

静岡県産川砂・川砂利を用いたコンクリートに対する石灰石骨材による品質改善評価

2215011 大畑亮輔

2215037 山河拓馬

指導教員 エルドンオチル

石灰石骨材 コンクリート 乾燥収縮率
ブリーディング 凝結 品質改善

1. 本研究の背景および目的

現在、日本の建設業界は、コンクリート用骨材の品質確保と天然資源の有効活用という、相容れない課題に直面している。国内の天然骨材資源は枯渇傾向にあり、安定供給のための輸入依存度が増しているが、輸入骨材は輸出国の政策や為替相場、海上輸送といった持続性に対する懸念を抱えている。また、コンクリートに対する要求性能の高度化に伴う厳しい品質基準の設定は、資源の利用効率を低下させ、廃棄される資源量を増加させるため、資源の枯渇と有効利用のバランスを図るための品質基準の見直しを検討されている。このような全国的な資源枯渇の傾向は、特定の地域で深刻な問題を引き起こしており、特に本研究の対象となる静岡市、富士市および沼津市の近郊工事で主要骨材として用いられてきた富士川産骨材は、その枯渇傾向が明白であり、将来的な安定供給の維持が困難になることが予想されている。この状況は、地域における生コンクリートの持続可能性を確保し、かつ高品質化を目指すため、骨材置換の模索を緊急の課題としている^{1), 2)}。

こうした背景を踏まえ、本研究は、富士川産川砂・川砂利（大城川産川砂・川砂利 [大城川産と略記] および富士川中流域産川砂・川砂利 [中流域産と略記]）を用いたコンクリートを対象に、地域的な骨材資源の枯渇解消とコンクリートの高品質化、すなわち乾燥収縮率の改善を主たる目的とする。この目的達成のため、比較的入手が容易で、かつコンクリートの乾燥収縮低減効果が期待される津久見産の石灰砕砂・砕石を富士川産骨材の一部と置換したコンクリートの試験練りを行い、

- 1) 骨材の一部を置換したコンクリートの硬化前後の性状（フレッシュ性状、ブリーディング、凝結、圧縮強度、静弾性係数（以下、ヤング係数）、動弾性係数、乾燥収縮率）を詳細に評価する
- 2) これらの結果から、津久見産石灰砕砂・砕石の置換骨材としての適用可能性を検証することとした。

2. 実験概要

本実験（試験練り）は、富士川産骨材を用いて生コンク

リートを製造するイワタ静岡工場（富士川水系大城川産骨材を使用）および沼津生コン有限責任事業組合（富士川中流域産骨材を使用）の試験室にて実施した。

2.1 コンクリートの使用材料および計画調査

コンクリート用の材料一覧を表1に、大城川産コンクリートの計画調査を表2、中流域産コンクリートの計画調査を表3にそれぞれ示す。

表1 コンクリート用の材料一覧

材料		記号	産地/銘柄	密度 g/cm ³	
セメント	普通ポルトランドセメント	C	太平洋セメント	3.16	
細骨材	川砂1	S1	大城川産川砂	2.60	
	川砂2	S2	天竜川産川砂	2.60	
	川砂3	S3	富士川中流域産川砂	2.62	
	川砂4	S4	六ヶ所村産山砂	2.62	
	石灰砕砂	LS1	津久見産石灰砕砂	2.67	
粗骨材	川砂利1	G1	大城川産川砂利	2.60	
	川砂利2	G2	富士川中流域産川砂利	2.65	
	石灰砕石	LG1	津久見産石灰砕石	2.70	
化学 混和剤	AE減水剤標準形	Ad1	ヤマソー16NB	—	
		Ad2	ヤマソー90SE	—	
練混ぜ水			W	地下水	—

表2 大城川産コンクリートの計画調査

調査名	W/B %	s/a %	単用量 kg/m ³							
			C	S1	S2	LS1	G1	LG1	W	Ad1
大城川 ベース	50.3	46.8	329	710	125	—	964	—	165	2.63
大城川 砕砂30	51.0	47.5	324	497	88	259	964	—	165	適宜
大城川 砕砂60	51.0	47.5	324	286	49	515	964	—	165	適宜
大城川 砕石30	51.0	47.5	324	710	125	—	676	297	165	適宜
大城川 砕石60	51.0	47.5	324	710	125	—	385	594	165	適宜

表3 中流域産コンクリートの計画調査

調査名	W/B %	s/a %	単用量 kg/m ³							
			C	S3	S4	LS1	G2	LG1	W	Ad2
中流域 ベース	47.4	44.1	353	548	233	—	1002	—	167	3.53
中流域 砕砂30	48.0	44.8	348	385	165	240	1002	—	167	適宜
中流域 砕砂60	48.0	44.8	348	220	94	481	1002	—	167	適宜
中流域 砕石30	48.0	44.8	348	548	233	—	705	297	167	適宜
中流域 砕石60	48.0	44.8	348	548	233	—	403	594	167	適宜

本研究で対象としたコンクリートは、呼び強度27の普通コンクリートで、工場での製造・出荷を想定し、目標スランプは16.0±2.5cm、目標空気量は4.5±1.5%とした。これらコンクリートは、大城川産骨材と富士川中流域産骨材

を津久見産石灰石骨材に置換し、その置換率を細骨材、粗骨材とも、それぞれ 30%と 60%の 2 水準ずつとした。

2.2 測定項目および測定方法

本実験における測定項目および測定方法は、表 4 に示すとおりである。各項目は、各試験は当該の JIS および JASS5 に準拠し測定した。なお、動弾性係数は、所定の材齢において対面法で供試体の超音波伝播速度を測定したうえで、式 (1) にて算出した。

$$E_d = \rho V^2 * \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{1 - \nu} \quad (1)$$

ここに、 E_d ：動弾性係数 (kN/mm³)、 ρ ：密度 (kg/m³)、 V ：超音波伝播速度 (m/s)、 ν ：ポアソン比 (0.2)

表 4 測定項目と測定方法

項目	方法 (規格)	測定/試験の条件
スランプ	JIS A 1101	室温 20°C 練上がり直後、静置で経時 30 分後
空気量	JIS A 1128	
コンクリート温度	JIS A 1156	
ブリーディング	JASS 5T-504	室温 20°C : Φ15×30cm 供試体 2 本
凝結	JIS A 1147	室温 20°C : ウェットスクリーニングモルタル
圧縮強度	JIS A 1108	標準養生 : Φ10×20cm
ヤング係数*	JIS A 1149	材齢 : 7、28、56、91 日
乾燥収縮率	JIS A 1129-2	室温 20°C・湿度 60%環境下
動弾性係数	超音波法 (対面法)	50kHz : Φ10×20cm 供試体

※：ヤング係数は、材齢 28、56、91 日のみ測定。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

コンクリートのフレッシュ性状を表 5 に示す。

表 5 コンクリートのフレッシュ性状

調査名	試験時	スランプ cm		空気量%		コンクリート温度°C
		測定値	変化量	測定値	変化量	
大城川ベース	直後	16.0	3.5	5.1	1.2	20
	経時 30 分	12.5		3.9		20
大城川砕砂 30	直後	19.0	4.5	5.4	1.3	20
	経時 30 分	14.5		4.1		20
大城川砕砂 60	直後	20.0	4.5	5.2	1.2	20
	経時 30 分	15.5		4.0		20
大城川砕石 30	直後	15.5	4.5	5.0	0.8	20
	経時 30 分	11.0		4.2		20
大城川砕石 60	直後	16.0	4.5	5.3	1.0	20
	経時 30 分	11.5		4.3		20
中流域ベース	直後	17.5	1.5	5.3	0.7	21
	経時 30 分	16.0		4.6		21
中流域砕砂 30	直後	18.0	1.5	5.3	0.8	21
	経時 30 分	16.5		4.5		21
中流域砕砂 60	直後	18.0	2.0	5.3	0.6	21
	経時 30 分	16.0		4.7		21
中流域砕石 30	直後	17.5	1.5	5.3	1.0	21
	経時 30 分	16.0		4.3		22
中流域砕石 60	直後	17.5	2.5	5.2	0.7	21
	経時 30 分	15.0		4.5		22

練上がり直後のコンクリートのスランプと空気量は、一部の調合で目標値を若干逸脱したが、いずれの調合も目標値とした 16.0±2.5cm、4.5±1.5%をほぼ満足した。また、練上がり直後から静置 30 分経過後のスランプの変化量 (スランプロス) は、大城川産コンクリートで大きめであった。これは、大城川産コンクリートの方が中流域産コン

クリートに比べブリーディング量が多いため、練上がり直後の流動性は良好であっても、経時 30 分後の流動性低下は大きくなる傾向があることによると考えられる。

3.2 ブリーディング量

ブリーディング試験結果を、図 1 に示す。両図中には、日本建築学会収縮ひび割れ指針³⁾に示されるブリーディング量の目標値である 0.3 cm³/cm²を併記した。

ブリーディング量は、大城川産コンクリート、中流域産コンクリートともに目標値を満足した。ベースコンクリートのブリーディング量は、大城川産コンクリートの方が多く、目標値 (上限値) とした 0.3cm³/cm²に近い値を示した。大城川産コンクリートでは、石灰砕石置換の調合より石灰砕砂置換の調合で、ブリーディング量は若干多めであったが、中流域産コンクリートでは、ブリーディング量は両者ほぼ同じであった。これは、砕砂が砕石に比べ粒径が小さく表面積が大きいため、モルタル中の水分移動が生じやすく、その結果、大城川産コンクリートでは砕砂置換によってブリーディング量が増えたと推察される。

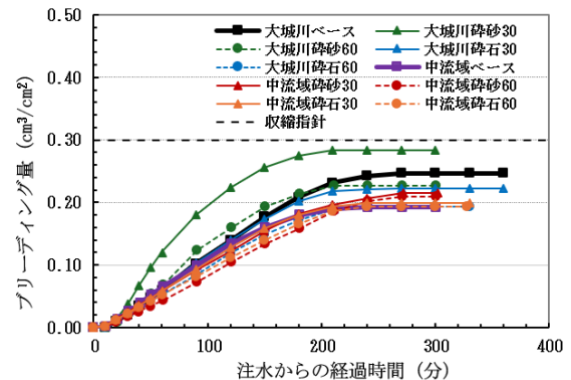


図 1 ブリーディング試験結果

3.3 凝結性状

各コンクリートの凝結試験結果を、図 2 に示す。凝結の始発時間と終結時間は、大城川産コンクリートでそれぞれ 315 分～329 分、411 分～427 分、中流域産コンクリートでそれぞれ 313 分～357 分、398 分～442 分となり、中流域産コンクリートの方がやや遅延傾向にあった。また、石灰石骨材に置換した調合に関しては、大城川産コンクリートでは砕石、砕砂による差は見られなかったが、中流域産コンクリートでは、砕石置換の調合のみ (置換率 30%、60%とも)、凝結が速まる結果となった。これは、中流域産コンクリートにおいて砕砂が粒形や微粉分量などの影響を受けやすく、練混ぜ水が骨材表面に拘束されることでセメントペーストの水分状態が変化したことにより起因すると考えられる。これに対し、砕石置換では比表面積が小さいことから、水の拘束が抑えられ、ペーストの骨格形成が早期に進行し、凝結時間の短縮につながったと推察される。

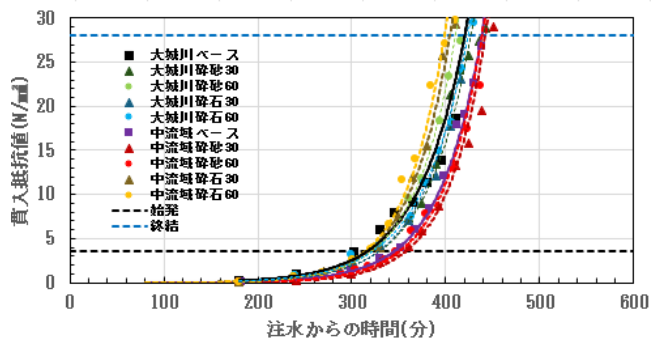


図2 凝結試験結果

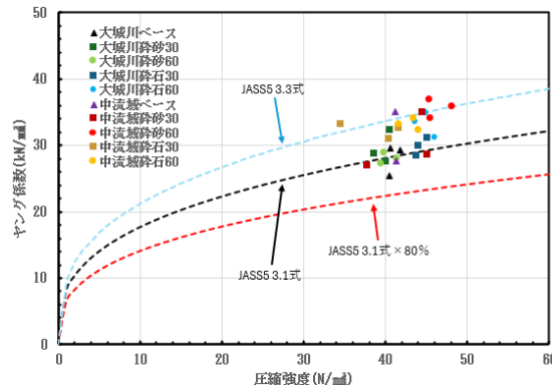


図4 各コンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係

3.4 圧縮強度およびヤング係数

各コンクリートの材齢別圧縮強度を図3に、各コンクリートの材齢28日における圧縮強度とヤング係数の関係を図4にそれぞれ示す。

標準養生供試体による圧縮強度は、図3に示すように、いずれの調査も材齢4週の時点で呼び強度27を満足した。なお、大城川砕砂60の調査においては、材齢8週から13週にかけて圧縮強度の増進がほとんど見られなかった。

圧縮強度とヤング係数の関係については、JASS5⁴⁾の3節に示される算定式による値の80%を、いずれの調査、いずれの材齢においても上回り、同じくJASS5の(解3.3)式で粗骨材に関する修正係数 k_1 を1.2(石灰石砕石)とした結果と同等であった。

3.5 動弾性係数

各コンクリートの材齢別の動弾性係数を図5に示す。動弾性係数は、川砂・川砂利のみによるベースコンより石灰砕砂・砕石と置換した調査の方が大きい。これは、表1に示したとおり、本研究で用いた骨材の密度が、川砂・川砂利より石灰砕砂・砕石よりも大きいことによると考えられる。

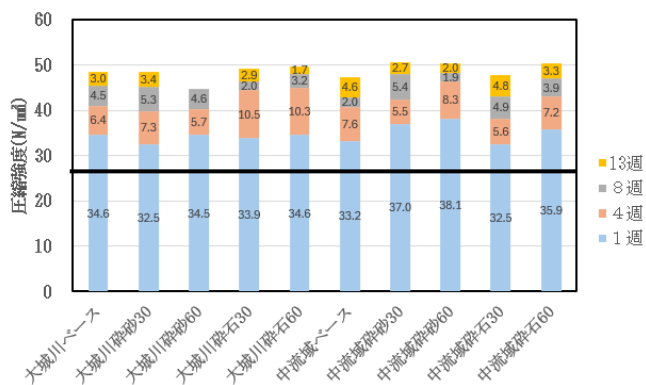


図3 各コンクリートの材齢別圧縮強度

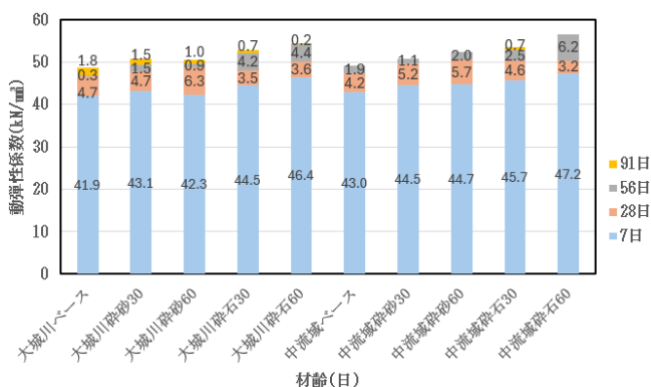


図5 各コンクリートの材齢別の動弾性係数

3.6 コンクリートの質量減少率と乾燥収縮率

JIS A 1129による各コンクリート供試体の質量減少率の推移を図6に、同じく乾燥収縮率の推移を図7に、各供試体の質量減少率と乾燥収縮率の関係を図8に、乾燥収縮率と動弾性係数の関係を図9にそれぞれ示す。

乾燥材齢17週における供試体の質量減少率はおおむね-1.9~-2.6%で、大城川産コンクリート(-2.4~-2.6%)より中流域産コンクリート(-1.9~-2.3%)の方が少なかった。

乾燥材齢17週における乾燥収縮率は、大城川産コンクリートでは約 $-670 \sim -810 \times 10^{-6}$ 、中流域産コンクリートで約 $-500 \sim -650 \times 10^{-6}$ で、相対的に中流域産コンクリートで小さかった。また、乾燥収縮率は、川砂・川砂利のみのプレーンと比較して、石灰砕砂置換の場合は大城川産コンクリートでは $-724 \sim -665 \times 10^{-6}$ 、中流域産コンクリートでは $-618 \sim -589 \times 10^{-6}$ 、石灰砕石置換の場合は大城川産コンクリートでは $-618 \sim -589 \times 10^{-6}$ 、中流域産コンクリートでは $-561 \sim -497$ でそれぞれ小さくなる傾向を示した。

供試体の質量減少率と乾燥収縮率の関係に関しては、図8に示すように、質量減少率の減少に伴う乾燥収縮率の増大は、いずれの調査もほぼ同様であるが、大城川産コンクリート(ベース、砕砂30、砕砂60)では、中流域産コンクリートに比べて質量減少率の増加に伴う乾燥収縮率の変化量がやや小さい傾向を示している。これは、大城川産

コンクリートでブリーディング量が多く、その結果コンクリートの内部組織が若干粗になったことが要因と考えられる。

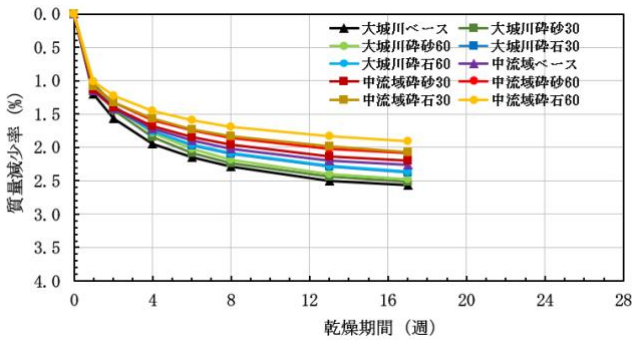


図6 供試体の質量減少率

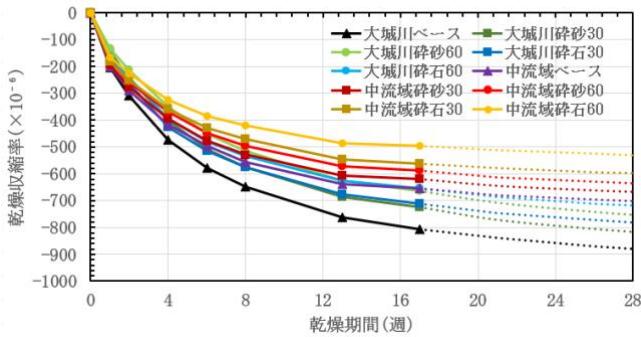


図7 供試体の乾燥収縮率

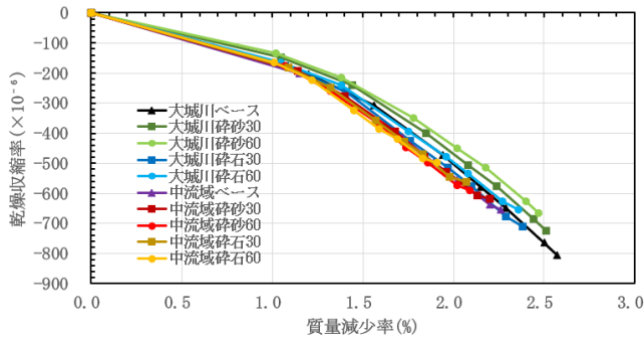


図8 供試体の質量減少量と乾燥収縮率の関係

石灰石骨材置換率と乾燥収縮率の関係を図9に示す。同図によれば、石灰砕砂・碎石の置換率が高くなるほど、乾燥収縮率が低減されることがわかる。また、大城川産コンクリート、中流域産コンクリートともに、石灰砕砂置換よりも石灰碎石置換の方が乾燥収縮率は低減するが、これは細骨材より粗骨材の方がコンクリートの乾燥収縮を抑制する効果が高いことを裏付けるものである。

供試体の乾燥収縮率と動弾性係数の関係を図10に示す。乾燥収縮率は動弾性係数が大きくなるにしたがい大きくなる傾向が認められ、その傾向はおおむね比例関係にあるといえる。これは、動弾性係数が大きい供試体で剛性が大き

く、乾燥収縮による変形抑制効果が大きいと考えられる。また、今後より多くのデータが蓄積されれば、動弾性係数から乾燥収縮率の推定も可能になると考えられる。

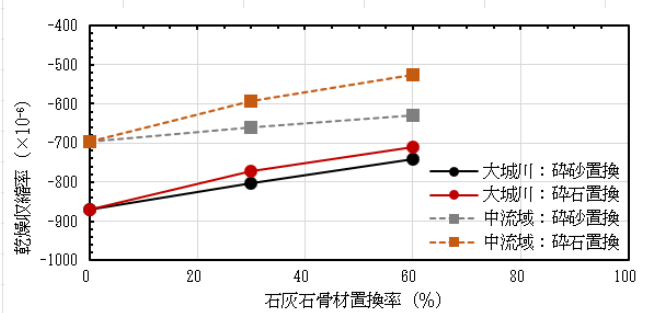


図9 石灰石骨材置換率と乾燥収縮率の関係

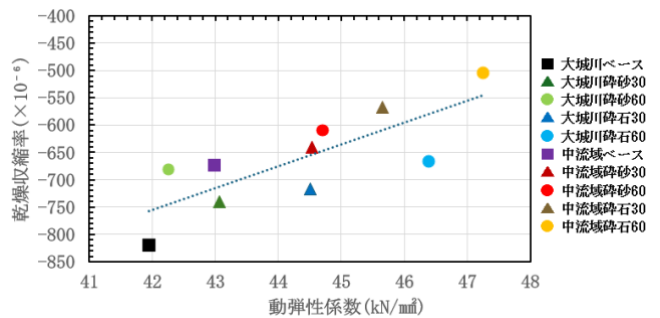


図10 供試体の乾燥収縮率と動弾性係数の関係

4. 研究まとめ

本研究では、大城川産および富士川中流域産の川砂・川砂利を用いた普通コンクリートを対象として、これら骨材の一部を津久見産の石灰砕砂・碎石に置換することによる乾燥収縮率の低減効果に関する実験を行った。実験結果から、以下のことがいえる。

- ・石灰石骨材に置換することによるコンクリートの乾燥収縮率の低減効果は、中流域産コンクリートの方が大城川産コンクリートより高い。
- ・両河川産骨材を石灰石骨材に置換する場合、石灰砕砂より石灰碎石の方が乾燥収縮低減効果は高まる。
- ・今後は、乾燥材齢26週の最終結果に基づき、静岡県産骨材コンクリートの乾燥収縮低減のための調合修正や石灰石骨材と収縮低減剤との併用など、さらなる高品質化と実用化に向けた取組みが必要と考える。

参考文献

- 1) 野口貴文：建設副産物リサイクル広報推進会議：建設材料の資源循環に関する現状・指針・提言－建設リサイクルの是非と理想－ pp.21-26、2016、10
- 2) 加藤均：輸入骨材、コンクリート工学、Vol.34、No.7、pp.34-35、1996.7
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針・同解説、2023
- 4) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事、2022