

単位容積質量法を用いた単位水量の測定精度に関する実験的研究

梅本 宗宏*¹

大内 一之*¹
 袴谷 秀幸*¹ 端 直人*²
 篠崎 徹*¹ 八十島治典*¹

概 要

近年、コンクリート構造物の耐久性に関する関心・要求が増えつつあり、コンクリート構造物に対する従来の圧縮強度以外の指標として、フレッシュコンクリート中の単位水量が注目されている。本研究では、単位容積質量法を用いて、測定精度の確認および試料採取方法に関する室内実験を実施し、結果の検討を行った。また、単位容積質量法を用いて、現場に搬入されるコンクリートの単位水量測定を行い、現場への適用性について検討を行った。本実験の結果をまとめると、以下ようになる。

- 1) 単位容積質量法では、測定容器に採取された粗骨材量により補正を行うことで、精度よく単位水量を測定できる。
- 2) 単位容積質量法では、水セメント比や調合上の単位水量が単位水量推定値におよぼす影響は小さい。
- 3) 現場における単位水量測定値の平均値は調合の単位水量とほぼ同程度であり、その変動は計画調合値 $\pm 10\text{kg/m}^3$ の範囲で分布する結果となった。
- 4) 単位水量測定値は構造物コンクリート用供試体採取と同程度の測定を行うことで、日内変動を把握することが可能であると考えられる。

Experimental Study on Measurement Accuracy of Water Content per Unit Volume in Fresh Concrete by Weight per Unit Volume Method

Munehiro UMEMOTO*¹ Kazuyuki OHUCHI*¹
 Hideyuki HAKAMAYA*¹ Naoto HASHI*²
 Tohru SHINOZAKI*¹ Harunori YASOSHIMA*¹

In recent years, the concern and the demand concerning the durability of a concrete structure are increasing, and the water content per unit volume in fresh concrete is paid to attention as indices other than past compression strength to a concrete structure. In this study, a confirmation of the measurement accuracy and the indoor experiment concerning the method of gathering the sample were executed by using the weight per unit volume method, and the experment result was examined. Moreover, the water content per unit volume in concrete carried into the site was measured by using the weight per unit volume method, and applicaion to the site was examined. The results of this study were as follows.

- 1) In the weight per unit volume method, the measurement accuracy of the water content per unit volume improves by the correction by the amount of a coarse aggregate gathered in the measurement container.
- 2) In the weight per unit volume method, the influence, which water content per unit volume in the water cement ratio and the mixture exerts on the water content per unit volume presumption value, is small.
- 3) The average value of the water content per unit volume measurement value in the achievement scene was this level the unit volume of water of the mixture and almost, and the change became the result of distribution within the range of plan value $\pm 10\text{kg/m}^3$.
- 4) It is thought that the water content measurement value per unit volume can understand the change in the day by the same degree of the measurement as the test piece collection for the concrete in strucure.

*¹技術研究所 *²建築工事技術部*¹Technical Research Institute *²Architectural Engineering Dept.

単位容積質量法を用いた単位水量の測定精度に関する実験的研究

梅本 宗宏*¹ 大内 一之*¹
 袴谷 秀幸*¹ 端 直人*²
 篠崎 徹*¹ 八十島治典*¹

1. はじめに

近年、社会資本の長期ストック化、「住宅の品質確保の促進等に関する法律（品質確保促進法）」の施行などからコンクリート構造物の耐久性に関する関心・要求が増えつつある。また、トンネルのコンクリートの剥落事故や加水問題等を受けたコンクリート構造物の信頼性回復のため、コンクリート構造物に対する従来の圧縮強度以外の指標がクローズアップされ、早期判定や耐久性の指標としてフレッシュコンクリート中の単位水量が注目されている。しかしながら、単位水量の測定方法はこれまでに数多く提案 [1] されているが、現場における迅速かつ精度のよい測定方法は、仕様書等で確立されていないのが現状である。

本研究では、フレッシュコンクリート中の単位水量の現場における品質管理を目的とし、短時間で測定が可能である、計画調合のコンクリートの単位容積質量と実測値の差から単位水量を推定する方法 [2]（以下、単位容積質量法）を用いて、測定精度の確認および試料採取方法に関する実験を実施し、現場への適用を行った。

本報告では、現在代表的な単位水量測定方法として用いられている高周波加熱乾燥法についても、同時に試験を行い、両者の比較検討を行った結果、ならびに単位容積質量法を用いて、現場に搬入されるコンクリートの単位水量測定を行い、現場への適用性について検討を行った結果について報告する。

2. 室内実験概要

2.1 単位水量の定義

単位水量とは、練り上がったコンクリート1m³に含まれる水量である。しかしながら、製造時に計量された水量が同じであっても、空気量が異なると全体の体積が変動するため、1m³中の水量は変動する。本研究では、測定値の評価には、空気量の変動をキャンセルし、空気量が計画調合通りに練り上がった場合の単位水量に換算して、比較検討を行った。

2.2 単位水量の測定方法

(1) 単位容積質量法

単位容積質量法による測定は、文献 [2] にしたがって行い、単位水量推定値は (1) 式より算出した。なお、水量の変動は細骨材の表面水量の見込み違いによるもの

とし、(2) 式により算出した。

$$W_a = (W + \Delta W) \times \frac{V_0}{V_1} \quad \dots (1)$$

$$\Delta W = \frac{V_0 \times (\gamma_0 / \gamma_1 - 1)}{(1/\rho_w - 1/\rho_s)} \quad \dots (2)$$

ここに、

W_a ：単位水量推定値 (kg/m³)

W ：調合上の単位水量 (kg/m³)

ΔW ：細骨材の表面水量の見込み違いにより変動した水量 (kg/m³)

V_0 ：計画調合の体積 (m³) V_1 ：実際の体積 (m³)

γ_0 ：調合の単位容積質量 (kg/m³)

γ_1 ：実際の単位容積質量 (kg/m³)

ρ_w ：水の密度(kg/m³) ρ_s ：細骨材の密度(kg/m³)

単位容積質量法による単位水量推定では、細骨材の表面水以外の材料は調合通りに混練されていることが前提である。しかしながら、測定時の試料採取では、計画調合通りに採取されていないことが考えられ、測定値に誤差が生じる。そこで本実験では、試料採取による誤差を補正するため、測定後の試料から粗骨材を洗い出し、粗骨材量を確認して容器内のモルタルの単位容積質量を算出し、計画調合上のモルタルの単位容積質量との差から単位水量を推定する補正（以下、粗骨材量補正）を行った。

(2) 高周波加熱乾燥法

測定方法は、以下の手順で行った。

- ①採取した試料を5mmふるいでウェットスクリーニングを行った。なお、ふるいの振動には、テーブルバイブレータを使用し、振動時間を120秒とした。
- ②高周波乾燥炉（1400W）にて、モルタル試料が、1分間の減少量が0.1g以下になるまで乾燥させた。
- ③乾燥前後の質量差から単位水量を算出した。

なお、セメントの結合水率、ウェットスクリーニングによる補正係数は、既往の文献 [3] を参考に決定した。表-1に単位水量推定値の算定に用いた値を示す。また、ウェットスクリーニングを行う際に、モルタルの採取率も測定した。モルタルの採取率は (3) 式により算出した。

$$S = \frac{M_1}{M_0} \times 100 \quad \dots (3)$$

*¹技術研究所 *²建築工事技術部

表-1 単位水量推定値の算定に用いた値

結合水率 (%)	普通ポルトランドセメント	1.82
	低熱ポルトランドセメント	1.26
固形分率 (%)	AE減水剤	14
	高性能AE減水剤	23
高周波加熱乾燥 炉により求めた 吸水率(%)	君津産山砂	1.66
	岩瀬産砕砂	1.95
	岩瀬産採石	0.92
	ウェットスクリーニングによる補正係数	0.020

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント：密度3.16g/cm ³ 湿潤密度*3.23g/cm ³ 、比表面積3290cm ² /g
	低熱ポルトランドセメント：密度3.22g/cm ³ 湿潤密度*3.26g/cm ³ 、比表面積3440cm ² /g
細骨材	君津産山砂：表乾密度2.60g/cm ³ 、吸水率1.53% 岩瀬産砕砂：表乾密度2.58g/cm ³ 、吸水率1.90%
粗骨材	岩瀬産砕石：表乾密度2.64g/cm ³ 、吸水率0.84% 実績率60.2%
混和剤	AE減水剤、 高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)

*密度測定の際に水をj使用

ここに、

S ：モルタルの採取率 (%)

M_i ：ウェットスクリーニングで得たモルタル量 (g)

M_0 ：採取したコンクリート試料中のモルタル量 (g)

2.3 使用材料

表-2に使用材料を示す。セメントは普通および低熱ポルトランドセメントの2種類、混和剤はAE減水剤と高性能AE減水剤の2種類とし、フレッシュ性状を満足するように添加量を調整した。

2.4 実験の要因・水準および調査

表-3に、実験の要因および水準を、表-4に調査条件をそれぞれ示す。試験は温度20℃、湿度85% (RH) の恒温室内条件下を基準に行った (ただし、温度・経時変化の影響の試験は除く)。

(1) 単位容積質量法における粗骨材採取の影響

AE-50-180に対して、単位容積質量法による単位水量推定値の測定および採取したコンクリートの粗骨材を洗い出し、調査上の粗骨材量における実際に採取した粗骨材量の質量割合 (以下、粗骨材採取率) を算出し、粗骨材採取の影響を確認した。

(2) 調査条件の影響

表-4に示すように、AEシリーズはW/C=50%、W=180kg/m³を、SPシリーズはW/C=40%、W=170kg/m³を、LシリーズはW/C=30%、W=170kg/m³を基準とし、水セメント比および計画調査上の単位水量を上下に変化させたコンクリートの単位水量を測定し、これらの調査条件の影響を確認した。

(3) 加水・減水の影響

AE-50-180、SP-40-170およびL-30-170の3調査に対して、外割計算で±10kg/m³の加水・減水したコンクリートの単位水量を測定し、加水・減水の影響を確認した。

表-3 実験の要因・水準

調査条件	W/C：60～25 (基準に対して上下) 単位水量：190～160 (基準±10kg)
加水・減水	基準水量に外割り±10kg
温度	10、20、30℃
経時変化	10、30、60、90分
試料採取	試料採取方法3種類

表-4 調査条件

シリーズ	セメント種類	混和剤	調査記号	W/C (%)	W (kg/m ³)	Sl (cm)	Air (%)
AE	N	AE	AE-50-190	50	190	18	4.5
			AE-50-180		180		
			AE-50-170	60	170		
			AE-60-180		180		
			AE-40-180		180		
SP	N	SP	SP-40-180	40	180	18	4.5
			SP-40-170		170		
			SP-40-160	50	160		
			SP-50-170		170		
			SP-35-170		170		
L	L	SP	L-30-180	30	180	50*	3.0
			L-30-170		170		
			L-30-160	40	160		
			L-40-170		170		
			L25-170		25		

[Note] W/C：水セメント比、W：単位水量、Sl：目標スランプ、Air：目標空気量、*：目標スランプフロー

(4) 温度・経時変化の影響

AE-50-180、SP-40-170およびL-30-170の3調査に対して、注水からの時間が10分、30分、60分、90分および120分において単位水量の測定を行った。試験は温度を10℃、20℃および30℃の3水準とし、湿度は85% (RH) の条件下で行った。なお、測定間のコンクリート試料は、水分の蒸発を防止するためにビニールで覆って静置とし、測定前に練返して測定を行った。

(5) 試料採取方法の影響

単位容積質量法では、試料採取の影響を受けるため、室内試験にて、さらに安定した試料採取が可能な採取方法を検討した。調査は、AE-50-180およびL-30-170とし、試料採取方法は以下の3種類とした。

A法：ハンドスコップによる採取

B法：柄杓による採取

C法：練りスコップで採取した試料の中央部分のみを1リットルの計量容器に移し、計量容器内の試料のみを用いる方法

実験は温度20℃、湿度85% (RH) の恒温室内で行い、1バッチの練り量は60リットル、1バッチからの試料採取回数は3種類3回ずつ、1回当たりの採取量は5～6kgとし、採取方法による粗骨材採取率を比較検討した。

2.5 測定項目

練り混ぜは、パン型の強制1軸ミキサーを用いて練り混ぜた。各試験とも、1調査に対して2バッチずつ試験を行った。また、単位水量の測定の際に、スランプ試験 (JIS A 1101) およびスランプフロー試験 (JIS A 1150) を行い、空気量試験は単位容積質量法で兼用した。

3. 室内実験結果

3.1 試料採取の影響

図-1に粗骨材の採取率の一例を示す。採取されたコンクリート中の粗骨材量は、計画調査の粗骨材量よりも平均で2%多く採取されている。したがって、粗骨材の補正を行うことで、単位水量推定値の誤差を小さくすることができる。

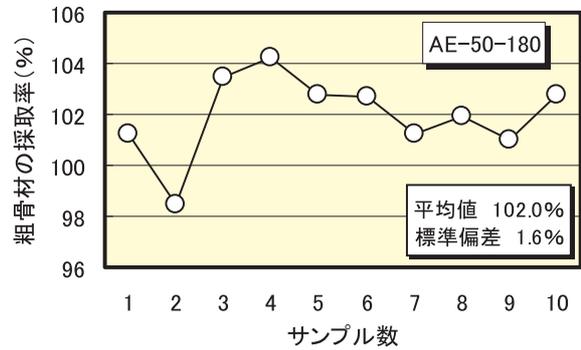


図-1 粗骨材の採取率の一例

図-2に粗骨材補正の有無による単位水量推定値の一例を、表-5に単位水量推定値の平均値および標準偏差の一例をそれぞれ示す。粗骨材量を補正することで、単位水量推定値の平均値と調査との差は-4.7kg/m³から-2.6kg/m³、標準偏差は2.6kg/m³から1.2kg/m³となり、精度の良い単位水量の推定が可能と考えられる。

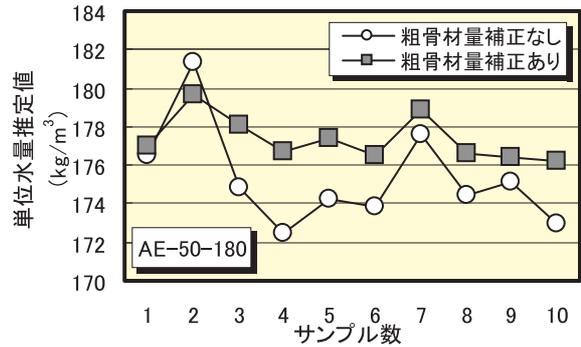


図-2 粗骨材補正の有無による単位水量推定値

3.2 水セメント比の影響

各測定方法による、水セメント比と単位水量推定値と調査との差の関係を図-3および図-4にそれぞれ示す。

単位容積質量法において、SPでは、水セメント比が大きくなると、単位水量推定値と調査との差は減少する傾向であるが、その影響は水セメント比15%に対して、単位水量推定値と調査との差は2kg/m³程度と小さい。また、AE・Lに関しては、水セメント比にかかわらず、ほぼ一定の単位水量推定値であった。したがって、水セメント比が単位水量推定値に及ぼす影響は小さかった。また、単位水量推定値と調査との差は-2kg/m³を中心に±1kg/m³程度で分布している。単位水量推定値に及ぼす誤差の要因としては、材料密度の測定、粗骨材以外の材料の試料採取量および空気量測定による誤差が考えられるが、採取量や空気量測定による誤差は、測定毎にプラスにもマイナスにも影響が出る。したがって、常にマイナス側に出る要因としては材料密度の誤差の影響が大きいと考えられる。

表-5 単位水量推定値の平均値および標準偏差の一例

粗骨材の補正	平均値 (kg/m ³)	調査との差 (kg/m ³)	標準偏差 (kg/m ³)
なし	175.3	-4.7	2.6
あり	177.4	-2.6	1.2

高周波加熱乾燥法では、水セメント比が小さくなると、単位水量推定値と調査との差は大きくなる傾向となり、特に、低水セメント比において、その傾向は顕著であった。また、単位セメント量と単位水量推定値と調査との差を図-5に示す。この図から、単位セメント量と単位水量推定値と調査との差の相関が高いことが分かる。したがって、セメント量の多い、低水セメント比の調査での測定の際には、単位水量推定値の補正が必要である。

3.3 調査上の単位水量の影響

単位容積質量法による調査上の単位水量と単位水量推定値と調査との差を図-6に示す。

調査上の単位水量が単位水量推定値に及ぼす影響は、最大のものでも、調査上の単位水量20kg/m³に対して、単位水量推定値と調査との差の変動は2kg/m³程度と小さかった。また、図には示していないが、高周波加熱乾燥法でも、調査上の単位水量が単位水量推定値に及ぼす影響は小さかった。

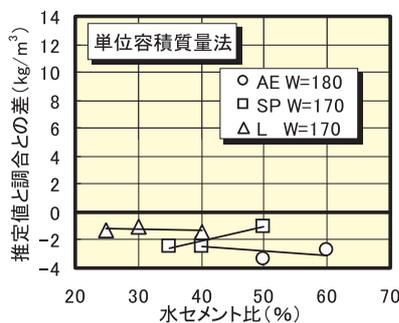


図-3 水セメント比と推定値と調査との差の関係

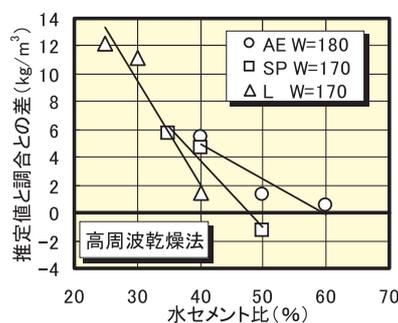


図-4 水セメント比と推定値と調査との差の関係

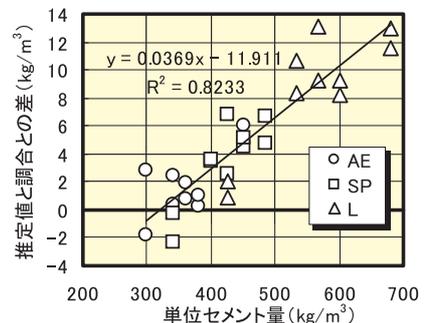


図-5 単位セメント量と推定値と調査との差の関係

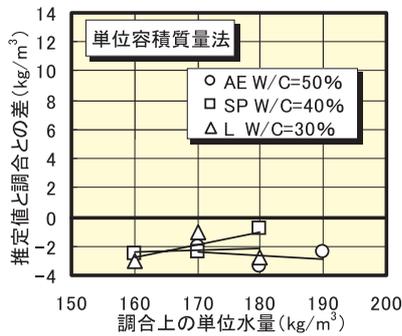


図-6 調査上の単位水量と推定値と調査との差の関係

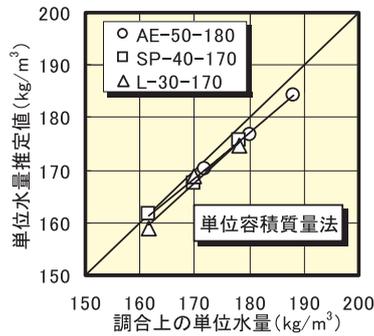


図-7 単位水量と推定値の関係 (単位容積質量法)

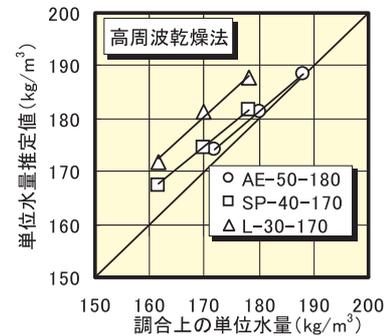


図-8 単位水量と推定値の関係 (高周波加熱乾燥法)

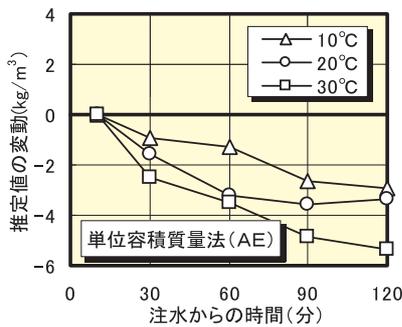


図-9 推定値の経時による変動 (AE)

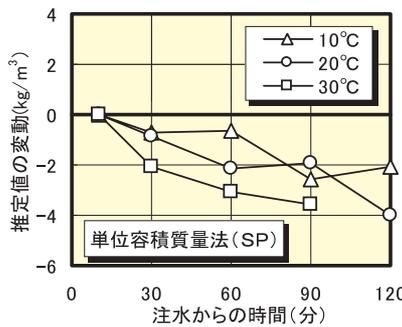


図-10 推定値の経時による変動 (SP)

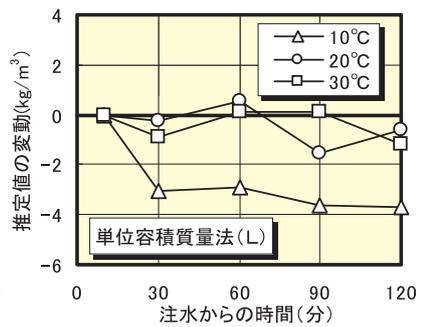


図-11 推定値の経時による変動 (L)

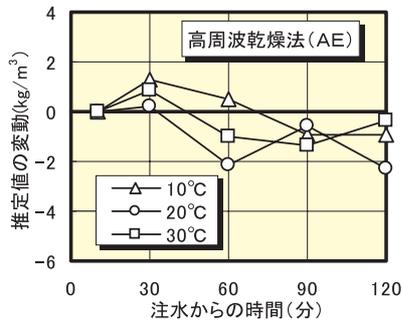


図-12 推定値の経時による変動 (AE)

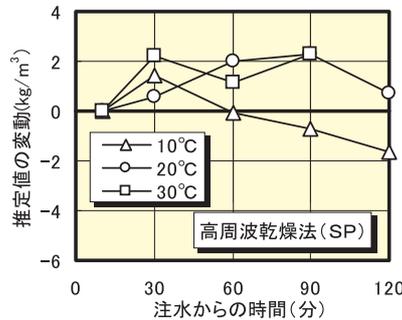


図-13 推定値の経時による変動 (SP)

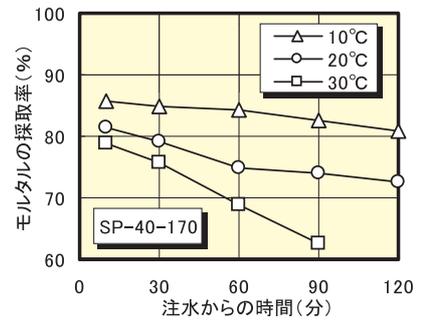


図-14 モルタル採取率の変動

3.4 加水・減水の影響

各測定方法による調査上の単位水量と単位水量推定値と調査との差の関係を図-7および図-8にそれぞれ示す。各測定方法とも、変化量は小さいが、加水側では減少、減水側では増加する傾向となった。これは、余剰の水量が混練された場合、実際の水量よりも少ない水量を算出することになるため、現場での適用の際には、事前にこの増減の程度を確認し、その程度によっては補正が必要と考えられる。

3.5 温度・経時変化の影響

各測定方法における、各調査および温度条件の経時変化を図-9～図-13に、モルタル採取率の変動の一例 (SP-40-170) を図-14にそれぞれ示す。なお、高周波加熱乾燥法のLは、SPと同様の傾向であったので、ここでは省略した。

単位容積質量法において、AE・SPでは時間の経過に伴い、単位水量推定値は減少する傾向となり、その傾向

は気温が高くなるほど顕著であった。一方、Lでは10°Cにおいて、10分から30分での変動が -3kg/m^3 程度であったが、30分以降ではほとんど変化はなかった。また、20°Cおよび30°Cでも経時による変化が小さかった。これらのことから、温度および経時変化の影響はセメントや調査により異なるため、現場適用の際には、事前に気温条件および経時変化の影響を確認し、条件によっては補正が必要であると考えられる。

高周波加熱乾燥法において、単位水量推定値はどの調査および温度条件でも、30分で一度上昇し、AEにおいては、30分以降は減少する傾向となった。ただし、既往の文献 [1] には、モルタルの採取率と単位水量推定値の関係は、採取率の減少に伴い単位水量推定値は増加すると報告されている。今回の試験では、図-14に示すように、採取率は時間の経過とともに減少しているため、単位水量推定値もその影響を受けている可能性もあり、高周波加熱乾燥法による測定値の経時変化の影響については、モルタル採取率と合わせて検討する必要がある。

3.6 試料採取方法の影響

図-15に各採取方法による粗骨材採取率の変動を、表-6に各採取方法による粗骨材採取率をそれぞれ示す。普通強度のAE-50-180では、粗骨材採取率の平均値は、C法で102.1%と100%に最も近い値であり、標準偏差はB法で2.2%と大きく、A法およびC法では同等であった。高強度のL-30-170では、平均値は、ここでもC法が最も100%に近い値であったが、標準偏差に大きな差は見られなかった。したがって、現場適用における試料採取方法としてC法が最適と思われる。

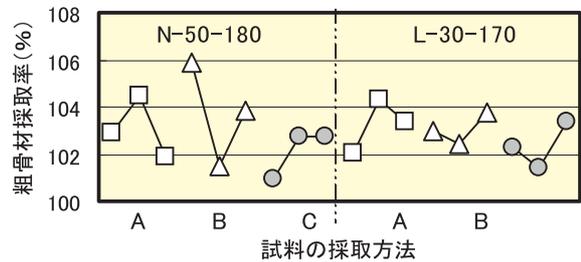


図-15 各試料採取方法による粗骨材採取率の変動

4. 現場適用

4.1 対象現場および対象工場

対象とする現場は、千葉県松戸市のA現場（設計基準強度33~36N/mm²）と東京都府中市のB現場（設計基準強度36~48N/mm²）の2現場とした。対象工場は、A現場の2工場（E工場・M工場）と、B現場の2工場（S工場・U工場）の合計4工場とした。

表-6 各採取方法による粗骨材採取率

採取方法	粗骨材採取率 (%)			
	AE-50-180		L-30-170	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A法	103.1	1.3	103.3	1.1
B法	103.8	2.2	103.1	0.7
C法	102.1	1.1	102.4	1.0

4.2 使用材料および割合

表-7に使用材料を、表-8に割合をそれぞれ示す。

表-7 使用材料

E工場	セメント	普通ポルトランドセメント
	細骨材	鹿島産陸砂
	粗骨材	葛生産砕石
	混和剤	高性能AE減水剤
M工場	セメント	普通ポルトランドセメント
	細骨材*	葛生産砕砂、鹿島産陸砂
	粗骨材	葛生産砕石
	混和剤	高性能AE減水剤
S工場	セメント	普通ポルトランドセメント 低熱ポルトランドセメント
	細骨材*	青梅産砕砂、横瀬産砕砂、佐原産山砂
	粗骨材*	青梅産砕石、横瀬産砕石
	混和剤	高性能AE減水剤
U工場	セメント	普通ポルトランドセメント 低熱ポルトランドセメント
	細骨材*	青梅産砕砂、奥多摩産砕砂、富津産山砂
	粗骨材	青梅産砕石
	混和剤	高性能AE減水剤

*表記した骨材を混合して用いた

4.3 測定項目

(1) 品質管理測定

コンクリートの品質管理を目的とし、現場に搬入されたコンクリートの単位水量を、構造体コンクリート試験体採取時に確認した。構造体コンクリート試験体採取時に測定したフレッシュコンクリート試験結果と測定値の関係などを考察した。測定は全工場で行った。

(2) 荷降し方法の影響

現場適用において、アジテータ車からの荷降し方法は、粗骨材の採取を均等にするため、室内実験と同様に一度練り舟に試料を入れ、練返しを行ってから採取する方法（以下、練り舟採取）とした。また、測定の簡易化を図るため、一輪車内の試料を、練返ししてから直接採取する方法（以下、一輪車採取）も同時に行い、練り舟採取との比較を行った。測定はE工場およびM工場の7F打設時に行った。

(3) 日内変動の確認

1日に搬入される全アジテータ車（ただし、打設状況により全数が困難な場合は2台に1台程度）に対して単位水量の測定を行い、測定値の日内変動を確認した。測定はE工場およびM工場の2工場で行った。

表-8 割合

工場	調査記号	セメント種類	W/C (%)	W (kg/m ³)	Sl (cm)	Air (%)
E工場	E39N	普通	43.5	175	21	4.5
	E42N		42.0			
	E45N		40.0			
M工場	M39N	普通	42.2	175	21	4.5
	M42N		40.6			
S工場	S41N	普通	42.0	170	21	3.0
	S48N		37.0		50*	
	S48L	低熱	31.0	165	55*	
U工場	U41N	普通	38.0	170	21	3.0
	U49N		34.0		50*	
	U48L	低熱	35.0		55*	

[Note] W/C：水セメント比、W：単位水量、Sl：目標スランプ
Air：目標空気量（*は目標スランプフロー）

4.4 測定結果および考察

(1) 荷卸し方法の影響

図-16に荷降し方法による粗骨材採取率の変動を、図-17に荷降し方法による測定値と割合との差の変動を、表-9に荷降し方法による採取率および測定値と割合との差をそれぞれ示す。一輪車採取ではE45Nにおいて、採取率の標準偏差が5.2%と大きくなった。測定値は粗骨材採取率の影響を受けるため、測定値と割合との差の標準偏差においても4.7kg/m³と大きくなった。また粗骨材採取率の平均値は、どちらの割合においても、練り舟

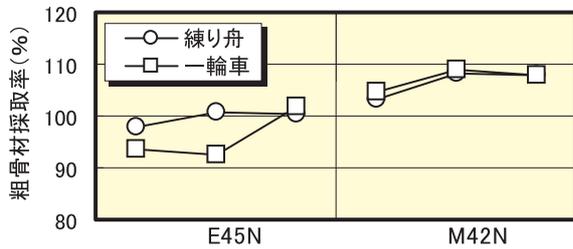


図-16 荷卸し方法による粗骨材採取率の変動

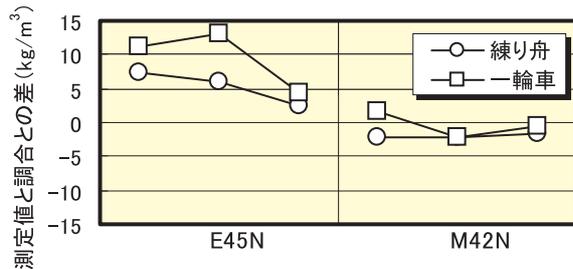


図-17 荷卸し方法による測定値と調査との差の変動

採取の方が調査に近い試料採取ができていることが確認できた。以上の結果から、一輪車採取の場合は、粗骨材採取率のばらつきが大きくなることが確認できたため、現場適用におけるアジテータ車からの荷降し方法は練習舟採取が望ましい。

(2) 品質管理測定

図-18に各工場における測定値と調査との差の測定結果を、表-10に各工場における測定値と調査との差の品質結果をそれぞれ示す。測定値の平均値はE工場で+3.7kg/m³となったが、他の3工場では±1kg/m³程度

表-9 荷卸し方法別の採取率および測定値と調査との差

項目	調査記号	練習舟採取		一輪車採取	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
採取率 (%)	E45N	99.6	1.7	95.9	5.2
	M42N	106.4	2.8	107.2	2.3
差 (kg/m ³)	E45N	+5.3	2.6	+9.6	4.7
	M42N	-1.9	0.4	-0.3	1.9

[Note] 採取率：粗骨材採取率、差：測定値と調査との差

表-10 各工場における測定値と調査との差の品質結果

工場	個数	練習舟採取			
		平均値	標準偏差	最大値	最小値
E工場	60	+3.7	5.5	+13.1	-13.5
M工場	36	-0.9	4.5	+7.6	-11.3
S工場	22	+0.3	4.1	+8.6	-6.8
U工場	16	+1.2	4.0	+7.7	-6.8

で、調査の単位水量に近い値であった。測定値の標準偏差は4.0~5.5kg/m³となり、数点の測定点を除けば、±10kg/m³以内の範囲に分布する結果であった。なお、ここでは示していないが、工場の印字記録から算出した単位水量の計量値と調査との差は、平均値ではほぼ±0.0kg/m³、標準偏差は0.4kg/m³程度となり、工場における材料計量の管理は精度のよいものであった。

図-19にフレッシュ性状（スランプフローおよび空気量）と測定値と調査との差の関係を示す。ここで、E工場およびM工場においては、スランプ試験と同時に測定したスランプフロー値を用いて表示した。スランプフロー・空気量および測定値と調査との差の関係には明確な相関性はみられなかった。測定値はこれらのフレッシュ性状とは性質が異なり、高性能AE減水剤を用いたコン

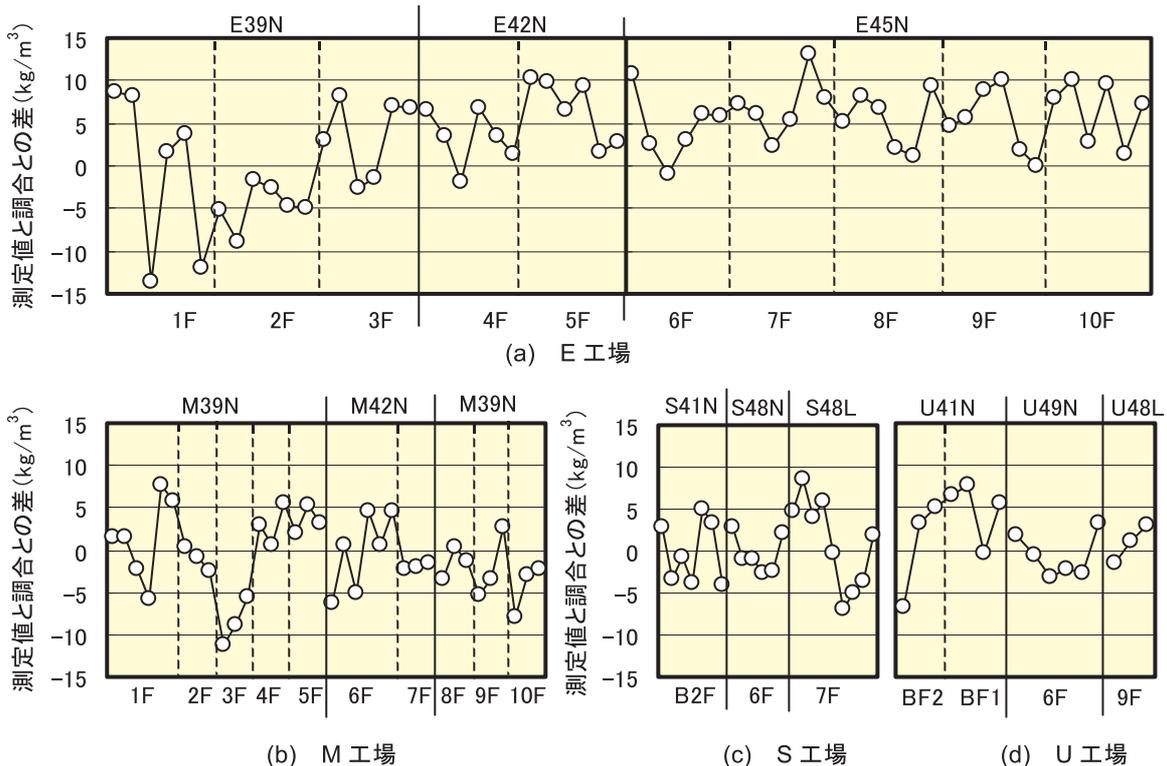


図-18 各工場における測定値と調査との差の測定結果

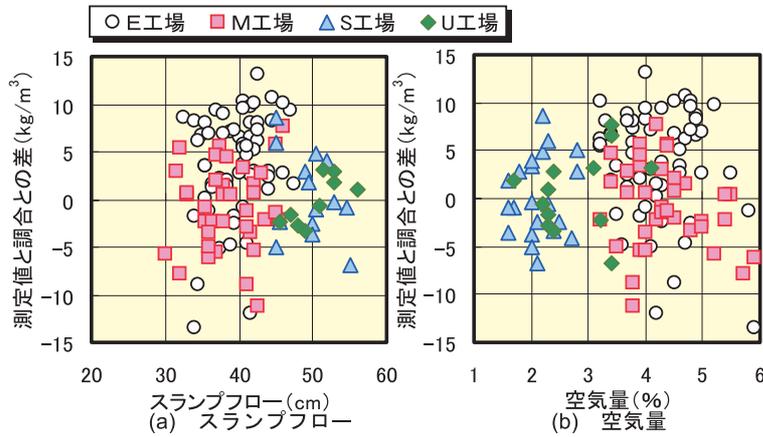


図-19 フレッシュ性状と測定値と調合との差

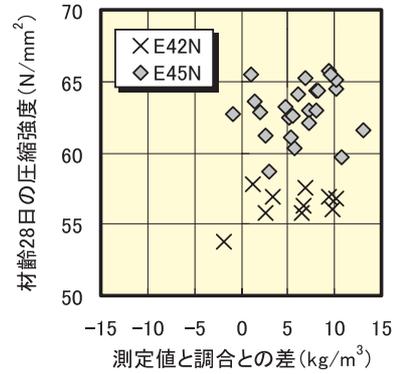


図-20 測定値と調合との差および圧縮強度(標準養生)の一例

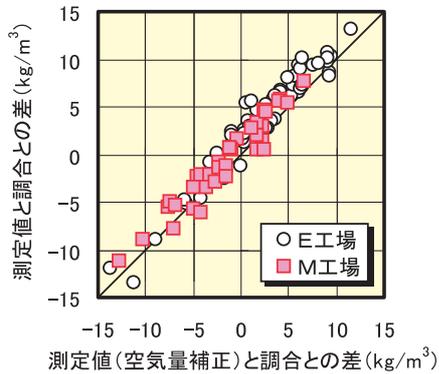


図-21 測定値(空気量補正)と調合との差および測定値と調合との差の一例

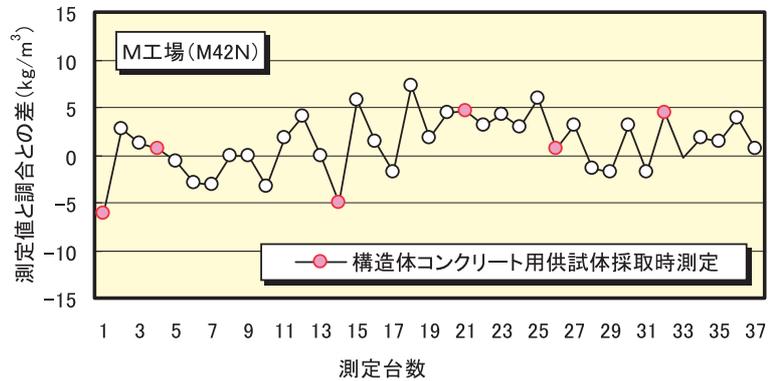


図-22 測定値と調合との差の日内変動の一例(M工場)

クリートでは、単位水量との相関は低いと思われる。

図-20に測定値と調合との差および材齢28日における標準水中養生の圧縮強度の一例 (E42NおよびE45N)を示す。両調合とも、圧縮強度の最大値と最小値の差は5~6N/mm²の範囲に、測定値と調合との差は0~15kg/m³の範囲に分布し、コンクリートの製造は精度よく行われていることが確認できる。また、今回の測定範囲においては、両者に明確な相関性はみられなかった。

図-21に空気量を調合に合わせて補正した測定値および調合との差と測定値と調合との差(空気量の補正を行わない)の一例を示す。図より、空気量の実測値によって測定値の変動は-2kg/m³~+4kg/m³の範囲で分布し、標準偏差は1.5kg/m³であった。コンクリート製造時の単位水量が同じであっても、単位水量測定時の空気量が異なれば測定値も異なるため、表-10に示す品質結果は空気量の実測値の影響を含んでいる。

(3) 日内変動の確認

図-22に測定値と調合との差の日内変動の一例としてM工場のものを、表-11に測定値と調合との差の日内変動をそれぞれ示す。図中の塗りつぶしは構造体コンクリート用供試体採取時(以下、供試体採取時)に測定を行ったものを示している。図より全数測定と供試体採取時測定を比較すると、供試体採取時測定でも全体の測定値

表-11 測定値と調合との差の日内変動

工場	採取*	個数	測定値と調合との差 (kg/m ³)	
			平均値	標準偏差
E工場	全数	16	+6.4	3.4
	供試体	3	+4.2	4.7
M工場	全数	37	+1.2	3.1
	供試体	6	-0.1	4.6

[Note] 全数：全数測定時、構造体：構造体強度採取時

の変動を表現できており、日内変動を把握することは可能と考えられる。また表より、供試体採取時測定の平均値は全数測定より2kg/m³程度小さいが、標準偏差では1.5kg/m³程度大きく、同程度の範囲に分布する結果である。したがって、変動の把握を目的とした現場における単位水量の測定は供試体採取と同程度でよいと考えられる。

5. まとめ

本研究では、単位容積質量法を用いて、測定精度の確認および試料採取方法に関する室内実験を実施し、高周波加熱乾燥法についても同時に試験を行い、両者の比較検討を行った。また、単位容積質量法を用いて、現場に搬入されるコンクリートの単位水量測定を行い、現場への適用性について検討を行った。

本実験の結果をまとめると、以下のようになる。

- 1) 単位容積質量法では測定容器に採取された粗骨材量により補正を行うことで、より精度よく単位水量を測定できる。
- 2) 高周波加熱乾燥法では、水セメント比による単位水量推定値に与える影響が顕著であったが、単位容積質量法では、水セメント比がおよぼす影響は小さい。調合上の単位水量が単位水量推定値におよぼす影響は、各測定法とも小さい。
- 3) 加水・減水が単位水量推定値に及ぼす影響は、各測定方法とも加水側では減少、減水側では増加する傾向がある。
- 4) 単位容積質量法では、調合および温度条件によっては、時間の経過に伴い、単位水量推定値は減少する傾向となった。高周波加熱乾燥法では、温度および経時変化の影響は、モルタル採取率と合わせて検討する必要がある。
- 5) 実現場における単位水量測定値の平均値は調合の単位水量とほぼ同程度であり、その変動は計画調合値 $\pm 10\text{kg/m}^3$ の範囲で分布する結果となった。
- 6) 単位水量測定値とフレッシュ性状および圧縮強度の間には相関性が認められず、単位水量はこれらの性状とは性質の異なるものである。

7) 空気量の変動による測定値の変動は $-2\text{g/m}^3 \sim +4\text{kg/m}^3$ の範囲で分布し、標準偏差は 1.5kg/m^3 であった。

8) 単位水量測定値は構造体コンクリート用供試体採取と同程度の測定を行うことで、日内変動を把握することが可能であると考えられる。

なお、本研究は、西松建設・戸田建設の共同研究として実施した。

【謝辞】

本実験を遂行するにあたり、ご協力頂いた生コン工場ならびに現場関係者の皆様に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 例えば、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及び管理システムに関するシンポジウム」、2002
- 2) 中村博之・十河茂幸：「フレッシュコンクリートの空気量と単位容積質量の測定結果による配合推定方法の適用」、コンクリート工学年次論文集、vol.23、No.2、pp.325-330、2001
- 3) 上西隆ほか：「フレッシュコンクリートの単位水量測定方法に関する研究 その1～その5」、日本建築学会大会学術講演梗概集A-1（北陸）、pp.955-964、2002.8