

論文

[1001] 遠心力による細骨材の表乾状態調整方法

正会員 加賀秀治 (大成建設技術企画部)

正会員 吉兼 亨 (大有建設中央研究所)

正会員 辻 幸和 (群馬大学工学部)

正会員○飛坂基夫 (建材試験センター中央試験所)

1. はじめに

レデーミクストコンクリートの製造における品質変動要因の一つとして、細骨材の表面水率が挙げられる。JIS A 5308 (レデーミクストコンクリート) による JISマーク表示許可工場においては、同 JISの審査事項により1日2回以上細骨材の表面水率を測定することが義務づけられているが、より安定した品質のコンクリートを製造するためには、表面水率の測定回数を増やして、その変動に対応する必要がある。そのために、迅速かつ正確に表面水率を測定する試験方法の確立が望まれている。この一つの方法として、遠心力を利用して細骨材の表面に付着している水分を脱水し、脱水前後の質量差から表面水率を求める方法が考えられる。この方法については、既に筆者らのうち吉兼¹⁾、辻²⁾らが実験的検討を行ってきた。

本研究は、全国生コンクリート工業組合連合会内に設けられた「細骨材表乾調整小委員会」の委員会活動の一環として実施したもので、遠心力により細骨材の表乾状態を調整する上で検討が必要な各種要因について実験的な検討を行い、表乾に近い状態に調整するための条件を明らかにすることによりコンクリートの工程管理用試験方法の一つとして〔細骨材の表面水率試験方法(JIS原案)〕を作成することを目的とした。なお、本報告で述べる方法は、JIS A 1109 (細骨材の比重及び吸水率試験方法)の方法にとってかえることを意図したものではなく、表面水率の測定を迅速且つ正確に求める方法を確立することを目的としたものである。

2. 実験の内容

遠心力を用いて細骨材を表乾状態に調整する場合試験結果に影響を及ぼす要因としては、①細骨材の種類、微粉量及び含水状態、②遠心力の大きさ、③遠心力の作用時間、④1回の試験に用いる試料の量などが挙げられる。これらの要因について検討するために実施した実験の内容を表-1に示す。なお、表-1に示した実験No1については既に報告³⁾を行っており、適切な遠心脱水条件を選定することによりJIS A 1109に定められているフローコーン方法とほぼ同一の含水状態に調整することが可能であることを述べた。

表-1 実験の内容

実験番号	細骨材の種類	遠心脱水条件			目的
		遠心力	脱水時間	試料の量	
No 1	川 砂	2000 G	10分	100 g	遠心脱水条件の影響を川砂及びALAを用いて検討
		3000 G	20分	150 g	
3500 G		30分	200 g		
ALA	100 G	10分	100 g		
	150 G	20分	125 g		
	200 G	30分	150 g		
No 2	川 砂	3500 G	20分	150 g	含水率及び細骨材の種類の影響について検討
	混合砂	3500 G	20分	150 g	
	山砂A	3500 G	20分	150 g	
	砕砂A	3500 G	20分	150 g	
	陸 砂	3500 G	20分	150 g	
No 3	ALA	150 G	20分	125 g	洗い損失質量の影響について検討
	砕砂B	3500 G	20分	150 g	
	川 砂	3500 G	20分	150 g	
No 4	山砂C	3500 G	20分	150 g	採取時間を変えて採取した試料について検討
		3500 G	20分	150 g	

注) 比較のためJIS A 1109による吸水率、JIS A 1111及びJIS A 1125による含水率と表面水率の測定も行った。

3. 実験方法

(1) 試料

実験に使用した細骨材試料は、9種類（混合砂を含む）であり、その品質試験結果を表-2に示す。9種類の細骨材のうち川砂・陸砂・山砂A・砕砂A・砕砂B及びALAの粒度は、標準粒度範囲に入るが、山砂B・山砂C及び混合砂は微粉量が多く標準粒度範囲から外れている。

表-2 使用した細骨材の品質

細骨材の種類	比重	吸水率 %	洗い損失 %	通過質量百分率 %							F. M
				10mm	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
川砂	2.63	1.60	1.5	100	99	82	59	37	18	6	3.09
砕砂A	2.67	1.73	3.4	100	100	91	67	36	15	5	2.86
砕砂B	2.69	2.21	6.9	100	100	93	61	40	27	15	2.64
陸砂	2.50	4.58	0.8	100	99	78	55	31	12	2	3.23
山砂A	2.59	3.41	0.5	100	100	90	76	50	17	3	2.64
山砂B	2.54	4.14	1.4	100	100	100	97	91	80	42	0.90
山砂C	2.61	2.70	1.1	100	100	98	93	83	49	6	1.71
混合砂	2.51	4.75	1.2	100	100	89	76	61	46	22	2.06
ALA	1.88	16.14	5.5	100	100	94	66	37	20	10	2.73

注) 混合砂とは、陸砂と山砂Bを等量混合したもの。

(2) 遠心脱水機

実験に使用した遠心脱水機は、市販の装置であり、その仕様を表-3に示す。なお、測定には遠心脱水機の他に金属製試料カップ（内径65mm、深さ130mm、容積425mlの排水孔・フィルタ付）、試料袋及び落とし蓋が必要である。参考のため本装置を用いた場合の遠心力の大きさと回転数の関係を表-4に示す。

表-3 遠心脱水機の仕様

回転数	約 600~3000rpm
遠心力	約 100~3500G
内部仕様	試料カップ4ヶ掛け
試料の重心位置	約 219mm

表-4 遠心力と回転数の関係

遠心力 G	回転数 rpm
2000	2880
3000	3600
3500	3880

(3) 実験の手順

- ①金属製試料カップに十分吸水させた状態の試料袋を入れ、この試料カップ4個を遠心脱水機の所定の位置にセットして3500G（ALAの場合は150G、以下同じ）の遠心力で2分間予備脱水を行い、試料袋の含水状態を一定にする。この状態で金属製試料カップの質量(W₁)を0.1gまで測定する。
- ②遠心脱水中における試料袋の脱水量の補正值を求めるため、この状態の金属製カップに落とし蓋をして3500Gの遠心力で20分間脱水し、落とし蓋を取り除いた状態の質量(W₂)を0.1gまで測定する。(W₁-W₂)を遠心脱水中における試料袋からの脱水量とする。
- ③①と同様にして予備脱水を行った試料カップ（試料袋を入れた状態）の質量(W₃)を量った後、150±1g（ALAの場合は125±1g）の試料を入れその質量(W₄)を測定する。
- ④試料カップに落とし蓋をして遠心脱水機にセットし、3500Gの遠心力で20分間脱水を行う。試料カップを取り出して落とし蓋を取り除き、その質量(W₅)を測定する。
- ⑤試料袋中の試料を取り出して、その質量(W₆)を測定した後、105℃で乾燥を行い、絶乾状態の試料の質量(W₀)を測定する。

(4) 結果の計算

遠心脱水後の含水率（以後遠心吸水率と呼ぶ）は(1)式で求められる。この遠心吸水率とJIS A 1109によって求めた吸水率の値がほぼ等しければ、その細骨材は遠心力により表乾状態に調整出来たことになる。

$$\left[\frac{W_6 - W_0}{W_0} \right] \times 100 \% \quad \text{--- (1)}$$

また、遠心力により脱水された試料の表面水量は、 $[(W_4 - W_5) - (W_1 - W_2)]$ で求められ、この値と遠心脱水時の試料の質量 $[(W_5 - W_3) + (W_1 - W_2)]$ から、(2)式により表面水率が求められる。

この表面水率は、JIS A 1111 (細骨材の表面水率試験方法) によって求めた表面水率と異なる (遠心脱水後の表乾比重と JIS A 1109 又は JIS A 1134 で求めた表乾比重が同じでない) ため、遠心表面水率と呼ぶ。

$$[(W_4 - W_5) - (W_1 - W_2)] / [(W_5 - W_3) + (W_1 - W_2)] \times 100 \% \text{ --- (2)}$$

4. 実験結果及び考察

4.1 吸水率に関する考察

(1) 試料の含水率と遠心吸水率の関係

試験に使用した試料の含水率と遠心吸水率との関係を図-1 に示す。この図によると、試料の含水率が大きいほど遠心吸水率がわずかながら小さくなる傾向が認められ、この両者の関係を直線とみなし最小自乗法により求めた実験式を図-1 中に併記した。これらの式を用いて試験時の試料の含水率が 1% 変化した場合の遠心吸水率に及ぼす影響を求めると 0.004~0.022% と非常に小さい。従って、遠心力により細骨材の遠心吸水率を求める場合には、試料の含水率の影響を無視することが可能である。なお、試料の含水率が大きくなるに従って遠心吸水率が小さくなる理由としては、含水率が大きいと表面水量が多く従って表乾状態になった場合の試料の量が少なくなり、試料の量が少なくなると得られる遠心吸水率が小さくなること³⁾ から説明が可能である。

(2) 試料中の洗い損失量の影響

試料中に含まれる洗い損失量が遠心吸水率の測定結果に影響を及ぼすか否かについて、No 3 の実験で検討を行った。その結果を図-2 に示す。同図中には JIS A 1109 に従って求めた吸水率の値も併記した。この図によると、洗い損失量が多くなるのに伴って吸水率の値も大きくなる傾向が認められる。なお、この図において川砂及び砕砂 B の場合には JIS の方法により求めた吸水率と遠心力による方法で求めた遠心吸水率の値がほぼ同じであるものの、山砂 B の場合にはこの両者によって求めた吸水率の値が大きく異なっている。

このことは、遠心吸水率と JIS の方法により求めた吸水率の差が、洗い損失量以外の要因による影響をうけていることを示している。

洗い損失量と遠心吸水率又は JIS 吸水率の関係を直線とみなし、最小自乗法によって砕砂 B の関係式を求めると、(3)式及

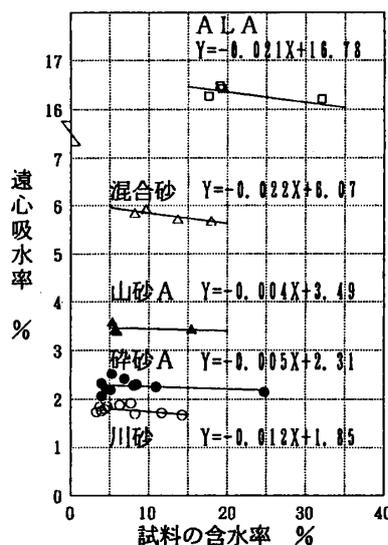


図-1 試料の含水率と遠心吸水率の関係

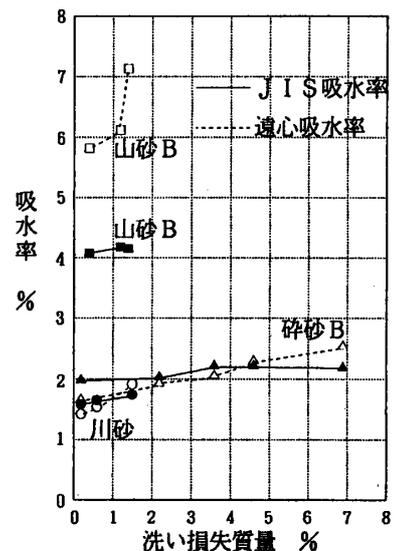


図-2 洗い損失質量と遠心吸水率の関係

び(4)式となる。これらの式から、洗い損失量が1%増加した場合には JIS吸水率で0.04%、遠心吸水率で0.13%大きくなり、遠心吸水率の方が JIS吸水率より洗い損失量の影響を受けやすいことがわかる。

$$\text{砕砂Bの遠心吸水率 (\%)} = 0.132 \times \text{洗い損失量} + 1.66 \quad \text{--- (3)}$$

$$\text{砕砂Bの JIS吸水率 (\%)} = 0.036 \times \text{洗い損失量} + 2.02 \quad \text{--- (4)}$$

(3) 遠心吸水率と JIS吸水率の比較

実験No 2 で実施した6種類の細骨材の遠心吸水率と JIS吸水率の値及び両吸水率の平均値の差を表-5に示す。

表-5 遠心吸水率と J I S 吸水率の比較

細骨材の種類	遠心吸水率 %				J I S 吸水率 %				(1)-(2)
	最大値	最小値	平均(1)	σ	最大値	最小値	平均(2)	σ	
川砂	1.84	1.67	1.74	0.059	1.66	1.62	1.64	0.017	+ 0.10
混合砂	5.93	5.69	5.80	0.110	4.88	4.56	4.56	0.139	+ 1.05
山砂A	3.58	3.40	3.46	0.080	3.61	3.32	3.32	0.136	+ 0.05
砕砂A	2.51	2.15	2.31	0.152	1.96	1.80	1.80	0.067	+ 0.47
陸砂	4.79	4.37	4.54	0.158	4.60	4.35	4.35	0.103	+ 0.03
A L A	16.48	15.94	16.27	0.213	—	—	16.14	—	+ 0.13

遠心吸水率と JIS吸水率との差は、細骨材の種類によって異なる傾向を示しており、文献³⁾で報告した川砂及び A L A は両者の差がそれぞれ0.10%及び0.13%でほとんど同じ値となり、既に報告したように、遠心力による方法で表乾に近い状態に調整出来ることが再確認出来た。山砂A及び陸砂についても両吸水率の差がそれぞれ0.05%及び0.03%であり、川砂及び A L A と同様に、遠心力による方法で表乾に近い状態に調整することが出来る。しかし、砕砂A及び混合砂の場合には、両吸水率の差がそれぞれ0.47%及び1.05%と大きくなっており、今回実施した条件（遠心力3500G、脱水時間20分、試料の量 150g）では JISの方法による表乾に近い状態とすることが無理である。従って、JISの方法による表乾に近い状態とするためには、①遠心力を大きくする、②脱水時間を長くする、③試料の量を少なくするなどの、試験条件を変えて実験を実施することが必要であるが、これらの条件を変更しても表乾に近い状態にすることが不可能な場合も考えられる。

遠心吸水率と JIS吸水率の測定結果の変動を（最大値-最小値）及び標準偏差 σ で比較すると両者の間に大きな差は認められない。遠心吸水率は JIS吸水率に比べ測定者による個人誤差が少なくなることを考えると、むしろ変動が小さくなるものと考えられる。

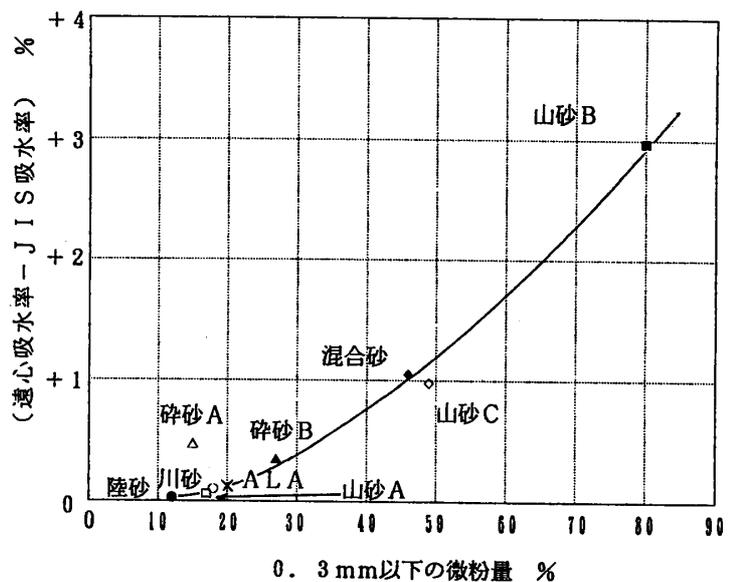


図-3 0.3 mm 以下の微粉量と（遠心吸水率- JIS吸水率）の関係

(4) 試料中の微粉量と（遠心吸水率－JIS吸水率）の関係

試料に付着している表面水を遠心力により脱水する場合の脱水の容易さは、試料中の微粉の量による異なる。そこで、各試料中の0.3mm以下の微粉量と（遠心吸水率－JIS吸水率）の関係を求めると図-3が得られる。この図によると0.3mm以下の微粉量と（遠心吸水率－JIS吸水率）の間には良い相関関係が認められ、0.3mm以下の微粉量が30%以上になると両者の差が顕著になり、0.3mm以下の微粉量が20%以下の場合にはその差が比較的小さくなっている。これらのことから考えると一般に微粉量の少ない試料の場合には、遠心力による方法で求めた遠心吸水率とJIS吸水率はほぼ等しくなると推察される。しかし、砕砂Aのように0.3mm以下の微粉量が20%以下の細骨材でも（遠心吸水率－JIS吸水率）の値が0.5%近くになる結果も一部に得られており、更にデータの蓄積が必要である。遠心吸水率に影響を及ぼす試料中の微粉量としては、前述した0.074mm以下の洗い損失量より0.3mm以下の粒子で考えることが望ましい。

(5) 生コンクリート工場で採取した試料の結果

本研究の最終目的は、検討の結果得られた試験方法を生コンクリート工場の工程管理に利用することである。そこで、実際の生コンクリート工場においてコルゲートサイロから引き出される細骨材のサンプルを時間を変えて採取した山砂C試料5個を用いて、No4の実験を実施した。実験の結果得られた遠心吸水率の値は3.58～3.81%、標準偏差は0.108%であり、同じ試料を用いて測定したJIS吸水率の値は2.50～2.90%、標準偏差は0.156%となり、吸水率の差が約1%あった。吸水率の差が大きくなった原因としては、試験に使用した山砂Cの粗粒率が1.71で細かく、0.3mm以下の微粉量が49%と多いことによる。なお、吸水率の標準偏差は遠心吸水率の方が小さく安定している。

4.2 表面水率に関する考察

(1) 試料の含水率と遠心表面水率の関係

試験に使用した試料の含水率と遠心表面水率との関係を図-4に示す。この図によると、試料の含水率にはほぼ比例して遠心表面水率が大きくなることが認められる。両者の関係を直線式と見なし最小自乗法によって求めた実験式を図-4中に併記した。

(2) 表面水率測定方法の比較

本実験では、遠心力表面水率の他にJIS A 1111に定められた重量方法並びにJIS A 1125（骨材の含水率試験方法及び含水率に基づく表面水率の試験方法）による表面水率も測定した。JIS A 1125により求めた表面水率を基準とし、遠心表面水率及びJIS A 1111により求めた表面水率との差を表-6に示す。遠心表面水率はJIS A 1111によって求めた表面水率よりJIS A 1125との差が大きくなっているものの、JIS A 1125との差は一定の傾向を示しており、この補正を行うことにより生コンクリート工場において精度よく工程の管理に利用できるものと考えられる。

なお、遠心吸水率とJIS吸水率との差が大きかっ

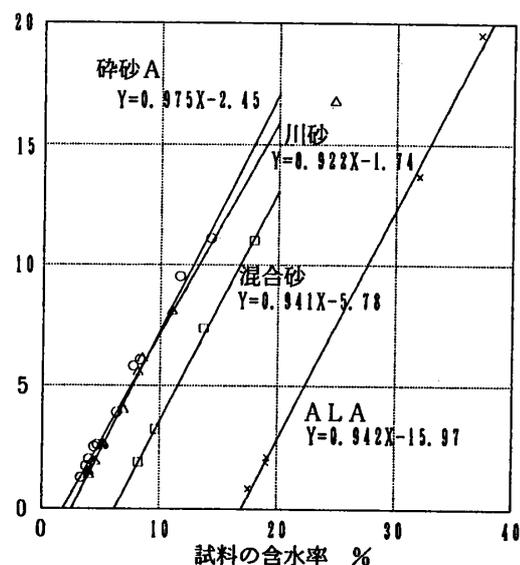


図-4 試料の含水率と遠心表面水率の関係

た山砂B、山砂C及び混合砂の場合には遠心表面水率とJIS A 1125によって求めた表面水率との差が1%以上と大きくなっている。これらの試料は3.(1)で述べたように標準粒度範囲から外れた細骨材であり、標準粒度範囲に入る川砂・陸砂・山砂A及びALAの場合には、その差が0.5%以下と小さくなっている。

5. まとめ

生コンクリート工場における工程管理用試験方法の一つとして、遠心力による脱水を利用して表乾状態を調整し、この結果を利用して表面水率を求める方法について実験的な検討を行ったその結果以下のことが明らかとなった。

- (1)標準的な粒度分布の細骨材は、遠心力による脱水により JISの方法により作製した表乾に近い状態に調整することが可能であり、従って本方法を応用することにより細骨材の表面水率を迅速且つ正確に求めることができる。
- (2) 0.3mm以下の微分量が30%以上の細骨材の場合には、遠心吸水率と JIS吸水率の差が大きくなる。このような試料については、脱水条件を変えた実験的検討が必要である。
- (3)吸水率の標準偏差は、遠心吸水率と JIS吸水率の間に差は認められなかった。しかしながら、測定における個人誤差を考えると遠心吸水率の方が変動は小さくなると推察される。
- (4)試料の含水率の変化が遠心吸水率に及ぼす影響はわずかである。
- (5)試料中に含まれる洗い損失量の変化が遠心吸水率に及ぼす影響は、洗い損失量1%について0.15%程度である。
- (6)試料の含水率と遠心表面水率の間には比例関係が認められた。
- (7)表面水率は、測定方法によって多少差が認められ、遠心吸水率と JIS吸水率との差の大きい標準粒度範囲から外れる試料ほど、その差が大きくなる。

参考文献

- 1)吉兼 亨、中島佳郎：遠心脱水による細骨材の表面乾燥飽水状態について：土木学会論文集 第 396号/V-9：1988年8月、pp.151～158
- 2)辻 幸和、二羽淳一郎、伊東靖郎、岡村 甫：遠心力を利用した細骨材の保有水試験方法、土木学会論文集 第 384号/V-7、1987年8月、 pp.103～109
- 3)加賀秀治、吉兼 亨、飛坂基夫、鈴木弘一：遠心力による細骨材の表乾状態調整方法に関する検討（その1 遠心脱水条件について）、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、昭和63年10月、pp.421～422

〔細骨材表乾調整小委員会の構成〕主査 加賀秀治、委員 野尻陽一、辻 幸和、豊福俊泰、福士 勲、榊田佳寛、鈴木庸夫、吉兼 亨、関口賢二、西 晴哉、岩永明男、熊川誠一、事務局 田代利明、安田俊一。

表-6 表面水率測定方法の比較

細骨材 の種類	JIS A 1125との差%	
	遠心方法	JIS A 1111
川砂	- 0.48	- 0.25
砕砂A	- 0.73	- 0.07
砕砂B	- 0.31	- 0.04
陸砂	- 0.38	- 0.13
山砂A	- 0.34	- 0.06
山砂B	- 2.78	- 1.05
山砂C	- 2.13	- 1.00
混合砂	- 1.40	- 0.25
ALA	- 0.04	- 0.06