

論文 硬化促進剤をあと添加したコンクリートによる床仕上げ時間短縮に関する研究

堀田 和宏*1・酒井 正樹*2・神代 泰道*3・高田 大資*4

要旨：気温が低い冬期はコンクリート上面の床仕上げ作業が深夜に至るケースが多く、生産性の向上が求められている。そこで、冬期環境下において、筆者らが開発した硝酸塩系硬化促進剤をあと添加したコンクリートの凝結時間やフレッシュ性状等の基礎性状の確認を行うとともに、左官職人による床仕上げの作業性を検証した。その結果、硬化促進剤をセメント質量で1%あと添加したコンクリートは、通常のコンクリートと同等のフレッシュ性状や強度、作業性等を確保しつつ、凝結時間および床仕上げ時間を2時間程度短縮でき、工事担当者の生産性向上に寄与できることが分かった。

キーワード：硬化促進剤、床仕上げ、金ごて押え、凝結時間、土間床、働き方改革、生産性向上

1. はじめに

気温が低い冬期は、標準期と比較してコンクリートの凝結が遅くなる。そのため、こて押え等の床仕上げ作業が深夜に至り、作業者の深夜残業が発生するケースが多い。深夜残業の削減は、近年規定された働き方改革関連法に基づく時間外労働の上限規制の観点から、喫緊の課題となっている。このような背景から、硬化促進剤(材)を利用したコンクリートの凝結時間の短縮技術が提案されている(例えば1)。

硬化促進剤(材)とは、コンクリート中のセメントと反応して硬化を早める混和剤(材)の一種であり、通常、型枠の早期脱型を目的として使用される。ただし、硬化促進剤(材)の添加量が大きすぎると、コンクリートの流動性が極端に変化したり、粘性の増大に伴う仕上げ作業の効率低下が生じる可能性がある。したがって、硬化促進剤(材)を使用する際は、目標とする凝結時間だけでなく、その他性状とのバランスも考慮する必要がある。

そこで、本研究では、冬期環境下において、筆者らが開発した硝酸塩系硬化促進剤²⁾(写真-1)を添加したコンクリートの凝結時間やフレッシュ性状等の基礎性状を確認するとともに、左官職人による床仕上げ(こて押え)の感覚やタイミングを検証した。さらに、本技術を実建築物の土間床に適用した結果を報告する。なお、硬化促進剤の添加方法は、工事現場に納入されたコンクリート(JIS規格適合品)にあと添加する形とした。

製造し、基礎性状を確認するとともに、スラブ状の型枠に打ち込み、左官職人による床仕上げ(こて押え)の感覚とタイミングを検証した。本実験では、実建築物への適用を考慮し、凝結促進コンクリートに対して次の性能目標を設定した。

- ・ こて押えのタイミングが2時間程度以上早くなる
- ・ フレッシュ性状が低下せず、通常のコンクリートと同様に打ち込み作業を実施できる
- ・ 圧縮強度、表面強度が通常のコンクリートと同等に発現し、ブリーディングや沈降量に関しても悪影響を及ぼさない

一連の実験は、当社技術研究所施設「人工気象再現室」を用いて、冬期環境下(気温：約10℃)で実施した。

2.2 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表-1に示す。セメントは普通ポルトランドセメントとし、化学混和剤はAE減水剤および硝酸塩系硬化促進剤とした。材料温度は気温(約10℃)と同程度となるように調整した。

コンクリートの調合を表-2に示す。ベースとするコンクリート(以下、ベースコン)は、一般的な土間床へ



写真-1 硬化促進剤の外観

2. 室内実験

2.1 実験概要

室内実験では、硬化促進剤をあと添加し、凝結時間を早めたコンクリート(以下、凝結促進コンクリート)を

*1 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部 主任 修士(工学)(正会員)

*2 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部 主任研究員 博士(工学)(正会員)

*3 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部 上級首席技師 博士(工学)(正会員)

*4 (株)大林組 東北支店 建築工事部 技術課 副課長

の適用を想定し、27-15-20N とした。硬化促進剤の条件は、添加無しの「N-0」と、セメント質量×1%をあと添加する「N-1」の2水準とした。なお、硬化促進剤の添加率は、大きくするほど凝結時間の短縮効果が高くなる反面、単位水量の増加に起因する強度低下が考えられる。そのため、本実験では、予備実験において必要な凝結時間の短縮効果と十分な強度の確保が両立できるバランスを検討した上で添加率を決定した。硬化促進剤の添加に際しては、工事現場におけるトラックアジテータへのあと添加を想定し、単位水量は補正せず、外割りで計量した。コンクリートの練混ぜは、強制二軸練りミキサ(100L)を使用して実施した。練混ぜ方法は、細骨材、粗骨材およびセメントをミキサ投入後10秒、注水して90秒、硬化促進剤を添加して30秒練り混ぜ排出した。コンクリートは1調合あたり6バッチ練り混ぜ、1～5バッチ目を2.3節で後述するスラブ試験体用の型枠に、6バッチ目を2.4節で後述する凝結時間、ブリーディング、沈降量、圧縮強度、長さ変化試験用型枠に打ち込んだ。

2.3 スラブ試験体

スラブ試験体は、硬化促進剤の添加の有無による左官職人のこて押え感覚やタイミングの差異を確認するため、1調合あたり1体作製した。スラブ試験体の平面寸法は、左官職人がかんじきを履いた状態で試験体に乗rittつこて押え感覚を確認することができるように縦1500mm×横1500mmとした。スラブ試験体の厚さは、一般的な土間床を想定し、200mmとした。

2.4 試験項目

(1) フレッシュ性状 (JIS A 1101, 1150, 1128, 1156)

コンクリートの基礎性状把握のため、スランプ、スランプフロー、空気量および温度測定を実施した。試験のタイミングは、硬化促進剤の添加前後とした。

(2) スラブ試験体内部温度

コンクリートの水和発熱の程度を確認するため、スラブ型枠に打ち込まれたコンクリートの表層から5mmおよび100mm(中央中心)の位置の温度を熱電対によって計測した。

(3) 凝結時間 (JIS A 1147)

凝結の始発(貫入抵抗値3.5N/mm²)までの時間は、こて押えのタイミングと相関があると考えられる。そこで、試験体は2体作製の上、一方はスラブ試験体付近にて左官職人がコンクリート表面の状況を確認する都度貫入抵抗値を取得し、もう一方は人工気象再現室と同環境の別室にて凝結の終結までの貫入抵抗値を連続的に取得する計画とした。

(4) ブリーディング (JIS A 1123)

ブリーディングは、少量であればコンクリートの押え作業をスムーズに行うことができる反面、多すぎると表

層品質に悪影響を及ぼす可能性がある。また、ブリーディングが全く生じない場合は、押え作業が難しくなる(養生剤の散布が必要になる)ケースもある。そこで、硬化促進剤の添加の有無による差異を確認した。

(5) 沈降量 (JASS 5T-503)

沈降量が大きい場合、沈降ひび割れの発生が考えられるため、硬化促進剤の添加の有無による差異を確認した。

(6) 左官職人のこて押え感覚とタイミング

床仕上げ作業における金ごて押えの作業性(金ごて押えの行いやすさ)とタイミングを確認するため実施した。日本コンクリート工学会による「打込み上面の仕上げる要領³⁾」では、「金ごて押え」とは「金ごてを押さえる力(接地圧)を増加させ、平滑性と緻密性を段階的に高める作業」と説明されており、コンクリート床面の品質は、この金ごて押えの程度に大きく左右されると言われている。また、金ごて押えの必要な回数は部位に応じて異なるが、一般的な土間床の場合、2回押えとされる場合が多い。これらを勘案し、本実験では、スラブ試験体の仕上げの仕様は「金ごて2回押え」と設定し、次の項目を確認した。

- ・ コンクリート表層の均し・金ごて押えの感覚
- ・ 金ごて押え1回目、および2回目のタイミング
- ・ こてが効かなくなる(こて押え作業が不可能になる)タイミング

上記事項の確認は、寒冷地における左官工事経験が豊富な左官職人(一級左官技能士)の協力の下、実施した。

(7) 圧縮強度 (JIS A 1108)

硬化促進剤の添加による影響を確認するため、標準養生と封かん養生(20℃)における材齢7日、28日の圧縮強度を確認した。また、構造体強度を確認するためスラブ試験体のコア強度を材齢28日、91日で取得した。

表-1 コンクリートの使用材料

種類	記号	摘要
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度 3.15g/cm ³
細骨材	S	掛川産陸砂 表乾密度 2.59g/cm ³ , 吸水率 2.53%, F.M.2.59
粗骨材	G	秩父産硬質砂岩碎石 表乾密度 2.72g/cm ³ , 吸水率 0.60%, F.M.6.63
水	W	上水道水
化学 混和剤	AD NS	AE 減水剤 標準形I種 (JIS A 6204 適合) 硝酸塩系硬化促進剤 (JIS A 6204 適合)

※材料温度は約10℃となるように調整

表-2 コンクリートの調合 (27-15-20N)

調合 記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AD (C×%)	NS (C×%)
			W	C	S	G		
N-0	47.8	45.2	178	372	771	982	0.5	0
N-1								1

※NSは外割りであと添加

(8) 引っかき試験

本試験は、コンクリート表面に一定の荷重をかけて引っかき傷をつけ、その傷幅からコンクリート表層の表面強度を評価するものである。本実験においては、硬化促進剤の添加の有無による硬化コンクリート表層の表面強度の差異を確認するため、日本塗床工業会「塗床ハンドブック」⁴⁾に準拠し、材齢 56 日で実施した。

(9) 長さ変化 (JIS A 1129)

硬化促進剤の添加の有無に起因する長さ変化率の差異を確認するため実施した。

2.5 室内実験の結果と考察

(1) フレッシュ性状

フレッシュ試験の結果を表-3 に示す。ベースコンである N-0 のスランブは 16.5cm、空気量は 4.1% となった。硬化促進剤をあと添加した N-1 では、添加前後のスランブはともに 17.0cm、空気量はそれぞれ 4.0%、4.6% となった。本実験条件では、セメント質量×1%の硬化促進剤を外割であと添加しても、フレッシュ性状はほとんど変化しないことが確認された。なお、練上り直後の温度はいずれも 12~13℃であった。

(2) スラブ試験体内部温度

スラブ試験体の内部温度を図-1 に示す。N-0、N-1 とともに、スラブ試験体中心 (打込み上面から 100mm) の温度は表層付近 (打込み上面から 5mm) よりも 2~3℃高い傾向が見られた。また、最高温度は同等であったが、最高温度を示す材齢は硬化促進剤をあと添加した N-1 の方が 5 時間程度早い傾向が見られた。これは、硬化促進剤によって水和反応が促進された結果と考えられる。

(3) 凝結時間

凝結時間を図-2 に示す。こて押えの開始時間の目安とされている凝結の始発時間は、ベースコンの N-0 では 10 時間 56 分、硬化促進剤をあと添加した N-1 では 8 時間 56 分となった。本実験条件では、硬化促進剤のあと添加により、こて押えの開始時間を 2 時間程度短縮できる目安が得られた。なお、凝結の終結時間 (貫入抵抗値 28.0N/mm²) は、N-0 では 15 時間 6 分、N-1 では 12 時間 59 分となり、概ね 2 時間の短縮となった。

(4) ブリーディング

コンクリートのブリーディング量を図-3 に示す。ベースコンの N-0 は 0.18cm³/cm²、硬化促進剤をあと添加した N-1 は 0.08 cm³/cm² となり、硬化促進剤の添加によってブリーディングが低減されることが分かった。また、ブリーディングが収束する時間は、N-0 は 6 時間、N-1 は 4 時間となり、概ね 2 時間の短縮となった。

(5) 沈降量

コンクリートの沈降量を図-4 に示す。ベースコンの N-0 は 2.0mm、硬化促進剤をあと添加した N-1 は 1.4mm

表-3 コンクリートのフレッシュ性状

調査 記号	硬化 促進剤	スランブ (cm)	スランブ フロー (cm×cm)	空気量 (%)	CON 温度 (°C)
N-0	(なし)	16.5	29.0×28.5	4.1	12
N-1	添加前	17.0	30.0×29.0	4.0	12
	添加後	17.0	29.5×29.0	4.6	13

※フレッシュ試験は 1 バッチ目の結果

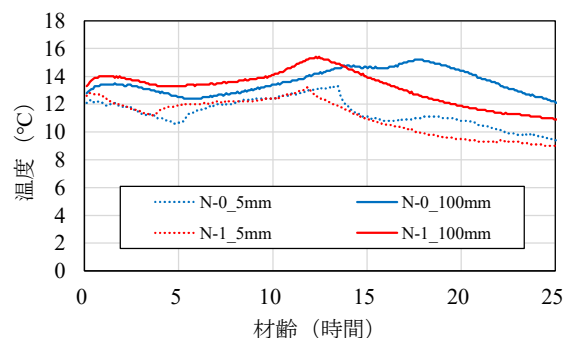


図-1 スラブ試験体の内部温度

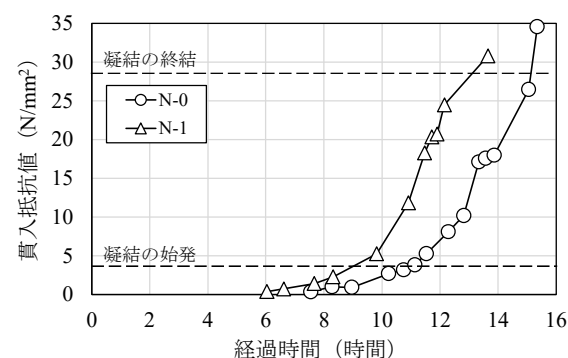


図-2 コンクリートの凝結時間

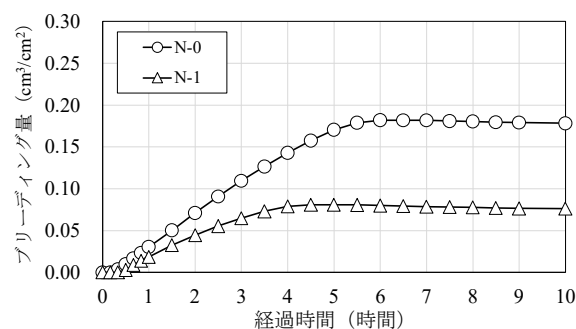


図-3 コンクリートのブリーディング量

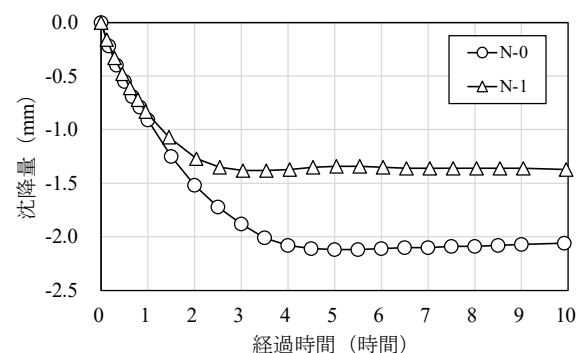


図-4 コンクリートの沈降量



写真-2 左官職人によるこて押え感覚の確認状況

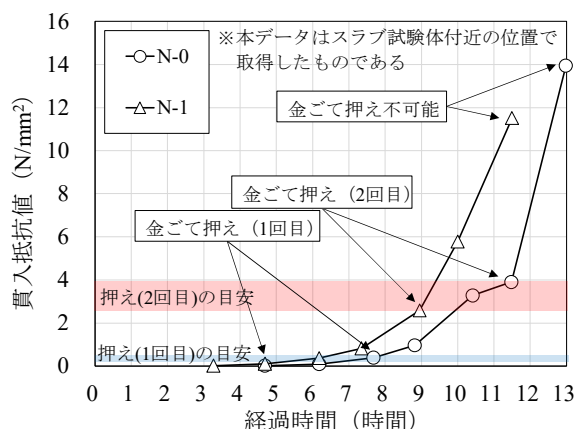


図-5 金ごて押えのタイミングと貫入抵抗値の関係

となった。また、沈降が収束する時間は N-0 は 4 時間、N-1 は 2 時間となり約 2 時間の短縮となった。本実験条件では、硬化促進剤のあと添加により沈降量は小さくなり、冬期における沈みひび割れ等のリスクを低減できると考えられる。

(6) 左官職人のこて押え感覚とタイミング

本実験では、文献³⁾に準じ、金ごて押えのタイミングの目安を、コンクリートの表面の浮き水が落ち着き、適度な接地圧をかけることができる時期と判断して検証を行った。左官職人によるこて押え感覚とタイミングの確認状況を写真-2 に示す。また、金ごて押え 1 回目および 2 回目のタイミングと貫入抵抗値の関係を図-5 に示す。ベースコンの N-0 は、金ごて押え 1 回目の開始材齢が 7.8 時間、2 回目の開始材齢が 11.6 時間であった。

一方、硬化促進剤をあと添加した N-1 は、金ごて押え 1 回目の開始材齢は 4.8 時間、2 回目の開始材齢は 8.9 時間となり、N-0 と比較していずれも 3 時間程度早くなることが分かった。なお、図-2 で示したように、N-1 の凝結の始発・終結の短縮時間が 2 時間程度であったことを考慮すると、左官職人による感覚と凝結時間の結果には 1 時間程度の差が見られる。これは、スラブ試験体と凝結時間測定用供試体の内部温度差や、ブリーディング水の状況の差に起因するものと思われる。

金ごて押え 1 回目と 2 回目との間隔は、N-0、N-1 ともに 4 時間程度であり、本実験条件においては、硬化促進剤をあと添加した場合でも押え作業が可能な時間に大きな変化は生じないことが分かった。こての滑りに関して

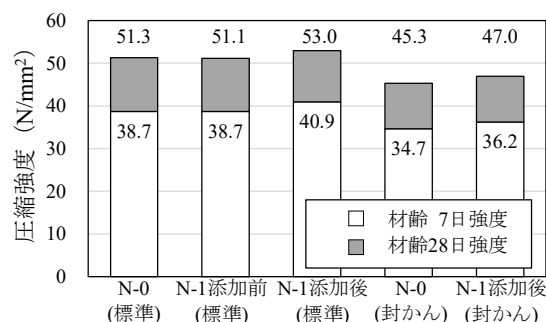


図-6 管理供試体のコンクリートの圧縮強度

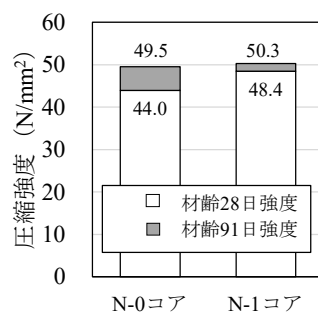


図-7 構造体強度

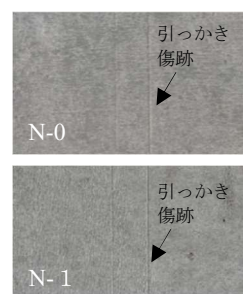


写真-3

引っかかり試験結果

は、N-0およびN-1に差異はほとんどないと評価された。N-1 は硬化促進剤の作用によりブリーディングが N-0 よりも少なくなったものの、作業効率の低下は見られなかった。こての沈み具合に関しても、N-0、N-1 ともに大きな差異は確認されなかった。なお、N-1 は N-0 と比較して内部まで硬化している感覚があり、こて押え時に接地圧を加えやすいと左官職人に評価された。

本実験条件においては、金ごて押え 1 回目における貫入抵抗値は 0.1~0.4N/mm² 程度、金ごて押え 2 回目における貫入抵抗値は 2.6~3.9N/mm² 程度であった。金ごて押え 2 回目のタイミングは凝結の始発と概ね一致しており、既往の文献³⁾と同様の傾向が得られた。なお、本実験では硬化促進剤をあと添加した N-1 の方が N-0 よりも若干低い貫入抵抗値で金ごて押えを開始できたが、これは前述したように接地圧の加えやすさの差に起因するものと考えられる。

(7) 圧縮強度

コンクリートの圧縮強度を図-6 に示す。標準養生 28 日の圧縮強度は、N-0 は 51.3N/mm²、N-1 は 53.0N/mm² となり、硬化促進剤の有無に関わらず同程度となった。

構造体強度を図-7 に示す。材齢 28 日の段階では N-1 の方が強度発現が早く、材齢 91 日で両者は同程度となった。

(8) 引っかかり試験

引っかかり試験の結果を写真-3 に示す。N-0、N-1 ともに引っかかり傷幅の最大値は 0.2mm 以下となり、表面強度グレードは I (最も良い) と判断された。

(9) 長さ変化

コンクリートの長さ変化率を図-8 に示す。乾燥材齢 182 日において、ベースコンの N-0 は約 740 μ 、硬化促進剤をあと添加した N-1 は約 850 μ となり、本実験条件においては、硬化促進剤の添加によって長さ変化率は若干大きくなることが分かった。両者の長さ変化率の差は、材齢 28 日程度で最大となり、以降はほとんど変化しない傾向を示した。

2.6 室内実験のまとめ

冬期環境下においてフレッシュコンクリートに硬化促進剤をあと添加した場合、ベースコンと比較して凝結時間は約 2 時間短縮され、こて押えのタイミングは約 3 時間早くなった。また、こて押えの感覚に関してはほとんど差異が無く、良好であった。なお、フレッシュ性状はほとんど変化せず、ブリーディングおよび沈降量は小さくなる傾向が見られた。加えて、圧縮強度および表面強度に関してもベースコンと同等に発現した。

以上より、凝結促進コンクリートは所要の性能目標を満足した。ただし、長さ変化率は若干大きくなる傾向があることから、後述する実建築物の土間床に適用する際には、適切なカッター目地を形成し、施工上の配慮を行う計画とした。

3. 実建築物への適用

3.1 適用の概要

(1) 建築物の概要

凝結促進コンクリートの適用先として、寒冷地である東北地方の物件（用途：工場）を選定した。本物件は計 690m² 程度の土間床（厚さ約 250mm）を有しており、図-9 に示すように A 工区(375m²)および B 工区(315m²)に分かれている。コンクリートの打込みは厳寒期である 12 月および 1 月の計画であり、床仕上げが長時間になると想定された。そこで、凝結促進コンクリートを使用し、作業時間の短縮を図る計画とした。

(2) 打込みの計画

本工事では、A 工区（12 月打込み）には通常のコンクリートを打ち込み、B 工区（1 月打込み）には凝結促進コンクリートを打ち込む計画とした。それぞれの工区における打込みの開始時刻と作業の終了時刻の差を作業時間とみなし、硬化促進剤の有無による差異を検証した。なお、打込み順序は図-9 の矢印に示す通りである。

(3) コンクリートの調査

本建築物の土間床のコンクリートの調査を表-4 に示す。コンクリートの水セメント比、単位セメント量、単位水量、細骨材率は室内実験での調査（27-15-20N）と同じ値であり、硬化促進剤（NS）についてもセメント質量×1%を外割りであと添加する計画とした。

3.2 適用の結果と効果

(1) コンクリートの打込み

本工事で使用する硬化促進剤は、所要量を予め計量しておき、現場に到着したトラックアジテータに投入後、中速で 60 秒攪拌する計画とした。両工区の打込み時の受入れ試験結果を表-5 に、硬化促進剤のあと添加状況を写真-4 に示す。凝結促進コンクリートは、室内実験の時と同様に、添加前後においてフレッシュ性状の変化はほとんど生じなかった。また、粘性等に目立った変化はなく、コンクリートの打込みにおいて、施工性に差異は見られなかった。加えて、両工区ともにコンクリートポンプを用いた圧送による打込みであったが、筒先においてスランプの急激な低下等も確認されなかった。

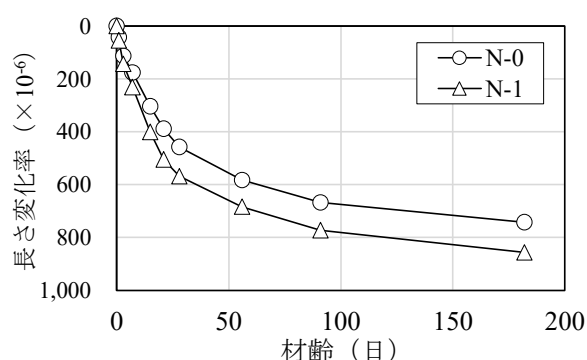


図-8 コンクリートの長さ変化率

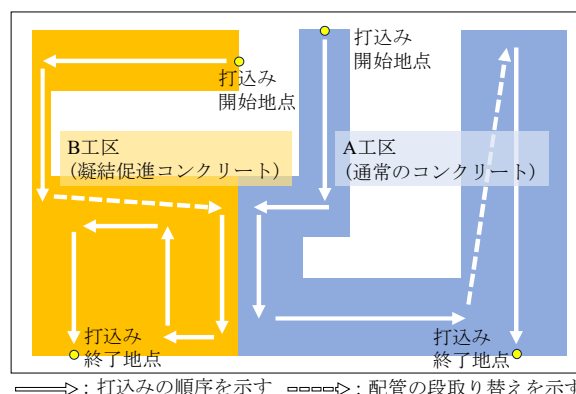


図-9 土間床の工区割概要と打込みの順序

表-4 コンクリートの調査 (27-15-20N)

部位	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AD (C×%)	NS (C×%)
			W	C	S	G		
A 工区	47.8	45.2	178	372	772	975	1.0	0
B 工区								1

※NS は外割りであと添加

表-5 コンクリートのフレッシュ性状

部位	硬化促進剤	スランプ (cm)	空気量 (%)	CON 温度 (°C)	外気温 (°C)
A 工区	(なし)	16.5	4.4	14	4.0
B 工区	添加前	16.5	4.7	11	6.0
	添加後	16.0	4.9	11	6.0

表－6 各工区のこて押えタイミングの平均時間

作業内容	A工区	B工区
こて押え1回目	5時間57分	4時間59分
こて押え2回目	8時間37分	6時間14分
最終仕上げ完了	9時間07分	7時間09分

(2) 左官職人のこて押え感覚とタイミング

本工事では、室内実験を行った左官職人を職長とするグループでコンクリートの仕上げ作業を実施した。作業環境は、両工区共に屋根があり、風はなく、床仕上げ作業中の気温は11℃程度であった。こて押え感覚とタイミングは、室内実験と同様の要領でヒアリングした。

こて押えの感覚については、B工区の方がややブリーディングが小さい傾向が見られたものの、両工区同等で、作業性(押えやすさ)に大きな差異はないと判断された。最終的に、両工区とも、光沢を持ち平坦性のある仕上がりとすることができた。

こて押えのタイミングを表－6に示す。B工区は、A工区よりも、1回目は1時間程度、2回目は2時間20分程度早くなった。最終的な仕上げ完了時間は、B工区の方が2時間程度早くなり、左官職人および工事管理者の残業時間を削減することができた。なお、両工区とも、室内実験時のこて押えタイミングと差異が生じたが、これはコンクリートに使用した材料や、施工環境条件の違いによるものと推察される。

(3) 圧縮強度

使用したコンクリートの圧縮強度を図－10に示す。B工区は硬化促進剤の添加前後で試料を採取し試験を行ったが、凝結促進コンクリートはベースコンと同等以上に強度が発現し、品質上問題がないことが分かった。

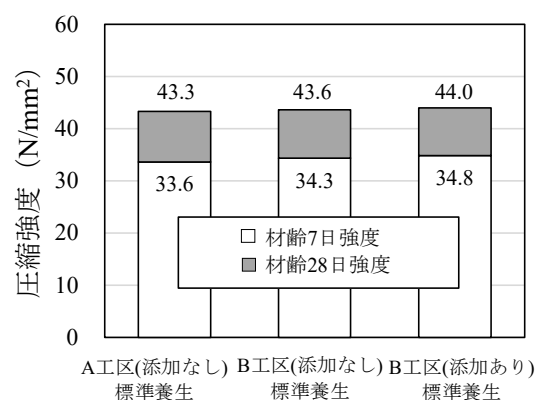
4. まとめ

本報では、コンクリートの床仕上げ時間短縮を目的とし、冬期環境下において、セメント質量×1%の硝酸塩系硬化促進剤をあと添加したコンクリートのフレッシュ性状をはじめとした各種性能を検証するとともに、左官職人によるこて押え感覚とタイミングの確認を行った。得られた知見を次に示す。

- 1) 硬化促進剤をあと添加したコンクリートは、ベースコンクリートと比較して、フレッシュ性状はほとんど変化しない。また、ベースコンクリートと同等の圧縮強度と表面強度が確保できる。
- 2) 硬化促進剤をあと添加したコンクリートは、ベースコンクリートと比較して、こて押えタイミングを2～3時間程度早くできる。こて押えのタイミングは、貫入抵抗値である程度推測できる可能性が示唆された。



写真－4 硬化促進剤のあと添加状況例



図－10 管理供試体のコンクリートの圧縮強度

- 3) 硬化促進剤をあと添加したコンクリートは、ベースコンクリートと比較してブリーディングおよび沈降量が低減される。
- 4) 実建築物の土間床に、硬化促進剤をあと添加したコンクリートを適用した結果、コンクリート打込み時の施工性やこて押え時の作業性を維持した状態で、床仕上げ時間を短縮でき、左官職人および工事管理者の残業を2時間程度削減することができた。

【謝辞】 本開発・実験にあたり、多大なご協力を賜りました齋藤賢様、佐久間昭夫様（シーカ・ジャパン株式会社）に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 浦野真次, 黒田泰弘: 凝結促進用混和材ACF-Wによるコンクリート上面の仕上げ作業の時間短縮効果, GBRC, Vol.48, No.4, pp.11-19, 2023.10
- 2) 堀田和宏, 神代泰道, 酒井正樹, 吉田理紗: 硝酸塩系硬化促進剤を用いたコンクリートのフレッシュ性状と初期強度発現性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.1354-1359, 2020.7
- 3) 日本コンクリート工学会: コンクリート基本技術調査委員会コンクリート工WG報告書「打込み上面の仕上げの要領」, 2020.11
- 4) 日本塗床工業会: 塗り床ハンドブック, pp.188-197, 2012.