

論文 炭酸化スラリーを用いたコンクリートの基本性能と CO₂ の削減効果に関する検討

石井 祐輔*1・黒川 大亮*2・田場 祐道*3・早川 隆之*4

要旨: 本研究では、CO₂を固定化したセメントスラリー（炭酸化スラリー）を混合したコンクリートの強度発現性および材料分離抑制の効果について検討した。その結果、炭酸化スラリー中の固形物の混合量がセメントの内割 10~20wt%程度では無混合のコンクリートと同程度の強度発現性を示した。締固めを必要とする高流動コンクリートを対象に炭酸化スラリーを混合することで、加振時の材料分離抵抗性が向上した。さらに炭酸化スラリーの物質収支から使用材料をベースとしたコンクリートの構成を算定し、一般的なコンクリートに対する炭酸化スラリーを混合したコンクリートの CO₂ 削減効果を試算した。

キーワード: セメントスラリー, 炭酸化スラリー, 材料分離抵抗性, CO₂ の固定, CO₂ の削減

1. はじめに

昨今、各産業界において温室効果ガスの削減が求められる中、セメント産業においても工場のキルン排ガスから CO₂ を分離・回収するなど、カーボンニュートラルの実現に向けた様々な取組みが行われている¹⁾。一方で、回収した CO₂ は、液化し深海底の水が及ばない地層に貯留する方策や炭酸塩化反応を利用し廃コンクリートや生コンクリート等に固定化するなど、CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) に関する研究開発が進められている。Monkman ら²⁾は、CO₂ を水和促進のための混和剤としてコンクリートの練混ぜ時に注入し、強度増進により一定のセメント量を削減（クリンカファクターの低減）する技術を提案している。

筆者らは、フレッシュコンクリートに CO₂ を固定化することを目的に、自社工場のキルン排ガスから分離回収した CO₂ を、セメントスラリー中に効率よく固定化するシステムを開発した³⁾。CO₂ を固定化したセメントスラリー（以下、炭酸化スラリー）は、コンクリート構成材料の一部に置換することで用いる。これまでの知見として、炭酸化スラリー中には微細な炭酸カルシウムが析出するため、コンクリートに混合すると粘性が増大し、混和剤の添加率も増えることから練混ぜ方法には工夫が必要であった。コンクリートの各種物性評価⁴⁾⁵⁾では、炭酸化スラリーを固形物換算でセメントの内割 15wt%程度置換した場合は、無混合のコンクリートと同程度の強度が得られ、基本的な耐久性も概ね同等であった。しかし、炭酸化スラリーの混合量の違いによるコンクリートの強度発現性や、流動性に対する詳細な検討は出来ていない。またコンクリート施工の合理化・省力化は、CO₂ 削減に

も寄与する。近年、流動性の高いコンクリートへの要求は高まっており、指針類⁷⁾の整備も進められている。締固めを必要とする高流動コンクリートについては、一般的なコンクリートと単位セメント量が同程度であるため、モルタルと粗骨材の材料分離抵抗性を確保することが重要である。しかし、良質な骨材が入手しにくい地域では、適切な材料分離抵抗性を有する高流動コンクリートが製造しにくい現状があると考えられる。

本検討では、炭酸化スラリーをフレッシュコンクリートに混合し、混合量による強度発現性への影響を評価するとともに、比較的分離しやすい締固めを必要とする高流動コンクリートを対象に、炭酸化スラリーの混合による材料分離に対する抑制効果を検討した。さらに炭酸化スラリーの物質収支から、使用材料をベースとしたコンクリートの構成を算定し、炭酸化スラリーを混合したコンクリートの CO₂ 削減効果を試算した。

2. 炭酸化スラリーの概要

2.1 炭酸化スラリーの製造

炭酸化スラリーの製造およびコンクリートへの混合方法についてその概要を図-1 に示す。CO₂ が連続的に供給される密閉型の反応槽内にセメントスラリーを循環させることで効率よく CO₂ を固定化させた。炭酸化スラリーを製造後、数ヶ月の間に試験に供した。当該装置は、生コンスラッジや回収水を利用することも可能だが、ここでは普通ポルトランドセメントと上水道水による W/C=300%のセメントスラリーを用いた。

2.2 炭酸化スラリーに固定化された CO₂ 量

前述した方法により製造した炭酸化スラリーは、その

*1 太平洋セメント(株) 中央研究所 修士 (工学) (正会員)

*2 太平洋セメント(株) 中央研究所 博士 (工学)

*3 太平洋セメント(株) 中央研究所 修士 (工学)

*4 太平洋セメント(株) 中央研究所 チームリーダー 修士 (工学)

製造過程において、セメントスラリーの pH は、12 程度から徐々に低下し、7.0 を下回り 6.7 程度ではほぼ平衡状態となった。スラリーの pH は中性領域で安定しており、これ以上の水和反応等はほとんど生じないと考えられる。

本検討で製造した炭酸化スラリーには、注入した CO₂ の 9 割以上が固定され、その固定量はセメント 1t 当たり 326kg (kg-CO₂/t-cem) であった。炭酸化スラリーが固定した CO₂ の量は、熱重量差分析装置 (TG-DTA) を用いて、窒素雰囲気下における 500°C~850°C の脱炭酸による重量減少量から、使用した普通ポルトランドセメントの脱炭酸量を差し引き算出した。

2.3 炭酸化スラリー中の固形物の物性

炭酸化スラリーを乾燥した固形物を粉末 X 線回折で分析した結果、多くは炭酸カルシウム (カルサイト) であり、残りは未反応鉱物であった。固形物の粒径は約 7 μ m にピークを示し、約 30 μ m にピークを示す普通ポルトランドセメントに比べて微細な粒子が多く存在していた。固形物の二次電子像および反射電子像を図-2 に示す。セメントクリンカの周囲に 1 μ m 程度のカルサイトの結晶が析出している様子が確認された。共著者の早川ら⁶⁾は、炭酸化スラリー固形物の断面の反射電子像観察において、立方および菱面体の微細なカルサイトがセメントクリンカ粒子を殻で覆うように析出し、セメントクリンカ内部にはシリカゲルと思われる生成物が確認されたと報告している。炭酸化スラリー固形物のブレン比表面積は 13810cm²/g、BET 比表面積は 44.68m²/g であった。

3. 炭酸化スラリーを混合したコンクリートの強度発現

ここでは、炭酸化スラリーの混合量によるコンクリートの強度発現性への影響を実験的に検討した。

3.1 試験概要

(1) コンクリートの材料

使用材料を表-1 に示す。石灰石微粉末はブレン比表面積が 3665cm²/g のものを使用した。炭酸化スラリーは 2 章にて示した方法により製造した。

(2) コンクリートの配合

コンクリートの配合条件を表-2 に示す。配合条件はいずれも、W/B=50%、s/a=48%とした。炭酸化スラリーを混合したコンクリートの比較として、石灰石微粉末を炭酸化スラリーの固形物と同量混合した配合を対象とした。石灰石微粉末を混合した配合はセメントの内割 10、15、20wt%の混合率とし、炭酸化スラリーを混合した配合は、その固形物をセメントの内割 10、15、20、30、40wt%の混合率とした。炭酸化スラリーは製造後の液固比が 198%の状態で使用した、CS30 と CS40 は、液固比が 198%ではスラリー中の水分が単位水量を上回るため、スラリー中の固形物を沈降させた後、上澄み水を除去することで

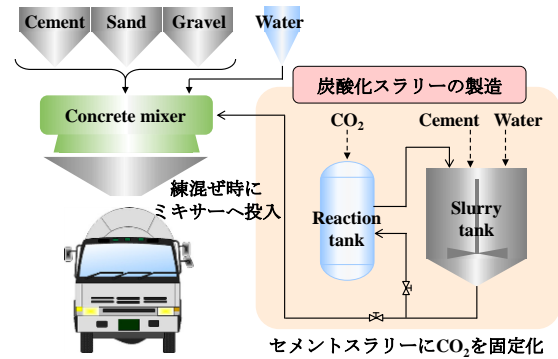


図-1 炭酸化スラリーの製造装置およびコンクリートへの混合方法の概要

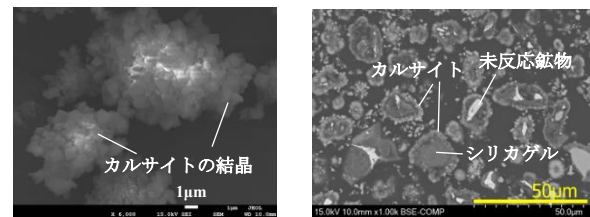


図-2 炭酸化スラリー中の固形物の二次電子像 (左) および反射電子像 (右)⁶⁾

表-1 使用材料

材料名	種類	記号	密度(g/cm ³)
水	上水道水	Wt	1
セメント	普通ポルトランドセメント	B	C 3.16
混和材	石灰石微粉末		LSP 2.44
炭酸化スラリー	スラリー中の固形物		CS 2.56*
	スラリー中の水分	Wcs	1
細骨材	山砂	S	2.58**
粗骨材	砕石 2005	G	2.63**
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸 エーテル系(標準形)	SP	—

*105°C乾燥処理後の固形物の密度、**表乾状態

表-2 コンクリートの配合条件

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
			W			B		
			Wt*		Wcs	C	LSP	CS
W1	W2							
PL	50	48	66	99	0	330	0	0
LSP10			66	99	0	297	33	0
LSP15			66	99	0	280	50	0
LSP20			66	99	0	264	66	0
CS10			100	65	297	0	33	
CS15			66	99	280	0	50	
CS20			34	131	264	0	66	
CS30			66	99	231	0	99	
CS40			33	132	198	0	132	

*分割練混ぜの一次水(W1)と二次水(W2)に分けた

液固比 100%に調製して使用した。コンクリートの練上

がりの目標スランブは $15 \pm 2.5\text{cm}$ 、空気量を $4.5 \pm 1.5\%$ に設定し、混和剤および AE 剤の添加量にて調整した。

(3) コンクリートの練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜ方法を表-3 に示す。コンクリートの練混ぜは JIS A 1138 に準拠し、強制 2 軸ミキサーを用いた。CS シリーズではこれまでの検討⁴⁾⁵⁾ 結果から、コンクリートの粘性の増加と、流動性の低下を低減するため、分割練混ぜを採用した。炭酸化スラリー中の水を一次水として投入して 1 分間練り混ぜを行った後、残りの水と混和剤を投入して追加で 2 分間の練混ぜを行った。また PL および LSP シリーズも極力同一条件とするため、一次水と二次水に分けて分割練混ぜを行った。

(4) 試験項目

試験項目および試験方法を表-4 に示す。フレッシュコンクリートの練混ぜ直後にスランブおよび空気量の測定を行った。その後、直ちに圧縮強度用として $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の試験体を作製した。試験体は材齢 1 日にて脱型し、所定の材齢まで 20°C 環境下にて水中養生を行った。圧縮強度試験は、材齢 3, 7, 28, 91 日にて実施した。

3.2 試験結果

コンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度の試験結果を表-5 および図-3 に示す。練混ぜ直後のコンクリートの空気量は $4.3 \sim 5.9\%$ の範囲であった。LSP シリーズの圧縮強度は、LSP 混合量の増加に伴って低下し、例えば材齢 28 日における LSP20 の圧縮強度は PL の約 70% であった。CS シリーズは、炭酸化スラリー中の固形物がセメントの内割 $10 \sim 20\text{wt}\%$ 程度の混合量では、いずれの材齢においても PL と同程度の強度であった。一方、混合量が $20\text{wt}\%$ 以上に増えると圧縮強度は PL よりも小さくなり、 $20\text{wt}\%$ よりも混合量の多い配合における材齢 28 日の圧縮強度は CS30 で PL の約 90wt%、CS40 で PL の約 80wt% であった。炭酸化スラリー中の固形物には、炭酸カルシウムの他に、未水和のクリンカ鉱物やケイ酸カルシウム水和物、セメント鉱物由来のシリカゲルが含まれる。また、生成したカルサイトを伴う微細かつ比表面積の大きな粒子の存在によって、ブリーディングが少なくなることが確認されている⁴⁾⁵⁾。CS シリーズの圧縮強度が LSP シリーズより大きいことに関しては、ブリーディング水に由来する骨材界面の脆弱部生成の抑制やシリカゲルによるポゾラン反応、微細粒子の存在による水和反応の促進や充てん性の向上などが要因として考えられる。

4. 炭酸化スラリー中の固形物を混合したコンクリートの材料分離抵抗性

炭酸化スラリーをコンクリートに混合することにより、粘性が増加する傾向がある。そこで、比較的分離しやすいコンクリートである締固めを必要とする高流動コ

表-3 コンクリートの練混ぜ方法

PL, LSP シリーズ	(C+LSP+S+G)→練混ぜ 15 秒→W1 →練混ぜ 1 分→(W2+SP+AE 剤)→練混ぜ 2 分 →排出
CS シリーズ	(C+S+G)→練混ぜ 15 秒 →炭酸化スラリー(Wcs+CS)→練混ぜ 1 分 →(Wt+SP+AE 剤)→練混ぜ 2 分→排出

表-4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法	測定内容
スランブ	JIS A 1101	—
空気量	JIS A 1128	—
圧縮強度	JIS A 1108	材齢 3, 7, 28, 91 日で試験

表-5 コンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度

配合名	SP (B×%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度(N/mm ²)			
				材齢(日)			
				3	7	28	91
PL	0.7	16.5	5.3	18.7	30.3	44.3	52.6
LSP10	0.7	13.5	4.7	17.1	28.9	44.0	51.9
LSP15	0.7	13.0	4.5	16.3	25.5	39.0	47.7
LSP20	0.7	14.0	5.9	11.9	20.3	32.6	38.5
CS10	1.3	16.0	5.3	18.3	30.7	44.5	53.5
CS15	1.3	15.5	4.3	18.9	31.5	47.3	56.2
CS20	1.6	12.5	4.3	19.3	27.9	46.8	53.8
CS30	1.6	15.0	5.2	13.5	26.7	41.3	48.7
CS40	1.7	16.0	5.3	10.0	20.8	34.5	40.4

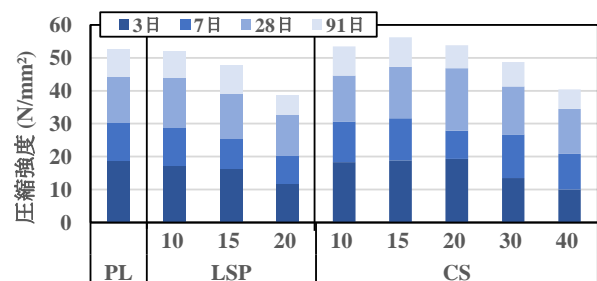


図-3 コンクリートの圧縮強度

ンクリートを対象に、炭酸化スラリー中の固形物を粉体状で混合することによる材料分離抑制効果を検討した。

4.1 試験概要

(1) コンクリートの材料

使用材料を表-6 に示す。炭酸化スラリーは 2 章に示した方法にて、3 章とは別で製造したものを用いた。ここでは炭酸化スラリーは 105°C の乾燥処理を行い、その固形物を粉末状の混和材として試験に供した。

(2) コンクリートの配合

コンクリートの配合を表-7 に示す。配合は、 $W/B=50\%$ 、粗骨材絶対容積を $330(\text{m}^3/\text{m}^3)$ とした。基準となる配合に対して、炭酸化スラリー中の固形物をセメントの内割 $5\text{wt}\%$ 、 $15\text{wt}\%$ および $35\text{wt}\%$ 混合した。コンクリートの練

り上がりの目標スランプフローは 55±5cm, 空気量は 4.5 ±1.5%に設定し, 混和剤および AE 剤の量にて調整した。

(3) コンクリートの練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜ方法を表-8 に示す。ここでは 3 章の練混ぜ方法とは異なり, 乾燥処理した粉体状の CS を混和材として扱い, セメントと同時にミキサに投入した。練混ぜ手順は, 粉体および骨材を練混ぜた後, 水と混和剤を投入して計 2 分間の練混ぜを行った。

(4) 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表-9 に示す。コンクリートの練混ぜ直後にスランプフローおよび空気量の測定を行った。その後, 直ちに 2 種類の締固めを必要とする高流動コンクリートの試験を実施した。1 つめは, JSCE-F 701「ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法(案)」であり, ボックス形容器に詰めたコンクリートに対してパイブレータを用いて加振し, 鋼材間を流動させた際の間隙通過性を評価した。流動性の高いコンクリートを用いたため, 附属書 1 に示される方法にて, 仕切りゲートを開くと同時に加振を行った。2 つめは, JSCE-F 702「加振を行ったコンクリート中の粗骨材量試験方法(案)」であり, パイブレータを用いてコンクリートに加振を行った際の粗骨材の沈降の程度を評価した。圧縮強度は, φ100×200mm の試験体を 20℃環境下にて水中養生を行い, 材齢 7, 28 日で試験に供した。

4.2 試験結果

コンクリートのフレッシュ性状を表-10 に示す。炭酸化スラリー中の固形物の混合量が増加すると, 混和剤の添加量は増加する傾向であった。加振したフレッシュコンクリートの試験結果を表-11 および図-4 に示す。PL, CS5 および CS15 は目標とするスランプフローを満足した。一方, CS35 は粘性が高く, 混和剤量の増加によりスランプフローの目標値を満足しようとするとう分離する傾向が認められたため, 加振時の試験は実施しなかった。PL は, スランプフロー55cm の締固めを必要とする高流動コンクリートにおける間隙通過速度の目標値以下であり, 材料分離のリスクが比較的高いコンクリートであると推察された。PL に対して, 炭酸化スラリー中の固形物粉末を混合した CS では 5wt%および 15wt%混合で間隙通過速度の目標値を達成し, 混合量の増加に伴い速度が上昇した。粗骨材量試験における粗骨材量比率はいずれの水準も目標値を満足したが, CS では 80%以上と PL よりも大幅に大きく, 加振によるコンクリート中の粗骨材の沈降が抑制された。以上より, 材料分離しやすいコンクリートに炭酸化スラリー中の固形物を混合することによる材料分離抵抗性の向上が確認された。これは, 固形物中の比表面積の大きな微細粒子の混入に伴いコンクリートに粘性が付与されたことによるものと推察される。

表-6 使用材料

材料名	種類	記号	密度(g/cm ³)
水	上水道水	Wt	1
セメント	普通ポルトランドセメント	C	3.16
炭酸化スラリー	スラリー中の固形物*	B CS	2.58*
細骨材	山砂	S	2.59**
粗骨材	碎石 2005	G	2.64**
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸エーテル系(標準形)	SP	—

*105℃乾燥処理後の固形物, **表乾状態

表-7 コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	単位粗骨材絶対容積 (m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)				
			Wt	B		S	G
				C	CS		
PL	50	330	175	350	0	879	871
CS5				332	18	875	
CS15				297	53	869	
CS35				227	123	856	

表-8 コンクリートの練混ぜ方法

練混ぜ手順	(B+S+G)→練混ぜ 15 秒→(Wt+SP+AE 剤)→練混ぜ 2 分→排出
-------	--

表-9 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法	測定内容
スランプフロー	JIS A 1150	—
空気量	JIS A 1128	—
加振時の間隙通過性	JSCE-F 701 附属書 1	・間隙通過速度 ・B 室の粗骨材量比率
加振時の粗骨材の沈降	JSCE-F 702	・加振時間 10 秒における粗骨材量比率
圧縮強度	JIS A 1108	・材齢 7 日, 28 日で試験

表-10 コンクリートのフレッシュ性状

配合名	SP (B×%)	スランプフロー(cm)	空気量 (%)	目視による状態観察
PL	1.2	59.0	4.5	粘性低め
CS5	1.3	52.0	4.0	良好
CS15	1.5	55.5	4.4	良好
CS35	1.8	47.5	3.8	粘性高め
	2.3	60.0	—	分離気味

圧縮強度試験の結果を図-5 に示す。コンクリートへの炭酸化スラリー中の固形物の混合量が 5 wt%では PL と同等であり, 15wt%以上では低下する傾向となった。3 章のスラリー状でコンクリートに混合した場合との傾向の違いに関しては, 105℃の乾燥処理による影響(固形物粉体の凝集や性質の変化) およびコンクリートの練混ぜ

表-11 加振したフレッシュコンクリートの試験結果

配合名 など	加振時の間隙通過性		加振時の 粗骨材の沈降
	間隙通過速度 (mm/s)	B室の粗骨材量 比率(%)	粗骨材量比率 (%)
目標値*	40以上	—	40以上
PL	26.1	98.7	63.5
CS5	44.2	95.2	87.4
CS15	60.8	100.6	80.8

*評価項目の目標値⁷⁾(スランプフロー55cm)

方法の違いが影響した可能性が高いと考えられる。

5. 炭酸化スラリーを混合したコンクリートのCO₂削減

最後に、炭酸化スラリーをコンクリートに混合することによる、CO₂の削減の効果について試算した。

5.1 対象とする使用材料および配合

炭酸化スラリーを用いたコンクリートの、使用材料由来のCO₂削減効果を試算するため、使用材料および配合を表-12 および表-13 に示す条件にて設定した。配合はW/B, s/a, 単位水量などの条件は同一とし、炭酸化スラリーを混合しない配合をPL, 炭酸化スラリーを混合した配合はCS20とした。CS20は炭酸化スラリー中の固形物がセメントの20wt%内割となるようスラリー状で混合したものであり、材齢28日の圧縮強度がPLと同程度となる範囲で、概ね最大と考えられる混合量とした。

5.2 炭酸化スラリーを混合したコンクリートの構成

炭酸化スラリーの物質収支を考慮したコンクリートの構成のイメージを図-6に示す。CS20では、炭酸化スラリー中の固形物はPLに対してセメントの内割20wt%の64kg/m³である。この固形物を用いてTG-DTAを行い、500°C~850°Cの重量減少量より約52wt%(33kg/m³)が炭酸カルシウムである事を算定した。また、残りの約48wt%(31kg/m³)がCSH, シリカゲル, 未反応鉱物と考えられた。炭酸カルシウム33kg/m³に固定化されているCO₂は15kg/m³と算定できる。固形物中の結合水はTG-DTAより算出し、約4kg/m³と推定された。

これらの値を元にCS20の構成材料ベースでの配合を算定すると、炭酸化スラリー中の固形物64kg/m³のうちセメントは結合水4kg/m³とCO₂15kg/m³を差し引いた45kg/m³となる。また、セメント45kg/m³に対して固定化されているCO₂は15kg/m³であることは、2章で示した炭酸化スラリーのCO₂固定量の測定値の326kg/t-cemと概ね合致していることが確認できる。ここで、炭酸化スラリーを製造するためにCO₂を固定化するセメントスラリーは、水セメント比300%で設定している。従って、構成材料のうち131kg/m³分の単位水量がセメントスラリー中の水分に該当する。これより、製造後の炭酸化スラ

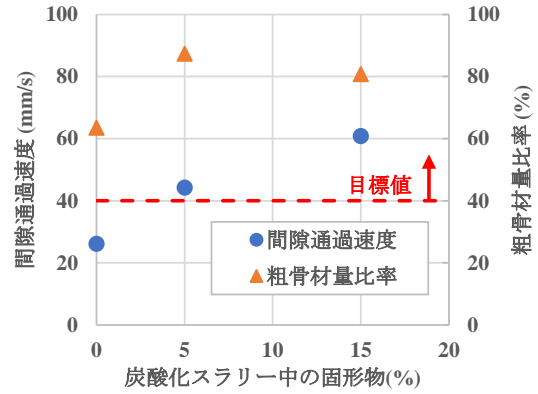


図-4 加振したフレッシュコンクリートの試験結果

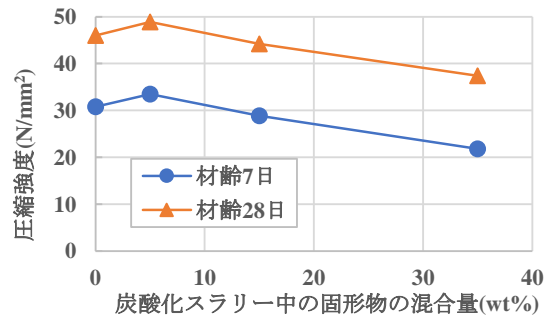


図-5 コンクリートの圧縮強度と炭酸化スラリー中の固形物の混合量の関係

表-12 使用材料

材料名	種類	記号	密度(g/cm ³)
水	上水道水	Wt	1
セメント	普通ポルトランドセメント	B	C 3.16
炭酸化スラリー	スラリー中の固形物		CS
	スラリー中の水分	Wcs	1
細骨材	—	S	2.62**
粗骨材	—	G	2.68**

*105°C乾燥処理後の固形物, **表乾状態

表-13 コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
			W*	B		S	G
				C	CS**		
PL	50	43	160	320	0	782	1060
CS20				256	64	777	1053

*炭酸化スラリー中の水分 Wcs を含有, **スラリー中の固形物

リーの液固比は20%となり、3.1で示した実測値と概ね合致していることが確認できる。

5.3 CO₂削減効果の試算

炭酸化スラリーをコンクリート中に混合することによるCO₂の削減効果を表-14に示す。コンクリートへのCO₂固定量は、図-6のCS20の構成材料のセメント45kg/m³に対して、炭酸化スラリーのCO₂固定量326kg/t-

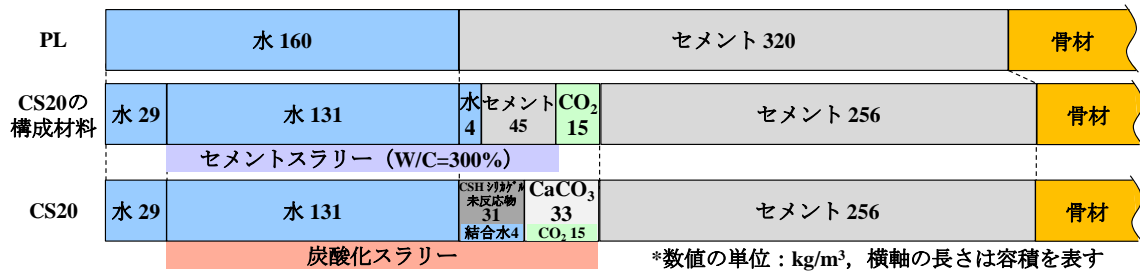


図-6 炭酸化スラリーの物質収支を考慮したコンクリートの構成のイメージ

表-14 炭酸化スラリーをコンクリート中に混合することによるCO₂の削減効果

炭酸化スラリーへのCO ₂ 固定量 (kg-CO ₂ /t-cem)	コンクリートへのCO ₂ 固定量 (kg-CO ₂ /m ³)	セメント原料の石灰石消費量削減によるCO ₂ 削減量 (kg-CO ₂ /m ³)
326	14.7	15.0

cem を乗じることにより、14.7kg/m³と算定された。また炭酸化スラリー中の固形物をセメントの内割で添加することで、CS20の構成材料のうち、炭酸化スラリー中の固形物に対する結合水4kg/m³と、スラリーに固定化されるCO₂15kg/m³を合わせた計19kg/m³分のセメントがPLよりも削減されることとなる。この削減量をセメントのCO₂排出原単位789kg/t-cem⁸⁾に乗じること、セメント原料の石灰石消費量削減によるCO₂削減は15kg/m³と算定される。以上より、CS20の配合では、一般的なコンクリートのPLと比較して29.7kg/m³のCO₂削減効果があると試算された。ここではセメントを原料としてCO₂を固定化した炭酸化スラリーをコンクリートに混合したが、本検討で使用した炭酸化スラリーの製造装置は、原料として生コンスラッジや回収水、プレキャスト製品工場における廃棄物(洗い水や排出されるノロなど)も利用できる。従ってこれらを活用した場合、原料由来のCO₂をゼロと考えると、CO₂を固定化した炭酸化スラリーはカーボンネガティブ材料となる。これにより、今回試算した結果よりも2.5倍程度のCO₂の削減効果が見込まれる。

6. まとめ

炭酸化スラリーを混合したコンクリートについて実験的な検討を行い、さらに使用材料由来のCO₂の削減効果について試算を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) 炭酸化スラリーを混合したコンクリートの圧縮強度は、石灰石微粉末を混合した場合と比較して強度発現性に優れ、炭酸化スラリー中の固形物の混合量がセメントの内割10~20wt%程度では、無混合の場合と同程度であった。
- (2) 締固めを必要とする高流動コンクリートに炭酸化スラリーを混合することで、加振時のコンクリートの材

料分離抵抗性が向上した。

- (3) 炭酸化スラリーを混合したコンクリートの無混合に対するCO₂の削減効果は、コンクリートへのCO₂固定量に加え、炭酸化スラリー中の固形物に含有される結合水とCO₂に該当する、セメント量削減分によるものと試算された。
- (4) 炭酸化スラリーを混合したCS20では、PLと比較して29.7kg/m³のCO₂削減効果があると試算された。

参考文献

- 1) 中村充志, 川之上太志, 中居直人, 一坪幸輝: 化学吸着方によるセメントキルン排ガスからのCO₂分離・回収技術の開発, 太平洋セメント研究報告, 第183号, 11-17, 2022
- 2) Monkman.S, Meyer.V: Sustainable concrete production with recycled concrete wash water beneficiated with CO₂, Acta Polytechnica CTU Proceedings, 33:377-382, 2022
- 3) CO₂をフレッシュコンクリートに固定化する製造システム「カーボキャッチ」の開発に成功, TAIHEIHO CEMENT NEWS LETTER, 2023.3
- 4) 早川隆之ほか: コンクリートへのCO₂固定化技術の開発—NEDO助成事業「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」成果報告—, 太平洋セメント研究報告, 第183号, 30-42, 2022
- 5) 阿武稔也ほか: セメントスラリーを利用したコンクリートへのCO₂固定化技術に関する基礎的検討, 日本建築学会構造系論文集 第88巻 第803号, 38-46, 2023.1
- 6) Hayakawa.T et al.: Physical properties and CO₂ fixation of concrete using carbonated cement slurry, The 16th International Congress on the Chemistry of Cement 2023 (ICCC2023) "Further Reduction of CO₂ -Emissions and Circularity in the Cement and Concrete Industry", 2023
- 7) 公益社団法人土木学会: 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー161, 2023
- 8) 一般社団法人セメント協会: セメントのLCIデータの概要, 8, 2023.2