場合は、あらかじめ単位水量の推定値に及ぼす影響を調査しておく。

2) ふるい取ったモルタルが均一となるように、練混ぜ用さじで攪拌後、試料の量 (M_1) が $400g \pm 10g$ となるように、0.1g まではかり取る。

3) 試料容器の底面を手で軽く叩き容器内試料の厚さを均一にすると共に、試料内のエントラップトエアを追い出す。

4) 高周波加熱装置で試料の質量減少量が $0.1g$ (²) となるまで乾燥し、その質量 (M_2) を 0.1g まではかる⁽³⁾。

注⁽²⁾ 事前に補正值が把握できている場合は、測定者の責任において $0.3g$ とすることができる。

⁽³⁾ 試料容器の質量は、事前に高周波加熱装置を用いて1分間乾燥した直後の値とする。

6. 計算 計算は、次による。

フレッシュコンクリートの単位水量の推定値は、次の式によって算出し、四捨五入を行って小数点以下1けたに丸める。

6.1 細骨材の吸水分の補正

$$X_1 = \left(\frac{Q_s}{100 + Q_s} \right) S_U \frac{M_1}{(W_U + C_U + S_U)} \text{-----} \quad (1)$$

ここに、 X_1 ; 細骨材の吸水分の補正量(g), Q_s ; 細骨材の吸水率(%):高周波加熱装置による値⁽⁴⁾

W_U ; 設計配合上の単位水量(kg/m^3), C_U ; 設計配合上の単位セメント量(kg/m^3)

S_U ; 設計配合上の単位細骨材量(kg/m^3), M_1 ; 乾燥前の試料の量(g)

注⁽⁴⁾ 高周波加熱装置による細骨材の吸水率は、代表的な試料を JIS A 1109 4.a)に従って採取し、この中から表面乾燥飽水状態の試料を $300 \pm 1g$ となるように、0.1g まではかりとり、高周波加熱装置によって質量減少量が $0.1g$ となるまで乾燥する。高周波加熱装置による細骨材の吸水率は、JIS A 1109 6.計算によって算出する。計算結果は、四捨五入を行って小数点以下2けたに丸める。

6.2 混和剤に含まれる固形分の補正

$$X_2 = Ad_U \frac{P}{100} \frac{M_1}{(W_U + C_U + S_U)} \text{-----} \quad (2)$$

ここに、 X_2 ; 固形分の補正量(g), Ad_U ; 配合上の混和剤の単位量(kg/m^3)

P ; 混和剤中の固形分率(%)

6.3 単位水量の計算

$$W_1 = \{ (M_1 - M_2) - X_1 + X_2 \} \frac{(W_U + C_U + S_U)}{M_1} \text{-----} \quad (3)$$

ここに、 W_1 ; 偏り補正前の単位水量の推定値(kg/m^3), M_2 ; 乾燥後の試料の質量(g)

$$We = W_1 + Wa \text{-----(4)}$$

ここに、 Wa : ウェットスクリーニングによる偏りの補正值

対象配合の試し練りにより求めた[設計配合の単位水量 - W_1] (kg/m^3)

We : 偏りの補正後の単位水量の推定値(kg/m^3)

7. 報 告 報告は次の項目を記載する。
- 1) 試験年月日
 - 2) 天候
 - 3) 気温 ()
 - 4) バッチ番号
 - 5) コンクリートの配合
 - 6) 試料の乾燥前後の質量及び両者の差 (g)
 - 7) 計算に用いた細骨材の吸水率 (%)
 - 8) 計算に用いた混和剤の固形分率 (%)
 - 9) 単位水量の推定値 (kg/m^3)

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)

解 説

この解説は、本体に規定した事柄、及びこれらに関連した事柄を説明するもので、規格の一部ではない。

1. 制定の趣旨 レディーミクストコンクリートの単位水量は、構造物の耐久性を左右する重要な配合要因であるため、近年レディーミクストコンクリート工場で行う工程検査や建設現場における受入れ検査で、これを試験するケースが増えつつある。現在行われている単位水量の試験方法としては、高周波加熱法、静電容量法、減圧加熱乾燥法、単位容積質量法、RI 法等が挙げられる。全国生コンクリート工業組合連合会（以降、全生工組連と呼ぶ）ZKT 専門部会では、これらの中から、測定原理が明確で試験時間も短く、試験機器の価格が比較的安価な高周波加熱法を取り上げ、「まだ固まらないコンクリートの単位水量の試験方法(加熱乾燥法)」^{1),2)} に改良を加えて、工程管理用の業界規格として定めることとした。現在提案されている当該試験方法は、多くの補正計算を必要としていること、1 回の試験に用いる試料の量が少ないこと、多くの試験方法がウエットスクリーニングモルタルを試料として用いていること等から、製品検査に適用できる精度が確保されていないのが現状である。しかし、業界の内外から当該試験方法の早急な制定が強く望まれているため、レディーミクストコンクリート工場における単位水量の変動の大きさを迅速に表示し、その管理を拡充することのできる試験方法の制定を検討した。

2. 制定の要点

2.1 試験機器

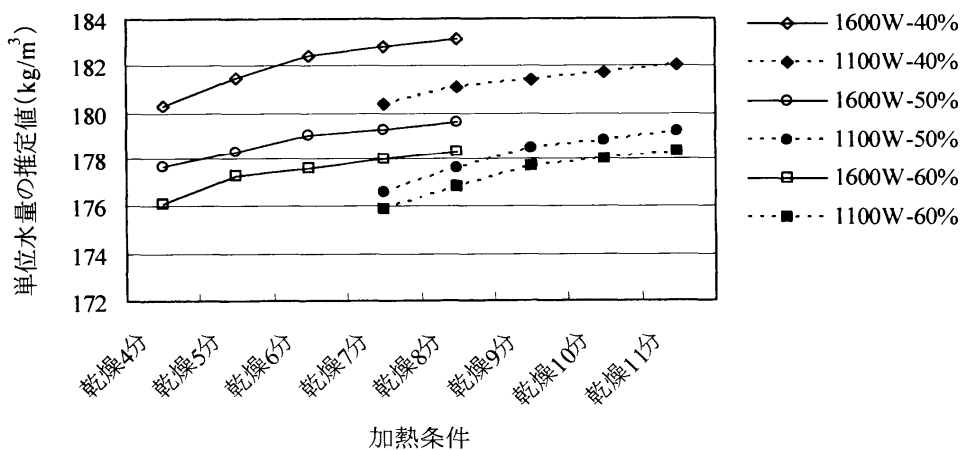
1) 振動機 コンクリートをウエットスクリーニングした場合、粗骨材、ふるい及びモルタルの受け皿にセメントペーストや細骨材が付着するため、ウエットスクリーニングモルタルの配合は計算上粗骨材を除いたモルタルの配合と異なる。解説表 1 はウエットスクリーニングの条件を変化させ、単位水量の推定を行った結果を示したものである。また、表中のカッコで示した数値は、単位水量の設計値と推定値の差を示したものである。解説表 1 において、推定値のバラツキ及び設計値と推定値との差は、振動機を用いた方が小さく、単位水量の推定値も設計値により近い値となることから、ウエットスクリーニングには振動機を用いることとした。

なお、全生工組連では、ウエットスクリーニングの専用機器の性能を確認していないため、これを用いる場合には、単位水量の推定値に及ぼす影響を予め調査することが必要である。

解説表1 ウエットスクリーニング実験結果

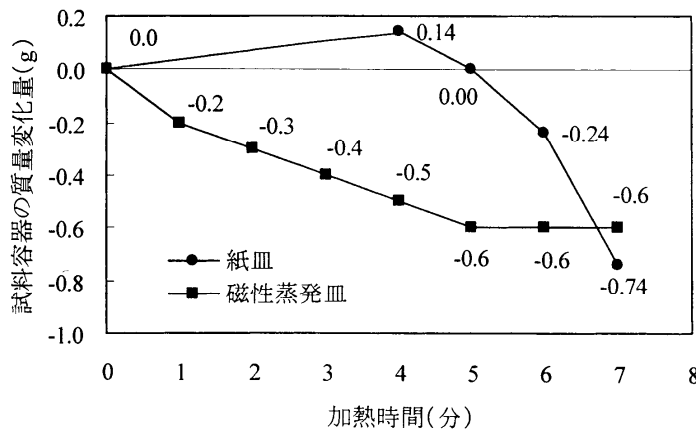
単位 水量 (kg/m ³)	粗骨材 の種類	単 位 セメント量 (kg/m ³)	上段：単位水量の推定値 (kg/m ³), 下段：配合値との差 (kg/m ³)							
			手 動				振動機 ZKT-210 5.a)による			
			1分	2分	5分	目視	0.5分	1分	2分	目視
185	碎石	300	164.1	167.1	166.8	165.4	175.4	170.4	177.8	174.4
			[-20.9]	[-17.9]	[-18.2]	[-19.6]	[-9.6]	[-14.6]	[-7.2]	[-10.6]
		330	172.4	170.8	168.8	170.1	177.8	174.8	178.4	177.8
			[-12.6]	[-14.2]	[-16.2]	[-14.9]	[-7.2]	[-10.2]	[-6.6]	[-7.2]
		360	171.0	173.0	169.7	170.0	176.7	176.1	177.1	178.1
			[-14.0]	[-12.0]	[-15.3]	[-15.0]	[-8.3]	[-8.9]	[-7.9]	[-6.9]
		300	173.0	173.0	170.0	170.7	176.7	177.4	179.7	178.1
			[-12.0]	[-12.0]	[-15.0]	[-14.3]	[-8.3]	[-7.6]	[-5.3]	[-6.9]
		330	174.5	177.9	172.5	173.9	178.2	176.2	176.9	175.6
			[-10.5]	[-7.1]	[-12.5]	[-11.1]	[-6.8]	[-8.8]	[-8.1]	[-9.4]
		360	174.5	178.6	174.9	177.6	178.6	178.6	179.6	177.2
			[-10.5]	[-6.4]	[-10.1]	[-7.4]	[-6.4]	[-6.4]	[-5.4]	[-7.8]
	川砂利	300	174.5	176.8	175.8	174.5	179.4	179.7	180.0	180.0
			[-10.5]	[-8.2]	[-9.2]	[-10.5]	[-5.6]	[-5.3]	[-5.0]	[-5.0]
		330	175.1	179.4	177.7	176.4	179.7	180.0	180.7	181.0
			[-9.9]	[-5.6]	[-7.3]	[-8.6]	[-5.3]	[-5.0]	[-4.3]	[-4.0]
		360	172.1	174.8	174.8	177.7	174.4	178.7	179.7	181.4
			[-12.9]	[-10.2]	[-10.2]	[-7.3]	[-10.6]	[-6.3]	[-5.3]	[-3.6]
		300	173.1	175.1	175.1	177.7	177.1	178.7	181.0	182.7
			[-11.9]	[-9.9]	[-9.9]	[-7.3]	[-7.9]	[-6.3]	[-4.0]	[-2.3]
		330	176.9	179.2	177.5	177.5	178.2	180.2	180.5	182.9
			[-8.1]	[-5.8]	[-7.5]	[-7.5]	[-6.8]	[-4.8]	[-4.5]	[-2.1]
		360	177.2	179.5	178.5	180.9	178.5	182.5	180.9	185.2
			[-7.8]	[-5.5]	[-6.5]	[-4.1]	[-6.5]	[-2.5]	[-4.1]	[0.2]

2) 高周波加熱装置 高周波出力 1,100W と 1,600W の高周波加熱装置を用いて測定した単位水量の推定値を比較すると解説図1 のようである。解説図1 において、両者の差はコンクリートの水セメント比が小さくなるにつれて大きくなっている。単位水量の迅速推定試験は、構造物の耐久性確保を目的として比較的low水セメント比のコンクリートに適用されることから、本規格では試験に用いる高周波加熱装置の出力を 1,600W 以上とした。



解説図1 コンクリートの単位水量推定結果 (高周波出力の影響)

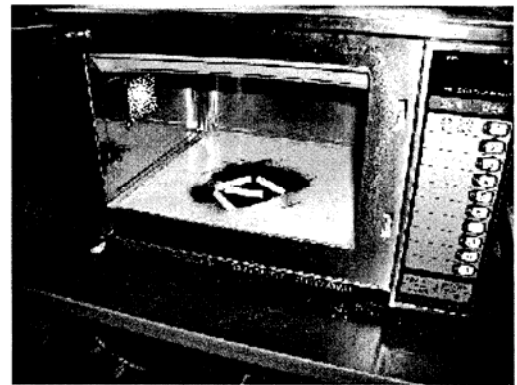
3) 試料容器 高周波加熱法による単位水量の推定においては、作業性、汎用性及びコストを考慮して紙皿が使用されるケースが多いが、加熱の終点を、モルタルの質量減少量が0.1gになった時点とすると、通常のコンクリートの場合加熱時間は6分以上となり（後述の解説図4参照）、この加熱時間では紙皿の底面が炭化し、質量が減少する。解説図2³⁾は、モルタルの加熱時間と試料容器として用いた紙皿の質量変化との関係を示したものであって、紙皿の質量は加熱時間4分において一時的に0.14g増加したが、その後加熱時間の増加にともない減少する傾向となった。また、加熱時間が5分を超えると紙皿の底面が炭化することによって質量の減少割合が大きくなり、紙皿の質量は加熱時間6分で0.24g、7分で0.74g減少した。これらが推定値へ及ぼす影響は加熱時間6分で約0.8kg/m³、7分で約2kg/m³である。したがって、試験に用いる試料容器は紙皿ではなく、磁性又は耐熱性の容器とした。



紙皿の炭化の傾向は、製造メーカーや商品によって相違することが明らかであるが、系統立てた実験を実施していないため、全生工組連中央技術研究所が購入した1種類の紙皿の結果を示した。

解説図2 加熱時間と紙皿の質量との関係

4) スペーサ 高周波加熱装置でモルタルを加熱した場合、その試料温度は200℃を超える。そのため、試料容器を高周波加熱装置のテーブルに直接置くと、テーブルの試料容器と接する部分の温度が上昇し、場合によっては解説写真1のようにテーブルが溶解又は炭化することがある。したがって、本規格では、試料容器とテーブルとの間に空間を設け、局所的な温度の上昇を防止するためのスペーサ（耐火性レンガ等）を用いることとした。



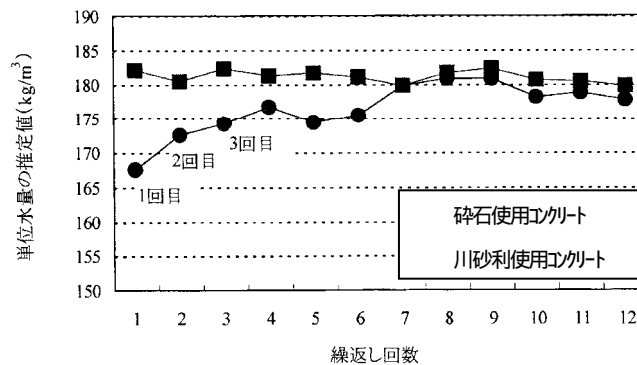
解説写真1 局所的な温度上昇を受けた高周波加熱装置のテーブルの一例

2.2 試験方法

1) ウェットスクリーニングの影響 ウェットスクリーニングによるモルタルの配合変化は振動機を用いた方が小さいことから、コンクリートのウェットスクリーニングは、解説2.1 1)に示すように振動機を用いて行うこととした。また、モルタルの配合変化は、ウェットスクリーニング時間の影響も大きく、前掲の解説表1によると配合値に近い値が得られるウェットスクリーニング方法は、振動機を用いて2分間ウェットスクリーニン

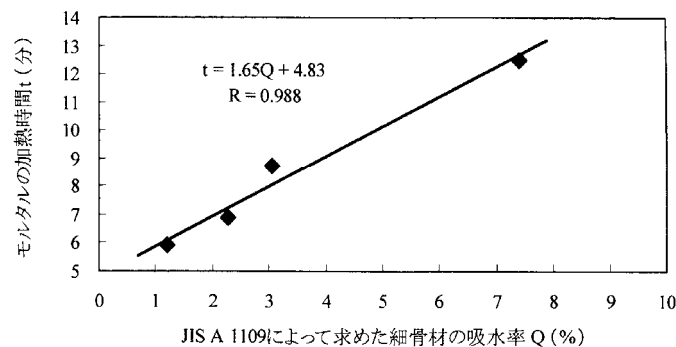
グを行った場合と目視によって十分にふるい分けたと判断する場合の2つの方法であった。したがって、ウェットスクリーニングの終点の判定は、作業性を考慮して目視によって十分にふるい分けたと判断する方法とした。

解説図3は、ウェットスクリーニングの未経験者が本試験方法を複数回実施した結果を時系列的に示したものである。試験は、砕石を用いたコンクリートを続けて12回実施した後に、川砂利を用いたコンクリートを12回連続で実施した結果を示したものである。解説図3において、単位水量の推定値は、配合値である 185kg/m^3 に対して、試験開始当初では 168kg/m^3 となっている。その後、試験回数を重ねる毎に推定値は配合値に近づき、試験回数7回程度で安定した結果が得られるようになってきている。このことから、コンクリートのウェットスクリーニングを事前に10回程度経験しておくことにより安定した試験結果が得られると思われる。



解説図3 単位水量の推定における繰返し誤差

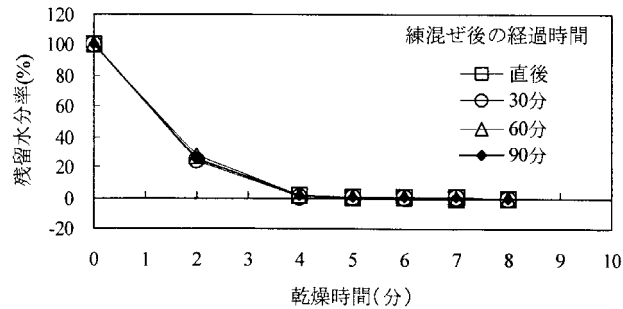
2) モルタルの加熱時間 解説図4は、吸水率の異なる4種の細骨材を用い、単位水量を一定として練り混ぜたモルタルについて、モルタル中の細骨材の吸水率と高周波加熱装置でモルタルを乾燥させた場合の質量変化が、 0.1g となるまでの所要時間との関係の一例を示したものである。解説図4において、モルタルの乾燥所要時間は、細骨材の吸水率の大きいものほど長くなる傾向を示しており、JIS A 5308 附属書1に規定される吸水率の範囲では、JIS A 1109によって求めた吸水率が1.19%の場合5.9分、同様に2.27%が6.9分、3.05%が8.7分となっている。この結果より、モルタルの乾燥所要時間はコンクリートの配合にかかわらず一定とするのではなく、加熱によるモルタルの質量変化が 0.1g 以下になるまでを基本としたが、この場合高周波加熱装置全体の温度が上昇し、装置の冷却に要する時間が長くなるため、測定者の責任において、1分あたりの質量変化を 0.3g 以下にできることとした。



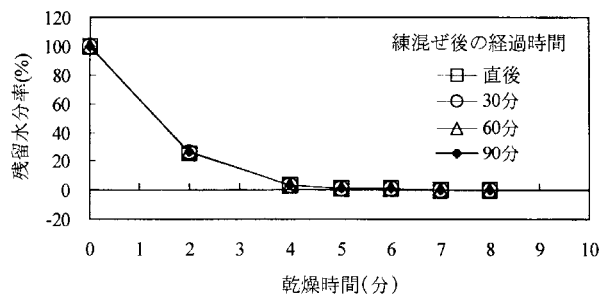
解説図4 細骨材の吸水率とモルタルの加熱時間との関係

2.3 単位水量の推定値の補正について

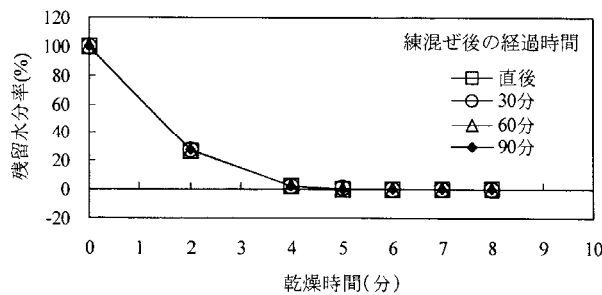
1) セメントと結合する練混ぜ水 解説図5～解説図7は、セメントペーストの乾燥時間と乾燥前後の質量差から求めた残留水分率（セメントペースト中に残存する練混ぜ水量の分率）との関係を示したものである。解説図5～解説図7において、残留水分率はセメントペーストの水セメント比や注水からの経過時間にかかわらず、乾燥時間5分程度で0%となっている。これは練混ぜ水量分の質量減少が生じたことを示している。これらの結果と前述の解説1.に示した試験方法の選定理由である「可能な限り試験方法の不明確な部分を排除した試験方法とすること」を受け、単位水量の推定計算における結合水の補正は行わないこととした。



解説図5 加熱乾燥時間と残留水分率との関係 (W/C=40%)



解説図6 加熱乾燥時間と残留水分率との関係 (W/C=50%)



解説図7 加熱乾燥時間と残留水分率との関係 (W/C=60%)

2) 細骨材の吸水率 高周波加熱法による単位水量の推定においては、細骨材に吸水されている水分も蒸発するため、これを吸水率によって補正することとなっている。しかし、高周波加熱装置による乾燥中のモルタルの温度は100℃を超えるため、JIS A 1109によって求めた吸水率では適正な補正ができないことが危惧される。解説表2は、JIS A 1109によって求めた細骨材の吸水率と高周波加熱装置を用いて細骨材を乾燥させた場合の吸水率とを比較した結果である。解説表2において、吸水率の試験値は高周波加熱装置を用いた方が大きな値を示し、両者の差は0.03～0.75%となっている。これらの差が単位水量の推定値に及ぼす影響は解説表2に併記したようであって、高周波加熱装置を用いた方が0.3～6.7kg/m³程度推定値が小さくなり、配合設計上の単位水量に近い値となる。これらの結果より、単位水量の推定計算に用いる細骨材の吸水率は高周波加熱装置によって求めた値とすることとした。

解説表2 細骨材の吸水率試験結果

細骨材の吸水率 (%)	吸水率の測定方法	吸水率 (%)					単位水量の推定値に及ぼす影響 (kg/m ³)
		平均 (n=12)	最大	最小	標準偏差 (n=12)	平均値の差 (JIS-高周波)	
1.19	JIS A 1109	1.19	1.27	1.10	0.045	0.03	-0.3
	高周波	1.22	1.32	1.18	0.043		
2.27	JIS A 1109	2.27	2.30	2.22	0.030	0.23	-2.1
	高周波	2.50	2.56	2.46	0.027		
3.05	JIS A 1109	3.05	3.27	2.83	0.111	0.32	-2.9
	高周波	3.37	3.57	3.23	0.099		
7.40	JIS A 1109	7.40	7.55	7.15	0.123	0.75	-6.7
	高周波	8.15	8.57	7.66	0.231		

注) 表中の吸水率の測定方法欄の高周波とは、高周波加熱装置を用いて細骨材の質量減少量が0.1gとなった時点の質量から求めた吸水率を示す。
また、単位水量に及ぼす影響は、コンクリートの単位細骨材量を900kg/m³として計算した。

3) 混和剤の固形分 混和剤中の固形分は乾燥後のモルタル中に残留するため、本規格では単位水量の推定計算に、混和剤中の固形分の補正を行うこととした。混和剤中の固形分率は、メーカーの公表値で15～25%であり、公表値に対する実測値の変動を±3%程度とした場合でも単位水量の推定値に及ぼす影響は±0.2kg/m³程度で、工程の変動を把握することができると考えられるため、推定計算に用いる混和剤中の固形分率は、メーカーの公表値を用いてもよいこととした。

4) ウエットスクリーニングによる偏りの補正 ウエットスクリーニングにより、コンクリートからモルタルを取り出した場合、粗骨材やふるいに付着したモルタル分と細骨材とペーストの比が異なること、操作中の水分の逸散などで、両者の水分率に差が生じ、このため取り出したモルタル分から単位水量の推定値は真の値よりもマイナス側に偏ることになる。この補正の仕方には、二、三の方法が考えられるが、実用的な方法として、対象配合の試し練りを予め行って、配合設計の単位水量との差を補正值として、管理対象のコンクリートの測定値に加算することとした。

3. 原案作成中に問題となった事項 ZKT-210の原案作成段階においては、コンクリートをそのまま試料として用いる方法についても検討を行った。コンクリートを用いて単位水量の迅速推定を行った結果は、解説表3に示すとおりである。解説表3において、コンクリートを試料とした場合の推定値の標準偏差は、モルタルを試料とした場合の約2倍となっている。したがって、現時点では、ウエットスクリーニングモルタルを用いる方法のみを規定することとした。

解説表3 単位水量推定結果

No.	データ数	単位水量 (kg/m ³)	単位水量の推定値 (kg/m ³)						
			モルタル			コンクリート			標準偏差の比 ⑤/③
			平均 ②	差 ②-①	標準偏差 ③	平均 ④	差 ④-①	標準偏差 ⑤	
1	25	178	172.5	-5.5	4.82	183.1	5.1	9.66	2.0
2	25	168	159.5	-8.5	4.63	186.8	18.8	10.2	2.2
3	18	173	166.9	-6.1	0.59	167.5	-5.5	7.31	12.4
4	20	165	162.3	-2.7	1.20	163.8	-1.2	10.3	8.6
5	25	175	172.5	-2.5	4.82	178.3	3.3	5.52	1.1
6	25	181	183.7	2.7	1.34	194.7	13.7	4.20	3.1
7	25	183	176.5	-6.5	2.51	186.6	3.6	4.39	1.7
8	14	173	175.4	2.4	3.31	186.2	13.2	4.92	1.5

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：まだ固まらないコンクリートの単位水量の試験方法（加熱乾燥法），コンクリートの早期迅速試験方法集，pp28-30，1988.3
- 2) 友沢，榊田，棚野：高周波加熱装置を用いたフレッシュコンクリートの単位水量簡易迅速試験方法の開発，日本建築学会構造系論文報告集，第400号，pp1-7，1989.6
- 3) 辻本，寺石，鈴木：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の迅速推定に関する基礎研究，日本コンクリート工学協会年次講演概要集，2002.6