

論文 炭酸カルシウムを利用したカーボンリサイクル・コンクリートの基本性状について

荻野 正貴*1・大脇 英司*2

要旨：著者らはポルトランドセメントを使用しない環境配慮コンクリートの開発，社会実装を進めている。他方，温暖化対策として CO₂ の資源化技術（カーボンリサイクル技術）の開発が進められ，CO₂ を炭酸塩として固定した材料の早期の生産・活用が有望視されている。本報では，多様な形態の炭酸塩のうち，比較的純度が高く，粉末として提供される炭酸カルシウムについて，これを環境配慮コンクリートに添加し，カーボンリサイクル・コンクリートとしたときの基本性状について，社会実装が先行する混和材を大量に使用したコンクリートの性状と比較して報告する。

キーワード：コンクリート，カーボンリサイクル，高炉スラグ微粉末，炭酸カルシウム，力学特性，耐久性

1. はじめに

地球温暖化対策のため，コンクリートに関わる産業にも CO₂ の排出削減が求められる。このため，例えば材料製造に係る排出削減を目的に，高炉スラグ微粉末などの産業副産物を混和材として大量に使用したコンクリートが開発されている¹⁾。著者らは，混和材を最大限に利用して CO₂ 排出量の大きなポルトランドセメントの使用を“ゼロ”とし，高炉スラグ微粉末を主な結合材とする環境配慮コンクリートの開発，社会実装を進めている²⁾。

一方，「2050年カーボンニュートラル」を目指して³⁾，カーボンリサイクル技術の開発が進む。排ガスや大気から CO₂ を回収して産業ガスとして利用するほか，原油増進回収 (Enhanced Oil Recovery: EOR) や，化学品や燃料，鉱物の合成による資源化が検討されている。CO₂ を炭酸塩として固定する鉱物化技術は早期の実用が期待され⁴⁾，炭酸塩に炭酸カルシウムを選択する例も多い⁵⁾。

CO₂ を資源とする材料をカーボンリサイクル材料と呼び，「カーボンニュートラル」の実現にはこの材料を大量に利用する必要がある。コンクリートは他産業の素材と比較して消費量が多いため，カーボンリサイクル技術に

よる炭酸カルシウムを活用したコンクリート（カーボンリサイクル・コンクリート）の実用化は有用であり，著者らも開発を進めている⁶⁾。本論文では，より大きな環境負荷の低減を目指し，CO₂ 排出量を抑制した環境配慮コンクリートに炭酸カルシウムを大量に添加した場合の基本的な性状について，社会実装が先行する混和材を大量に使用したコンクリートと比較して報告する。

2. 使用材料と配合

2.1 炭酸カルシウム

炭酸カルシウムは，コンクリートに石灰石微粉末の形態で使われている。石灰石微粉末は，重質炭酸カルシウム，天然炭酸カルシウムとも呼ばれる（図-1）。また他産業では，石灰石を焼成して生石灰とし（CaCO₃→CaO+CO₂↑），水と混合（水化）した石灰乳（Ca(OH)₂溶液）に CO₂ ガスを導入し炭酸カルシウムを沈降させた（Ca(OH)₂+CO₂→CaCO₃+H₂O），軽質炭酸カルシウムが使われている。合成炭酸カルシウムとも呼ばれる（図-1）。

他方，カーボンリサイクル技術による炭酸カルシウム（人工石灰石）の製造では，副産物や廃棄物に含まれる

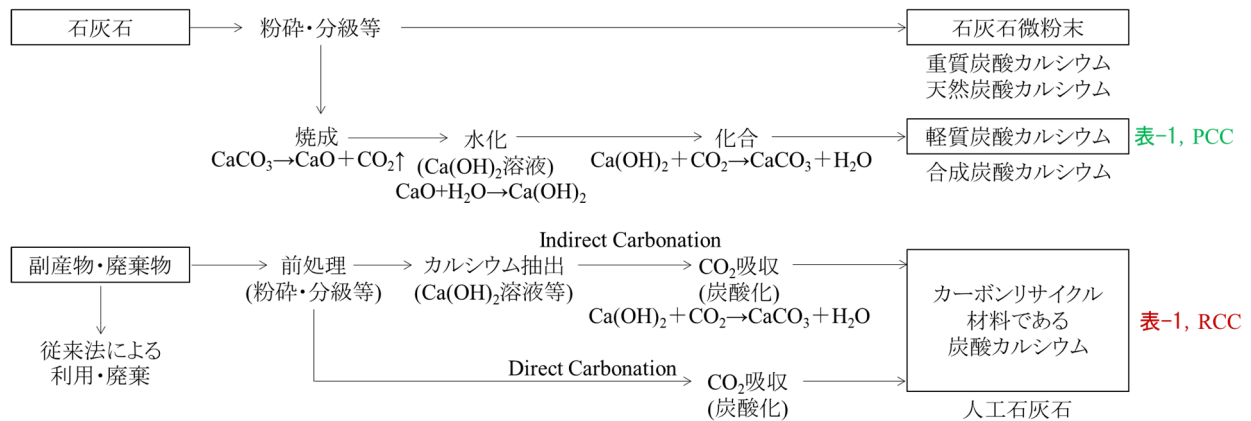


図-1 種々の炭酸カルシウムの製造手順

*1 大成建設（株）技術センター 社会基盤技術研究部 材工研究室 副主任研究員 修士（工学）（正会員）

*2 大成建設（株）技術センター T-eConcrete 実装プロジェクトチーム 主幹研究員 博士（工学）（フェロー会員）

カルシウムを活用する。カルシウムを抽出して純度の高い炭酸カルシウムを得ることや (Indirect Carbonation), カルシウムを抽出せずに直接 CO₂ を反応させて副産物や廃棄物を炭酸カルシウム含有材料として再資源化すること (Direct Carbonation) が検討されている⁵⁾。Indirect Carbonation ではカルシウムの抽出後の水化および化合の過程 (図-1) が従来の軽質炭酸カルシウムの製造工程と類似する場合がありますが、本論文では Indirect Carbonation による炭酸カルシウム (表-1: RCC) と従来の軽質炭酸カルシウム (表-1: PCC) を使用した。

RCC, PCC の性状を表-1 に示す。比表面積は Blaine 値であり、密度はガス式ピクノメーター、粒子径はレーザー回折式粒度分布計、化学組成は波長分散型蛍光 X 線元素分析装置で求めた。湿分は 105℃における減量、鉱物組成は粉末 X 線回折法 (XRD) による同定結果である。参考に、製造過程は異なるが化学組成などが類似する石灰石微粉末に対する品質規格⁷⁾を併記した。RCC は SO₃ 含有率と湿分がこの規格には該当しなかった。

2.2 その他の材料と配合

炭酸カルシウム以外の使用材料について、規格や仕様・物性などを表-2 に示した。刺激材には相当する規格がないが、原料は従来のセメントやコンクリートにおいて使用実績がある。コンクリートの配合を表-3 に示す。配合名の RCC または PCC は炭酸カルシウムの種類を、数字は水結合材比 (W/B) を示す。RCC を用いた配合では水結合材比を一般的なセメントと同様に 0.55 とし、PCC を用いた配合では水結合材比と圧縮強度の関係を確認するため、水結合材比 0.42~0.93 の配合を用意した。粉体に占める炭酸カルシウムの割合は約 45% とし、PCC-93 は、割合を 70% に増やした。

粉体量が多いため粘性が高く、また、混和材を大量に使用したコンクリートでは凍害に対する抵抗性を確保するため空気量を 6% とすることが推奨されている¹⁾。これらを踏まえ、フレッシュ性状の目標をスランプフロー: 500±100mm, 空気量: 6±1.5% とした。これを満足するよう、化学混和剤 Ad1~Ad4 の添加量を適宜、調整した。

3. 試験方法

3.1 供試体作製

コンクリートは水平 2 軸形強制練りミキサーを用いて混練した。フレッシュ性状を確認したのち、試験方法に応じて φ100×200mm または 100×100×400mm の型枠に打ち込んだ。材齢 2 日で脱型し、以後、所定の材齢まで 20℃ の水中養生を行った。

3.2 強度特性に関わる試験

圧縮強度、ヤング係数、ポアソン比、割裂引張強度について試験を行った。圧縮強度は所定の材齢まで 20℃ で

水中養生した φ100×200mm の供試体を用い、JISA 1108 に準拠して試験した。PCC を用いた材齢 28 日の供試体で結合材水比との関係を求めた。また、RCC を用いた供試体で圧縮強度の発現の様子を確認し、材齢 28 日において圧縮強度と割裂引張強度、ヤング係数、ポアソン比

表-1 使用した炭酸カルシウムの性状

		RCC	PCC	参考*
		カーボンリサイクル材料である炭酸カルシウム	軽質炭酸カルシウム	石灰石微粉末
比表面積	(cm ² /g)	4350	—	2500 以上
密度	(g/cm ³)	2.64	2.67	—
粒子径	中央値	28.5μm	3.69μm	—
	平均値	33.7μm	4.11μm	—
化学組成	CaCO ₃	95.8%	99.2%	90%以上
	MgO	0.1%	0.3%	5%以下
	SO ₃	1.6%	0.0%	0.5%以下
	Al ₂ O ₃	0.2%	0.0%	1.0%以下
湿分	—	1.4%	0.3%	1.0%以下
鉱物組成	XRD	calcite のみ同定		—

*: JCI-SLP コンクリート用石灰石微粉末品質規格 (案)⁷⁾による

表-2 炭酸カルシウム以外の使用材料

名称・規格	記号	仕様・物性など
水 JISA 5308	W	上水道水
高炉スラグ微粉末 JISA 6206	BFS	高炉スラグ微粉末 4000, 密度 2.89g/cm ³ , 比表面積 4470cm ² /g
刺激材	St	カルシウム系化合物, 主成分: Ca(OH) ₂ , 密度 2.89g/cm ³
細骨材 JISA 5005	S	君津産山砂と石灰岩砕砂の混合砂, 表乾密度 2.60g/cm ³ , 吸水率 2.0%
粗骨材 JISA 5005	G	砕石 2005, 青梅産硬質砂岩, 表乾密度 2.65g/cm ³ , 吸水率 0.7%
化学混和剤 JISA 6204	Ad1	高性能減水剤, ポリカルボン酸エーテル系
	Ad2	減水剤, リグニンスルホン酸系とオキシカルボン酸系の複合体
	Ad3	硬化促進剤
	Ad4	AE 剤

表-3 コンクリートの配合

配合名	W/B	単位量 (kg/m ³)						
		W	粉体: P				骨材	
			結合材: B		炭酸カルシウム			
			BFS	St	RCC	PCC		
RCC-55	0.55	175	263	55	260	—	618	836
PCC-42	0.42	155	310	57	—	277	617	832
PCC-55	0.55	175	269	50	—	256	623	839
PCC-64	0.64	155	205	37	—	195	700	945
PCC-72	0.72	155	182	33	—	173	720	971
PCC-93	0.93	155	140	26	—	386	635	893

表中、使用材料に係る記号は表-1, 表-2 による

との関係の評価した。割裂引張強度は JIS A 1113 に準拠して求めた。ヤング係数は JIS A 1149 に準拠し、応力-ひずみ曲線上で最大荷重の 1/3 に相当する応力と、ひずみが 50×10^{-6} の時の応力を結んだ直線の勾配から割線弾性係数として求めた。ポアソン比は最大荷重の 1/3 の荷重における横ひずみと縦ひずみの比から算出した。

3.3 劣化抵抗性に関わる試験

凍害に対する抵抗性を凍結融解試験で評価し、アルカリシリカ反応に対する抵抗性を「無害でない」骨材を用いてモルタルバー法で評価した。凍結融解試験は材齢 28 日まで水中養生した $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 角柱供試体を用い、JIS A 1148 (A 法) に準拠して $-18 \sim 5^\circ\text{C}$ の範囲で所定の温度履歴を与えた。また、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 円柱供試体の切断面を用いてリニアトラバース法により硬化後の空気量と気泡間隔係数を求めた。モルタルバー法は JIS A 1146 に準拠した。JIS A 1145 (化学法) にて「無害でない」と判定された細骨材と表-2 に示す細骨材を等量混合して使用した。材料中の含有量を含めた $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ 量が結合材の 1.2% となるように NaOH 溶液を添加し、JIS A 1148 の配合に基づき 3 種の $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ 角柱供試体を作製した。記号: JIS-M は規格通りの配合物である。BB-M はセメントを高炉セメント B 種に変更し、PCC-M ではセメントを PCC-55 の粉体構成に変更した。材齢 2 日で脱型した後、温度 40°C で湿気箱に貯蔵し、所定の材齢で膨張率を測定した。

3.4 物質の透過性に対する抵抗性に関わる試験

中性化に対する抵抗性を促進中性化試験で、塩害に対する抵抗性を塩化物イオンの拡散係数試験で評価した。

促進中性化試験は JIS A 1153 に準拠した。材齢 28 日まで 20°C で水中養生した $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 角柱供試体を用い、型枠立面との接触面 ($100 \times 400\text{mm}$ の 2 面) を残して他の 4 面をアルミニウム箔テープで被覆した。その後、室温 20°C 、相対湿度 60% で材齢 56 日まで養生し、促進試験に供した。促進条件を温度 20°C 、相対湿度 60%、 CO_2 濃度 5% とし、所定の材齢で中性化深さを測定した。

塩化物イオンの拡散係数試験は土木学会規準 JSCE-G572-2018 に準拠した。材齢 28 日まで 20°C で水中養生した $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 円柱供試体を用いた。両端を切除して長さを 150mm にした後、1 日間、室温 20°C 、相対湿度 60% の室内に静置し、柱面と底面の 1 面 (型枠側) をエポキシ樹脂で被覆した。樹脂の硬化後、1 日間、 20°C の水中に浸漬した後、 20°C で濃度 10% の NaCl 溶液中に移し、半年後に浸漬面から 5mm 間隔で切断して全塩化物イオン濃度を測定した。

3.5 ひび割れ抵抗性に関わる試験

ひび割れ抵抗性に関連して乾燥収縮量と断熱上昇量を測定した。乾燥収縮量測定は JIS A 1129-2 に準拠した。

材齢 7 日まで 20°C で水中養生した $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 角柱供試体を、室温 20°C 、相対湿度 60% の室内に移して静置し、長さ変化を 26 週間、測定した。断熱温度上昇量はマスブロックを用いた簡易法⁸⁾で測定した。断熱した型枠に 450mm 立方のコンクリートを打込み、コンクリートや環境の温度を計測して断熱温度上昇量に換算した。

4. 試験結果と考察

4.1 強度特性

表-3 のコンクリートの圧縮強度と結合材水比の関係を、「混和材を大量に使用したコンクリート」(以下、HVA-C と称す) の場合と比較して図-2 に示した。HVA-C は文献 1 において結合材に占める混和材の割合が 70% 以上、かつ、混和材の 50% 以上が高炉スラグ微粉末、と定義されている。図-2 の各種の HVA-C の粉体構成は、普通または早強ポルトランドセメント量 30% 以下、高炉スラグ微粉末量 45~90%、フライアッシュ量 0~30% である¹⁾。

粉体に占める炭酸カルシウムの割合が 45% である PCC-42, 55, 64, 72 の圧縮強度と結合材水比の関係を直線近似して図-2 に作図した。PCC-42, 55, 64, 72 の圧縮強度は HVA-C の場合と同様に結合材水比と高い正の相関性を持ち、HVA-C と比較して同一の結合材水比において圧縮強度が高くなる傾向にあった。また、PCC の添加率をさらに高めた PCC-93 においても強度低下はみられなかった。すなわち、配合を適切に設計すれば大量の炭酸カルシウムの混合は圧縮強度を損なうものではないことが分かった。RCC を用いたコンクリートでも同様の傾向であり、副産物や廃棄物、排気ガスを活用した炭酸カルシウムであっても特性に合わせた配合設計を行うことで良好な強度特性が得られる可能性が示された。

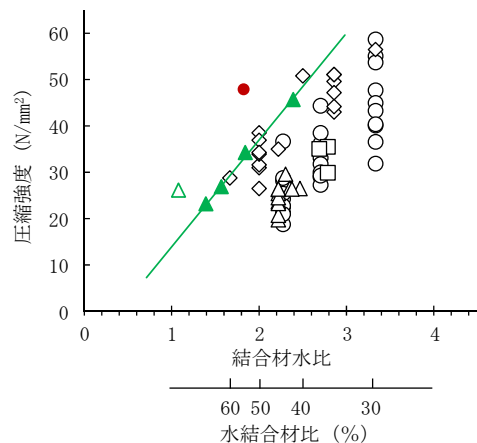


図-2 炭酸カルシウムを用いたコンクリートの結合材水比と強度の関係 (文献 1 に加筆)

● : RCC-55, ▲ : PCC-42, 55, 64, 72, ▲ : PCC-92
○, ◇, △, □ : 各種の HVA-C (結合材に占める混和材の割合が 70% 以上、かつ、混和材の 50% 以上が BFS)

RCC-55 の強度発現性を図-3 に示す。各材齢で 3 体を試験に供した。材齢 28 日の強度は 48N/mm^2 であり、この強度を基準に材齢 7 日までに約 72% の強度を発現した。材齢 28 日以降も強度発現は継続し、材齢 1 年では 141% となった。炭酸カルシウムを大量に混合しても長期強度が毀損されることはなく、また、水中養生では比較的長期にわたり水和反応が継続していることが推察された。

RCC-55 の圧縮強度とその他の力学的性質との関係を HVA-C の場合と比較して図-4 に示す。RCC-55 は HVA-C と類似の関係性を示し、従来の関係式⁹⁾を用いて圧縮強度からその他の力学的性質を推定できることが明らかになった。ただし、ヤング係数とポアソン比は推定値よりやや小さくなる傾向にあることに注意が必要である。

4.2 劣化抵抗性

凍結融解試験の結果を図-5 (a) に示す。RCC-55 は促進回数 300 サイクルまで相対動弾性係数に変化がなく、凍害に対する抵抗性が良好であった。一方、PCC-55 は 120 サイクルまでに相対動弾性係数が 60% を下回り、十分な抵抗性が得られなかった。硬化後の空気量と気泡間隔係数は、RCC-55 では 4.6% と $120\mu\text{m}$ 、PCC-55 では 3.2% と $197\mu\text{m}$ であった (図-5 (b))。PCC-55 は空気量が少なく、気泡間隔係数が大きいことに加え、気泡径が 0.1mm 以下の気泡が少なく、 1mm を超える大きな気泡が観察された。コンクリート製造時の空気量の管理に加え、硬化後に適切な気泡を導入できる管理が重要であることが再確認された。HVA-C においても「結合材によっては AE 剤の空気連行性が低下する可能性があるため、微細で安定した良質な空気の確保が可能となる AE 剤を適切に選定する必要がある」と明記されており⁹⁾、同様の指摘は炭酸カルシウムを多用するコンクリートにも該当すると思われる。

「無害でない」骨材を用いてアルカリシリカ反応に対する抵抗性を調べた。モルタルバー法の結果を図-6 に示す。JIS A1146 に示されたモルタルでは促進期間 8 週で 0.5% を超える大きな膨張を示した (図-6: JIS-M)。結合材を高炉セメント B 種に変更すると、供試体の膨張は顕著に抑制できるが、促進期間 13 週で判定基準を超える膨張を示した (同: BB-M)。一方、炭酸カルシウムを多量に含む RCC-M では長さ変化をほとんど示さなかった。これは一部の種類の HVA-C と同様の性質であり、低品質骨材を有効に利用できる可能性があることを示している。CO₂ 排出量の抑制を目指したこれらのコンクリートは天然資源の有効利用の観点からも期待できる。

4.3 物質透過抵抗性

促進中性化試験で求めた中性化速度係数を、HVA-C の場合と比較して図-7 に示す。RCC-55 の値は普通ポルトランドセメントのみを結合材に用いたコンクリート (以

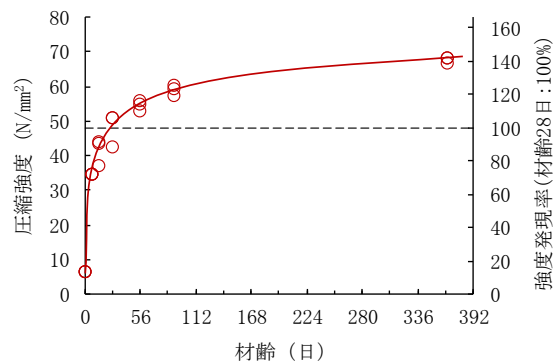
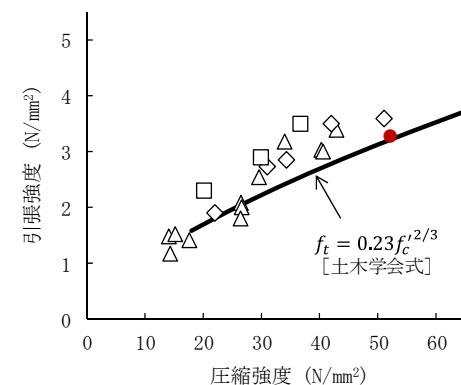
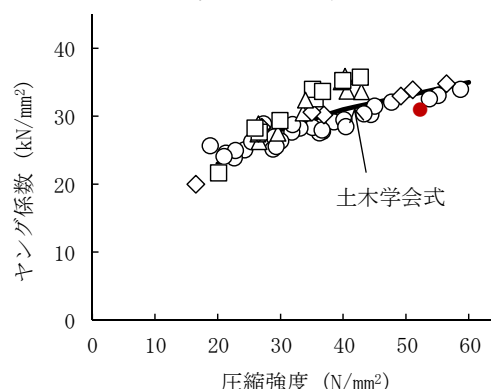


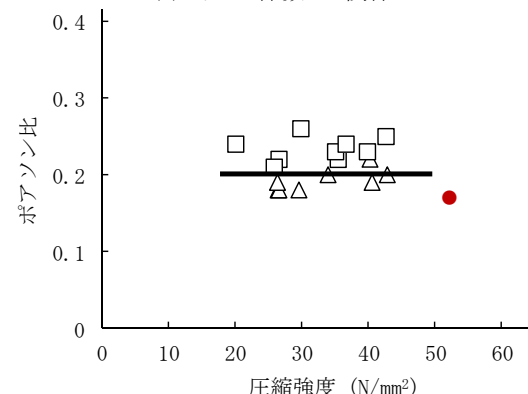
図-3 RCC-55 の圧縮強度の発現



(a) 引張強度との関係



(b) ヤング係数との関係



(c) ポアソン比との関係

図-4 RCC-55 の圧縮強度とその他の力学的性質の関係 (文献 1 に加筆)

● : RCC-55
○, ◇, △, □ : 各種の HVA-C

下、OPC コンクリートと称す) より大きい、HVA-C の値の分布範囲に一致し、中性化速度係数の小さな HVA-C の値に類似した。セメントを使用せず、炭酸カルシウムを多量に含むが、社会実装が進められてきた HVA-C と同様に扱うことができることが示唆された。

塩化物イオンの拡散係数試験の結果について、コンクリート表面塩化物イオン濃度と見掛けの拡散係数を、HVA-C の値と比較して図-8 に示す。表面塩化物イオン濃度は浸漬水の NaCl 濃度の影響を強く受けるため、データの比較ができるよう濃度 10% の場合で比較すると、PCC-55 の値は表面塩化物濃度の小さな HVA-C と類似し、環境からコンクリート内部への浸入速度(界面の通過速度)が比較的小さいことが分かった。一方、拡散係数は HVA-C より大きい、OPC コンクリートの約半分の値となった。従来のコンクリートより塩害に対する抵抗性が高いことが期待できる。HVA-C と比較すると拡散係数は大きい、混和材を大量に使用したコンクリートでは塩化物イオンの浸入が停滞することがあり、試験期間が長くなると拡散係数が小さく評価される。本検討は浸漬期間を半年としたが、1 年まで継続すると拡散係数が半分程度になることも報告されており、評価を継続したい。

4.4 ひび割れ抵抗性

乾燥収縮試験結果と、示方書に記載の予測式から乾燥収縮量を推定した値と比較し、図-9 に示した。図には HVA-C に関する結果もあわせて掲載した。推定値はコンクリートの単位水量、セメント水比、骨材の吸水率と単位量、配合から求める単位容積質量を用いて得られる⁹⁾。ここではセメント水比を結合材水比に読み替えて適用した。RCC-55 の場合、初期の測定材齢では測定値が推定値を上回る傾向にあったが、26 週間の測定期間の全体では比較的よく一致した。RCC-55 の測定値と推定値の分布が HVA-C の場合の分布範囲と重なっており、HVA-C の場合と同程度の確からしさで推定できる。

断熱温度上昇量は式(1)に示す関数で整理した。

$$Q(t) = Q_{\infty} [1 - \exp\{-r(t - t_{0,Q})\}] \quad (1)$$

ここで、 $Q(t)$: 断熱温度上昇量 [°C], Q_{∞} : 終局断熱温度上昇量 [°C], r : 温度上昇速度に関する係数 [-], $t_{0,Q}$: 有効材齢に関する係数 [d] である。

Q_{∞} と r について、RCC-55 および HVA-C の測定値と一般的なセメントに関する値を図-10 に示した。 Q_{∞} は従来のセメントより小さく HVA-C と類似した値を示した。 r は従来のセメントや HVA-C と比較して小さい部類に分類でき、温度の上昇が比較的穏やかであることが分かった。RCC-55 は水和発熱による温度上昇量が小さく、温度ひび割れの抑制に対して有効となる可能性があること、また、その特性は HVA-C と同様に扱うことができることが分かった。

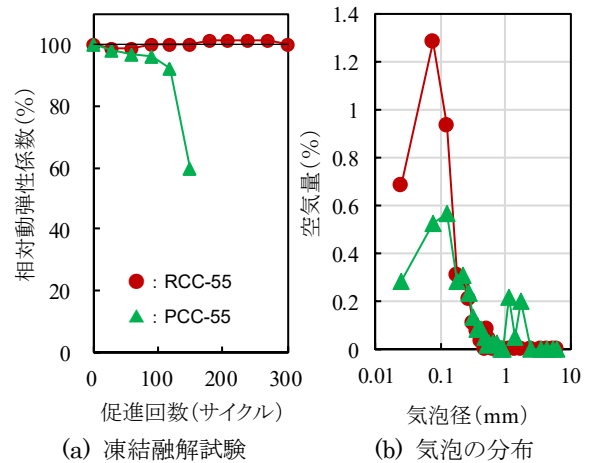


図-5 RCC-55 と PCC-55 の凍結融解抵抗性

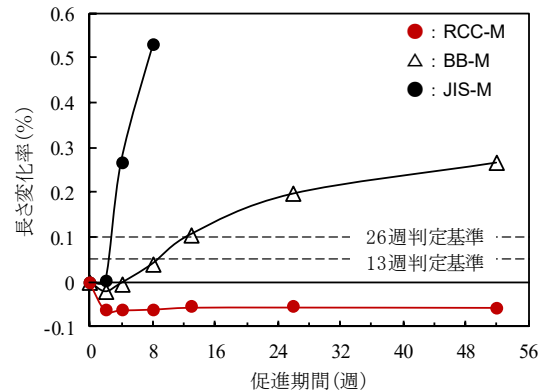


図-6 各種モルタルの ASR 反応抵抗性

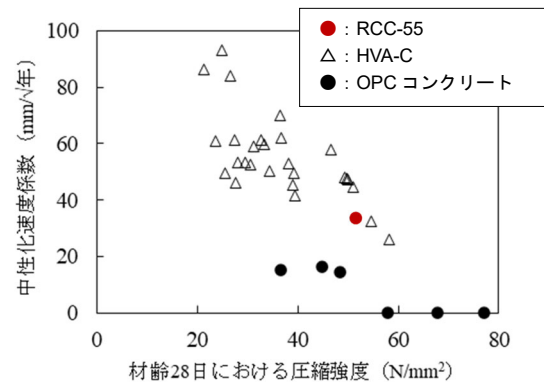


図-7 RCC-55 の促進中性化速度係数 (文献 1 に加筆)

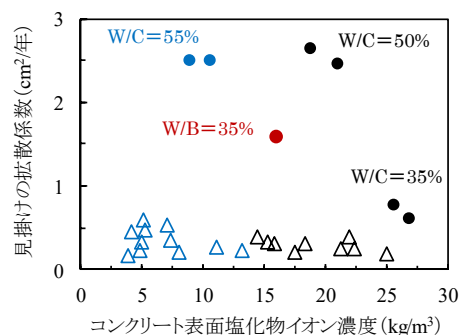


図-8 RCC-55 の塩化物イオンの拡散 (文献 1 に加筆)

RCC-55 / ● : 10%NaCl 浸漬
HVA-C / △ : 3%NaCl 浸漬, △ : 10%NaCl 浸漬
OPC コンクリート / ● : 3%NaCl 浸漬, ● : 10%NaCl 浸漬

5. まとめ

カーボンリサイクル材料である炭酸カルシウムを用いたコンクリートをカーボンリサイクル・コンクリートとして、基本的な性状を「混和材を大量に使用したコンクリート」と比較して評価し、先行する指針¹⁾が活用できる可能性が高いことを示した。また、使用した炭酸カルシウムは石灰石微粉末の品質規格に一部、適合しなかったが(表-1)、これを用いたコンクリート(RCC-55)は、コンクリートとして十分な性能を示したことから、カーボンリサイクル材料である炭酸カルシウムについても、適切な規格や規準類を整備することで有用なコンクリートを製造できることが示唆された。なお、カーボンリサイクルに関する環境評価の方法が検討の途上であることを踏まえ、環境負荷低減効果には触れていない。他方、構造物や適用形態に合わせて配合を調整して社会実装を進め、CO₂排出削減効果の評価も試みている¹⁰⁻¹³⁾。参照いただければ幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会:「混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針(案)」, 土木学会, コンクリートライブラリー152, 2018.9
- 2) 大脇英司, 岡本礼子, 松元淳一, 渡邊悟士: 混和材を大量に使用したコンクリートと実装, コンクリート工学, Vol.57, No.1, pp.71-74, 2019.1
- 3) 首相官邸 HP: 第百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説, 2020.10.26. https://www.kantei.go.jp/jp/9_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html (閲覧日: 2023年1月9日)
- 4) 経済産業省: カーボンリサイクル技術ロードマップ, 2019.6 (2021.7改訂). <https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf> (閲覧日: 2023年1月9日)
- 5) Saran R.K., Arora V. and Yadav S.: CO₂ sequestration by mineral carbonation: a review, Global NEST Journal, Vol.20(3), pp.497-503, 2018
- 6) 大脇英司, 荻野正貴, 大沼寛知: T-eConcrete®/Carbon-Recycle の特徴と社会実装例, 電力土木, No.421, pp.70-74, 2022
- 7) コンクリート工学協会: JCI 規準集 1977-2002 年度, pp.465-467, 2004
- 8) 臼井達哉, 宮原茂禎, 丸屋剛, 大友健: 異なる養生温度条件下における高炉セメントコンクリートの自己収縮ひずみと収縮応力の特性, 土木学会論文集 E2, Vol.70, No.1, pp.92-103, 2014
- 9) 土木学会: 2017年制定コンクリート標準示方書, 設計編, 土木学会, pp.38-43 および pp.335-336, 2018

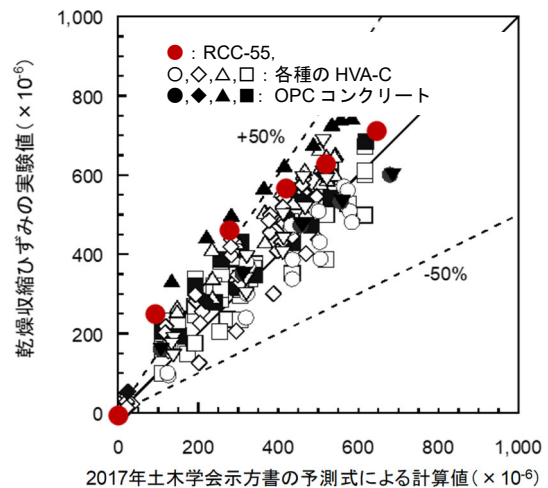


図-9 RCC-55の乾燥収縮特性 (文献1に加筆)

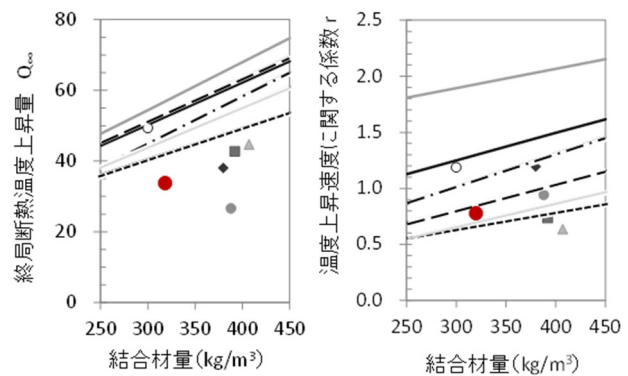


図-10 RCC-55の断熱温度上昇パラメータ (文献1に加筆)

- 普通ポルトランドセメント
- 低熱ポルトランドセメント
- 中庸熱ポルトランドセメント
- 高炉セメント B 種
- 早強ポルトランドセメント
- フライアッシュセメント B 種
- : RCC-55, ▲, ■, ◆, ● : 各種の HVA-C,
- : OPC コンクリート

- 10) 大脇英司, 荻野正貴, 渡邊悟士, 岡本礼子, 宮原茂禎: カーボンリサイクル・コンクリートを用いた天然石材調ブロックによる舗装の事例, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, V-407, 2022.9
- 11) 荻野正貴, 大脇英司, 宮原茂禎, 岡本礼子: 移動式コンクリートプラントによるカーボンリサイクル・コンクリートの現場打ち舗装, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, V-408, 2022.9
- 12) 坂本淳, 荻野正貴, 大脇英司, 岡本礼子, 渡邊悟士, 加藤優志: 鋼繊維を添加したカーボンリサイクル・コンクリートのプレキャスト部材への適用検討, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, V-409, 2022.9
- 13) 吉田泰, 加藤優志, 渡邊悟士, 黒岩秀介, 荻野正貴, 大脇英司, 佐藤靖昌, 永田達也: 環境配慮コンクリートの建築物への適用, 2022年度日本建築学会大会学術講演会, pp.607-608, 2022.9