

論文 現場におけるフレッシュコンクリートの単位水量管理方法に関する提案

若松 岳^{*1}・近松 竜一^{*2}・平田 隆祥^{*3}・十河 茂幸^{*4}

要旨：打込み時にコンクリート中の水量を管理することは、コンクリート構造物の品質保証の観点から重要である。そこで、本研究では光ファイバー式赤外線水分計を用いて、打込み前にコンクリートの単位水量を管理する方法を考察し、室内および実施工における実証実験を行った。その結果、本手法は、フレッシュコンクリートの単位水量を迅速に測定することができ、打ち込まれるコンクリートの品質を推定できることが明らかとなった。

キーワード：品質保証、フレッシュコンクリート、水分計、水量、水セメント比

1. はじめに

コンクリートの構造物の設計の枠組みは、仕様規定から、性能規定へ移行しつつある。コンクリート構造物の性能設計では、構造や材料の詳細と施工法・維持管理計画が、施工性・経済性・景観・環境負荷の観点から満足されなくてはならないと考えられている¹⁾。そのため、施工中から供用、維持管理、撤去までの長期にわたる構造物の機能性と安全性が、客観的に評価されることが要求される。

そこで、施工側からコンクリート構造物の品質保証を行う場合は、決定された性能規定を満たすよう、客観的に評価できる手法によりコンクリートの品質管理を行う必要があると考えられる。なかでも、コンクリートの耐久性や強度に影響する水セメント比の管理は、コンクリート構造物の品質保証をするための重要な管理項目の一つである。コンクリートの製造時には、単位セメント量は計量結果とほぼ同一と見なすことができるが、単位水量の管理は骨材の表面水量の測定精度と水量の調整方法に影響されるため、水セメント比の管理による品質保証の精度が落ちる要因となる。

フレッシュコンクリートの水セメント比を現場において迅速に測定する方法としては、空気量と単位容積質量の測定結果を用いる方法²⁾があるが、1回の測定に10分程度かかり、連続的に全てのコンクリートを測定することはできない。

そこで、製造時から受入れ時までのいずれかの段階で、品質検査として全てのコンクリートの単位水量を測定し、水セメント比の分布状況を把握することにより、コンクリートの品質保証をより定量的に進めることができると考えた。

本研究は、コンクリート構造物の品質保証を目指し、少量の試料を用いて迅速に測定できる光ファイバー式赤外線水分計を用いたフレッシュコンクリートの単位水量の管理方法について提案するものである。

2. 光ファイバー式赤外線水分計の概要

2.1 水分量の測定原理

水は、 $1.2\ \mu\text{m}$ 、 $1.45\ \mu\text{m}$ 、 $1.94\ \mu\text{m}$ などの特定波長の近赤外線を吸収する性質がある。光ファイバー式赤外線水分計は、この原理を利用し、特定波長の近赤外線を対象物に照射し、水量の変化

*1 ㈱大林組 技術研究所 土木第三研究室 研究員 (正会員)

*2 ㈱大林組 技術研究所 土木第三研究室 研究員 工修 (正会員)

*3 ㈱大林組 技術研究所 土木第三研究室 研究員 (正会員)

*4 ㈱大林組 技術研究所 土木第三研究室 室長 工博 (正会員)

に応じて反射した光エネルギーを電圧に変換するものである。このため、水分量の絶対値を求める場合には、対象とする材料に応じ、あらかじめ水分量と水分計の出力電圧との関係を求める必要がある。

2.2 水分計の構成

図-1、図-2、図-3に光ファイバー式水分計の構成と形状を示す。光ファイバー式水分計は、コンクリート中に挿入する $\phi 20\text{mm}$, $h=40\text{mm}$ のガラス面を有す先端センサ、長さ2mの光ファイバーケーブル、光源および光エネルギーを電圧として外部出力するための水分計本体、外部出力電圧を処理するためのパソコンで構成される。

対象物より反射した光は、水分計本体で電気信号に変換され、アナログ電圧として外部出力される。一定時間に出力されたアナログ電圧は、デジタル変換され、パソコン内で平均値を求めるものである。

2.3 水分量の測定方法

500cc程度の少量のコンクリートを容器に採取し、試料内に先端センサを挿入する。このため、水分の測定範囲は、先端センサにおけるガラス面($\phi 15\text{mm}$)に接触しているコンクリートの表面のみの限られた領域となる。

測定結果の誤差要因としては、ブリーディング水の影響、ガラス面に接触する骨材の偏在による反射光のばらつきなどが考えられる。

そこで、均質なコンクリートの水分量を測定するために、容器内のコンクリートを攪拌させながら、水分量の測定を行った。さらに、20秒間に400回の測定値を求め、その平均値を1回の測定結果とした。図-4に採取した容器内のフレッシュコンクリートの水分量測定状況を示す。

3. モルタルによる単位水量測定実験

3.1 水セメント比の測定可能な範囲の検討

光ファイバー式赤外線水分計を用いて、どの程度の範囲の水セメント比を測定できるかを確認するため、細骨材・モルタル容積比(V_s/V_m) $=0.4$ と一定のもとで、モルタルの水分量の測定

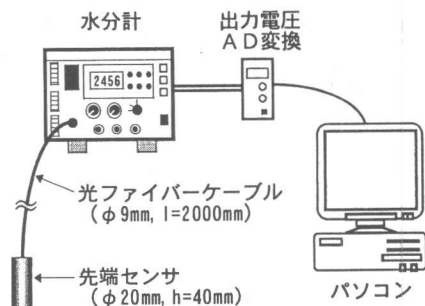


図-1 光ファイバー式赤外線水分計の構成

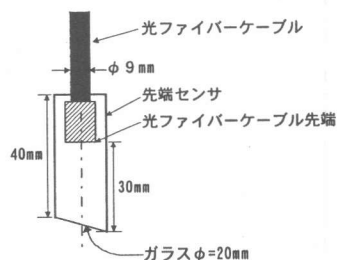


図-2 先端センサの形状

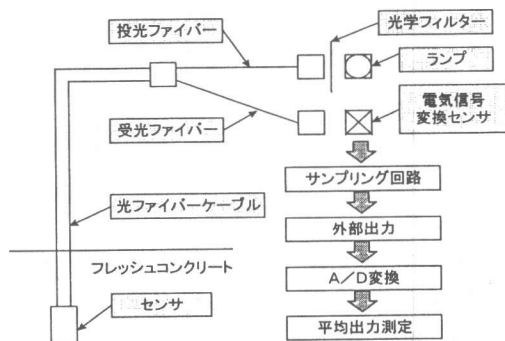


図-3 光ファイバー式赤外線水分計の測定システム

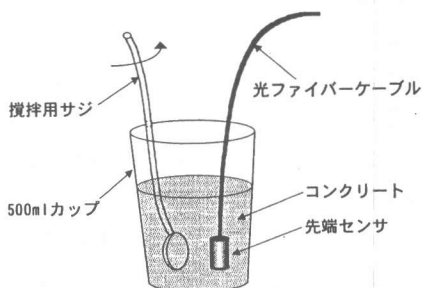


図-4 試料の水分量の測定方法

実験を行った。モルタルの材料および配合を表-1、表-2に示す。

低水セメント比では、高性能A E減水剤を添加

し、さらに、水を加えないで材料を攪拌しただけのケースも加えた。

練混ぜ方法は、「セメントの物理試験方法 (JIS R 5201-1997)」により、容量 2ℓ のパドル型ミキサを使用し、標準砂の練混ぜ量は 1350g で一定とし、セメント量と水量を配合により調整した。

水分計による測定方法は、500cc 程度採取したモルタル中に先端センサを差し込み、前述の方法で測定を 3 回行い、その平均値を測定結果とした。

水セメント比と測定結果の関係を図-5 に示す。これによると、混和剤の使用の有無にかかわ

表-1 モルタルの使用材料

種類	記号	特性・成分
セメント	C	普通ポルトランドセメント (比重: 3.15, 比表面積: 3160cm ² /g)
細骨材	S	ISO 標準砂 (比重: 2.61)

表-2 モルタルの配合

配合	Vw/Vc	W/C	Vs/Vm	単位量 (kg/m ³)			混和剤 C×(%)
				W	C	S	
1	0.00	0.00	0.40	0	1890	1044	0.00
2	0.60	0.190		225	1181		1.15
3	0.80	0.255		267	1049		1.15
4	1.00	0.317		300	945		1.15
5	1.10	0.349		314	901		0.00
6							0.00
7	1.30	0.412		339	822		1.15
8							0.00
9	1.50	0.471		360	765		0.00
10	1.70	0.541		378	699		0.00
11	1.90	0.603		393	652		0.00
12	2.10	0.663		406	611		0.00
13	2.30	0.729		418	573		0.00

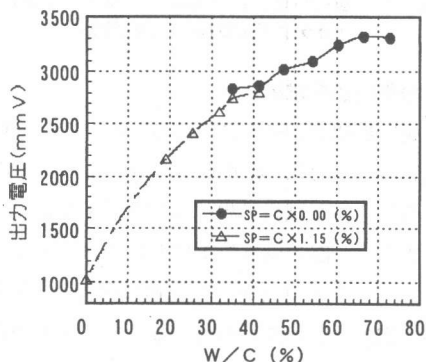


図-5 モルタルの水セメント比と水分計の出力電圧との関係

らず、水セメント比が 0~65% の範囲で一定の関係にあり、水セメント比が 65% 以上で出力電圧が頭打ちとなることがわかった。

3.2 細骨材量による影響の検討

水セメント比 30~65% の範囲で、表-1 と同じ材料を用いて、モルタル中の細骨材量が、水分計の出力電圧におよぼす影響を検討した。細骨材量は、 $V_s/V_m=0.35\sim0.50$ の範囲で設定し、混和剤は使用しなかった。

図-6 に単位水量と出力電圧との関係を示す。これによると、 V_s/V_m が大きくなると、同一の単位水量に対し、水分計の出力電圧は大きくなることがわかる。このことは、水分に吸収されやすい特定波長の赤外線が、モルタル中の細骨材にある程度吸収されていることを示している。

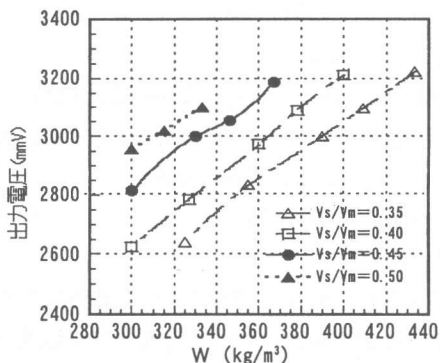


図-6 モルタルの単位水量と水分計の出力電圧との関係

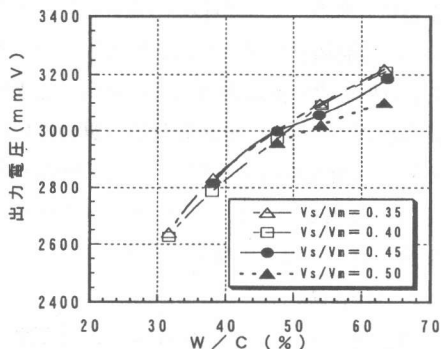


図-7 モルタルの水セメント比と水分計の出力電圧との関係

水セメント比と水分計の出力電圧との関係を図-7に示す。これによると、モルタルの水セメント比に対しては、出力電圧に対する細骨材量の影響は少ないことがわかる。

なお、同一の水セメント比に対して、 V_s/V_m が大きくなると出力電圧は小さくなる。これは、モルタル中の単位水量が、水セメント比の減少に伴って小さくなることに対応している。

4. 実施工における実証実験

4.1 実験概要

設計水セメント比 33%，目標スランプフロー 60～65cm の高流動コンクリートを打設する現場において、5社の生コン工場から供給される 200 台余りの全生コン車に対し、本手法によるコンクリートの単位水量の測定を試みた。

配合および使用材料を表-3、表-4に示す。

4.2 室内実験

現場での測定に先立ち、室内試験練り時に、同様の方法で、コンクリートの配合上の水量と水分計の出力電圧の校正線を求めた。

水分量の測定は、前述の方法で3回ずつ行い、その平均値を求めた。

図-9に室内試験結果における計画配合の単位水量に対する水分計の出力電圧測定結果を示す。

これによると、計量した単位水量の変化に応じて水分計の出力電圧に変化が見られるものの、同一の単位水量に対する水分計の出力電圧は、生コン工場毎に異なることがわかった。5社の工場のセメント、混和材は同一製品を使用していることから、赤外線水分計の出力電圧に影響する水分量の誤差要因としては、使用骨材の岩質の違いによる赤外線反射光量への影響、工場毎の練混ぜ効率の差により生じるフレッシュコンクリートの自由水量の違いによる影響等が考えられる。

4.3 現場実験

現場到着時の生コン車から排出される最初の部分を除いたコンクリートを 500cc 程度容器に採取し、前述の方法で水分量の測定を2回ずつ行い、

表-3 コンクリートの計画配合

工場	W/C (%)	s/a (%)	V_s/V_m	単位量 (kg/m ³)			
				W	C	L	SPA
A	33.0	49.0	0.60	175	530	70	8.1
B							7.8
C							7.2
D							8.4
E		47.0	0.59				7.2

注) V_s/V_m : 細骨材モルタル容積比

表-4 コンクリートの使用材料

記号	名称	特性
C	低発熱ポルトランドセメント	比重: 3.24 膨張材内割 (15kg/m ³)
L	石灰石微粉末	比重: 2.71
S	細骨材	工場A 比重 2.58, 海砂
		工場B 比重 2.56, 海砂
		工場C 比重 2.56, 海砂
		工場D 比重 2.57, 海砂
		工場E 比重 2.56, 海砂
G	粗骨材 (碎石 2005)	工場A 比重 2.61, 流紋岩
		工場B 比重 2.62, 流紋岩質溶結凝灰岩
		工場C 比重 2.63, 石英粗面岩
		工場D 比重 2.57, 流紋岩
		工場E 比重 2.56, 石英安山岩
SPA	混和剤	ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤

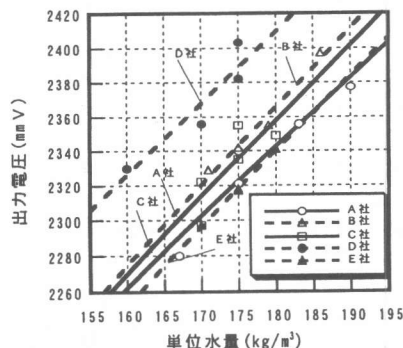


図-9 室内試験におけるコンクリートの単位水量と水分計の出力電圧との関係

その平均値を求めた。

測定当初は、室内試験における生コン工場毎の校正線をもとに、赤外線水分計により全生コン車から採取した試料の単位水量を求めた。

また、一部の生コン車において、フレッシュコンクリートの空気量と単位容積質量との関係（以下、密度法と呼ぶ）から、コンクリートの水セメント比を求め²⁾、単位セメント量を一定と仮定して単位水量を求めた。赤外線水分計による単位水

量の測定結果と密度法による単位水量の測定結果との関係を図-10に示す。これによると、現場において赤外線水分計により測定した単位水量の変化は、密度法による単位水量の変化に対して、より幅広く対応している。

この理由として、赤外線水分計は入射した光と反射した光のエネルギーを電圧に変換して評価するため、試験練りの生コン工場や打設現場など、水分計を使用する電源が異なる場合に出力電圧の絶対値が変化することが考えられる。したがって、本測定方法を用いる場合は、赤外線水分計の生コン工場毎のキャリブレーションを再度行い、校正線を見直す必要があると思われる。

図-10の関係を、密度法による単位水量測定結果を真値と仮定して再構成したものを図-11に示す。ここでは、赤外線水分計と密度法による単位水量のばらつきは、 $\pm 2 \text{ kg/m}^3$ 程度である。

図-9、図-11の関係から、赤外線水分計により測定した全生コン車の単位水量の試験結果を求めた。図-12にA工場から入荷したコンクリートの測定結果を示す。単位水量の測定結果は、設計単位水量よりも、 $2 \sim 3 \text{ kg/m}^3$ 程度大きい、この差は、細骨材の表面水率として0.5%程度に相当し、生コン工場における細骨材の実測値と設定値との差についても同様であった。

このように、現場に入荷したコンクリートの単位水量を赤外線水分計により測定する場合には、同一の試料を用いて、密度法など別の信頼できる試験法により単位水量のキャリブレーションを行った上で実施するとさらに信頼性が向上するものと考えられる。

次に、単位セメント量が一定の仮定のもとで、赤外線水分計による単位水量の測定結果から水セメント比を計算し、5社の生コン工場から出荷された全生コン車から採取した試料について、水セメント比の分布を求めた。図-13に200台の生コン車に対する測定結果を示す。

設計水セメント比の33%に対し、水セメント比の測定結果の平均は33.3%であり、そのばらつきは少なかった。

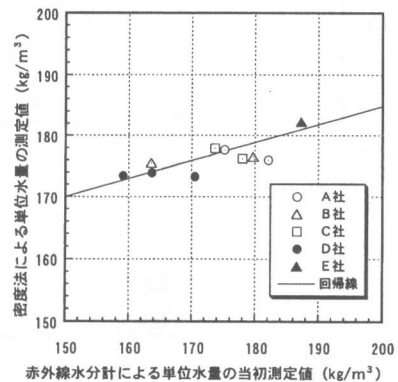


図-10 赤外線水分計と密度法によるフレッシュコンクリートの単位水量の比較

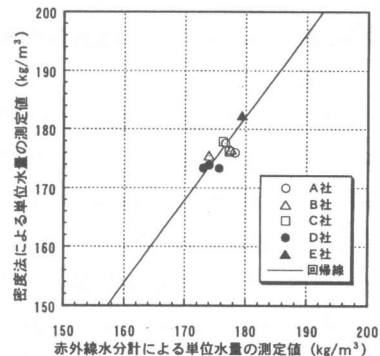


図-11 密度法により再校正した赤外線水分計によるフレッシュコンクリートの単位水量

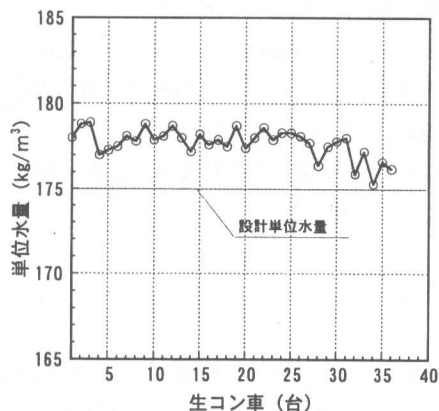


図-12 A工場から入荷した生コン車のコンクリートの単位水量測定結果

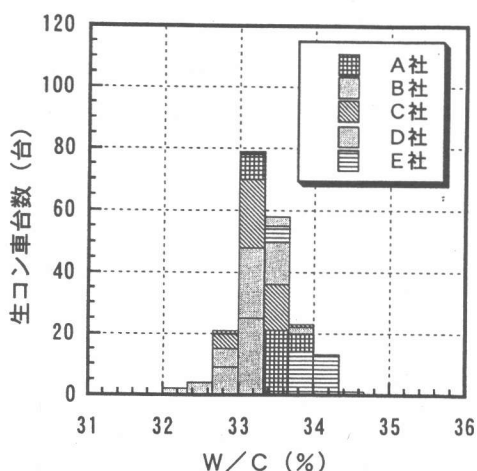


図-13 荷卸し時に測定したコンクリートの水セメント比の分布

5. 荷卸し時のコンクリートの水量の管理システムの提案

本測定手法によれば、図-14に示すように、現場に到着した生コン車内部に荷卸前に先端センサ部を挿入し、生コン車全体のコンクリートの水分量の平均値を直接求めることができる。この値が品質保証を行う上で定めた水量以上の場合には、スランプなどのコンクリートの特性値で判断することなく、廃棄するか過剰な水量に応じた品質増強対策を行い打設する等の対応を選択することが可能となる。

また、図-15に示すように、ポンプ車のホッパー内部に測定部を挿入し、供給されるコンクリートの水分量を連続的に測定し、リアルタイムに測定結果を表示することにより、所要の品質を満足しない場合に、生コンの供給を停止させたり、水量の観点から構造物全体の品質保証レベルを評価することも可能になる。

6. まとめ

- (1) コンクリート構造物の品質保証を行うために、現場におけるコンクリートの品質管理項目の一つとして、光ファイバー式赤外線水分計による単位水量の管理方法を提案した。

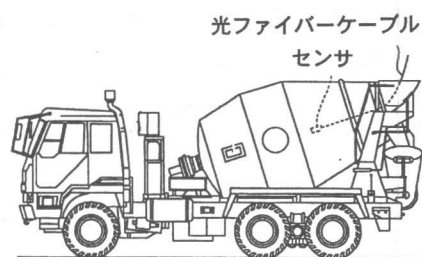


図-14 生コン車での水量測定方法

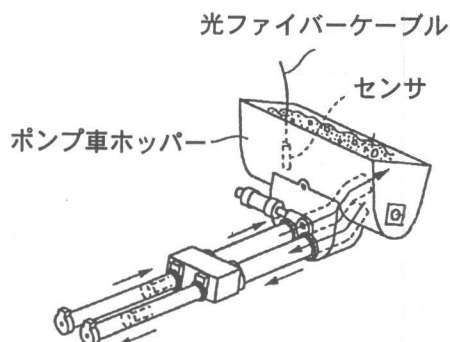


図-15 ポンプ車での水量測定方法

- (2) 本手法においては、セメントや混和材が同一条件のもとで、細骨材の種類や量により水分量の測定値が影響されるが、単位水量の変化を精度良く測定できることが明らかとなった。
- (3) 現場毎にフレッシュコンクリートの真の水量に対する水分計のキャリブレーションを行うことにより、打設される全てのコンクリートの品質を、現場で容易に推定することが可能であることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 前川 宏一, 宮本 幸始: 土木構造物における性能照査基準の方向, コンクリート工学, Vol. 35, No. 11, pp. 14-18, 1997
- 2) 若松 岳, 相原 功, 近松 竜一, 平田 隆祥: 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