

低炭素型コンクリートによるサプライチェーン排出量の削減と実物件への適用に関する報告

吉野 玲^{*1}・石川伸介^{*1}・安部弘康^{*1}・鈴木好幸^{*2}

環境配慮の観点から、低炭素型コンクリートの開発が建設会社を中心に進められている。低炭素型コンクリートとは、セメントを高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の産業副産物で置換することでセメントの使用量を削減し、セメント由来のCO₂を削減したコンクリートである。本報告では、サプライチェーン排出量の観点から、低炭素型コンクリートを建築物に適用した場合にどのようなメリットが得られるかを考察した。また、低炭素型コンクリートの実物件への適用事例を基に、適用前に行った検討の内容、施工時のデータおよび得られたCO₂削減の効果を報告する。

キーワード：低炭素型コンクリート、サプライチェーン排出量、カーボンニュートラル、資源循環、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ

1. はじめに

地球温暖化による影響で、日本のみならず世界中で異常気象が発生している。我が国では、COP21のパリ協定において地球温暖化の原因となる二酸化炭素やメタン等の温室効果ガスの削減量を2030年までに2013年比で46%削減することを掲げている¹⁾。さらに、2050年カーボンニュートラルの達成を掲げており、様々な分野で低炭素・脱炭素に関する取り組みが進められている。

建設分野においては、コンクリートの主要な構成材料であるセメントが製造時の焼成段階で多くのエネルギーを必要とすることに加え、主原料である石灰石が脱炭酸するため、CO₂排出量が多大となることが問題視されている。セメントを1t製造した場合に排出されるCO₂は772kg-CO₂/t、年間では4000万tを超えることが報告されている²⁾。この数値は国内の産業部門において第4位の排出量となっており、このような背景から、セメント・コンクリート分野はCO₂排出量の削減に向けた有効な解決策を早急に打ち出す必要があることが伺える。近年、政府は地球温暖化対策計画において、ポルトランドセメントと比較して製造時のCO₂排出量が少ない混合セメントの利用を促進しており³⁾、日本建設業連合会では、パンフレットを作成し、低炭素型コンクリートの普及を呼び掛けている⁴⁾。また、2022年に改定された日本建築学会の建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事では、鉄筋コンクリート造構造物に要求される基本性能に新たに「環境性」が導入され、資源循環性、低炭素性および環境安全性に関する評価項目が設けられた。このような動向により、建築物に使用

されるコンクリートの低炭素化が今後さらに求められると考えられる。

低炭素型コンクリートとは、CO₂排出量の大きいポルトランドセメントを産業副産物で置換することで材料に起因するCO₂排出量を削減したコンクリートである。現在、CO₂を吸着・固定化したコンクリート等も開発が行われているが^{例えば5)}、本報では、産業副産物でセメントを置換して従来の普通コンクリートよりもCO₂排出量を低減し、JIS A 5308 (レディーミクストコンクリート)に適合、もしくは大臣認定を取得しており、構造体に適用可能な技術を「低炭素型コンクリート」とする。置換材料として用いられる主な産業副産物は、高炉を有する製鉄所で生成される高炉スラグ微粉末 (以下、BF)、石炭火力発電所で生成されるフライアッシュ (以下、FA) 等が挙げられる。これらのCO₂排出量原単位は、高炉スラグ微粉末が35.6kg-CO₂/t、フライアッシュが29.0kg-CO₂/tと報告されており⁶⁾、どちらもセメントと比較して1/20以下と極めて小さいことが分かる。

低炭素型コンクリートは大手建設会社を中心に2000年代から行われており、安藤ハザマにおいても継続的に開発に注力してきた。

本報告では、昨今注目が高まっているサプライチェーン排出量の観点から、低炭素型コンクリートの適用によってどのようなメリットが得られるかを考察する。また、実際の低炭素型コンクリートの適用事例を基に、調合決定のための事前検討や、施工時のデータおよび得られたCO₂の削減効果を報告する。

*1 構造・材料研究部 *2 脱炭素技術開発部

2. 低炭素型コンクリートの適用による効果

建設会社が供給する建築物は、顧客にとって企業経営を行う上で重要な資産となる。建設会社が建築物の低炭素化、特に低炭素型コンクリートの適用を推進することが環境保護の観点以外に、顧客をはじめとする様々なステークホルダーに対してどのような効果をもたらすかをサプライチェーン排出量の観点から考察する。

2.1 サプライチェーン排出量の算出の考え方

特定の製品やサービスに対して、CO₂ 排出量削減のための対策を行う場合、製品がどの段階でどれだけのCO₂ を排出しているかを事前を知ることが重要である。製品・サービスを対象として、原料調達・製造・物流・販売・廃棄までのCO₂ 排出量やその他の環境影響を定量評価する「LCA（ライフサイクルアセスメント）」の仕組みがあり、日本でも広く認知されている。また、定量化された環境情報について、第三者認証を受けてISOに基づくEPD（環境ラベル）を取得する事例も増加している⁷⁾。ラベルが付与された製品の環境情報は、インターネットを通じて消費者に分かりやすく公開される。消費者はその情報をグリーン購入法に基づく調達の根拠として活用できるとともに、生産者はより環境負荷の少ない製品を開発・製造・販売していくための動機付けとなる。

製品のLCAに加えて、今日では「サプライチェーン排出量」の考え方が急速に広がっている。サプライチェーンとは、事業活動の一連の流れ全体（原料調達、製造、物流、販売、廃棄）であり、そこから排出されるCO₂ 量がサプライチェーン排出量と呼ばれている。サプライチェーン排出量は、「組織のLCA」とも呼ばれ、事業者・企業が自らの活動を評価することで事業活動における具体的な削減策に取り組んでいくことができる。サプライチェーン排出量を算定することは、事業活動全体を管理することにも繋がるため、企業の環境経営指標や機関投資家の質問項目として使用される動きが見られる。サブ

ライチェーン排出量の算定や削減への取り組みを進めることは、環境保護の観点だけではなく、市場における競争力の強化、ESG（Environment, Social, Governance）やCSR（Corporate Social Responsibility）の貢献等、企業経営に多くのメリットをもたらすと考えられる。

サプライチェーン排出量を具体的に算定・報告する際の国際的な基準として、「GHG（Greenhouse Gas：温室効果ガス）プロトコル」が策定されている。GHGプロトコルの大きな特徴は、Scopeによる考え方である。Scopeとは、温室効果ガスが排出される範囲を示しており、Scope1, Scope2, Scope3の3つで構成される（図-1）⁸⁾。Scope1は自社での化石燃料の使用に伴う直接排出であり、例えば建設会社では、現場で使用される建機の燃料が当てはまる。Scope2は他社から供給される電気、熱、上記の使用に伴う間接排出である。Scope3は、原料調達、製造、物流、販売、廃棄等の事業活動に伴う排出であり、15のカテゴリと任意のその他に分類されている（表-1）。また、Scope3は上流と下流に区分されており、カテゴリ

表-1 Scope3のカテゴリ⁸⁾

No.	項目
1	購入した製品・サービス
2	資本財
3	Scope1,2に含まれない燃料およびエネルギー活動
4	輸送、配送(上流)
5	事業から出る廃棄物
6	出張
7	雇用者の通勤
8	リース資産(上流)
9	輸送、配送(下流)
10	販売した製品の加工
11	販売した製品の使用
12	販売した製品の廃棄
13	リース資産(下流)
14	フランチャイズ
15	投資
	その他(任意)



図-1 サプライチェーン排出量の考え方⁸⁾

1～8が上流，9～15が下流である。上流の定義は「原則として購入した製品やサービスに関する活動」，下流の定義は「原則として販売した製品やサービスに関する活動」である。

図-2は某自動車メーカーおよびその連結会社が2021年の事業活動において排出したCO₂量を，原料調達，製造，物流，販売，廃棄に分けて公表したデータである。Scope1,2に該当するCO₂排出量は他の影響割合が大きいため，極めて小さい比率であることが伺える。一方で，販売した製品の使用によるCO₂排出量は全体の7割を占めており，CO₂排出量削減のためには，自社の製造工場等からの排出量の削減よりも，自社製品の低炭素化（低燃費化，電気化等）が最も有効であることが分かる。次いで影響が大きい項目は，購入した製品の使用・サービス・資本財であり，これに関しては自社の削減努力のみではコントロールできない部分が多い。しかし，Scope3の削減取り組みを実行する上で無視できない要因となっていることは明らかである。そこで，この自動車メーカーでは，自社に関連する事業すべての一次サプライヤー（自社製品に必要な部品や資材，原料等を供給・納入する売り手）に対し，自社のガイドラインに基づいた取り組みを推進し，サプライチェーン全体としての環境負荷低減を実行すると掲げている。国内において，このような方針を掲げている企業はまだ少ないものの，大手企業や外資系企業が自分たちのサプライヤーに上記のような方針を浸透させることで，日本全体にサプライチェーン排出量の考え方が広まることが予想される。また，自社のサプライチェーン排出量のほとんどをScope3の影響割合が占めている業種は自動車メーカー以外にも多くあり，建設会社も同様であることが報告されている⁹⁾。

2.2 建設会社のサプライチェーン排出量に向けた取り組み

建設会社がサプライヤーとして，顧客からのScope3の削減の要望に対して行うべきことは，自社の活動に伴うCO₂排出量を算出することに加え，従来と比べてよりCO₂排出量の小さい建築物を供給することである。

鉄筋コンクリート造建築物に関して，運用時を除いた，資材調達，施工，修繕・改修，廃棄・リサイクルのライフサイクルフローに対してLCAを実施した報告によれば¹⁰⁾，資材調達におけるCO₂排出量が最も多く，さらに，資材調達の内訳から，コンクリートの調達によるCO₂排出量が全体の5割以上を占めていることが明らかとなっている。構造形式の違いによっては，鉄筋や鉄骨等の鋼材のCO₂排出量が大きくなる場合もあるが，鋼材の製品当たりのCO₂排出量が増える要因は，製鉄方法が高炉か電炉

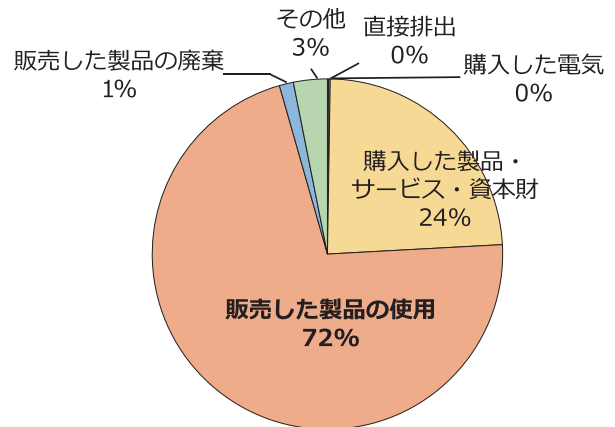


図-2 某自動車メーカーおよびその連結会社が事業活動で排出したCO₂排出量（2021年）^{※)}

^{※)} 某自動車メーカーの2023年サステナビリティレポートより作成

かの影響が大きい。このため，出来る限り電炉鋼を選択することで，鋼材のCO₂排出量を低減できると考えられる。

セメント製造においては，セメント協会が製造設備への省エネ設備の導入や廃棄物使用による化石エネルギーの削減等を推進していることから，製造に伴う使用エネルギーが年々減少し，セメントのCO₂原単位も減少しているものの¹¹⁾，依然として他の建材よりも高い水準であるといえる。セメントはコンクリートを構成するための主要な材料であり，構造物の強度・耐久性に関わるため，セメントの使用量をゼロにすることは現状現実的ではない。しかしながら，適用する部位・部材に求められる耐久性を確保できれば，セメントの使用量を低減させることが可能であり，さらにコンクリートは建築物への投入数量が大きいことから，多量のCO₂排出量の削減が期待できる。

建設会社にとって，CO₂排出量を低減した原料を調達して建築物を建設することは，Scope3の「カテゴリ1 購入した製品・サービス」から排出されるCO₂量の削減となり，自社のScope3の削減に寄与することとなる。また，安藤ハザマではScope3削減目標に対し，対象とするカテゴリおよび対象物を「カテゴリ1 生コンなどの主要資材，オフィス用品」および「カテゴリ11 販売した製品の使用」に限定しており¹²⁾，低炭素型コンクリートの適用がほぼ直接，自社の削減目標へ反映されることが期待される。

以上から，低炭素型コンクリートの適用は，環境保護の観点以外にも，建設会社のサプライチェーン排出量の削減，さらに企業価値の増加に効果的であると考えられる。

3. 低炭素型コンクリートのCO₂削減効果

本章では，安藤ハザマ東北支店新築工事（以下，本工

事)に適用した2種類の低炭素型コンクリートについて実施した事前検討の内容、施工時に行ったデータ採取の結果およびCO₂の削減効果を報告する。

3.1 物件概要

表-2に物件概要を示す。本工事では、カーボンニュートラル社会の実現への取り組みとして、様々な環境配慮技術を採用しており、事務所部分はNet-ZEB(100%以上エネルギー削減)、賃貸住宅部分はZEH-M Oriented(20%以上のエネルギー削減)の認証の取得を目指し、設備機器や空調方式の選定が行われている。また、環境配慮取り組みの一環として、低炭素型コンクリートを適用している。

本工事では表-3に示す2箇所へ、各部材に求められる性能を満たし、周辺地域のプラントで製造・出荷が可能な低炭素型コンクリートを検討した。

3.2 耐圧版に適用した低炭素型コンクリート

耐圧版には高炉セメントB種(以下、BB)を加熱改質フライアッシュ(以下、CfFA; Carbon-free Fly Ash)¹³⁾で20%置換することで組合わせた「BB+CfFAコンクリート」とした。CfFAとは、通常のFAを再燃焼することで未燃カーボンを1%以下に低減したコンクリート用混和材である。FAを燃焼する工程でCO₂が排出されることから、CfFAを1t製造した場合に排出されるCO₂量はFAと比べて増加するが、フレッシュ性状の安定化や長期耐久性の向上が期待される。また、宮城県石巻市に製造工場があるため、調達が容易で輸送費が安価に抑えられるというメリットがあり、採用に至った。しかしながら、当社ではBB+CfFAコンクリートを建築工事に適用した実績が無いため、使用するプラント2社で事前検討を行い、施工性の判定および調合を決定することとした。

3.2.1 BB+CfFAコンクリートの事前検討

主に以下の点について確認するため、プラント2社(プラントA、プラントB)において、実機による試験を行った。

- (1) フレッシュ性状の経時変化
打込み後120分までの施工性確認
- (2) 構造体強度補正值_{28S₉₁}
調合を決定する構造体強度補正值(以下、S値)の決定

3.2.3 実験概要

表-4にプラントA,Bの使用材料、表-5に調合例(プラントA)、表-6に試験項目を示す。使用材料は工場

表-2 物件概要

工事名称	安藤ハザマ東北支店ビル新築工事
住所	宮城県仙台市
構造	S造(一部CFT造)
階数	地上10階 地下1階
延床面積	約8,000m ²
建築物用途	事務所、賃貸住宅

表-3 コンクリートの概要

	Fc(N/mm ²)	打込み量(m ³)
耐圧版	36	1270
充填コンクリート	39	150

表-4 使用材料

プラントA	記号	種類	密度(g/cm ³)
セメント	BB	高炉セメントB種	3.05
混和材	CfFA	加熱改質フライアッシュ	2.08
細骨材	S	山砂(宮城県黒川産)	2.57
粗骨材	G	砕石(砂岩)(福島県相馬産)	2.70
水	W	地下水	1.00
化学混和剤	Ad	高性能AE減水剤	1.07
プラントB	記号	種類	密度(g/cm ³)
セメント	BB	高炉セメントB種	3.04
混和材	CfFA	加熱改質フライアッシュ	2.19
細骨材1	S1	砂(宮城県黒川産)	2.56
細骨材2	S2	砕砂(硬質砂岩)(福島県相馬産)	2.65
粗骨材	G	砕石(硬質砂岩)(福島県相馬産)	2.70
水	W	地下水	1.00
化学混和剤	Ad	高性能AE減水剤	1.07

表-5 調合例(プラントA)

記号	W/B(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)					Ad(Bx%)
			W	BB	CfFA	S	G	
W/B45	45	45.8	165	294	73	776	964	1.1
W/B40	40	44.4	165	330	83	732	964	1.5
W/B35	35	42.5	165	378	94	678	964	4.5

表-6 試験項目

状態	測定項目	試験方法
フレッシュコンクリート	スランブ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	単位容積質量	JIS A 1116
	塩化物含有量	JASS5 T-502
	コンクリート温度	JIS A 1156
硬化コンクリート(コア供試体)(円柱供試体)	圧縮強度試験	JIS A 1108
	ヤング係数試験	JIS A 1149

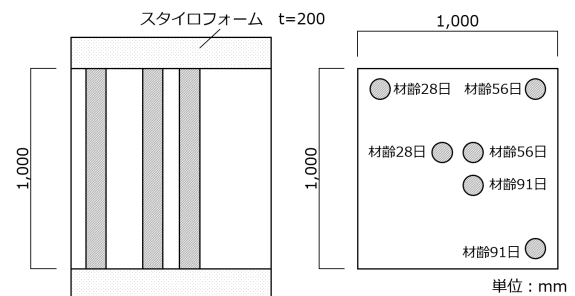


図-3 作成した模擬試験体

が通常使用しているもので、BBはプラントA,Bでそれぞれ異なるメーカーのものを使用していた。フレッシュコンクリート試験は、スランブ、空気量、コンクリート

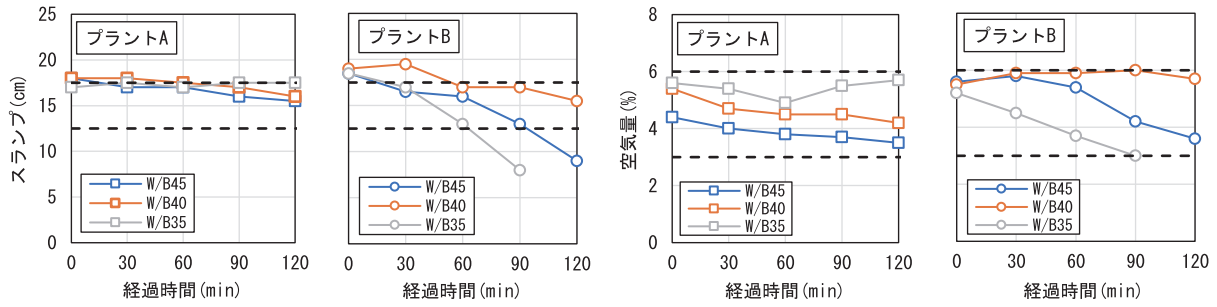


図-4 フレッシュ試験結果 (スランプ, 空気量)

表-7 圧縮強度試験結果 (プラント A)

プラント A	圧縮強度 (N/mm ²)								
	標準水中養生			模擬部材コア					
	W/B 45%	W/B 40%	W/B 35%	W/B 45%		W/B 40%		W/B 35%	
材齢 (日)				端部	中央部	端部	中央部	端部	中央部
7	22.4	24.4	28.2	-	-	-	-	-	-
28	35.2	38.7	42.3	31.4	30.8	34.5	33.8	42.5	41.2
56	40.8	45.8	49.7	36.5	36.3	39.6	39.1	51.5	46.8
91	44.8	48.5	53.4	39.2	41.5	43.8	41.6	52.3	50.1

表-8 圧縮強度試験結果 (プラント B)

プラント B	圧縮強度 (N/mm ²)								
	標準水中養生			模擬部材コア					
	W/B 45%	W/B 40%	W/B 35%	W/B 45%		W/B 40%		W/B 35%	
材齢 (日)				端部	中央部	端部	中央部	端部	中央部
7	19.3	22.7	33.9	-	-	-	-	-	-
28	31.9	36.7	51.9	30.9	32.0	38.7	34.6	46.8	46.5
56	38.3	43.0	59.9	37.0	36.9	43.2	39.1	53.1	51.1
91	41.9	46.5	63.3	34.0	39.8	43.9	42.5	55.7	52.0

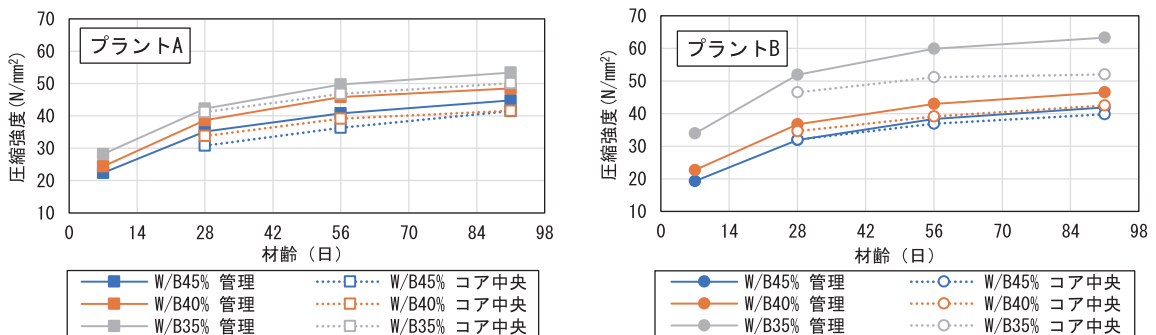


図-5 管理用供試体およびコア供試体 (中央部) の材齢経過に伴う圧縮強度試験結果

温度とし、経時 0, 30, 60, 90 および 120 分後に実施した。スランプおよび空気量は実際の運搬時間を想定し、経時 60 分で管理値を満足することを目標とし、スランプの管理値は 15 ± 2.5 cm, 空気量の管理値は 4.5 ± 1.5 %とした。試験時期は実際の打込みを想定し両プラントとも 4 月中に行った。圧縮強度試験は管理用供試体およびコア供試体にて実施した。管理用供試体は、標準養生 (材齢 28 日) とし、コア供試体は図-3 に示す模擬試験体より採取したコア (材齢 28, 56, 91 日) とした。各供試体および模擬試験体は経時 60 分で採取および打込み

を行った。模擬試験体は打込み後、上面をプラスチック鏝で均し、厚さ 200 mm の発泡スチロールで蓋をした。材齢 7 日に上下面以外の 4 面を脱型した。

3. 2. 4 実験結果および考察

(1) フレッシュ性状

図-4 にプラント A, B におけるフレッシュ試験結果を示す。両プラントのスランプ、空気量ともに経時 60 分で管理値を満足する結果であった。スランプは時間経過に伴い低下する傾向であり、プラント B において顕著

にその傾向が見られた。特に、プラントBでは経時60分を超えると大幅にスランプが低下しており、W/B35では管理値を外れたため経時90分以降は打ち切りとした。このような混合セメントを用いた場合のスランプ低下は、化学混和剤種類の違いによる影響が確認されている¹⁴⁾。プラントA,Bでは、使用する化学混和剤のメーカーが違ったため、各プラントで経時変化に違いが生じたと考えられる。しかしながら、あらかじめ運搬時間および運搬中のスランプロスを見込むことで荷下ろし時に必要なフレッシュコンクリートの性状を満足できると判断した。耐圧版打込み前には、試験施工として実際に現場まで運搬することで性状やポンプ圧送性を確認している。また、BBのメーカー違いによる差異等は確認されなかった。

(2) 構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$

管理用供試体、コア供試体の圧縮強度を表-7, 8に、管理用供試体およびコア供試体(中央部)の圧縮強度の比較を図-5に示す。いずれの供試体においても、材齢の経過に伴い強度が増進する傾向が見られた。プラントAにおける各水結合材比による圧縮強度の違いはプラントBほど顕著に表れていなかった。

圧縮強度試験の結果より、調査を決定するために必要なS値を求めた。S値は、材齢91日の管理用供試体圧縮強度から材齢28日のコア供試体(中央部)圧縮強度を差し引くことで求めた。今回の試験結果から得られたS値を表-9、図-6に示す。両プラントのすべての水準においてS値がマイナスとなっており、両プラントにおいて、建設省告示1102号およびJASS5で示されるS値の標準値 $3N/mm^2$ (標準期)を採用することとした。また、材齢91日におけるコア供試体(中央部)の圧縮強度は普通強度領域である設計基準強度 $18 \sim 36N/mm^2$ の範囲ですべて $3N/mm^2$ を満足していた。

3.2.5 耐圧版の打込み

耐圧版は地下構造物であることから、中性化抵抗性等の各種耐久性への要求は地上躯体と比較して高くはないものの、事前に各種試験を行うことで中性化抵抗性や乾燥収縮ひずみ、凍結融解抵抗性に関して問題が無いことを確認している。また、BB+CfFAコンクリートは、水和反応に伴う温度上昇量が普通セメントを使用する場合と比較して低く抑えられることを確認しており、マスコンクリート等の温度ひび割れが懸念される部位の適用に有効であると考えられる。

BB+CfFAコンクリートの打込みは2022年11~12月にかけて行われ、総打込み量は $1270m^3$ であった。

表-9 構造体強度補正值(S値)の検討

W/B (%)		45	40	35
B/W		2.22	2.50	2.86
プラントA 圧縮強度 (N/mm^2)	管理用供試体 (材齢28日)	35.2	38.7	42.3
	コア(中央部) (材齢91日)	40.4	42.7	51.2
	$_{28}S_{91}$	-5.2	-4.0	-8.9
プラントB 圧縮強度 (N/mm^2)	管理用供試体 (材齢28日)	31.9	36.7	51.9
	コア(中央部) (材齢91日)	36.9	43.2	53.9
	$_{28}S_{91}$	-5.0	-6.5	-2.0

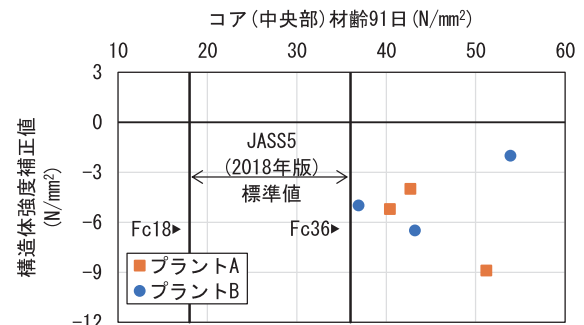


図-6 構造体強度補正值(S値)の検討



写真-1 圧送状況と計測状況

3.3 CFT柱の充填コンクリートに適用した低炭素型コンクリート

本工事で求められる充填コンクリートの設計基準強度は、 $39N/mm^2$ の高強度コンクリートであった。安藤ハザマでは2018年に、仙台市内の2箇所のプラントにおいて実験を重ね¹⁵⁾、プラントと共同で「BBFA高強度コンクリート」に関する大臣認定を取得している。このため、本工事の充填コンクリートにはBBFA高強度コンクリートを採用することとした。このコンクリートはBBの20%をFAで置換したコンクリートである。FAは微細な球状であることから流動性および充填性が向上し、特に高い流動性が求められる充填コンクリートと相性が良い。適用に当たり、本工事に出荷可能なプラント1社において事前にフレッシュコンクリートの性状を確認するため、実機による試験を行った。

本工事では、地上から高さ約16~21mまで一回でコ

表 - 10 事前試験項目

状態	測定項目	試験方法
フレッシュ コンクリート	スランプフロー	JIS A 1105
	空気量	JIS A 1128
	単位容積質量	JIS A 1116
	塩化物含有量	JASS5 T-502
	コンクリート温度	JIS A 1156
	ブリーディング量	JIS A 1123
硬化コンクリート	沈降量	レーザー距離計による測定 ⁽⁶⁾
	圧縮強度	JIS A 1132

表 - 11 調査と事前試験の結果

W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
		W	BB	FA	S1	S2	G	Ad
38.9	47.4	170	450	113	141	596	845	9.57
材齢 4 週圧縮強度 (N/mm ²)		65.7						
ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)		0.0						
沈降量 (mm)		0.9						

表 - 12 使用材料

	記号	種類	密度 (g/cm ³)
セメント	BB	高炉セメント B 種	3.04
混和材	FA	フライアッシュ II 種	2.27
細骨材 1	S1	山砂 (宮城県黒川産)	2.55
細骨材 2	S2	砕砂 (宮城県仙台産)	2.70
粗骨材	G	砕石 (宮城県仙台産)	2.70
水	W	地下水	1.00
化学混和剤	Ad	高性能 AE 減水剤	1.07

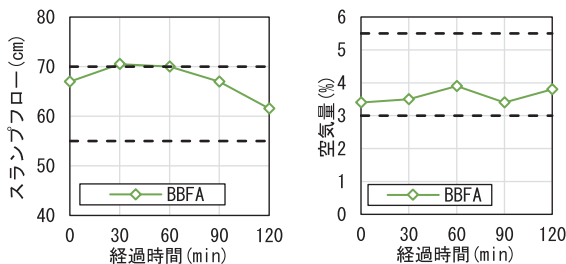


図 - 7 フレッシュ試験結果
(スランプフロー, 空気量)

ンクリートを充填する計画としている。CFT 造圧入施工の検討は、普通コンクリートを圧送する場合と同様の要領で進められ、ポンプ車や圧送配管等の計画・詳細が決められた。一方で、BBFA 高強度コンクリートの適用事例は少ないことから、本工事の施工記録を今後に活かすために圧入施工時の圧送負荷、充填性等を確認した。圧送負荷は、圧送配管の途中に圧力計を設置し、吐出量と圧力損失の関係を整理することで評価した (写真 - 1)。充填性は柱内部にカメラを落とし込み、コンクリートが鋼管内を上昇する様子を確認した。

3.3.1 コンクリートの性能・品質確認

表 - 10 に BBFA 高強度コンクリートに関して事前に行った試験項目を示す。主に、フレッシュコンクリート

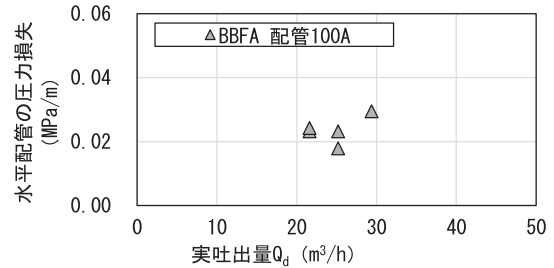


図 - 8 実吐出量と水平配管内圧力損失の関係

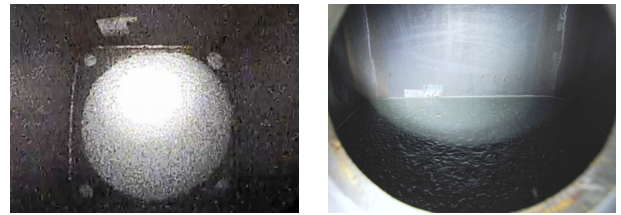


写真 - 2 充填状況の確認

表 - 13 普通コンクリートと BB+CfFA の調査比較例 (プラント B)

耐圧版 N	単位量 (kg/m ³)						
	W/C (%)	W	C	CfFA	S1	S2	G
40.9	165	403	-	340	339	1004	-
耐圧版 BB+CfFA	単位量 (kg/m ³)						
	W/B (%)	W	BB	CfFA	S1	S2	G
37.4	165	357	89	340	339	1004	4.46

表 - 14 普通コンクリートと BBFA 高強度コンクリートの調査比較

充填コン N	単位量 (kg/m ³)						
	W/C (%)	W	C	FA	S1	S2	G
35.3	170	482	-	471	333	894	7.71
充填コン BBFA	単位量 (kg/m ³)						
	W/B (%)	W	BB	FA	S1	S2	G
31.1	170	450	113	137	581	894	6.56

の性状の経時変化の確認を行った。また、充填コンクリートとしての性能を満足しているかを確認するため、ブリーディング量の測定および沈降量の測定を実施した。フレッシュコンクリート試験は、スランプ、空気量、コンクリート温度とし、経時 0, 30, 60, 90 および 120 分後に実施した。スランプおよび空気量は実際の運搬時間を想定し、経時 60 分で管理値を満足することを目標とした。スランプの管理値は 65-10、+5cm、空気量の管理値は 4.5-1.5、+1.0%とした。表 - 11 に調査および試験の結果を整理したものを、表 - 12 に使用材料を示す。また、図 - 7 にフレッシュ性状の経時変化を示す。スランプフロー、空気量どちらも経時 60 分で目標値を満足した。スランプフローに関しては BB+CfFA コンクリートと同様、時間の経過に伴って低下する様子が見られた。

ブリーディング量および沈降量については、充填コンクリートとしての性能に問題の無い結果であった。

3.3.2 施工時の評価

BBFA 高強度コンクリートの充填は2023年6～7月にかけて行われ、総圧入量は約150m³であった。図-8に今回の実施工で得られた実吐出量と水平配管内圧力損失の関係を示す。今回のデータ取得により、BBFA 高強度コンクリートの圧力損失の実測値を計測することができ、今後、BBFA 高強度コンクリートの圧送を行う場合のポンプ車種や配管径の選定等の施工検討への活用が期待できる。

充填性の評価として、柱内に落とし込んだカメラ映像から、ダイアフラムを通過する際の四隅の空気抜き孔から均等にコンクリートが通過していることを確認した(写真-2左)。さらに、材料分離を生じていないことが頂部のカメラ落とし込み孔から確認でき、鋼管内部を均一に所定の品質を保って充填できたと言える(写真-2右)。

3.4 CO₂削減量の評価

今回適用したBB+CfFAおよびBBFA高強度コンクリートの各調合と、それぞれと同一呼び強度の普通コンクリートの調合(耐圧版Nおよび充填コンN)を、表-13、14に示す。また、普通ポルトランドセメントおよび今回使用した産業廃棄物のCO₂排出量の原単位を表-15に示す。CfFAに関しては、メーカーヒアリングにより原単位を設定した。

表-13～15に基づき計算した1m³当たりのCO₂排出量を図-9に示す。BB+CfFAはプラント2社を使用したため、各プラントの計算値を平均して示す。本工事への2種類の低炭素型コンクリートの適用により得られたCO₂削減率と、総CO₂削減量を表-16に示す。CO₂削減量は1m³あたりのCO₂削減量に耐圧版、充填コンクリートの総打込み量を乗じることで計算した。耐圧版では38%、充填コンクリートでは46%以上のCO₂削減率となり、合計で約176t-CO₂の削減効果となった。

4. まとめ

本報告では、世界的に関心が高まっているサプライチェーン排出量の削減に対し、建築物への低炭素型コンクリートの適用によって期待できる効果を整理した。また、実際に物件への低炭素型コンクリートを適用した事例を基に、調合決定のための事前検討の内容や、施工時のデータ、CO₂の削減効果を整理した。

顧客の資産となる建築物の低炭素化は今後一層、要求

表-15 計算に使用したCO₂原単位

結合材種類	CO ₂ 原単位(kg-CO ₂ /t)
普通ポルトランドセメント	772
加熱改質フライアッシュ	350
高炉セメントB種	437
フライアッシュ	29

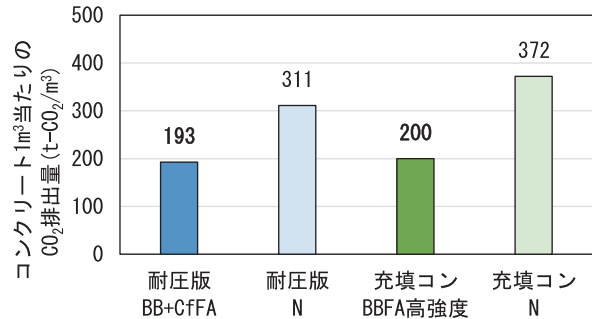


図-9 コンクリート 1m³当たりのCO₂排出量の試算

表-16 CO₂削減効果

	CO ₂ 削減率 (%)	CO ₂ 削減量 (t-CO ₂)
耐圧版 BB+CfFA	38.1	150.5
充填コンクリート BBFA高強度コンクリート	46.3	25.8

項目として挙げられることが予想できる。低炭素型コンクリートは、今回報告した調合強度の検討以外にも、コストや製造プラントとの調整等、適用時のハードルは高い。しかしながら、適用時には大きなCO₂削減効果が期待でき、環境保護のみならず企業経営にもたらすメリットは大きいと考えられる。今後も業界を挙げて低炭素型コンクリートの利用に向けた理解を高める活動も必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 環境省；パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略，
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/chokisenryaku.html>
(2023.09 入手)
- 2) 一般社団法人セメント協会；カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン，
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/220324_01.pdf
(2023.09 入手)
- 3) 環境省；地球温暖化対策計画，
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/211022.html>
(2023.09 入手)
- 4) 一般社団法人日本建設連合会；低炭素型コンクリートの普及促進に向けて，
<https://www.nikkenren.com/publication/detail.html?ci=237>
(2023.09 入手)

- 5) 鹿島建設 ; NEDO グリーンイノベーション基金事業「CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」にコンソーシアムとして提案し採択,
<https://www.kajima.co.jp/news/press/202201/28c1-j.htm>
(2023.10 入手)
- 6) 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, 2017
- 7) 吉野 玲ほか ; 低炭素型プレキャストコンクリート製品の環境影響評価に関する研究, 安藤ハザマ研究年報, Vol.10, 2022
- 8) 環境省・経済産業省 ; グリーン・バリュープラットフォーム,
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/estimate.html
(2023.09 入手)
- 9) 高浜 慎太郎 ; 各業種におけるサプライチェーン排出量の傾向, LCA 学会誌, Vol. 11, No. 2, pp. 129-135, April, 2015
- 10) 鈴木 好幸ほか ; カーボンフットプリントを活用した低炭素型コンクリート適用による CO₂ 削減効果の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), pp. 699-700, August, 2017
- 11) 一般社団法人セメント協会 ; 環境に優しいセメント産業,
https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jj3h_01.pdf
(2023.09 入手)
- 12) 安藤ハザマ ; 脱炭素・循環型社会の実現,
<https://www.ad-hzm.co.jp/sustainability/decarbonization/>
(2023.09 入手)
- 13) NETIS 新技術提供システム, 技術名称 : コンクリート混和材 (CfFA : 改質フライアッシュ), 登録 No. QS-100005-VE
- 14) 村井 克綺ほか ; 各種使用率で高炉スラグ微粉末を混和材として用いた環境配慮型コンクリートの諸性状, 日本建築学会技術報告集, Vol. 28, No. 69, 550-555, 2022. 6
- 15) 鈴木 好幸ほか ; 高炉セメント B 種にフライアッシュを混合した低炭素型高強度コンクリートに関する研究, 安藤ハザマ研究年報, Vol.1.6, 2018
- 16) 一般社団法人新都市ハウジング協会 ; コンクリートの充填鋼管 (CFT) 造技術基準・同解説の運用及び計算例等, 2017. 12

Report on reducing supply chain emissions through the application of low-carbon concrete and its application to actual project

Rei YOSHINO, Shinsuke ISHIKAWA, Hiroyasu ABE and Yoshiyuki SUZUKI

From the viewpoint of environmental consideration, development of low-carbon concrete is being promoted by construction companies. Low-carbon concrete is concrete in which cement is replaced by industrial by-products such as blast furnace slag fine powder or fly ash, thereby reducing the amount of cement used and reducing cement-derived CO₂. In this report, we discuss the benefits of applying low-carbon concrete to buildings from the perspective of supply chain emissions. The report also describes the studies conducted prior to the application of low-carbon concrete and the benefits of CO₂ reduction obtained, based on a case study of the application of low-carbon concrete to an actual project.