砕石粉の含水状態の指標および密度の試験方法に関する検討 STUDY ON TEST METHODS OF WATER ABSORPTION AND DENSITY OF CRUSHED STONE FINES

大橋 正治*, 田村 博**
Masaharu OHASHI and Hiroshi TAMURA

Studies on test methods of water absorption and density of crushed stone fines as additives for concrete were carried out, and the following two findings were obtained.

1. The percentage of absorbed water of the crushed stone fines in the moisture-saturated condition is available as an index of the effective water in a concrete mixture using the fines.
2. The Le Chatelier flask conformed to JIS R 5201 is suitable for measuring the density of the crushed stone fines as an additive for concrete.

Keywords: Crushed stone fines, Water content per unit volume of concrete, Percentage of absorption, Percentage of absorbed moisture, Density

砕石粉, 単位水量, 吸水率, 吸着水率, 密度

1. はじめに

本研究では、砕石・砕砂の製造過程（図1参照）で副産される砕石粉¹⁾を、コンクリート用混和材として有効利用することを目的とし、そのための砕石粉の品質規準について検討している²⁾。本報では、コンクリート調合における単位水量算出の際の、普通骨材でいう表乾状態に相当する砕石粉の含水状態の指標および密度の試験方法とコンクリート実験の結果について述べる。

単位水量は、「フレッシュコンクリート1m³中に含まれる水量。ただし、骨材中の水量は含まない」と定義されている³⁾。日常のコンクリート製造においては、時々刻々と変化する骨材の含水状態を把握し、あらかじめJIS A 1109⁴⁾によって求めておいた吸水率をもとにして有効含水量あるいは表面水量に相当する水量を補正しながら練り混ぜている。

本研究で対象としている乾式の製造過程で集塵される砕石粉は、粒径分布範囲0.6mm~1μm, 50%粒径50μm~10μm程度²⁾の細骨材より細かくセメントよりやや粗い粒度である。この砕石粉の含水状態は、製造過程における自然環境の変化や保管状態によって変化する。コンクリート用混和材として使用しコンクリートを練り混ぜる際には、普通骨材と同様に、砕石粉の含水状態に応じた水量の補正が必要であると考え。そのためには、単位水量に含まな

図1 砕石・砕砂の製造工程の一例¹⁾

い砕石粉中の水と単位水量に含む水とに区別するための、有効水量に関する含水状態の指標を定義しなければならないが、粒径分布範囲の異なる砕石粉に、細骨材に対する現行のJIS試験方法を適用

* 財団法人日本建築総合試験所材料部中央試験室

** 財団法人日本建築総合試験所材料試験室 工博

Construction Materials Lab., Central, Material Dept. General Building Research Corporation of Japan
Material Dept., General Building Research Corporation of Japan, Dr. Eng.

するには無理がある。またそれと同時に、砕石粉の調合計算に用いる密度についても定める必要がある。この調合計算に用いる密度は、フレッシュコンクリート中での、砕石粉の内部と考えられる水を含んだ状態の見掛けの密度である。

2. 砕石粉の有効水量に関する含水状態の指標について

普通骨材の含水状態は、図2⁵⁾に示したように、a)絶対乾燥状態、b)気乾状態、c)表面乾燥飽水(表乾)状態およびd)湿潤状態に区分され、c)表乾状態を、コンクリート調合上の単位水量に含まない骨材中の水と単位水量とに区別するための、有効水量に関する含水状態の指標として定義している。この表乾状態を図3に示した粒子断面の例⁶⁾に当てはめると、粒子表面の滑らかな部分は乾いているが、表層部の裂け目や割れ目、洞穴あるいは凹み部分にはある程度の水分が保たれているものと考えられ、それらの粒子表層部に保たれた水も吸水量に含まれる。一方、当該の試験方法では脱気できない、粒子内部の空洞や粒子表層の洞穴あるいは割れ目などにも存在すると考えられる空隙は、粒子の一部とみなされることになる。

図2 骨材の含水状態⁵⁾

図3 粒子断面の例⁶⁾

細骨材の各粒度群別の吸水率試験結果を表1に示す。試験には九州玄界灘唐津産海砂ならびに兵庫県家島産砕砂の2種類の細骨材を用いた。それぞれの細骨材を各粒度群別にふるい分け、さらに水洗したものを試験試料とし、JISA 1109の方法に従って各粒度群別の吸水率を求めた。なお、同法では、細骨材を24時間水浸して吸水させた後、暖かい風を静かに送りながら均等に乾燥させ、細骨材の表面に幾分表面水があるときに、規定の方法で試料をフローコーンに詰めこれを引き上げる。その作業を、試料を徐々に乾燥させながら繰り返し、フローコーンを引き上げたときに細骨材のコーンがはじめてスランプしたとき、表乾状態であるとしている。ただし、この方法では、細かい単粒は乾いているように見えてスランプせず、粗い単粒は濡れているように見えてスランプする⁷⁾ため、今回は視察による判断も加味して表乾状態を決定した。なお、同表には、既報告から矢作川産川砂の試験結果⁸⁾も抜粋・記載した。また、それらの粒度群別の吸水率試験結果をy軸に、各粒度群の通過するふるいと留まるふるいの呼び径の平均値(ただし、ふるいの呼び径0.15mm以下の場合はその1/2)を単純にその粒度群の直径として

算出した球の表面積/球の体積(S/V値)を各粒度群の指標としx軸にとって図4に示す。同図で右肩上がりの傾向を示す粒度の吸水率は、粒子の体積よりも表面積の影響が強くなることを示し、試験に用いた砕砂では0.6~0.3mmより小さい粒度群でその傾向となった。本研究で対象としている砕石粉の粒径分布範囲は0.6mm~1μmであることから、その砕石粉の吸水能力は、粒子表層部に保たれて粒子内部とみなされる水に着目するのがよい考えられた。

表1 細骨材の各粒度群別の吸水率試験結果

試料の粒度群 (mm)		球表面積(S) 球体積(V) (mm ² /mm ³)	吸水率 (%)		
通過するふるい目	留まるふるい目		砕砂	海砂	川砂 ⁸⁾
10	5	0.8	—	3.02	0.86
5	2.5	1.6	—	1.34	0.80
2.5	1.2	3.2	1.31	1.58	1.11
1.2	0.6	6.7	0.96	0.76	1.29
0.6	0.3	13.3	1.08	1.10	1.77
0.3	0.15	26.7	1.51	1.59	2.04
0.15	—	80.0	4.31	—	—

注) 通過するふるい目と留まるふるい目の呼称寸法の平均値を直径とする。球の表面積(S)/球の体積(V)。ただし、呼称寸法0.15mmを通過する粒度群については球の直径を0.075mmで計算。

図4 吸水率と細骨材の各粒度群に対するS/V値との関係

相当張力 pF	水柱 気圧 (cm) (atm)	粒子系		単一粒子		水分	
		水の形態	アッダー・ヘルグ 限界値	充填構造	水の形態	水の形態	水分
8 - 10 ⁸ - 10 ⁵		化合水 (結晶水) 吸蔵水			化合水 吸蔵水	結合水	総水分
7 - 10 ⁷ - 10 ⁴			105°C 乾燥状態			水	全水分
6 - 10 ⁶ - 10 ³		吸湿水	風乾状態	懸垂域	吸着水	水分	水分
5 - 10 ⁵ - 10 ²		膨潤水		繊維状域	付着水	自由水分	
4 - 10 ⁴ - 10 ¹		毛管水	pF=4.2		水		
3 - 10 ³ - 1			塑性限界	毛管域			
2 - 10 ² - 10 ⁻¹		毛管重力水					
1 - 10 ¹ - 10 ⁻²		重力水	液性限界	流動域			

図5 粉粒体における単一粒子の水の存在形態⁶⁾

粉粒体における水の状態を図5⁶⁾に示す。同図の水の形態では、化合水と吸蔵水、吸着水(吸湿水)までが結合水と考えられており、このうち化合水と吸蔵水は、105℃の乾燥状態(図2中の絶対乾燥状態相当)で粒子内部に存在する水である。したがって、コンクリート用混和材として用いる碎石粉では、図4中の風乾状態を湿気飽和状態までもっていき、この湿気飽和状態下で粒子の結合水と考えられる吸着水量を、コンクリート骨材でいう吸水量に置き換えれば良いと思われる。なお、吸着水量は、粒子の比表面積に強く依存することが知られている⁶⁾。

3. 碎石粉の吸着水率の測定

吸着水率の試験方法としての適用性についての検討を、表2に示した12種類の碎石粉および、比較用石粉として石灰石粉と2種類の粘土粉を用いて行った。試験は、図6のフローチャートにしたように、まず試料の絶乾状態の質量を測定し、その後、相対湿度95%以上の多湿室内で、試料の入った容器の内面が結露しないように静置して表面から湿気を試料に吸着させ、質量がほぼ一定となったときの試料の質量から水分吸着量を求め、吸着水率を算出した。

試験結果を表2および図7に示す。なお、本方法では、碎石粉がほぼ一定質量となるまでに約3週間を要した。

窒素吸着法によって測定した比表面積と吸着水量の関係を図8に、メチレンブルー吸着量²⁾と吸着水率の関係を図9に示す。それらの図から、窒素吸着法によって測定した比表面積およびメチレンブルー吸着量のいずれもが、吸着水率との間に正の相関関係があった。ただし、碎石粉のみに注目すれば、窒素吸着法によって測定した比表面積と吸着水率の関係は明確でなかった。

以上の結果から、本法による吸着率試験方法を碎石粉に適用することは可能であるが、試験結果を得るまでには3週間程度の長時間を要すること、および、試験期間1~2日程度の短時間で求められるメチレンブルー吸着量から碎石粉の吸着水率を精度良く推定することが可能なことが確認された。

図6 碎石粉の吸着水率試験の手順

図7 石粉の吸着水率試験結果

表2 石粉の種類、化学組成、比表面積、メチレンブルー吸着量および吸着水率測定結果

石粉の種類		岩 質 名	化 学 組 成 （%）								窒素吸着法 による 比表面積 (m ² /g)	メチレンブルー ²⁾ 吸着量 (mg/g)	吸着水率 (%)	
			ig.loss.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O				
砕 石 粉	DR-1	硬質砂岩	8.3	54.9	5.3	15.0	7.2	2.4	1.8	2.5	6.9	3.7	1.5	
	DR-3	硬質砂岩	9.8	52.6	4.4	13.5	10.6	2.4	2.8	1.7	—	2.2	1.1	
	DR-4	硬質砂岩	12.5	48.1	4.3	12.9	13.7	2.1	2.3	1.8	6.2	6.2	2.5	
	DU-4	硬質砂岩	12.3	48.2	4.9	13.6	13.0	1.9	2.7	2.0	6.9	5.1	1.7	
	DU-5	硬質砂岩	2.8	59.6	5.3	15.3	8.3	2.7	2.5	1.8	—	4.8	1.4	
	DU-6	硬質砂岩	3.0	58.5	5.5	16.1	7.5	2.4	2.2	1.9	—	3.9	1.4	
	DU-7	硬質砂岩	7.2	54.9	4.4	14.5	9.8	2.1	3.3	2.3	—	1.6	0.9	
	DU-8	硬質砂岩	11.3	49.4	4.6	13.3	13.1	2.4	2.8	1.6	—	2.0	1.2	
	DU-11	流 紋 岩	2.4	68.3	2.3	15.6	2.7	0.2	2.8	4.2	6.7	9.8	2.1	
	DU-13	石英斑岩	1.9	71.0	3.3	14.8	1.3	0.3	2.5	4.0	4.3	5.9	1.6	
	DU-14	硬質砂岩	1.5	60.3	6.0	14.9	7.9	2.5	3.5	1.5	—	2.5	1.0	
DU-19	流 紋 岩	2.2	69.7	2.4	15.4	1.3	0.2	3.0	4.0	—	3.8	1.5		
比較用 石粉	石灰石粉	FL-1	石 灰 岩	42.8	0.1	0.1	0.6	54.3	0.9	0.1	0.0	2.8	0.1	0.2
	粘土粉	Fc-1	スメクタイト	5.4	63.5	4.6	18.3	1.0	0.5	1.3	2.3	29.0	42.8	7.5
		Fc-2	カオリン鉱物	5.4	72.5	1.3	16.1	0.6	0.3	0.1	1.2	—	14.2	3.4

図8 窒素吸着法による比表面積と吸着水率の関係

図9 メチレンブルー吸着量と吸着水率の関係

4. 密度試験方法の検討

粒子密度の測定方法は、液浸法と気体容積法に大別され、コンクリート用材料の密度試験としては液浸法が一般的に採用されている。本報では、碎石粉の密度試験方法として、Le Chatelier 比重びん法およびピクノメーター法を取り上げ、比較検討した。いずれも浸液法である。Le Chatelier 比重びん法はセメントの密度を求める方法として、JIS R 5201⁹⁾に、ピクノメーター法は土の密度を求める方法として JIS A1202¹⁰⁾にそれぞれ規定されており、それらの方法に準拠して密度試験を実施した。

密度試験に用いた石粉は、先の吸着水率の測定に用いたものと同じ、12種類の碎石粉ならびに比較用石粉としての石灰石粉および2種類の粘土粉である。

試験結果を表3に、両者の比較を図10に示す。試験に用いた多くの碎石粉および石灰石粉では、Le Chatelier 比重びん法で求めた密度が、ピクノメーター法で求めた密度と同等か僅かに小さくなる程度であったのに対し、碎石粉 DR-3 および DR-4 や、特に粘土粉 Fc-1 および Fc-2 では、Le Chatelier 比重びん法で求めた密度が、ピクノメーター法で求めた密度を下回っていた。

ピクノメーター法では、湯煎法によって脱気したので粉体の真密度に近い値が得られていると考えられる。一方、Le Chatelier 比重びん法では浸液中に浸け、振倒・転倒することによって脱気しているので、完全な脱気は望めない。ピクノメーター法で求めた密度を下回っていた碎石粉や粘土粉には、その表層部に、脱気できない空隙を保持した洞穴や割れ目などが存在したからであると推察する。

コンクリート分野においては見掛け密度が使われる¹¹⁾。その材料がフレッシュコンクリート中におかれた状態の見掛けの密度がコン

表3 石粉の密度試験結果

粉体の種類		密度 (g/cm ³)	
		Le Chatelier 比重びん法	ピクノメーター法
碎石粉	DR-1	2.71	2.74
	DR-3	2.63	2.71
	DR-4	2.61	2.71
	DU-4	2.70	2.72
	DU-5	2.74	2.75
	DU-6	2.73	2.75
	DU-7	2.70	2.7
	DU-8	2.73	2.73
	DU-11	2.62	2.66
	DU-13	2.66	2.69
	DU-14	2.76	2.77
	DU-19	2.64	2.66
比較用 石粉	石灰石粉 FL-1	2.71	2.71
	粘土粉 Fc-1	2.46	2.68
	粘土粉 Fc-2	2.59	2.73

図10 密度試験結果の比較

クリートを調合する上で必要とされる。したがって、過度な脱気を行わない JIS R 5201 に規定する Le Chatelier 比重びん法は、コンクリート用混和材として用いる碎石粉の密度試験に適していると考えられる。

なお、相対湿度95%以上の多湿雰囲気中での碎石粉の水分吸着均衡状態の密度 ρ_{Aw} (g/cm³) は、そのときの吸着水がすべて乾燥状態の粒子表面外側に結合すると考え、Le Chatelier 比重びん法により求めた乾燥状態の密度 ρ_D (g/cm³) と吸着水率 A_w (%) から下式によって算出した。

$$\rho_{Aw} = \rho_D(1 + A_w/100) / (1 + \rho_D \times A_w/100) \quad (1)$$

吸着水率と Le Chatelier 比重びん法による密度の関係を図11に示す。吸着水率と Le Chatelier 比重びん法による密度には負の一次相関関係が確認された。また、コンクリート用混和材としては適さないと考えられる2種類の粘土は、いずれも吸着水率が大きく密度が小さかった。このことから、この吸着水率と密度は、碎石粉の品質を判定するための指標となる可能性が高いものと思われる。

図 11 吸着水率と Le Chatelier 比重びん法による密度の関係

5. 石粉使用コンクリートによる実験結果

コンクリート用混和材としての砕石粉の用途に、流動化コンクリートあるいは高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートでコンクリート中の粉体量が不足し分離傾向を示す場合の、分離低減材が挙げられる。そこで、そのような場合に該当すると思われる調合のコンクリート（基準コンクリート）と、およびこれに 12 種類の砕石粉あるいは比較用石粉としての石灰石粉ならびに 2 種類の粘土粉を使用した、合計 15 種類の石粉使用コンクリートを試し練りした。

表 4 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度 3.15g/cm^3
細骨材	岡山県日比産海砂 絶乾密度 2.54g/cm^3 吸水率 1.48%
粗骨材	大阪府長尾山産砕石 (砕石 2005) 絶乾密度 2.69g/cm^3 吸水率 1.48%
混和剤	ポリカルボン酸系 高性能 AE 減水剤
砕石粉	DR-1, DR-3, DR-4 DU-4, DU-5, DU-6 DU-7, DU-8, DU-11 DU-13, DU-14, DU-19
比較用 石粉	FL-1(石灰石粉) Fc-1, Fc-2(粘土粉)

表 6 石粉使用コンクリートの試験結果

コンクリートの種類 (石粉の種類)			使用時の 含水率 (%)	混和剤 使用量 (C+F) ×%	スランプ (cm)	空気量 (%)	ブリーディ ング量 (cm ³ /cm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	
								材齢7日	材齢28日
基準コンクリート (ー)			—	1.0	17.0	3.9	0.27	22.2	29.3
石粉使用 コンクリート	砕石粉	DR-1	1.4	1.0	18.0	5.3	0.08	23.2	31.0
		DR-3	2.5	1.0	18.5	5.5	0.12	22.1	28.7
		DR-4	3.3	1.0	18.0	5.0	0.10	23.1	30.6
		DU-4	0.9	1.0	18.5	4.4	0.09	24.5	31.9
		DU-5	1.2	1.0	17.5	4.5	0.10	24.1	31.8
		DU-6	0.9	1.0	18.0	4.5	0.11	24.1	32.1
		DU-7	0.5	1.0	18.5	4.6	0.10	24.3	31.6
		DU-8	2.2	1.0	18.0	4.7	0.09	23.6	31.4
		DU-11	5.0	1.0	17.5	4.9	0.08	22.8	30.0
		DU-13	1.0	1.0	18.0	4.2	0.08	23.3	31.3
		DU-14	0.7	1.0	18.5	5.0	0.09	23.7	31.7
		DU-19	1.2	1.0	17.5	5.3	0.09	22.4	28.7
	石灰石粉	FL-1	0.1	1.0	19.0	5.2	0.18	22.8	29.4
	粘土粉	FC-1	5.9	2.8	19.0	3.8	0.09	23.9	32.8
		FC-2	3.8	2.0	19.5	3.7	0.11	25.2	32.4

表 5 コンクリートの調合

コンクリートの種類	目 標 スランプ (cm)	目 標 空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (m^3/m^3)					混和剤 adm (C+F) × %
					水 W	セメント C	砕石粉 F	細骨材 S	粗骨材 G	
基準コンクリート	18 ± 1	4.5 ± 1	60.0	47.5	0.180	0.095	—	0.323	0.357	1.0
石粉使用コンクリート							0.016	0.307

図 12 コンクリート圧縮強度と空気量の差の関係

コンクリートの圧縮強度と石粉を使用した空気量との間には負の一次相関関係があり、直線回帰式から求めた空気量 1%の増加に対するコンクリートの圧縮強度低下率は、材齢 7 日で 5.2%、材齢 28 日 6.3%であった。なお、同図から石粉使用コンクリートの圧縮強度は、基準コンクリートに比べてやや大きくなる傾向が窺えた。

石粉使用コンクリートの圧縮強度について、前述の直線回帰式から空気量 4.5%相当の圧縮強度に補正した表 7 に示す。この石粉使用コンクリートの空気量で補正した圧縮強度を z スコアで評価¹³⁾すると、砕石粉 DU-19 を用いたコンクリートの材齢 28 日圧縮強度試験結果 No.1 の z スコアが -2.36 となったが、その他の z スコアはすべて約 95%信頼区間内と考えられる ± 2 の範囲内に位置した。なお、砕石粉 DU-19 を用いたコンクリートについても供試体 3 体の平均値の z スコアは ± 2 の範囲内となる。また、圧縮強度試験における避けられない試験誤差は変動係数で 5%程度はあるので¹⁴⁾、本実験の石粉使用コンクリートの圧縮強度は、いずれの石粉を使用した場合にも有意な差はないと評価することができる。また、この砕石粉使用コンクリートの圧縮試験結果からは、吸着水率をもとにそれぞれの石粉の含水状態に応じて水量を補正したことによる不合理な点は認められなかった。

6. 結論

砕石粉をコンクリート用混和材として使用する際に必要となる、単位水量算出のための含水状態の指標および密度の試験方法について検討した結果、以下のことが考察された。

- ① 細骨材中の粒径が小さな粒度群では、JIS A 1109 による吸水率はその粒子の表面形状の影響を強く受ける。
- ② 粒子の水の存在形態から、フレッシュコンクリート中で砕石粉の粒子内部とみなされるのは結合水量と吸着水量であると考えられ、吸着水量はコンクリート骨材という吸水率に相当する。
- ③ コンクリート用混和材として用いる場合の、砕石粉の密度の測定には、JIS R 5201 に規定されている Le Chatelier 比重びん法が適用できる。
- ④ 石粉の吸着水率および密度は、砕石粉の品質を判定する指標としても利用できる可能性がある。
- ⑤ 今回のコンクリートによる実験では、砕石粉を使用する際に上記の吸着水率および密度を適用したことによる不合理な点は認められなかった。

表 7 石粉使用コンクリートの圧縮強度試験結果詳細

石粉の供試体 種類 番号	圧縮強度		空気量 4.5% 相当に補正した圧縮強度	
	材齢 7 日 (N/mm ²)	材齢 28 日 (N/mm ²)	材齢 7 日 (N/mm ²) z スコア	材齢 28 日 (N/mm ²) z スコア
DR-1	No.1 23.1	31.1	24.1 0.30	32.7 1.46
	No.2 23.0	31.1	24.0 0.15	32.7 1.46
	No.3 23.4	30.9	24.4 0.75	32.5 1.24
DR-3	No.1 22.2	28.4	23.4 -0.75	30.2 -1.35
	No.2 22.5	28.9	23.7 -0.30	30.7 -0.79
	No.3 21.8	29.0	23.0 -1.34	30.8 -0.67
DR-4	No.1 22.8	30.6	23.4 -0.75	31.6 0.22
	No.2 23.5	30.3	24.1 0.30	31.3 -0.11
	No.3 23.0	30.8	23.6 -0.45	31.8 0.45
DU-4	No.1 24.4	32.2	24.3 0.60	32.0 0.67
	No.2 24.4	31.7	24.3 0.60	31.5 0.11
	No.3 24.6	31.7	24.5 0.90	31.5 0.11
DU-5	No.1 24.2	32.2	24.2 0.45	32.2 0.90
	No.2 24.3	31.7	24.3 0.60	31.7 0.34
	No.3 23.9	31.3	23.9 0.00	31.3 -0.11
DU-6	No.1 24.4	32.5	24.4 0.75	32.5 1.24
	No.2 23.9	32.0	23.9 0.00	32.0 0.67
	No.3 23.9	31.9	23.9 0.00	31.9 0.56
DU-7	No.1 24.4	32.2	24.5 0.90	32.4 1.12
	No.2 24.2	31.5	24.3 0.60	31.7 0.34
	No.3 24.4	31.2	24.5 0.90	31.4 0.00
DU-8	No.1 23.9	31.2	24.2 0.45	31.6 0.22
	No.2 23.3	31.6	23.5 -0.60	32.0 0.67
	No.3 23.6	31.5	23.9 0.00	31.9 0.56
DU-11	No.1 22.9	30.6	23.4 -0.75	31.4 0.00
	No.2 22.7	29.3	23.2 -1.04	30.0 -1.57
	No.3 22.6	30.0	23.1 -1.19	30.8 -0.67
DU-13	No.1 23.1	31.6	22.7 -1.79	31.0 -0.45
	No.2 23.4	30.9	23.0 -1.34	30.3 -1.24
	No.3 23.4	31.2	23.0 -1.34	30.6 -0.90
DU-14	No.1 24.2	31.9	24.8 1.34	32.9 1.69
	No.2 23.4	31.5	24.0 0.15	32.5 1.24
	No.3 23.5	31.7	24.1 0.30	32.7 1.46
DU-19	No.1 21.8	27.9	22.7 -1.79	29.3 -2.36
	No.2 22.5	29.5	23.5 -0.60	31.0 -0.45
	No.3 22.8	28.7	23.8 -0.15	30.1 -1.46
FL-1	No.1 22.8	29.9	23.6 -0.45	31.2 -0.22
	No.2 22.8	29.7	23.6 -0.45	31.0 -0.45
	No.3 23.0	28.6	23.9 0.00	29.9 -1.69
FC-1	No.1 24.2	32.2	23.3 -0.90	30.8 -0.67
	No.2 23.9	32.6	23.0 -1.34	31.2 -0.22
	No.3 23.5	33.3	22.6 -1.94	31.8 0.45
FC-2	No.1 24.6	32.8	23.6 -0.45	31.1 -0.34
	No.2 25.2	32.2	24.1 0.30	30.6 -0.90
	No.3 25.7	32.2	24.6 1.04	30.6 -0.90
平均値(N/mm ²)		23.5 31.0	23.8 —	31.4 —
標準偏差(N/mm ²)		0.85 1.30	0.56 —	0.85 —
変動係数(%)		3.62 4.19	2.35 —	2.71 —
メジアン(N/mm ²)		— —	23.9 —	31.4 —
IQR (N/mm ²)		— —	0.67 —	0.89 —
頑健変動係数(%)		— —	2.80 —	2.83 —

<参考文献>

- 1) 近畿砕石協同組合：岩石資源有効利用推進調査報告書 砕石粉のコンクリート用混和材への有効利用、1992 年。
- 2) 大橋正治、田村博、谷川恭雄：コンクリート用混和材としての砕石粉の有効利用に関する研究—砕石粉の粒度、比表面積および粘土分量試験方法に関する検討—、日本建築学会構造系論文集 第 532 号、2000 年 6 月。
- 3) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事、1997 年。
- 4) 日本工業規格 JIS A 1109-1999 細骨材の密度及び吸水率試験方法
- 5) 岡田清、六車熙編纂：改訂新版 コンクリート工学ハンドブック、朝倉書店、1981 年。
- 6) 粉体工学会編、粉体工学便覧、日刊工業新聞社、1986 年。
- 7) 後藤知以、今井広武：砂の実積率におよぼす粒度の影響について、日本建築学会北海道支部研究報告集 No.42、昭和 50 年 3 月。
- 8) 大井孝和、小池狭千朗、加藤善之助：三粒径グループから成る骨材の充填について、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和 53 年 9 月。
- 9) 日本工業規格 JIS R 5201-1997 セメントの物理試験方法。
- 10) 日本工業規格 JIS A 1202-1999 土粒子の密度試験方法。
- 11) 笠井芳夫、池田尚治編著：コンクリートの試験方法、技術書院、1993 年。
- 12) 日本工業規格 JIS A 5308-1998 レディミキストコンクリート 付属書 1 (規定) レディミキストコンクリート用骨材。
- 13) 通商産業省製品評価技術センター：工業標準化法に基づく試験事業者認定制度 (JNLA) に係る技能試験最終報告書建築材料分野 (コンクリート圧縮強度試験)、平成 12 年 12 月。
- 14) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事、1991 年。

(2001 年 6 月 7 日原稿受理、2001 年 12 月 3 日採用決定)