

# 初期反応促進型膨張材 「太平洋N-EX neo」の基本性能と 床コンクリート工事への適用事例

Basic performance and application example to floor concrete constructions of initial hydration type expansive additive “Taiheiyo N-EX neo”

竹下 永造\*1、宮内 尊彰\*2、有馬 冬樹\*3、持丸 丈俊\*4

## 1. はじめに

わが国の人口は、2008年の約1億2,800万人をピークに減少に転じ高齢化が進んでいる<sup>1)</sup>。高齢化社会において持続的な経済成長を実現するには、働き手の減少を上回る生産性の向上とともに、若手労働者の離職率を抑制するための働き方改革が必要となる。例えば、低温下のコンクリート工事では、コンクリートの凝結が緩慢になるため、コンクリート上面の仕上げ作業開始及び終了までの時間が標準期に比べ大幅に遅延する<sup>2)</sup>。これは深夜労働を助長し、労働時間を増大させる主要原因になることから、生産性向上及び働き方改革における重要課題の一つといえる。そこで、石灰系特殊クリンカを主成分とする従来の無機系の膨張材に、コンクリートのフレッシュ性状に大きな影響を及ぼすことなく、セメントの初期反応を促進する機能を付与した初期反応促進型膨張材(以下、新型膨張材と略す)「太平洋N-EX neo」を開発した。新型膨張材の主な特長として、床部材の施工におけるブリーディングの抑制と凝結時間の短縮化、及び、これらに伴う仕上げ等を含めた施工の早期化によるコスト削減や生産性向上、さらには、コンクリートへの膨張ひずみの導入によるコンクリートの品質向上が挙げられる。

## 2. 開発経緯

図-1にコンクリート床部材の仕上げ作業例を、写真-1に各種仕上げ作業の状況をそれぞれ示す。図-1に示すように、一般的な床コンクリート(普通コンクリート)の作業は、まず、コンクリートの打込みから始まり、次第にブリーディング水の発生量が少なくなるにつ



写真-1 コンクリート床部材の仕上げ作業状況  
(左：2次仕上げ、右：最終仕上げ)

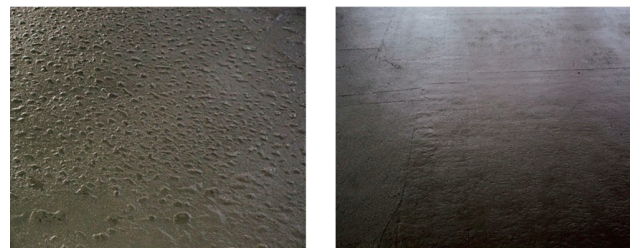


写真-2 新型膨張材によるブリーディング抑制効果  
(左：無混和、右：太平洋N-EX neo混和)

\*1 TAKESHITA Eizo : 太平洋マテリアル株式会社 開発研究所 土木・混和材料グループ  
\*2 MIYAUCHI Takaaki : 大和ハウス工業株式会社 東京本社 技術統括本部 建設DX推進部  
\*3 ARIMA Fuyuki : 大和ハウス工業株式会社 本社 法令遵守・品質保証推進本部 品質保証統括部 建築系品質管理グループ  
\*4 MOCHIMARU Taketoshi : 大和ハウス工業株式会社 東京本社 技術統括本部 建設DX推進部

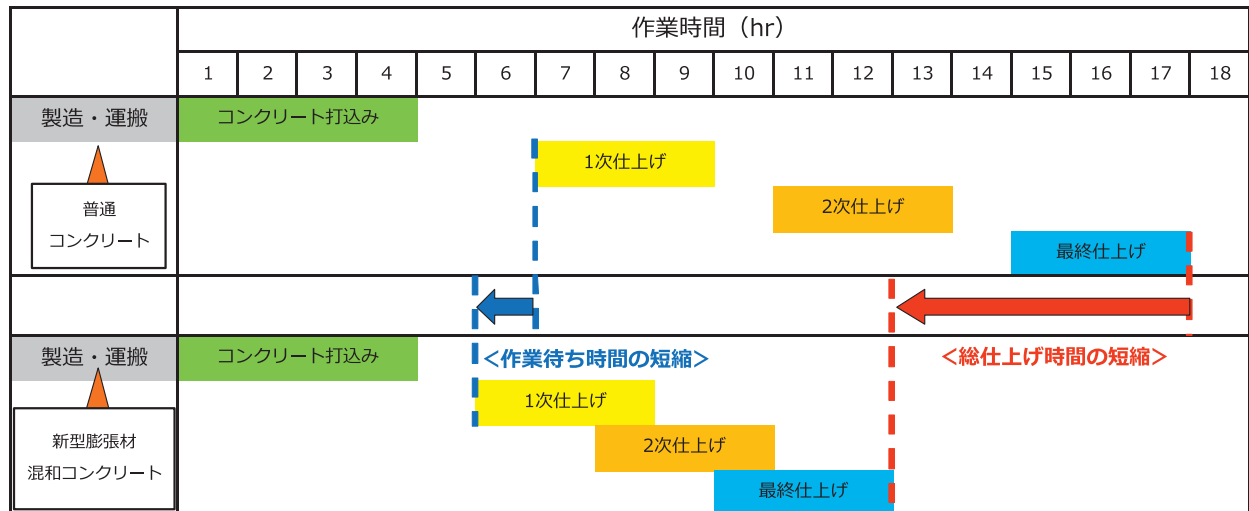


図-1 コンクリート床部材の仕上げ作業例

れ、凝結の始発時間を迎える。その後、1次仕上げが開始され、コンクリート床面の状況に応じて2次仕上げ、最終仕上げと精度を向上させる流れとなる<sup>3)</sup>。作業の進捗は、環境条件、並びに、コンクリート床面の状況に大きく影響されるため、作業工程数の多さと相まって、コンクリート床部材の仕上げ作業が長期化する傾向にある。そこで、新型膨張材により、写真-2に示すようにブリーディングを低減し、かつ、凝結を促進することで、作業待機時間の短縮、さらには、仕上げ作業の開始及び終了時間の前倒しを図ることで、全行程の完了時間を早めることが可能となる。

### 3. 太平洋N-EX neoの性能証明概要

「太平洋N-EX neo」の品質を表-1に示す。強熱減量を除き、JIS A 6202 (コンクリート用膨張材) の規定値を満足している。強熱減量が規定値を満足していないのは、新型膨張材に添加されている初期反応促進剤の影響によるものであり、膨張材の風化に起因する品質低下を示唆するものではない。

以上より、新型膨張材は、JIS A 6202 (コンクリート用膨張材) の規格の一部を満足しないものの、膨張材としての性能は十分備え持つものと考えられることより、「太平洋N-EX neo」がJIS A 6202 (コンクリート用膨張材) 相当の性能を有するものであることを評価することとした。また、新型膨張材をJIS A 5308 (レディーミクストコンクリート) における「8.4 混和材料」とみなせるよう、圧縮強度、塩化物イオン量に加え、乾燥収縮抵抗性、促進中性化試験、凍結融解試験により耐久性も評価し、新型膨張材無混和のコンクリートにおける諸数値との比較により、コンクリートの圧縮強度や鋼

表-1 太平洋N-EX neoの品質

品質項目		JIS A 6202 の規定値	試験値
酸化マグネシウム	(%)	5.0 以下	0.60
強熱減量	(%)	3.0 以下	4.36
全アルカリ	(%)	0.75 以下	0.11
塩化物イオン	(%)	0.05 以下	0.013
密度	(g/cm <sup>3</sup> )	—	2.96
粉末度	比表面積(cm <sup>2</sup> /g)	2000 以上	5650
	1.2mm 篩残分(%)	0.5 以下	0.0
凝結 (h-min)	始発	60min 以上	2-15
	終結	10h 以下	3-35
膨張性 (%)	材齢 7 日	0.025 以上	0.101
	材齢 28 日	-0.015 以上	0.063
圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	材齢 3 日	12.5 以上	28.8
	材齢 7 日	22.5 以上	44.0
	材齢 28 日	42.5 以上	61.2

材への影響、並びに、コンクリートの耐久性への影響を確認することとした。さらに、コンクリートの初期反応促進効果が得られることに加え、コンクリートの品質についても向上する特長についても性能証明することとした。

## 4. 太平洋N-EX neoの基本性能

### 4.1 試験概要

新型膨張材を混和したコンクリートに関する各種性能確認のため、表-2に示す試験を行った。各試験項目の目的は、コンクリートのフレッシュ性状への影響 (同表の1~4番)、初期反応促進効果の確認 (同表の5~6番)、コンクリートの品質確認 (同表の7~8番) および、コンクリートの耐久性確認 (同表の9~11番) である。

試験水準を表-3に示す。試験水準については、コン

クリート調合における水セメント比の違い (W/C = 45、55、65%) 及び新型膨張材の混和量 (0、20、25kg/m<sup>3</sup>) とした。

コンクリートに使用した材料一覧を表-4に、また、コンクリートの調合を表-5にそれぞれ示す。ここで、新型膨張材は細骨材体積置換で使用した。また、AE減水剤の添加率は、単位セメント量と膨張材混和量を加算したものに対して、各水準で同一のAE減水剤添加率となるよう調整した。さらに、フレッシュコンクリートの目標スランブ及び目標空気量は、それぞれ15±2.5 (cm)、4.5±1.5 (%) に設定した。ここで、新型膨張材を混和したコンクリートをEXコンクリート、新型膨張材を混和していない基準調合コンクリートをPLコンクリートと略すこととし、記号については、コンクリートの種類と膨張材混和量-水セメント比を示している。

4.2 フレッシュ性状への影響

表-6にフレッシュ性状の試験結果を示す。同表より、水セメント比が45~65%の範囲において、新型膨張材の有無によらず全ての水準でスランブ及び空気量が目標値を満足することが確認された。このことから、EXコンクリートのフレッシュ性状は、PLコンクリートと同様な調整で取り扱えることが示されたものと考えられる。

表-7にフレッシュコンクリートの塩化物イオン量試験結果を示す。同表より、EXコンクリートの塩化物イオン量は、PLコンクリートとほぼ同等であり、かつ、JIS A 5308で規定されている0.30kg/m<sup>3</sup>以下を満足することが確認された。従って、新型膨張材の混和による鋼材への有害な影響はないものと推察される。

4.3 初期反応促進効果

図-2にブリーディング率とブリーディング終了時間の試験結果を示す。同図より、同一水セメント比の水準を比較した場合、新型膨張材の混和量が大きいくほど、ブリーディング率が小さくなり、かつ、ブリーディング終了時間が短くなることを確認された。さらに、この傾向は水セメント比によらず、すべての水準で認められた。従って、新型膨張材を混和することにより、ブリーディングの抑制効果が得られ、さらに、その混和量の調整により、ブリーディングを制御可能であることが推察される。

図-3に凝結時間試験結果を示す。同図より、同一水セメント比の水準を比較すると、新型膨張材の混和量が大きいくほど、凝結の始発時間及び終結時間が短くなることを確認された。また、この傾向はブリーディング試験の結果と同様、水セメント比によらず、すべての水準で

表-2 試験項目

確認事項		試験項目	規格
1	フレッシュ性状への影響	スランブ試験	JIS A 1101
2		空気量試験	JIS A 1128
3		コンクリート温度	JIS A 1156
4		塩化物量	JASS 5 T-502
5	初期反応促進効果	ブリーディング試験	JIS A 1123 附 A (JCI S 015)
6		凝結試験	JIS A 1147
7	コンクリートの品質	圧縮強度試験	JIS A 1108
8		拘束膨張試験	JIS A 6202
9	コンクリートの耐久性	乾燥収縮試験	JIS A 1129-2
10		促進中性化試験	JIS A 1153
11		凍結融解試験	JIS A 1148

表-3 試験水準

環境温度		20°C								
W/C (%)		45			55			65		
膨張材混和量 (kg/m <sup>3</sup> )		0	20	25	0	20	25	0	20	25
試験項目	1~7	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	8	-	○	○	○	○	○	-	○	○
	9~11	-	-	-	○	○	○	-	-	-

表-4 使用材料一覧

材料名	記号	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 <sup>3</sup> )
細骨材	S	静岡産山砂 (密度 : 2.57g/cm <sup>3</sup> )
粗骨材	G	茨城産碎石 2005 (密度 : 2.65g/cm <sup>3</sup> )
膨張材	EX	初期反応促進型膨張材 (密度 : 2.98g/cm <sup>3</sup> )
AE減水剤	Ad1	リグニンスルホン酸系とポリカルボン酸エーテル系複合体
AE剤	Ad2	変性ソルミン酸化合物系陰イオン界面活性剤

表-5 コンクリートの調合

記号	W/C	s/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
			W	C	EX	S	G	Ad 1	Ad 2
PL-45	45.0	45.1	175	389	0	783	430	2.72	0.19
EX20-45					20	765		2.86	
EX25-45					25	761		2.90	
PL-55	55.0	46.3	175	318	0	840	430	1.91	1.27
EX20-55					20	823		2.03	
EX25-55					25	818		2.06	
PL-65	64.8	49.3	175	270	0	879	430	1.62	1.08
EX20-65					20	862		1.74	
EX25-65					25	858		1.77	

表-6 フレッシュ性状試験結果

記号	W/C (%)	減水剤添加率 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
PL-45	45	0.7	16.0	5.2	23
EX20-45			13.0	4.7	24
EX25-45			13.0	4.7	25
PL-55	55	0.6	16.0	5.1	22
EX20-55			15.5	5.7	24
EX25-55			15.0	5.6	24
PL-65	65	0.6	17.0	4.3	22
EX20-65			16.5	4.7	23
EX25-65			16.0	4.6	24

表-7 フレッシュコンクリートの塩化物イオン量試験結果

記号	W/C (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	塩化物イオン濃度 (%)	塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> )
PL-45	45	175	0.041	0.07
EX20-45			0.037	0.06
EX25-45			0.038	0.07
PL-55	55	175	0.032	0.06
EX20-55			0.034	0.06
EX25-55			0.033	0.06
PL-65	65	175	0.033	0.06
EX20-65			0.030	0.05
EX25-65			0.027	0.05

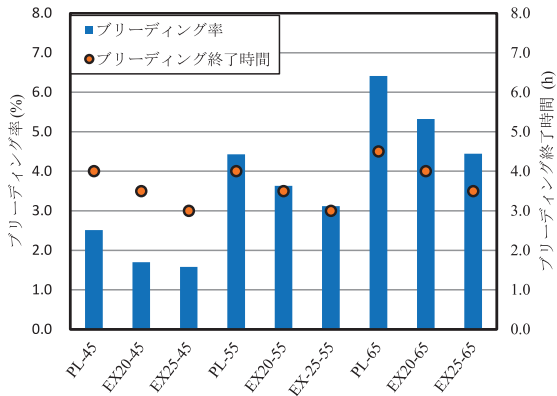


図-2 ブリーディング試験結果

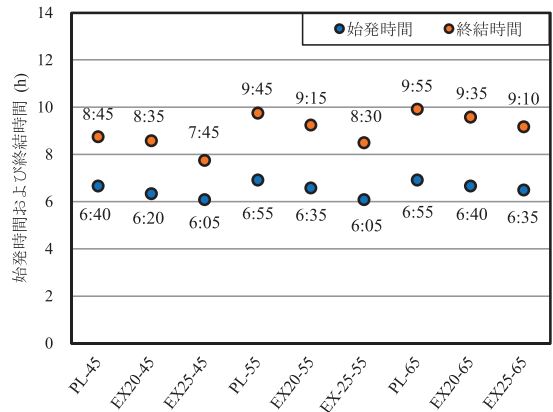


図-3 凝結時間試験結果

認められた。従って、新型膨張材を混和することで、凝結時間の短期化が図られ、さらに、その混和量に応じて、凝結促進時間を制御可能であることが推察される。

以上の結果より、ブリーディングの低減や凝結時間の短期化は、「太平洋N-EX neo」を混和したことによる初期反応促進効果により得られたものと考えられる。

#### 4.4 コンクリートの品質

図-4に圧縮強度試験結果を示す。同図より、EXコンクリートの圧縮強度は、すべての材齢においてPLコンクリートと同等、もしくは、高い値を示した。なお、この傾向は水セメント比によらず確認された。従って、EXコンクリートの品質は、PLコンクリートと同等以上であること、また、新型膨張材を混和した場合、コンクリートの圧縮強度に悪影響を及ぼさないことが確認されたものと考えられる。

図-5に拘束膨張ひずみの経時変化を示す。ここで、同図中に示す灰色は、乾燥収縮ひずみの低減効果となる  $150 \times 10^{-6}$  以上の範囲である<sup>4)</sup>。同図より、材齢7日の拘束膨張ひずみは、新型膨張材の混和量が  $20 \text{ kg/m}^3$  の場合 (EX20) は  $106 \sim 131 \times 10^{-6}$ 、 $25 \text{ kg/m}^3$  の場合 (EX25) は、 $166 \sim 228 \times 10^{-6}$  であった。従って、新型膨張材の混和

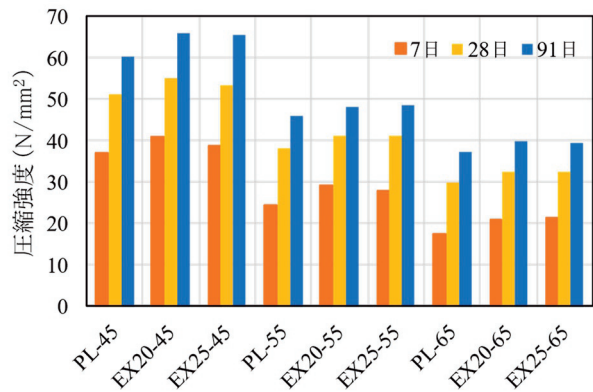


図-4 圧縮強度試験結果

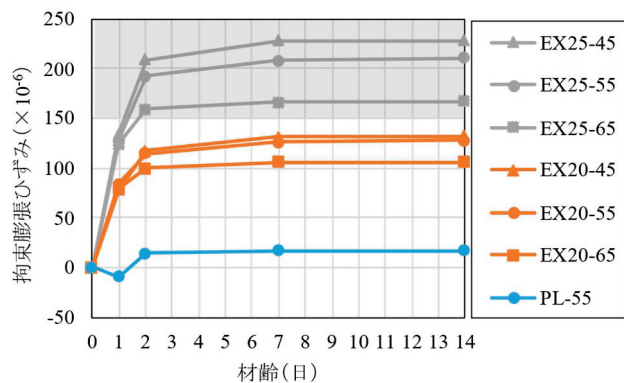


図-5 拘束膨張ひずみの経時変化

量により得られる拘束膨張ひずみが異なることから、あらかじめ定めた性能が発揮されるよう、適切にその混和量を選定する必要があるものの、EXコンクリートは、乾燥収縮ひずみの低減効果の範囲となる拘束膨張ひずみが導入可能であり、新型膨張材を混和することで、コンクリートの品質向上が図られるものと考えられる。

#### 4.5 コンクリートの耐久性

図-6に乾燥収縮ひずみの経時変化を示す。同図より、PLコンクリートと比較して、EXコンクリートの乾燥収縮ひずみが若干低減されていることが分かる。その値は、材齢182日で評価すると、PLコンクリートが $-840 \times 10^{-6}$ に対し、EX20コンクリートで $-769 \times 10^{-6}$ になり、EX25コンクリートで $-804 \times 10^{-6}$ となった。既往の文献<sup>5)</sup>によると、膨張材を混和したコンクリートの乾燥収縮ひずみは、PLコンクリートと同等あるいは若干小さい程度であるとの報告があり、新型膨張材を適用した場合についても、圧縮強度が若干高い値を示したことも踏まえ、同様な現象が生じているものと考えられる。次に、新型膨張材の混和量については、混和量の違いに対する明確な差は観察されなかった。

図-7に中性化試験結果を示す。ここで、同図中の式については、各水準の中性化速度係数(mm/ $\sqrt{\text{week}}$ )を $\sqrt{t}$ 則に基づいて算出したものである。同図より、PLコンクリートと比較して、EXコンクリートの中性化抵抗性が劣るといったことは観察されず、その値は、材齢182日で評価すると、PLコンクリートが13.9mmに対し、EX20コンクリートで11.9mmになり、EX25コンクリートで11.4mmとなった。既往の文献<sup>6)</sup>によると、膨張材を混和したコンクリートの中性化抵抗性は、PLコンクリートとほとんど変わらないとの報告があり、本試験においても同様な傾向が確認されたものとする。新型膨張材の混和量については、乾燥収縮ひずみの結果と同様、混和量の違いによる明確な差は観察されなかった。

図-8に凍結融解試験結果を示す。同図より、PLコンクリートと比較して、EXコンクリートの凍結融解抵抗性が劣るといったことは観察されず、サイクル回数が314回時において、全ての水準で相対動弾性係数が60%以上となった。既往の文献<sup>7)</sup>によると、膨張材を混和したコンクリートの凍結融解抵抗性は、それを用いないコンクリートと比較して低下することが報告されている一方、良質なエントレインドエアの導入及び所定量の確保によって、普通コンクリートと同等の耐凍害性が得られる場合もあるとの報告もあり、本試験においても

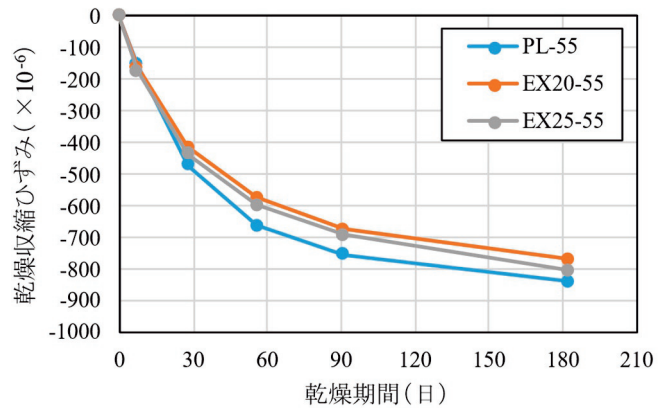


図-6 乾燥収縮ひずみの経時変化

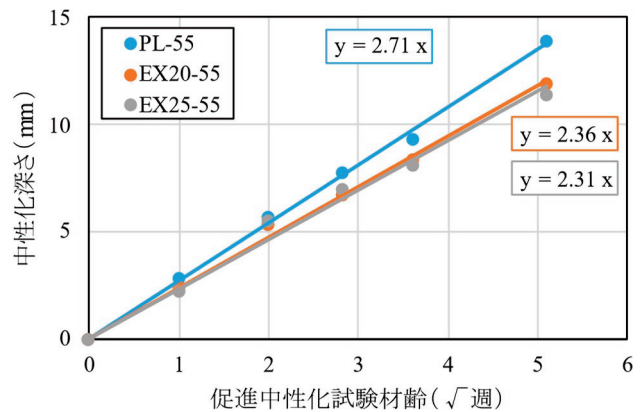


図-7 促進中性化試験結果

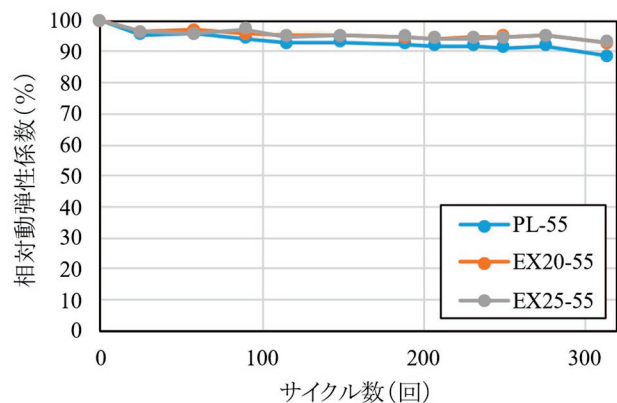


図-8 凍結融解試験結果

後者の報告と同様な傾向が見られたものと考えられる。

以上の結果より、「太平洋N-EX neo」を混和しても、コンクリートの耐久性に悪影響を及ぼさないことが確認されたものと考えられる。

## 5. 太平洋N-EX neoの適用事例

### 5.1 現場概要

表-8に使用したコンクリート材料一覧を、表-9にコンクリートの調合をそれぞれ示す。使用したコンクリートは、新型膨張材を混和した普通27-15-25Nであり、フレッシュコンクリートの目標スランプ及び目標空気量はそれぞれ、 $15 \pm 2.5$  (cm)と $4.5 \pm 1.5$  (%)とした。

図-9に現場概要を示す。同図中、打込み工区を便宜的に8つの部位に分け、打込み順序に応じて(a)~(h)の番号を施している。打込み対象は平面寸法17.2 (m) × 36.6 (m)、厚さ180 (mm)の土間である。コンクリートの打込み量は $110\text{m}^3$ 程度であり、ポンプ圧送による施工とした。施工場所は長野県松本市内、打込み日は2022年12月2日、天候は快晴であった。施工中、外気温が0℃を下回る可能性があったため、採暖養生を実施した。結果的に、外気温の平均は4.1℃、室内気温の平均は7.2℃であった。

### 5.2 各種試験結果

表-10にフレッシュ性状の試験結果を示す。同表より、新型膨張材を混和したコンクリートは、所定の目標性能を満足した。さらに、大量打込みの際の生コンクリートの品質については、大きな変動は見受けられず、所要の品質を維持していることが分かった。これらのことより、「太平洋N-EX neo」によるフレッシュ性状への大きな影響はないものと考えられる。

図-10及び図-11にブリーディング及び凝結時間の試験結果をそれぞれ示す。同図より、ブリーディング率は1.22%であり、ブリーディング終了時間は3時間30分であった。ここで、先述した20℃の基本性能で示した結果と比較すると、ブリーディング終了時間は、図-2で示した水セメント比55%で新型膨張材を $25\text{kg/m}^3$ 適用した試験結果と同様であり、本現場が平均7.2℃であったことを踏まえると、新型膨張材の混和による初期反応促進効果が得られたものと推察される。また、凝結の始発及び終結時間については、始発時間が6時間20分、終結時間が8時間35分となっており、基本性能で示した結果と比較すると、図-3で示した水セメント比55%で新型膨張材を $25\text{kg/m}^3$ 適用した試験結果と同様であったため、凝結時間からも「太平洋N-EX neo」による初期反応促進効果が得られたことが確認されたものと考えられる。

表-11に圧縮強度試験結果を示す。同表より、材齢7日で呼び強度に対応する $27\text{N/mm}^2$ を超えていることが分かる。また、図-12に拘束膨張試験結果を示す。同図

表-8 使用材料一覧

材料名	記号	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 $3.16\text{g/cm}^3$
膨張材	EX	初期反応促進型膨張材 密度 $2.98\text{g/cm}^3$
細骨材	S	長野県 梓川水系細骨材 表乾密度 $2.61\text{g/cm}^3$
粗骨材	G	長野県 梓川水系粗骨材 表乾密度 $2.64\text{g/cm}^3$

表-9 コンクリートの調合

W/C (%)	s/a (%)	単位量( $\text{kg/m}^3$ )				
		W	C	EX	S	G
51.5	44.5	164	319	25	800	980

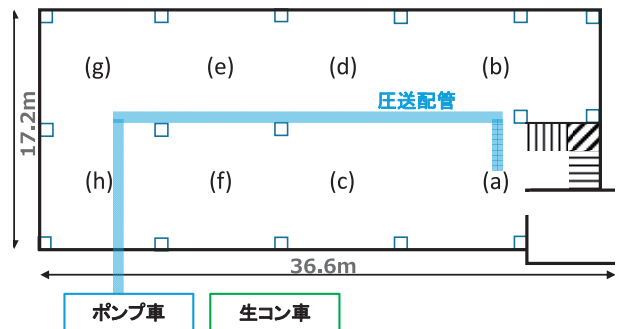


図-9 現場概要

表-10 フレッシュ性状の試験結果

時間	車両台数	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)
8:30	2台目	16.0	5.1	16
9:25	6台目	16.5	4.7	18
9:56	10台目	16.0	5.0	19
10:13	14台目	17.0	4.5	18
10:32	18台目	17.0	4.9	18
10:52	22台目	16.0	4.9	18
11:19	26台目	17.0	5.0	18

表-11 圧縮強度試験結果

新型膨張材を混和した 普通 27-15-25N	材齢	
	7日	28日
圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	30.4	39.9

より、拘束膨張ひずみは $+225 \times 10^{-6}$ 得られており、乾燥収縮ひずみの低減効果に相当する $+150 \times 10^{-6}$ を超えていることが分かる<sup>4)</sup>。また、材齢98日時点における拘束膨張収縮ひずみは $-270 \times 10^{-6}$ にあり、乾燥収縮も抑制されている傾向が確認された。これらの結果より、

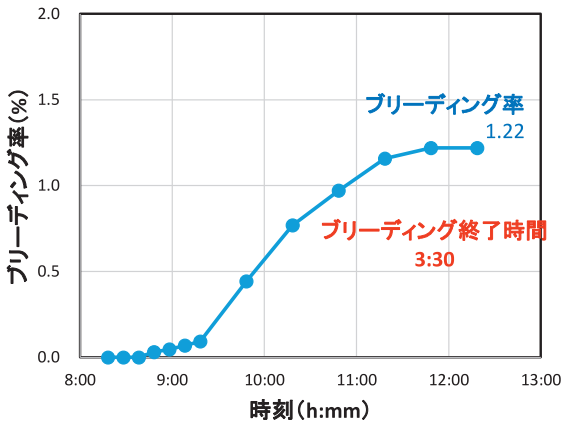


図-10 ブリーディング試験結果

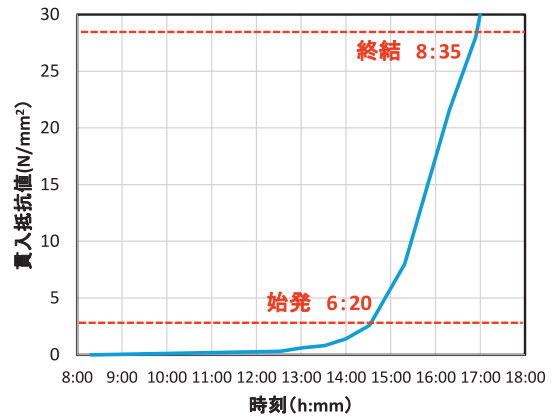


図-11 凝結時間試験結果

「太平洋N-EX neo」を混和した硬化コンクリートの品質は、混和していないものに比べ向上しているものと推察される。

### 5.3 床コンクリートにおける施工性及び仕上げ作業性の評価

表-12に床コンクリートの施工記録を示す。同表に示す時刻は、いずれも定点カメラの映像から判断したものである。同表によれば、打込み開始から終了までの全体時間は、約3時間であり、特に不具合は発生せず、床コンクリートの施工は完了した。また、打込み間隔については、各区画15～30分程度で計画通りに打込みできたことから、「太平洋N-EX neo」の適用によるコンクリート施工性への影響はないものと考えられる。床仕上げ開始及び終了時間については、必ずしも施工順序通りの開始及び終了時間とはなっておらず、(c)及び(f)の区画については、比較的早い時間で仕上げ作業が開始されていることが分かった。この原因として、ポンプ車側の床が日射の影響を受けたことが考えられる。しかしながら、日射の影響を受けていない区画(b)、(d)及び(e)の床仕上げ作業時間が極端に遅くなっていないことから、仕上げ順序の変更起因する待機時間は発生することなく、継ぎ目のない仕上げ作業が実施されたものと判断した。床仕上げ開始から終了までの全体時間は約5時間であったが、室内平均気温7℃の環境においても全体の仕上げ終了時間は19:00を少し過ぎる程度であった。従って、「太平洋N-EX neo」の適用は、寒冷期における床仕上げ作業時間の短縮を可能にするものと考えられる。写真-3にコンクリート打込み終了後56日における床の硬化状況を示す。床面にはひび割れ等の不具合もなく、健全な仕上がり状況であった。

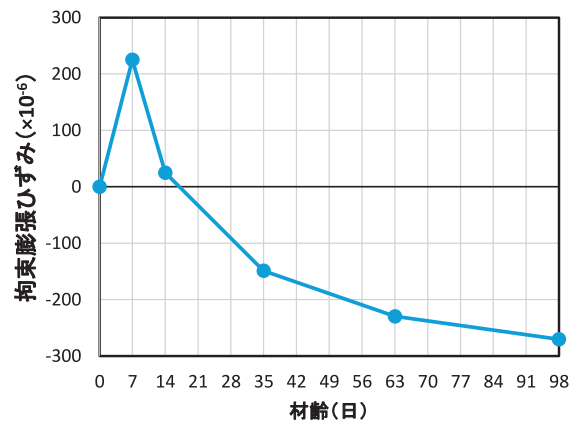


図-12 拘束膨張試験結果

表-12 床部材の施工記録一覧

施工部位	打込み開始時刻	打込み終了時刻	仕上げ開始時刻	仕上げ終了時刻
(a)	09:00	09:33	13:50	16:14
(b)	09:33	10:10	15:56	18:16
(c)	10:10	10:26	15:08	17:46
(d)	10:26	10:42	16:05	18:33
(e)	10:42	10:53	16:16	18:43
(f)	10:53	11:11	15:58	18:51
(g)	11:11	11:35	16:25	19:00
(h)	11:35	12:00	16:39	19:13

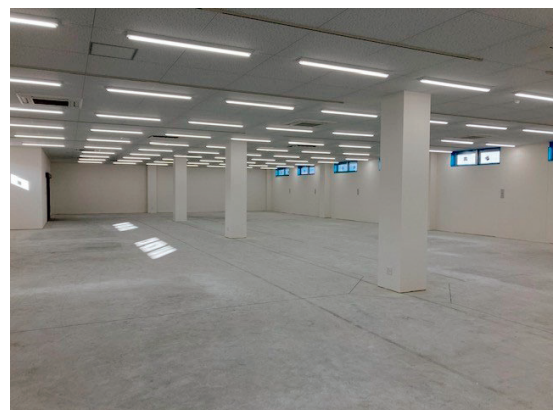


写真-3 床の硬化状況 (打込みから56日後)

## 6. まとめ

初期反応促進型膨張材「太平洋N-EX neo」の基本性能と床コンクリート工事への適用事例について、以下にまとめる。

- (1) 本膨張材を用いたコンクリートは、フレッシュ性状への大きな影響を与えることなく、初期反応促進効果が得られ、ブリーディング終了時間や凝結時間が早期化する。
- (2) 本膨張材を用いたコンクリートは、乾燥収縮ひずみの低減効果に相当する拘束膨張ひずみが導入でき、かつ、圧縮強度への影響も見られなかったことから、コンクリートの品質向上が期待できる。
- (3) 本膨張材を混和しても、コンクリートの耐久性に悪影響を及ぼすことはない。
- (4) 本膨張材を用いたコンクリートを現場適用することで、床コンクリートの所要の品質を満足するとともに、床仕上げ作業時間の短縮が可能となることが確認された。

### 【参考文献】

- 1) 国土交通省：令和5年版国土交通白書，2023
- 2) 折田現太，金子泰明，槇島修：凝結促進材料を添加したコンクリート仕上げ時間短縮効果に関する検討，とびしま技報 No.69, pp.35-36, 2021
- 3) 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
- 4) 土木学会：膨張コンクリート設計施工指針，コンクリートライブラリー75, 1993
- 5) 郭度連，佐竹紳也：膨張材および収縮低減剤を用いたコンクリートの収縮低減効果，コンクリート工学年次論文集 Vol.29 No.1, pp.574-578, 2007
- 6) 杉野亮雄，郭度連，竹下永造：膨張材を混和したコンクリートの耐久性，混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価に関するシンポジウム，pp.429-434, 2010
- 7) 竹下永造，長塩靖祐：膨張材を混和したコンクリートの凍結融解抵抗性評価に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.37 No.1, pp.817-822, 2015

### 【執筆者】



\*1 竹下 永造  
(TAKESHITA Eizo)



\*2 宮内 尊彰  
(MIYAUCHI Takaaki)



\*3 有馬 冬樹  
(ARIMA Fuyuki)



\*4 持丸 丈俊  
(MOCHIMARU Taketoshi)