

令和 6 年 5 月 1 日現在

機関番号：33803

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04342

研究課題名（和文）河川流域産の骨材の諸物性がコンクリートの乾燥収縮性状に及ぼす影響評価

研究課題名（英文）Effect Evaluation of River Gravels on Drying Shrinkage of Concrete

研究代表者

太田 達見（Ota, Tatsumi）

静岡理工科大学・理工学部・教授

研究者番号：10833288

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：静岡県内主要4河川産骨材試料の乾燥収縮率を評価するとともに、各骨材試料の岩種を実体顕微鏡観察などによって判定した。その結果、各河川産骨材の乾燥収縮率は単一岩種である津久見産石灰砕石より大きく、試料間のばらつきも大きいことが判明した。乾燥収縮率がばらつく要因として、各河川産骨材の岩種が多種に及ぶうえ、岩種によって乾燥収縮率が異なることを明らかにした。これら河川産骨材を用いてコンクリートを練り混ぜ、練ったコンクリートから粗骨材のみを除去したモルタルにて乾燥収縮率を求めた。コンクリートとモルタルの乾燥収縮率は、骨材の種類によらずほぼ一様で、粗骨材によるコンクリートの乾燥収縮抑制効果が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

静岡県内主要4河川産骨材の諸特性、とりわけコンクリートの乾燥収縮ひび割れの発生に影響する骨材の乾燥収縮率とそのばらつき程度を把握したこと、各河川産骨材の乾燥収縮率が骨材を構成する岩種によって異なること、さらには粗骨材がコンクリートの乾燥収縮を拘束する効果が骨材の産地や川砂利・砕石といった骨材形状によらず同等であることを明らかにできた点は、コンクリートの乾燥収縮ひび割れ低減に向けた学術面での成果といえる。また、静岡県内で製造される生コンクリートが各河川産骨材を主な原材料としており、これまで十分なコンクリートの乾燥収縮低減策を打ち出せてこなかったことを考えると、本成果を活かせるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, drying shrinkage of coarse aggregates derived from 4 major rivers in Shizuoka (river gravels) was evaluated by strain measurement of the aggregates. Also, rock types of coarse aggregates were judged by observation using stereomicroscope. Drying shrinkage of coarse aggregates (river gravels) was larger than that of crushed stone of limestone (single rock type) and varied widely. Main causes of variation were many rock types of river gravels and large variations of drying shrinkage based on rock types. Concrete and mortar specimens were made using these river gravels and river sands, and drying shrinkage of concrete and mortar was measured in 26 weeks according to JIS A 1129. Regardless of river gravel types, difference of both concrete and mortar was 440 to 500 × 10<sup>-6</sup> and restraint effect of river gravels to drying shrinkage of concrete was recognized.

研究分野：コンクリート

キーワード：川砂利 岩種 乾燥収縮率 コンクリート モルタル

## 1. 研究開始当初の背景

これまで、コンクリートの乾燥収縮ひび割れの要因は、コンクリート用の各種材料、コンクリートの単位水量などの計画調査、建築物の施工条件や使用環境などとされてきた。しかし、近年、コンクリート用骨材の乾燥収縮率などの骨材起源の諸特性が影響するとした研究も発表され、実施工においては、コンクリートの乾燥収縮ひび割れ発生を抑えるため、乾燥収縮率が小さい石灰砕石を用いた例も増えてきた。

その一方で、静岡県内のレディーミクストコンクリート工場では、同県内の河川流域から産出される川砂・川砂利がコンクリートの製造に多用されている。これら川砂・川砂利を用いたコンクリートは、その乾燥収縮率がどの程度であるか明らかにされた例はきわめて少なく、また東西に長い静岡県全体で採れる川砂・川砂利を俯瞰した研究例はほぼ皆無である。さらには、川砂や川砂利は河川上流域で産出される複数の岩種が起源と考えられるが、これら骨材の岩種も含め川砂利など河川産骨材に関する諸元や知見を示した研究はきわめて少ない。

こうしたことから、静岡県内の建設工事に用いられるコンクリートに対して、明確な乾燥収縮低減策が示されていない現状がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は以下の3つであり、これらによって静岡県内主要4河川産骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮低減策の一助とする。

- 1) 静岡県内の主要4河川（富士川、安倍川、大井川および天竜川）産川砂利に着目し、コンクリートの乾燥収縮挙動に影響すると考えられる骨材の乾燥収縮率と線膨張係数を実験によって求めるとともに、そのばらつきの程度について評価する。
- 2) 静岡県内の各河川産骨材の岩種を判定し、骨材を構成する岩種別の乾燥収縮率を明らかにする。
- 3) 各河川産骨材を用いたコンクリートとそのコンクリートからウェットスクリーニングして粗骨材（川砂利）のみを除去したモルタルの乾燥収縮率を求め、両者の差から粗骨材（川砂利）としてのコンクリートの乾燥収縮拘束効果を評価する。

## 3. 研究の方法

- 1) 各河川産骨材試料およびその比較用としての大分県津久見産の石灰砕石の表面をグラインダーで平滑に研磨し、ゲージ長3mmの3軸ゲージを貼り、その表面を防水処理した後、温度20°Cの水中に浸漬し、その直後から骨材試料のひずみを計測した。ひずみの値が概ね一定の値( $\epsilon_1$ )に収束した後、骨材試料を温度20°C、湿度60%の環境にてひずみを計測し、一定の値( $\epsilon_2$ )に収束するまで計測を継続した。骨材（川砂利）の乾燥収縮率は、山田らの研究<sup>1)</sup>を参考に、両ひずみの差( $\epsilon_2 - \epsilon_1$ )から算出した（図1参照）。なお、骨材試料によって、ひずみの値が時間経過に伴って漸増もしくは漸減したものがあつたが、こうした試料に関しては、 $\epsilon = \epsilon_\infty \times (t^B / (t^B + A))$ によって求めた $\epsilon_\infty$ （無限時間が経過した時点での骨材の乾燥収縮率）を乾燥収縮率とした。骨材の乾燥収縮率は、同一河川産骨材に対し15試料以上で求めた。

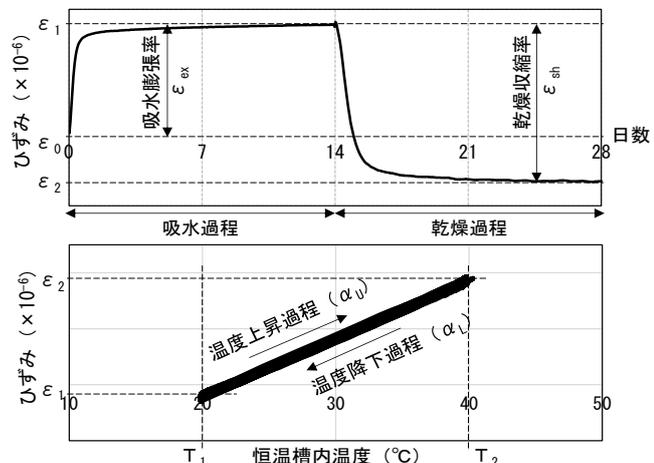


図1 粗骨材の乾燥収縮率と線膨張係数の算出方法

骨材試料の線膨張係数は、山田らの研究<sup>2)</sup>を参考に、温度20°Cにおける吸水・乾燥の両過程を終えた後、湿度60%の下で、温度のみを20°Cから40°Cまでの範囲で上昇・下降を数回繰り返す、その間に得られたひずみ値の変動から算出した。



写真1 実体顕微鏡観察による粗骨材試料の画像

- 2) 各河川産川砂利試料および津久見産石灰砕石試料を目視と実体顕微鏡（ズーム比12.7）によって観察し、その岩石組織、構成鉱物、粒度および色調などの特徴から岩種判定を行った（写真1参照）。岩種判定は、同一産地の15試料以上の骨材に対して実施した。
- 3) 各河川産川砂利と津久見産石灰砕石を用いた呼び強度27、目標スランプ18cmの普通コンクリートを当該骨材によるレディーミクストコンクリートを製造・出荷する工場にて試験練りを行い、JIS A 1129に従った長さ変化試験（乾燥収縮率の測定）を乾燥材齢26週まで実施し

た。また、工場で練ったコンクリートから粗骨材のみをウェットスクリーニングして除去したモルタル試料に対しても、同様の長さ変化試験を行い、コンクリートとモルタルの乾燥収縮率の差から、粗骨材によるコンクリートの乾燥収縮に対する拘束効果を評価した。

#### 4. 研究成果

##### 1) 各骨材の乾燥収縮率と線膨張係数およびそのばらつき

各骨材のコンクリートの乾燥収縮挙動に影響するとされる粗骨材の乾燥収縮率(乾燥開始から乾燥過程終了時までの主ひずみの差)は、相対的に静岡県内産川砂利で大きく、骨材試料間のばらつきも大きい(変動係数で約27~76%)。これに対し、津久見産石灰砕石は吸水過程、乾燥過程のいずれにおいてもひずみは小さく(約 $60 \times 10^{-6}$ )、試料間のばらつきも小さい(図2参照)。また、当初計画していた14日間の吸水過程を経過して以降も、吸水膨張によると思われるひずみの増加が認められる骨材試料もあり、骨材組織内部に微細な空隙が存在する可能性がある。

なお、各骨材の線膨張係数は、いずれの河川産川砂利も石灰砕石も概ね同様の値(約 $12 \times 10^{-6}$ )で、骨材種類による相違は認められなかった。

##### 2) 骨材の岩種による乾燥収縮率

本研究に用いた粗骨材の岩種判定を行った結果、静岡県内産川砂利には、砂岩、頁岩、チャート、ホルンフェルス、斑れい岩などの堆積岩が多く含まれ、かつ同一産地の川砂利であっても複数の岩種が確認された。一方、津久見産石灰砕石は石灰岩の単一岩種であることも明らかになった。

この結果から、粗骨材の乾燥収縮率が静岡県内産川砂利でばらつく要因として、複数の岩種が混在している点があげられる。岩種別の乾燥収縮率は、各骨材が算出した河川によって異なっており、砂岩では約 $300 \sim 1030 \times 10^{-6}$ 、頁岩では約 $430 \sim 470 \times 10^{-6}$ 、斑れい岩では約 $500 \sim 530 \times 10^{-6}$ で、骨材産地と岩種によって、乾燥収縮率の差が大きいものと小さいものに二分される結果となった。

粗骨材の乾燥収縮率を正規分布に基づく確率密度で表すと、砂岩、頁岩、チャートで確率密度が小さいのに対し、同一岩種で構成される津久見産石灰砕石では著しく大きいことが明らかになった(図3参照)。

このように、各河川産川砂利で乾燥収縮率が異なる要因として、川砂利の起源となる岩石の生成過程も影響していると考えられる。例えば、天竜川流域には秩父帯や四万十帯といった地質帯が存在するため、多くの岩種が含まれるうえ、これらの地質帯は堆積年数に差があるとされ、続成作用や圧

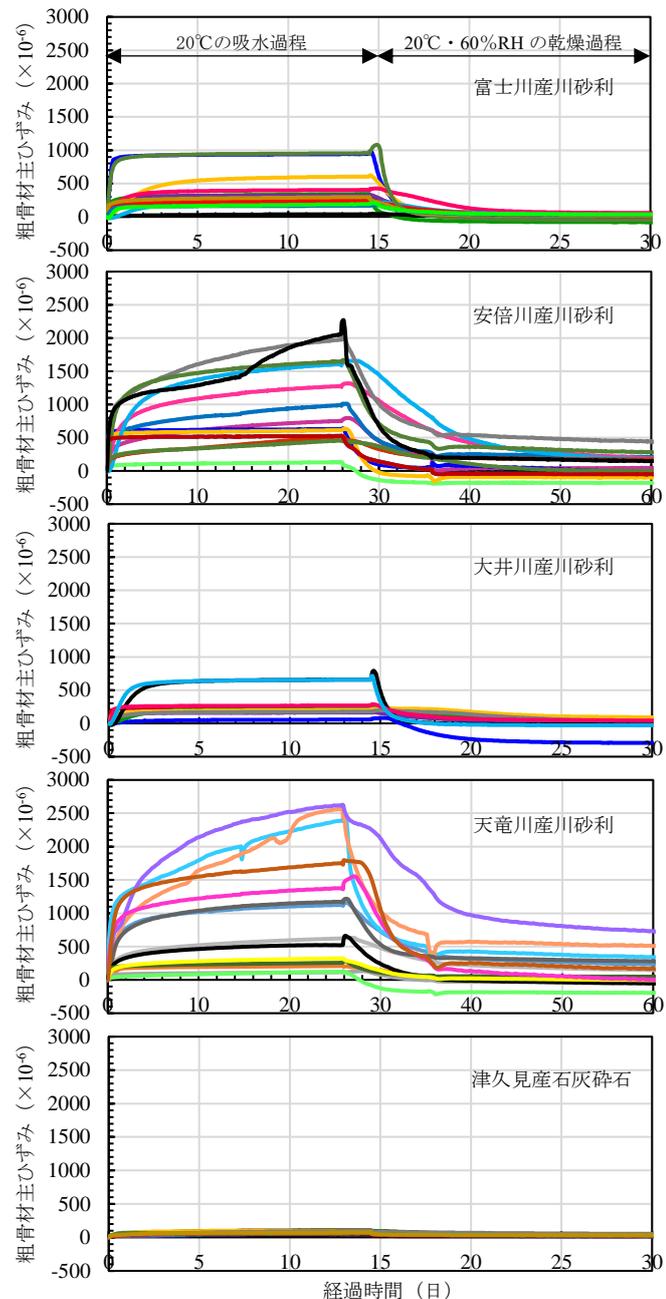


図2 吸水・乾燥過程における粗骨材試料の主ひずみ

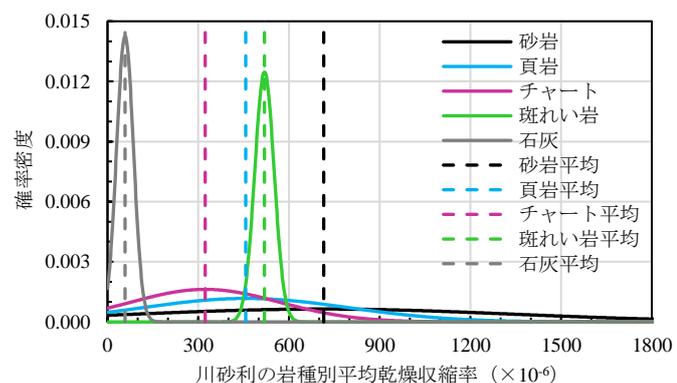


図3 粗骨材試料の岩種別平均乾燥収縮率

密作用が進行しないこと<sup>3)</sup>も要因としてあげられる。

### 3) コンクリートとモルタルの乾燥収縮率

静岡県内産川砂利・川砂および津久見産石灰砕石・砕砂を用いたコンクリートとそのコンクリートから粗骨材(川砂利・砕石)のみをウェットスクリーニングで取り除いたモルタルの乾燥収縮率を、JIS A 1129 に準拠して求めた。このコンクリートとモルタルの乾燥収縮率の差は、コンクリートの乾燥収縮に対する粗骨材による拘束効果と考えられることから、コンクリートとモルタルの乾燥材齢 26 週における乾燥収縮率で比較した。その結果、富士川産骨材で  $439 \times 10^{-6}$ 、安倍川産骨材で  $502 \times 10^{-6}$ 、大井川産骨材で  $452 \times 10^{-6}$ 、天竜川産骨材で  $446 \times 10^{-6}$ 、津久見産石灰石骨材で  $485 \times 10^{-6}$  であった。コンクリートとモルタルの乾燥収縮率の差は、粗骨材の種類(産地)にかかわらず  $440 \sim 500 \times 10^{-6}$  程度で、とりわけ静岡県内の主要 4 河川産骨材に関しては、骨材産地による相違、さらには川砂利と石灰砕石による差はわずかであることが判明した(図 4 参照)。また、粗骨材の種類にかかわらず、粗骨材がコンクリートの乾燥収縮挙動を抑制するのに効果的であることも明確になった。

### 4) 研究成果から見た今後の課題と展望

静岡県内において生コンクリートの製造には、県内産の川砂・川砂利が多用されているが、これらのコンクリートを用いて建設される構築物で乾燥収縮によるひび割れの発生が懸念される。こうした課題を解決する手段の一つとして、乾燥収縮率が小さい骨材を用いてコンクリートを製造する方法がある。実際の工事においては、乾燥収縮率が小さい石灰砕石(砕砂)を用いる事例が増えている。しかし、乾燥収縮率が小さい骨材を遠方から運搬すると、それに伴う CO<sub>2</sub> 排出量が増える、運搬コスト増によるコンクリート単価がアップするなど弊害も多い。

そこで、乾燥収縮率が小さい骨材を自動的に選択し排除できる手法の開発が望まれる。すなわち、コンクリート用の骨材全体を捉えた高解像度の画像を自動処理し、AI によって乾燥収縮率が大きいと考えられる特定の岩種を識別、除去するなど人手に頼らない高効率な手法が構築されれば、ひび割れ発生を抑制した、より高品質な信頼できるコンクリートが製造・供給できるものと思われる。

#### 〈参考文献〉

- 1) 山田宏ほか:粗骨材の収縮特性の評価に関する検討, 土木学会論文集 E2, Vol.68, No.1, pp.63-71, 2012
- 2) 山田宏ほか:粗骨材の熱膨張係数のひずみゲージによる測定, 日本材料学会誌, Vol.70, No.8, pp.604-609, 2021.8
- 3) 地学団体研究会 日本の地質刊行委員会編:日本の地質(全9巻), 共立出版, 1986~1992

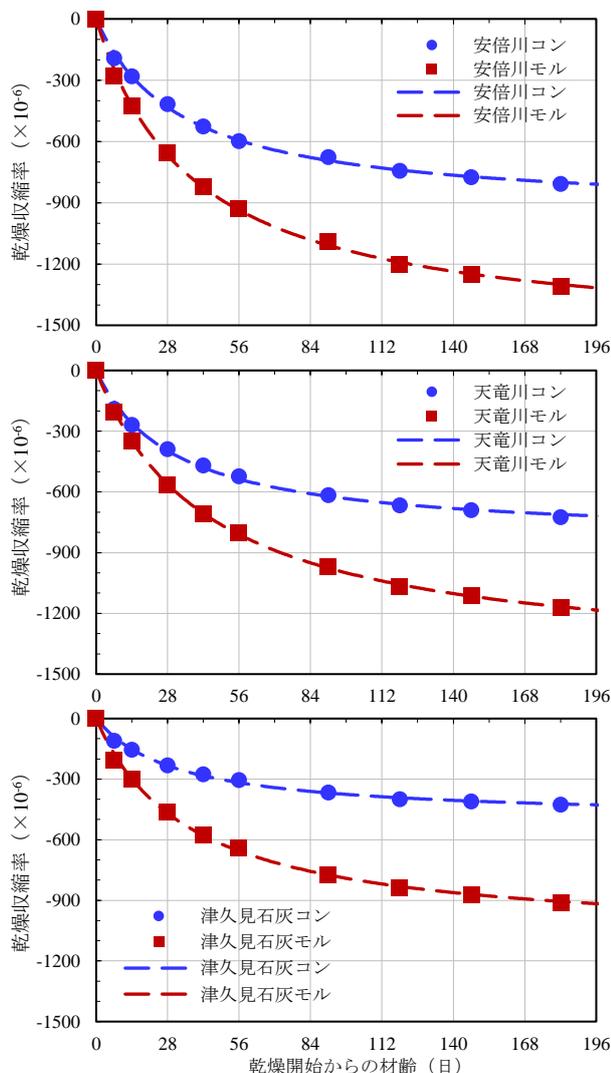


図 4 コンクリートとモルタルの乾燥収縮率

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 太田達見
2. 発表標題 静岡県産各種骨材の諸特性評価に関する研究（その1 県内主要4河川産川砂利の諸物性）
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田達見
2. 発表標題 静岡県産各種骨材の諸特性評価に関する研究（その2 粗骨材の岩種判定結果に基づく乾燥収縮率の評価）
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田達見
2. 発表標題 静岡県産各種骨材の諸特性評価に関する研究（その3 県内主要4河川産骨材の乾燥収縮率）
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------