

論文 CO₂ 固定再生微粉を混合した高炉スラグ微粉末高含有コンクリートの圧縮強度特性と CO₂ 排出量に関する検討

朝井 達也*1・江口 康平*2・辻 大二郎*3・小島 正朗*4

要旨：本研究では、高炉スラグ微粉末と石膏の混合物を 70%および 85%でセメントに置換した 2 種類のセメントを用いて、解体コンクリートから再生骨材を製造する過程で発生した再生微粉を湿式炭酸化処理した CO₂ 固定再生微粉を、無混合および 200kg/m³ 外割砂置換した高炉スラグ微粉末高含有コンクリートについて、水セメント比 200~38%の範囲における圧縮強度の比較検討を行った。その結果、CO₂ 固定再生微粉を混合することで材齢 1, 7, 28 日の圧縮強度が大幅に増進され、同一圧縮強度での CO₂ 排出量が大きく低減されることがわかった。

キーワード：高炉スラグ微粉末, 再生微粉, CO₂ 固定, コンクリート, 圧縮強度, CO₂ 排出量

1. はじめに

我が国は 2020 年に 2050 年カーボンニュートラル宣言を行い、温室効果ガス排出量の実質ゼロを目指している。セメント・コンクリート分野においては、セメント製造時の CO₂ 排出量が課題となっており、その削減に向けた取り組みが進められている²⁾。その中で、高炉スラグ微粉末を高含有したセメントは、ポルトランドセメントの使用量を大幅に低減できることから、CO₂ 排出削減に大きく寄与する技術として注目されている。また、コンクリート解体材から製造される再生骨材および再生微粉に対して、CO₂ を固定化処理する技術の開発も進められており、環境負荷低減と資源の有効活用を両立する技術として評価されている。筆者らは CO₂ の排出量削減及び再生微粉の有効利用を目的として、再生微粉在水中で炭酸化した（以下、湿式炭酸化処理）CO₂ 固定再生微粉（以下、CP）の、コンクリート材料への利用を検討しており、特に CP はコンクリートへ砂置換とすることで材齢初期の圧縮強度を増加できることが確認されている³⁾。

また、セメント量削減による更なる CO₂ 排出量の低減を目的として、高炉セメント C 種（以下、BC）を超える量の高炉スラグ微粉末と石膏の混合物を 85%普通ポルトランドセメントに混合した高炉スラグ高含有セメント（以下、BD）の実用化に向けた開発にも取り組んでいるが、BD コンクリートは初期強度が小さくなることが予想されるため、蒸気養生による強度発現促進が可能な PCa コンクリートでの適用を想定し、さらに CP 混合による初期強度増加を図ることで PCa として必要強度を確保できるコンクリートの開発を試みた。

本研究では、CP 混合による初期強度増加に期待して、

CP を BD に混合したコンクリートのフレッシュ性状及び力学的性能に関して試験を行い、PCa 部材として要求される強度特性を満足できる調査について検討した。また、BD 及び CP を使用した場合の CO₂ 排出量についても試算した。

2. 実験概要

2.1 CO₂ 固定再生微粉の製造及び物性

本研究で使用した CO₂ 固定再生微粉（以下、CP）の製造フローを図-1 に示す。本研究で使用した CP は、築 61 年の建物の解体コンクリートから再生骨材を製造する過程で発生した微粉を混合したスラリーをタンク内に投入し、pH6.8 に到達するまで CO₂ を一定流量で供給し、水中にて炭酸化処理を行った。なお、本解体コンクリートのセメント種類や設計基準強度は不明であった。再生微粉の CO₂ 固定処理時間は、約 1.5t/h であった。炭酸化処理した CP は 3 日間自然乾燥を施した。自然乾燥後、塊状となった CP は 2.5mm 篩を全量通過するまで解砕し使

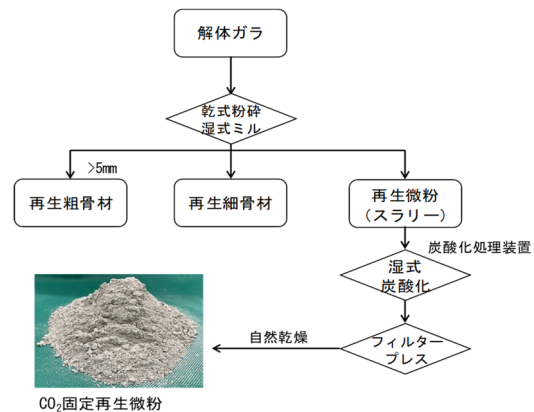


図-1 CO₂ 固定再生微粉製造フロー

*1 (株)竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部 研究主任 (正会員)
 *2 (株)竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部 研究主任 博士(工学) (正会員)
 *3 (株)竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部 グループ長 博士(工学) (正会員)
 *4 (株)竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部 主席研究員 博士(工学) (正会員)

用材料とした。処理後の含水率を計測したところ、19.1%であった。処理後のCPの各種物性値を表-1に示す。真密度はヘリウムピクノメーターを用いて測定した。真密度測定と粒度分布測定について、試料の前処理として、気乾状態のCPをアセトンに浸漬し水和停止を行った後、40℃環境下で窒素フローにて2日間質量が恒量となるまで乾燥処理を施したものを試料として用いた。全炭素量は、熱重量測定-示差熱分析を用いて、(N₂ガス、1000℃まで昇温速度10℃/min)の条件で測定を行った。600～800℃の吸熱反応による質量減少を、炭酸カルシウムの脱炭酸反応とみなし、CO₂の固定量とした。本研究のCPのCO₂固定量は、原骨材に石灰岩由来の骨材が認められなかったことから、構造物供用中の中性化および、CP製造時に生成した炭酸カルシウム量をもとに算出した。分析の結果、本実験で使用したCPのCO₂固定量は151.1kg/tであった。また、450℃付近の質量減少が認められなかったことから水酸化カルシウムは含まれていないと判断した。CPの粒度分布計測結果を図-2に示す。なお図中には、比較のため後述するBC、BDの粒度分布も示した。今回のCPについてはBC、BDに比べて粒径が細かく、50%粒径は12.4μmであった。

2.2 使用材料および実験の因子と水準

本実験で使用したコンクリートの材料を表-2に示す。セメントは、先述した普通セメントに高炉スラグ微粉末と石膏の混合物を70%混合したBCと、85%混合したBDの2種類を用いた。BCは収縮ひび割れ抵抗性を高めた、結合材中のSO₃量を3.56%の既製品⁴⁾を使用し、BDについては、高炉スラグの刺激剤および収縮ひび割れ抵抗性向上のためにSO₃量を4.0%に調整した試製プレミックス品を使用した。

本実験で使用したBC、BDのCO₂排出量単位は、ポルトランドセメント⁵⁾、高炉スラグ微粉末⁶⁾のCO₂排出量単位から計算した。試算結果を表-3に示す。水、骨材、混和剤のCO₂排出量は影響が小さいと考え本検討では省略した。また、石膏のCO₂排出量単位は高炉スラグ微粉末と同一の値とした。CPについては2.1節の分析結果からCO₂固定量を設定した。

本実験の因子・水準を表-4に示す。CPの混合量は、無混合とセメント外割砂置換で200kg/m³とした。因子・水準の組合せを表-5に示す。CPを混合した系については、CP混合による強度増加に期待して、CO₂削減を念頭に単位セメント量を少なくした高水セメント比(W/C100, 200%)の調査についても検討した。

2.3 試験項目および試験方法

フレッシュ試験は練り混ぜ直後に行い、スランブ試験はJISA1101、スランブフロー試験はJISA1150、空気量測定はJISA1128、コンクリート温度はJISA1156に則

表-1 CP各種物性値一覧

測定項目	単位	計測結果
真密度	g/cm ³	2.54
50%粒径	μm	12.4
CaCO ₃ 量	%	34.3
CO ₂ 固定量	kg/t	151.1

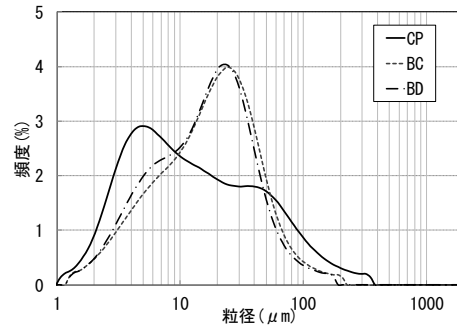


図-2 CP粒度分布計測結果

表-2 使用材料

名称	記号	産地・銘柄	物性
水	W	上水道水	—
セメント (C)	BC	高炉セメントC種 高炉スラグ微粉末+石膏:70%	密度:2.97 g/cm ³ SO ₃ 量:3.56% 比表面積:3.720 cm ² /g
	BD	高炉セメント(試製プレミックス品) 高炉スラグ微粉末+石膏:85%	密度:2.95 g/cm ³ SO ₃ 量:4.0% 比表面積:3.620 cm ² /g
CO ₂ 固定再生微粉	CP	湿式炭酸化処理	真密度:2.57 g/cm ³
細骨材	S	君津産混合砂	密度:2.59 g/cm ³ 吸水率:2.16%
粗骨材	G	八王子産碎石2005	密度:2.67 g/cm ³ 吸水率:0.66%
混和剤	Ad	減水成分* (ポリカルボン酸系エーテル系分散剤)	—
	Ad2	消泡剤	—

※JIS規定による判定は未評価

表-3 試算に用いた各材料のCO₂排出量単位

使用材料	記号	CO ₂ 排出量単位 (kg-CO ₂ /ton)	
ポルトランドセメント ⁵⁾	N	788.6	
高炉スラグ微粉末 ⁶⁾	BFS	26.5	
CO ₂ 固定再生微粉*	CP	-151.1	
試算結果	高炉セメントC種 高炉スラグ微粉末+石膏:70%	BC	255.1
	高炉セメント(試製プレミックス品) 高炉スラグ微粉末+石膏:85%	BD	140.8

※CO₂固定量の数値を示す。

表-4 実験の因子・水準

因子	水準
セメント種類	BC, BD
CP混合量(kg/m ³)	0, 200
水セメント比(%)	38, 45, 55, 65, 100, 200

表-5 因子・水準の組合せ

セメント種類	BC		BD	
	0	200	0	200
CP混合量(kg/m ³)	0	200	0	200
W/C (%)	38	○	—	○
	45	○	—	○
	55	○	○	○
	65	○	○	○
	100	—	○	—
	200	—	○	—

り試験を行った。圧縮強度試験は、JISA 1108 に則り、材齢 1 日、7 日、28 日で試験を行った。静弾性係数試験は JISA 1149 に則り、圧縮強度試験と同一の試験体で、材齢 7 日、28 日で実施した。また、コンクリート内部の細孔径分布の違いを確認するために、水セメント比 55% の材齢 28 日圧縮強度試験後の試験体を粉砕し粗骨材の破片を目視で除いたうえで、2.5mm~5.0mm の試料を 24 時間 105℃乾燥処理した後に、JISR 1655 を参考に、水銀圧入式ポロシメーターにて測定を行った。

2.4 調合計画

コンクリートの調合一覧を表-6 に示す。すべての割合において、単位水量は 180kg/m³、粗骨材かさ容積は 0.52m³/m³とした。

フレッシュ性状の目標値について、CP を混合した割合においては、高流動コンクリートを想定して目標スランプフローを 55±10cm と設定した。CP を混合しない、水

セメント比 55, 65% は目標スランプを 18±2.5cm とした。CP を混合しない、水セメント比 38, 45% においては、目標スランプフローを 55±10cm とした。

また、今回の実験では圧縮強度特性の比較を目的としたため、目標空気量は、2.0±1.0% で実施した。CP の吸水率については一般的な骨材で指すところの表乾状態の定義が不明なため、表-5 に示す CP の質量 200kg/m³ は、絶乾状態の質量とし、細骨材置換で使用した。

2.5 練混ぜ、試験体製作および養生方法

練混ぜは容量 55L の強制二軸ミキサーを使用し、CP を混合する割合の場合、セメント、細骨材、CP を投入後、10 秒間空練りを行い、練混ぜ水および化学混和剤を投入し、モルタルが練り上がるまで約 180 秒練り混ぜた。なお、計量時には CP の含水率分の水量を水の計量値から差し引き、併せて水量分の CP を計量値に加え、練り混ぜた。その後、粗骨材を投入し、60 秒練混ぜて排出した。

表-6 コンクリート割合およびフレッシュ試験結果

No.	記号	セメント種類	割合						フレッシュ試験結果																	
			CP混合量 (kg/m ³)	W/C (%)	W/(C+CP) (%)	空気量 (%)	粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)					合計 (kg/m ³)	減水剤				消泡剤	スランプフロー (cm)	スランプ Ave. (cm)	空気量 (%)	CT (°C)				
								W	C	CP※1	S	G		Ad		C×%	(C+CP)×%									
														同時添加	後添加								Ad2	A※2		
1	BC65-CP0	BC	0	65	65.0	2.0	0.52	180	277	0	989	868	2314	Ad		5.0	6.0	-	2.2	23						
2	BC55-CP0			55	55.0			180	327	0	945	868	2320	0.75	-						0.75	0.75	21.0	-	1.0	23
3	BC45-CP0			45	45.0			180	400	0	881	868	2329	0.60	-						0.60	0.60	-	58.5	0.6	23
4	BC38-CP0			38	38.0			180	474	0	816	868	2338	0.50	-						0.50	0.50	-	57.0	1.0	23
5	BC200-CP200			200	62.1			180	90	200	951	868	2289	14.80	3.25						18.05	5.60	18.0	-	42.0	1.8
6	BC100-CP200		100	47.4	180			180	200	870	868	2298	5.50	1.90	7.40	3.51	-	48.5	1.2	24						
7	BC65-CP200		65	37.7	180			277	200	787	868	2312	5.00	0.13	5.13	2.98	-	55.0	1.7	24						
8	BC55-CP200		55	34.2	180			327	200	743	868	2318	4.00	0.40	4.40	2.73	-	59.0	1.5	25						
9	BD65-CP0		BD	0	65			65.0	2.0	0.52	180	277	0	987	868	2312	Ad		5.0	20.5	-	1.2	23			
10	BD55-CP0				55			55.0			180	327	0	943	868	2318	0.30	-						0.30	0.30	20.0
11	BD45-CP0	45			45.0	180	400	0			878	868	2326	0.15	0.14	0.29	0.29	-						38.5	1.2	23
12	BD38-CP0	38			38.0	180	474	0			813	868	2335	0.21	0.06	0.27	0.27	-						41.5	1.3	23
13	BD100-CP200	100			47.4	180	180	200			870	868	2298	7.50	0.60	8.10	3.84	8.0						-	43.5	2.6
14	BD65-CP200	65		37.7	180	277	200	785			868	2310	4.20	0.65	4.85	2.82	-	44.0	2.0	24						
15	BD55-CP200	55		34.2	180	327	200	741			868	2316	3.00	0.60	3.60	2.23	-	44.0	2.0	24						

※1 CP の単位量は絶乾状態における重量とした。
 ※2 1A は、セメント質量に対して 0.001% を示す。

表-7 圧縮強度、静弾性係数試験および CO₂ 排出量試算結果一覧

No.	記号	割合				圧縮強度 (N/mm ²)			静弾性係数 (kN/mm ²)		CO ₂ 排出量 (kg/m ³)			
		セメント種類	CP混合量 (kg/m ³)	W/C (%)	C/W	1d	7d	28d	7d	28d	セメント由来	CP由来	計	
1	BC65-CP0	BC	0	65	1.54	4.7	22.2	34.7	25.9	30.5	70.7	0.0	70.7	
2	BC55-CP0			55	1.82	5.5	22.8	34.2	26.8	33.7	83.4	0.0	83.4	
3	BC45-CP0			45	2.22	7.0	31.1	42.7	32.1	35.6	102.1	0.0	102.1	
4	BC38-CP0			38	2.63	9.6	39.8	51.1	34.7	37.1	120.9	0.0	120.9	
5	BC200-CP200			200	0.50	1.6	4.0	16.4	9.2	23.3	23.0	0.0	23.0	
6	BC100-CP200		100	1.00	8.9	17.4	31.0	22.8	29.7	45.9	0.0	45.9		
7	BC65-CP200		65	1.54	13.7	27.8	40.2	28.9	31.7	70.7	0.0	70.7		
8	BC55-CP200		55	1.82	15.5	34.0	47.4	30.8	33.1	83.4	0.0	83.4		
9	BD65-CP0		BD	0	65	1.54	2.5	12.2	14.0	23.3	27.5	39.0	0.0	39.0
10	BD55-CP0				55	1.82	2.8	15.2	19.8	25.9	29.4	46.0	0.0	46.0
11	BD45-CP0	45			2.22	3.8	20.7	28.2	30.3	30.6	56.3	0.0	56.3	
12	BD38-CP0	38			2.63	5.3	27.2	35.8	31.0	32.7	66.7	0.0	66.7	
13	BD100-CP200	100			1.00	2.4	11.3	30.6	18.6	25.9	25.3	0.0	25.3	
14	BD65-CP200	65		1.54	10.5	25.9	47.6	25.3	30.7	39.0	0.0	39.0		
15	BD55-CP200	55		1.82	12.0	30.1	47.7	28.1	29.6	46.0	0.0	46.0		

CPを混合しない調合の場合は、セメント、細骨材、粗骨材を投入後、10秒間空練りを行い、練混ぜ水および化学混和剤を投入し、120秒間練り混ぜ、排出した。排出後、速やかにフレッシュ試験を行い、所定の目標値を満足するか確認した後に、テストピースに試験体を採取した。試験体はJIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に則り、φ10×20cmのサミット缶に採取し、20°C封かん養生を1日行った後、脱型して速やかに所定の材齢まで標準養生を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 フレッシュ試験結果

フレッシュ試験結果を前記の表-6に示す。CPを混合した場合、全体的に粘性が増加し、減水剤添加量はCP未混合の同C+CP比から比較すると1.7~2.0%程度増加した。特に粘性が高く、目標フレッシュが得られないと判断した際には混和剤を後添加した。CPを200kg/m³混合した調合においても、適切に混和剤を添加すれば目標とするスランプフロー、空気量に調合できることが確認できた。ただし、BC65-CP0の調合においては、スランプ値が目標値より小さい結果となったが、材料分離が生じる恐れがあったため、そのまま試験体を採取することとした。

3.2 圧縮強度試験結果

圧縮強度および静弾性係数の試験結果を表-7に示す。水セメント比55%における調合毎の材齢と圧縮強度の関係を図-3に示す。いずれの調合においても、CPを混合することにより圧縮強度がCP無混合の調合と比べて増加している。材齢7日から28日にかけて、BC55-CP0の調合では強度が増加しているのに対し、BD55-CP0の調合では強度の増加が4.6N/mm²程度であり、圧縮強度の増加が低かった。一方、BD55-CP200の調合では、脱型強度および材齢7日から28日にかけて圧縮強度が大きく増加しており、CP混合による圧縮強度の増加を確認することができた。なお、水セメント比65%においても概ね同様の結果であった。

材齢1, 7, 28日のセメント水比と圧縮強度の関係を図-4, 5, 6に近似直線と併せて示す。CPを混合しないBC, BDを調合した水準と比較すると、BDはBCよりも強度が低い傾向であった。CPを混合したコンクリートは、CP無混合のコンクリートと比べて、いずれの材齢においても圧縮強度が高い。

JASS10プレキャスト鉄筋コンクリート工事2013には、脱型時にプレキャスト部材に有害なひび割れ、破損を生じさせないために、一般に、平打ち方式でプレキャスト部材のみを片側から立て起こす場合には、12N/mm²程度の脱型時強度が必要であると示されている⁷⁾。BC, BDを使用してPCa部材への適用を想定した場合、図-4に示

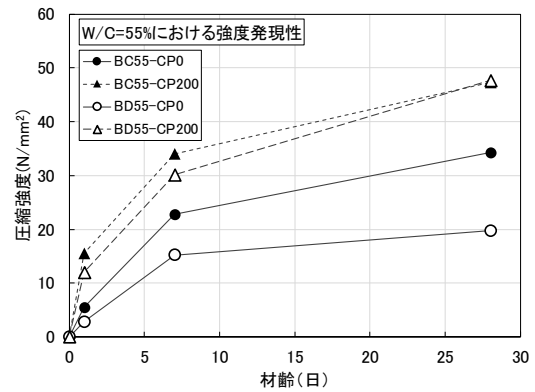


図-3 W/C=55%における
材齢と圧縮強度の関係

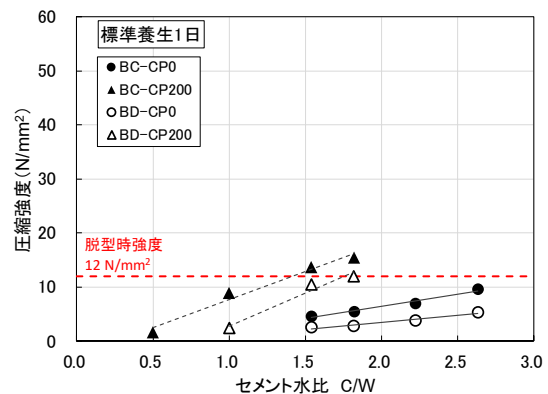


図-4 セメント水比と圧縮強度の関係 (材齢1日)

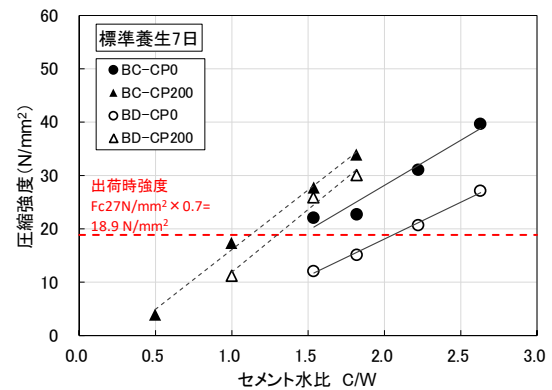


図-5 セメント水比と圧縮強度の関係 (材齢7日)

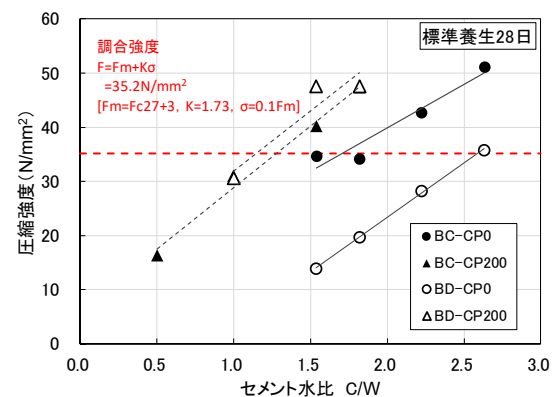


図-6 セメント水比と圧縮強度の関係 (材齢28日)

す通り、材齢 1 日では BC, BD の調合では 12N/mm^2 以上となる水準は無かったが、CP を混合した調合では、BC, BD いずれもセメント水比によっては 12N/mm^2 以上を満たす水準を得られた。

検討例として設計基準強度 $F_c 27\text{N/mm}^2$ の PCa 部材を想定すると、設計基準強度の 70%⁷⁾にあたる 18.9N/mm^2 が出荷日所要強度の目安となる。図-5 の材齢 7 日において、BD-CP200 の調合では、BD-CP0 よりも小さいセメント水比で出荷日所要強度を満足することができた。

設計基準強度 F_c (27N/mm^2) における調合管理強度 F_m は構造体強度補正值 S を便宜上 3N/mm^2 として計算した。調合強度 F ($F \geq F_m + K\sigma$) を計算するにあたり、正規偏差 $K=1.73$, $\sigma=0.1F_m=3\text{N/mm}^2$ とすると調合強度は 35.2N/mm^2 となる。図-6 において、BD-CP200 の調合では、セメント水比が約 1.2 以上で調合強度を満たし、BD-CP0 よりも小さいセメント水比、つまり大きな水セメント比で設定することができ、同じ調合強度のコンクリートの調合設計をするにあたってセメント使用量を低減することができた。ただし、CP は原コンクリートの特性やその後の処理方法によって変動することが考えられるため、今後異なる原コンクリートから製造される CP についても検討を行う必要がある。

3.3 静弾性係数

標準養生材齢 7 日, 28 日における圧縮強度と静弾性係数の関係を図-7 に示す。図中には RC 構造計算基準⁸⁾による計算値をプロットした。ここで、試算においての係数は、 $k_1=1$, $k_2=0.95$: 高炉スラグ微粉末を用い、密度は 2.4t/m^3 とした。BC, BD のセメント種類や CP 混合の有無に関わらず RC 構造計算基準値よりも大きい値を示した。CP 混合の有無で比較すると、CP を混合した調合は、混合していない調合よりも静弾性係数が小さくなる傾向が見られた。

3.4 細孔径分布

水セメント比 55%における BC, BD の試験体の細孔径分布を図-8 に、累積細孔量を図-9 に示す。BC と BD の CP 無混合を比較すると BD の方が、比較的大きな細孔径が多い傾向が見られるが、CP を混合することにより、細孔径が小さくなり、BC に CP を混合した調合と同等の細孔径分布となった。次に、総細孔量を所定の細孔径の範囲で区切った結果を見ると、CP を混合することで総細孔量が増加しており、 $0.001\mu\text{m}$ 以上 $0.01\mu\text{m}$ 未満の細孔径の細孔量が増加していることが分かった。CP の混合により、細孔径分布が小径側にシフトすることで、コンクリート内部が緻密化し、圧縮強度が増加したことが考えられる。ただし、CP を混合した場合で BD が BC より強度が高くなった原因については不明なため、今後詳細に検討する必要がある。

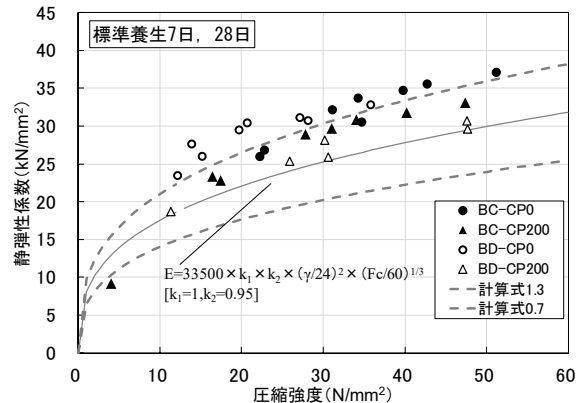


図-7 圧縮強度と静弾性係数

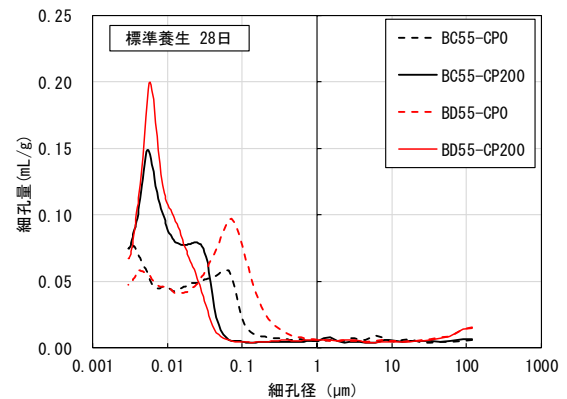


図-8 細孔径分布 (W/C=55%)

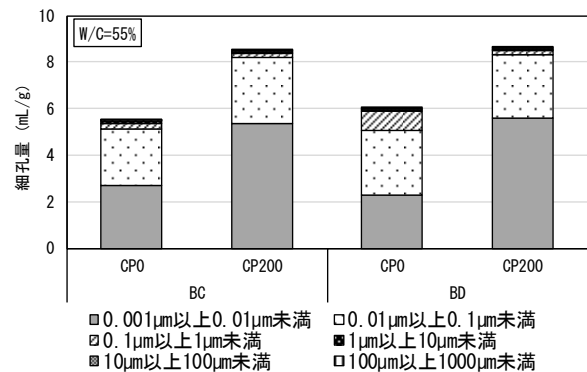


図-9 累積細孔量の内訳 (W/C=55%)

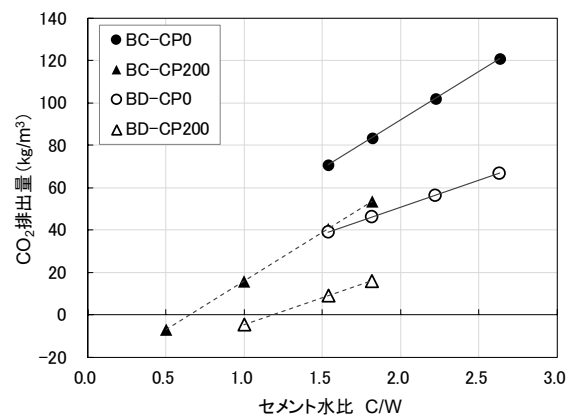


図-10 セメント水比と CO_2 排出量の関係

3.5 CO₂ 排出量

各調合の CO₂ 排出量の試算結果は前述の表-7 に示す通りである。セメント水比と CO₂ 排出量の関係を図-10 に示す。BC-CP200 の調合に比べて、BD-CP200 の方がより大きいセメント水比で CO₂ 排出量を削減することができた。材齢 28 日圧縮強度と CO₂ 排出量の関係を図-11 に示す。CP を混合した調合で比べると、BD-CP200 の方が BC-CP200 よりも、材齢 28 日の圧縮強度が高い場合でも CO₂ 排出量を 0 kg/m³ 以下にすることができた。

先述した Fc27N/mm² (調合強度 35.2N/mm²) を想定した場合の同一強度で比較した CO₂ 排出量の試算結果を図-12 に示す。BC, BD とも、CP を混合することで無混合に比べて CO₂ 排出量を 40~60kg/m³ 程度小さくなった。また、BD-CP200 において CO₂ 排出量はほぼ 0kg/m³ となった。

4. まとめ

本研究では、セメント中の高炉スラグ微粉末と石膏の混合物の置換率を 70%および 85%とした 2 種類の結合材に、解体コンクリートから再生骨材を製造する過程で発生した再生微粉を湿式炭酸化処理した CO₂ 固定再生微粉を混合した際の圧縮強度と静弾性係数、および CO₂ 排出量について把握するために実験・検討を行った。

本検討において得られた知見を以下に示す。

- 1) BD は BC よりも強度発現性が低く、材齢 7 日から 28 日までの圧縮強度の増進が小さい。
- 2) BD に CP を混合することで、初期強度が増加し、材齢 28 日では BC に CP を混合した調合同程度強度が得られる。また、CP の混合により、細孔径分布が小径側にシフトしており、コンクリート内部が緻密化することで圧縮強度が増加すると考えられる。
- 3) 実験結果から同一強度となるように水セメント比を設定した調合の CO₂ 排出量は、CP を混合した場合、CP 混合によるコンクリート中への CO₂ 固定及び単位セメント量削減により最終的な CO₂ 排出量を低減できる。また BD-CP200 の調合では、材料由来の CO₂ 排出量がほぼ 0kg/m³ となった。

謝辞

本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP21023) を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発プロジェクトで得られたものです。また、本研究では日鉄高炉セメント (株) の協力をいただきました。関係各位に感謝いたします。

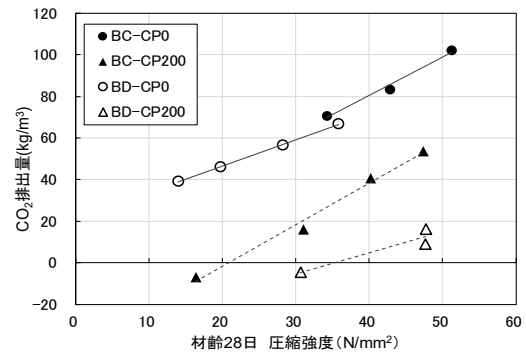


図-11 圧縮強度と CO₂ 排出量の関係

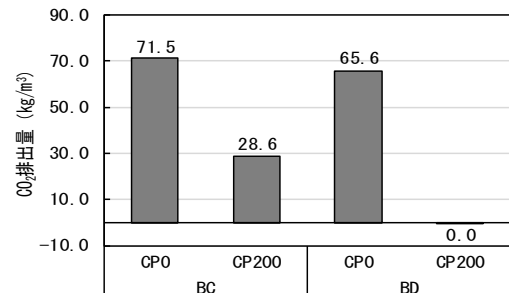


図-12 Fc27 (調合強度 35.2N/mm²) を想定した場合の CO₂ 排出量の試算

参考文献

- 1) 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 参照: https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf (閲覧日: 2025 年 1 月 8 日)
- 2) 経済産業省カーボンリサイクル・マテリアル産業, 参照: https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/11_carbonrecycle.html (閲覧日: 2025 年 1 月 8 日)
- 3) 辻大二郎ほか: セメント系廃材への CO₂ 固定プロセス及び副産物の有効利用の研究 (その 9), 日本建築学会大会学術講演梗概集, No.1310, pp.619-620, 2023.
- 4) 辻大二郎, 小島正朗, 井上和政, 野口貴文: 高炉スラグ微粉末を高含有した結合材を用いたコンクリートの収縮ひび割れ抵抗性の向上に関する実験検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.201-206, 2016.
- 5) 一般社団法人セメント協会: セメントの LCI データの概要, 2023.2.16.
- 6) 公益社団法人土木学会: コンクリート構造物の環境性能照査指針 (試案) (コンクリートライブラリー 125,2005), p15, 解説表 3.2.3 構成材料の原単位
- 7) 一般社団法人日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 10 プレキャスト鉄筋コンクリート工事, 丸善出版, pp.81-82, 2014.11.
- 8) 一般社団法人日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2018), 丸善出版, pp.55-57, 2018.12.