

1 フレッシュコンクリートの単位水量

フレッシュコンクリートの単位水量測定方法には、さまざまな方法が考案・実用化されております。一般的には、単位水量の推定誤差 $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ 以内の精度を有する単位水量測定方法を選定することとなります。適切な操作・手順・計算（補正計算を含む。）を行えば、測定方法間での測定値の変動幅の有意差はわずかであり、測定方法の選定に当たっては、試験の精度や測定に要する時間、必要な設備の有無、操作・手順の容易性、連続測定の必要性等、各測定現場の状況に合わせた方法を選定することが重要である。

ここではそのうちの高周波加熱乾燥法（電子レンジ法）について記述する。

この試験方法は、フレッシュ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を高周波加熱乾燥器を用いて加熱乾燥し、その乾燥量からコンクリートの単位水量を迅速に推定する場合に適用する。

注 - 1) この試験方法は、軽量骨材のような多孔質な骨材、高温下で爆裂の恐れのある材料、および金属材料（例えばスチールファイバー）など電子レンジで使用できないものを用いる場合には適用しない。

なお、測定方法はSTS-01:2007「電子レンジを用いたフレッシュコンクリートの単位水量推定のためのモルタルの採取方法および質量減少試験方法（案）」（財団法人 日本建築総合試験所）による。また、フレッシュコンクリートの単位水量計算式は、一般的に用いられている「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」（日本建築学会）の計算式をベースにした式による。

1. 1 フレッシュコンクリートの単位水量測定器具

電子レンジ：定格電圧200V、定格高周波出力1400W以上のものとする。

スペーサ：電子レンジ内の局所的な温度上昇を防ぐために耐熱ガラス皿（伏せて使用）や耐熱煉瓦など、高温下で爆裂、溶解しないものをスペーサとしてレンジの底と試料容器との間に設置する。また、質量測定の際にはかりの皿と試料容器の間に空間が確保できる高温下でも溶けないスペーサ（木材でも可）をはかりの皿の上に設置する。

試料容器：平らな紙皿（直径20～23cm）とし、高温で溶けるような表面加工を施したものは使用してはならない。

はかり：秤量1kg以上、目量0.1g以下とする。

振動機：手持型 型枠バイブレータとする。

ふるい：JIS Z 8801-1に規定される公称目開き4.75mmとする。

受け皿：使用するふるいにあった形状のものとし、振動機によるウェットスクリーニングに支障（試料のこぼれや振動下での転倒など）を来たすようなものを使用してはならない。

練り匙：JIS R 5201に規定されるものとする。

ハンドスコップ：擦り切れ1杯の容量がコンクリート約1.5kgに相当するもの。

1. 2 フレッシュコンクリートの単位水量測定方法

- a) 採取したコンクリートを均一になるように攪拌する。
- b) 使用するふるい、受け皿、練り匙の水分をよく拭き取った後、少量のコンクリートをふるい分け、ふるい目および受け皿表面にモルタルを付着させる。
- c) 続いてハンドスコップ1杯分（約1.5 kg）のコンクリートをふるいに取り。
- d) ふるいを取ったコンクリートを型枠バイブレータを用いてふるい分ける。（ウェットスクリーニング）その際、ふるい枠の上縁に振動を加えながら練り匙でコンクリートをかき混ぜる。ふるい分けは原則90秒以上行うこととする。
- e) 電子レンジを用いて紙皿を絶乾状態にし、その絶乾質量 W_d を0.1 g単位まで測定する。
 - 注-2) 加熱された紙皿を直接電子天秤に載せると測定結果に影響を及ぼすため、スペーサを用いて断熱する。
 - 注-3) 絶乾状態は、まず30秒乾燥させて質量測定をした後、10～20秒程度の乾燥、質量測定を繰り返して恒量0.1 g以内を確認する。絶乾の目安は、紙皿にうっすら焦げ目が付く状態である。紙皿が炭化するまで加熱しないように注意する。
 - 注-4) あらかじめ絶乾状態になる時間を普段使用する紙皿と電子レンジで把握しておくといよい。
- f) ウェットスクリーニングされたモルタルを受け皿の隅までよく練り返して均質にし、絶乾状態にした紙皿に 400 ± 5 gを量り取り、その質量（モルタルのみの質量）を W_m とする。
- g) 紙皿上のモルタルに振動を与えて薄く延ばして厚さを均一にするとともに、モルタル内の空気を追い出す。
- h) モルタルを紙皿ごと電子レンジ内のスペーサの上に置き、加熱を開始する。最初の加熱時間は4分を標準とする。加熱終了後、直ちに質量を0.1 g単位まで測定する。
 - 注-5) 最初の加熱時間は測定作業を迅速に行うために、過度に加熱しない範囲内で適切に定めておくといよいが、電子レンジの仕様や電子レンジ内の温度によりその時間は異なるため事前に確認しておく。
- i) h)の後、再びモルタルを紙皿ごと電子レンジに入れ、20～30秒程度加熱した後、直ちに紙皿ごと質量を0.1 g単位まで測定する。この作業をモルタル質量が0.1 g以内で恒量になるまで繰り返し、乾燥後の質量 W_{md} とする。なお、紙皿が炭化するまで加熱を繰り返さないよう注意する。
 - 注-6) 電子レンジ内の温度により加熱時間は変動するため、状況に応じて20～30秒の範囲で加熱時間を設定する。電子レンジ内部が冷えている場合は、必要に応じて予熱を行う。
 - 注-7) 電子レンジの扉は、試料を取り出した後は、冷却のため開放しておくほうが望ましい。
 - 注-8) 乾燥終了後、絶乾状態のモルタルは徐々に空気中の水分を吸い、質量が増加していくため速やかに測定する。

1. 3 モルタルの質量減少率の計算

モルタルの質量減少率 W_{mL} は次の式によって算出し、四捨五入によって少数点以下3けたに丸める。

$$W_{mL} = \frac{W_m - W_{md} + W_d}{W_m}$$

ここに、 W_{mL} : モルタルの質量減少率
 W_d : 紙皿の絶乾質量 (g)
 W_m : 乾燥前のモルタルの質量 (g)
 W_{md} : 乾燥後のモルタルと紙皿の質量の合計 (g)

※STS-01:2007「電子レンジを用いたフレッシュコンクリートの単位水量推定のためのモルタルの採取方法および質量減少試験方法(案)」(財団法人 日本建築総合試験所)による規定は、ここまでである。

1. 4 フレッシュコンクリートの単位水量の計算

フレッシュコンクリートの単位水量 (W) は、次の式によって算出する。

結果は、四捨五入を行って小数点以下1けたに丸める。

※単位水量推定式は、「高性能AE減水剤コンクリートの調査・製造および施工指針・同解説」(日本建築学会)による。

$$W = \frac{W_b - W_c}{W_b - W_a} \times (C_0 + W_0 + S_0 + G_0 + AD_0) + \frac{X}{100} \times C_0 - \frac{\rho_S}{100 + \rho_S} \times S_0 - \frac{\rho_G}{100 + \rho_G} \times G_0 + \frac{X_{ad}}{100} \times W_{ad}$$

ここに、

W : フレッシュコンクリートの単位水量 (kg/m³)

W_a : 容器の絶乾質量 (g)

W_b : 採取した試料と容器との合計の質量 (g)

W_c : 乾燥後の試料と容器との合計の質量 (g)

W_0 : 調合表より求めた単位水量 (kg/m³)

C_0 : 調合表より求めた単位セメント量 (kg/m³)

X : セメント質量に対する結合水量の比率 (%) (セメントの初期水合率: セメントの種類により異なる。)

S_0 : 試験により求めた5mm以下の細骨材量 (表乾) (kg/m³)

ρ_S : 細骨材の吸水率 (%)

G_0 : 試験により求めた5mm以下の粗骨材量 (表乾) (kg/m³)

ρ_G : 粗骨材の吸水率 (%)

AD_0 : 調合表より求めた単位混和材量 (kg/m³) (結合材として計算されるものはセメント重量に合算。※結合材として計算されるもの: フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、シリカフェーム、膨張材など。)

W_{ad} : 調合表より求めた単位混和剤量 (kg/m³)

X_{ad} : 混和剤の固形分率 (%)

※必要に応じて、測定精度を高めるためにキャリブレーションを実施し、算出した単位水量又は水セメント比の補正值により、上式から算出した単位水量又は水セメント比を補正する。

※解説

$$\textcircled{1} \frac{W_b - W_c}{W_b - W_a} = \frac{W_m - W_{md} + W_d}{W_m} : \text{加熱乾燥によるモルタルの質量減少率 (\%)}$$

$$\textcircled{2} (C_0 + W_0 + S_0 + G_0 + AD_0) : 5 \text{ mm以上の細骨材 (過大粒)、5 mm以下の粗骨材 (過小粒) を補正したモルタル質量 (k g / m^3)$$

$$\text{※}\textcircled{1} \times \textcircled{2} = \text{加熱乾燥によるモルタル中の全水分蒸発量 (k g / m^3)}$$

$$\textcircled{3} \frac{X}{100} \times C_0 : \text{セメントの初期水和補正 (セメント及び結合材と結合した結合水量のうち加熱乾燥によって分離できなかった水量) (k g / m^3) ※初期水和率は、セメントの種類により異なる。}$$

$$\textcircled{4} \frac{\rho_S}{100 + \rho_S} \times S_0 : 5 \text{ mm以下の細骨材中の吸水量 (k g / m^3)$$

(加熱乾燥による5 mm以下の細骨材中の水分蒸発量)

$$\textcircled{5} \frac{\rho_G}{100 + \rho_G} \times G_0 : 5 \text{ mm以下の粗骨材中の吸水量 (k g / m^3)$$

(加熱乾燥による5 mm以下の粗骨材中の水分蒸発量)

$$\textcircled{6} \frac{X_{ad}}{100} \times W_{ad} : \text{加熱乾燥しても蒸発しない混和剤の固化量 (固形分量) (k g / m^3)}$$

※混和剤の固形分率は、混和剤の種類により異なる。

※フレッシュコンクリートの単位水量は、骨材中の水量を含まないため、フレッシュコンクリートの単位水量の算定にあたっては、加熱乾燥によるモルタル中の全水分蒸発量から④及び⑤の加熱乾燥による5 mm以下の骨材中の水分蒸発量を差し引く。また、加熱乾燥によって蒸発しなかった③及び⑥の水分量を加味する

参考 フレッシュコンクリートの単位水量測定方法

付表-1 主なフレッシュコンクリートの単位水量測定方法（1/3）

種別	試験方法	測定器	測定原理	目安測定時間	備考
乾燥による水分の抽出 による方法	高周波加熱乾燥法	電子レンジ	試料を強制的に乾燥させ、乾燥前後の質量差から試料中の水分量を測定し、単位水量に換算する。 試料はコンクリートもしくはスクリーニングしたモルタルを用いる。	5～20分 (電子レンジの高周波出力による。)	原理が明解であり、比較的簡便に行える。乾燥の方法により、装置の大きさ、費用、測定時間が異なる。粗骨材のスクリーニングに伴う誤差、粗骨材の吸水率、セメントの水和量等の誤差要因の補正が必要。
	一般加熱乾燥法	ガスコンロ、電熱器、赤外線乾燥器		20～30分	
	炉乾燥法	高温乾燥炉		20～25分	
	減圧加熱法	減圧乾燥装置		20～25分	
構成材料比・質量差・ 容積差法	エアメーター法	一般エアメーター (簡易法 土木研究所法)	エアメーターにより得た空気量と単位容積質量から、示方配合上の単位容積質量と比較して細骨材の表面水率を算出し、単位水量を増減して測定値を得る。	5分	ウェットスクリーニングを行う場合のようなサンプリング誤差が生じない。 空気量測定を同時に行える。 セメントの湿潤密度の補正が必要。 (高精度法) 骨材の密度の変動が測定結果に影響を及ぼす。
		高精度エアメーター (高精度法)			
	水中質量法	三角フラスコ、水槽、かご	コンクリート試料の気中質量と水中質量の差により、セメント、細骨材、粗骨材の水中質量を差し引き、コンクリート試料中の粗骨材量を補正して単位水量を算定する。	10～15分	各材料の密度を精度よく把握しておくことが必要。 作業に熟練を要する。

付表－1 主なフレッシュコンクリートの単位水量測定方法（2／3）

種別	試験方法	測定器	測定原理	目安測定時間	備考
水分計法	中性子測定法	R I（ラジオアイソトープ）水分計	高速中性子線透過型の水分計であり、高速中性子が主に水素原子によって減衰されることから、コンクリート中を通過する高速中性子の減衰割合を計測することによって単位水量を測定する。	120秒～5分	バッチ式と連続式がある。連続式はポンプ配管に取り付け、全量検査が可能。管厚の補正が必要。 バッチ式は粗骨材量の補正が必要。 装置が高額。 放射線の取扱いに注意を要する。
	静電容量法	静電容量型水分計	水の誘電率は約80であり、その他の物質に比べて著しく大きい。被測定物中の水量に応じて誘電率を直線的に変化することから、誘電率を特性値として計測し、あらかじめ求めておいた検量線から単位水量を推定する。	10分	コンクリートごとに検量線を設定する。
	赤外線測定法	光ファイバー式赤外線水分計	水が特定波長の近赤外線を吸収する性質があることを利用し、測定対象物に特定波長の近赤外線を照射したときの反射光エネルギーを電圧として求め、あらかじめ求めておいたコンクリートの単位水量と光ファイバーの出力電圧の関係から単位水量を求める。	40秒～5分	水セメント比の大きい範囲では感度が低下し、精度は不十分。

付表-1 主なフレッシュコンクリートの単位水量測定方法 (3/3)

種別	試験方法	測定器	測定原理	目安測定時間	備考
濃度差法	塩分濃度差法	塩分測定器、電量滴定器、 滴定器	コンクリートに既知の濃度塩分溶液を混合したとき、単位水量に応じて抽出液の濃度が変化することを利用して単位水量を推定する。	15～20分	濃度を測定するため、ろ過や滴定などが必要。
	アルコール比重法	アルコール比重計	試薬にエチルアルコールを用いてモルタルと混合し、単位水量に応じてエチルアルコールの濃度が変化することを利用してエチルアルコール溶液の比重から単位水量を推定する。		
その他	比重計法	比重計	モルタル試料を水で薄めて比重計によりセメント量を測定し、モルタル試料の加熱前後の質量差から水量を測定する。		一連の作業を自動化した自動洗い分析器を用いる方法(RAM法)が開発されている。
	洗い分析による方法	(自動) 洗い分析器	試料の単位容積質量を測定した後、ふるいおよび水洗いにより粗骨材量、細骨材量を求め、計算によりセメント量、単位水量を算定する。		
	遠心分離法	遠心分離器	セメント懸濁液の比重によりセメント量を求め、遠心脱水機によってセメントペースト分と細骨材を分離させて細骨材量を求め、モルタルから両者を差し引いたものを単位水量として換算する方法。同一条件下で遠心脱水を行うと、コンクリートの単位水量によって試料からの脱水量が異なることを利用して単位水量を求める。		

参考 国土交通省大臣官房官庁営繕部通知「レディーミクストコンクリートの品質確保について」および「同運用について」より抜粋

【土木】

1. 室長通知を実施する対象工事は、当面の間、1日当たりコンクリートの使用量が100m³以上施工する工事を対象とする。
2. 室長通知1. に定める単位水量の測定は、次によるものとする。
 - (1) 受注者に単位水量を含む正確な配合設計書を確認させることとする。
 - (2) 示方配合の単位水量の上限値は、粗骨材の最大寸法が20mm～25mmの場合は175kg/m³、40mmの場合は165kg/m³を基本とする。単位水量を減じることにより、施工性が低下する場合は、必要に応じて、支障のない量で高性能AE減水剤の使用を検討すること。
 - (3) 単位水量の測定は、2回/日（午前1回、午後1回）または構造物の重要度と工事の規模に応じて100m³～150m³ごとに1回、および荷卸し時に品質変化が認められた時に実施することとする。
 - (4) 現場で測定した単位水量の管理値は次の通りとして施工することとする。
 - 1) 測定した単位水量が、配合設計±15kg/m³の範囲にある場合はそのまま施工してよいものとする。
 - 2) 測定した単位水量が、配合設計±15を越え±20kg/m³の範囲にある場合は、水量変動の原因を調査し、生コン製造者に改善を指示し、その運搬車の生コンは打設する。その後、配合設計±15kg/m³以内で安定するまで、運搬車の3台毎に1回、単位水量の測定を行うこととする。
 - 3) 配合設計±20kg/m³の指示値を超える場合は、生コンを打込まずに、持ち帰らせ、水量変動の原因を調査し、生コン製造者に改善を指示しなければならない。その後の全運搬車の測定を行い、配合設計±20kg/m³以内になることを確認する。更に、配合設計±15kg/m³以内で安定するまで、運搬車の3台毎に1回、単位水量の測定を行うこととする。

打設 ≤ (管理値 = 配合設計 ± 15) < 改善指示 ≤ (指示値 = 配合設計 ± 20) < 持ち帰り

	改善指示値	管理目標値	設計値	管理目標値	改善指示値	
< -20	-20 ≤	-15 ≤	±0 ≤	±15	≤ ±20	+20 <
持ち帰り	改善		打設		改善	持ち帰り
全車	1回/3台		1回/150m ³		1回/3台	全車

- (5) 単位水量管理についての記録を書面と写真により提出させることとする。

【建築】

1. 課長通知1. で定める単位水量の測定は、当面の間、試行工事として延べ床面積1500m²程度以上の新築工事で実施するものとし、その実施要領（案）は次によるものとする。

- (1) 施工者に単位水量を含む正確な配合設計書を確認させることとする。
- (2) 単位水量の測定は、150m³に1回以上及び荷下ろし時に品質の異常が認められた時に実施する。
- (3) 単位水量の上限は「公共建築工事標準仕様書（建築工事編）」（以下、「標準仕様書」という。）6.2.4（1）による。
- (4) 単位水量の管理値は次の通りとして、施工する。（ただし、測定装置の精度や試験の熟練度の向上に伴い、管理目標値を厳しく定めることができる。）
 - 1) 測定した単位水量が、計画調合書の設計値（以下、「設計値」という。）±15kg/m³の範囲にある場合はそのまま施工する。
 - 2) 測定した単位水量が、設計値±15を越え±20kg/m³の範囲にある場合は、水量変動の原因を調査するとともに生コン製造者に改善を指示し、その運搬車の生コンは打設する。その後、設計値±15kg/m³以内で安定するまで、運搬車の3台毎に1回、単位水量の測定を行う。
 - 3) 設計値±20kg/m³を超える場合は、生コンを打込まずに持ち帰らせ、水量変動の原因を調査するとともに生コン製造者に改善を指示しなければならない。その後の全運搬車の測定を行い、設計値±20kg/m³以内になることを確認する。更に、設計値±15kg/m³以内で安定するまで、運搬車の3台毎に1回、単位水量の測定を行う。
 - 4) 3) の不合格生コンを確実に持ち帰ったことを確認すること。

打設 ≤（管理目標値 = 設計値 ± 15） < 改善指示 ≤（指示値 = 設計値 ± 20） < 持ち帰り

	改善指示値	管理目標値	設計値	管理目標値	改善指示値	
< -20	-20 ≤	-15 ≤	±0 ≤	±15	≤ ±20	+20 <
持ち帰り	改善		打設		改善	持ち帰り
全車	1回/3台		1回/150m ³		1回/3台	全車

- (5) 単位水量管理についての記録を書面（計画調合書、製造管理記録、打込み時の外気温、コンクリート温度等）と写真により提出させる。
- (6) 測定結果を、計画調合書等とともに本省へ報告すること。

【解説】

単位水量の管理値について

平成15年10月2日付けで「レディーミクストコンクリートの品質確保について」が通知されました。この通知の運用のなかで、単位水量の管理値（± 15kg/m³ 以上で改善指示、± 20kg/m³ 以上で持ち帰り）が示されています。この数値の根拠は以下のようなものです。

1. 単位水量推定手法の精度

フレッシュコンクリートの単位水量推定法には誤差が伴います。誤差の大きさは手法によって異なりますが、現在、提案されている各種測定手法ともに満足できる推定誤差の範囲として± 10kg/m³ としています。

2. 単位水量の許容変動幅

生コンクリートの製造において、単位水量の変動をある程度許容することとし、その変動幅を暫定的に± 10kg/m³ としています。

3. 規制値について

上記の推定誤差（± 10kg/m³）と許容変動幅（± 10kg/m³）を考慮します。2つの誤差の最大値が同時に発生する確率は小さいことから、統計的には次式で累積誤差を求めます。

$$Sa = \sqrt{(S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + \dots + S_n^2)}$$

ここに、Sa：累積誤差

S₁、S₂、S₃、・・・S_n：各誤差因子によって生じる誤差

上式から累積誤差を求めると、

$$Sa = \sqrt{(10^2 + 10^2)} = 14.14$$

となり、この数値を丸めた± 15kg/m³ が改善指示を行う管理値です。

さらに2つの誤差の最大値の合計値を超える場合は明らかに水量が大幅に違っているので±20kg/m³をもち帰りの管理値としています。

1. 適用範囲

本要領は、レディーミクストコンクリートの単位水量測定について、測定方法および管理基準値等を規定するものである。

なお、水中コンクリート、転圧コンクリート等の特殊なコンクリートを除き、1日当たりコンクリート種別ごとの使用量が100m³以上施工するコンクリート工を対象とする。

2. 測定機器

レディーミクストコンクリートの単位水量測定機器については、エアメータ法かこれと同程度、あるいは、それ以上の精度を有する測定機器を使用することとし、施工計画書に記載させるとともに、事前に機器諸元表、単位水量算定方法を監督職員に提出するものとする。また、使用する機器はキャリブレーションされた機器を使用することとする。

3. 品質の管理

受注者は、施工現場において、打込み直前のレディーミクストコンクリートの単位水量を本要領に基づき測定しなければならない。

4. 単位水量の管理記録

受注者は、測定結果をその都度記録（プリント出力機能がある測定機器を使用した場合は、プリント出力）・保管するとともに、測定状況写真を撮影・保管し、監督職員等の請求があった場合は遅滞なく提示するとともに、検査時に提出しなければならない。また、1日のコンクリート打設量は単位水量の管理シートに記載するものとする。

5. 測定頻度

単位水量の測定頻度は、(1)および(2)による。

- (1) 2回/日（午前1回、午後1回）、または、重要構造物では重要度に応じて100～150m³に1回
- (2) 荷卸し時に品質の変化が認められたとき。

なお、重要構造物とは、高さが5m以上の鉄筋コンクリート擁壁（ただし、プレキャスト製品は除く。）、内空断面が25m²以上の鉄筋コンクリートカルバート類、橋梁上・下部（ただしPCは除く。）、トンネル及び高さが3m以上の堰・水門・樋門とする。

6. 管理基準値・測定結果と対応

(1) 管理基準値

現場で測定した単位水量の管理基準値は次のとおりとして扱うものとする。

区分	単位水量 (kg/m ³)
管理値	配合設計±15kg/m ³
指示値	配合設計±20kg/m ³

注) 示方配合の単位水量の上限値は、粗骨材の最大寸法が20～25mmの場合は175kg/m³、40mmの場合は165kg/m³を基本とする。

(2) 測定結果と対応

a 管理値内の場合

測定した単位水量が管理値内の場合は、そのまま打設して良い。

b 管理値を超え、指示値内の場合

測定した単位水量が管理値を超え指示値内の場合は、そのまま施工してよいが、受注者は、水量変動の原因を調査し、生コン製造者に改善の指示をしなければならない。

その後、管理値内に安定するまで、運搬車の3台毎に1回、単位水量の測定を行うこととする。

c 指示値を超える場合

測定した単位水量が指示値を超える場合は、その運搬車は打込まずに持ち帰らせるとともに、受注者は水量変動の原因を調査し、生コン製造者に改善を指示しなければならない。

その後、単位水量が指示値内になるまで全運搬車の測定を行い、更に管理値内に安定するまで、運搬車の3台毎に1回、単位水量の測定を行うこととする。

※「管理値内に安定するまで」とは、2回連続して管理値内の値を観測することをいう。

なお、管理値または指示値を超える場合は1回に限り試験を実施することができる。再試験を実施した場合は2回の測定結果のうち、配合設計との差の絶対値の小さいほうの値で評価して良い。