

カーボンネガティブを実現できる「クリーンクリートN[®]」の開発

田中 寛人 神代 泰道

井上 裕太 並木 憲司
(東京本店建築事業部)

Development of “Clean-Crete N” for Achieving Carbon Negative

Hiroto Tanaka Yasumichi Koshiro

Yuta Inoue Kenji Namiki

Abstract

To achieve carbon neutrality, “Clean-Crete N” was developed. It is prepared by mixing CCU (carbon dioxide capture and utilization) powder into low-carbon concrete “Clean-Crete”. Carbon negativity can be achieved depending on the amount of the mixture. This study investigated the effects of mixed CCU powder on the quality of concrete. Consequently, the viscosity increased as more CCU powder was added. Moreover, compressive strength and carbonation suppression increased. Furthermore, Clean-Crete N, which is carbon-negative, was applied to construction work for the first time. Compared with ordinary concrete with the same nominal strength, it reduced CO₂ emissions by approximately 106%. We plan to expand the catalyst to multiple sites to achieve carbon neutrality.

概要

カーボンニュートラル社会の実現に向け、セメント量を大幅に削減した低炭素型のコンクリート「クリーンクリート[®]」よりCO₂排出量を削減する「クリーンクリートN[®]」を開発した。クリーンクリートNは、CO₂を吸収・固定したCCU粉体をクリーンクリートに混入したものであり、混入量によってCO₂排出量をマイナス（カーボンネガティブ）までできる。本報では、CCU粉体の混入量がコンクリートの品質に及ぼす影響を検討した。その結果、CCU粉体の混入量の増加に伴い粘性が増加した。加えて、混入量が多くなるほど圧縮強度が増加する傾向を示し、中性化抑制効果も向上した。また、カーボンネガティブを達成したクリーンクリートNを実際の工事に初適用した。本適用では、同じ呼び強度の普通コンクリートを用いた場合に比べて、CO₂排出量を約106%削減できた。今回の実績を基に、多くの現場に普及拡大し、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していく。

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、二酸化炭素（CO₂）排出量の低減は、全世界に課せられた重要な課題である。我が国においては、2020年10月の臨時国会にて、2050年までに温室効果ガスの排出量を全体としてゼロ、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。

コンクリート関連産業は、エネルギーの消費量やCO₂の排出量が大きく、国内全体のCO₂排出量の約4%を占めるとされる¹⁾。そのため、セメント・コンクリート分野のCO₂排出量の削減は、国内における総CO₂排出量の削減に大きく貢献すると考えられる。

こうした中、大林組は2010年度にセメント量を大幅に削減した低炭素型のコンクリート「クリーンクリート[®]」を開発し²⁾、同年に実工事に初適用して以来、2022年度までの累計の打込み量は約39万m³に達している。一方、カーボンニュートラル社会の実現に向け、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、クリーンクリートにCCU粉体を混入することで、CO₂排出量をさらに削減する「クリーンクリートN[®]」を開発した。クリーンクリートNはCCU粉体の混入量によって、CO₂の排出量を差し引きゼロ（カーボンニュートラル）から、さらにマイナス（カーボンネガティブ）にできる。

本報では、室内試験にてクリーンクリートNの品質について検討した。併せて、クリーンクリートNの適用事例を紹介する。

2. CCU粉体の概要

今回使用したCCU粉体（以下、CP）は、コンクリートの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³⁾。NEDO事業を通じて実用化されているものであり、CO₂固定量は390kg-CO₂/tと試算されている³⁾。CPの外観を

Photo 1, 品質の一例をTable 1に示す。炭酸カルシウムの純度が高いのが特徴である。また、このCCU粉体はコンクリート産業から発生するセメント系廃棄物を原料としているため、廃棄物の削減にも貢献できる。

3. クリーンクリートNの調合検討

3.1 実験計画

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Table 2に示す。コンクリートは、CPが無混入の場合（ベース）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水準とした。なお、CPは非活性の粉体と見なし、細骨材置換とした。それぞれ混入量の少ない順に「CP-0」、「CP-50」、「CP-100」、「CP-200」とした。また、養生条件は「標準養生（以下、標準）」と「封かん養生（以下、封かん）」の計2水準とした。

3.2 実験方法

3.2.1 コンクリートの使用材料および調合 コンクリートの使用材料をTable 3に、調合をTable 4に示す。



Photo 1 CPの外観
Appearance of CP

Table 1 CPの性質（一例）
Properties of CP (example)

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

Table 2 実験計画の概要
Outline of Experimental Plan

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 (スランブフロー, 空気量, コンクリート温度, 単位容積質量, Oロート流下時間) (2)力学特性 (圧縮強度, ヤング係数) (φ100×200mm) 養生条件 : 標準養生, 封かん養生 (3)中性化 (促進中性化) (100×100×400mm)

CP-0は、RC構造物へ適用した実績のあるクリーンクリート⁴⁾を参考としたコンクリートである。CP-0, CP-50, CP-100, CP-200のCO₂排出量をそれぞれTable 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。また、使用した混和剤は非ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤であり、高炉スラグ微粉末（以下、スラグ）を高含有したコンクリートの粘性の改善効果がある。

3.2.2 供試体の概要 恒温恒湿室（20℃, 60%RH）にて、強制二軸練りミキサーを用いてコンクリートを練り混ぜた。その後、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。

Table 3 コンクリートの使用材料
Materials of Concrete

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)
	BS	高炉スラグ微粉末4000 (密度2.89g/cm ³)
混和剤	CP	CCU粉体 (密度2.43g/cm ³)
	S	陸砂 (表乾密度2.59g/cm ³)
細骨材	S	陸砂 (表乾密度2.59g/cm ³)
粗骨材	G	砕石2005 (硬質砂岩, 表乾密度2.72g/cm ³)
混和剤	SP	高性能AE減水剤

Table 4 コンクリートの調合
Mix Proportion of Concrete

記号	W/B (%)	単位数(kg/m ³)						SP (B×%)
		W	B		CP	S	G	
			C	BS				
CP-0	48.0	170	89	266	0	870	895	1.10
CP-50	48.0	170	89	266	50	817	895	1.14
CP-100	48.0	170	89	266	100	763	895	1.54
CP-200	48.0	170	89	266	200	657	895	2.39

目標スランブフロー : 50±7.5cm, 目標空気量 : 4.5±1.5%

Table 5 各材料のCO₂排出量・固定量^{3),5)}
Amount of Emitted and Fixed CO₂

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	—

Table 6 試験項目および試験方法
Measurement Plans

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 封かん : 試験材齢3, 7, 28, 91日
ヤング係数	JIS A 1149	同上
促進中性化	JIS A 1153	促進期間1, 4, 8, 13, 26週

3.2.3 試験項目および試験方法 試験項目および試験方法をTable 6に示す。

3.3 実験結果・考察

3.3.1 フレッシュ性状 フレッシュ性状をTable 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、CPの混入量と高性能AE減水剤（以下、SP）の添加率・Oロート流

Table 7 フレッシュ性状
Properties of Fresh Concrete

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)	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

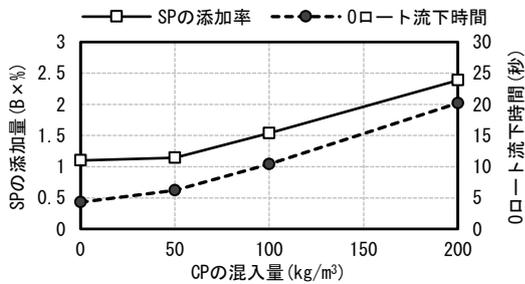


Fig. 1 CPの混入量とSPの添加率・Oロート流下時間の関係

Relationship Between Amount of CP and SP Addition Rate, O-funnel Flow Down Time

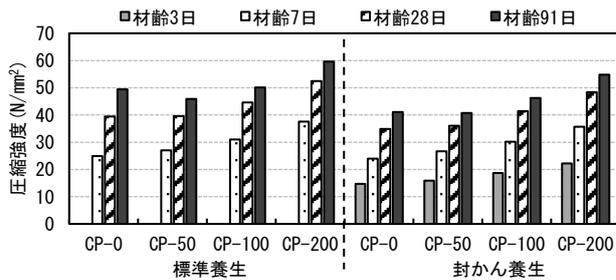


Fig. 2 圧縮強度
Compressive Strength of Concrete

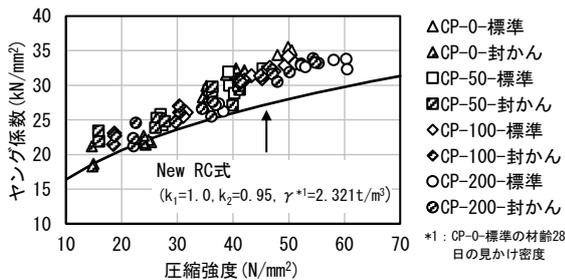


Fig. 4 圧縮強度とヤング係数の関係
Relationship Between Compressive Strength and Young's Modulus

下時間の関係をFig. 1に示す。CPの混入量の増加に伴い、SPの添加率は増大した。また、Oロート流下時間が長くなり、粘性も高くなる傾向を示した。特に混入量が100kg/m³を超えると粘性が著しく増大した。

3.3.2 圧縮強度 圧縮強度の結果をFig. 2に、無混入時に対する圧縮強度比の一例をFig. 3に示す。養生方法に関わらず、CP-50を除き、CPの混入量の増加に伴い圧縮強度が増加した。また、若材齢時にはCP-50を含む全てにおいて増加する傾向を示した。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⁶⁾、微粉末効果などに起因する水和の促進⁶⁾やスラグの反応の促進、カルシウムカーボネート系水和物やカルシウムアルミネート系水和物などの生成による空隙の減少効果^{7),8)}などが考えられる。また、既往の研究^{例え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たため、若材齢の方が圧縮強度の増加率が大きくなったと考えられる。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。

3.3.3 ヤング係数 圧縮強度とヤング係数の関係をFig. 4に示す。図には、一般的にコンクリートのヤング係数を算出する際に用いるNew RC式の推定値も示した。養生条件および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の混入がヤング係数に及ぼす影響は大きくないと考える。

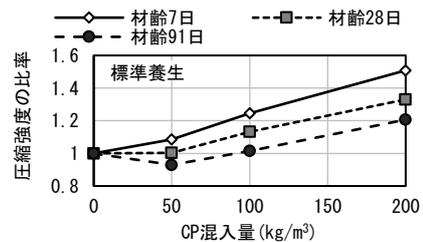


Fig. 3 CPの混入量と圧縮強度の比率の関係
Relationship between Amount of CP and Ratio of Compressive Strength

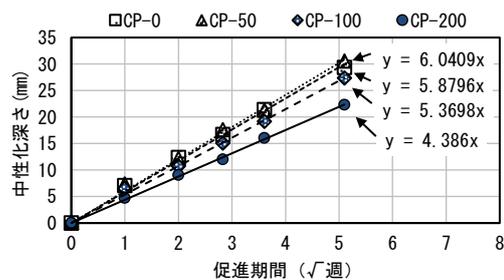


Fig. 5 促進中性化試験の結果
Results of Accelerated Carbonation Test

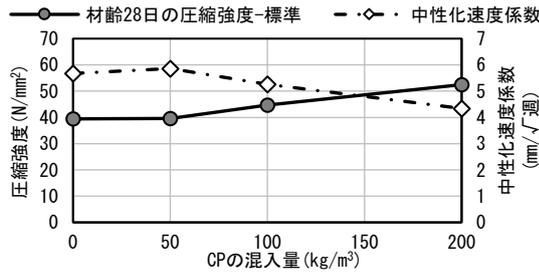


Fig. 6 CPの混入量と圧縮強度・中性化速度係数の関係
Relationship Between Amount of CP and Compressive Strength, Carbonation Rate

3.3.4 中性化 促進中性化試験の結果をFig. 5に示す。CP-50の中性化深さは、CP-0と概ね同程度であった。一方、CP-100およびCP-200の中性化深さは、どちらもCP-0より小さく、混入量が多いほど中性化抑制効果は高くなる傾向を示した。これより、CPの混入量が50kg/m³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 (Fig. 6), 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. 適用事例

2023年3月末、神奈川県にある工場の建替工事にて、クリーンクリートNを初適用した。適用部位は長さ約40mの打放し仕上げの壁部材 (以下、RC外壁) である (Table 8)。

4.1 試し練り

適用部位に求められる呼び強度30を満足するクリーンクリートNの調合を決定するため、供給予定のレディミクストコンクリート工場 (以下、生コン工場) にて、事前に室内での試し練りを実施した。

4.1.1 計画概要 試し練りの計画の概要をTable 9に示す。本生コン工場における呼び強度30のクリーンクリート (結合材の混合割合 (C : BS=25 : 75)) の水結合材比 (以下、W/B) が48%であることから、前述のように、CPの混入量に応じて結合材量を低減できる可能性を考慮し、クリーンクリートNのW/Bは48, 55, 60%の3水準とした。なお、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建築物の設計・施工指針 (案)・同解説」を参考とし、ここでは、W/B=55%を最大値、W/B=60%を参考値として扱った。CPの混入量はいずれも250kg/m³ (細骨材置換) とし、W/Bが小さい順に「W/B48-250」、「W/B55-250」、「W/B60-250」とした。なお、ベースのクリーンクリートは「W/B48-0」とした。

4.1.2 コンクリートの使用材料および調合 コンクリートの使用材料をTable 10に、調合をTable 11に示す。W/B48-250, W/B55-250, W/B60-250のCO₂排出量をTable 5より算定した結果、W/B48-250から順に-6.7, -17.4,

Table 8 適用部位の概要

Outline of Application Site	
項目	内容
適用部位	工場のRC外壁 (非構造部材)
規模	寸法: 厚さ0.18m×長さ39.6m×高さ1.5m 打設量: 約11m³ (出荷量: 14m³) 約3m間隔で誘発目地, 中央部に伸縮目地を設置
呼び強度	30
打込み時期	2023年3月

Table 9 実験計画の概要

Outline of Experimental Plan	
項目	内容
コンクリートの種類	(1)W/B48-0 : W/B=48%, CP=0kg/m³ (2)W/B48-250 : W/B=48%, CP=250kg/m³ (3)W/B55-250 : W/B=55%, CP=250kg/m³ (4)W/B60-250 : W/B=60%, CP=250kg/m³ ※C : BS=25 : 75 (質量比), CPは細骨材置換
目標呼び強度	30
コンクリートの品質	(1)フレッシュ性状 (スランブフロー, 空気量, コンクリート温度, 単位容積質量) (2)力学特性 (圧縮強度) (φ100×200mm)

Table 10 コンクリートの使用材料

Materials of Concrete		
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	S1	砕砂 (石灰砕砂, 表乾密度2.62g/cm³)
	S2	砂 (山砂, 表乾密度2.60g/cm³)
粗骨材	G1	砕石2005 (石灰岩, 表乾密度2.69g/cm³)
	G2	砕石2005 (硬質砂岩, 表乾密度2.64g/cm³)
混和剤	SP	高性能AE減水剤

Table 11 コンクリートの調合

記号	W/B (%)	単位量(kg/m³)								SP (B×%)
		W	B		CP	S1	S2	G1	G2	
			C	BS						
W/B48-0 ^{*1}	48.0	175	91	273	—	343	512	355	523	0.6
W/B48-250 ^{*2}	48.0	175	91	273	250	236	354	355	523	3.37
W/B55-250 ^{*2}	55.0	175	79	239	250	254	380	352	517	3.48
W/B60-250 ^{*2}	60.0	175	73	218	250	275	408	342	504	3.53

*1: 目標スランブ: 21±2cm, 目標空気量: 4.5±1.5%

*2: 目標スランブフロー: 50±7.5cm, 目標空気量: 4.5±1.5%

Table 12 試験項目および試験方法

Measurement Plans		
試験・測定項目	試験方法	備考
スランブ	JIS A 1150	—
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	—
圧縮強度	JIS A 1108	標準: 試験材齢1, 7, 28日

-23.0kg-CO₂/m³であり、いずれもカーボンネガティブを達成している。

Table 13 フレッシュ性状
Properties of Fresh Concrete

記号	スランプ (cm)	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)	単位容積質量 (kg/m ³)
W/B48-0	23.0	—	—	—	5.3	23	2256
W/B48-250	—	51.5	—	26.9	4.2	26	2277
W/B55-250	—	53.0	13.8	28.8	4.1	26	2278
W/B60-250	—	47.5	—	17.9	4.3	25	2268

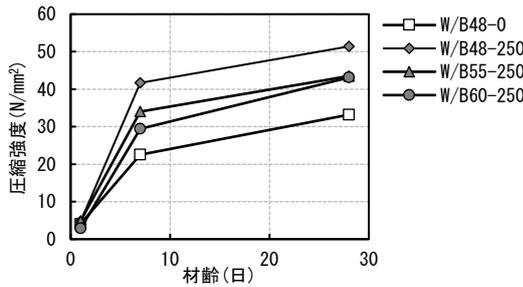


Fig. 7 圧縮強度
Compressive Strength of Concrete

4.1.3 供試体の概要 恒温恒湿室 (20°C, 60%RH) にて、二軸強制攪拌型コンクリートミキサを用いてコンクリートを練り混ぜ、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た。養生は標準養生とした。

4.1.4 試験項目および試験方法 試験項目および試験方法をTable 12に示す。

4.1.5 フレッシュ性状 フレッシュ性状をTable 13に示す。いずれも、所要のフレッシュ性状が得られ、材料分離は確認されなかった。

4.1.6 圧縮強度 圧縮強度をFig. 7に示す。CPを混入した場合、W/Bに関わらず、いずれも材齢28日で圧縮強度が30N/mm²を上回り、CP無混入のW/B48-0より1.3倍以上大きい値を示した。また、結合材水比と圧縮強度の関係をFig. 8に示す。なお、図には、既往の研究⁹⁾のクリーンクリート (本試し練りと同様の結合材の混合割合 (C : BS=25 : 75)) の結果も併せて示す。Fig. 8より、CPを混入した際の結合材水比と圧縮強度の関係は、無混入時と同程度の割合で変化する可能性が示唆された。以上より、CO₂排出量抑制の観点から実適用のクリーンクリートNの調合は、W/Bを55%、CP混入量を250kg/m³とした。

4.2 RC外壁への打込み

4.2.1 打込み状況 2023年3月、市中の生コン工場の実機ミキサ (二軸強制練りミキサ、公称容量3.25m³) にてコンクリートを練り混ぜた。コンクリートの調合をTable 14に示す。CO₂排出量をTable 5より算定した結果、-17.3kg-CO₂/m³であり、カーボンネガティブを達成している。練混ぜ量は1バッチ2m³とし、合計7バッチ練り混ぜた。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の一例をTable 15およびPhoto 2に示す。全バッチのフレッ

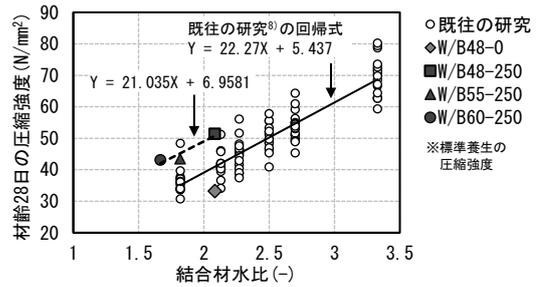


Fig. 8 結合材水比と圧縮強度の関係
Relationship between Binder-Water Ratio and Compressive Strength of Concrete

Table 14 コンクリートの調合
Mix Proportion of Concrete

W/B (%)	単位量(kg/m ³)								SP (B×%)
	W	B		CP	S1	S2	G1	G2	
		C	BS						
55.0	175	79	239	250	259	385	352	517	3.75

目標スランプフロー：50±7.5cm、目標空気量：4.5±1.5%
使用材料はTable 9と同じ。なお、CPの密度を2.55g/cm³、S1の表乾密度を2.56g/cm³に変更。

Table 15 フレッシュ性状
Properties of Fresh Concrete

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)	単位容積質量 (kg/m ³)
54.5	7.1	20.6	4.5	19	2282

1バッチ目の結果



Photo 2 スランプフロー
Slump Flow of Concrete

ッシュ性状を確認したところ、いずれも所要のフレッシュ性状が得られ、材料分離は確認されなかった。

RC外壁への打込みはコンクリートポンプにて行った (Photo 3)。打込みは、4層の回し打ちとし、層ごとに内部振動機を用いて締め固めた。目視上のコンクリートの粘性は比較的高かったが、閉塞などの問題も生じず、打込みできた。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。

4.2.2 仕上がり状況 せき板の解体は材齢7日とした。なお、材齢7日の現場封かん養生の供試体の圧縮強度は34.4N/mm²であった。また、材齢28日の標準養生の圧縮強度は54.9N/mm²であり、呼び強度を十分に満足した。なお、事前試験結果より圧縮強度が大きくなったのは、実



Photo 3 打込み状況
Status of Concrete Placement



Photo 4 RC外壁の外観
Exterior of the RC Wall

機ミキサによる練混ぜ性能の向上などが考えられる。また、RC外壁の外観をPhoto 4に示す。豆板やセパレータ周りの沈降ひび割れは確認されず、仕上がりも良好だった。

4.2.3 CO₂排出量 今回使用したクリーンクリートNのCO₂排出量は-17.3kg-CO₂/m³であり、呼び強度30の普通コンクリート(CO₂排出量:261.5kg-CO₂/m³)に比べて、CO₂排出量を約106%削減した。また、今回の出荷量14m³に対して、普通コンクリートからクリーンクリートNに変更した際のCO₂排出量の削減効果は、約3.8tであった。

5. まとめ

カーボンネガティブを実現できるクリーンクリートNを開発し、室内試験にて品質を確認した。また、コンクリート打放し仕上げの壁部材へ適用した。本報の範囲で得られた知見を以下に示す。

- 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を満足することができた。
- 2) 圧縮強度において、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、同一強度では、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) 中性化については、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。

- 4) コンクリートポンプを用いてクリーンクリートNを打込むことが可能であった。また、クリーンクリートNのCO₂排出量を算出した結果、同じ呼び強度の普通コンクリートに対して、約106%のCO₂排出量を削減でき、カーボンネガティブを達成した。カーボンニュートラル社会の実現に向け、カーボンネガティブを実現できるクリーンクリートNは非常に効果的である。今回の実績を基に、多くの現場への普及拡大を図りたい。

謝辞

本研究の実施にあたり、シーカ・ジャパン株式会社、生コン工場の関係者各位に多大なるご協力を頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) コンクリート工学編集委員会：カーボンニュートラルに貢献するコンクリート技術，コンクリート工学，Vol.59，No.9，pp.729，2021.9
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 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膏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) 久我龍一郎，河野克哉，野崎隆人，山田一夫：高炉スラグ微粉末と石灰石微粉末を添加したエコセメントモルタルの強度発現性ならびに乾燥収縮特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.55-60，2009
- 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