

論文 低炭素型のコンクリートに CCU 粉体を混入した際の品質に関する研究

田中 寛人*1・神代 泰道*2・井上 裕太*1・並木 憲司*3

要旨：近年、カーボンニュートラルの実現に向け、セメントを大量に削減した従来の低炭素型のコンクリートより、CO₂ 排出量を削減したコンクリートの開発が求められている。本研究では、CO₂ を吸収・固定した CCU 粉体に着目し、室内・実機試験にて、低炭素型のコンクリートに CCU 粉体を混入した際の品質を検討した。CCU 粉体を混入するほど粘性が増加するが、混和剤の添加量を調整することで、所要のフレッシュ性状を満足でき、実機ミキサでの練混ぜや施工が可能であることを確認した。また、養生方法に関わらず、混入量が多くなるほど圧縮強度が増加する傾向を示し、中性化抑制効果も高くなることを確認した。

キーワード：CCU 粉体、低炭素型のコンクリート、フレッシュ性状、力学的特性、中性化

1. はじめに

近年、世界的に地球温暖化対策に関する取り組みが加速しており、地球温暖化に影響を及ぼす温室効果ガス、特に、CO₂ 排出量の削減は、全世界に課せられた重要課題である。我が国においては、2050 年までに温室効果ガスの排出量を全体としてゼロにする、すなわちカーボンニュートラルによる脱炭素社会の実現を目指すことが宣言された。こうした中、コンクリート分野においては、セメント量を大幅に削減した低炭素型のコンクリート（例えば¹⁾）が開発されているが、今後、これまで以上に CO₂ 排出量を削減したコンクリートの開発が求められる。そこで、本研究では、CO₂ を吸収・固定した CCU (Carbon dioxide Capture and Utilization) 粉体に着目し、低炭素型の

コンクリートに CCU 粉体を混入することで、CO₂ 排出量をさらに削減するコンクリートの開発を目的とした。

本報では、シリーズ 1 として室内試験、シリーズ 2 として実機試験を行い、低炭素型のコンクリートに CCU 粉体を混入した際の品質（フレッシュ性状、力学的特性、中性化）や施工性などについて検討した。

2. CCU 粉体の概要

今回使用した CCU 粉体（以下、CP）は、遠心成形品の製造工場において排出されるスラッジ水に、同工場における蒸気養生の際に発生する排気ガスを吹き込んで生成させた軽質炭酸カルシウムである²⁾。既に実用化されており、CO₂ 固定量は 390kg-CO₂/t と試算されている²⁾。CP の外観を写真-1、品質の一例を表-1 に示す。炭酸カルシウムの純度が高いのが特徴である。



写真-1 CP の外観

表-1 CP の品質（一例）

項目		試験値
密度(g/cm ³)		2.43
ブレン比表面積(cm ² /g)		3,080
化学成分 (%)	炭酸カルシウム CaCO ₃	97.7
	酸化マグネシウム MgO	0.07
	二酸化ケイ素 SiO ₂	0.54
	酸化アルミニウム Al ₂ O ₃	0.25
	酸化第二鉄 Fe ₂ O ₃	0.12

3. シリーズ 1：室内試験

3.1 実験計画

シリーズ 1 では、室内試験にて CP の混入量がコンクリートの品質に及ぼす影響を確認した。実験計画の概要を表-2 に示す。コンクリートは、CP が無混入の場合（ベ

表-2 実験計画の概要（シリーズ 1）

項目	内容
コンクリートの種類	(1)CP-0, (2)CP-50, (3)CP-100, (4)CP-200 ※全て W/B=48%, C : BS=25 : 75 (質量比)
CP の混入量 (細骨材置換)	(1)CP-0 : 0kg/m ³ , (2)CP-50 : 50kg/m ³ (3)CP-100 : 100kg/m ³ , (4)CP-200 : 200kg/m ³
コンクリートの品質	(1)フレッシュ性状 (2)力学的特性 (φ100×200mm) 養生条件：標準養生、封かん養生、簡易断熱養生*1 (3)中性化 (100×100×400mm)

*1：断熱箱の厚さは 200mm、恒温恒湿室（20℃、60%RH）にて静置

*1 (株)大林組 技術研究所生産技術研究部 修士(工学) (正会員)

*2 (株)大林組 技術研究所生産技術研究部 博士(工学) (正会員)

*3 (株)大林組 東京本店建築事業部 修士(工学) (正会員)

ース)と細骨材の容積置換(以下、細骨材置換)として、それぞれ 50, 100, 200kg/m³ 混入した場合の計 4 水準を設けた。それぞれの試験体名(記号名)は混入量の少ない順に「CP-0」、「CP-50」、「CP-100」、「CP-200」とした。また、力学的特性の確認として、養生条件は、「標準養生」(以下、標準)、「封かん養生」(以下、封かん)、「簡易断熱養生」(以下、簡易断熱)の計 3 水準を設けた。

3.2 実験方法

(1) コンクリートの使用材料および割合

コンクリートの使用材料を表-3 に、割合を表-4 に示す。CP-0 は、既に RC 構造物へ適用した実績のある低炭素型のコンクリート³⁾を参考とし、CP-50, CP-100, CP-200 は CP を細骨材置換として、CP-0 にそれぞれ 50, 100, 200kg/m³ 混入したものである。各 CO₂ 排出量を表-5 より算定した結果、CP-0 から順に、86.9, 67.2, 48.0, 9.5kg-CO₂/m³ である。

(2) 供試体の概要

恒温恒湿室(20℃, 60%RH)にて、二軸強制攪拌型コンクリートミキサ(公称容量 60L)を用いてコンクリートを練り混ぜた。練混ぜ方法は以下とした。細骨材, CP,

表-3 コンクリートの使用材料(シリーズ 1)

材料	記号	種類と備考
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm ³)
混和材	BS	高炉スラグ微粉末 4000(密度 2.89g/cm ³)
	CP	CCU 粉体(密度 2.43g/cm ³)
細骨材	S	陸砂(表乾密度 2.59g/cm ³)
粗骨材	G	碎石 2005(硬質砂岩, 表乾密度 2.72g/cm ³)
混和剤	AE	AE 剤
	AF	消泡剤
	SP	高性能 AE 減水剤

表-4 コンクリートの割合(シリーズ 1)

記号	W/B (%)	単位量(kg/m ³)						AE* ¹ (A)	AF* ¹ (T)	SP (P×%)
		W	P			S	G			
			B		CP					
			C	BS						
CP-0	48.0	170	89	266	0	870	895	2.5	0	1.1
CP-50	48.0	170	89	266	50	817	895	1	0.125	1.0
CP-100	48.0	170	89	266	100	763	895	0.5	0.75	1.2
CP-200	48.0	170	89	266	200	657	895	1.5	1	1.525

目標スランブフロー: 50cm, 目標空気量: 4.5%

*1: 1A=P×0.001%, 1T=P×0.001%

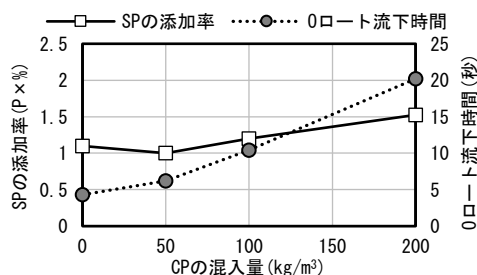


図-1 SP の添加率・0 ロート流下時間

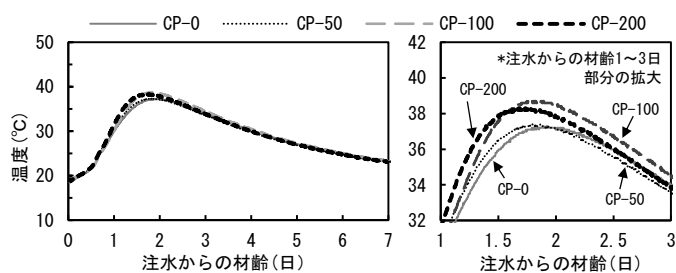


図-2 温度履歴

セメントおよび高炉スラグ微粉末(以下、スラグ)を入れて 10 秒間空練りした後、混和剤入りの水を投入して 60 秒間練り混ぜた。なお、CP-200 のみ 60 秒間では練混ぜが困難だったため、練混ぜ時間を 240 秒とした。次に、粗骨材を投入して 60 秒間練り混ぜた。ミキサ容量の制限から、1 バッチ 35L とし、各割合 2 バッチ練り混ぜた。2 バッチ混合後、所要のフレッシュ性状であることを確認して供試体を作製し、各養生方法にて養生した。

(3) 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表-6 に示す。温度履歴は熱電対を用い、簡易断熱の供試体の中央部で測定した。

表-5 各材料の CO₂ 排出量・固定量^{2), 4)}

材料	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /t)	CO ₂ 固定量 (kg-CO ₂ /t)
水	0	—
普通ポルトランドセメント	7.72×10 ²	—
高炉スラグ微粉末	35.6	—
CCU 粉体	—	3.90×10 ²
細骨材	4.90	—
粗骨材	3.90	—
混和剤	3.50×10 ²	—

表-6 試験項目および試験方法(シリーズ 1)

試験・測定項目	試験方法	備考
スランブフロー	JIS A 1150	—
空気量	JIS A 1128	—
コンクリート温度	JIS A 1156	—
単位容積質量	JIS A 1116	—
O ロート流下時間	JSCE-F 512	—
圧縮強度	JIS A 1108	標準: 試験材齢 7, 28, 91 日 (n=3) 封かん: 試験材齢 3, 7, 28, 91 日 (n=3) 簡易断熱: 試験材齢 28, 91 日 (n=3)
ヤング係数	JIS A 1149	同上
温度履歴	熱電対	簡易断熱(材齢 7 日まで測定。測定箇所: 供試体の中央部。n=1)
促進中性化	JIS A 1153	促進期間 1, 4, 8, 13, 26 週 (n=3)

表-7 フレッシュ性状の結果(シリーズ 1)

記号	スランブフロー (cm)	500mm フロー到達時間 (秒)	フローの流動停止時間 (秒)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	単位容積質量 (kg/m ³)	O ロート流下時間 (秒)
CP-0	52.5	2.9	7.3	4.7	18	2277	4.3
CP-50	47.5	—	10.8	4.3	19	2270	6.2
CP-100	52.0	9.3	15.6	4.7	19	2275	10.4
CP-200	48.0	—	20.7	4.4	20	2283	20.2

3.3 実験結果・考察

(1) フレッシュ性状

フレッシュ性状の結果を表-7に示す。いずれも、所要のスランプフローおよび空気量が得られ、材料分離は確認されなかった。また、高性能 AE 減水剤（以下、SP）の添加率とオートフロー時間を図-1に示す。CP の混入量の増加に伴い、SP の添加率は増大し、粘性も高くなる傾向を示した。特に混入量が 100kg/m^3 を超えると粘性が著しく増大した。

(2) 温度履歴

簡易断熱の温度履歴を図-2に示す。CP の混入量に関わらず、最高温度は 38°C 程度であった。また、CP の混入量が多いほど、最高温度へ到達する時間が若干早くなる傾向を示した。

(3) 圧縮強度

圧縮強度の結果を図-3に、無混入時に対する圧縮強度比の一例を図-4に示す。養生方法に関わらず、無混入時に対して、CP の混入量の増加に伴い圧縮強度が増加し、特に初期材齢時に大きく増加する傾向を示した。なお、CP-50 のみ CP-0 と概ね同程度であった。CP の混入による圧縮強度の増加の理由としては、物理的に空隙を充填するフィラー効果⁵⁾、 C_3S と C_3A の水和の促進⁵⁾、スラグの反応の促進^{6,7)}などが考えられる。また、既往の研究例えば⁷⁾において、スラグの反応は初期材齢時に促進され、その後は無混入時と比較して停滞する傾向があると報告されている。本実験でも同様の現象が生じ、CP-100 と CP-200 より初期強度が低い CP-50 は、材齢 28 日以降に CP-0 を下回った場合があったと考えられる。なお、これらの CP の混入による強度変化のメカニズムについては今後も検討が必要である。一方、CP の混入量に応じて結合

材量を低減できる可能性が示唆された。

(4) ヤング係数

圧縮強度とヤング係数の関係を図-5に示す。なお、図には New RC 式による推定値を示した。CP の混入量に関わらず、ヤング係数は圧縮強度の増加に伴い増加する傾向を示した。また、New RC 式の推定値以上を示す傾向が確認されたが、CP-50、CP-100、CP-200 は、CP が無混入の CP-0 と概ね同程度であることから、CP を混入することによるヤング係数への大きな影響はないと考える。

(5) 中性化

促進中性化試験の結果を図-6に示す。CP-50 の中性化抑制効果は、CP-0 と概ね同程度であった。一方、CP-100 および CP-200 の中性化抑制効果は、どちらも CP-0 より高く、混入量が多いほど高くなる傾向を示した。これより、CP の混入量が 50kg/m^3 を超える場合、混入量が増加するほど中性化抑制効果が増加すると推察された。この傾向は圧縮強度試験の傾向と同様であり（図-7）、CP の混入量の増加に伴って組織が緻密化され、中性化抑制効果が高くなったと推察される。

4. シリーズ 2：実機試験

4.1 実験計画

シリーズ 2 では、実機試験にて CP を混入したコンクリートのモックアップ試験体を作製し、品質や施工性について検討した。実験計画の概要を表-8に示す。コンクリートは、CP が無混入の「CP-0」と細骨材置換として 200kg/m^3 混入した「CP-200」の 2 種類とし、 $1,200 \times 1,000 \times$ 厚さ 200mm のモックアップ壁試験体（以下、壁試験体）を作製した。力学的特性の確認として、養生条件は「標準」と「現場封かん養生」（以下、現場封かん）の 2

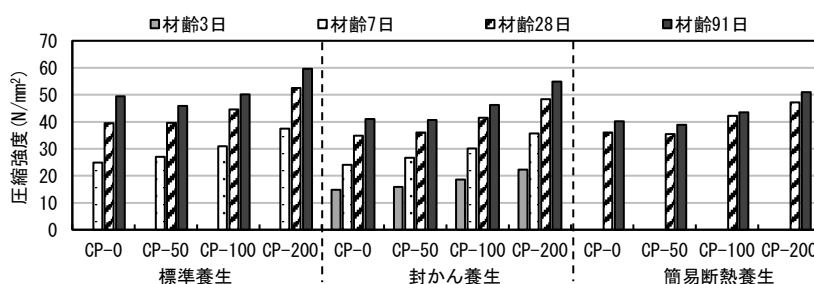


図-3 圧縮強度（シリーズ 1）

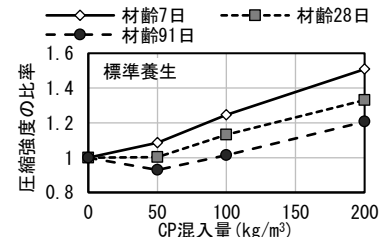


図-4 CP 混入量と圧縮強度の比率の関係の一例（シリーズ 1）

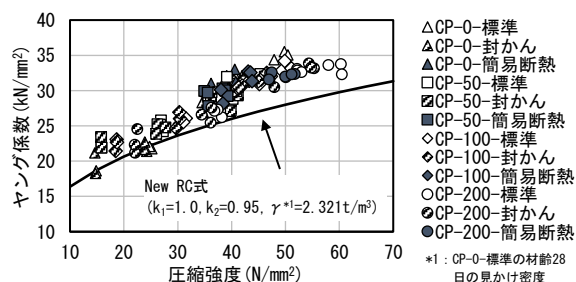


図-5 圧縮強度とヤング係数の関係（シリーズ 1）

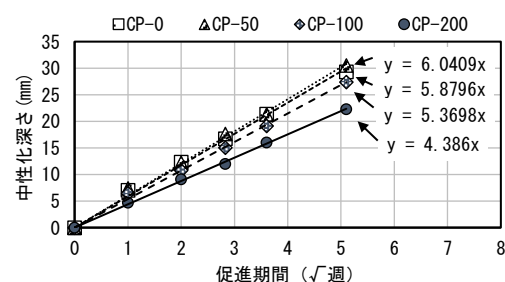


図-6 促進中性化試験の結果

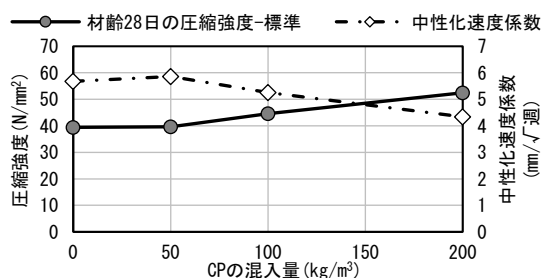


図-7 CPの混入量と圧縮強度・中性化速度係数の関係

水準を設けた。また、実際の建築物への適用を考慮し、仕上げ材として、低炭素型のコンクリートの中性化抑制効果を向上することが確認された高耐候性アクリルシリコン樹脂系クリヤ塗料⁸⁾(以下、クリヤ塗料)を塗装した際の中性化抑制効果も検討した。

4.2 実験方法

(1) コンクリートの使用材料および調査

コンクリートの使用材料を表-9に、調査を表-10に示す。CP-0はシリーズ1を参考とし、CP-200はCP-0に対して、CPを200kg/m³混入(細骨材置換)し、目標空気量を3.0%とした。なお、目標空気量を変更したのは、事前の試し練りにて、シリーズ1に比べて微粒分が多く空気量が小さくなる傾向を確認したためである。各CO₂排出量を表-5より算定した結果、CP-0から順に、98.6、21.9kg-CO₂/m³である。

(2) 壁試験体の概要

壁試験体の概要を図-8に示す。打込み後は打込み面を養生し、材齢9日に脱型した。材齢6週目にクリヤ塗料を塗装し(写真-2)、塗装範囲は図の範囲とした。また、試験材齢前に、壁試験体の上部、中央、下部の3箇所からコア抜きし、φ75mmのコア供試体を作製した。

(3) 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表-11に示す。中性化深さは、コア供試体の(φ75×200mm)の側面で測定した。また、コア供試体の圧縮強度試験は、中性化深さを測定した後、φ75×150mmに整形して実施した。

4.3 実験結果・考察

(1) 壁試験体の作製

2022年4月、市中のレディーミクストコンクリート工場の実機ミキサ(二軸強制練りミキサ、公称容量6m³)にてコンクリートを練り混ぜた。練混ぜ量は1バッチ2m³とし、CP-0は1バッチ、CP-200は2バッチ混合とした。材料を一括投入し、CP-0では120秒間練り混ぜた。CP-200では、20kg袋でのCP投入と高粘性による練混ぜ時間の増大により、1バッチあたりの製造時間に20分程度要した。CPを使用する場合、製造の効率化が課題となったが、実機ミキサにて練り混ぜることができた。練混ぜ後、トラックアジテータにて打込み場所へ運搬した。

受入れ時のコンクリートのフレッシュ性状を表-12

表-8 実験計画の概要(シリーズ2)

項目	内容
CPの混入量 (細骨材置換)	(1)CP-0: 0kg/m³, (2)CP-200: 200kg/m³
コンクリートの品質	(1)力学的特性(圧縮強度, ヤング係数) (2)中性化
試験体	壁試験体(1,200×1,000×厚さ200mm) コンクリートの種類: (1)CP-0, (2)CP-200 ※全て W/B=43.2%, C: BS=25: 75(質量比) 仕上げ材: 高耐候性アクリルシリコン樹脂系クリヤ塗料 塗装範囲: 表面が一部(350×1,000mm) 裏面が全面(1,200×1,000mm)

表-9 コンクリートの使用材料(シリーズ2)

材料	記号	種類と備考
水	W	地下水
セメント	C	普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³)
混和材	BS	高炉スラグ微粉末4000(密度2.89g/cm³)
	CP	CCU粉体(密度2.46g/cm³)
細骨材	S	混合砂(山砂: 砕砂=70: 30(質量比)) (混合密度2.62g/cm³)
粗骨材	G	砕石2005(石灰石, 表乾密度2.70g/cm³)
混和剤	AE	AE剤
	SP	高性能AE減水剤

表-10 コンクリートの調査(シリーズ2)

記号	W/B (%)	単位量(kg/m³)						AE*1 (A)	SP (P×%)
		W	P			S	G		
			B		CP				
			C	BS					
CP-0	43.2	175	101	304	—	789	923	12	1.5
CP-200	43.2	175	101	304	200	616	923	10	2.0

CP-0: 目標スランブフロー: 50cm, 目標空気量: 4.5%

CP-200: 目標スランブフロー: 50cm, 目標空気量: 3.0%

*1: 1A=P×0.001%

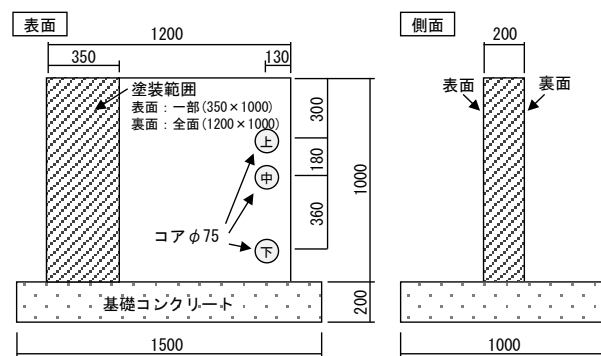


図-8 壁試験体の概要図

表-11 試験項目および試験方法(シリーズ2)

試験・測定項目	試験方法	供試体		コア供試体		備考
		標準	現場封かん	塗装なし	塗装あり	
圧縮強度*1	JIS A 1108	○	○	○(同一)	—	—
ヤング係数*2	JIS A 1149	—	○	○(同一)	—	—
中性化深さ*3	JIS A 1152	—	—	○	○	側面にて測定 片面: 塗装あり 片面: 塗装なし

フレッシュ性状は表-5と同様

*1: 標準: 試験材齢7, 28, 56日(n=3), 現場封かん: 試験材齢3, 7,

28, 91日(n=3), コア供試体: 試験材齢96日(n=3)

*2: 現場封かん: 試験材齢91日(n=3), コア供試体: 試験材齢96日(n=3)

*3: コア供試体: 試験材齢96日(n=3)

に示す。なお、練混ぜから受入れまでの時間は2時間程度であった。いずれも、所要のスランプフローおよび空気量が得られ、材料分離は確認されなかった。

受入れ後に供試体(φ100×200mm)を作製した。壁試験体への打込みはバケット打ち(計3層)とし、層ごとに内部振動機を用いて締め固めた。なお、CP-200の打込み時には、練混ぜから3時間程度経過していたことから、混和剤を後添加してコンシステンシーを改善させた後に打込んだ。CP-200は比較的粘性が高かったが、打込みは問題なく行うことができ、仕上げ処理も通常の高強度コンクリートと同様に行うことができた。

(2) 圧縮強度

圧縮強度の試験結果を図-9に示す。材齢に関わらず、現場封かんは標準と概ね同程度であった。これは、現場封かんが比較的暖かい屋外環境下で養生されたためと考える。コア供試体は、CPの混入に関わらず、現場封かんと同程度の値を示し、構造体コンクリート強度は問題ないことが確認された。なお、コア採取位置による差は、いずれも±2.0N/mm²以内であった。また、CPを混入した場合、シリーズ1と同様に無混入時に比べて圧縮強度が増加する傾向を示し(図-10)、CPの混入量に応じて結合材量を低減できる可能性が示唆された。

(3) ヤング係数

圧縮強度とヤング係数の関係を図-11に示す。なお、図にはNew RC式による推定値を示した。CPの混入に関わらず、コア供試体と現場封かんのヤング係数は同程度であり、ヤング係数は圧縮強度の増加に伴い増加する傾向を示した。これより、CPを混入することによるヤング係数への大きな影響はないと推察される。

表-12 フレッシュ性状の結果(シリーズ2)

記号	スランプフロー(cm)	500mmフロー到達時間(秒)	フローの流動停止時間(秒)	空気量(%)	コンクリート温度(°C)	備考
CP-0	56.0	4.1	19.0	4.9	17	受入れ時
CP-200	48.5	—	21.0	3.9	21	受入れ時
	50.5	14.5	21.0	3.6	21	壁試験体への打込み前 ^{*1}

*1: 壁試験体に打込み前にSP(P×0.3%)を後添加



写真-2 塗装後の壁試験体の外観

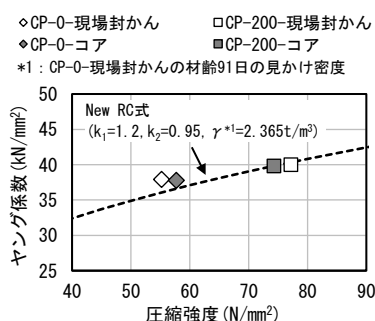


図-11 圧縮強度とヤング係数の関係(シリーズ2)

(4) 中性化

中性化深さの結果を図-12に示す。CP-200はCP-0より中性化深さが小さかった。これは、シリーズ1と同様、CPの混入量の増加に伴って組織が緻密化され、中性化抑制効果が高くなったためと推察される。なお、コア採取位置による差はほとんどなかった。また、クリヤ塗料を塗装した場合は無塗装より、CP-0では約2.3倍、CP-200では約3.7倍程度の中性化抑制効果が確認された。これより、既往の研究⁸⁾と同様、仕上げ材を塗装することで、中性化抑制効果が大きく向上することが確認された。

5. カーボンニュートラルの可能性の検討

CPを100kg/m³以上混入した場合、無混入に比べて圧縮強度が増加し、中性化速度係数が小さくなる傾向が確認された。そこで、無混入と同じ圧縮強度になるよう、CP混入による強度増加分の結合材量を減じ(W/Bを補正し)(図-10)、その際のCO₂排出量を試算した。なお、W/Bの補正に用いた結合材水比と28日標準養生強度の関係式(回帰式の傾き)は、既往の研究⁹⁾(本実験と同様の結合材の混合割合(C:BS=25:75)である低炭素

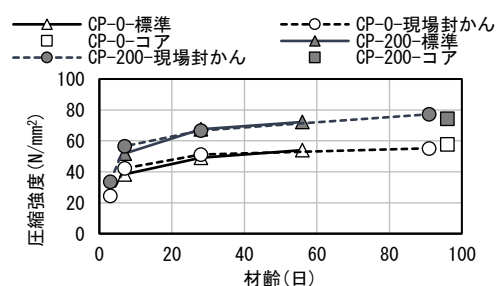


図-9 圧縮強度(シリーズ2)

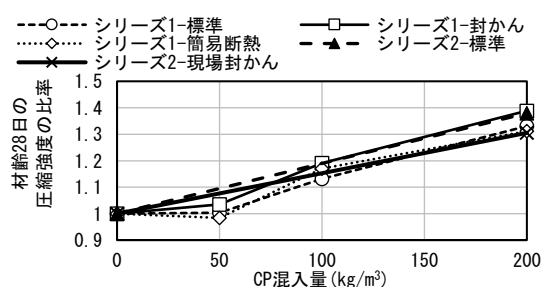


図-10 CP混入量と圧縮強度の比率の関係

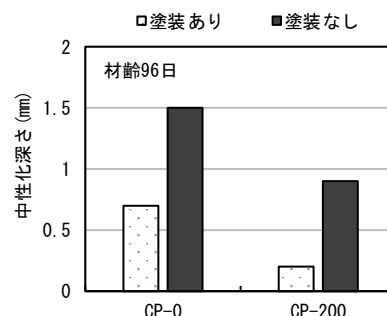


図-12 中性化深さ

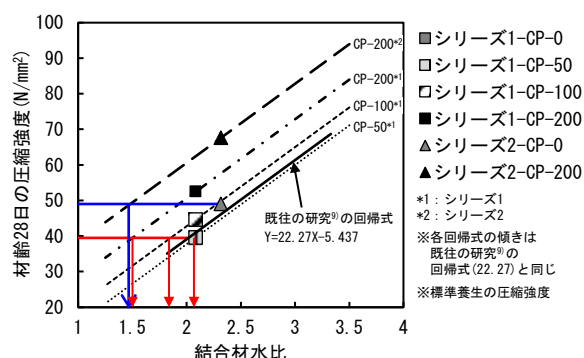


図-10 強度補正後の W/B の算出方法

表-12 強度補正後の CO₂ 排出量の試算

シリーズ	記号	W/B(%)		CO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /m ³)	
		実験時	補正後*1	実験時	補正後*2
1	CP-100	48.0	54.1 (1.85)	48.0	39.2
	CP-200	48.0	66.8 (1.50)	9.5	-12.5
2	CP-200	43.2	67.6 (1.48)	21.9	-10.6

各 CO₂ 排出量の試算には表-5 の値を用いた

各 CO₂ 排出量に用いた補正後の調査は、W, CP, G の単位量および空気量は変更せず、C, BS, S の単位量のみを変更した。なお、C と BS の混合割合は 25 : 75 のままとし、混和剤の添加率は、実験時と同様とした。

*1 : ()内の数字は、結合材水比を示す

*2 : 「- (マイナス)」は固定量を示す

型のコンクリート)と同様と仮定した。

シリーズ 1 の結果から試算すると、CP を 100, 200kg/m³ 混入した場合、補正後の W/B は 54.1, 66.8%, 結合材量は 314, 255kg/m³, CO₂ 排出量は 39.2, -12.5kg-CO₂/m³ となった。同様に、シリーズ 2 の結果から試算すると、CP を 200kg/m³ 混入した場合、補正後の W/B は 67.6%, 結合材量は 259kg/m³, CO₂ 排出量は -10.6kg-CO₂/m³ となった。これより、仮定条件のもとではあるが、W/B を補正した場合、CP を 200kg/m³ 混入することで無混入の場合と同様の品質を確保した上で、カーボンニュートラル (CO₂ 排出量がマイナス側) を達成できる可能性が示唆された。今後は、CP を混入した場合の結合材水比と圧縮強度の関係や他の耐久性などについて検討していく。

6. まとめ

本報では、低炭素型のコンクリートに CCU 粉体 (CP) を混入した際の品質や施工性などを室内・実機試験にて確認した。本実験で得られた結果を以下に示す。

- (1) CP の混入量が増加するほど、粘性が増加する傾向を示した。しかしながら、混和剤の添加量を調整することで、所要のフレッシュ性を満足することができ、実機ミキサでの練混ぜや施工が可能であった。
- (2) 圧縮強度において、養生方法に関わらず、CP の混入量が増加するほど、圧縮強度が増加する傾向を示した。また、ヤング係数は圧縮強度の増加に伴い増加する傾向を示し、CP を混入することによるヤン

グ係数への大きな影響はないと推察された。

- (3) 中性化において、CP の混入量の増加に伴って組織が緻密化され、中性化抑制効果が高くなった。また、低炭素型コンクリートの中性化抑制効果を向上させる仕上げ材を用いることで、中性化抑制効果を高くすることが可能であった。
- (4) CP を用いることで、カーボンニュートラルを達成できる可能性が示唆された。

謝辞

本実験の実施にあたり、日本シーカ (株) をはじめ多くの方よりご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小林利充, 溝渕麻子, 近松竜一, 一瀬賢一: 低炭素型のコンクリート「クリーンクリート™」の開発, 大林組技術研究所報, No.75, pp.1-8, 2011
- 2) 佐々木猛, 八木利之: エコタンカル (軽質炭酸カルシウム) とその可能性, セメント・コンクリート, No.900, pp.58-62, 2022.2
- 3) 神代泰道, 並木憲司, 植松俊幸, 田中寛人: 流動性を高めた低炭素型のコンクリートの地上構造物への適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.1210-1215, 2022
- 4) 日本建築学会: 高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造の設計・施工指針 (案)・同解説, p.165, 2017
- 5) 日本コンクリート工学協会: 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム, pp.5-60, 1998.5
- 6) 太田健司, 吉田亮, 齊藤和秀, 吉澤千秋: 副産物石灰石微粉末を外割添加したコンクリートのブリーディング性状および各種硬化物性の関係, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1573-1578, 2013
- 7) 佐川孝広, 濱幸雄, 塚本康誉: 高炉セメント A 種の強度発現と水和反応に及ぼす無水石こうと石灰石微粉末の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.68, pp.239-245, 2014
- 8) 植松俊幸, 堀田和宏, 小林利充, 神代泰道: コンクリート打放しの耐久性を向上する仕上げ材「シェルトクリヤ™」の適用, 大林組技術研究所報, No.85, pp.1-2, 2021
- 9) 小林利充, 並木憲司, 溝渕麻子: 混和材を高含有したコンクリートの強度性状に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.83-88, 2019