耐寒無収縮モルタルの開発と橋梁支承モルタルへの適用

日本高圧コンクリート（株）	正会員	○中村　雅樹	北見工業大学	正会員	井上　真澄
北見工業大学	正会員	崔　　希燮	日本高圧コンクリート（株）	正会員	吉岡　憲一
日産化学（株）	正会員	須藤　裕司	北見工業大学　大学院		福間　優作
日本高圧コンクリート（株）		佐々木　清人	日本高圧コンクリート（株）		赤川　卓也

１．はじめに

セメント系無収縮モルタルは，橋梁の支承部やプレキャスト部材の間詰め部，橋梁耐震補強工事における鋼板巻立て工法の間詰め部など多様な構造物に使用されている．特に橋梁の支承工や鋼板巻立て工事が渇水期施工となる場合，無収縮モルタルの打込みが冬期になることもある．一般に施工時期の日平均気温が 4℃以下となる寒中施工では，ジェットヒーターなどの給熱機器を用いて打込まれたモルタル材が初期凍害を受けないとされる強度が発現するまで給熱・保温養生状態を維持することが求められる．しかし，構造物の一部である支承部や間詰め部などの給熱・保温養生状態を維持するためには構造物全体を覆う大掛かりな雪寒施設を設ける必要があり，使用する無収縮モルタルの量に対して設備が過大となるほか，給熱機器に使用する燃料も膨大となることも多い．

この問題の解決には，雪寒施設や給熱・保温養生を行わなくとも初期凍害の発生しない無収縮モルタルの開発が必要と考えられる．一般にセメント系材料に耐寒性能を付与し強度増進を図る場合，無塩化・無アルカリ型の亜硝酸塩や硝酸塩の硬化促進剤（耐寒剤）を使用し，打込み後の温度を 24 時間+5℃以上とするなどの保温養生を行っている [1)]．著者らは，このうち亜硝酸塩の一つである亜硝酸リチウムに着目し，−10℃程度の氷点下環境においても給熱・保温養生を必要としない耐寒無収縮モルタルの開発を目的として，亜硝酸リチウムを含有する耐寒剤を添加した無収縮モルタルの流動性と練混ぜ直後から−10℃で養生を行った場合の強度発現性や膨張収縮性挙動などについて検討を行った．また，橋梁支承モルタルを模した屋外実験を冬期の北海道で行い，実用化に向けた適用性の確認を行った．本稿では，耐寒無収縮モルタルの開発に向けた各種品質性能実験の結果報告および 2022 年 12 月に PC 上部工の支承部に耐寒無収縮モルタルを適用した施工報告を行う．

２．耐寒無収縮モルタルの開発

（1）概要

亜硝酸リチウムを添加した無収縮モルタルの圧縮強度や膨張収縮性などの諸特性を把握し，実構造物へ適用可能な耐寒無収縮モルタルの配合を設定するため，検討を行った．

（2）使用材料および耐寒無収縮モルタルの配合

無収縮モルタル材には，一般に使用されているプレミックスタイプのセメント系無収縮モルタル材（以下，プレミックス材と称す）を使用した．水結合材比（W/B）は，流動性試験（JSCE−F 541）により得られる流下時間の規格値 8±2 秒を満たすよう試験練りにて決定した．**表−1** に無収縮モルタルの基本配合を示す．この無収縮モルタルに耐寒性能を付与するために添加する硬化促進剤には，亜硝酸リチウムを主成分とする濃度 40%水溶液（密度：1.25g/cm³　以下，LN と称す）を使用した．LN 添加率は，プレミックス材の結合材質量に対して亜硝酸リチウムの固形分量の割合として計算し，−10℃の氷点下環境でも LN の凍結点降下作用により，強度増進を確認している既往の研究成果 [2), 3)] を参考に 6.0%とした．なお，事前に行った基礎検討において LN を添加すると耐寒性能および強度発現性は確保されるものの，練混ぜ

表−1　無収縮モルタル基本配合

W/B (%)	W (kg/m³)	プレミックス材 (kg/m³)	
		結合材B	細骨材S
34.4	322.5	937.5	937.5

キーワード　無収縮モルタル，耐寒剤，膨張材

連絡先　〒060-0003 北海道札幌市中央区北３西３丁目１－５４ 日本高圧コンクリート（株）PC 事業部　TEL011-241-7108

24 時間後の膨張率が収縮側に挙動することも確認している．これはプレミックス材の結合材にはセメントのほか，無収縮性を保持するために石灰系膨張材とアルミニウム粉末などが配合されているが，このうちアルミニウム粉末は，セメント中の水酸化カルシウムと反応して水素ガスを発生する化学反応[4]であるため，温度条件に対する依存性があること[5),6)]が報告されており，−10℃の環境では十分な初期膨張が得られず収縮側の挙動を示したと推察される．

よって，初期の収縮を防止する目的でアルミニウムを主成分とする粉末（密度 2.7g/m^3　以下，AL 粉末と称す）をプレミックス材に含有する結合材質量に対して追加添加することで，−10℃程度の氷点下環境においても品質性能を有する耐寒無収縮モルタルの開発に向けて実験を行った．

（3）実験条件および品質管理

コンクリート標準示方書【施工編】では，寒中施工において凍結融解作用を受けやすい場合には，コンクリートの打込み温度を 10℃程度に確保することが推奨されている[7)]．そこで，温度 10±1℃，湿度 85±5%の恒温恒湿室内にて各材料を温度管理し，同室内にてハンドミキサーを用いて耐寒無収縮モルタルの練混ぜを行った．その後，流動性試験（JSCE-F 541）を行い，流下時間を測定した．圧縮強度試験は，練混ぜ直後にφ50×100mm のブリキ製軽量型枠にモルタルを打込み，天端面をラップで覆い封緘した．その後，寒中施工を想定して−10℃恒温槽内にて封緘養生を行い，材齢 7 日に圧縮強度試験（JSCE-G 541）を行った．材齢 7 日以降は，−10℃封緘養生による凍害の影響を強度回復の有無で確認するため，20℃恒温槽において養生を行い（以下，回復養生と称す），材齢 28 日および材齢 56 日にも圧縮強度試験を行った．膨張率・ブリーディング率試験は，JSCE-F 535「PC グラウトのブリーディング率および体積変化率試験方法（鉛直管方法）（案）」を参考に高さが 1/4 である容量 1L のメスシリンダーを用いた．試験は，練混ぜ直後にメスシリンダーに供試体を採取し，−10℃恒温槽内にて養生を行い 24 時間経過した時点で計測した無収縮モルタルの高さを供試体採取直後の高さで除して膨張率を算出した．また，ブリーディング試験は，練混ぜ後および練混ぜ後 2 時間における供試体天端面のブリーディング率を確認した．凝結試験は，ASTM-C 403T「プロクター貫入抵抗針を用いるコンクリートの凝結試験方法」に準拠し，寒中施工の範囲において時間経過に対するモルタル材の凝結過程を測定し，表面仕上げや養生などを行う時期の目安を把握するため，+4℃の恒温槽内で供試体を保管し，測定時に恒温槽から取り出して貫入試験を行った．**表-2** に実験要因を示す．

表-2　実験要因

項　目	仕　　様
練混ぜ環境	10±1℃，85±5%RH
養生条件	-10℃恒温槽養生
流動性試験（JSCE-F 541）	8±2秒（J14漏斗）
圧縮強度試験 （JSCE-G 541）	材齢7日まで -10℃，以後20℃回復養生 圧縮強度試験：材齢7日，28日，56日
膨張率･ブリーディング率試験 （JSCE-F 535）	供試体採取後，24時間での膨張率 練混ぜ後および2時間後のブリーディング率
凝結時間 （ASTM-C 403T）	始発：貫入抵抗値が3.5N/mm^{2}になるまで 終結：貫入抵抗値が28.0N/mm^{2}になるまで

（4）実験結果および考察

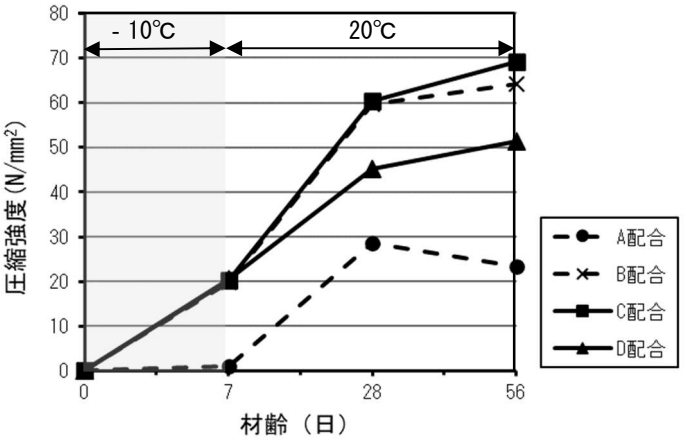
耐寒無収縮モルタルの強度発現性など品質性能を確認する実験は，LN 添加率を初期凍害の影響がない 6.0%とし，初期膨張の程度を確認するため，AL 粉末添加率を 0.000%（無添加），0.055%，0.150%とした配合と通常の無収縮モルタルの配合（LN，AL 粉末ともに無添加）の 4 配合で実験を行った．**表-3** に 4 配合（A～D）の実験結果を示す。

表-3　実験結果

試験項目		規格値	試験値			
			A配合 (PAL-0.000-LN0)	B配合 (PAL-0.000-LN6)	C配合 (PAL-0.055-LN6)	D配合 (PAL-0.150-LN6)
			AL=0.000%		AL=0.055%	AL=0.150%
			LN=0.0%	LN=6.0%		
流動性（秒）		8±2	7.9	6.3	8.5	7.7
圧縮強度 (N/mm^2)	σ7	-	1.0	19.7	20.2	20.6
	σ28	45以上※	28.6	59.7	60.4	45.2
	σ56	-	23.3	64.1	69.2	51.4
膨張率（%） （養生温度）		σ7で収縮を示さない	+0.20 (+20℃)	-0.55 (-10℃)	+0.59 (-10℃)	+3.30 (-10℃)
ブリーディング率		練混ぜ2時間後2%以下	0.0	0.0	0.0	0.0
凝結試験	始発	1時間以上	-	5-30	5-30	6-36
	終結	10時間以内	-	7-20	7-10	8-59

※：標準養生における規格値

流動性試験およびブリーディング率試験は，4 配合とも規格値を満足しており，適切な流動性を有し，ブリーディングが生じていないことを確認した．凝結試験は，AL 添加率を 0.150%とした D 配合においてB 配合，C 配合に比べて遅延傾向を示したが，規格の範囲内となった．A 配合については初期凍害を生ずることから，凝結実験を行わなかった．膨張率試験について，A 配合は凍結膨張の影響があるため，参考までに 20℃環境下における膨張率を確認したところ，+0.20%の膨張を確認した．AL 粉末無添加の B 配合では膨張率が−0.55%となり，既往の研究成果と同様に収縮側に挙動した．また，AL 粉末を添加した C 配合および D 配合では+0.59%，+3.30%の膨張側に挙動することを確認した。圧縮強度試験について，A 配合は材齢 7 日の圧縮強度が 1.0N/mm^2 となり，回復養生を行っても材齢 28 日の圧縮強度は，標準養生の規格値を大きく下回る結果となった．これは，モルタル中の水分の凍結挙動の影響で初期凍害を受けたものと考えられる．一方，B 配合～D 配合では材齢 7 日の圧縮強度が 19.7～20.6N/mm^2 であり，回復養生後の強度増進も確認できるため，LN の凍結点降下作用によって凍結が抑制されるとともに LN に含有する亜硝酸イオンがセメントの水和反応を促進させたことで強度が増進したものと考えられる．材齢 28 日の圧縮強度は，B 配合～D 配合において標準養生での圧縮強度規格値を満足しているが，D 配合では圧縮強度下限値に近い結果となった．これは AL 粉末の発泡作用による膨張が+3.30%と大きいため，圧縮強度下限値に近い結果となったと考えられる．また，材齢 56 日において若干ではあるが強度増進を確認した．**図−1** に圧縮強度試験の結果を示す。



図−1　圧縮強度試験結果

（5）まとめ

本実験の範囲において LN 添加率を 6.0%とし，AL 粉末添加率を 0.055～0.150%の範囲とすることで−10℃程度の氷点下環境においても無収縮モルタルの品質性能を満足することを確認した．また，AL 粉末添加率が 0.150%を超えると AL 粉末の膨張の影響により，材齢 28 日の標準養生における圧縮強度規格値を満足しないと推察できるため，LN 添加率 6.0%，AL 粉末添加率 0.055～0.150%の範囲で所定の流動性と無収縮性が得られるよう耐寒無収縮モルタルの配合設計を行えばよいと考える．

３．耐寒無収縮モルタルの付着強度試験

（1）概要

耐寒無収縮モルタルを橋梁上部工の支承モルタルに適用する場合，間詰め部への充填時に要求される自己充填性能に加えて支承アンカーボルトとの付着性能が要求される．このため，LN と AL 粉末を添加した耐寒無収縮モルタルを−10℃程度の氷点下環境にて養生を行った場合の付着強度試験を行った．

（2）耐寒無収縮モルタルの配合

表−1 に示す無収縮モルタルの配合をベースとし，**第２章**で得られた実験結果を踏まえて初期凍害の影響を受けていない B 配合～D 配合を付着強度試験の評価対象とした．

（3）実験条件および方法

耐寒モルタルの付着強度試験は，JSCE−G 503「引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法（案)」に準拠した．試験体は一辺の長さが 150 ㎜の立方体とし，中央に D16 の鉄筋（異形棒鋼）を配置した．鉄筋とモルタル試験体の付着区間は自由端側に設け，その長さを鉄筋（D16）の直径の 4 倍（4D＝64mm）とした．また，モルタル試験体は配合ごとに 3 体（No.1～No.3）作製した．**図−2** に引抜き試験体の概要を示す．

各材料の温度管理は**第２章（３）**と同じく寒中施工を想定して 10±1℃，湿度 85±5%の恒温恒湿室内にて

温度管理し，同室内にてハンドミキサーを用いて練混ぜを行った．流動性試験（JSCE-F 541）にて性状が適切であることを確認後，耐寒無収縮モルタルを型枠に打込み，その直後から-10℃の恒温槽内において材齢 7 日まで封緘養生を行った．材齢 7 日以降は材齢 28 日まで 20℃の恒温槽内にて回復養生を行い，材齢 28 日において引抜き試験を行った．なお圧縮強度も確認するため，ブリキ製型枠に耐寒無収縮モルタルを打込み，引抜き試験体と同一条件にて養生を行った．**表-4** に圧縮強度試験結果を示すが，3 配合とも材齢 28 日における圧縮強度は標準養生での規格値である 45N/mm^2 を満足していることを確認した．

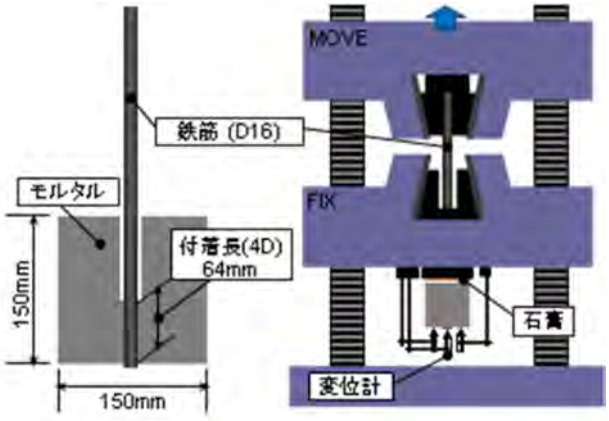


図-2　引抜き試験体概要および載荷試験方法

引抜き試験は，**図-2** に示す万能試験機の固定側となる下側の載荷梁下部にモルタル試験体をセットし，上側の載荷梁で鉄筋をチャック締めして引き上げることにより載荷を行った．その際，載荷時の偏心の影響を極力低減させるため，試験体表面と載荷板の間には硬質石膏による不陸調整を行った．載荷は，鉄筋の引張応力度の増加が毎分 50N/mm^2 以下となる載荷速度で実施した。また，鉄筋のすべり量は自由端側の鉄筋とその周辺のモルタル面に変位計を取り付け，その相対変位により測定した．

表-4　圧縮強度試験結果

配　合　名	圧縮強度 (N/mm^2)	
B配合 (PAL-0.000-LN6)	63.4	62.5
	60.9	
	63.1	
C配合 (PAL-0.055-LN6)	61.4	61.2
	60.2	
	62.0	
D配合 (PAL-0.150-LN6)	46.9	50.3
	52.2	
	51.9	

（4）実験結果および考察

表-5 に B 配合～D 配合の最大荷重時の最大付着応力度の一覧を示す．また，**図-3** に付着応力～すべり曲線を示す．本実験では，すべての試験体において最大荷重時にモルタル試験体が割裂破壊した．各試験体の最大荷重から算出した最大付着応力度の平均値は，B 配合 12.5N/mm^2，C 配合 15.6N/mm^2，D 配合 13.7N/mm^2 であった．最大付着応力度は 3 配合とも大きな差は見られないが，B 配合および D 配合は，実験初期からすべりが生じている．この原因として，B 配合は AL 粉末無添加の配合で膨張率が収縮側に挙動している影響，D 配合は AL 粉末による膨張率が大きく，他の 2 配合よりも強度が低いことが影響していると考えられる．

表-5　最大付着応力度一覧

配合名	供試体 No	最大荷重P (kN)	最大付着応力度 τ (N/mm^2)
B配合 (PAL-0.000-LN6)	1	45.0	14.0
	2	37.8	11.8
	3	37.9	11.8
	平均	-	12.5
C配合 (PAL-0.055-LN6)	1	51.0	15.9
	2	49.5	15.4
	3	50.0	15.5
	平均	-	15.6
D配合 (PAL-0.150-LN6)	1	47.5	14.8
	2	38.9	12.1
	3	45.5	14.1
	平均	-	13.7

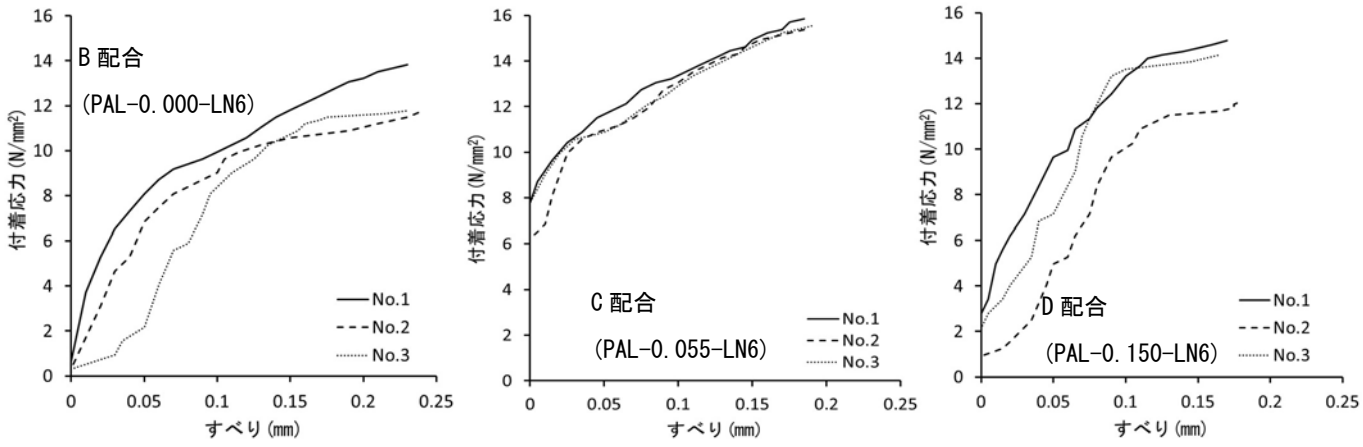


図-3　付着応力～すべり曲線

（5）まとめ

道路橋示方書・同解説では，無収縮モルタルとアンカーボルトの付着強度の特性値は，支承が取り付けられる下部構造のコンクリート設計基準強度(21～60N/mm^2)に対して異形棒鋼を用いる場合2.40～3.40N/mm^{2}と規定されている[8]．本実験で得られた鉄筋の最大付着応力度は，この特性値を大きく上回っており，－10℃の氷点下環境履歴を受けた場合であっても十分な付着強度を有すると考える。

４．耐寒無収縮モルタルの屋外実験

（1）概要

寒中施工の橋梁支承モルタルを想定し，冬期の最低気温が-10℃を下回ることもある北海道千歳市で耐寒無収縮モルタルの性能実験を行った．期間は令和4年1月から令和4年3月とし，実際の建設現場に近い環境とするため，日々の気温差や昼夜の気温差が生じる屋外のコンクリート床面に耐寒無収縮モルタルを施工し，屋外環境での耐寒性能，無収縮性および強度を確認した．

（2）耐寒無収縮モルタルの配合

実験で使用した耐寒無収縮モルタルの配合は，LNを6.0%添加したB配合（PAL-0.000-LN6）とこれにAL粉末を0.055%添加したC配合（PAL-0.055-LN6）とした．**表-6**に耐寒無収縮モルタルの配合を示す．

表-6　耐寒無収縮モルタル配合

配合名	W/B (%)	W' (kg/袋)	プレミックス材(kg/袋)		LN水溶液 (kg)	AL (g)
			結合材B	細骨材S		
B配合	36.0	3.375	12.5	12.5	1.875	0.00
C配合	36.0	3.375	12.5	12.5	1.875	6.88

練混ぜ水量W　1.875kg×0.6+3.375kg=4.5 kg

LN添加率　1.875kg×0.4=0.750kg(LN固形分量)

0.750kg/12.5kg×100=6.0%

AL添加率　6.88g/12500g×100=0.055%

（3）実験条件および品質管理

屋外実験は，コンクリート床面に橋梁支承モルタルを模した500㎜×500㎜×30㎜の型枠を設置した．使用材料を10℃の室内にて温度管理を行い，ハンドミキサーを用いて練混ぜを行った．練混ぜ後，流動性試験（JSCE-F 541）を行い，流下時間を測定した．圧縮強度試験は，練混ぜ直後にφ50×100mmのブリキ製軽量型枠に打込み，天端面をラップで覆い封緘後，屋外にて気中養生を行い，所定材齢で圧縮強度試験（JSCE-G 541）を行った．膨張率・ブリーディング試験は，JSCE-F 535「PCグラウトのブリーディング率および体積変化率試験方法（鉛直管方法）（案)」を参考に高さが1/4である容量1Lのメスシリンダーを用いた．試験は，練混ぜ直後にメスシリンダーに供試体を採取後，気中養生を行い24時間経過した時点で計測した無収縮モルタルの高さを供試体採取直後の高さで除して膨張率を算出した．またブリーディング試験は，練混ぜ後および練混ぜ2時間後において供試体天端面のブリーディング率を確認した．実験要因を**表-7**に示す．

表-7　実験要因

項　目	仕　様
練混ぜ環境	上屋付き屋外
流動性試験 (JSCE-F 541)	8±2秒（J14漏斗）
圧縮強度試験 (JSCE-G 541)	気中養生：材齢7日，28日
膨張率 ブリーディング率試験 (JSCE-F 535)	供試体採取後，24時間での膨張率 練混ぜ後，2時間でのブリーディング率

（4）実験結果および考察

表-8に屋外実験の結果を示す．本実験では，-10℃程度の氷点下環境においても初期凍害の影響を受けないようLN添加率を6.0%と設定したが，1月25日と2月7日の実験では材齢初期に最低気温が-10℃を下回る日もあった．この両日の材齢7日の圧縮強度は他の実験日よりも小さな結果となったが，凍結の影響は受けていないものと考えられる．

図-4に実験日ごとの圧縮強度と気温のグラフを示す．材齢初期に低温環境に曝されると材齢7日の圧縮強度は低くなる傾向を示すが，材齢28日では適切に強度が発現することを確認した．また，膨張率についてAL粉末を添加した場合，気温により膨張率に差異はあるが 0.055%の添加率であれば-10℃程度の氷点下環境において無収縮性を確保することも併せて確認した．

表-8　屋外実験結果

配合		B配合 (PAL-0.000-LN6)					C配合 (PAL-0.055-LN6)				
実験日		1月11日	2月7日	2月28日	3月22日	3月29日	1月25日	2月7日	2月28日	3月22日	3月29日
流動性(秒)		6.4	6.4	6.7	6.7	6.3	7.3	6.7	6.5	7.1	7.4
材齢1日までの最低気温(℃)		-2.4	-13.3	-8.1	-3.6	1.7	-7.0	-13.3	-8.1	-3.6	1.7
圧縮強度 (N/mm^2)	σ7	41.5	31.8	40.1	46.7	41.2	30.0	29.9	37.4	40.6	37.4
	σ28	50.6	50.9	56.4	57.5	61.6	47.5	47.7	51.9	49.5	51.9
材齢7日での膨張率(%)		-0.81	-0.67	-0.62	-0.70	-0.78	+0.28	+0.77	+0.24	+0.63	+0.59
材齢7日までの気温	最高(℃)	2.1	-0.4	3.3	9.2	12.3	2.0	-0.4	3.3	9.2	12.3
	最低(℃)	-11.2	-16.5	-11.3	-3.6	-4.9	-18.5	-16.5	-11.3	-3.6	-4.9
ブリーディング率(%)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

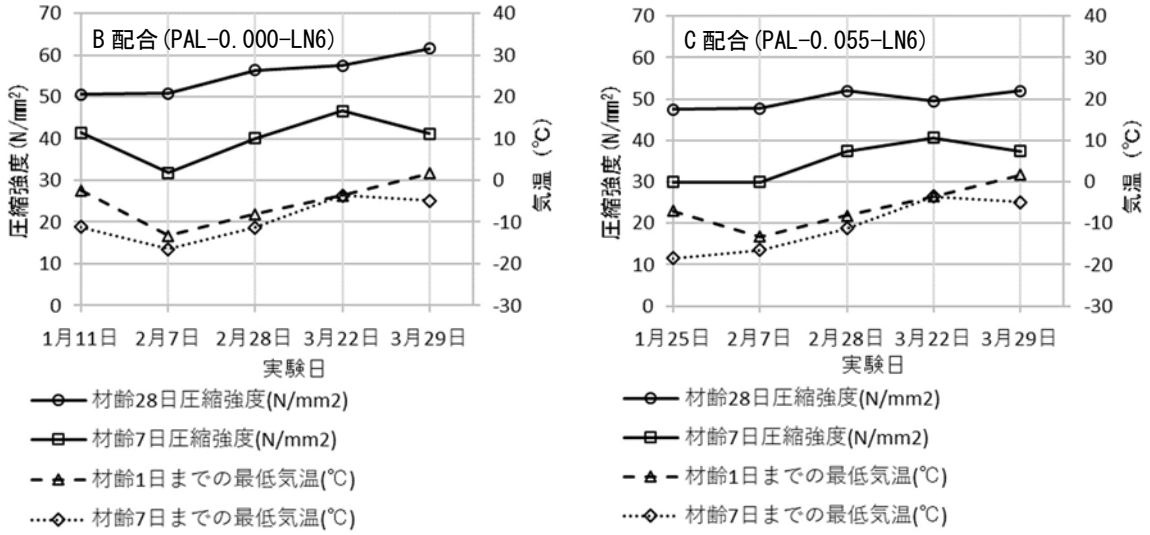


図-4　圧縮強度，気温グラフ

(5)まとめ

LN を 6.0%添加することで日々の気温差や昼夜の気温差がある場合においても凍結の影響を受けずに適切に強度が増進し，AL 粉末を追加添加することで無収縮性も確保することを確認した．また，打込み初期に一時的に-10℃を下回る環境に曝された場合，材齢 7 日の圧縮強度は低下傾向を示すが長期的に強度が増進することから，-10℃程度までの氷点下環境であれば無収縮モルタルの諸性能を満足すると考える．

5．耐寒無収縮モルタルの支承モルタルへの適用

(1)概要

これまでの実験結果により，-10℃程度までの氷点下環境において無収縮モルタルの諸性能を満足することが確認できたため，PC 上部工事の支承モルタルに耐寒無収縮モルタルを適用した．表-9 に工事概要，図-5 に橋梁上部工の主桁断面図を示す．

表-9　工事概要

工 事 名	萬二橋架替工事2工区
発 注 者	北海道　東川町
工事場所	北海道上川郡東川町
工　期	令和4年8月8日～令和5年3月24日
構造形式	2径間連続中空床版橋
橋　長	L=65.000m
支 間 長	31.700m+31.700m

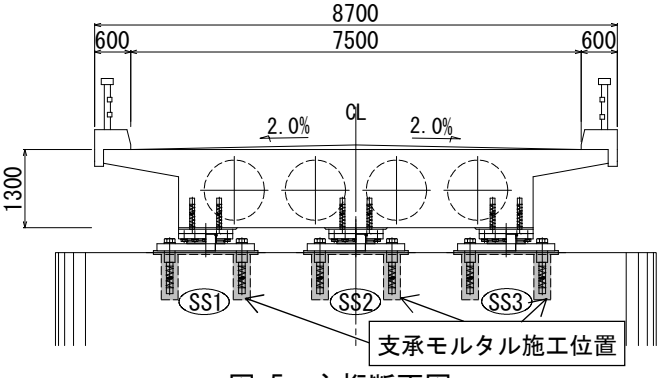


図-5　主桁断面図

（2）耐寒無収縮モルタルの配合

支承への耐寒無収縮モルタルの打込みは 12 月 8 日に行った．支承モルタル打込み後に初期凍害を受けることのないよう耐寒無収縮モルタルのLN添加率をプレミックス材の結合材質量の6.0%とした．また，施工前日にφ50 ㎜×h=100 の空洞を有する B=100 ㎜×L=100 ㎜×h=135 ㎜のモルタル供試体に耐寒無収縮モルタルを打込む膨張率試験を行い，この結果から AL 粉末添加率をプレミックス材の結合材質量の 0.110%とした．打込み前日に実施した耐寒無収縮モルタルの膨張率試験状況を**写真-1**，膨張率試験に基づき決定した耐寒無収縮モルタルの配合を**表-10** に示す．



写真-1　膨張率試験状況

（3）耐寒無収縮モルタルの品質管理

支承部へのモルタル打込み時の温度が 10℃程度となるよう使用材料の温度管理を行い，ハンドミキサーを用いて練り混ぜを行った．練混ぜ後，流動性試験（JSCE-F 541）を行い，流下時間を測定した．また，練混ぜ直後に現場養生用と標準養生用の供試体を作成し，所定の材齢で圧縮強度試験（JSCE-G 541）を行った．品質管理試験結果を**表-11** に示すが，雪寒施設などの特別な養生を行わなくとも初期凍害の影響を受けずに無収縮モルタルの諸性能を満足する支承モルタルの施工を行ったと考える．**写真-2** に支承モルタルの施工状況を示す．

表-10　無収縮モルタル配合

W/B (%)	W' (kg/袋)	プレミックス材(kg/袋)		LN 水溶液 (kg)	AL (g)
		結合材B	細骨材S		
36.0	3.375	12.5	12.5	1.875	14.0

練混ぜ水量W	1.875kg×0.6+3.375kg=4.5 kg
LN添加率	1.875kg×0.4=0.750kg(LN固形分量) 0.750kg/12.5kg×100=6.0%
AL添加率	14.0g/12500g×100=0.110%

表-11　支承モルタル品質管理試験結果

試験項目		規格値	試験値
流動性(秒)		8±2	平均：7.2
練上がり温度(℃)		-	20
圧縮強度 (N/mm^2)	σ3(標準養生)	25以上	3個の平均：44.6
	σ28(標準養生)	45以上	3個の平均：57.0
	σ28(現場養生)	-	3個の平均：54.0
膨張率(%)		σ7で収縮を示さない	+1.1



写真-2　支承モルタル施工状況

（4）耐寒無収縮モルタルの温度管理

本工事の支承モルタルの施工では，打込み後の材齢初期にモルタル温度が-10℃を下回る期間が継続すると初期凍害を受ける可能性があるため，万が一に備えてジェットヒーターなどの養生機器を準備した上で支承モルタルの打込みを行い，モルタル温度と気温の管理を行った．コンクリート標準示方書では，初期凍害に対する抵抗性を有する圧縮強度は，5N/mm² 以上としており [7]，これ

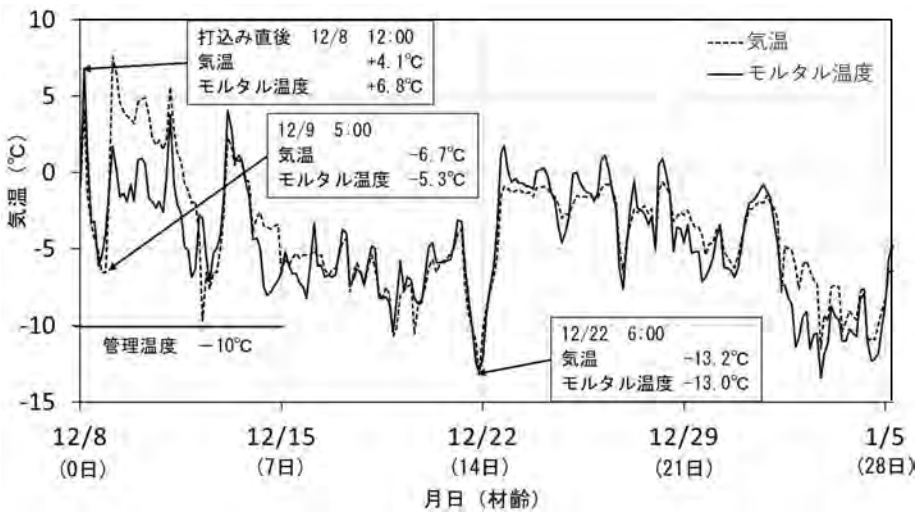


図-6　支承モルタル温度管理グラフ

までの実験による圧縮強度結果を踏まえてモルタルの管理温度を材齢 7 日まで - 10℃と定めて材齢 7 日までの期間，-10℃を継続的に下回る可能性がある場合，ジェットヒーター養生を行うこととした．また，モルタル温度と気温の計測は材齢 28 日まで行った．

図-6 に打込まれたモルタル温度と気温の管理グラフを示す．打込み時のモルタル温度は 6.8℃であり，当初計画の 10℃を若干下回ったが，材齢 7 日まで管理温度以上で推移した．12 月 22 日（材齢 14 日）の早朝にモルタル温度が-10℃を下回ったが，すでに初期凍害の影響を受けない強度まで達しており，材齢 28 日で十分な圧縮強度に達していることから，品質性能を確保した耐寒無収縮モルタルの施工を行ったと考える．

６．おわりに

セメント系無収縮モルタルの寒中施工は，打込まれたモルタル材が初期凍害を受けないとされる強度が発現するまで給熱・保温養生が必要であるため，構造物の種類によってはモルタル施工量に比べて雪寒施設などの設備が大掛かりとなることもあった．このため，特別な養生を行わなくとも強度発現性と無収縮性を有した耐寒無収縮モルタルの開発に向けた実験を行った．耐寒剤としてLNを添加し，AL粉末を追加添加することで無収縮性を確保したが，AL粉末の添加率が高いと膨張の影響で強度低下を生じるため，本実験ではAL粉末の最適添加率の範囲を設定した．また，橋梁の支承モルタルなどでは，鋼材との付着性能も要求されるため，付着強度試験も行い，実用化に向けた室内実験を行った後，屋外実験においてその品質を確認し，橋梁上部工の支承モルタルに適用した．これらの結果により，LNの凍結点降下作用による耐寒性能とAL粉末の適正量添加によって，-10℃程度までの氷点下環境において無収縮モルタルの諸性能を満足できると考える．

セメント系無収縮モルタルは流動性に優れ，小さな間隙にも適切に充填できる材料であるため，本技術を適用することで-10℃程度までの氷点下環境において特別な養生を行わなくとも無収縮モルタルの施工が可能となる．この結果，寒中施工を行う多くの建設現場での生産性向上と品質確保が実現すると考える．また，雪寒施設が不要であるため，ジェットヒーターを用いた給熱養生も必要ないことから，温室効果ガスの排出削減にも貢献できると考える。

最後に北海道東川町都市建設課の皆様には，耐寒無収縮モルタルを萬二橋の支承モルタルに適用するにあたり，実験データに基づく施工計画協議の実施，支承モルタル打込み時の施工管理など多大なご指導・ご協力を賜りましたことを深く感謝申し上げます。

参考文献

1) 通年施工推進協議会：耐寒剤運用マニュアル（案），pp. 4-6，2005
2) 井上真澄，崔希燮，田家康平，須藤裕司，吉岡憲一：亜硝酸塩を添加したセメントペーストの氷点下における強度発現性，材料，Vol71，No. 4，pp. 388-394，2022
3) 井上真澄，吉岡憲一，須藤裕司，崔希燮，田家康平：亜硝酸リチウムを添加した耐寒 PC グラウトの基礎物性とその実用性の検討，土木学会論文集，Vol. 78，No. 3，pp. 210-223，2022
4) 阿久津兼二：起ほう剤・発ぽう剤，コンクリート工学，Vol. 16，No. 3，pp. 59-61，1978
5) 川島宏幸，平田隆洋，十河茂幸：PS アンカーの急速施工に適した早強性グラウトの実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 19，No. 1，pp. 1447-1452，1997
6) 神代泰道，小柳光生，中島啓喜：膨張性高流動コンクリートによる沈下補償に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 30，No. 1，pp. 153-158，2008
7) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書【施工編】，pp. 165-167，2017
8) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説　Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編（平成 29 年 11 月），pp. 211-213，2017