

論文 各種コンクリート用骨材の乾燥収縮特性について

糟谷 守*1・樋渡 一輝*2・高田 浩夫*3・森本 博昭*4

要旨：コンクリートの乾燥収縮の要因として考えられている骨材の影響を明らかにするため、骨材に用いられる岩石の乾燥収縮特性試験を行った。その結果、同じ岩種であっても著しく異なる挙動を示すことが分かった。岩石表面を観察して地質学的見地から検討を行った結果、生成された年代が古く、地層が深いほど圧密され組織が緻密になるため収縮量が小さくなり、また変成作用を受けた岩石については収縮量が著しく小さくなることが明らかとなり、岩石の生成過程から乾燥収縮特性を推定できる可能性が示された。また、同一の骨材を用いたコンクリート供試体の乾燥収縮ひずみと比較を行った結果、両者に関連性が認められた。

キーワード：骨材, 乾燥収縮, 岩種, 砂岩, 石灰岩, 地質年代

1. はじめに

構造物の長寿命化に伴い、コンクリートの品質向上が求められている。そのため構造物の性能を低下させる要因となるコンクリートの初期ひび割れに影響を与える乾燥収縮の制御が必要とされている。

近年、コンクリートの想定外の収縮により、構造物へ多数ひび割れが発生する事例¹⁾が報告されており、その原因として骨材の影響による乾燥収縮ひび割れの発生が考えられている。さらに、乾燥収縮現象に及ぼす骨材の影響に関する研究^{2), 3), 4), 5), 6)}はいくつか報告されており、乾燥収縮現象に及ぼす骨材の影響に関する研究は乾燥収縮現象を制御する上で重要である。

そこで本研究では、各相対湿度において岩石の乾燥収縮試験を行うことにより、相対湿度と岩石の乾燥収縮ひずみとの関係を試験により明らかにする。砕石原石からコアを採取し、恒温条件下にて雰囲気湿度を段階的に低下させ乾燥収縮試験を行うことで湿度と乾燥収縮ひずみの関係を明らかにした。

また、同じ岩石を骨材として用いてコンクリート供試体を作成し、乾燥収縮試験を行うことにより、コンクリートの乾燥収縮挙動に及ぼす骨材の乾燥収縮特性の影響についても検討を行った。

本研究の成果は、コンクリートの乾燥収縮予測式の精度向上のための重要な基礎資料になると考える。

2. 岩石の乾燥収縮特性試験

2.1. 試験概要

(1) 試験体概要

試験体は、φ23×46mmの大きさのコアを各岩石の砕石原石から3本採取し、試験に用いた。

本試験では岩石の吸水による膨張および乾燥による収縮を確認するため、試験体を105±5℃で48時間乾燥させ、絶乾状態にした。その後、岩石の吸水によるひずみゲージ裏面からの湿気の浸透を防ぐため、ひずみゲージ貼付位置にポリエステル接着剤を塗布して硬化後に、その上に検長30mmのひずみゲージを貼付した。ひずみゲージの防水には、マイクロクリスタリンワックスを塗布し、ブチルゴム系防水テープでコーティングした。

試験体の岩石種類については粘板岩1種・花崗岩1種・斑レイ岩1種・石灰岩2種・砂岩4種の計9種類について各3体ずつ計27体の試験を行った。

各岩石の物性を表-1に示す。

表-1 各岩石の物性値

	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	弾性係数 (kN/mm ²)
粘板岩	2.73	0.40	70.9
花崗岩	2.57	2.18	34.5
斑レイ岩	2.99	1.08	73.2
石灰岩-1	2.67	0.30	75.5
石灰岩-2	2.68	0.50	70.2
砂岩-1	2.59	1.50	31.7
砂岩-2	2.65	0.63	69.0
砂岩-3	2.63	1.23	79.4
砂岩-4	2.66	0.42	67.2

(2) 試験方法

まず絶乾状態の各試験体をひずみの変化が平衡状態に近づくまで20℃の水中にて吸水させた後、乾燥させた。

*1 岐阜大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (正会員)

*2 (株)朝日工営 代表取締役 岐阜大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (正会員)

*3 岐阜県生コンクリート工業組合 技術センター 所長 (正会員)

*4 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 教授 工博 (正会員)

乾燥収縮試験は、温度 20℃、雰囲気湿度については 85%、76%、60%の3条件下にて実施した。湿度 85%および 76%での試験は、塩化カリウム飽和塩水溶液および塩化ナトリウム飽和塩水溶液を密閉容器に入れてそれぞれの湿度環境を実現した。湿度 60%での試験は環境試験室で実施した。試験の手順としては、吸水させた試験体をまず湿度 85%で乾燥させ、ひずみがほぼ平衡状態に達した後、湿度 75%での乾燥に移行した。以降も同様に行った。各湿度へ移行した時間については水中から湿度 85%環境下が試験開始から 13 日後、湿度 85%から湿度 76%の環境下が試験開始から 22 日後、湿度 76%から湿度 60%の環境下が試験開始から 31 日後に移行した。

岩石の乾燥収縮特性試験の状況を写真 - 1 に示す。



写真 - 1 乾燥収縮特性試験状況

2.2. 試験結果

試験に用いた各岩石3本の試験体の試験結果の平均値を図 - 1 に示す。図の吸水膨張ひずみ及び乾燥収縮ひずみの大きさから、著しく変化の大きかった砂岩 - 1 と吸水膨張量が $200\sim 300 \times 10^{-6}$ となった花崗岩、斑レイ岩および砂岩 - 2 のグループそして変化量が終始 100×10^{-6} 以下で安定していた3つのグループに分けられる。また、膨張や収縮の進行速度によって各湿度の初期の段階において、急速な変形を示す、砂岩 - 1 および斑レイ岩のグ

ループと雰囲気湿度の低下後、前者と比較して緩やかに収縮が進行していく、花崗岩および砂岩 - 2 が確認された。初期のひずみ発現が大きいものほど、乾燥収縮ひずみ量が大きくなる傾向にあった。

乾燥収縮ひずみに違いの見られた3グループについて比較検討を行うため、各試験体岩石の表面を写真 - 2 に示す。

砂岩 - 1 は他のものと比較して鉱物の組織が大きく、構造が粗いため、間隙も大きくなり、結果として吸水膨張量と乾燥収縮量が大きくなったと思われる。

花崗岩、斑レイ岩、砂岩 - 2 のグループについては砂岩 - 1 よりも組織が緻密になっているが他のほとんど変化が見られなかった試験体と比較すると組織が大きいことが観察できる。

粘板岩、石灰岩 - 1、石灰岩 - 2 および砂岩 - 3、砂岩 - 4 については他の試験対と比較して岩石の組織が非常に緻密になっている。このため収縮量についても非常に小さくなったと考えられる。

本研究では、同じ岩種でも収縮量に著しい差が見られた砂岩について地質学的知見から検討を行った

砂岩4種について著しく違いが表れた原因として砂岩 - 1 および砂岩 - 2 の生成された年代がそれぞれ後期白亜紀と後期ジュラ紀にあたり、砂岩 - 2 の方が古く、深い地層から採取されているため、鉱物の組織が細かく、収縮量も小さい結果となったと考えられる。また、砂岩 - 3 および砂岩 - 4 については変成作用を受けているとみられ、砂岩 - 1 および砂岩 - 2 とは組織の構造が変化し、緻密になっているため、収縮量が著しく小さくなっていると考えられる。

次に、各骨材の乾燥収縮特性を明らかにするため、湿润状態を基準とした各雰囲気湿度における乾燥収縮ひずみを実験結果から求めた。湿度 0%における収縮ひずみは、絶乾状態からの吸水膨張ひずみに等しいと仮定し

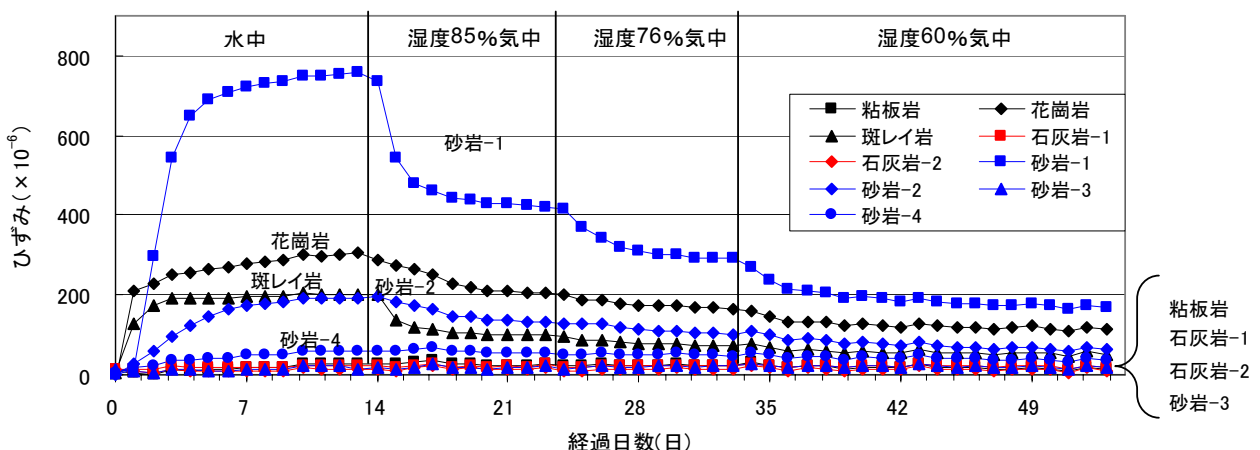


図 - 1 乾燥収縮特性試験結果

た。各岩石の乾燥収縮特性を図 - 2 に示す。

図 - 1, 図 - 2 から, 砂岩 - 1 は他の骨材に比べて著しく乾燥収縮量が多い。特に, 湿度 60%以上の領域における乾燥収縮ひずみの変化量が多いことがわかる。粘板岩, 石灰岩 - 1, 石灰岩 - 2 および砂岩 - 3, 砂岩 - 4 のグループは湿度による乾燥収縮挙動の変化はあまり見られず, コンクリートに用いた際にも収縮を抑えられると推測される。コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材の影響については, 次章のコンクリートの乾燥収縮試験で述べる。

花崗岩, 斑レイ岩, および砂岩 - 2 のグループについては湿度 50%以上の高湿度領域については概ね近い値を示したが, それ以下の低湿度領域では花崗岩については多少ひずみが多い結果となった。

以上のことから, 岩石鉱物の生成過程 (生成された年代, 圧密の程度, 変性の有無) から岩石の乾燥収縮をある程度推定できる可能性がある。また, 骨材の乾燥収縮特性について, ひずみの変化が非常に多いものとあまり見られないものが確認された。このことから骨材自体が

コンクリートの乾燥収縮に影響を及ぼす可能性が高いと明らかとなった。ただし, 推定精度の向上や収縮特性を明確にするためにはさらなる実験データの蓄積が必要である。

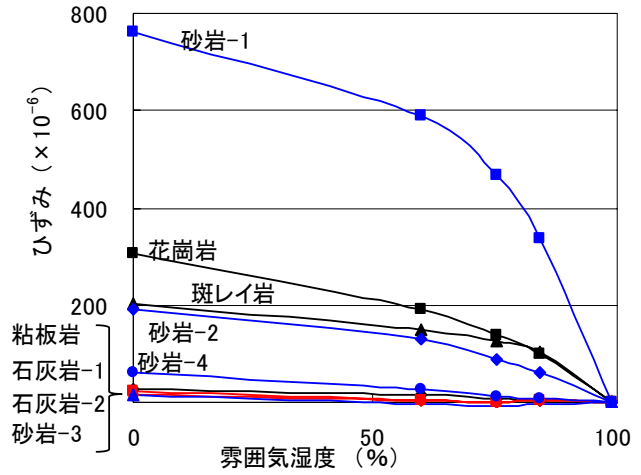


図 - 2 岩石の乾燥収縮特性

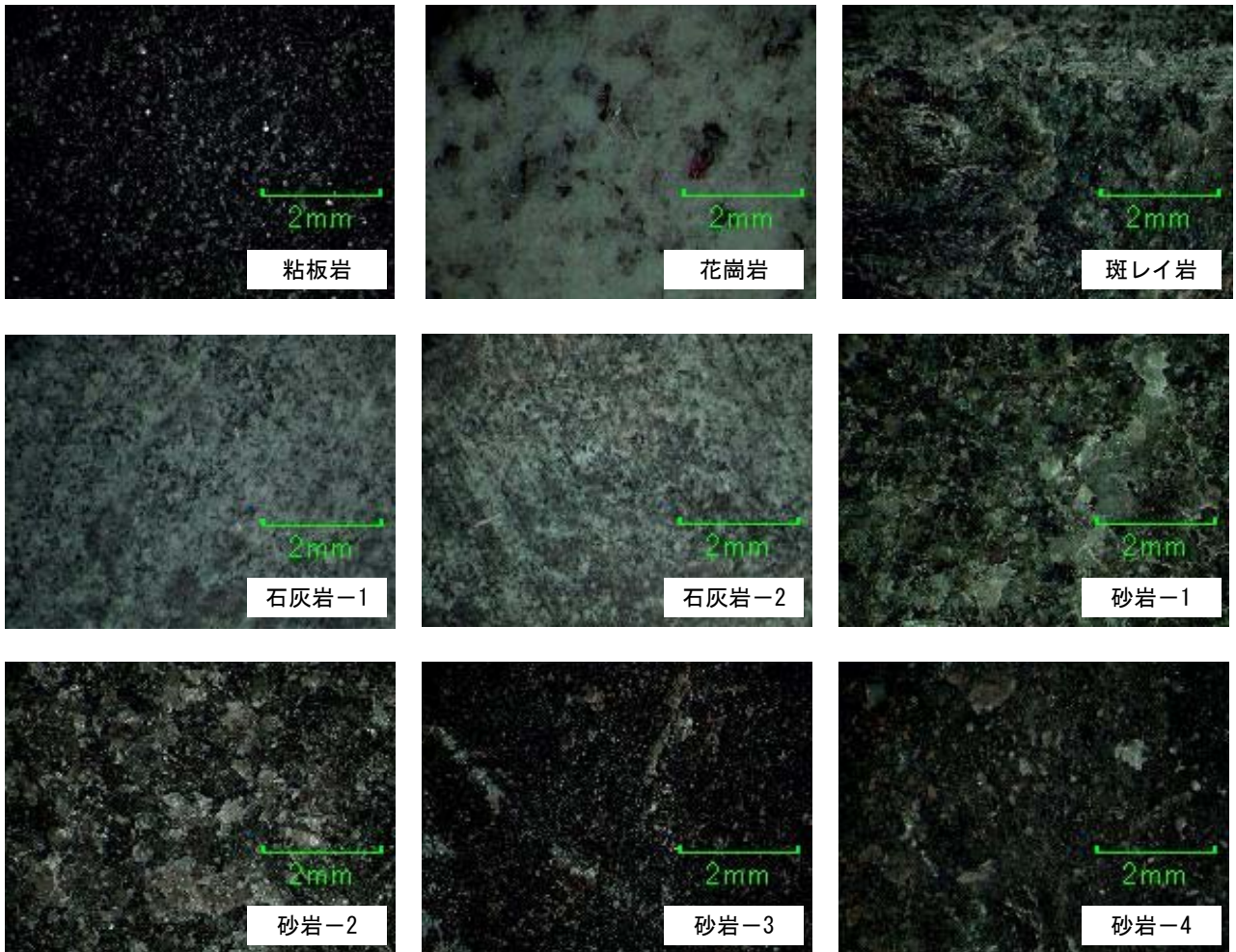


写真 - 2 岩石表面写真

表 - 2 示方配合および使用骨材

	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					使用骨材	岩種	密度 (g/cm ³)			
			C	W	S	G	AD						
No.1	55	43	300	165	762	1081	3	細骨材	花崗岩	2.55			
											粗骨材	粘板岩	2.73
No.2											細骨材	石灰石-1	2.67
											粗骨材	石灰石-1	2.72
No.3											細骨材	石灰石-2	2.68
											粗骨材	石灰石-2	2.70
No.4											細骨材	砂岩-1	2.59
											粗骨材	砂岩-1	2.63

表 - 3 各供試体の物性値

	空気量 (%)	スランプ (cm)	打設温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
No.1	3.5	3.5	29	36.4	35.7
No.2	4.0	9.5	28	36.2	34.3
No.3	5.0	6.5	28	35.4	37.9
No.4	3.2	0.5	28	39.2	28.6

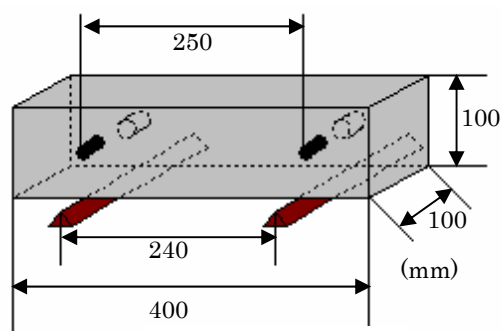


図-3 供試体概要



写真 - 3 乾燥収縮試験状況

3. コンクリートの乾燥収縮試験

3.1. 試験概要

岩石の乾燥収縮特性試験を行った岩石と同一の骨材を用いてコンクリートを打設し、コンクリートの乾燥収縮に骨材がどの程度影響しているか、確認するためにコンクリートの乾燥収縮試験を行った。

示方配合および試験に用いた骨材の岩種を表 - 2 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.14g/cm³）を使用し、混和剤はリグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体の AE 減水剤 4 倍溶液をセメントの 1% 添加した。供試体寸法は 100×100×400mm の角柱供試体を作成し、供試体の打設面以外の側面 2 面に収縮量を計測するためのプラグを検長 250mm になるように埋設し、L 字のアンクルを 240mm の間隔で 2 本配置

し、その上に供試体を設置して試験を行った。試験環境および試験期間については温度 20°C、雰囲気湿度 60% の恒温恒湿環境下にて 130 日間計測を行った。

供試体の形状および寸法を図 - 3 に示す。

供試体打設後 1 日で脱型し、温度 20°C の恒温室内にて水中養生した後、材齢 7 日から乾燥を開始した。試験方法は JIS A - 1129 - 2 の「モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法」に基づいて試験を行った。

コンクリートの物性値を表 - 3 に示す。圧縮強度は JIS A-1108 コンクリートの圧縮強度試験方法に基づき試験を行い、弾性係数は JIS A-1149 コンクリートの静弾性係数試験方法に基づいて試験を行い、28 日材齢での圧縮強度と弾性係数を試験により算出した。

コンクリートの乾燥収縮試験の状況を写真 - 3 に示す。

3.2. 試験結果

コンクリートの乾燥収縮試験の試験結果を図-4に示す。また、岩石の乾燥収縮特性試験の結果とコンクリートの乾燥収縮試験の結果との関係について比較するため、岩石の乾燥収縮特性試験での湿潤状態から雰囲気湿度60%まで低下させた際の乾燥収縮ひずみとコンクリートの乾燥収縮試験での試験開始から130日の乾燥収縮ひずみの関係を図-5に示す。

各図から、骨材単体での乾燥収縮ひずみが小さいものはコンクリートにおいても乾燥収縮ひずみが小さくなり、骨材単体で乾燥収縮ひずみが大きいものはコンクリートの乾燥収縮ひずみについても大きくなる傾向が認められた。

以上、コンクリートの乾燥収縮挙動に及ぼす骨材の乾燥収縮特性の影響について検討を行った結果、骨材の乾燥収縮によるコンクリートの乾燥収縮挙動への影響が確認できた。今後、両者の関係を定量的に関連づけるためには実験データのさらなる蓄積が必要である。

4. まとめ

以下に本研究で得られた知見を示す。

- (1) 各種コンクリート用骨材の乾燥収縮特性を試験から明らかにした。その結果、骨材岩種によりひずみの変化が著しいものとひずみの変化があまり見られないものが確認された。また、同じ岩種についても乾燥収縮特性に著しく差がみられることが確認された。
- (2) 岩石の生成過程から乾燥収縮特性をある程度推定できる可能性が示された。
- (3) コンクリートの乾燥収縮挙動に及ぼす骨材収縮の影響が認められた。

参考論文

- 1) 土木学会コンクリート委員会垂井高架橋損傷対策特別委員会：垂井高架橋損傷対策特別委員会中間報告書，土木学会，2005
- 2) 後藤幸正，藤原忠司：コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材の影響，土木学会論文報告集第286号，pp125-137，1979.6
- 3) 荒井正直ほか：骨材の品質がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関する研究（その1：実験概要），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp741-742，1999.9

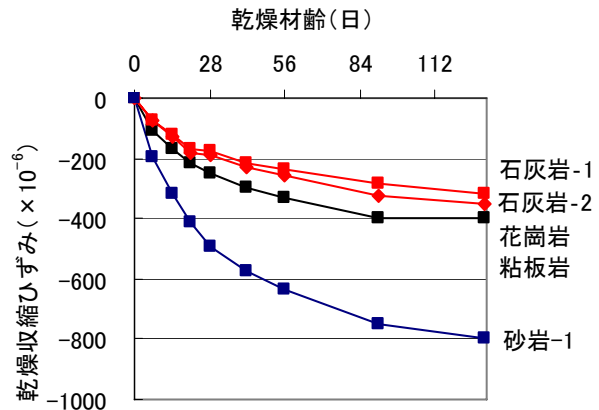


図-4 コンクリートの乾燥収縮試験結果

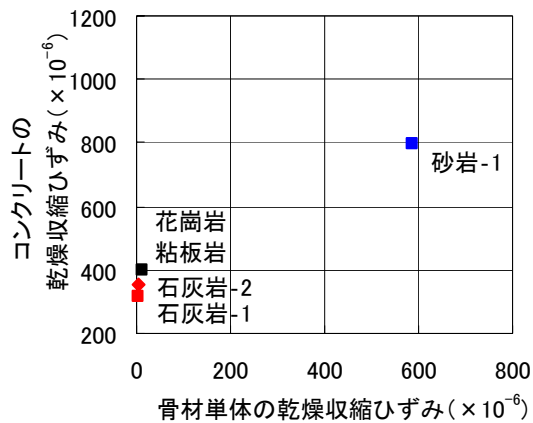


図-5 コンクリートの乾燥収縮挙動に及ぼす骨材の影響

- 4) 立松和彦ほか：骨材の品質がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関する研究（その2：岩石および玉石に関する実験結果），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp743-744，1999.9
- 5) 石清水隆ほか：骨材の品質がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関する研究（その3：モルタルの実験結果），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp745-746，1999.9
- 6) 今本啓一，石井寿美江，荒井正直：各種骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮特性と骨材比表面積の影響，日本建築学会構造系論文集第606号，pp9-14，2006.8

