

凝結時間調整材を用いたコンクリート床の仕上げ工法の開発

—アドバンスドコンクリートフィニッシュ工法(ACF工法)による働き方改革—

浦野 真次 黒田 泰弘 依田 侑也 高橋 圭一 清村 俊介
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

Development of Finishing Work Method Using Additive for Setting Time Adjustment

—Advanced Concrete Finish Construction method—

Shinji Urano, Yasuhiro Kuroda, Yuya Yoda, Keiichi Takahashi and Shunsuke Kiyomura

本報では、アドバンスドコンクリートフィニッシュ工法(ACF工法)の確立のため、冬期のコンクリートの凝結を促進する凝結時間調整材を用いたコンクリートの基礎的性状を把握したうえで、試験施工を行い、施工時の凝結および作業時間の短縮効果について検討した。その結果、フレッシュ性状を確保したうえで、ブリーディングを低減させ、10°Cの環境下で凝結を促進することを確認した。また現場における試験施工によって、凝結時間調整材の添加率を2.5~4kg/m³の範囲とすることで、概ね3~5時間程度の作業時間短縮効果を得ることができ、施工時間の短縮に貢献することを明らかにした。

During the cold season, long time is required until the finishing work is completed, owing to the setting delay in low-temperature environments. Thus, finishing work may be carried out late at night. This study evaluated the fundamental physical properties and durability of concrete with an additive that reduces the setting time and improves the efficiency of the work by shortening the time required for surface finishing, and also improves the concrete quality. Consequently, the effects of shortening the setting time and reducing bleeding were investigated by mixing a predetermined amount of additive into concrete and comparing them with the case of concrete without additive.

1. はじめに

コンクリート工事の生産性向上のため、プレキャスト(PCa)化の推進、機械式鉄筋定着工法や機械式鉄筋継ぎ手、流動性を高めたコンクリートの採用、ICTの活用などが積極的に推進されている。レディーミクストコンクリートを現場で施工する場合においても、生産性向上を目的として、コンクリートの品質を確保した上で省力化や機械化が進められている。しかし、これまで通りの材料や施工管理の体制を前提として進めていても、大幅に生産性向上を図ることは難しい。これは、コンクリートの現場での施工性や作業時間は、外気温や生コン工場の使用材料に影響を受けやすく、コンクリートが硬化するタイミングが季節で異なるなどの状況があるためである。現状では、夏期と冬期ではコンクリートの流動性の低下や硬化のタイミングが大きく異なり、夏期では流動性低下や凝結が早いために作業人員を多くして短時間で作業を行う必要があり、冬期では流動性低下や凝結

が遅く仕上げなどの次作業ができるまで待機する必要がある。これらのことから、生産性は向上しない要因となっていると考えられる。コンクリートの品質についても、施工者が制御・コントロールすることを容易に行うことができず、打込み、仕上げ、養生などの各作業における品質確保は技術力に依存する場合も多い。

今後、現場での生産性向上および働き方改革を推し進め、コンクリート工事の機械化・自動化を目指すためには、品質確保と施工の合理化を一体として進め、従来の方にとらわれずに革新的な方法を導入する必要がある。そのためにはまず、施工をコンクリートの性状に依存したものとするのではなく、温度などの環境が変化しても現場内で施工者が品質をコントロールできる方法を採用して、コンクリート工事の生産性向上と品質確保を同時に達成しなければならない。これにより生コンプラントの材料や外気温などの外的環境に左右されることなく高品質なコンクリートを確保すると同時に、コンクリート工事そのものの生産性

を飛躍的に向上させ、現場打ちであっても残業のない施工を実現することができる。

アドバンストコンクリートフィニッシュ工法(ACF工法)は、コンクリートの床・土間・スラブ工事に着目し、その生産性向上を図るものである。床・土間・スラブの冬期のコンクリート工事では、気温低下による凝結時間の大幅な遅延が生じ、仕上げ作業がある場合には残業～深夜作業になる場合も多い。打込み作業の終了時間が遅くなるほど、夕～夜間の気温低下により、凝結が遅延するだけでなく、ブリーディングが継続する場合があって品質の低下をもたらす。対策のため、現状は耐寒促進剤・早強剤を使用する場合があるが、ほとんど生コン工場で添加するタイプ(液状で単位水量の一部として計量)であり、現場でコントロールするものではない。外気温や施工条件によって作業時間が左右されずに、標準期と同様な施工性と作業時間とすることができれば、品質の良い床・土間・スラブ工事の仕上げ方法を確立することができる。上記の課題を解決するための工法であるACF工法は、冬期のコンクリートの凝結を促進可能な凝結時間調整材を適用した工法である。本報では、ACF工法用混和材を用いたコンクリートの基礎的性状に関する検討^{1)~3)}および試験施工を行い、実施工時の凝結時間短縮効果の確認を行った結果^{4),5)}について報告するものである。

2. 凝結時間調整材を用いたコンクリートの基礎的性状

2.1 実験概要

2.1.1 使用材料および配合

本研究の使用材料を表-1に示す。凝結時間を調整するための混和材(以降、ACFと称する)はサルフォ系塩を主成分とする粉末で、主な化学成分は Al_2O_3 : 28~30%、 SO_3 : 68~70%であり、流動性を確保するための界面活性剤を予め添加したものをを用いた。セメントは、普通ポルトランドセメント(N)、

表-1 使用材料

材料名	記号	仕様
セメント	C	N 普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm ³
		BB 高炉セメント B 種, 密度 3.04g/cm ³
		M 中庸熱ポルトランドセメント, 密度 3.21g/cm ³
細骨材	S	千葉県君津市産山砂, 表乾密度 2.62g/cm ³ , 吸水率 1.62%, 粗粒率 2.45
粗骨材	G	栃木県鹿沼産砕石 2010 : 1505 50:50, 表乾密度 2.64g/cm ³ , 吸水率 0.90%, 実積率 62.0%
水	W	上水道水
減水剤	AD	AE 減水剤高機能タイプ, 高性能 AE 減水剤

高炉セメント B 種(BB)、中庸熱ポルトランドセメント(M)の3種類とした。ACFを混和する前のベースコンクリートの配合を表-2に示す。水セメント比は55%または40%とした。これらの配合に対して、後添加するACFの添加量は、0~4kg/m³の中で調整した。ACFを添加した配合名は、例えば添加量を4kg/m³としたとき、N55ACF4と表記する。

2.1.2 練混ぜ方法

環境温度は10℃および20℃とした。強制二軸ミキサに骨材、セメントを投入し、空練りを10秒行った後、水を入れて30秒練り混ぜ、掻き落としを行い、さらに30秒練り混ぜた。ベースコンクリートはその時点で排出した。一方、ACFを添加するコンクリートに関しては、現場でのアジテータ車への投入を想定し、ベース練混ぜ後、ACFを後添加し、30秒練り混ぜ、コンクリートを排出した。各バッチのコンクリート練り量は40リットルとした。

表-2 コンクリートの配合

配合名	Gmax (mm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	AD
N55PL	20	55	4.5	45.6	165	(N)300	829	998	Cx0.6%
BB55PL	20	55	4.5	45.6	165	(BB)300	833	986	Cx0.6%
N40PL	20	40	4.5	45.0	180	(N)450	732	920	Cx1.0%
M40PL	20	40	4.5	45.0	180	(M)450	735	927	Cx1.0%

2.1.3 試験項目

以下に、本試験で実施した試験項目の詳細について示す。凝結試験は、プロクターによる貫入抵抗値を測定した。いずれの硬化体物性の試験項目においても、各環境温度にて材齢1日まで養生し、その後、脱型し、次の各種試験に供した。脱型後の養生条件を、表-3に示す。

- ・スランプ測定：JIS A 1101 に準拠
- ・空気量測定：JIS A 1123 に準拠
- ・コンクリート温度測定：JIS A1156 に準拠
- ・凝結試験：JIS A 1147 に準拠
- ・ブリーディング試験：JIS A 1123 に準拠
- ・圧縮強度試験：JIS A 1108 に準拠
- ・長さ変化試験：JIS A 1129-2 附属書 A に準拠
- ・水中凍結融解試験：JIS A 1148 に準拠
- ・スケーリング試験：ASTM C 672 に準拠
- ・透水量試験：JSCE-K 571 に準拠

上記の JIS A 1148 に準拠した水中凍結融解試験では、10×10×40cm の供試体を各配合 3 本ずつ作製し、300 サイクルまで 30 サイクル毎に質量減少率と相対動弾性係数を測定した。また、ASTM C 672 に準じたスケーリング試験では、φ10×8cm の供試体を作製し、気中乾燥過程で、図-1 および写真-1 に示すように供試体の打込み面周りに内径 10cm の塩化ビニル管とシリコンシーラントで土手を作製した。打込み面から高さ 6mm まで、試験液として 4% の CaCl₂ 水溶液で満たした。1 日 1 サイクルとなるように、-18℃で 16 時間、+23℃で 6 時間、冷却・昇温過程 1 時間となる凍結融解工程とし、25 サイクル実施した。5 サイクル毎に目視による表面の観察に加えて、スケーリングしたコンクリートを採取し、40℃で 3 時間以上乾燥させ計量した。

透水量試験は、写真-2 に示すように表面含浸材の試験方法(案)(JSCE-K 571)で示されている透水量試験に準拠し、口径 75mm の漏斗をコンクリート打設面に設置して水頭高さを 250mm として透水量を測定した。

2.2 実験結果

2.2.1 フレッシュ性状

各環境温度において ACF 添加量を 0 および 4kg/m³ としたコンクリートのフレッシュ性状を表-4に示す。環境温度 10℃においては、セメントの種類に関わらず、練上り温度、空気量およびスランプのいずれにおいても ACF の添加の有無によらず同等であった。一方で、環境温度 20℃においては、練上り温度、空気量は同程度であったが、ACF を混

表-3 脱型後の養生条件

試験項目	養生条件
圧縮強度	測定材齢(7,28日)まで 20℃水中養生
長さ変化試験	材齢 7 日まで 20℃水中養生後、20℃/60RH%恒温室にて気中養生
水中凍結融解試験	材齢 28 日まで水中養生後、試験開始
スケーリング試験	材齢 28 日まで水中養生後、20℃/60RH%で 14 日間気中養生

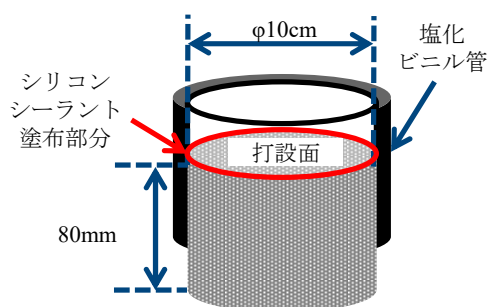


図-1 スケーリング供試体の模式図



写真-1 スケーリング供試体の状況

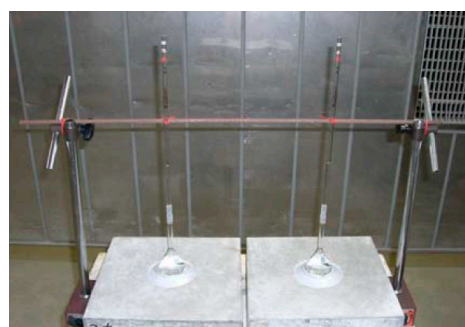


写真-2 透水量試験状況

和したコンクリートのスランプが 3.5cm ほど大きくなった。これは ACF 中の流動性を制御する成分により、流動性増進効果が発揮されたためと推察される。

2.2.2 ブリーディング性状

各環境温度において ACF 添加量を 0 および 4kg/m³ としたコンクリートのブリーディング試験

表-4 コンクリートのフレッシュ性状

実験ケース	練上り温度	空気量	スランプ
	(°C)		
N55PL(20°C)	22.0	5.7	12.0
N55ACF4 (20°C)	22.2	5.4	15.5
N55PL(10°C)	13.8	5.7	17.0
N55ACF4(10°C)	13.8	5.8	18.0
BB55PL(10°C)	10.3	4.5	17.5
BB55ACF4(10°C)	10.2	3.7	20.0
N40PL(10°C)	12.0	3.4	20.0
N40ACF4(10°C)	13.0	3.8	20.5
M40PL(10°C)	11.0	5.2	21.5
M40ACF4(10°C)	12.0	3.8	20.5

の結果の一例を図-2 に示す。図には、コンクリートの練上り時を起点とし、経過時間に伴うブリーディング水の累積量を示した。10°Cで練り混ぜたACF 無混和のコンクリート(N55PL)のブリーディング率は6.6%でブリーディングが終了するまで330分程度を要した。20°Cで練り混ぜたN55PLのブリーディング率は5.0%で、ブリーディングが終了するまで240分程度を要した。一方で、ACFを添加したコンクリート(N55ACF4)のブリーディング率はいずれの環境温度においても、混和材無混和より著しく小さく、10°Cの場合で0.18%、20°Cで練り混ぜた場合で0.10%であった。ブリーディングが終了するまでいずれも60~90分程度であり、ブリーディングの低減効果について確認できた。他のセメント種類の配合についても、同様にブリーディングの低減効果を確認している。

2.2.3 凝結時間

N55 配合について、図-3 に各環境温度においてACF添加量を0および4kg/m³としたコンクリートの凝結性状を示す。環境温度20°Cにおいては、ACF無混和のコンクリート(N55PL)は420分程度で始発に到達したのに対して、ACFを添加したコンクリート(N55ACF4)は300分程度と120分程度短縮された。また、環境温度10°Cにおいては、N55PLは660分程度で始発に到達したのに対してN55ACF4では480分程度と、180分程度凝結が短縮された。

次に、40M 配合の凝結試験の結果を図-4 に示す。ACF無混和のコンクリート(M55PL)は750分程度で始発に到達したのに対して、ACFを添加したコンクリート(M55ACF4)は300分程度と450分程度短縮された。ACFの添加による凝結始発時間の短縮効

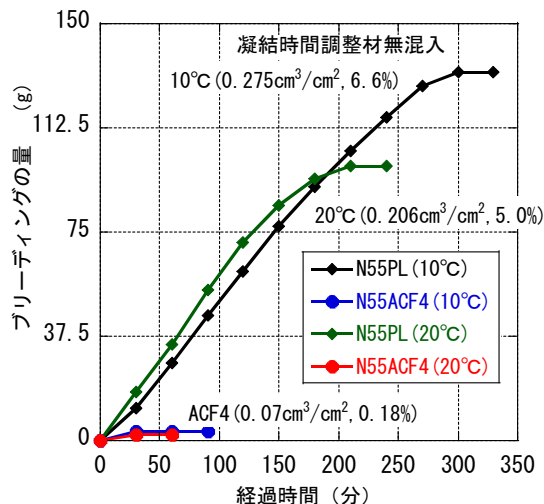


図-2 ブリーディング試験結果の一例

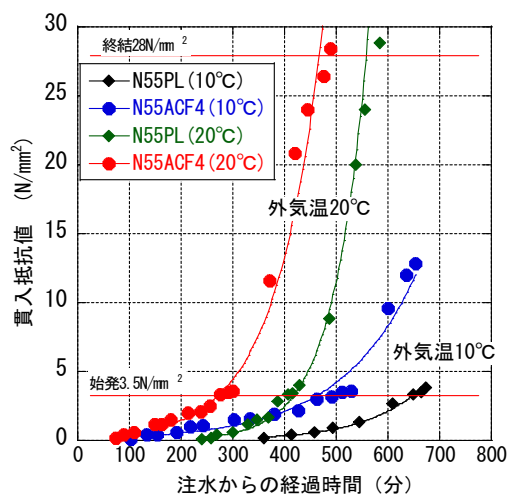


図-3 N55における凝結試験結果

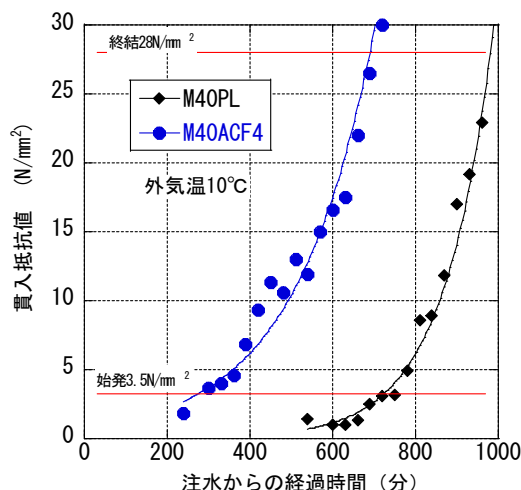


図-4 M40における凝結試験結果

果は、始発の時間において10°C環境下で7時間程度であることが確認され、特に低温環境下においては、セメント自体の凝結が遅い中庸熱セメントとの組合せにおいてより高い凝結促進効果を示した。

2.2.4 圧縮強度

図-5に、N40およびM40の配合におけるコンクリートの圧縮強度を示す。20℃環境下においては、N40配合およびM40配合のいずれにおいてもACFの添加による圧縮強度への影響はほとんど認められず、概ね無混和の場合と同等であった。また、10℃環境下においては、ACFの添加により若干強度が増加する傾向が認められ、特に中庸熟セメントMの場合において顕著となる傾向を示した。

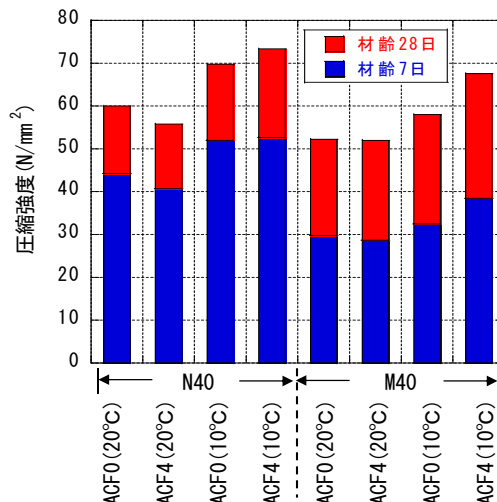


図-5 圧縮強度試験結果の一例

2.2.5 長さ変化

N55 配合における各環境温度で作製した供試体の長さ変化の測定結果を図-6に示す。いずれの環境温度においても、PLよりACF4の方がわずかに大きい傾向を示し、材齢140日時点で、ACF4(20℃)はPL(20℃)より40μ程度、ACF4(10℃)はPL(10℃)より80μ程度大きくなった。これはACFの添加によりブリーディングが減少した影響も考えられるが、今後詳細に検討する予定である。

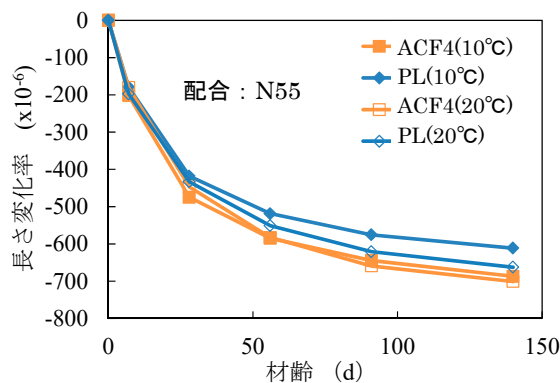


図-6 N55の長さ変化試験結果

2.2.6 凍結融解抵抗性

図-7にN55配合における各環境温度で作製した供試体の300サイクルまでの相対動弾性係数を示す。いずれの環境温度においても、PLとACF4は同等であり、高い凍結融解抵抗性を得られた。水セメント比55%の配合において、適切な空気量の導入を行っていたことから高い凍結融解抵抗性を得られたと考えられ、ACFの添加による凍結融解抵抗性への影響はないことが確認された。一般的にはブリーディング量の抑制により、凍結融解抵抗性は高くなるとされているが、そのブリーディング量の差による影響は認められず、PLとACF4が同等の高い凍結融解抵抗性が得られる結果となった。

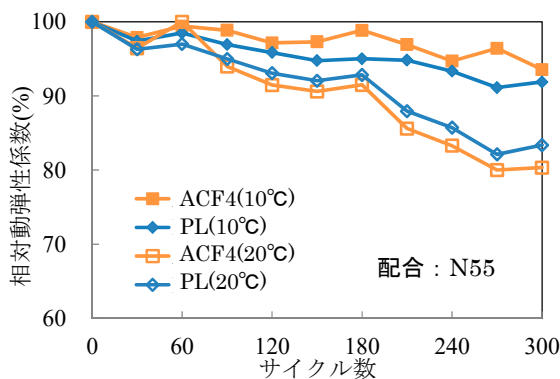


図-7 N55の凍結融解試験結果

2.2.7 スケーリング抵抗性

N55 配合における各環境温度で作製した供試体の0サイクルからの総スケーリング量変化の結果を図-8に示す。PL(20℃)、PL(10℃)の25サイクル終了時点における総スケーリング量はともに、1.3kg/m²程度であり、総スケーリング量は5サイクルまでに急激に増加し、それ以降緩やかに増加する傾向であった。また、PL(20℃)、PL(10℃)の表面(打込み面)の観察結果では、どちらも10サイクルで打込み面全体に砂利が露出していた。これはブリーディングによって生成したレイタンス、層が試験初期段階にて剥離したためと推察される。また、レイタンス層以下の硬化体は緻密であるためスケーリン

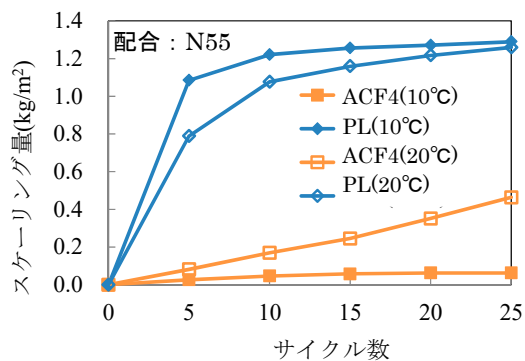


図-8 N55のスケーリング抵抗性試験結果

グ量の変化が5サイクル以降緩やかになったと推察される。一方で、ACF4(20℃)、ACF4(10℃)の25サイクル終了時点における総スケーリング量は、環境温度に抛らず PL よりはるかに低く、それぞれ、0.5kg/m²、0.1kg/m²以下であった。また、PLのような試験初期段階における急激なスケーリング量変化は無かった。ACF4(20℃)、ACF4(10℃)の表面の観察結果では、どちらも10サイクルで打込み面の剥離はほとんど無く、25サイクル終了時点においても剥離した部分は PL より少なかった。これらの結果から ACF の添加によって打込み面のスケーリング抵抗性が向上することを確認できた。これは混和材のブリーディング低減効果に伴い、打込み面の表層が混和材無添加よりも緻密となり、表層品質が向上したためと推察される。

2.2.8 透水量

透水量試験結果を図-9 に示す。打込み面の透水量は、PL の透水量に対して、ACF を添加したものは概ね半分以下となり、環境温度が低い10℃の方がより透水量が少なくなった。すなわち、スケーリング抵抗性試験の結果と同様に、混和材のブリーディング低減効果に伴い、打込み面の表層が混和材無添加よりも緻密となり、表層品質が向上したためと推察される。このため、実施工においても硬化体の表面仕上げを施した打込み面の表層品質は、混和材の添加により改善する可能性があると考えられる。

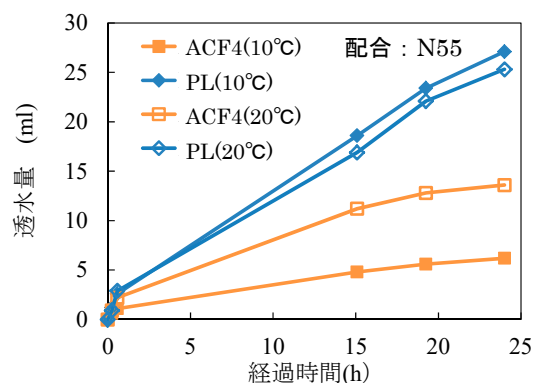


図-9 N55の透水量試験結果

表-5 使用材料

材料名	記号	仕様
セメント	C	1: 普通ポルトランドセメント, 密度 3.15g/cm ³ 2: 普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm ³
細骨材	S	1: 佐野藤坂産砕砂・栃木思川産砂・千葉利根川産砂混合, 表乾密度 2.62g/cm ³ 2: 常陸大宮市上大賀産砂, 表乾密度 2.58g/cm ³
粗骨材	G	1: 佐野市会沢産石灰石, 表乾密度 2.64g/cm ³ 2: 笠間市上郷産砕石, 表乾密度 2.74g/cm ³
減水剤	AD	1, 2ともに AE 減水剤

3. ACF 工法による試験施工

3.1 概要

上記の基礎的性状に関する実験結果より、混和材 ACF は冬期におけるコンクリートの凝結時間を調節し、仕上げ作業時間を短縮して作業を効率化するとともに、ブリーディングの低減などによる品質の向上を図ることができる可能性が示された。ACF 工法に適用するコンクリートは、現場での標準的な配合を用いて極力手間をかけずに簡易に行うことができるように、JIS 生コンの出荷のものとし、現場に生コンが到着してから混和材投入を行い、品質制御可能な技術として確立し、現場で使いやすくすることが目標である。そこで、実際の現場2か所において、ACF を現場で一般のレディーミクストコンクリートに対して添加し、トラックアジテータ車での混合、打込み、均し・仕上げまでの施工性などについて検討することとした。また、どの程度の仕上げ作業に関する時間の短縮効果が得られるかを確認す

ることとした。適用箇所は、フーチングのレベルコンクリートや均しコンクリートとした。

3.2 試験施工の内容

3.2.1 使用材料および配合

コンクリートに使用される各現場の材料を表-5 に示す。なお、2か所の現場でレディーミクストコンクリートを使用したため、それぞれ現場1、現場2とした。配合は、呼び強度を24とした通常のプラントでの配合を適用し、表-6 に示すとおり配合とした。適用部位が均しコンなどであったため、元々は呼び強度18の配合の打設箇所であったが、通常の床の配合と同様なものとして試験施工適用箇所のみ呼び強度24を適用した。現場1では1台4.5m³、現場2では1台4.25m³で運搬した。

3.2.2 凝結時間調整混和材 ACF の添加

ACF のアジテータ車への投入は、現場到着後、粉

表-6 コンクリートの配合

配合名	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	目標スラ ンプ(cm)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	AD
Plain1	20	55.0	46.5	15	175	319	826	958	Cx1.15%
Plain2	20	56.3	48.9	18	179	318	851	945	Cx1.0%

表-7 コンクリートのフレッシュ性状

配合	荷卸しからの時 間(分)	スランプ (cm)	コン温度 (°C)
Plain1	0	16.5	15
	45	14.5	15
ACF3	0	18.5	15
	45	6.5	15
ACF4	0	19.0	16
	45	4.0	15
Plain2	0	17.5	14
	60	13.0	17
ACF2.5	0	19.0	14
	60	5.0	20
ACF3.5	0	19.0	15
	60	6.0	20



(上：ACFの投入)
(右上：打込み状況)
(右：円盤掛け)

写真-3 施工状況

末が拡散しないように予め水溶性の紙袋に封入したものを、均一に混ぜるように投入後3分間の高速攪拌を行った。混和材の添加量は、現場1では、過去の検討結果をもとに、3、4kg/m³の2水準(配合名ACF3、ACF4)とし、無混入のPlain1と比較することとした。現場2では、添加量を減少させたときの効果を確認するため、2.5、3.5kg/m³の2水準(配合名ACF2.5、ACF3.5)とし、無混入のPlain2と比較することとした。

3.2.3 試験および検討内容

混和材無混入(Plain1、2)、混和材を混入したコンクリートの試料を採取し、スランプ等のフレッシュ性状の試験のほか、ブリーディング試験(JIS A 1123)および凝結試験(JIS A 1147)を実施した。採取した供試体はいずれも現場で1日養生して回収した。

圧送や打込み作業は通常通り行った後、それぞれのACF添加量の水準で打ち込んだ個所ごとに、一般の直押し床と同様、レベル出し(かき板均し)、ハンドトロウエルによるアマ出し(円盤)、金ゴテ仕上げ(プロペラ)の各作業を、専門工事業の通常感覚により実施し、その着手時間等を記録した。凝結時間の感覚は、従来の方式(職人による金鋸押しえ0.3N/mm²、ハンドトロウエル1.0N/mm²程度)⁶⁾での施工をイメージした。

3.3 実験結果および考察

3.3.1 フレッシュ性状および施工の状況

実験実施日の天候は、現場1は晴れ、外気温最低

6.0°C、最高12.0°C、現場2は晴れ、外気温最低6.0°C、最高13.0°Cであった。

フレッシュコンクリートの性状(荷卸し時および容器に採取して45、60分静置後)を表-7に示す。いずれもベースとなるPlainのコンクリートに対して混和材添加後はスランプが増大し、例えば現場1ではスランプ16.5cm(Plain1)に対して、ACF添加直後はACF3で18.5cm、ACF4で19.0cmとなった。これはACFに含まれる界面活性剤の影響である²⁾。一方、45分あるいは60分間静置後のスランプはACFを混入した場合で大きく低下した。ただし、これらは静置状態での変化であり、ACFを添加後、アジータ車に積載した状態では、30分以内に打込みが終了すれば、施工上問題がないことを確認している。

ACF混和材を添加したコンクリートの圧送、打込み、均し等の施工状況は、写真-3に示すとおり、通常の施工と異なる点はなかった。なお、試料採取の際に、ごくわずかの水溶性の紙袋の溶け残りが認められたが、施工時に問題となることはなく、大幅に溶け残ることも考えにくい。ただし、水溶性紙の紙袋やACFの投入方法については見直し、改良を行う予定である。

3.3.2 ブリーディング

各現場でのブリーディング試験結果を図-10および図-11に示す。現場1におけるブリーディング試験の結果である図-10に示すように、Plain1がブリーディング率2.91%で5時間近くまで継続した

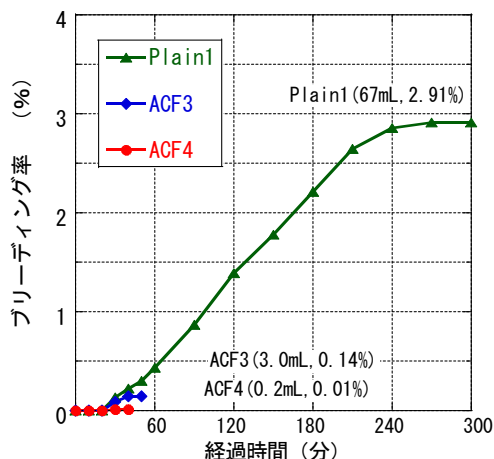


図-10 現場1のブリーディング試験結果

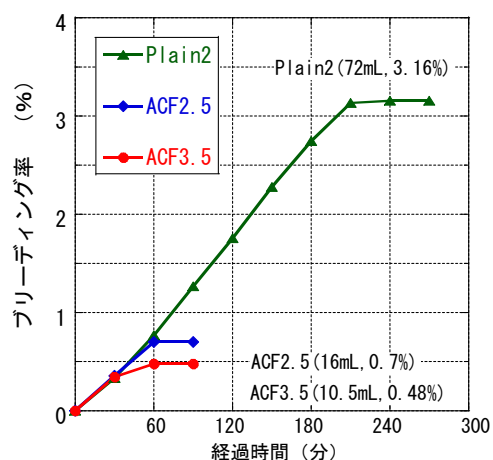


図-11 現場2のブリーディング試験結果

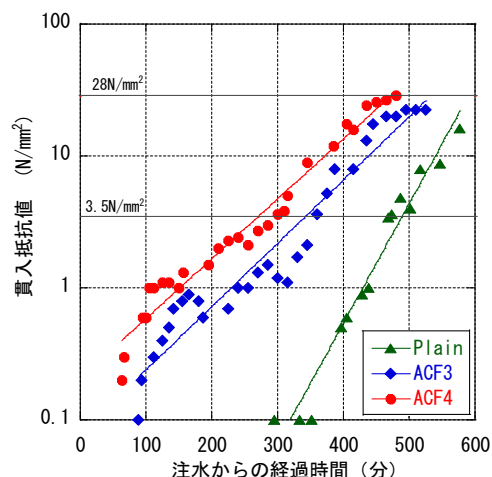


図-12 現場1の凝結試験結果

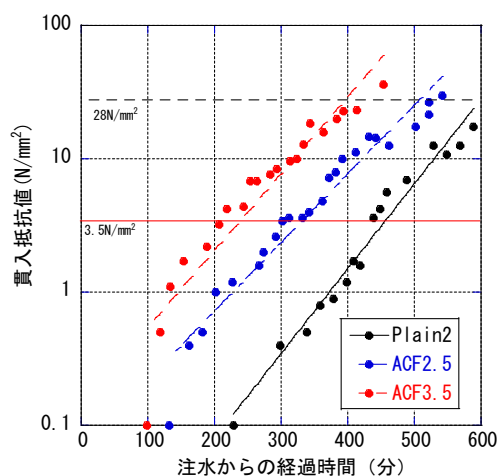


図-13 現場2の凝結試験結果

のに対して、ACF3で0.14%(50分)、ACF4で0.01%(40分)となり、10℃程度の環境でも早期にブリーディングが終了することが確認された。現場2では、単位水量やACF混和材の添加量も相違しているため、現場1よりはブリーディングが多くなっているが、ACF混和材を用いたコンクリートは早期にブリーディングが終了している。これらのブリーディング抑制効果は、仕上げ作業に悪影響を及ぼすものではなく、当日の各作業所の作業員もブリーディングが早く終了することに対する作業性低下の感想の声はなかった。

3.3.3 凝結

各現場での凝結試験(プロクター貫入抵抗値)結果を図-12および図-13に示す。現場1では、始発である3.5N/mm²の経過時間はPlain1で約7時間50分、ACF3で約6時間0分、ACF4で約5時間0分となり、それぞれ1時間50分、2時間50分ほど短縮された。現場2では、始発である3.5N/mm²の経過時間はPlain2で約7時間10分、ACF2.5で約

5時間10分、ACF3.5で約3時間30分となり、それぞれ2時間、3時間40分ほど短縮された。ACFの添加量の小さい現場2の方が凝結始発までの時間短縮の効果大きかったが、これは試験施工当日の日射の影響もあり表-7に示すようにコンクリート温度も上昇したため、より凝結が促進したものと考えられる。

3.3.4 硬化後の性状

各現場での圧縮強度試験結果を図-14および図-15に示す。現場1では、試験日程が年末であったため、材齢14日および28日の結果を示す。いずれの場合もACF混和材の有無による顕著な差は認められなかったが、材齢28日強度については、混和材を添加したものの方が幾分高くなる傾向(現場1)と混和材を添加したものの方が幾分低くなる傾向(現場2)となる場合が認められた。試験体を翌日まで現場内に保管しており、ブリーディングが影響している可能性もあるが、明確ではない。本結果より、混和材の使用は圧縮強度に悪影響を与えないことを確認できた。

3.3.5 作業時間短縮効果

各現場での仕上げの作業について、そのタイミングと時刻を図-16および図-17に示す。ハッチングした部分が特に作業のない待機時間を示している。

まず、現場1では図-16に示すように、無混入のものは9:15の打込み終了から13:30まで待機時間があつたが、ACF3では1時間15分後、ACF4では1時間後に円盤掛けの作業に入ることができた。待機時間の短縮効果は、金ゴテ仕上げ(プロペラ)終了までの合計時間で5時間以上となり、凝結の始発の時間短縮約3時間以上の効果となり、1日の作業内容の生産性向上の効果が確認された。なお、作業に着手した時点での貫入抵抗値は、いずれの水準で

もアマ出し(円盤)で0.1~0.3N/mm²、金ゴテ仕上げ(プロペラ)で0.6~0.7N/mm²のタイミングで実施されていた。仕上げ作業の専門工事業の感覚においても、違和感なく実施でき、作業時間短縮の高い効果を感じるとの感想であつた。

図-17に示す現場2では、待機時間の短縮効果は、金ゴテ仕上げ(プロペラ)終了までの合計時間で3時間半程度であつた。現場1より短縮時間が短いのは、作業に着手した時点での貫入抵抗値が、アマ出し(円盤)で0.1N/mm²程度で同程度だったものの、Plain2の金ゴテ仕上げ(プロペラ)で0.4N/mm²、ACF3.5で1.1N/mm²のタイミングで実施されていたことが影響していると考えられる。Plain2の金ゴテ仕上げ(プ

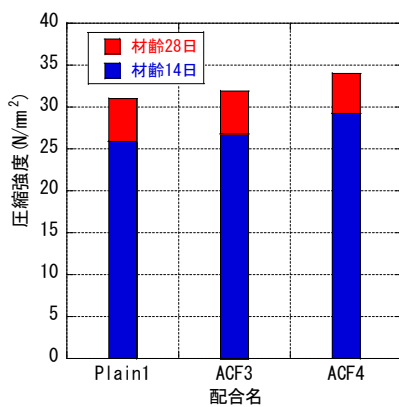


図-14 現場1の圧縮強度試験結果

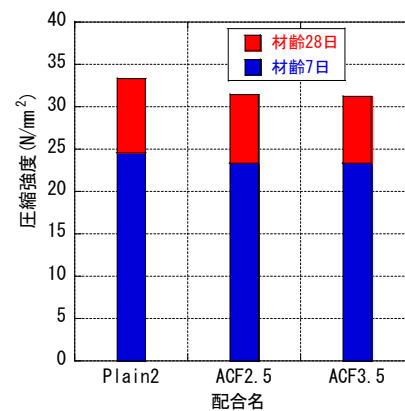


図-15 現場2の圧縮強度試験結果

作業事項と時刻										
Plain	作業	打込み	特に作業なく待機 4時間15分 (9:15~13:30)					円盤	待機 1時間 半	プロペラ
	時刻	9:00~ 9:15						13:30~ 13:45		15:15~ 15:30
ACF3	作業		打込み	待機 1時間15 分	円盤	待機 1時間半	プロペラ			
	時刻		9:15~ 9:30		10:45~ 10:55		12:30~ 12:40			
ACF4	作業		打込み	待機 約1時間	円盤	待機 25 分	プロペラ			
	時刻		9:45~ 10:00		10:55~ 11:05		11:30~ 11:40			

図-16 現場1の仕上げ作業のタイミング

作業事項と時刻										
Plain 2	作業	打込み	特に作業なく待機 3時間 (9:00~12:00)					円盤	待機 約1時間	プロペラ
	時刻	8:45~ 9:00						12:00~ 12:15		13:15~
ACF2.5	作業		打込み	待機 約1時間20分	円盤	待機 約30分	プロペラ			
	時刻		9:15~ 9:30		10:50~ 11:00		11:35~ 11:45			
ACF3.5	作業		打込み	待機 約1時間	円盤	プロペラ				
	時刻		9:50~ 10:05		11:05~ 11:15		11:35~ 11:45			

図-17 現場2の仕上げ作業のタイミング

ロペラ)のタイミングは明らかに早いと観察されたことから、現場1のように少なくとも 0.6N/mm^2 以上の凝結のタイミングまでプロペラの作業が待機していれば時間差は大きくなったものと考えられる。

以上のように、2つの現場での試験施工により、ACF混和材の現場での添加を行うことで、仕上げ作業の時間短縮効果を得ることができた。外気温、コンクリート温度および添加量($2.5\sim 4.0\text{kg/m}^3$)によって調整し、期待する時間短縮効果を得られるように、今後現場適用を図っていく予定である。

4. まとめ

本報では、ACF工法における冬期のコンクリートの凝結を促進する凝結時間調整材を用いたコンクリートの基礎的性状を把握したうえで、試験施工を行い、施工時の凝結および作業の時間短縮効果の確認を行った。

室内試験の結果、サルフォ系塩を主成分とする粉末状の混和材ACFを用いることにより、フレッシュ性状を確保したうえで、ブリーディングを低減させ、 10°C の環境下で凝結を促進することができた。また、硬化後の性状については、圧縮強度への影響はほとんど認められず概ね無混和の場合と同等であり、ブリーディングの低減効果によって打込み・仕上げ面の表層品質向上を図ることができる可能性が示された。

現場の試験施工では、通常のJIS生コンに対して現場でACFの投入を行い、簡易に添加できることを確認した。さらに圧送や打込み作業に影響を及ぼさないことを確認し、現場においてもブリーディングの低減効果と凝結促進効果を得ることができた。一般の直押さえ床と同様の作業を行ったところ、ACFの添加率を $2.5\sim 4\text{kg/m}^3$ の範囲とすることで、概ね3~5時間程度の作業時間短縮効果を得ることができると明らかにした。

今後は、実際の床工事などに展開して、生産性向上および現場の働き方改革に寄与できるよう検討していく予定である。また、現在のようなハンドトロウエルを用いた方法に加えて、騎乗式トロウエルなどを利用した機械化を前提としたACF工法の確立にも取り組む予定である。

謝辞

ACFの混和材は、デンカ株式会社との共同開発であり、基礎性状試験および現場施工実験などを共同で実施した。また、試験施工実施に際しては、栃木いすゞライネックスグローバルセンター新築工事作業所、水戸タカノフーズ水戸第三工場新設工事作業所の皆様の協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

<参考文献>

- 1) 石井泰寛, 宮口克一, 浦野真次, 依田侑也: 寒冷期における凝結時間調整のための混和材の効果に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.231-236, 2018
- 2) 石井泰寛, 伊藤慎也, 荒木昭俊: 凝結時間調整のための混和材がコンクリートの耐久性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.155-160, 2019
- 3) 石井泰寛, 伊藤慎也, 浦野真次, 黒田泰弘, 依田侑也, 高橋圭一: 凝結調整のための混和材によるコンクリートの凝結促進効果に関する検討, 土木学会第75回年次学術講演会 V-275, 2020
- 4) 黒田泰弘, 浦野真次, 依田侑也, 齊藤亮介, 宮口克一, 石井泰寛: 凝結促進のための混和材を用いたコンクリートの床施工に関する検討, 土木学会第73回年次学術講演会, V-022, pp.43-44, 2018
- 5) 浦野真次, 黒田泰弘, 高橋圭一, 依田侑也, 石井泰寛, 伊藤慎也: 凝結促進用混和材を用いたコンクリートの仕上げ作業時間短縮効果に関する検討, 土木学会第75回年次学術講演会 V-275, 2020
- 6) 安藤雄基, 平野竜行: 床コンクリートの品質・生産性向上に関する打込みから仕上げまでの一連の取組み, コンクリート工学, Vol.55, No.9, pp.788-791, 2017