

コンクリートの乾燥収縮率の粗骨材品質による推定

山田 宏* 片平 博** 渡辺博志***

1. はじめに

コンクリートの乾燥収縮^{*}等に影響を与える要因の中では、単位水量の影響が大きいというのがこれまでの通説であった。土木構造物用途のコンクリートにおいて、できるだけ単位水量の低減を図る目的のひとつが乾燥収縮の抑制であった。

乾燥収縮に影響を与える要因は、実際には単位水量の他、コンクリート構造物の置かれる環境条件、材料物性や施工条件等、多岐にわたる。近年実施された調査結果によれば、コンクリートの乾燥収縮率に対する影響因子として、単位水量の影響は比較的小さく、むしろ、使用する粗骨材の種類の方が卓越することが報告¹⁾されている。従って、粗骨材の乾燥収縮率を把握することは、コンクリートの乾燥収縮率を予測する上で重要であると考えられる。また、一般的に、コンクリートの乾燥収縮率試験は期間を6ヶ月要するが、粗骨材の品質試験は、それよりも短期間で終了でき、試験実施にかかる労力は、コンクリートの試験に比べ、少なく済む。

しかし、粗骨材の乾燥収縮特性については、これまでの調査事例が必ずしも多くなく、測定方法の妥当性についても明確にはされてこなかった。

このような背景から本研究では、コンクリートの乾燥収縮率を推定するために粗骨材の乾燥収縮率に着目した。碎石を対象として、粗骨材の乾燥収縮率を測定するとともに、コンクリートの乾燥収縮率との関係について検討した。

2. 粗骨材粒子の乾燥収縮率の測定

2.1 使用した粗骨材の種類

表-1に示すそれぞれ産地および品質の異なるG1～G19の19種類の碎石を対象とした。粗骨材品質の影響を広い範囲で捉えるために、JIS A 5005「コンクリート用碎石及び砕砂」の規格を満足する粗骨材だけではなく、同規格を大きく外れる粗骨材も選定した。なお、粗骨材の最大寸法は、G6が15mm、G12、G13、G15、G18およびG19が20mm、その

表-1 粗骨材の種類と品質

分類	No.	岩種	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	安定性* (%)
火山岩	G1	安山岩	2.25	6.43	27.5
	G2	安山岩	2.63	1.66	3.8
	G3	安山岩	2.29	5.58	52.7
	G4	安山岩	2.47	2.74	72.9
	G5	安山岩	2.44	3.91	54.2
	G6	安山岩	2.65	2.67	14.8
	G7	安山岩	2.29	6.53	56.5
深成岩	G8	花崗岩	2.53	1.47	22.3
砕屑岩	G9	砂岩～シルト岩	2.37	4.96	89.7
	G10	砂岩	2.45	3.33	56.4
	G11	砂岩	2.65	0.50	3.3
	G12	砂岩	2.64	0.69	11.4
	G13	砂岩	2.57	1.56	34.8
	G14	頁岩	2.59	1.54	27.9
	G15	砂岩	2.64	0.99	17.3
火砕岩	G16	凝灰岩	2.48	4.38	45.3
	G17	凝灰岩	2.28	7.17	70.2
生物岩	G18	石灰岩	2.71	0.26	1.5
	G19	石灰岩	2.70	0.29	0.7

※網掛け・赤字はJIS A 5005の規格を満足しない物性値

*: 安定性損失質量百分率の略称

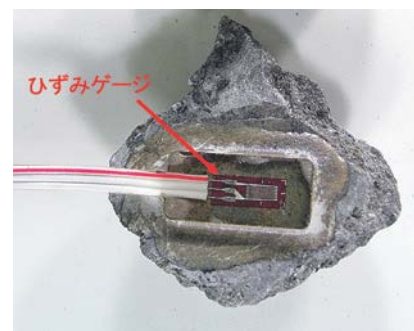


図-1 試験片の一例

他の粗骨材が25mmである。

2.2 粗骨材粒子の長さ変化試験

粗骨材の吸水・乾燥に伴う長さ変化の測定は、これまでいくつかの方法²⁾が試みられているが、本研究ではそれらの中で比較的簡易に実施可能なひずみゲージを用いる方法を選択した。

最大寸法付近の粗骨材を加工して試験片とした。

Simplified Estimation of Concrete Shrinkage by Coarse Aggregate Properties

*土木用語解説：乾燥収縮

試験片の一例を図-1 に示す。試験片の加工手順は、まず、粗骨材を切断し、平滑面を作製した。次に、平滑面に対して、ひずみゲージを貼付ける部分よりも若干大きめの面を防水処理した。さらに、防水処理面に防水型ひずみゲージを貼付けた後、ひずみゲージ全体を防水処理した。

粗骨材の長さ変化試験は、それぞれの試験片が 20℃・60%相対湿度 (Relative humidity (以下、RHと記す)) の環境でひずみの変動が無くなり、十分に安定した状態を確認した後に開始した。試験開始後、20℃・水中に浸漬する吸水過程と、20℃・60%RHの環境に静置する乾燥過程の中で、それぞれひずみの変動が安定した状態になるまでひずみを測定した。

吸水膨張率は、試験開始時点のひずみと吸水開始後、ひずみの変動が認められなくなった状態でのひずみの差とした。乾燥収縮率は、乾燥開始時点のひずみと乾燥開始後、ひずみの変動が認められなくなった状態でのひずみの差とした。

2.3 粗骨材の乾燥収縮率の実態

ひずみゲージによる粗骨材の長さ変化試験における測定結果の一例を図-2に示す。粗骨材G9のひずみの挙動は、セメントペースト等と同様に、吸水すると膨張し、乾燥すると収縮した。また、吸水膨張率と乾燥収縮率は、ほぼ等しい値となった。他の粗骨材についても同様であった。これ以降は、乾燥収縮率に関する結果を中心に示す。

粗骨材粒子の乾燥収縮率の測定には、粗骨材 1種類当たりの計測数 n を少なくとも 7 個とした。しかし、粗骨材の種類によっては測定値のばらつきが大きくなることが予想される。実施可能であれば、できるだけ多くの粗骨材粒子を計測することが望ましいが、使用機器の制約や試験に要する労力の問題もあるので、一律に計測数を増やすことも困難である。このため、一部の粗骨材について、粗骨材粒子の計測数を適宜増やし、ばらつきの程度が変化するかどうか、検討を行った。

測定が終了した順で計測数 7 個毎に累積して、それぞれ乾燥収縮率の平均値および標準偏差を算出した。なお、最終の累積では、端数分のみを計測数、もしくは端数分を加えた計測数とした。測定結果に与える計測数の影響の一例を図-3 に示す。粗骨材 G9 および粗骨材 G14 とともに、乾燥収縮率の平均値および標準偏差は、計測数の大小によらず、ほぼ一

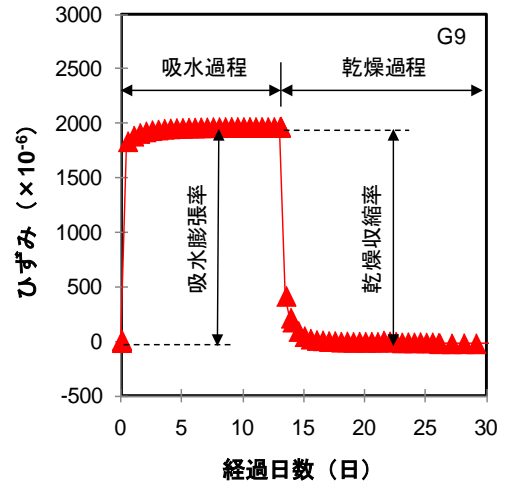


図-2 粗骨材G9の長さ変化試験の結果

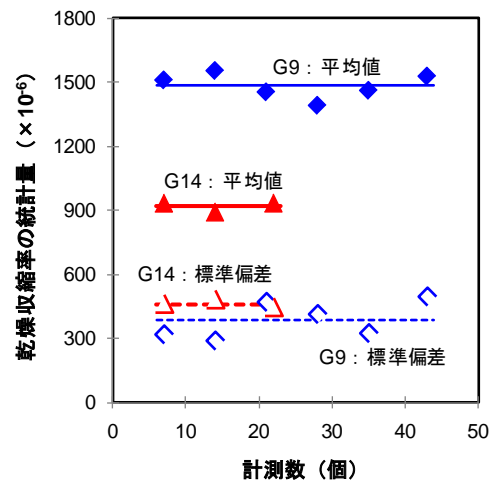


図-3 測定結果に与える計測数の影響

定値となった。このことから、今回実施した乾燥収縮率の測定では、計測数が 7 個以上であれば、概ね有効なデータを与えるものと考えられる。

粗骨材の乾燥収縮率の測定結果一覧を表-2 に示す。粗骨材の乾燥収縮率の平均値および標準偏差は、大きい値から小さい値まで幅広く分布する結果となった。一般的に、コンクリートの収縮低減に効果的とされる石灰岩骨材 (粗骨材 G18、G19) は、他の粗骨材と比べて、粗骨材自体の乾燥収縮率が明らかに小さくなっていった。

乾燥収縮率の平均値と標準偏差の関係を図-4に示す。乾燥収縮率の平均値が大きくなると、標準偏差も大きくなる傾向となった。試験試料によって多少の差はあるが、標準偏差が乾燥収縮率の平均値の約 39%となっていた。

表-2 粗骨材の乾燥収縮率の測定結果一覧

分類	No.	n	乾燥収縮率 (×10 ⁻⁶)			
			平均	標準偏差	最小	最大
火山岩	G1	7	383	155	198	611
	G2***	19	126	46	50	228
	G3	7	334	170	167	613
	G4**	7	348	51	288	446
	G5	8	646	328	248	1296
	G6**	10	416	129	210	628
	G7	7	550	494	130	1583
深成岩	G8**	16	180	89	33	348
砕屑岩	G9	43	1529	496	486	2753
	G10*	10	620	138	408	828
	G11***	30	86	30	29	147
	G12***	13	139	31	78	198
	G13**	15	459	62	357	561
	G14**	22	935	413	267	1719
	G15**	15	528	117	233	686
火砕岩	G16*	15	255	109	59	532
	G17	11	907	445	245	1766
生物岩	G18***	15	21	6	10	31
	G19***	15	26	4	18	31

* : 絶乾密度のみ満足する粗骨材
 ** : 絶乾密度、吸水率を満足する粗骨材
 *** : 絶乾密度、吸水率、安定性を満足する粗骨材
 対象規格 : JIS A 5005 「コンクリート用砕石及び砕砂」

3. 粗骨材の品質とコンクリートの乾燥収縮率の関係

コンクリートの配合は、単位水量165kg/m³、水セメント比55%、細骨材率46%および目標空気量4.5%の条件で、表-1に示す粗骨材をそれぞれ用いて作製した。なお、細骨材には川砂、セメントには

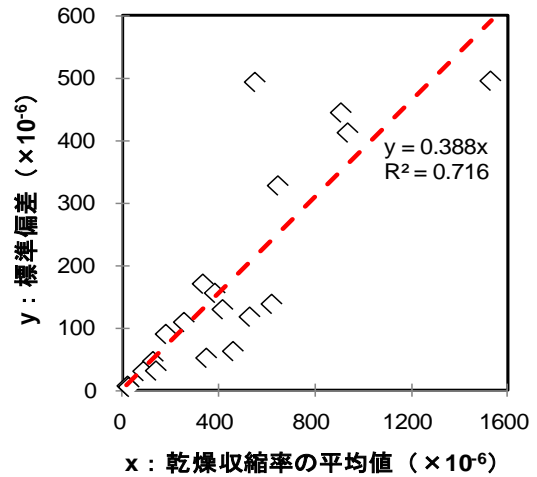


図-4 粗骨材の乾燥収縮率の平均値と標準偏差の関係

普通ポルトランドセメント、混和剤にはAE減水剤およびAE助剤を使用した。また、JIS A 1129 「コンクリートの長さ変化試験」の方法によって、20℃、60%RHの保存環境で期間6ヶ月経過した時点でのコンクリートの乾燥収縮率を測定した。

3.1 粗骨材の密度・吸水率・安定性との関係

コンクリートの乾燥収縮率と粗骨材の絶乾密度・吸水率・安定性損失質量分率（以下、安定性と記す）の関係を図-5に示す。理由は明確ではないが、どの指標も、砕屑岩に分類される粗骨材とそれ以外に分類される粗骨材とでは、相関関係が異なっていると思われる。いずれにしても、粗骨材種類を特定せずに絶乾密度・吸水率・安定性の試験結果からコンクリートの乾燥収縮率を精度よく推定することは困難であると思われる。

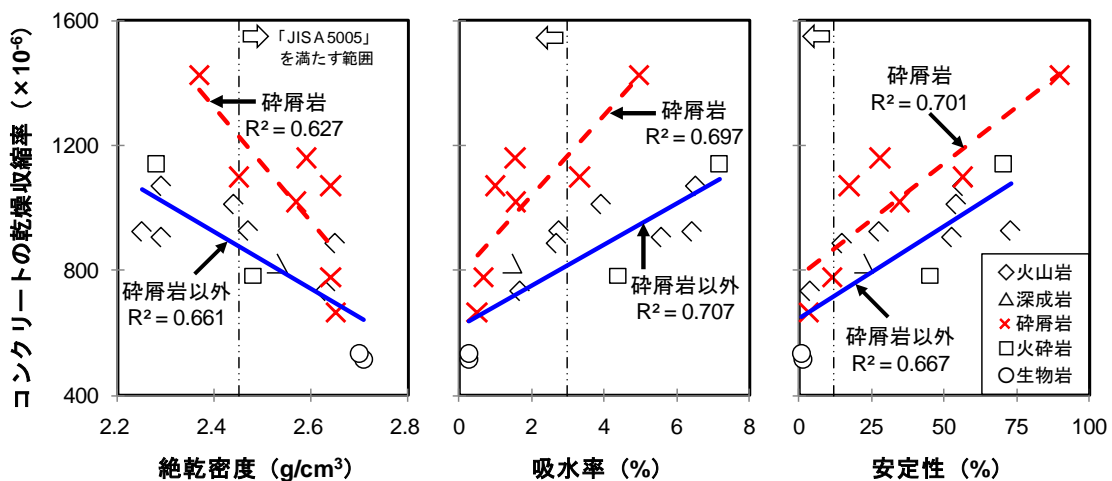


図-5 コンクリートの乾燥収縮率と粗骨材の絶乾密度・吸水率・安定性との関係

3.2 粗骨材の乾燥収縮率との関係

コンクリートの乾燥収縮率と粗骨材の乾燥収縮率の平均値の関係を図-6に示す。コンクリートの乾燥収縮率と粗骨材の乾燥収縮率の平均値の間には、高い相関性が認められた。図-6中には目安として回帰直線から $\pm 100 \times 10^{-6}$ の範囲を破線で示している。今回の実験データは、概ねこの範囲に入っていたが、乾燥収縮率の非常に小さい一部の粗骨材では、この範囲から外れていた。これは、粗骨材自体の乾燥収縮率が非常に小さい石灰岩骨材（粗骨材G18、G19）であった。また、本論で実験した配合条件では、粗骨材の乾燥収縮率の平均値が 3×10^{-4} 程度であれば、これを用いたコンクリートの乾燥収縮率は 8×10^{-4} 程度となる。さらに、図-6に示したとおり、同一配合条件で粗骨材種類が変わるだけで、コンクリートの乾燥収縮率が 700×10^{-6} 程度も異なる場合もある。

一方、土木学会のコンクリートの乾燥収縮率予測式は、単位水量を変数とする関数になっており、その予測式によって単位水量の影響を算定してみると、単位水量 165 kg/m^3 から 20 kg/m^3 増えた場合のコンクリートの乾燥収縮率の増加は、 43×10^{-6} にとどまる。

これらのことから、単位水量に比べ、粗骨材種類の影響の方が、コンクリートの乾燥収縮率に与える影響は大きいことが確認される。

このように、粗骨材の乾燥収縮率をひずみゲージによって測定する手法は、測定する粗骨材の粒子数を7個ほど確保すれば、その平均値はコンクリートの乾燥収縮率を推定するひとつの指標として有効であると考えられる。

4. まとめ

本研究の結果を以下にまとめる。

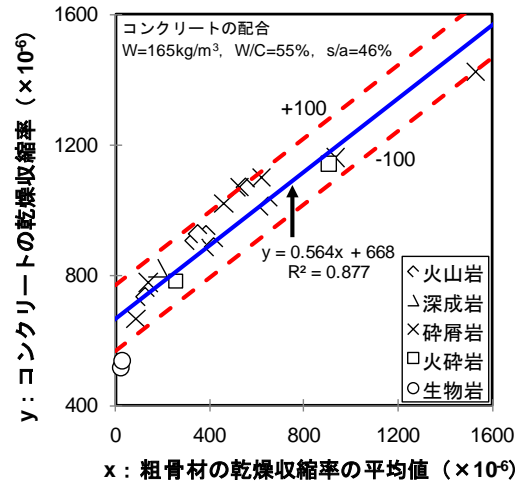


図-6 コンクリートの乾燥収縮率と粗骨材の乾燥収縮率の平均値の関係

- (1) 各粗骨材の乾燥収縮率の大きさは大小様々であったが、粗骨材の乾燥収縮率に関する変動係数の平均値は、39%程度となった。
- (2) 粗骨材の品質の指標として一般的に用いられる絶乾密度・吸水率・安定性では、コンクリートの乾燥収縮率を精度よく推定することは困難であり、コンクリートの乾燥収縮率の推定のためには粗骨材粒子の乾燥収縮率を用いることが望ましい。
- (3) 粗骨材の乾燥収縮率の平均値を用いることで、コンクリートの乾燥収縮率を簡易に推定できると考えられる。ここで、測定に要する粗骨材粒子の試料数は7個以上とするのがよい。

参考文献

- 1) 閑田徹志、百瀬晴基、今本啓一、三橋博三：レディーミクストコンクリートを対象とした乾燥収縮の調査研究およびその統計分析、日本建築学会構造系論文集、Vol.73、No.629、pp.1019～1026、2008.7
- 2) 後藤幸正、藤原忠司：乾湿に伴う骨材の体積変化、土木学会論文報告集、第 247 号、pp.97～108、1976.3

山田 宏*



住友大阪セメント（株）建材事業部技術開発グループ建材製品チーム（前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料資源研究グループ基礎材料チーム 交流研究員）
Hiroshi YAMADA

片平 博**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料資源研究グループ基礎材料チーム 主任研究員
Hiroshi KATAHIRA

渡辺博志***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料資源研究グループ基礎材料チーム 上席研究員、工博
Dr. Hiroshi WATANABE