

冬季における低炭素型のコンクリートの施工事例

宮澤 友基^{*1}・太田 健司^{*1}・白根 勇二^{*1}・舟橋 政司^{*1}・梶田 秀幸^{*1}・今井 嵩弓^{*1}

Example of Construction Using The Low Carbon Concrete in Winter

Yuki MIYAZAWA, Kenji OHTA, Yuji SHIRANE, Masashi FUNAHASHI, Hideyuki KAJITA, Takayumi IMAI

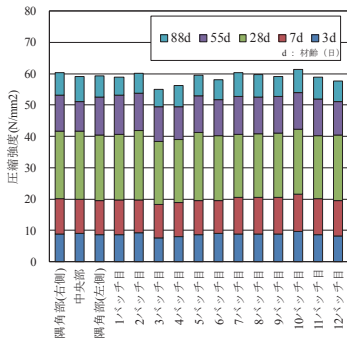


図-1 混合セメントの品質のばらつき確認における圧縮強度試験結果

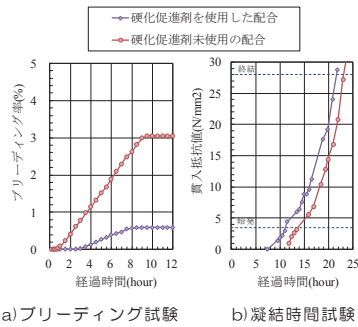


図-2 実施工時におけるフレッシュコンクリートのブリーディングおよび凝結試験結果



写真-1 低炭素型のコンクリートのスランプ試験



写真-2 仕上げ完了および養生状況

研究の目的

混和材をセメントの代替として多量に使用し、二酸化炭素排出量を抑制した低炭素型のコンクリートを当社新技術研究所「ICI ラボ」の土間コンクリートの一部に適用した。課題として、一般的な製造設備のプラントで通常のコンクリートと同様に製造および出荷ができること、冬季施工における仕上げ時期の短縮や凝結遅れによる品質の低下の懸念が挙げられる。課題への対応として、製造方法においては設備の増設等はせずに混合セメントをプレミックス化し、冬季施工においては施工性の改善および品質低下防止のため硬化促進剤を使用した。本報では、実施工におけるこれらの課題に対して検討した対応事例について報告する。

技術の説明

複数の結合材で構成される低炭素型の混合セメントは、プレミックス製造過程における各材料の計量誤差や混合の際に生じる攪拌状況により品質のばらつきが懸念される。そこで、バッチ式の混合機により製造した混合セメントの品質について、モルタル試験体を用いてフレッシュ性状および硬化物性から品質の安定性を確認した。低炭素型のコンクリートの施工性および品質、硬化促進剤の効果および影響を確認するために、本施工時の荷卸し時および圧送後の筒先のコンクリートから試料を採取して、簡易断熱試験、ブリーディング試験、凝結試験、圧縮強度試験を実施した。

主な結論

- ・ 3 成分系の低炭素型のコンクリートの結合材を、バッチ式の混合機でプレミックスセメントとして製造し、その品質安定性を評価した結果、バッチ間の変動や製造時の混合箇所における品質のばらつきは小さく、安定した品質を確保できることを確認した。
- ・ 低温下における硬化促進剤による施工性の改善効果を評価した結果、ブリーディング量が大幅に減少し、凝結時間の短縮に効果があり、仕上げ作業の時間を早めることができ、施工性の改善に有効であることを確認した。
- ・ 3 成分系のプレミックスセメントの適用することで通常のコンクリートと同様にレディーミクストコンクリート工場から 68m³ の低炭素型のコンクリートの製造および出荷を行うとともに、硬化促進剤の適用により冬季における実施工を実現することができた。

*1 本店 技術研究所

冬季における低炭素型のコンクリートの施工事例

宮 澤 友 基^{*1} 太 田 健 司^{*1}
 白 根 勇 二^{*1} 舟 橋 政 司^{*1}
 梶 田 秀 幸^{*1} 今 井 嵩 弓^{*1}

要 旨

当社技術研究所「ICIラボ」の新設工事において、混和材をセメントの代替として多量に使用し、二酸化炭素排出量を抑制した低炭素型のコンクリートを実験施設の土間スラブの一部に適用した。

実施工にあたり、施工数量から20m³/時間を確保すること、また、低温下の凝結遅延による仕上げ作業の延長対策が課題として挙げられた。本コンクリートに使用する粉体材料は複数種類あるため、製造量の確保にあたっては手投入による手間をできる限り省くことを目的に、各合材を予め混合してプレミックスセメントとして使用することを検討した。プレミックスセメントの均一性は、これを用いたモルタルによってフレッシュ性状や硬化特性などで評価し、試験の結果、ばらつきが小さいことを確認した。また、仕上げ作業の遅れに対する対策として硬化促進剤を使用し、実施工の結果、凝結時間が短縮し、仕上げ時期を早める効果があることを確認した。

キーワード 低炭素／二酸化炭素排出削減／プレミックスセメント／冬季施工／硬化促進剤

目 次

- | | |
|---------------------|-------------------|
| 1. はじめに | 4. 硬化促進剤による冬季施工対策 |
| 2. 全体概要 | 5. まとめ |
| 3. プレミックスセメントの品質安定性 | |

EXAMPLE OF CONSTRUCTION USING THE LOW CARBON CONCRETE IN WINTER

Yuki MIYAZAWA	Kenji OHTA
Yuji SHIRANE	Masashi FUNAHASHI
Hideyuki KAJITA	Takayumi IMAI

Synopsis:

The low carbon concrete (LC concrete) was developed that has reduced carbon dioxide emissions by using a large amount of admixture mineral as a substitute of cement. The LC concrete was applied to the slab in new construction of Technical Research Institute which was named "ICI Lab".

As a matter of actual construction, it was necessary to secure the production volume of concrete 20 m³/h, and to extend the finishing work due to setting retardation of concrete at low temperature. In order to eliminate the labor involved by manual input as much as possible and to secure the production volume, consideration was given to mixing each binder beforehand and use it as premix cement. It was evaluated by the fresh properties, quality after curing and so on by mortar using the cement. As a result of the test, it was confirmed that the standard deviation of the quality was small. A curing accelerator was used as a measure against delay in finishing work. A curing accelerator was used to take measures the delay in the finishing work. As a result of actual construction, it was confirmed that the setting time was shortened and the finishing time was accelerated.

* 1 本店 技術研究所

1. はじめに

2016 年 5 月に「地球温暖化対策計画」¹⁾が閣議決定し、近年、地球温暖化防止対策として各産業で温室効果ガスの排出量を削減するための動きが高まっている。コンクリートに使用されるセメントは、その製造過程で発生する二酸化炭素排出量が非常に多く、コンクリート 1m³あたり約 270kg に達する²⁾。この対策として、セメントの大部分を産業副産物である高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の混和材で置き換え、コンクリートの材料由来の二酸化炭素排出量を削減した低炭素型のコンクリートの開発が積極的に進められている³⁾。

著者らはこれまでに、多成分の結合材で構成される低炭素型のコンクリートに関する硬化物性、耐久性、発熱特性、施工性などの検討を行ってきた⁴⁾。

今回、実構造物の土間コンクリートの一部に著者らが開発した低炭素型のコンクリートを適用することとした。本施工は、施工量が 68m³ あり、市中のレディーミクストコンクリート工場から製造および出荷し、冬季の 2 月末に施工する計画であった。そのため、一般的な製造設備のプラントにおいて、通常のコンクリートと同様の製造量を確保すること、凝結や仕上げ開始時期の遅れに対する対策が課題として挙げられた。そこで、製造においては設備を増設する等の改良は行わずに、複数の結合材をプレミックスセメントとして使用する方法を選択した。また、冬季施工への対策として、初期硬化を促進する混和剤を使用した。

本報では、実施工におけるこれらの課題に対して検討した対応事例について報告する。

2. 全体概要

2.1 適用対象箇所の概要

低炭素型のコンクリートの適用箇所は、茨城県取手市に建設中の当社技術研究所「ICI ラボ」の総合実験棟の土間スラブである。ICI ラボの鳥瞰図を図-1 に示す。コンクリートの仕様は、配合設計基準強度 24N/mm²、スランプ 18±2.5cm、空気量 4.5±1.5%、粗骨材の最大寸法 20mm とし、結合材は早強ポルトランドセメント、高炉スラグ微



図-1 適用現場の ICI ラボの鳥瞰図

粉末およびフライアッシュを用いた 3 成分系とした。また、施工時期は 2 月末の冬季で、打込み数量は約 68m³ であった。

2.2 実施工における検討課題

(1) 課題の抽出

低炭素型のコンクリートは、環境負荷の低減に加えて、長期強度の増進、塩化物イオンへの浸透抵抗性、アルカリシリカ反応抑制、温度ひび割れの抑制に効果が期待できる。

一方、使用する結合材の種類が複数となるため、一般的なレディーミクストコンクリート工場では製造設備の制約を受ける。そのため、製造方法によっては製造能力が低下することが懸念され、現場の施工に影響を与えないように製造量を確保することが課題として挙げられた。

また、一般のコンクリートに比べて凝結や初期強度の発現が遅れる傾向にあるが、特に冬季の低温下では顕著となる。実際の施工においては、仕上げ時期の遅延がコンクリートの品質や作業性に影響を与えるため、できる限り凝結の遅延を抑えることが課題として挙げられた。

(2) 製造上の課題に対する対応

低炭素型のコンクリートの製造方法として、以下の対応が考えられた。

- ①通常使用しない結合材を手投入する
- ②各結合材を別々のセメントサイロに貯蔵する
- ③各結合材をプレミックスセメントとして使用する

①を選択した場合には、1 バッチの製造で 25kg 程度に袋詰めされた結合材を数 10 袋直接手投入することになり、1 時間あたりの製造量が大幅に制限される。そのため、1 度の施工数量が数 m³ 程度であればこの方法を選択することもあり得るが、施工数量が多い場合には適切な方法とは言い難い。

②は、複数のセメントサイロを占有する必要性が生じるとともに、サイロ内の材料の入替作業を伴い、保有する製造設備によって出荷できる工場が限定される。サイロの増設などの対策も考えられるが、設置場所の確保や製造制御システムの変更などが必要になる。また、結合材の単位量が少なくなる場合には、計量設備の所定の精度が得られなくなることも想定され、現実的な対応は難しいと考えられる。

一方、③の各結合材をあらかじめ混合してプレミックスセメントとして使用した場合には、事前の混合作業や一種類分のセメントサイロの専有が必要となるが、製造設備の制約を最小限に留め、一般のコンクリートと同様の計量精度や製造量を得ることができる。

したがって、本施工への適用にあたっては、プレミックスセメントを使用することとした。しかしながら、適用にあたってはプレミックスセメントの製造上の品質安

定性が確認されなければ、練り混ぜられたコンクリートの品質にばらつきが生じたり、所要の要求性能を満足することができない可能性がある。そこで、混合装置の任意の箇所や各バッチから採取したプレミックスセメントを用いてモルタル試験体を作製し、フレッシュ性状および硬化物性を確認して、プレミックスセメントの品質安定性を評価することにした。

(3) 冬季施工に対する対応

冬季の低温下における凝結の遅れや仕上げ時期の遅延に対する対策として、ジェットヒーターによる採暖養生の他に、コンクリートに C-S-H 系早強剤（以下、硬化促進剤）を使用することとした。この硬化促進剤は、カルシウムシリケート水和物（C-S-H）のナノ粒子を主成分とする液状のコンクリート用早強剤で、C-S-H ナノ粒子が種結晶として作用してセメントの水和反応を促進することが知られている。

3. プレミックスセメントの品質安定性

3.1 試験概要

プレミックスセメントの品質安定性を評価するため、混合装置の任意の箇所および各バッチから採取したプレミックスセメントを用いてモルタル試験体を作製し、フレッシュ性状および硬化物性のばらつきを確認した。

プレミックスセメントに用いた結合材は、早強ポルトランドセメント（H）、高炉スラグ微粉末（BFS）およびフライアッシュ（FA）の3種類とし、それぞれの質量割合を H25%、BFS45%、FA30%とした。これらの混合は、バッチ式の強制練りミキサ（容量 3.25m³）を用い、1バッチあたり 3.8t とし、全部で 12バッチ分（約 45t）を製造した。

試験に用いるプレミックスセメントは、バッチ毎にミキサ内の中央部付近と、混合精度が低くなると考えられる隅角部（採取場所は上面から向かって右隅および左隅）から採取し、混合状態とバッチ間のばらつきの評価に用いた。写真-1 は、採取したプレミックスセメントを示す。混合状態の評価においては、1バッチ目のミキサ中央部と隅角部から採取したサンプルを用い、バッチ間のばらつきの評価においては、同様にミキサ中央部と隅角部から採取したサンプルを混合して用いた。



写真-1 製造したプレミックスセメント

混合状態とバッチ間のばらつきの評価は、表-1 に示すモルタル配合とした。使用材料は表-2 に示すとおりである。試験項目を表-3 に示す。フレッシュ性状はフロー、空気量、凝結時間について、硬化物性は圧縮強度について試験を実施した。圧縮強度用の供試体は、材齢3日まで室温 20℃の恒温室内で封かん養生を行い、脱型後、所定の試験材齢まで 20℃水中で養生を行った。試験頻度は各バッチについて実施したが、凝結試験については、試験装置の都合により全ての試料で試験を実施できないため、1バッチ目の隅角部（左右）および中心部のサンプル、1、4、7、10、12バッチ目の任意箇所の混合サンプルについて実施した。

表-1 品質安定性評価に用いたモルタルの配合

W/C (%)	C:S	単位量(kg/m ³)		
		W	C	S
50	1:3	248	496	1487

表-2 使用材料

記号	材料種別	仕様
C	セメント	3成分系プレミックスセメント (質量比 H:BFS:FA=25:45:30) 密度2.75g/cm ³
W	水	上水道水
S	標準砂	セメント強さ試験用標準砂 絶乾密度2.60g/cm ³

H：早強ポルトランドセメント（密度3.14g/cm³）

BFS：高炉スラグ微粉末（密度2.89g/cm³）

FA：フライアッシュ（密度2.24g/cm³）

表-3 品質安定性評価の試験項目

試験項目		備考
フレッシュ性状	フロー試験	JSCE-F 505に準拠 0打フローおよび15打フローにて計測
	空気量	空気室圧力方法による
	モルタル温度	JSCE-F 505に準拠
	凝結時間	JIS A 1147に準拠
硬化物性	圧縮強度	JSCE-G 505に準拠 材齢3日で脱型後、 3d, 7d, 28d, 55d, 88dで試験

d：材齢(日)

3.2 試験結果

各試験結果を表-4、図-2～図-4 に示す。また、モルタルフローおよび圧縮強度の標準偏差、平均値および変動係数を表-5 に示す。

表-4、表-5 および図-2 より、モルタルフローは 0 打で 114～120mm（平均値 116mm）、15 打で 220～231mm（平

表-4 モルタルによる品質安定性評価試験結果の一覧

評価目的	サンプル採取箇所	フロー値(mm)		空気量(%)	M.T.* (°C)	凝結時間(h)		圧縮強度(N/mm ²)				
		0打	15打			始発	終結	3d	7d	28d	55d	88d
混合状態の評価	隅角部(右側)	115	228	3.1	19.3	7.2	10.2	8.9	20.1	41.7	53.1	60.2
	中央部	120	228	2.8	19.4	6.9	10.3	9.1	20.0	41.6	51.1	59.2
	隅角部(左側)	116	225	3.1	19.6	6.6	10.1	8.6	19.6	40.5	52.5	59.2
バッチ間のばらつき評価	1バッチ目	118	234	2.6	19.3	7.0	10.2	8.6	19.7	40.6	53.2	58.9
	2バッチ目	115	220	2.1	18.9			9.3	19.7	41.8	53.7	60.1
	3バッチ目	114	222	1.9	18.7			7.6	18.2	38.5	49.5	54.9
	4バッチ目	118	230	2.4	19.2	6.6	10.5	8.1	18.9	39.1	49.4	56.2
	5バッチ目	116	231	2.2	19.5			8.5	19.6	41.2	52.9	59.5
	6バッチ目	116	228	1.9	19.2			9.1	19.5	40.3	51.8	58.0
	7バッチ目	116	226	2.1	19.4	6.8	10.1	8.8	20.6	40.5	52.7	60.3
	8バッチ目	116	223	2.7	19.5			8.9	20.6	40.9	52.4	59.7
	9バッチ目	115	226	2.4	19.7			8.9	20.5	41.1	52.7	59.1
	10バッチ目	118	231	2.4	19.7	6.4	9.5	9.6	21.6	42.2	53.9	61.4
	11バッチ目	118	228	1.9	19.0			8.6	20.2	40.3	51.8	58.8
	12バッチ目	117	230	2.2	19.5	6.4	10.0	8.1	19.5	40.4	51.1	57.6

*M.T.:モルタル温度

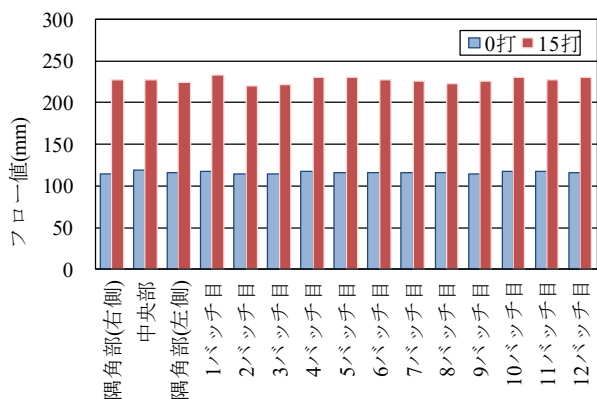


図-2 モルタルのフロー試験結果

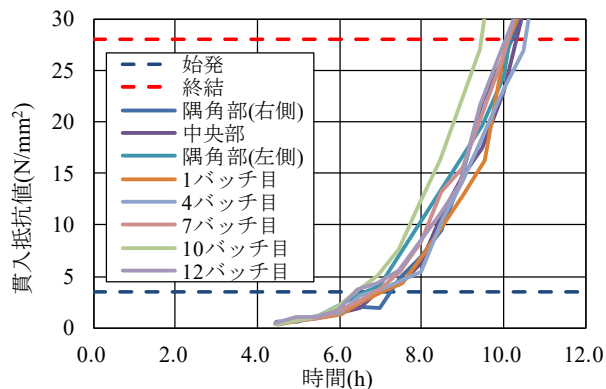


図-3 モルタルの凝結時間試験結果

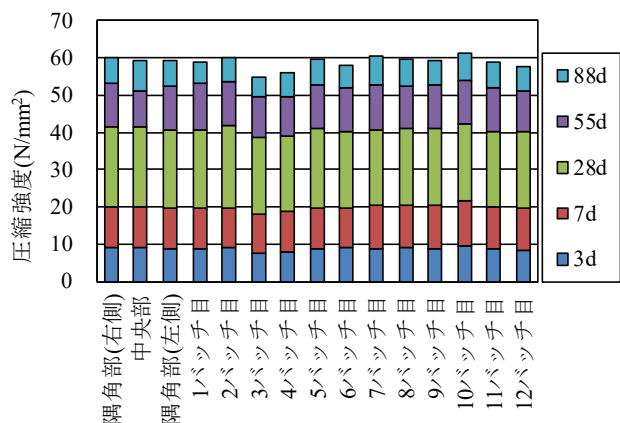


図-4 モルタルの圧縮強度試験結果

表-5 フロー試験, 圧縮強度試験の標準偏差および変動係数

結果項目	フロー値(mm)		圧縮強度(N/mm ²)				
	0打	15打	3d	7d	28d	55d	88d
平均	1.58	3.92	8.72	19.9	40.7	52.1	58.9
標準偏差	116	227	0.50	0.80	1.00	1.35	1.66
変動係数(%)	1.36	1.72	5.78	4.01	2.45	2.60	2.81

d: 材齢 (日)

均値 227mm) であった。変動係数は0打フローで1.36%, 15打フローで1.72%となり, フレッシュ性状のばらつきが小さいことがわかる。また, 表-4 および図-3 より, 凝結時間の始発は6.4~7.2時間(平均6.8時間), 終結時間9.5~10.5時間(平均10.1時間)となり, 品質のばらつきは小さい。さらに, 表-4, 表-5 および図-4 より, 圧縮強度の変動係数は材齢3日と7日においてやや大きくなった。これはセメント量が少なく, 初期の強度発現自体が小さいためと考えられ, 材齢の進行とともに変動係数は小さくなり, 材齢28日で2.45%, 材齢55日で2.60%, 材

齢88日で2.81%となり, ばらつきが小さくなった。

以上より, 今回の条件で製造したプレミックスセメントの混合状態は良好で, バッチ間の品質の変動も小さいことが確認され, このプレミックスセメントを実施工に用いることが可能と判断した。

4. 硬化促進剤による冬季施工対策

4.1 実施工の概要

(1) 配合および使用材料

表-7 コンクリートの配合

配合名	配合条件				単位量 (kg/m³)								
	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/B*1 (%)	s/a*2 (%)	W	結合材B		S1	S2	G	Ad1 B×%	Ad2 B×%	XS B×%
						C	HE						
HBFB	18	4.5	40	45	165	403	10	524	224	958	1.4	適量	-
HBFB-XS	±2.5	±1.5											2.0

*1：水結合材比，*2：細骨材率

表-6 コンクリートの使用材料

記号	材料	仕様
W	水	地下水
B*	C セメント	3成分系プレミックスセメント (質量比 H:BFS:FA=25:45:30) 密度2.75g/cm ³
	HE 膨張材	石灰系膨張材（低添加型），密度3.16g/cm ³
S1	細骨材	茨城県潮来市産 陸砂，表乾密度2.58g/cm ³
S2		茨城県佐野市産 砕砂，表乾密度2.67g/cm ³
G	粗骨材	茨城県佐野市産 石灰砕石2005， 表乾密度2.73g/cm ³
Ad1	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体
Ad2	AE剤	高アルキルカルボン酸系陰イオン界面活性剤と非イオン界面活性剤の複合体
XS	硬化促進剤	C-S-H系早強剤

*B：結合材

冬季の低温下における凝結の遅れや仕上がり時期の遅延に対する対策として、C-S-H系の硬化促進剤を使用することとした。前述（2.1）の低炭素型のコンクリートの施工数量 68m³のうち、硬化促進剤を使用しないコンクリート（HBFB）は 8m³、使用したコンクリート（HBFB-XS）は 60m³とした。HBFB および HBFB-XS に用いた使用材料を表-6に、配合を表-7に示す。HBFB と HBFB-XS の結合材は、「3. プレミックスセメントの品質安定性」で検討したプレミックスセメントと同様であり、早強ポルトランドセメント（H），高炉スラグ微粉末（BFS）およびフライアッシュ（FA）の質量割合を H:BFS:FA=25:45:30 で混合したものである。また、自己収縮の低減を目的に、膨張材（HE）を結合材の内割として 10kg/m³ 使用した。HBFB-XS に用いた硬化促進剤（XS）は、練混ぜ水の一部として使用し、結合材質量に対して 2%とした。

コンクリートの製造は JIS 認証工場で行い、容量 3.1m³の強制二軸ミキサを使用して1バッチあたりの練混ぜ量を 2.0m³とした。2 バッチ分のコンクリートをアジテータ車に積載して出荷した。結合材をプレミックスセメントすることで、1 台分のコンクリートの製造に要した時間は 5 分程度で、通常のコンクリートとほぼ同様の出荷が可能となった。なお、コンクリートの運搬時間は約 15 分であった。

(2) 施工方法

写真-2 に打込み箇所を示す。コンクリートの打込みは、ブーム式のポンプ車を用いて、一般的なコンクリート同様の締固め作業を実施した。図-5 に打込み後 2 週間の外気温の変化を示す。打込み後の養生温度を確保するため、



写真-2 コンクリート打込み箇所

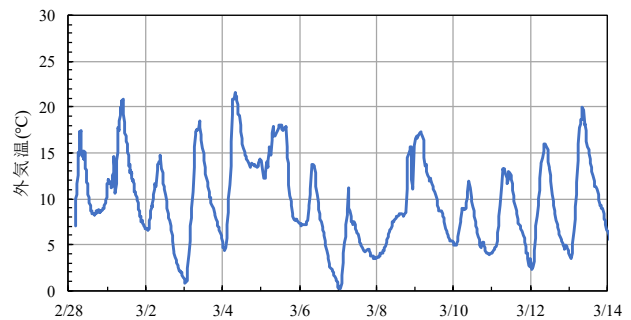


図-5 打設後 2 週間の外気温の変化

表-8 試験項目の一覧

試験項目		試験方法
フレッシュ性状	スランプ試験	JIS A 1101に準拠
	空気量試験	JIS A 1128に準拠
	コンクリート温度	JIS A 1156に準拠
ブリーディング試験		JIS A 1123に準拠
凝結時間試験		JIS A 1147に準拠
簡易断熱試験		図-6を参照
圧縮強度試験		JIS A 1108に準拠
表層品質評価		トレント法 ^{6),7)}

打込み箇所をブルーシートで覆い、ジェットヒーターによる採暖養生を実施した。

(3) 品質評価項目

表-8 に、実施工における低炭素型のコンクリートの品質評価の項目を示す。

フレッシュ性状は、練上がり時、コンクリート荷卸し時（約 30 分後）およびポンプ圧送後（約 60 分後）に、スランプ試験、空気量試験およびコンクリート温度の測定を行った。

硬化促進剤による改善効果を確認するため、凝結時間試験、ブリーディング試験および簡易断熱試験を実施し

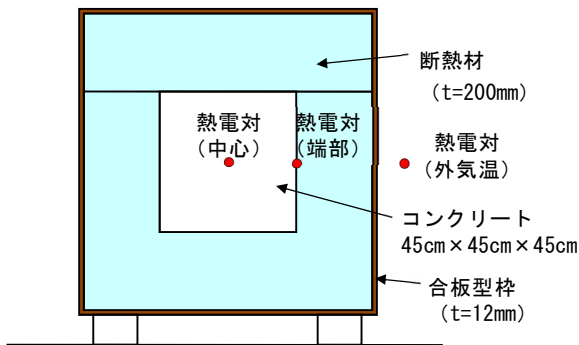


図-6 簡易断熱試験の概要

た。簡易断熱試験は、図-6 に示す断熱材（厚さ 200mm）と型枠で覆った 450mm×450mm×450mm のマスブロック内に、熱電対を埋設して打込み直後から温度を測定した。断熱温度上昇特性の推定は、既往の研究⁵⁾を参考にブロック中心温度と外気温の差による熱損失分（放熱温度）を算出して、中心温度に放熱温度を随時加算する方法を適用した。なお、いずれの試験も実環境下での硬化促進剤の効果を検証することを目的としたため、試験時の気温は図-5 のとおりである。

圧縮強度試験の試料は現場荷卸し時および筒先で採取し、材齢 3 日まで施工場所において封緘養生とし、材齢 3 日に脱型して現場気中養生または標準水中養生を施した。

コンクリート表層の品質は、現場荷卸し時に採取したコンクリートで作製し、約 150 日間屋外で暴露した試験体を用いて、トレント法による透気試験^{6),7)}によって評価した。

4.2 硬化促進剤の使用による施工性の評価および硬化後の特性

(1) フレッシュ性状

表-9 に、フレッシュ性状試験の結果の一例を示す。HBF および HBF-XS とも、練上がり時から圧送後までの約 60 分間にスランプと空気量に大きな変化は認められなかった。また、写真-3 にスランプ試験時の状況を示す。低炭素型のコンクリートは一般のコンクリートに比べて水結合材比が小さい傾向にあるが、コンクリートの粘性は適度で、良好な流動性と材料分離抵抗性を有している。

(2) ブリーディングおよび凝結特性

図-7 にブリーディング試験の結果を示す。低炭素型のコンクリートは、水結合材比が小さいためブリーディング率が小さくなる傾向にあるが、試験時の外気温が低かったため HBF のブリーディング終了時間は約 9 時間と時間を要し、ブリーディング率は約 3%に達した。一方、HBF-XS のブリーディングの終了時間は HBF よりも約 1.5 時間早くなり、ブリーディング率も 0.6%に大幅に減少した。

図-8 に凝結時間試験の結果を示す。低炭素型のコンクリートは一般のコンクリートに比べて凝結が遅くなる傾

表-9 フレッシュ性状試験結果の一例

配合名	試料採取状況	フレッシュ性状		
		スランプ (cm)	空気量 (%)	C.T.* (°C)
HBF	練上り	20.5	5.7	11.0
	荷卸し	20.5	4.9	12.0
	筒先	20.5	5.0	12.0
HBF-XS	練上り	19.0	3.0	13.0
	荷卸し	19.5	3.0	14.0
	筒先	19.5	3.3	15.0

*C.T.: コンクリート温度



a) HBF (荷卸し時)



b) HBF (筒先)



c) HBF-XS (荷卸し時)



d) HBF-XS (筒先)

写真-3 荷卸しおよび筒先のスランプ試験状況

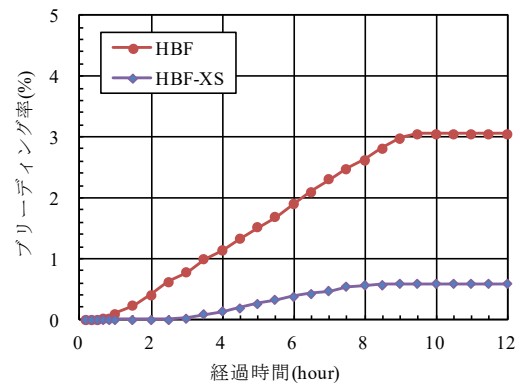


図-7 ブリーディング試験結果

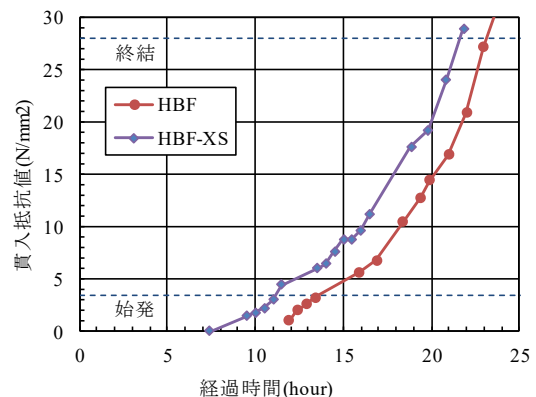


図-8 凝結時間試験結果

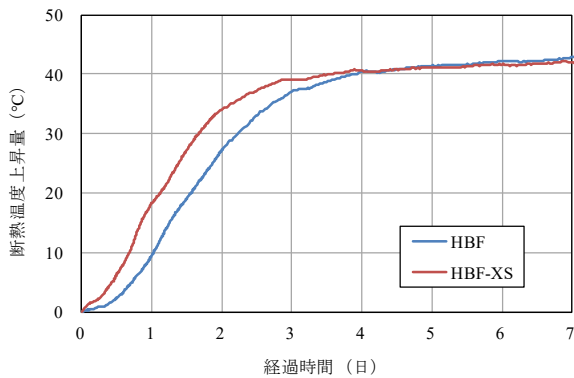


図-9 断熱温度上昇特性の推定曲線

表-10 断熱温度上昇特性の近似

近似式	$Q(t)=Q_{\infty}[1-\exp\{-r(t_0, Q)\}]$		
	Q_{∞}	r	$t_{0,Q}$
HBF	43.1	0.708	0.604
HBF-XS	42.1	0.915	0.344

Q_{∞} : 終局断熱温度上昇量

r : 断熱温度上昇速度に関する係数

向にあり、HBX の凝結の始発は約 14 時間、終結は 23 時間であった。これに対して、HBF-XS の凝結の始発および終結時間は、HBF よりも約 2～3 時間短縮した。

ブリーディングおよび凝結時間の試験結果から、硬化促進剤の使用によって低炭素型のコンクリートの仕上げ時間を早めることが可能となり、施工性の改善に有効であることを確認した。

(3) 断熱温度上昇特性

図-9および表-10に、簡易断熱試験の結果から推定した断熱温度上昇特性を示す。HBF と HBF-XS の終局断熱温度上昇量はほぼ同等であったが、硬化促進剤を使用した HBF-XS は発熱開始時間が早まり、温度上昇量における上昇速度も速くなった。このことから、硬化促進剤が水和反応の促進に有効に作用していることが確認できた。

(4) 強度特性

表-11 に圧縮強度試験の結果を示す。材齢 3 日の初期強度において HBF は荷卸しで 7.0N/mm² と筒先で 6.8N/mm² で、HBF-XS は荷卸しおよび筒先ともに 8.5N/mm² となり、硬化促進剤によって若材齢の圧縮強度は約 20%増加した。材齢 91 日まで HBF-XS の圧縮強度が現場気中養生、標準水中養生ともに HBF より高い状態で推移しており、長期強度の増加を阻害せず、硬化促進剤が有効であることを確認した。

(5) コンクリート表層の品質

図-10 に、透気試験の結果を示す。透気係数は、文献 7) に示されている評価基準の「一般 (0.1～1.0×10⁻¹⁶m²)」の範囲であったが、硬化促進剤を使用した HBF-XS の透気係数は、HBF よりも小さい傾向にある。硬化促進剤の影響が長期の性状に影響を及ぼすことも懸念されたが、長

表-11 圧縮強度試験結果

材齢	3日	6日	28日	91日	28日	91日
養生条件	現場封かん	現場気中養生 (材齢3日から)			標準水中養生 (材齢3日から)	
HBF (荷卸し)	7.0	16.2	33.6	45.9	37.9	52.4
HBF (筒先)	6.8	15.9	31.9	43.8	37.2	50.2
HBF-XS (荷卸し)	8.5	19.4	37.9	49.7	40.2	54.9
HBF-XS (筒先)	8.5	19.5	37.6	50.0	40.9	54.1

(単位: N/mm²)

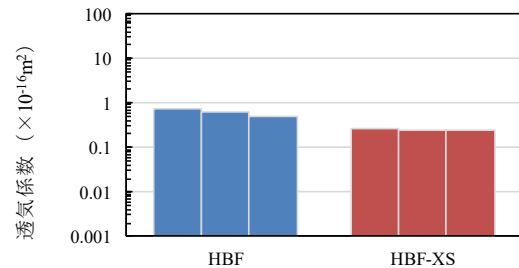


図-10 トレント法による透気試験結果



写真-4 コンクリートの施工状況



写真-5 コンクリートの仕上げ状況

期にわたり良好な品質を示した。

(6) 施工状況

写真-4 に施工状況、写真-5 に仕上げ状況、写真-6 に仕上げ完了状況を示す。圧送はピストン式のコンクリートポンプ車によって実施したが、HBF および HBF-XS ともに圧送圧力の上昇や配管の脈動などは発生せず通常の施工と同様に問題なく圧送できた。締固めには高周波パイ



写真-6 コンクリートの仕上げ完了状況

ブレータを使用した問題なく締固めができ、打込み箇所十分に充填が可能であった。また、通常のコンクリートと比べると凝結時間の遅延により仕上げの時間が延びることが懸念されていたが、今回の検討における硬化促進剤の使用によって仕上げ完了時間を約2時間早めることができることを確認した。なお、施工後のコンクリートの表面状態は、目視確認でひび割れの発生などはなく良好な状態であった。

5. まとめ

低炭素型のコンクリートを冬季に施工するにあたり、製造および施工の検討を実施した。以下に、本検討から得られた結果を記す。

- (1) 3成分系の低炭素型のコンクリートの結合材を、バッチ式の混合機でプレミックスセメントとして製造し、その品質安定性を評価した結果、バッチ間の変動や製造時の混合箇所における品質のばらつきは小さく、安定した品質を確保できることを確認した。
- (2) 低温下における硬化促進剤による施工性の改善効果を評価した結果、ブリーディング量が大幅に減少し、凝結時間の短縮に効果があり、仕上げ作業の時間を早めることができ、施工性の改善に有効であることを確認した。
- (3) 3成分系のプレミックスセメントの適用することで通常のコンクリートと同様にレディーミクストコンクリート工場から68m³の低炭素型のコンクリートの製造および出荷を行うとともに、硬化促進剤

の適用により冬季における実施工を実現することができた。

謝辞：本研究は、つくばコンクリートサービス(株)、BASF ジャパン(株)、ポゾリスソリューションズ(株)に多大なご協力を頂き実施致しました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：地球温暖化対策計画，2016.5
(<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/honbun.pdf>)
- 2) 一般社団法人日本建設業連合会：低炭素型コンクリートの普及促進に向けて，2016.4
(<https://www.nikkenren.com/publication/detail.html?ci=237>)
- 3) 国立研究開発法人土木研究所ほか：低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（Ⅰ）－低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計・施工ガイドライン（案）－土木研究所共同研究報告書第471号，2016.1
- 4) 国立研究開発法人土木研究所，大成建設株式会社，前田建設工業株式会社：低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（Ⅳ）－多成分からなる結合材を用いた低炭素型のコンクリートの設計・施工マニュアル（案）－，土木研究所共同研究報告書第474号，2016.1
- 5) 吉武勇，中村秀明，谷本俊夫，浜田純夫：現場利用可能なマスコンクリートの簡易断熱温度上昇測定法の提案，土木学会論文集，No.606，V-41，pp.103-110，1998.11
- 6) R.J.Torrent and G.Frenzer: A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of concrete, Proceedings of International Symposium Non-destructive Testing in Civil Engineering, pp.985-992, 1995
- 7) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 97，構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会 第二期成果報告書およびシンポジウム講演概要集，2012.7