

膨張性超速硬繊維補強コンクリートの凝結遅延剤に関する検討

太平洋セメント(株) 正会員 ○鶴田昌宏
 太平洋セメント(株) 正会員 橋本真幸
 小野田ケミコ(株) 正会員 久我比呂氏

1. 目的

近年、1970年代までの高度経済成長期以降に建設されてきた大型構造物の共用年数が軒並み40年を超え、高速道路等をはじめとした各種構造物の緊急補修材料として超速硬セメントを用いた超速硬繊維補強コンクリートが適用されてきている。超速硬繊維補強コンクリートは可使時間を設定しやすく、初期強度の発現が優れたコンクリートであるものの、極初期に急激な自己収縮に起因したひび割れが発生する可能性がある。筆者らは、収縮を抑制するために早強性膨張材(石灰系)を混和した膨張性超速硬繊維補強コンクリートの開発に取り組んできたが、20℃以上の温度域では偽凝結を基とした大幅なスランプロスが確認され¹⁾、施工を行う上で大きな問題となっていた。本検討では、スランプロスの原因となる偽凝結を解消するために、各種の凝結遅延剤の適用性について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

使用材料および配合: 実験に用いた材料を表-1に、配合を表-2に示す。膨張材の使用量は20kg/m³とし、鋼繊維の混入量は一般的な繊維補強コンクリートで用いられる100kg/m³とした。

混練方法: 超速硬セメントはその特性上、凝結遅延剤(凝結調整剤)を含まない水と接すると、水和反応が急激に進み瞬結する。そのため、混和剤を混和した混練水、細骨材および鋼繊維をあらかじめ空練りし、プレミックスした膨張材とセメントを投入してモルタルを製造した後、粗骨材を加えて混練することでコンクリートを製造した。

実験水準: コンクリートの配合は一定とし、表-3に示すように凝結遅延剤を単独使用したaシリーズ、ホウ酸を併用使用したbシリーズおよび3種類を併用したcシリーズについて検討を行った。凝結遅延剤の選択は、超速硬セメントと組み合わせた場合に、使用量および価格が妥当であることとした。なお、ホウ酸については使用量が過多であると強度が極端に低下し、凝結が大幅に遅れるといった弊害があるため、他の遅延剤と併用することを前提とし、その使用量は結合材質量比で0.15%の一定とした。

実験項目および試験方法: スランプ(JIS A 1101に準拠)、凝結試験(JIS A 1147に準拠)および自己収縮ひずみ測定を実施するとともに、コンクリート試験に先立って各凝結遅延剤について結合材ペーストの分析も実施した。なお、スランプは10分おきに経時変化を測定し、ひずみの測定は「セメントペースト、モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法(案)」²⁾にほぼ準拠して実施した。

3. 実験結果

1) エトリンサイト生成状況および偽凝結発生状況の把握

表-1に示した4種類の凝結遅延剤ごとに接水後20分程度の結合材ペーストを採取し、X線回折測定を実施した結果を図-1に示す。試料採取の際にはクエン酸のみ偽凝結が生じたが、ヘプトン酸についてもクエン酸と同様にエトリンサイトの生成が確認された。SEMによる観察では、ヘプトン酸の方がエトリンサイトの針状結晶が細く短いことから、

表-1 使用材料

使用材料		記号	物性値
水	上水道水	W	—
セメント	超速硬セメント	C	密度: 3.01g/cm ³ , 比表面積: 4690cm ² /g
膨張材	早強性膨張材	EX	密度: 3.19g/cm ³ , 比表面積: 4520cm ² /g
細骨材	陸砂	S	表乾密度: 2.59g/cm ³ , 絶乾密度: 2.53g/cm ³ , 吸水率: 2.41%, 単位容積質量: 1.66kg/lit, 実積率: 65.4%, 粗粒率: 2.29, 微粒分量: 2.12%
粗骨材	硬質砂岩碎石(JIS 6号碎石)	G	最大寸法 13mm, 表乾密度: 2.63g/cm ³ , 絶乾密度: 2.60g/cm ³ , 吸水率: 1.01%, 単位容積質量: 1.51kg/lit, 実積率: 58.1%, 粗粒率: 6.31
繊維	鋼繊維	SF	繊維長: 30mm, 繊維径: 0.62mm, 密度: 7.85g/cm ³
混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物, 密度: 1.04~1.06g/cm ³
	凝結遅延剤(凝結調整剤)	JS	カルボン酸系化合物(クエン酸, ヘプトン酸, 酒石酸, 柠檬酸)

表-2 コンクリートの配合

W/B (%)	s/a (%)	Air (%)	SP (B×%)	JS (B×%)	Unit Weight (kg/m ³)					
					W	C	EX	S	G	SF
37.5	52.5	3.0	0.7	調整	185	473	20	824	760	100

表-3 実験水準

Series	凝結遅延剤添加量 JS (B×%)				
	クエン酸	ヘプトン酸	酒石酸	柠檬酸	
a	a-1 H1.0	—	1.0	—	—
	a-2 S0.625	—	—	0.625	—
b	b-1 H1.0-B	—	1.0	—	0.15
	b-2 S0.625-B	—	—	0.625	0.15
c	c-1 C0.4-S0.4-B	0.4	—	0.4	0.15
	c-2 H0.4-S0.4-B	—	0.4	0.4	0.15

キーワード: 膨張材, 超速硬セメント, 凝結遅延剤, 偽凝結, エトリンサイト

連絡先: 〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2, TEL:043-498-3847, FAX:043-498-3849

偽凝結を発生するには至らなかったものと推測される。一方で、酒石酸およびホウ酸についてはエトリンガイトの生成がほとんど確認されないことから、膨張材中の生石灰の水和が大幅に抑制され、超速硬セメントに多量の水酸化カルシウムが供給されなくなることで、急激な水和の進行がなくなったものと考えられ、偽凝結を解消できる可能性があるといえる。

2) フレッシュ性状

スランプの経時変化を図-2に示す。ヘプトン酸を用いた a-1 および b-1 では、15 分近傍にて偽凝結を生じた。分析試料採取時のペースト性状および分析結果を考慮すると、ペースト時には若干の偽凝結の兆候であっても、コンクリートとした場合にはフレッシュ性状を著しく悪化させ、特に繊維を混入したコンクリートではその傾向が強調されたものと捉える。一方で、酒石酸を用いた a-2 および b-2 においては、偽凝結も確認されず十分な可使用時間を保つことが可能であった。特にホウ酸を添加した b-2 については、スランプロス低減する効果が高く、扱いやすいコンクリートであったといえる。

単独使用では偽凝結を生じるクエン酸およびヘプトン酸を酒石酸の 50% 置換とした c シリーズにおいては、偽凝結は確認されなかった。しかし、その効果に相違が認められ、クエン酸を用いた c-1 では高性能減水剤の効果が半減することにより初期スランプの低下が確認されることから、可使用時間の設定時に凝結遅延剤使用量を調整する際は、同時に高性能減水剤使用量も調整する必要がある。一方で、ヘプトン酸を用いた c-2 ではその傾向は確認されないものの、c-1 よりもスランプロスが大きくなる傾向であった。

3) 膨張収縮挙動

膨張収縮挙動を図-3に示す。なお、材齢はコンクリートの可使用時間が一定でなく凝結の始発から終結までの時間にばらつきが生じていることから終結時を起点とした。どの水準においても一般的な超速硬繊維補強コンクリートと比較して自己収縮の抑制作用が認められるものの、膨張側には入っていない。これは、使用した凝結遅延剤が膨張材中の生石灰の水和を大幅に抑制しているため、膨張材の膨張発現タイミングが遅れたものと考えられる。すなわち、セメントの硬化のタイミングにリンクして膨張材が十分に膨張しなかったと考えられ、遅れ膨張を示す可能性も否定できない。本検討に用いたコンクリートでは凝結遅延剤ごとの性状を比較するため、可使用時間をそろえておらず、凝結遅延剤併用の配合割合も暫定であったが、生石灰の水和抑制の終了(偽凝結の発生)のタイミングは併用する凝結遅延剤の配合割合から制御できると考えられ、可使用時間が終了すると同時程度に水和抑制を終了させることで、意図した膨張が得られるものと考えられる。

4. まとめ

本検討の範囲から、凝結遅延剤に酒石酸およびホウ酸を用いた場合には、膨張材中の生石灰に対し十分な水和抑制ができると考えられ、偽凝結を起こすことなく凝結(可使用時間の終了)に至ることが明らかとなり、膨張材の効果を十分に発揮させるためには生石灰に対する水和抑制割合の異なる凝結遅延剤を併用し、その配合割合を見極める必要があることが考えられた。

[参考文献]

- 1) 澤田卓也ほか：膨張性超速硬繊維補強コンクリートの膨張収縮挙動に関する検討，土木学会東北支部技術研究発表会，V-21，2007.3
- 2) 日本コンクリート工学協会，コンクリートの自己収縮研究委員会研究報告書，pp.51-54，2002.9

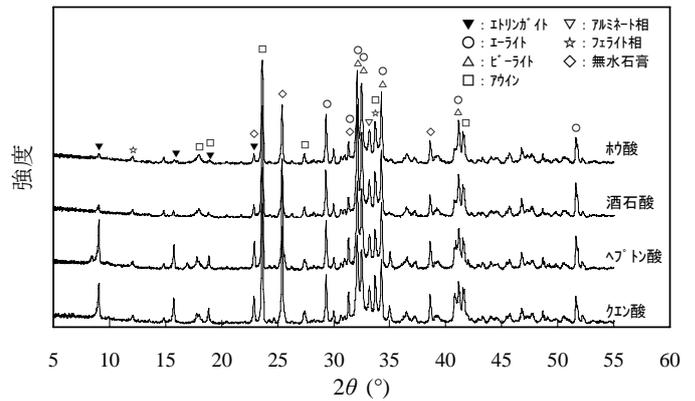


図-1 X線回折測定結果

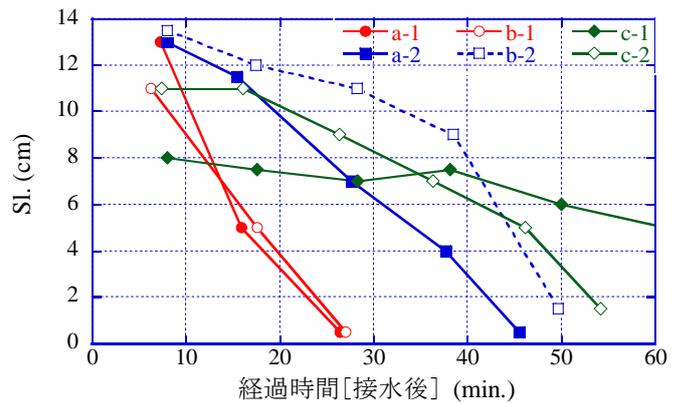


図-2 スランプの経時変化

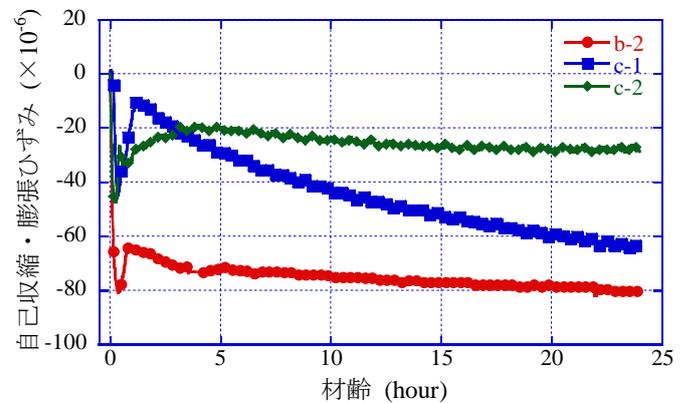


図-3 収縮膨張挙動