

## 論文 凝結遅延モルタルの凝結時間のばらつきの抑制に関する検討

佐野 忍<sup>\*1</sup>・小林 聖<sup>\*2</sup>・佐川 康貴<sup>\*3</sup>・園田 佳巨<sup>\*4</sup>

**要旨：**壁状部材における外部拘束によるひび割れを抑制することを目的として、凝結遅延剤を添加して凝結時間を数日から数週間に大幅に遅延させたモルタルを打継ぎ部に敷設し、拘束応力を低減する方法について検討を行っている。これまでの検討において、本モルタルの凝結時間がばらつき、さらにブリーディングが発生することが課題となっていた。ここでは、凝結時間のばらつきの原因としてモルタルに使用している材料に着目した検討を行い、セメントと細骨材を変更することで一定の凝結時間を確保できることを明らかにした。また、増粘剤を添加することで長期にわたりブリーディングを発生させない配合とすることができた。

**キーワード：**ひび割れ, 打継ぎ部, 拘束応力, 凝結時間, 凝結遅延剤

### 1. はじめに

ボックスカルバートや貯水槽、L型擁壁など、スラブ状の部材の上に、壁状の部材を打ち継ぐ場合、図-1に示すように、壁状部材には外部拘束によってひび割れが生じる場合が多い。このひび割れによって、貯水槽や地下構造物では漏水が生じたり、劣化因子が侵入して鉄筋腐食が助長され、早期に構造物の耐久性が低下する可能性が高くなるため、その抑制が求められている。

既往の研究として、打継ぎ部に凝結を数日間遅延させたコンクリートを打ち込み、ひび割れの主要因となっている底版からの拘束応力を数日間低減する研究が行われている<sup>1)</sup>が、凝結を遅延させる期間が短いなどの理由により、現状では技術的に確立されていない。筆者ら<sup>2)</sup>は、凝結時間（ここでは終結までの時間を凝結時間としている。）を数日から数週間まで大幅に遅延させたモルタル（以下、凝結遅延モルタルと称す）を敷モルタルとして敷設する工法を検討した（図-2）。これにより、確実に拘束応力を低減するための必要日数を確保することが可能となる。

これまでに、この概念の成立性を評価するため、スラブ状部材に壁状部材を打ち継ぐことを想定した構造物のモデルを用いて温度応力解析を行い、拘束応力の抑制効果があることを報告している<sup>2)</sup>。さらに、凝結遅延モルタルの配合選定を行い、その配合を用いて打継ぎ部を模擬した実験を行い、凝結遅延モルタルを敷設することでひび割れ抑制効果があることが分かっている。

ただし、凝結遅延モルタルは、同一配合において凝結時間が大きくばらつくこと、水セメント比の増大に伴い、ブリーディング率が著しく高くなるという問題があることが分かっている。凝結時間のばらつきは、打継ぎ部の拘束応力を低減するための未凝結日数の不足を招き、ひ

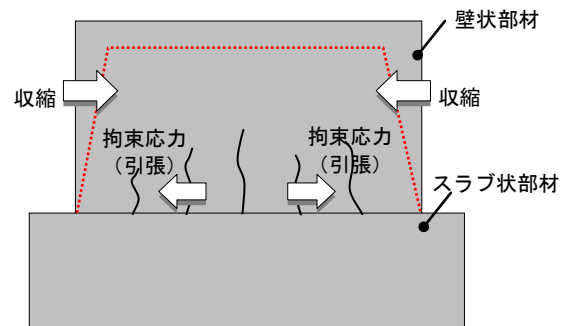


図-1 打継ぎ部における拘束応力発生状況

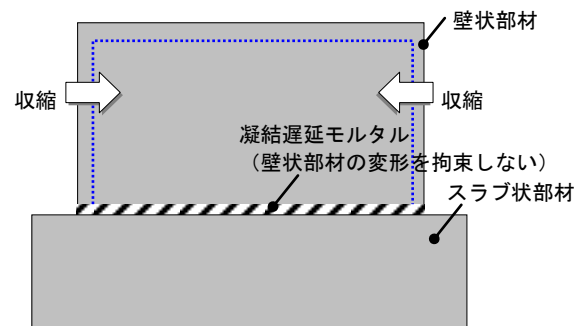


図-2 凝結遅延モルタルによるひび割れ抑制手法

び割れが発生する可能性が増大する。また、凝結遅延モルタルの過大なブリーディングは、打継ぎ部の付着性能の低下を招き、構造的および耐久性上の弱点となる可能性がある。

そこで、凝結時間のばらつきに影響を及ぼしている要因を抽出するために、凝結遅延モルタルに使用している材料を変更して、ばらつきを抑制するための配合検討を行った。さらに、増粘剤を使用することでブリーディングを防止する検討を行った。

\*1 鹿島建設(株) 九州支店 土木営業部 (正会員)

\*2 鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料グループ 修士(工学) (正会員)

\*3 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 准教授 博士(工学) (正会員)

\*4 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 教授 博士(工学) (正会員)

## 2. 凝結遅延モルタルの配合検討

### 2.1 凝結時間のばらつきの要因抽出

凝結遅延モルタルに使用している材料に着目し、凝結時間のばらつきの要因を抽出した。

#### (1) 検討ケース

これまで、普通ポルトランドセメントおよび砕砂を使用し、S/C（砂セメント比）は3とした配合において、水セメント比と凝結時間の関係を把握した<sup>2)</sup>。試験結果を図-3に示す。図に示すように、凝結時間にばらつきがある結果となっている。凝結時間がばらつく理由として、凝結遅延剤の凝結遅延効果が阻害されている可能性が考えられる。一般的に凝結遅延剤はセメント粒子に吸着し、水和作用を阻害することで凝結を遅延させている<sup>3)</sup>とされている。しかし、凝結遅延剤の主成分であるオキシカルボン酸塩などの有機化合物はセメント中のC<sub>3</sub>Aにも吸着し、遅延効果を十分に発揮できない可能性があることが示唆されている<sup>4)</sup>。そこで、普通ポルトランドセメントよりC<sub>3</sub>Aの少ない低熱ポルトランドセメントを検討ケースとして設定した。また、その他にも細骨材の微粒分や不純物などの影響により、オキシカルボン酸塩の凝結遅延機能が阻害されている可能性が考えられる。そこで細骨材には一般的な砕砂と山砂のブレンドに加えて、微粒分や不純物が少ない天然珪砂4号を検討ケースとして設定した。なお、ばらつきが比較的小さい水セメント比45%の配合を標準配合として設定した。

#### (2) 使用材料および配合

使用材料を表-1に、配合を表-2に示す。水セメント比は45%とした。施工の観点から流動性を確保するために、モルタルフロー試験（JIS R 5201を参考、打撃なし）により、フロー値が200mm程度となるようにS/Cを調節した。凝結遅延剤の添加率は、セメントの質量に対して2.00%とした。なお、配合計算上では空気量は考慮しないこととした。

#### (3) 試験項目

フレッシュ性状の確認試験項目を表-3に示す。フレッシュ性状の確認試験として、モルタルフロー試験と凝結時間試験およびブリーディング率試験を行った。モルタルフロー試験はJIS R 5201を参考とし、打撃なしの試験結果を評価した。凝結試験のプロクター貫入頻度は1週間で2回とし、終結付近においては適宜追加した。ブリーディング率試験は、凝結を遅延させたコンクリートはブリーディングが多くなるため<sup>5)</sup>、材齢7日において測定を行った。各試験は20℃に設定された室内で行った。標準配合のみ、凝結時間試験およびブリーディング率試験を5回実施した。

#### (4) 試験結果

凝結時間試験の結果を図-4に示す。標準配合は前述

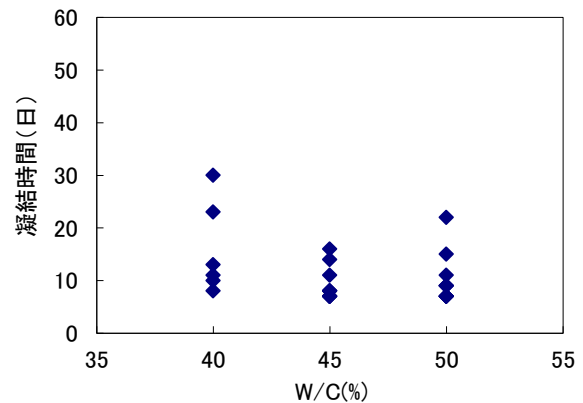


図-3 凝結時間試験の結果

表-1 使用材料

材料	記号	摘要
水	W	上水道水
セメント	N	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm <sup>3</sup> , 比表面積: 3,310cm <sup>2</sup> /g
	L	低熱ポルトランドセメント, 密度: 3.22g/cm <sup>3</sup> , 比表面積: 3,270cm <sup>2</sup> /g
細骨材	S1	砕砂, 密度: 2.65g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率: 2.74
	S2	山砂, 密度: 2.61g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率: 1.61
	S3	天然珪砂4号, 密度: 2.64g/cm <sup>3</sup>
凝結遅延剤	T	遅延性の混和剤(オキシカルボン酸塩系)
増粘剤	V	バイオポリマー

表-2 配合

ケース名	W/C (%)	S/C	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					T (C×%)	
			W	N	L	S1	S2		S3
標準	45	2.0	295	656	-	1116	197	-	2.00
低熱		2.0	295	-	656	1127	198	-	
珪砂		2.2	280	623	-	-	-	1379	
低熱+珪砂		2.2	280	-	623	-	-	1390	

表-3 フレッシュ性状確認試験項目

項目	方法	摘要
モルタルフロー	JIS R 5201	練上り直後
凝結時間	JIS A 1147	2回/週※
ブリーディング率	JSCE-F 522-2007	材齢7日

※終結付近の材齢は適宜追加

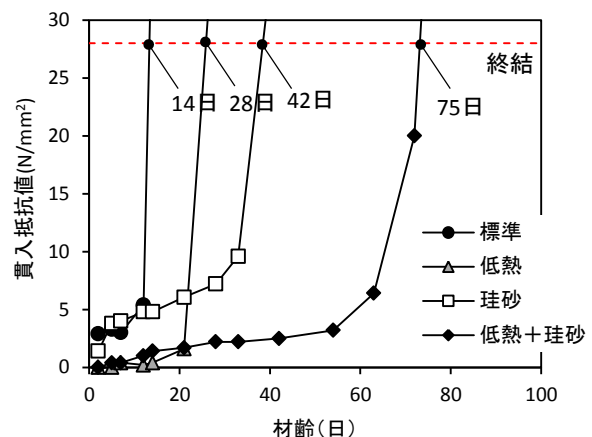


図-4 凝結時間試験の結果

したように凝結時間にばらつきがあり、最短で7日、最長で21日、平均で14日であった。凝結時間が14日の凝結試験の結果を代表例として図中に示した。図に示すように、セメントを低熱ポルトランドセメントに変更した場合は、凝結時間が28日まで延長する結果となった。また、細骨材を珪砂に変更した場合は、凝結時間が42日まで延長する結果となった。これは前述したように、 $C_3A$ の少ない低熱ポルトランドセメントを使用したことで $C_3A$ に吸着するオキシカルボン酸塩が減少し、凝結遅延効果が阻害されなかったためと考えられる。さらに、低熱ポルトランドセメントと珪砂を併用した場合は、凝結時間が75日まで大きく遅延することが確認された。これは、微粒分が少ない天然珪砂4号を使用したことで、オキシカルボン酸塩の機能が阻害されなかったためと考えられる。

ブリーディング率試験の結果を図-5に示す。図に示すように、セメントおよび細骨材種類によらず、ブリーディング率はほぼ同等で、1.8~2.0%のブリーディング率となる結果となった。

以上のように、材料を変更することで凝結遅延効果が発揮され、低熱セメントと珪砂を組み合わせることで凝結遅延効果は最大限発揮されることが明らかとなった。以下の検討においては、この配合において、ブリーディングの抑制および凝結時間のばらつきを把握した。

## 2.2 ブリーディングを抑制する検討

凝結遅延モルタルに増粘剤を添加し、増粘剤の保水効果によりブリーディングを抑制する検討を行った。ここでは増粘剤の最適添加率の検討を行った。

### (1) 検討ケース

増粘剤として、一般的にコンクリートに使用されているバイオポリマーの適用を検討した。増粘剤の添加率を単位水量に対して0.1wt%、0.2wt%とし、ブリーディング抑制効果を確認した。なお、検討に使用した配合は、前述した検討により凝結時間が最も延長した、低熱ポルトランドセメントと珪砂を組み合わせたものとした。

### (2) 使用材料および配合

使用材料は表-1と同じ材料を用いた。配合を表-4に示す。増粘剤を添加することで粘性が付与され、モルタルフロー値は小さくなると考えため、ここでは、増粘剤を添加した配合においてモルタルフロー値200mmが確保できるようにS/Cを調節した。

### (3) 試験項目

試験項目を表-5に示す。なお、圧縮強度試験は終結から91日後に実施した。各試験は20℃に設定された室内で行った。

### (4) 試験結果

増粘剤の添加率とブリーディング率の関係を図-6に

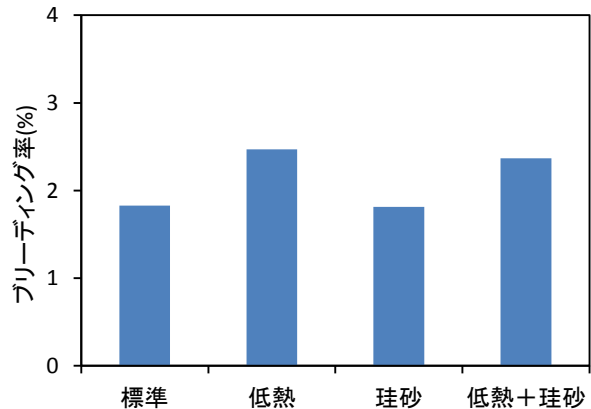


図-5 ブリーディング率試験の結果

表-4 配合

W/C (%)	S/C	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			V (W×wt%)	T (C×%)
		W	L	S3		
45	2.2	280	623	1390	-	2.00
	2.1	290	645	1346	0.1	
	1.8	312	694	1247	0.2	

表-5 試験項目

項目	方法	摘要
モルタルフロー	JIS R 5201	練上り直後
凝結時間	JIS A 1147	2回/週※
ブリーディング率	JSCE-F 522-2007	材齢7日
圧縮強度	JIS A 1108	終結から91日後

※終結付近の材齢は適宜追加

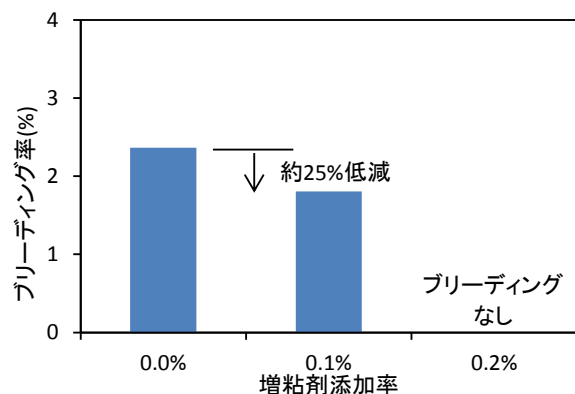


図-6 ブリーディング率試験の結果

示す。図に示すように、増粘剤を単位水量に対して0.1wt%添加した場合はブリーディング率が約25%低下した程度であり、0.2wt%添加することで、ブリーディング率を0%とすることができた。

増粘剤を0.2wt%添加した配合における凝結時間試験の結果を図-7に示す。図に示すように、凝結時間が75日から96日まで延長する結果となった。これは、凝結遅延剤の効果に加え、増粘剤の保水効果により水和反応が抑制され、凝結時間がさらに延長したためと考えられる。

圧縮強度試験の結果を図-8に示す。図に示すように、終結から材齢 91 日後で増粘剤を添加しない配合は 43.6N/mm<sup>2</sup>、増粘剤を 0.2wt% 添加した配合は 49.2N/mm<sup>2</sup> であり、ブリーディングを抑制することで圧縮強度が大きくなる結果となった。これは、ブリーディングが抑制されたために供試体のマトリックスが均一となったことなどが考えられるが、増粘剤を添加しない配合の凝結時間は 75 日、増粘剤を添加した配合の凝結時間 96 日であり、総材齢には 21 日間の差があるため一概には比較ができないと考えられる。今後はさらに長期材齢において、強度の比較が必要であると考えられる。

### 2.3 ばらつきを抑制する検討

2.1 および 2.2 の検討で得られた結果を基に、セメントに低熱ポルトランドセメントを、細骨材に珪砂を使用した配合を選定し、この配合について凝結時間およびブリーディング率のばらつきを確認する検討を行った。

#### (1) 検討ケース

検討ケースを表-6に示す。選定した配合について凝結遅延剤の添加率をパラメータとして、凝結時間試験およびブリーディング率試験を 10 回実施し、凝結時間とブリーディング率のばらつきを確認した。

#### (2) 使用材料および配合

使用材料は表-1に示すものと同じとした。配合を表-7に示す。

#### (3) 試験項目

試験項目は表-3に示すものと同じとした。なお、各試験は 20℃に設定された室内で行った。

#### (4) 試験結果

凝結遅延剤の添加率と凝結時間の関係を図-9に示す。なお、図中には、ばらつき（凝結時間の最大値と最小値の差）を併せて示している。図に示すように、凝結遅延剤の添加率が 1.25% の場合の凝結時間は、平均で 35 日、ばらつきは 7 日であった。凝結遅延剤の添加率が 1.50% の場合の凝結時間は、平均で 52 日、ばらつきは 9 日であった。凝結遅延剤の添加率が 2.00% の場合の凝結時間は、平均で 100 日、ばらつきは 13 日であった。実際に施工する際には、これらのばらつきを考慮したうえで凝結時間を設定する必要があると考えられる。

ブリーディングについては、10 回の試験の中でブリーディングが発生したケースは無かった。

### 2.4 凝結遅延モルタルの温度依存性に関する検討

凝結遅延モルタルはマスコンクリートの打継ぎ部に敷設されることを想定しているが、マスコンクリートは発熱量が多いため、凝結遅延モルタルは一時的に 40℃ 程度の環境下で養生される状況となる。一般的に熱エネルギーが与えられた場合、セメントの水和反応が活性化し、凝結時間が短くなる可能性が考えられる。ここでは、そ

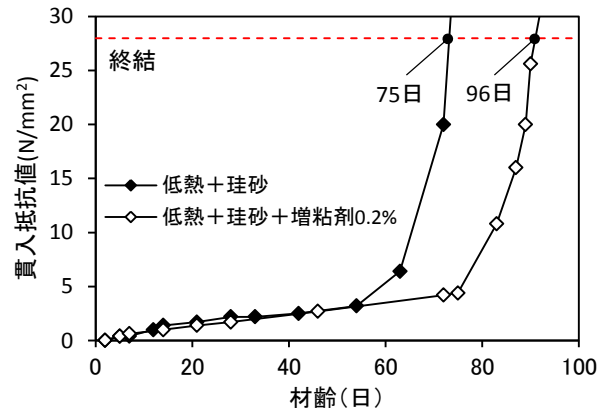


図-7 凝結時間試験の結果

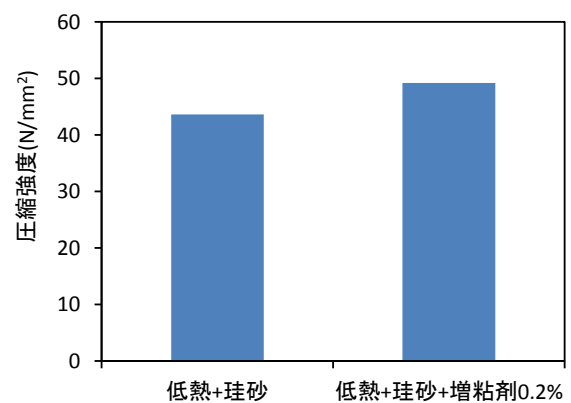


図-8 圧縮強度

表-6 検討ケース

ケース	環境温度 (°C)	T (C×%)
1	20	1.25
2		1.50
3		2.00

表-7 配合

W/C (%)	S/C	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			V (W×%)	T (C×%)
		W	L	S3		
45	1.8	312	694	1247	0.2	1.25
						1.50
						2.00

のような状況下に曝された凝結遅延モルタルの凝結特性を把握するために、凝結遅延モルタルの温度依存性を確認する検討を行った。

#### (1) 検討ケース

検討ケースを表-8に示す。パラメータは環境温度と凝結遅延剤の添加率とした。環境温度は 20℃に加えて、30℃、40℃を設定し、凝結遅延剤の添加率は 1.25%、1.50%、2.00%とした。凝結遅延モルタルの練上り温度は、いずれのケースでも 20℃とした。

(2) 使用材料および配合

使用材料は表-1 に示すものと、また、配合は表-5 に示すものと同一とした。

(3) 試験項目

試験項目を表-3 に示すものと同一とした。なお、凝結時間試験およびブリーディング率試験は 10 回実施し、凝結時間とブリーディング率のばらつきを確認した。

(4) 試験結果

各養生温度における凝結遅延剤の添加率と凝結時間の関係を図-10 に示す。環境温度が 30℃ の場合は図に示すように、凝結遅延剤の添加率が 1.25% の場合の凝結時間は平均で 29 日、凝結遅延剤の添加率が 1.50% の場合の凝結時間は平均で 42 日、凝結遅延剤の添加率が 2.00% の場合の凝結時間は平均で 85 日であり、環境温度が 20℃ の場合と同様に、凝結遅延剤の添加率の増加に伴い凝結時間が長くなることが確認された。ただし、環境温度が 20℃ の場合よりも凝結時間が若干短くなる傾向が確認された。これは環境温度が高くなったことでセメントの水和反応が活性化した結果と考えられる。

環境温度が 40℃ の場合は図に示すように、凝結遅延剤の添加率に関わらず、22 日から 25 日であった。10 回の試験の中でばらつきはほとんどない結果となった。これは、環境温度が 40℃ の場合は、凝結遅延剤による凝結遅延効果より、温度上昇による水和反応の活性化が卓越したためと考えられる。

環境温度と凝結時間の関係を図-11 に示す。図に示すように、凝結遅延モルタルには明確な温度依存性が確認された。環境温度が 20℃ の場合は、凝結遅延剤の添加率の増大に伴い凝結時間が長くなり、環境温度が高くなるにつれてセメントの水和反応が卓越し、凝結遅延剤の添加率に関わらず同じ凝結時間となることが確認された。

打継ぎ部における温度は、コンクリートの打込み直後は 40℃ 程度まで上昇するが、その後は外気温まで徐々に低下する。外気温は夏期で 30℃ 前後であることから、実際の施工において、凝結遅延モルタルが 40℃ の環境下に長期にわたり存置されることは無いと考えられるが、実際の施工を考慮した条件下で実験を行い、凝結遅延モルタルの凝結性状の変化を確認する必要があると考える。

3. 凝結遅延モルタルへのコンクリートの混入検討

凝結遅延モルタルが打継ぎ部に設置された後、直ちにコンクリートが打ち重ねられるため、振動締固めにより凝結遅延モルタルの一部とコンクリートの一部が混ざり合うと考えられる。ここでは凝結遅延モルタルとコンクリートが混ざり合った際の凝結時間の変化を確認した。

(1) 検討ケース

検討ケースを表-9 に示す。ここではコンクリートの

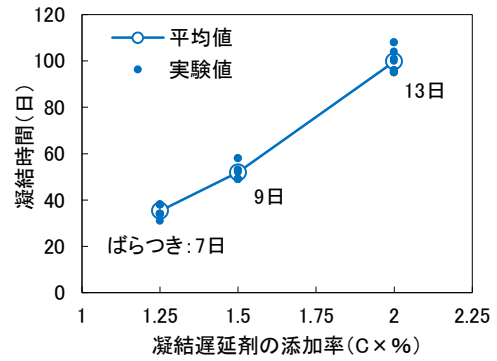


図-9 凝結遅延剤の添加率と凝結時間の関係 (20℃)

表-8 検討ケース

ケース	環境温度 (°C)	T (C x %)
1	30	1.25
2		1.50
3		2.00
4	40	1.25
5		1.50
6		2.00

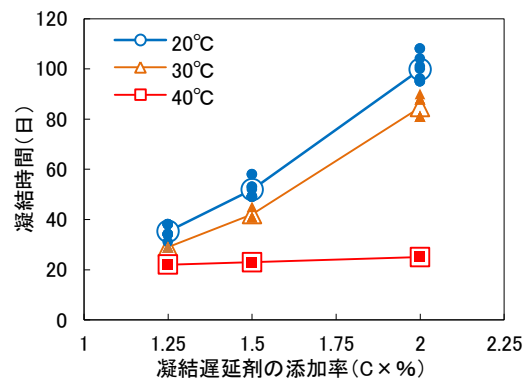


図-10 凝結遅延剤の添加率と凝結時間の関係 (30℃)

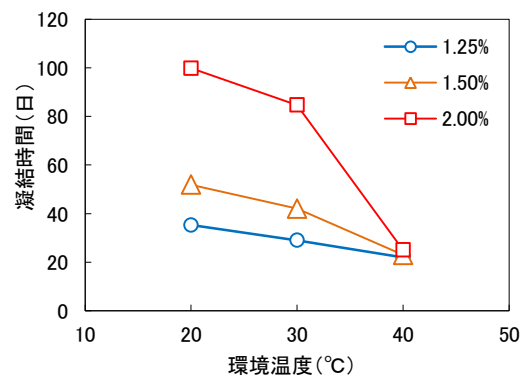


図-11 環境温度と凝結時間の関係

代わりに普通モルタル (1 : 3 モルタル) を用いた。凝結遅延モルタルと普通モルタルを所定の質量割合で混合して凝結試験用の試験体を作成した。

(2) 使用材料および配合

使用材料は表-1 に示すものと同一とした。凝結遅延

表-9 検討ケース

ケース	凝結遅延モルタル 質量割合	普通モルタル 質量割合	普通モルタル 混入率
1	10	0	0%
2	9	1	10%
3	7	3	30%
4	5	5	50%
5	3	7	70%
6	1	9	90%

表-10 凝結遅延モルタルの配合

W/C (%)	S/C	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			V (W×%)	T (C×%)
		W	L	S3		
45	1.8	312	694	1247	0.2	1.25

表-11 普通モルタルの配合

W/C (%)	S/C	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
		W	N	S1	S2
50	3.0	258	516	1299	230

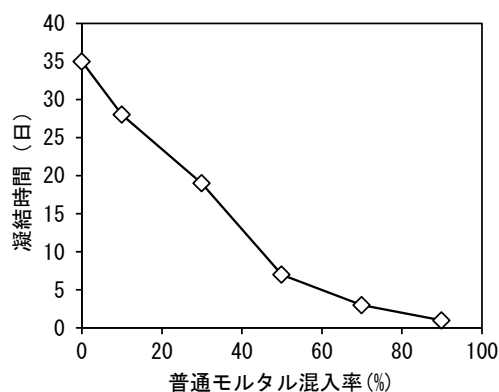


図-12 凝結試験結果

モルタルの配合を表-10に、普通モルタルの配合を表-11に示す。凝結遅延モルタルの配合は凝結遅延剤の添加率が1.25%のものとした。

### (3) 試験項目

試験項目は表-3に示すものと同一とした。なお、各試験は20℃に設定された室内で行った。

### (4) 試験結果

凝結遅延モルタルへの普通モルタル混入率と凝結時間の関係を図-12に示す。図に示すように、普通モルタル混入率0%の場合では凝結時間が35日であるのに対し、普通モルタル混入率が10%のケースでは凝結時間は28日、30%では19日、50%では7日、70%では3日となり、普通モルタルの混入率の向上とともに、凝結時間が短くなることが確認された。普通モルタル混入率が90%のケースではすでに1日で終結を迎えており、ほとんど凝結遅延効果は無かった。以上より、普通モルタルが10%でも混入すると凝結時間に影響を及ぼすことから、実施工においては、凝結遅延モルタルにコンクリートが混入しない対策を行う、または、コンクリートが混入しない部

分が残るような施工方法および敷設厚さを選定する必要がある。

## 5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 凝結遅延モルタルの凝結時間に影響を及ぼしている要因はセメントと細骨材であることが明らかとなった。
- (2) 凝結遅延モルタルにおいて、セメントと細骨材の種類を変更し、さらに増粘剤を水の質量に対して0.2%添加することで、凝結時間のばらつきが低減され、ブリーディング率を0%にできた。
- (3) 凝結遅延モルタルには温度依存性があり、20~30℃の環境下であればほぼ同等の性能を有するが、40℃の環境下では凝結時間が短くなった。これは、水和反応の方が遅延効果よりも卓越したためと考えられる。
- (4) 凝結遅延モルタルに普通モルタルが10%混入するだけで、凝結遅延モルタルの凝結時間が短くなった。よって、凝結遅延モルタルにコンクリートが混入しない対策や、コンクリートが混入しない部分が残るような施工方法および敷設厚さを選定する必要がある。

## 参考文献

- 1) 竹下治之, 横田季彦, 森時昭, 田中恭一: 凝結遅延性コンクリートを用いた温度応力の抑制に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.6, pp.285-288, 1984
- 2) 佐野忍, 小林聖, 佐川康貴, 園田佳巨: 凝結遅延モルタルを用いた壁状構造物のひび割れ抑制手法の実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1261-1266, 2013
- 3) 山本泰彦: 凝結遅延剤の分子構造ならびにセメントとの作用機構, セメント技術年報, Vol.27, pp.148-152, 1973
- 4) 坂井悦郎, 山中清二, 大門正機, 近藤連一: セメントの初期水和反応速度におよぼす芳香族スルホン酸ナトリウムの影響, 日本化学会誌, Vol.2, pp.208-213, 1977
- 5) 竹内徹, 長瀧重義: 超遅延剤を用いたコンクリートの特性, コンクリート工学, Vol.37, No.11, pp.9-19, 1999.11