

論文 試験方法の違いによるコンクリート供試体の体積のばらつきに関する一考察

田部 菜津子^{*1}・中田 善久^{*2}・大塚 秀三^{*3}・宮田 敦典^{*4}

要旨:本研究は,コンクリート供試体の体積を求める方法についてノギス法と水中質量法の違いがコンクリート供試体の体積のばらつきに及ぼす影響を明らかにするために,コンクリートの水セメント比,養生方法および供試体の種類を変化させて検討したものである。その結果,ノギス法と水中質量法の体積の試験方法に±2%,調合における単位容積質量とコンクリート供試体の見掛け密度は最大で6%の誤差を生じる結果を示した。また,水中質量法は,吸水状態や水セメント比に影響されることが明らかとなった。

キーワード:体積,ノギス法,水中質量法,空気中質量,水中質量,見掛け密度

1. はじめに

コンクリート供試体の体積を求める方法は,JIS A 1108-2006¹⁾(コンクリートの圧縮強度試験方法)およびJIS A 1107-2012²⁾(コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法)に規定されているノギスを用いて測定した直径と高さから求める方法(以下,ノギス法とする)とNDIS 3422³⁾に規定されている空気中における試料の質量(以下,空気中質量とする)と水中における試料の見掛け質量(以下,水中質量とする)の差から求める方法(以下,水中質量法とする)が代表的である。このコンクリート供試体の体積を求める方法は,一般に,ノギス法が多く用いられるが,コンクリート供試体がJIS A 1132-2006⁴⁾(コンクリートの強度試験用供試体の作り方)によって作られたものは供試体の寸法が比較的に定形であるためばらつきが小さいと考えられるが,JIS A 1107-2012²⁾(コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法)のように供試体側面に凹凸を生じる場合,体積にばらつきを生ずることは容易に推測できる。また,JIS A 1107-2012²⁾(コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法)のようにコンクリート構造物から採取したコアは,供試体側面の凹凸の影響をできるだけ排除するために水中質量法が有効と考えられるが,コンクリートのように吸水する

性質を有する供試体の場合に,その試料の吸水状態によってばらつきが生じることが推測できる。一方,このように,試験方法の違いによってコンクリート供試体の体積に及ぼす影響について検討された研究は見当たらない。

そこで,本研究は,試験方法の違いがコンクリート供試体の体積のばらつきに及ぼす影響を明らかにするために,水セメント比,養生方法および供試体の種類(管理用供試体およびコア供試体)についてノギス法と水中質量法から求めた供試体の体積のばらつきについて検討した。ここでは,レディーミクストコンクリート工場の品質管理における供試体の検討,試験室において作製した供試体の検討および小試験体から採取したコア供試体の検討を行い,ノギス法と水中質量法のばらつきについて検討した。

2. 実験概要

2.1 実験項目

実験概要を表-1に示し,コンクリート供試体の概要を表-2に示す。

(1)レディーミクストコンクリート工場の品質管理における供試体の検討

供試体は,水セメント比が36.5~60.0%のレディーミクストコンクリート工場の品質管理における圧縮強度試験

表-1 実験概要

実験項目	目標とする供試体の寸法	W/C (%)	型枠	上面仕上げ方法	型枠存置期間	養生方法	試験者	供試体の本数
(1)レディーミクストコンクリート工場の品質管理における供試体の検討	100×200mm	36.5 60.0	鋳物製 押抜型型枠	打込み面のみ研磨	1日	標準養生	試験係員	123
(2)試験室において作製した供試体の検討	100×200mm	30 40 50	鋳物製 二ツ割型型枠	打込み面のみ研磨	2日	標準養生	学生	62
(3)小試験体から採取したコア供試体の検討	100×200mm	50	小試験体 (160×520×200mm) から3本採取	両端面研磨	2日	小試験体を脱型後,標準養生。試験2日前にコアを採取し試験まで標準養生	学生	21

*1 日本大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (学生会員)

*2 日本大学 理工学部建築学科 教授 博士(工学) (正会員)

*3 ものつくり大学 技能工芸学部建設学科 准教授 博士(工学) (正会員)

*4 日本大学 理工学部建築学科 助手 修士(工学) (正会員)

用供試体を用いた。ノギス法による直径および高さ、水中質量法による空気中質量および水中質量の測定はレディーミクストコンクリート工場の試験係員が行った。供試体の直径および高さは、JIS A 1108-2006¹⁾に準じてそれぞれ0.05mmまで測定し、直径は供試体高さの中央で互いに直交する2方向について測定した。また、供試体の空気中質量および水中質量は、それぞれ0.1gまで測定した。

(2) 試験室において作製した供試体の検討

試験室において作製した供試体は、コンクリート供試体の吸水性状の影響を検討するために、水セメント比を3水準、粗骨材の容積比を3水準とし、同一の水セメント比におけるセメントと細骨材の構成割合を一定とした。ノギス法による直径および高さ、水中質量法による空気中質量および水中質量の測定は学生が行った。供試体の直径および高さは、JIS A 1108-2006¹⁾に準じてそれぞれ0.05mmまで測定し、直径は供試体高さの中央で互いに直交する2方向について測定した。また、供試体の空気中質量および水中質量は、それぞれ0.1gまで測定した。

(3) 小試験体から採取したコア供試体の検討

小試験体から採取したコア供試体は、小試験体(160×520×200mm)を作製してから48時間後に脱型し、標準養生(水中20±2)を行った。その後、試験の2日前にコア供試体を採取し、試験まで標準養生とした。ノギス法による直径および高さ、水中質量法による空気中質量および水中質量の測定は学生が行った。供試体の直径および高さは、JIS A 1107-2012²⁾に準じてそれぞれ0.05mmまで測定した。直径は供試体の上下高さの1/4付近および高さの中央付近で、互いに直交する2方向について測定し、高さは2ヶ所について測定した。また、供試体の空気中質量および水中質量は、それぞれ0.1gまで測定した。

2.2 試験項目および方法

試験項目は、ノギス法および水中質量法とし、いずれの実験項目とも材齢28日において試験した。ノギス法は、JIS A 1108-2006¹⁾およびJIS A 1107-2012²⁾に準じて測定した供試体の直径および高さから(1)式により体積を算出した。水中質量法は、NDIS 3422に準拠し測定した供試体の空気中質量と水中質量から(2)式により体積を算出した。

$$V_v = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot h \quad (1)$$

$$V_w = m_s - m_w \quad (2)$$

ここに、 V_v ：ノギス法により求めた体積(cm³)

d：直径(cm)

h：高さ(cm)

V_w ：水中質量法により求めた体積(cm³)

m_s ：空気中質量(g)

m_w ：水中質量(g)

3. 実験結果および考察

(1) レディーミクストコンクリート工場の品質管理における供試体の検討

レディーミクストコンクリート工場の品質管理における管理用供試体のノギス法に関する直径、高さおよび体積の度数分布を図-1に示す。管理用供試体の直径は、目標とする直径100mm付近に多く分布する傾向を示し、このばらつきは小さい傾向を示した。これは、型枠に押抜型型枠を用いているため、直径の大きさは供試体の位置(高さ)によって異なるが、試験係員が目標とする直径100mmの位置を意識的に把握しており、その位置で測定するためばらつきが小さくなったものと考えられる。また、管理用供試体の高さは、目標とする高さ200mmを下回る傾向にあるものの、このばらつきは小さい傾向を示した。これは、型枠の内高が200mmであり、研磨によって上面を仕上げるため目標とする高さを下回る傾向を示したと考えられる。しかし、レディーミクストコンクリート工場の試験係員は、試験体作製時における打込み面の均しや研磨による仕上げ等の経験が豊富なため、ばらつきが小さくなったと考えられる。管理用供試体の体積は、目標とする直径および高さから算出される体積1,570cm³(以下、目標とする体積とする)を下回る傾向を示した。これは、前述した、直径の影響より高さの影響と考えられる。しかし、供試体の体積のばらつきは、直径および高さと同様に、小さい傾向を示した。

レディーミクストコンクリート工場の品質管理におけ

表-2 コンクリート供試体の概要

実験項目	供試体	調査条件			ノギス法の測定方法			水中質量法の測定方法	試験材齢
		W/C (%)	粗骨材の容積比	セメントと細骨材の構成割合	規格	直径	高さ	規格	
(1)レディーミクストコンクリート工場の品質管理における供試体の検討	管理用供試体	36.5	0.35	1:1.7	JIS A 1108:2006	2点	1点	NDIS 3422	28日
		40	0.38	1:2.1					
		60.0	0.38	1:3.3					
(2)試験室において作製した供試体の検討	管理用供試体	30	0.24	1:1.3 (30%)	JIS A 1108:2006	2点	1点	NDIS 3422	28日
		40	0.35	1:2.1 (40%)					
		50	0.41	1:2.9 (50%)					
(3)小試験体から採取したコア供試体の検討	コア供試体	50	0.35	1:2.9	JIS A 1107:2012	6点	2点	NDIS 3422	

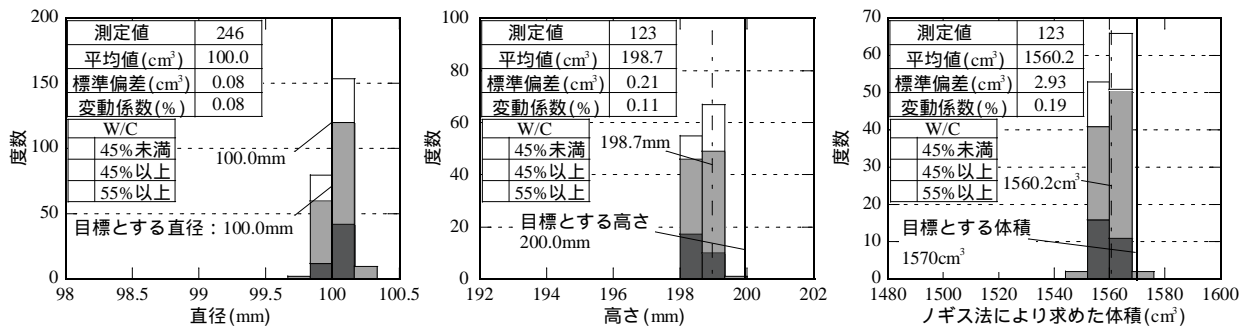


図 - 1 レディーミクストコンクリート工場の品質管理における管理用供試体のノギス法に関する直径、高さおよび体積の度数分布

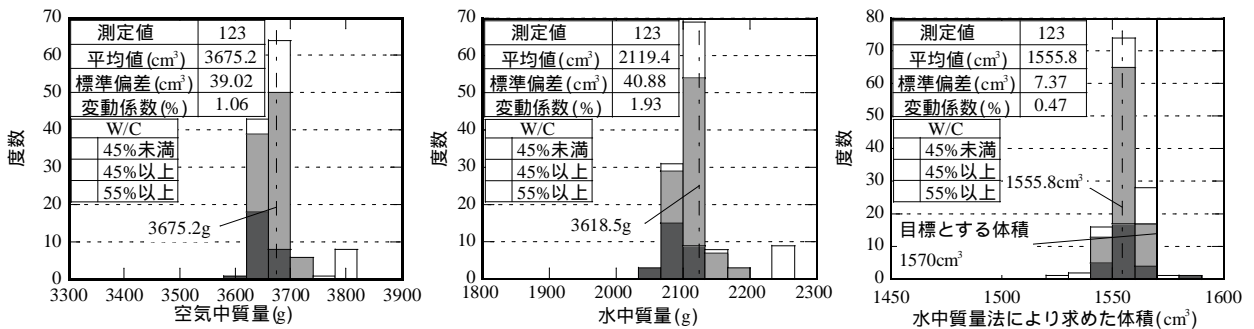


図 - 2 レディーミクストコンクリート工場の品質管理における管理用供試体の水中質量法に関する空気中質量、水中質量および体積の度数分布

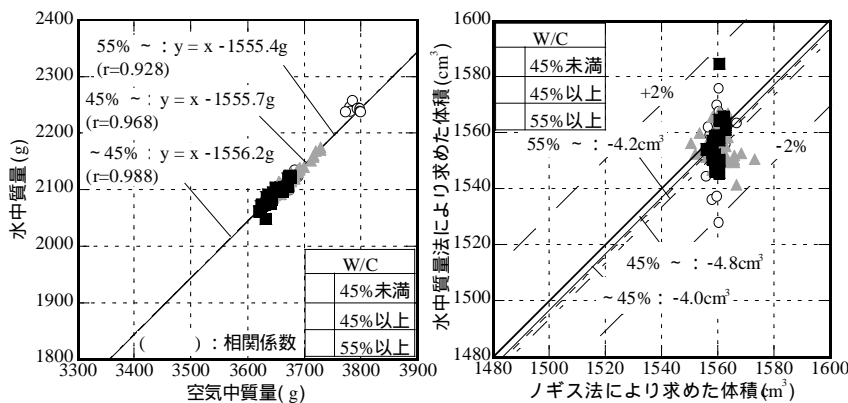


図 - 3 空気中質量と水中質量の関係 図 - 4 試験方法の違いによる体積の関係

管理用供試体の水中質量法に関する空気中質量、水中質量および体積の度数分布を図 - 2に示す。管理用供試体の空気中質量および水中質量は、水セメント比ごとに密度が異なるにもかかわらず、水セメント比が小さいほど大きくなる傾向を示した。管理用供試体の体積は、目標とする体積1,570cm³を下回る傾向を示し、このばらつきはノギス法の体積と比べてばらつきが大きい傾向を示した。これは、前述した、供試体ごとの標準養生における吸水状態のばらつきが影響したと考えられる。

空気中質量と水中質量の関係を図 - 3に示す。空気中質量と水中質量は比例関係を示した。また、この関係は、水セメント比ごとに一定の差があり、これが水中質量法の平均体積に当たる。この平均体積は、水セメント比が小さ

いほど大きい傾向を示した。これは、コンクリートは、水セメント比が小さいほど標準養生において水和反応で生成された空隙や空気量に水が十分に吸水されずに水中で浮力として測定されたため、吸水しにくく、水中質量が実際の質量よりも小さく測定されたものと考えられる。

試験方法の違いによる体積の関係を図 - 4に示す。試験方法の違いによる体積の関係は、概ね

±2%の範囲で分布する傾向を示し、水中質量法の体積のばらつきはノギス法に比べて大きい傾向を示した。また、水セメント比の違いによる明確な傾向は見られなかった。

(2) 試験室において作製した供試体の検討

試験室において作製した管理用供試体のノギス法に関する直径、高さおよび体積の度数分布を図 - 5に示す。管理用供試体の直径は、目標とする直径100mm付近に多く分布する傾向を示したものの、このばらつきは、レディーミクストコンクリート工場の品質管理における管理用供試体に比べて大きい傾向を示した。これは、型枠に違いがあるものの、試験者に試験係員と同等の経験および意識がないことが影響していると考えられる。管理用供試体の高さは、目標とする高さ200mmを下回る傾向を

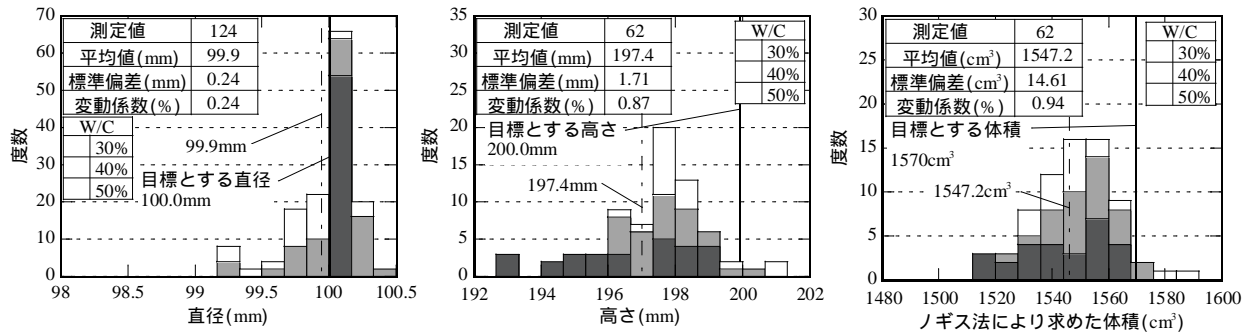


図 - 5 試験室において作製した管理用供試体のノギス法に関する直径 ,高さおよび体積の度数分布

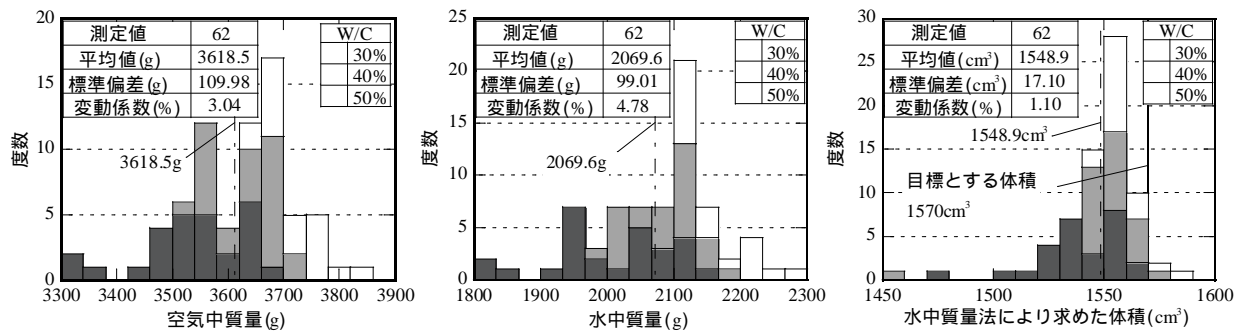


図 - 6 試験室において作製した管理用供試体の水中質量法に関する空気中質量 ,水中質量および体積の度数分布

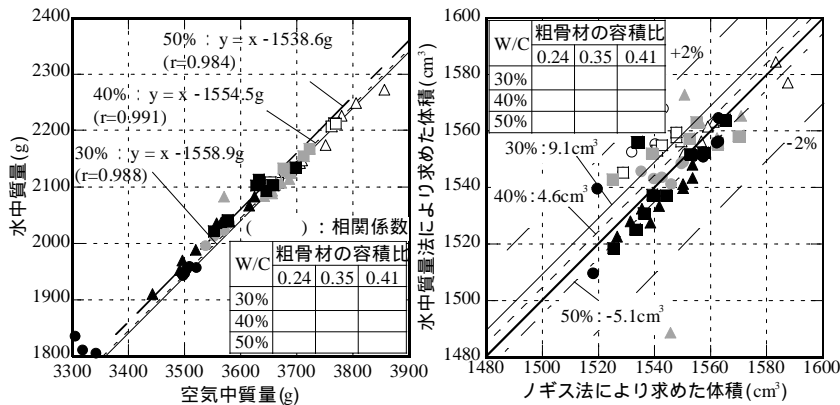


図 - 7 空気中質量と水中質量の関係 図 - 8 試験方法の違いによる体積の関係

6に示す。管理用供試体の空気中質量および水中質量は、水セメント比が小さいほど大きくなる傾向を示した。これは、水セメント比を変えてもモルタル中の構成割合が一定としたため標準養生における吸水状態のばらつきが小さく、理論上の密度の大小ごとに分布したと考えられる。

6に示す。管理用供試体の空気中質量および水中質量は、水セメント比が小さいほど大きくなる傾向を示した。これは、水セメント比を変えてもモルタル中の構成割合が一定としたため標準養生における吸水状態のばらつきが小さく、理論上の密度の大小ごとに分布したと考えられる。

管理用供試体の体積は、目標とする体積1,570cm³を下回る傾向を示し、これは、レディーミクストコンクリート工場の品質管理における管理用供試体と同様の理由と考えられる。また、管理用供試体の体積のばらつきは、レディーミクストコンクリート工場の品質管理における管理用供試体に比べて大きくなる傾向を示した。

試験室において作製した管理用供試体の水中質量法に関する空気中質量、水中質量および体積の度数分布を図 -

6に示す。管理用供試体の空気中質量および水中質量は、水セメント比が小さいほど大きくなる傾向を示した。これは、水セメント比を変えてもモルタル中の構成割合が一定としたため標準養生における吸水状態のばらつきが小さく、理論上の密度の大小ごとに分布したと考えられる。

6に示す。管理用供試体の空気中質量および水中質量は、水セメント比が小さいほど大きくなる傾向を示した。これは、水セメント比を変えてもモルタル中の構成割合が一定としたため標準養生における吸水状態のばらつきが小さく、理論上の密度の大小ごとに分布したと考えられる。

試験方法の違いによる体積の関係を図 - 8に示す。試験方法の違いによる体積の関係は、概ね±2%の範囲で分布する傾向を示した。また、試験方法の違いによる体積の関係は、W/C=30%および40%において、水中質量法の方が大きくなる傾向を示した。これは、前述したように、標準養生において水和反応で生成された空隙や空気量に水が十分に吸水されずに水中で浮力として測定されたため、

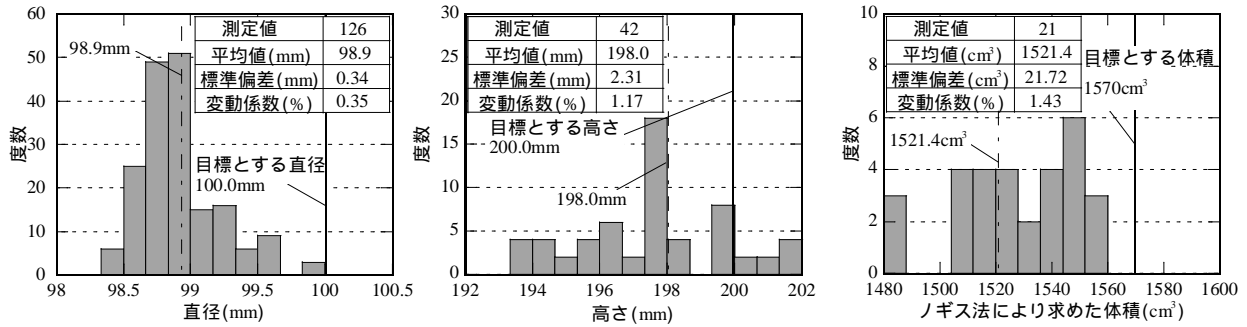


図 - 9 小試験体から採取したコア供試体のノギス法に関する直径、高さおよび体積の度数分布

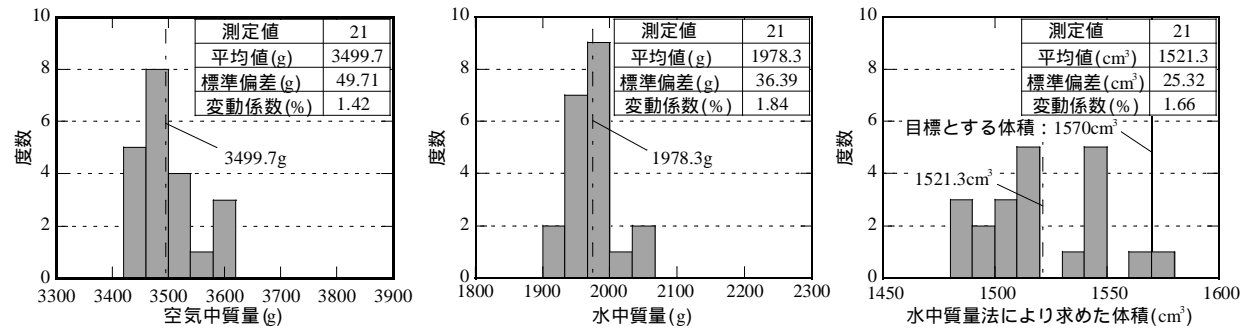


図 - 10 小試験体から採取したコア供試体の水中質量法に関する空気中質量、水中質量および体積の度数分布

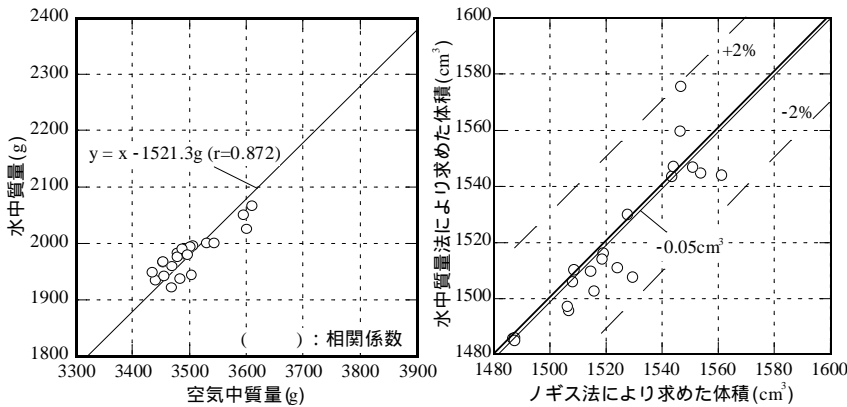


図 - 11 空気中質量と水中質量の関係 図 - 12 試験方法の違いによる体積の関係

体積 1,570cm³を下回る傾向を示し、このばらつきは大きい傾向を示した。

小試験体から採取したコア供試体の水中質量法に関する空気中質量、水中質量および体積の度数分布を図 - 10 に示す。コア供試体の空気中質量および水中質量は、管理用供試体に比べて小さい傾向を示した。コア供試

水中質量が実際よりも小さく測定されたものと考えられる。

(3)小試験体から採取したコア供試体の検討

小試験体から採取したコア供試体のノギス法に関する直径、高さおよび体積の度数分布を図 - 9 に示す。コア供試体の直径は、目標とする直径 100mmを下回る傾向を示し、このばらつきは大きい傾向を示した。これは、コア供試体の採取に用いたコアピットの内径が 100mmであるが、コアドリルの振動等の影響により直径が小さくなったものと考えられ、コア供試体側面の凹凸の影響によりばらつきが大きくなったものと考えられる。コア供試体の高さは、目標とする高さ 200mmを下回る傾向を示し、このばらつきは大きい傾向を示した。これは、小試験体から採取しているため、小試験体の高さの精度が影響していると考えられる。コア供試体の体積は、目標とする

このばらつきは大きい傾向を示した。これは、コア供試体が試験2日前に採取されるまで小試験体のままで標準養生していること、すなわち、これまでのコンクリート供試体と異なり側面からの吸水がないこと、供試体側面の凹凸の影響により表面積が供試体ごとに著しく異なることおよび供試体側面に骨材が露出しているため、骨材が吸水を阻害することが標準養生における吸水状態の差が生じたことが影響したものと考えられる。

空気中質量と水中質量の関係を図 - 11 に示す。空気中質量と水中質量の関係は、比例関係を示したものの、このばらつきは管理用供試体と比べて大きい傾向を示した。これは、前述した養生方法が影響したものと考えられる。

試験方法の違いによる体積の関係を図 - 12 に示す。試験方法の違いによる体積の関係は、概ね ±2% の範囲で分

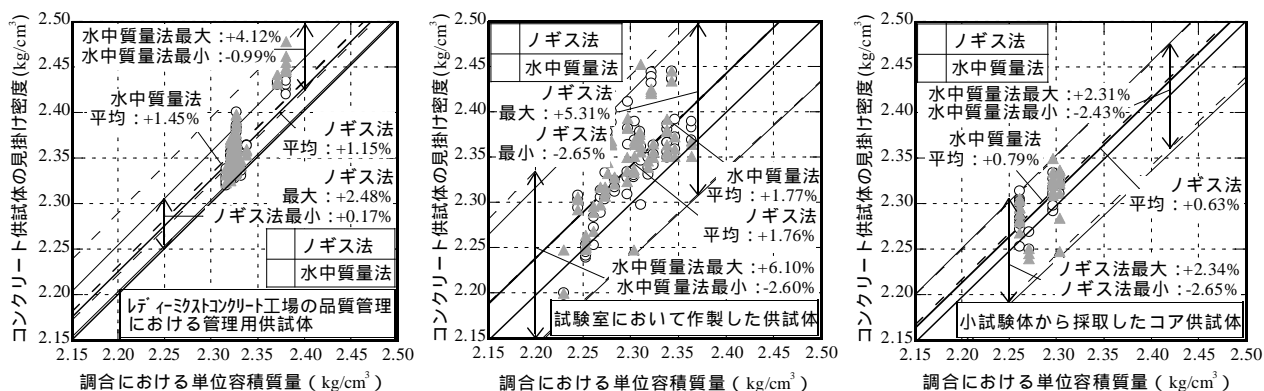


図 - 13 各試験方法により求めた見掛け密度と調合における単位容積質量の関係

表 - 3 本研究における試験方法の違いが体積のばらつきに及ぼす影響

実験項目	ノギス法				水中質量法				試験方法の違いによる体積の差
	傾向	平均値 (cm ³)	標準偏差 (cm ³)	変動係数 (%)	傾向	平均値 (cm ³)	標準偏差 (cm ³)	変動係数 (%)	
(1)プレキャストコンクリート工場の品質管理における供試体の検討	試験係員の意識により、ばらつきが小さい傾向を示す。	1560.2	2.93	0.19	コンクリートの調合によって吸水性状にばらつきが生じるため、ばらつきが大きい傾向を示す。	1555.8	7.37	0.47	± 2%
(2)試験室において作製した供試体の検討	試験者の経験や意識による影響が生じやすい。	1547.2	14.61	0.94	水セメント比が小さいと内部の細孔に吸水されにくいいためばらつきが大きくなる。	1548.9	17.10	1.10	± 2%
(3)小試験体から採取したコア供試体の検討	供試体側面の凹凸の影響を受けやすく、ばらつきが大きい傾向を示す。	1521.4	21.72	1.43	供試体側面の凹凸の影響を受けにくいものの、コアを採取した後の標準養生期間が短いとばらつきが大きい傾向を示す。	1521.3	25.32	1.66	± 2%

布する傾向を示し、ノギス法の体積は、水中質量法に比べて大きい傾向を示した。

4. 試験方法の違いが見掛け密度(単位容積質量)に及ぼす影響

調合における単位容積質量とコンクリート供試体の見掛け密度の関係を図 - 13に示す。コンクリート供試体の見掛け密度は調合における単位容積質量に比べて大きくなる傾向を示した。また、管理用供試体は、水中質量法の方がノギス法に比べてばらつきが大きくなる傾向を示し、コア供試体の両者の試験方法のばらつきはほぼ同等であった。調合における単位容積質量とコンクリート供試体の見掛け密度の差は、試験室において作製した供試体の水中質量法において最大+6.1%の差となった。

この結果を踏まえると、コンクリートの配合推定などのようにコンクリート供試体の見掛け密度を用いる試験において、単位水量170kg/m³、単位セメント量340kg/m³および単位骨材量1790kg/m³のコンクリートの場合、単位水量10kg/m³、単位セメント量20kg/m³および単位骨材量107kg/m³の推定誤差が生じる可能性を示唆している。しかし、この結果は比較的、早期に脱型した後に、標準養生したものであり、両者の試験方法について更に、水セメント比、脱型時期および養生方法などを検討する必要がある。

5. まとめ

本研究は、試験方法の違いがコンクリート供試体の体積のばらつきに及ぼす影響を明らかにするために、水セメント比、養生方法および供試体の種類を変化させて検討した結果、表 - 3に示す傾向が明らかとなった。また、今回の実験の範囲であるコンクリート供試体を作製後、早期に標準養生を行うと、両者の体積の試験方法に±2%の差が生じる結果を示した。さらに、調合における単位容積質量とコンクリート供試体の見掛け密度は最大で6%の誤差を生じる結果を示した。

今後の展望として、養生方法、水セメント比および供試体の直径および高さの測定点数や供試体の大きさを変化させて試験方法のばらつきを検討していく予定である。

謝辞

本実験を行うにあたり日本大学中田研究室およびものづくり大学大塚研究室の学生に多大なご協力をいただきました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) JIS A 1108-2006 コンクリートの圧縮強度試験方法
- 2) JIS A 1107-2012 コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法
- 3) (社)日本非破壊検査協会：NDIS 3422 グルコン酸ナトリウムによる硬化コンクリートの単位セメント量試験方法、2002
- 4) JIS A 1132-2006 コンクリート強度試験用供試体の作り方