

# 論文 細骨材の遠心表面水率試験方法の改良に関する基礎実験

伊藤 康司\*1・辻本 一志\*2・入江 一次\*2・辻 幸和\*3

**要旨:** JISA1802 は、レディーミクストコンクリートの生産工程管理用試験方法として制定され、表面水率の迅速な把握と表乾状態の簡易判定法として運用することが期待されている。現行の規格では目的を実現するために高い遠心加速度が得られる装置が必要とされているが、細骨材毎に最適な脱水時間が存在するため表乾状態の判定には十分なデータの蓄積が必要である。遠心機の仕様を汎用なものに変更する検討を行った結果、容器の直径と高さの比を変更することにより、短時間で所要の脱水性能が得られること、試料袋からろ紙に変更することにより、安定した試験結果が得られることを明らかにした。

**キーワード:** 細骨材, 遠心表面水率, 表面水率, 遠心脱水, 遠心加速度, ろ紙

## 1. はじめに

レディーミクストコンクリート工場において、安定した品質のコンクリートを製造するには、工程管理により品質変動を把握することが重要である。なかでも細骨材の表面水率の管理は、JIS A 5308 規格品はもとより、高強度コンクリート、単位水量の著しく小さい超硬練りコンクリートなどの製造時において、とくに重要である。これら表面水率の管理には、精密な測定結果が期待できる JIS A 1111 及び JIS A 1125 が用いられているが、結果を得るに長い時間が必要である。

コンクリート生産工程管理用試験 JIS A 1802 には 遠心脱水による表面水率試験方法 (以降、遠心脱水法と表記する。)が、規定されている。この生産工程管理用試験は、レディーミクストコンクリート工場における日常の工程管理に適用できるように、簡便さと迅速性に重点をおき開発された試験方法である。遠心脱水法は、同一条件下で脱水を行うと脱水率が一定となることが期待でき、コンクリート品質の早期判定試験方法への応用もなされている<sup>1)</sup>。また JIS A 1802 における遠心脱水法は、表面水率の測定とともに表面乾燥飽水状態の判定にも活用することを念頭において制定された経緯がある<sup>2)</sup>。このため、使用する遠心機の仕様が高い水準に設定されており、規格を満足する機器や消耗品の入手が容易でないのが実状である。

本研究は、細骨材の遠心表面水率の試験方法の合理化について行った基礎実験の結果を報告するものである。すなわち、遠心脱水法に用いる機器の仕様及び試験条件について実験的検討を行い、試験手順の見直しのための基礎資料を得ることを目的として実施した結果をとりまとめたものである。

## 2. 現行 JIS A 1802 における遠心脱水法

JIS A 1802 では、表-1 に示す仕様の機器を用いることが規定されている。

### 1)遠心機

遠心機は、5,000g 程度の遠心加速度を持つことが規定されている。この遠心加速度は式(1)に示すように、重力加速度  $g$  の 5,000 倍の値で(m/s<sup>2</sup>)の単位で表記することが適切と考えられるが、本報告では便宜上、 $g$  の何倍の遠心加速度と表記する。

$$\text{遠心加速度} = \frac{\omega^2 r}{g} = \frac{\left(\frac{2\pi N}{60}\right)^2 r}{980} = \frac{1.119 \times N^2 \times r}{100000} \quad (1)$$

ここに、 $\omega$ : 角速度 (rad·sec<sup>-1</sup>)

$g$ : 重力加速度 (980cm·sec<sup>-2</sup>)

$N$ : 回転数 (r.p.m.)

$r$ : 半径 (cm)

表-1 JIS A 1802 における機器の仕様

使用機器	仕 様	
	現行	提案
遠心機	金属製カップを4個設置できること 試料の中心位置で5,000g程度の遠心力が得られるもの	金属製カップを4個設置できること 試料の中心位置で2,000g程度の遠心力が得られるもの
金属製カップ	内径5~7cm、深さ12~15cmの円筒形で、丸みをもたせた底部に直径5mm程度の排水孔をもつもの	内径80~100mm、深さ80~150mmの円筒形の金属製のもので、底面に直径1~2mmの排水孔を500個程度あけたものである。
試料袋	通気性20~25cm/sのろ布、糸の太さ89tex、厚さ1.1mm、質量	ろ紙

遠心機の仕様として遠心加速度の 5,000g は、遠心機の価格面でこの試験方法の普及の妨げの一因になると考えられる。既往の研究では、遠心脱水による表乾状態の評価は JIS A 1109 の評価法にも問題があると報告されている<sup>2)</sup>。さらに、遠心加速度が JIS A 1802 の規定を下回る遠心機を用いると、特定の地域で使用されている細骨材の表乾状態を評価した結果は、十分な精度が得られていないのが実状である<sup>3)</sup>。

\*1 全国生コンクリート工業組合連合会 技術部 (正会員)

\*2 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 (正会員)

\*3 群馬大学大学院 工学研究科 社会環境デザイン工学専攻 教授 工博 (正会員)

## 2) 試料袋

細骨材と水を分離するために用いる試料袋は、表-1に示したように規定されている。しかし、試料袋は、JIS規格品でなく、メーカー毎に性能が異なり、袋の縫製の精度も十分に確保されていないのが実状である。

以上のような状況を鑑み、遠心脱水法の機器の仕様と試験条件について検討することとした。

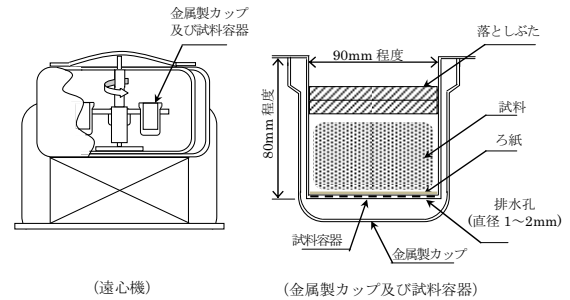


図-1 遠心機の概要

## 3. 遠心機の性能確認

遠心加速度を 500~1,700g の間で変化させ、それぞれの遠心加速度における遠心脱水時間と細骨材の表面水率との関係を求め、以下の項目について検討を行った。

- ①遠心加速度の低減に関する検討
- ②試料袋の排水性に関する検討

### 3. 1 使用機器及び材料

#### 1) 遠心機

実験に用いた遠心脱水機は、容量 800mL の試料容器を 4 個設置できる最大遠心加速度 1,700g のものとした。遠心脱水機の概要を図-1 に示す。この図で、ろ紙とともに試料袋も用いた。

#### 2) 試料袋

現行 JIS A 1802 に規定されているものを用いた。

#### 3. 2 細骨材

実験には、密度、微粒分量、吸水率が異なる山砂、川砂、砕砂をそれぞれ 3 種類と高炉スラグ細骨材 1 種類の計 10 種類の細骨材を用いた。細骨材の代表的な物性を表-2 に示す。

#### 3. 3 試験方法

遠心脱水機による表面水率（遠心表面水率）の測定は、以下の手順で行った。

- ①細骨材の含水率を 10~12%（表面水率を 8%）程度に調整する。
- ②JIS A 1125 に従って、細骨材の含水率を求める。
- ③各試料容器に、あらかじめ十分水に浸し、軽く水切りした試料袋を入れる。
- ④金属製カップを遠心機に設置し、1,700g の遠心加速度を 20 分間加えて脱水する。
- ⑤試料として、約 100g を 4 つ採取し、遠心加速度 1,700g で遠心脱水する。
- ⑥遠心脱水開始から 10, 20, 30, 40, 50 及び 60 分の時点で試料、試料袋及び試料容器の合計質量を測定し、これと遠心脱水を行う前の質量との差を用いて、試料の含水量を計算する。
- ⑦遠心加速度 500, 1,000 及び 1,500g について、同様の作業を行う。

表-2 細骨材の物性

細骨材の種類	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	微粒分量 (%)	吸水率 (%)	砂当量 (%)
No.16 山砂	2.56	2.9	2.65	80.0
No.42 山砂	2.62	0.5	1.71	91.3
No.44 山砂	2.53	1.6	3.37	96.2
No.08 川砂	2.62	0.8	1.35	98.0
No.24 川砂	2.59	1.9	2.54	89.6
No.48 川砂	2.64	3.0	2.48	92.6
No.21 砕砂	2.67	1.9	1.53	87.1
No.31 砕砂	2.69	3.7	1.42	82.1
No.43 砕砂	2.71	2.4	1.23	88.9
高炉スラグ	—	—	1.13	—

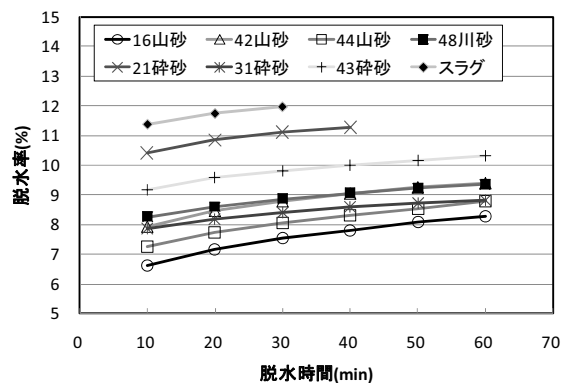


図-2 遠心脱水時間と脱水率との関係

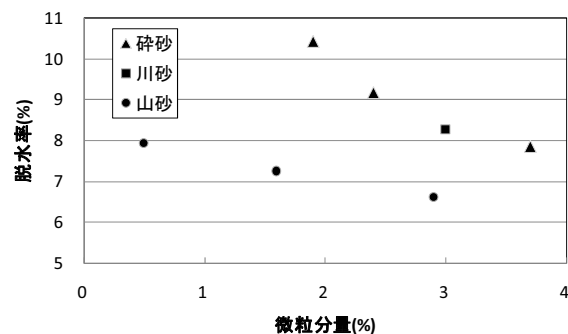


図-3 微粒分量と脱水率との関係

### 3. 4 実験結果及び考察

#### 1) 遠心加速度の低減に関する検討

遠心脱水時間と試料細骨材の脱水率との関係を図-2に示す。図-2は、遠心脱水時間を10分～60分まで変化させ、脱水率の測定を行ったものである。脱水率は、遠心加速度の増加に伴い大きくなる傾向が示されており、細骨材の種類によって異なる脱水率となっている。図-3は、細骨材の微粒分量と脱水率との関係を示したものであり、山砂と川砂及び砕砂とは異なる傾向を示している。遠心脱水による試料細骨材中の水の流れは、遠心力による加圧透過流<sup>4)</sup>と仮定すれば、細骨材の粒度構成や粒径並びに実積率等の物理試験結果により影響され、山砂とその他の細骨材の物性の相違が脱水性状に影響を及ぼしたと考えられる。

図-4は、遠心脱水を10分間行った際の遠心加速度と含水率との関係を示したものである。含水率は、遠心加速度の増加に伴って小さくなる傾向を示している。現行JISA1802では、4,000gの遠心加速度で20分間脱水することとなっているが、この半分以下の1,700g、10分間の脱水でも細骨材の吸水率を下回り、スラグ細骨材では含水率がマイナスとなっている。この原因としては、現行JISA1802に規定されている金属製カップは、今回使用しているものに比べ、直径が約25%小さく、高さが約50%大きい形状である。すなわち、上述の加圧透過流を想定すれば、脱水量は断面積及び圧力勾配に比例し、今回使用した装置の断面積が40%大きく、深さが50%小さいため、同等以上の脱水効果が得られたと考えられる。

また、含水率が表-2に示した吸水率を下回る原因については、試料袋と試料の質量減少量をもとに含水率を算出しているため、事前準備の試料袋の遠心脱水が十分でないことが考えられる。

#### 2) 試料袋の脱水性

試料袋は、試料の含水率の計算結果に影響を及ぼし、不確かさの大きな要因となる可能性がある。また、JIS規格を満足するものの入手が容易でないため、試料袋の脱水性を確認し、その必要性について検討した。そして、試料袋の脱水性とJIS P 3801ろ紙（化学分析用）に規定されているろ紙が適用できるかについても検討を行った。図-5は試料袋及びろ紙に所定量を吸水させ、遠心脱水した結果を示したものである。図-5において、ろ布の単位面積あたりの脱水量は、脱水時間の経過に伴い大きくなる傾向を示している。これは試料袋の含水状態を安定させるためには、少なくとも60分以上の長時間を要することを示しており、何らかの補正計算が必要となることを示している。これに対し、ろ紙は脱水時間15分程度で脱水量の増加がなくなり、その後一定となっ

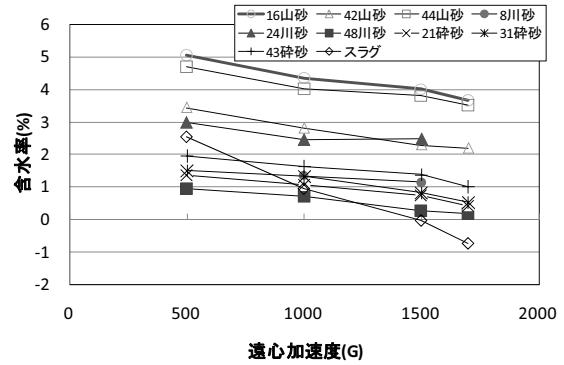


図-4 遠心加速度と含水率との関係

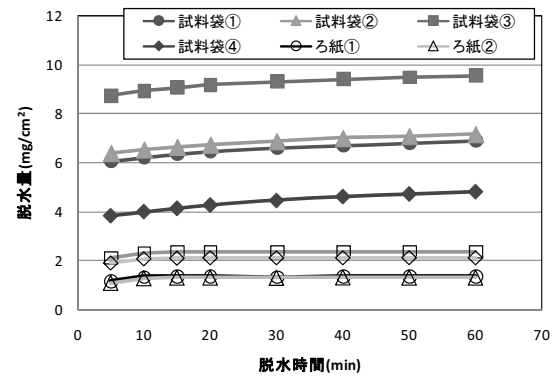


図-5 脱水時間と試料袋・ろ紙の脱水量との関係

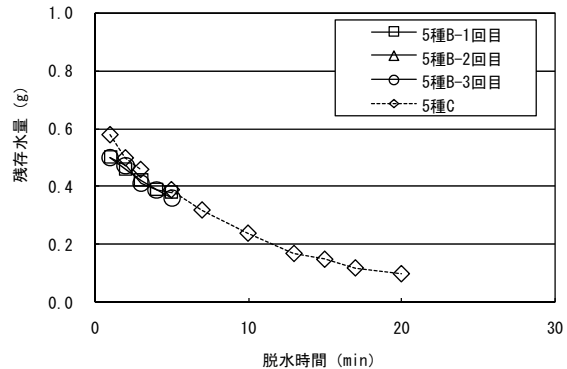


図-6 脱水時間とろ紙の脱水量との関係

ていることが認められる。したがって、試験の事前準備としてろ紙を脱水し、試料質量と同時に測定することにより、安定した含水量の把握が可能であることが示された。

図-6は、JIS規格品のろ紙5種B及び5種Cを用いて、遠心脱水し、それぞれのろ紙に残った水量を測定した結果である。脱水時間を、5分までは1分おきに、それ以降は2～3分間隔で20分までとした。なお、ろ紙からの脱水量のばらつきを調査するために、ろ紙5種Bについては測定を3回繰り返した。

この結果、ろ紙の種類による残存水量に大きな相違はなく、JIS P 3801に適合の5種のろ紙を使用すれば、遠心脱水後に安定した質量が得られることが確認できた。

4. 脱水条件に関する検討

4. 1 使用機器及び材料

脱水条件の検討にあたっては、表-2に示した10種類の細骨材を用いた。

4. 2 試験方法

遠心脱水機による表面水率(遠心表面水率)の測定は、以下の手順で行った。

- ①細骨材の表面水率を6%程度に調整する。また、試料No.14(山砂)、No.8(川砂)、No.43(砕砂)については、表面水率を3%程度に調整したのもも用いる。
- ②JIS A 1125に従って、細骨材の表面水率を求める。
- ③試料容器内で吸水させた5Bろ紙を、1,500gで2分間遠心脱水する。
- ④試料として、約100gを4つ採取し、遠心加速度1,500gで遠心脱水する。
- ⑤遠心脱水開始から1, 3, 5, 10, 20及び30分の時点で試料、ろ紙及び試料容器の合計質量を測定し、遠心表面水率を計算する。
- ⑥遠心加速度500及び1,000gについて、同様の作業を行う。
- ⑦試料No.14(山砂)及びNo.43(砕砂)については、①

~⑥の作業を合計3回繰り返し、再現性を調査した。

4. 3 実験結果及び考察

1)脱水時間と遠心表面水率との関係

10種類の細骨材について遠心脱水し、脱水量から計算によって求めた遠心表面水率を表-3に示す。表-3において、遠心脱水率は脱水開始から1~3分程度で大きく変化し、その後は緩やかに増加する傾向を示した。なお、遠心表面水率がJIS A 1125による表面水率とほぼ同等となる脱水時間は、遠心加速度1,500gで30分程度であった。

遠心加速度の影響については、遠心加速度が大きいくほど、同一脱水時間における遠心表面水率は大きくなっている。しかし、遠心加速度500gでは、1,000gや1,500gと比べ、JIS A 1125による表面水率との差が大きくなっていることから、遠心脱水を効率的に行うためには、少なくとも1,000g程度の遠心加速度が必要と考えられる。

それぞれの脱水時間における遠心表面水率とJIS A 1125による表面水率との差を整理し、表-3に併記した。両者の差は、細骨材の種類の影響は明確ではなく、表面水率が6%程度の細骨材を遠心加速度1,500gで脱水した場合、脱水時間が3分の時点でJIS A 1125による表面水

表-3 遠心表面水率の測定結果

細骨材の種類	吸水率 (%)	表面水率 (%)	遠心加速度 (g)	遠心表面水率(%)						遠心表面水率とJISA1125表面水率との差(%)					
				脱水時間(min)						脱水時間(min)					
				1	3	5	10	20	30	1	3	5	10	20	30
No.04 山砂	2.28	6.47	1500	4.49	5.00	5.34	5.78	6.21	6.49	-1.98	-1.47	-1.13	-0.69	-0.26	0.02
			1000	4.23	4.74	5.06	5.50	6.02	6.31	-2.24	-1.73	-1.41	-0.97	-0.45	-0.16
			500	3.70	4.33	4.60	5.01	5.55	5.93	-2.77	-2.14	-1.87	-1.46	-0.92	-0.54
No.14 山砂	2.91	6.02	1500	3.63	4.25	4.59	5.04	5.54	5.93	-2.39	-1.77	-1.43	-0.98	-0.48	-0.09
			1000	3.40	4.04	4.37	4.83	5.34	5.73	-2.62	-1.98	-1.65	-1.19	-0.68	-0.29
			500	2.93	3.58	3.94	4.42	4.93	5.25	-3.09	-2.44	-2.08	-1.60	-1.09	-0.77
No.44 山砂	3.37	6.1	1500	3.53	4.28	4.69	5.20	5.71	6.11	-2.57	-1.82	-1.41	-0.90	-0.39	0.01
			1000	3.05	3.80	4.21	4.79	5.38	5.74	-3.05	-2.30	-1.89	-1.31	-0.72	-0.36
			500	2.35	3.18	3.62	4.25	4.94	5.32	-3.75	-2.92	-2.48	-1.85	-1.16	-0.78
No.08 川砂	1.35	6.52	1500	4.48	5.08	5.40	5.80	6.19	6.45	-2.04	-1.44	-1.12	-0.72	-0.33	-0.07
			1000	4.13	4.75	5.11	5.55	5.98	6.22	-2.39	-1.77	-1.41	-0.97	-0.54	-0.30
			500	3.61	4.22	4.56	5.05	5.55	5.85	-2.91	-2.30	-1.96	-1.47	-0.97	-0.67
No.18 川砂	2.36	6.04	1500	3.51	4.06	4.37	4.78	5.34	5.85	-2.53	-1.98	-1.67	-1.26	-0.70	-0.19
			1000	3.25	3.84	4.13	4.52	5.00	5.47	-2.79	-2.20	-1.91	-1.52	-1.04	-0.57
			500	2.63	3.24	3.57	4.02	4.43	4.79	-3.41	-2.80	-2.47	-2.02	-1.61	-1.25
No.26 川砂	2.48	6.27	1500	3.54	4.24	4.64	5.15	5.78	6.22	-2.73	-2.03	-1.63	-1.12	-0.49	-0.05
			1000	3.15	3.88	4.28	4.83	5.43	5.88	-3.12	-2.39	-1.99	-1.44	-0.84	-0.39
			500	2.45	3.20	3.59	4.13	4.73	5.12	-3.82	-3.07	-2.68	-2.14	-1.54	-1.15
No.11 砕砂	3.09	6.29	1500	4.18	4.72	5.02	5.40	5.87	6.17	-2.11	-1.57	-1.27	-0.89	-0.42	-0.12
			1000	3.85	4.43	4.75	5.16	5.61	5.91	-2.44	-1.86	-1.54	-1.13	-0.68	-0.38
			500	3.33	3.91	4.23	4.70	5.20	5.49	-2.96	-2.38	-2.06	-1.59	-1.09	-0.80
No.43 砕砂	1.23	6.53	1500	4.73	5.31	5.58	5.93	6.29	6.58	-1.80	-1.22	-0.95	-0.60	-0.24	0.05
			1000	4.43	5.02	5.32	5.71	6.10	6.37	-2.10	-1.51	-1.21	-0.82	-0.43	-0.16
			500	4.12	4.71	5.05	5.49	5.92	6.23	-2.41	-1.82	-1.48	-1.04	-0.61	-0.30
No.53 砕砂	1.58	6.53	1500	5.41	5.86	6.06	6.36	6.85	7.28	-1.12	-0.67	-0.47	-0.17	0.32	0.75
			1000	5.09	5.58	5.78	6.03	6.41	6.78	-1.44	-0.95	-0.75	-0.50	-0.12	0.25
			500	4.81	5.34	5.59	5.82	6.13	6.44	-1.72	-1.19	-0.94	-0.71	-0.40	-0.09
高炉 スラグ	1.13	6.51	1500	4.73	5.22	5.50	5.87	6.29	6.59	-1.78	-1.29	-1.01	-0.64	-0.22	0.08
			1000	4.40	4.90	5.16	5.55	5.97	6.27	-2.11	-1.61	-1.35	-0.96	-0.54	-0.24
			500	3.36	3.85	4.12	4.50	4.95	5.26	-3.15	-2.66	-2.39	-2.01	-1.56	-1.25

□ : (遠心表面水率) - (JIS A 1125 表面水率) が2~-1%のデータ  
 ■ : (遠心表面水率) - (JIS A 1125 表面水率) が-1~0%のデータ  
 ■ : (遠心表面水率) - (JIS A 1125 表面水率) がプラスとなるデータ

率との差が-0.67～-2.03%，脱水時間が5分で-0.47～-1.67%，脱水時間10分で-0.17～-1.26%となっている。したがって、遠心脱水時間を10分程度とすれば多くの場合、JIS A 1125による表面水率との差が1%以下となる。また一般に、レディーミクストコンクリート工場の社内規格でオペレータに調整の幅として与えられている0.5%の表面水率とするには、20分程度の遠心脱水時間を要することが認められる。

## 2) 遠心表面水率試験の再現性

図-7及び図-8は、遠心表面水率の3回繰返し測定の結果を用いて求めた、それぞれの脱水時間における標準偏差を示す。図-7は、山砂(No.14)の結果であり、前述したように遠心加速度500g及び1,000gのばらつきが若干大きくなっているものの、標準偏差は脱水時間に関係なくほぼ一定の値となっている。また図-8は、砕砂(No.43)の結果を示したもので、山砂と同様に、脱水時間にかかわらず標準偏差がほぼ一定の値となっている。このように、脱水時間を現行のJIS A 1802に定められている20分から短縮しても、安定した試験結果が得られる可能性が示されている。

## 3) 細骨材の含水率が遠心表面水率に及ぼす影響

図-9～図-11は、表面水率が6%程度の細骨材についての遠心表面水率と、表面水率が3%程度のものを比較したものである。なお、図の縦軸は遠心表面水率とJIS A 1125によって求めた表面水率との差を示している。

図-9は山砂(No.14)の結果を示したもので、遠心表面水率とJIS A 1125によって求めた表面水率との差は、脱水時間1分の時点では若干の差がみられるものの、脱水時間3分以上では全体として0.01～0.09%の範囲となっている。図-10は川砂(No.8)の結果であり、山砂と同様に両者の差は小さく、脱水時間3分以上で0～0.12%である。図-11に示す砕砂(No.43)についても、山砂や砕砂と同様に、表面水率の相違の影響は認められず、表面水率が6%程度と3%程度との差は、0～0.19%となっている。このように、細骨材の表面水率が3%程度と大きく変化した場合においても、同一の脱水条件で試験を行うことができる。

以上の結果より、1,000-1,500gの所定の遠心加速度で10分間程度の遠心脱水を行うことにより、骨材の種類にかかわらずJIS A 1125による表面水率との差も小さく、安定した試験値が得られるものと思われる。

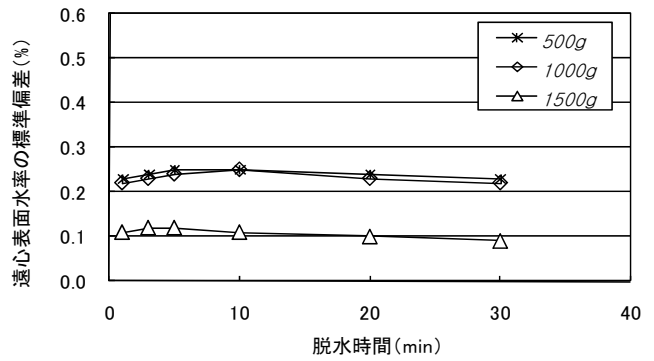


図-7 脱水時間と遠心表面水率の標準偏差との関係 (山砂: No.14)

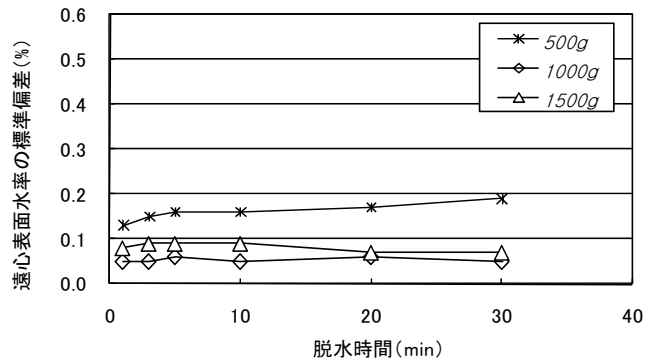


図-8 脱水時間と遠心表面水率の標準偏差との関係 (砕砂: No.43)

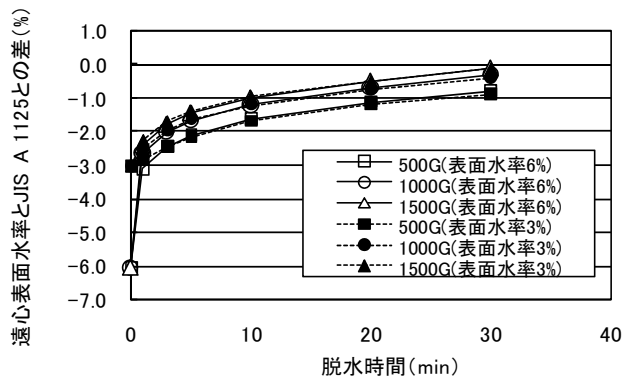


図-9 細骨材の含水率が遠心表面水率の試験結果に与える影響(山砂: No. 14)

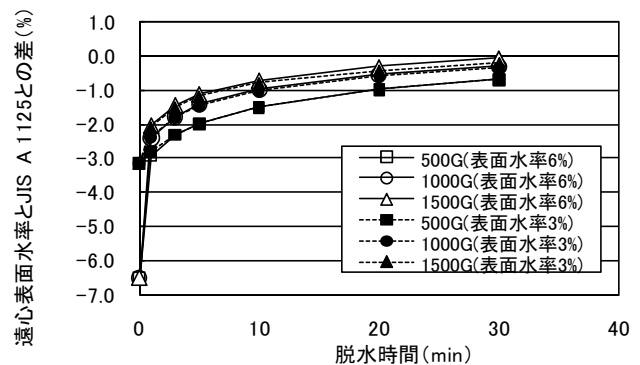


図-10 細骨材の含水率が遠心表面水率の試験結果に与える影響(川砂: No.8)

## 5. 試験方法の提案

細骨材の遠心表面水率試験方法として、以下の条件を提案する。

- 1) 遠心加速度の大きさは、1,000～2,000g (10,000～20,000m/s<sup>2</sup>)とし、使用者が所定値を定める。
- 2) 脱水時のフィルタには、JIS P 3801 に適合の5種BまたはC種のろ紙を用いる。試験前、予め吸水させた後、2分間の遠心脱水を行う。
- 3) 試料の採取量は、約 100g とする。
- 4) 遠心脱水の所要時間は、10分とする。

これらの試験操作のフローは、図-12 に示すとおりである。

## 6. まとめ

レディーミクストコンクリートの工程管理における重要な要素の一つである細骨材の表面水率試験方法である遠心脱水法(JIS A 1802)についての改良のための基礎実験を行った。今回の検討で得られた成果を要約すれば、以下のとおりである。

- 1) 現行規格に規定された試料容器の形状、寸法が異なる遠心機を試験に適用した結果、現行の50%程度の遠心加速度である1,500g程度で試験が可能であることが示された。
- 2) 試験に用いる試料袋は、含水状態の変動の要因となるため、これをろ紙に変更することで、安定した結果を得ることができる。
- 3) 試験方法の見直しにより、迅速性と信頼性が向上した。

## 参考文献

- 1) 社団法人コンクリート工学協会：JCI-SE6 まだ固まらないコンクリートの単位セメント量及び水セメント比の試験方法，コンクリートの早期判定指針，1985.5
- 2) 加賀秀治ほか：遠心力による細骨材の表面水率試験方法の標準化のための実験結果，第5回生コン技術大会論文集，pp.207-214，1989.6
- 3) 金森茂生：砕砂の表乾状態調整の個人差が単位水量迅速測定結果に及ぼす影響，第14回生コン技術大会論文集，pp.195-200，2007.4
- 4) 村田二郎：コンクリートの水密性に関する研究，土木学会論文集，第77号，p.72，1961.11

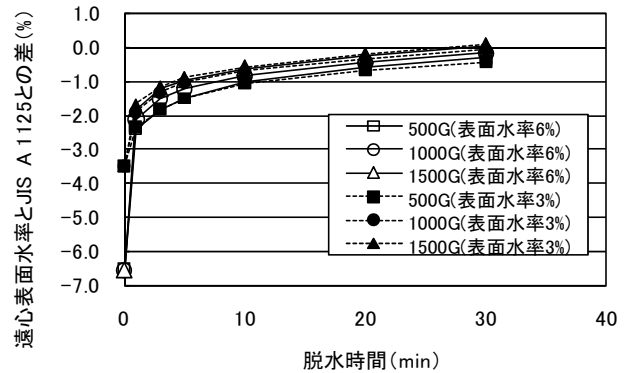


図-11 細骨材の含水率が遠心表面水率の試験結果に与える影響(砕砂:No.43)

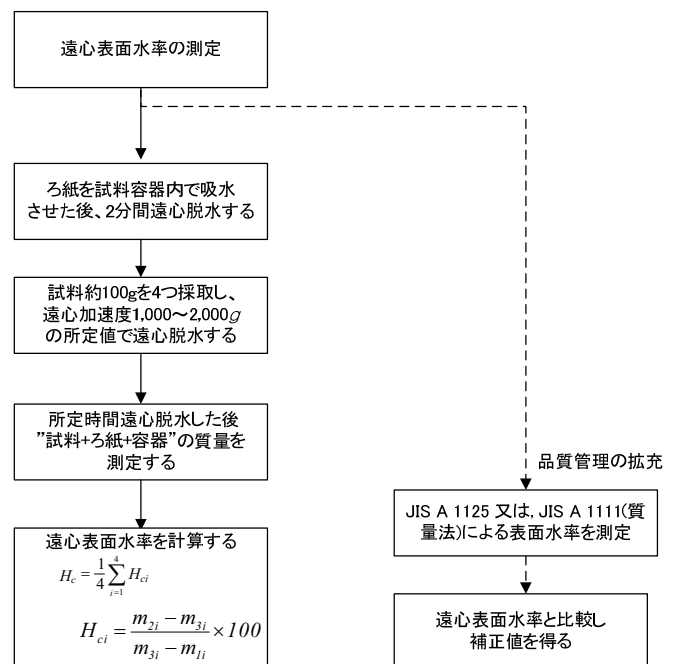


図-12 遠心表面水率の試験手順