

硬化促進剤ならびに速硬性混和材の早強ポルトランドセメントへの適用性

三井住友建設(株) ○恩田 陽介
 三井住友建設(株) 正会員 石澤 正大
 三井住友建設(株) 正会員 博士(工学) 佐々木 亘
 三井住友建設(株) 正会員 博士(工学) 谷口 秀明

キーワード：早強ポルトランドセメント，硬化促進剤，速硬性混和材

1. はじめに

我が国において高齢化率の増加や人口減少に伴う労働人口の減少が問題となっているなか，建設現場における生産性向上が喫緊の課題となっている¹⁾。コンクリート構造物の施工における生産性向上策のひとつとして，コンクリートの強度発現の促進による工期短縮や型枠サイクルの効率化が考えられる。これまでもプレストレストコンクリート(以下，PC)構造物の施工においては，プレストレスの導入時期を早め施工速度を速める目的で，早強ポルトランドセメントが多く利用されてきた。

一方で，昨今の二酸化炭素排出量削減に対する意識の高まりなどにより，セメントの一部を高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の混和剤で置き換えたコンクリートの検討が活発に行なわれており，PC構造物も対象とした実用化に向けた取り組みがなされている²⁾。このような混和材を使用したコンクリートや冬期のような低温環境での施工では強度発現性が低下するため，早強ポルトランドセメントを用いたコンクリートであっても，そのような条件では強度発現性のさらなる改善の余地が残されているものと考えられる。

そこで本研究では，近年開発された硬化促進剤³⁾や速硬性混和材⁴⁾に着目し，PC構造物の生産性向上を目的とした適用性について確認を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

本実験で用いた材料を表-1に示し，配合を表-2に示す。

表-1 使用材料

材料	記号	物性
水	W	上水道水
結合材	セメント	H 早強ポルトランドセメント, 密度3.13g/cm ³
		N 普通ポルトランドセメント, 密度3.15g/cm ³
	混和材	R 速硬性混和材, 密度2.93g/cm ³
細骨材	S1	千葉県富津市産山砂, 密度2.63g/cm ³
	S2	茨城県桜川市産砕砂, 密度2.63g/cm ³
粗骨材	G	茨城県桜川市産砕石2005, 密度2.66g/cm ³
混和剤	SP	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸エーテル系化合物)
	AE	AE剤(変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤)
	A	早強剤(カルシウムシリケート化合物)
	FS	硬化調整剤

表-2 配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							化学混和剤(結合材×wt%)			
			W	結合材			S1	S2	G	SP	AE	A	FS
				H	N	R							
HO	40	43.0	160	400	0	0	302	453	1011	0.8	0.028	0.0	0.0
HA2	40	43.0	160	400	0	0	302	453	1011	0.8	0.028	2.0	0.0
HA4	40	43.0	160	400	0	0	302	453	1011	0.8	0.028	4.0	0.0
HR	40	42.9	160	280	0	120	300	450	1011	0.8	0.028	0.0	1.0
NR	40	42.9	160	0	280	120	300	450	1011	0.8	0.028	0.0	1.0

本実験では、早強ポルトランドセメントを用いた配合を基本とし、速硬性混和材の有無、硬化促進剤の添加量を実験要因とした。

硬化促進剤の添加率はセメント量に対して2%、4%とした。硬化促進剤は単位水量の内割とし、コンクリートの練上がり後に添加（以後、後添加と呼ぶ）し攪拌した。また、添加のタイミングの影響を確認するため、添加率2%では練混ぜ水と同時に添加した場合についても検討した。

速硬性混和材の置換率は30%とした。速硬性混和材には硬化調整剤⁴⁾が添加されるが、硬化調整剤の使用量はいずれの配合も単位結合材量の1%とした。速硬性混和材を用いた配合では、普通ポルトランドセメントによる配合も検討した。

2.2 試験内容

本実験では、経時変化の確認としてスランプの経時変化を測定した。スランプの経時変化は、コンクリートの注水から120分間に、初期値を含めて4回のスランプ試験を実施して確認した。空気量試験は練上がり直後にのみ測定した。

また、凝結試験をJIS A 1147、圧縮強度試験をJIS A 1132に準拠したφ100×200mmの供試体を用いてJIS A 1108に準拠して行った。作製した試験体は20°Cの恒温室にて封緘養生を行った。試験材齢は1、2、3、7、28日とし、速硬性混和材を用いた配合では注水後4、6、9、12時間でも試験を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 フレッシュ性状およびスランプの経時変化

フレッシュ性状試験の結果を図-1に示す。図-1では左軸にスランプ値を、右軸に空気量を示している。また、スランプの経時変化について図-2に示す。

図-1に示すとおり、硬化促進剤を後添加した場合、添加直後のスランプは、HA2が約21cm、HA4が約27cmであり、硬化促進剤の添加量の増加にともない、大きくなる傾向がある。その一方で、練混ぜ水と同時に硬化促進剤を添加した場合には、図中のHA2（水と同時に添加）に示すとおり、練上がり直後のスランプは約15cmであり、後添加した場合（HA2）よりも小さいことがわかる。硬化促進剤の添加量の増加に伴い、スランプが大きくなる傾向にあることから、硬化促進剤には減水効果があると考えられる。また、後添加した場合により高いスランプが得られたのは、水と同時に添加ではセメントの水和初期の段階で硬化促進剤が消費されたためと推察する。HRやNRではH0と比較してスランプが低下し、約5cmとなった。

空気量については、H0と比較して、硬化促進剤および速硬性混和材を使用した配合のいずれも小さくなった。硬化促進剤を用いた配合では、その添加量が多くなるほど、空気量は小さい値を示し、HA4の空気量は0.6%であった。また、HA2の結果より、添加方法の差異による空気量への影響はみられな

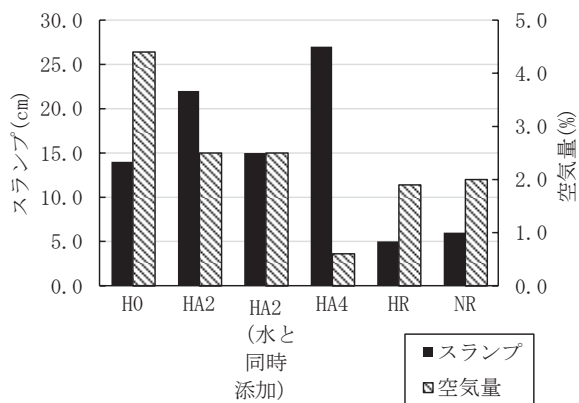


図-1 フレッシュ試験結果

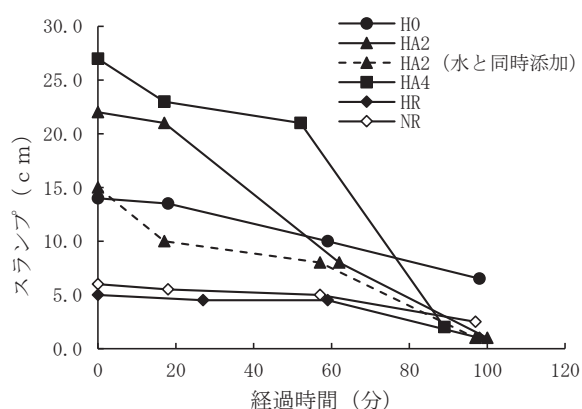


図-2 スランプの経時変化

かった。速硬性混和材を用いた配合の結果より、セメント種類の影響はみられなかった。

コンクリート中の空気量の低下は凍結融解抵抗性の低下を招くため、十分な検討が必要であると考えられる。

図-2より、HA2およびHA4のスランブの経時変化は経過時間0～60分程度までのスランブ値がいずれの混和材も添加していない配合H0に対して大きいことがわかる。しかし、経過時間60分以降では、スランブがH0より小さくなることが確認された。また、累加計量を行なった場合では、いずれの測定タイミングでもH0より小さくなった。速硬性混和材を用いた配合では、初期のスランブは小さいが、経過時間60分でも経過時間0分の値と同様の値を示しており、時間経過による変化が小さいと考えられる。

3.2 凝結試験

凝結試験の結果について、図-3に示す。図-3では、縦軸に各水準、横軸に経過時間を示しており、棒グラフの左端に示す値が始発、右端に示す値が終結に至るまでの時間を示している。始発と終結の値はコロンを挟んで左側に時間、右側が分の値を示している。たとえばH0であれば、注水後5時間で始発に至り、注水後6時間35分で終結に至っている。

図-3より、H0の始発までの時間が5時間0分なのに対して、HA2では3時間35分、HA4では3時間10分と、硬化促進剤を用いた配合では始発までの時間が短くなった。また、添加方法による始発への影響はみられなかった。一方で、速硬性混和材を用いた配合のうち、HRでは始発までの時間が25分長くなった。また、NRでは、始発までの時間は1時間短くなった。

凝結の始発より前に蒸気養生を開始すると蒸気養生後のモルタルの特性に悪影響を及ぼすという報告⁵⁾がされている。蒸気養生を開始するのは、凝結の始発以後とすることが望ましいと考えられる。したがって、凝結の始発までの時間が早まることで、前養生期間の短縮が可能となることから、硬化促進剤や普通ポルトランドセメントにおける速硬性混和材の使用により、蒸気養生を行うようなプレキャスト製品等においても生産性の向上に寄与すると考えられる。

3.3 材齢1日までの強度発現

材齢1日までの強度発現として、速硬性混和材を用いた配合の強度試験結果を図-4に示す。図-4により、HRでは、注水後から12時間後まではH0より強度が低く、その圧縮強度は注水後から12時間で約5N/mm²であった。しかし、注水から24時間後の圧縮強度は、H0が約31N/mm²であるのに対して約41N/mm²と高くなった。一方で、NRでは、注水後から約5時間での圧縮強度は約5N/mm²であり、注水後から12時間後には約33N/mm²の強度が得られた。これらの結果より、早強ポルトランドセメントに速硬性混和材を併用し、さらに早期に強度発現させることはできず、速硬性混和材には普通ポルトランドセメントの使用が望ましいと考えられる。

3.4 圧縮強度

今回行なった実験では、化学混和剤の量を一定とするため、空気量の調整を行わずに供試体を作製した。そのため前述の通り、空気量に差が生じており、得られた圧縮強度を同様に扱うことができない。一般に、W/Cが

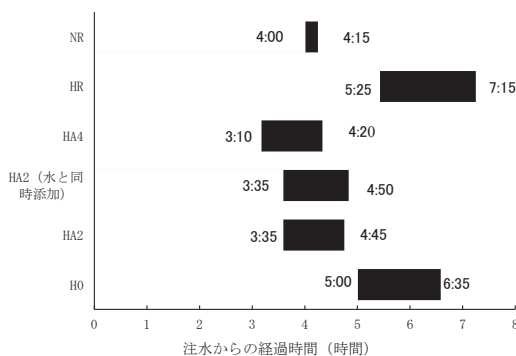


図-3 凝結試験結果

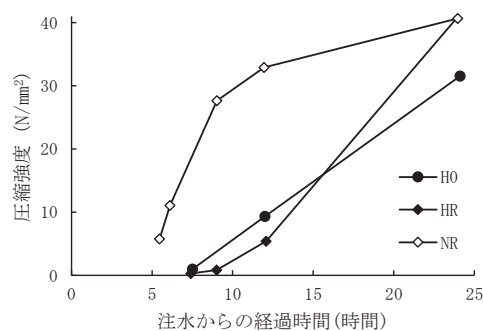


図-4 早期の強度発現

一定のとき、空気量1%の増加によって圧縮強度は4～6%低下する⁶⁾とされている。これを参考に空気量1%の増加により圧縮強度が5%低下すると仮定し、強度の補正を行なった。空気量による補正した後の圧縮強度を図-5に示す。硬化促進剤を2%添加した配合の圧縮強度は、いずれの材齢においてもH0より高い圧縮強度を示した。また、添加率を4%とした配合ではいずれの材齢でもH0より小さい値を示した。普通ポルトランドセメントに速硬性混和材を用いた配合では、前述した材齢1日の強度についてはH0より高かったが、材齢1日以降7日までは大きな増進がみられず、その圧縮強度はH0より低くなった。材齢28日の強度は添加なしの配合と同程度であった。早強ポルトランドセメントに速硬混和材を用いた配合では、材齢1日の強度はH0よりも大きかったが、材齢7日までの強度はH0より小さく、材齢28日ではH0と同程度となった。

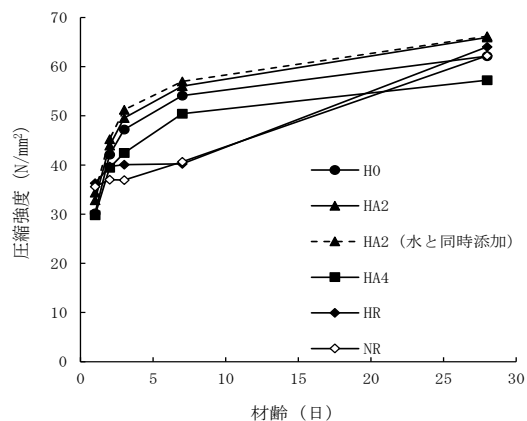


図-5 圧縮強度

4. まとめ

本研究では、硬化促進剤や速硬性混和材の早強ポルトランドセメントへの適用性を確認する目的で、スランブの経時変化や圧縮強度について確認した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 本実験で用いた硬化促進剤は、スランブがH0と比べ、添加率2%で約7cm、添加率4%で約13cm大きくなった。また、本実験で用いた速硬混和材は、スランブがH0と比べ、約10cm小さくなった。スランブの経時変化より、本実験で用いた硬化促進剤は経時変化が大きかった。また、本実験で用いた速硬性混和材は経時変化が小さかった。
- (2) 空気量はいずれの混和材も添加することで低下した。そのため、これらの材料を使用する際には凍結融解抵抗性について検討が必要であると考えられる。
- (3) 凝結試験の結果より、硬化促進剤を用いた場合、凝結始発はH0と比べ、2%の添加率では1時間35分、4%の添加率では1時間50分、短くなった。速硬性混和材を早強ポルトランドセメントと併用した場合、始発時間はH0に対して25分遅延した。普通ポルトランドセメントと併用した場合、始発時間はH0に対して1時間短縮された。
- (4) 速硬性混和材の材齢1日までの強度は、普通ポルトランドセメントと併用した場合には、H0に対して大きくなった。早強ポルトランドセメントと併用した場合には、H0より小さくなり、速硬性混和材は普通ポルトランドセメントでの使用が望ましいと考えられる。材齢2日以降の圧縮強度は、硬化促進剤の添加率2%の配合で、他のいずれの配合と比較し大きくなった。

参考文献

- 1) i-Construction委員会：i-Construction～建設現場の生産性革命～，2016. 4
- 2) 国立研究開発法人土木研究所他：低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書(I)～(VI)，共同研究報告書第471号～476号，2016. 1
- 3) たとえば，春日貴行，大野誠彦，井本晴丈，矢口稔：C-S-H系早強剤を使用したコンクリートの基本性能，土木学会第68回年次学術講演会，V-551，pp. 1101-1102，2013. 9
- 4) たとえば，郭度連，長塩靖祐，浜中昭徳，高橋洋朗：速硬性混和材を用いた速硬コンクリートの製造および基礎物性，プレストレスト工学会第21回シンポジウム論文集，pp545-548，2012. 10
- 5) 村田哲，上野敦，大野健太郎，宇治公隆：極初期の組織形成が温度履歴養生後のモルタルの特性に及ぼす影響，日本コンクリート工学会年次論文集，37巻1号，pp481-486，2015
- 6) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点' 14，第3章，pp61-62，2014