

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

太平洋マテリアル(株)	正会員	博士 (工学)	○郭 度連
太平洋マテリアル(株)		博士 (工学)	長塩靖祐
太平洋マテリアル(株)		農修	浜中昭徳
太平洋マテリアル(株)		工修	高橋洋朗

1. はじめに

コンクリート工事の迅速化，合理化は建設工事における工期短縮を大きく左右する要因であり，緊急性の高い道路工事や補修・補強工事，あるいは急速施工・工期短縮など，時間的な制約のある施工条件下において，速硬性や早強性を有するコンクリートが幅広く求められている。使用箇所もコンクリート床版の上面増厚補強工事，床版取替え工事におけるPC製品の間詰め，橋梁床版伸縮装置周辺への打設など多岐にわたっており，その使用範囲はますます増加するものであると考えられる。

現状の速硬系コンクリートは，専用のセメントや製造設備が必要であり，比較的使用量が少ない場合などに適用条件が限られている。一方で，JISレディーミクストコンクリートに混和することで，手軽に速硬コンクリートが製造できる速硬性混和材が開発されている¹⁾。可使時間の長いことが特長の一つであり，練混ぜ開始から1時間以上の作業時間が確保できる。また，混和材であることから，通常のJISレディーミクストコンクリートに混和することにより，特殊な設備を必要とせず，日本全国どこでも手軽に速硬コンクリートが製造できること，様々な製造方法・施工方法のニーズに対応できることを特長とする。

本報告では，この速硬性混和材を用いた速硬コンクリートを実験的に検討した。室内試験でその基礎物性を検討し，実機製造を通じて製造可能であることを確認，実機製造した速硬コンクリートを用いた基礎的耐久性試験の結果を報告するものである。

2. 試験概要

速硬性混和材は，特殊カルシウムアルミネートと特殊硫酸塩を主成分とし，結合材の30%程度となるよう添加する。その速硬性（初期強度発現性）は，エトリングait等に代表されるカルシウムアルミネート系水和物の早期生成によって得られる。硬化時間の調整は所定量のオキシカルボン酸系の硬

表-1 コンクリートの配合

	ベースコンクリート(30-15-20N)							RE水溶液	速硬性混和材	
	W/C (%)	air (%)	単位置量(kg/m ³)					添加量(kg)		
			W	C	S	G	Ad	Re	+W	Fa
室内試験	48.0	4.5	168	350	744	1018	3.5	所定量	10	150
実機試験	50.7	4.5	178	351	758	1006	3.51	6.02	10	150

表-2 試験概要

試験項目	概要
フレッシュ性状	スランプ、空気量、コンクリート温度、スランプの経時変化測定
凝結試験	JIS A 1147に準拠し、油圧式の貫入針抵抗試験
圧縮強度	JIS A 1108に準拠し、24hまでの試験はアンボンドキャッピング試験
乾燥収縮	JIS A 1129-2に準拠し、収縮および質量変化率測定
中性化促進試験	JIS A 1153に準拠し、促進25週まで測定
塩分浸透試験	JSCE-G572-2007に準拠し、浸漬26週でEPMA測定
凍結融解試験	JIS A 1148 A法に準拠し、水中凍結融解試験

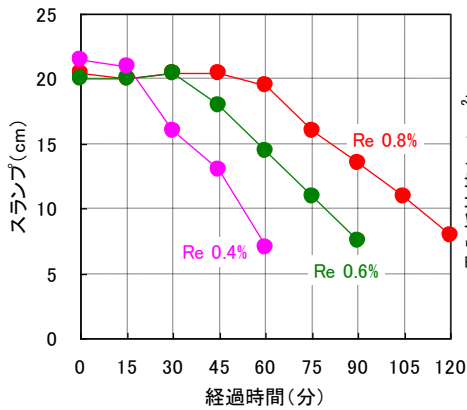


図-1 スランプの経時変化

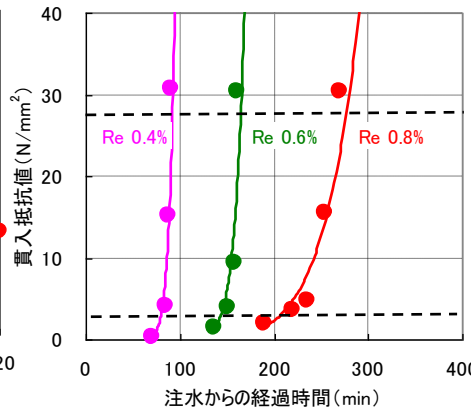


図-2 凝結試験結果

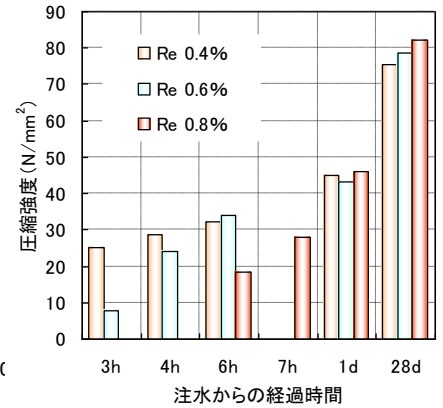


図-3 圧縮強度

化調整剤 (Re) を溶解させた水溶液を混合することで行った。

表-1 にコンクリートの配合を示す。30-15-20N の生コンクリートを想定した室内試験と近隣の生コンクリート工場から購入した JIS 生コンを用いて実機試験を行っている。硬化遅延剤および速硬性混和材は、ベースコンクリートのフレッシュ性状を確認後、外割りとして添加した。

表-2 に行った試験の概要を示す。各種耐久性試験は、実機試験で製造した速硬コンクリートを用いて行っている。

3. 室内試験

硬化調整剤の使用量によるスランプの経時変化を図-1 に示す。20℃環境下の実験結果であり、硬化調整剤の使用量が多いほど、スランプの経時変化は少なく、作業可能時間が 1 時間以上確保できることが示されている。

貫入抵抗値による凝結試験の結果を図-2 に、圧縮強度の発現を図-3 に示す。硬化調整剤の使用量が多いほど、凝結は遅くなり、圧縮強度の発現も遅くなる。凝結調整剤 0.4%では 3 時間、0.6%では 5 時間、0.8%では 7 時間で、道路橋床版の一般的な設計基準強度 24N/mm²をクリアーしている。一方、材齢 24 時間では硬化調整剤の使用量に関わらず、ほぼ同等の圧縮強度になっており、硬化調整剤の効果は極初期の圧縮強度のみに影響し、24 時間以降の圧縮強度には影響を及ぼさないと考えられる。全く同じ材料を用いているにもかかわらず、硬化調整剤の使用量によって可使時間、凝結、圧縮強度は大幅に変化しており、硬化調整剤の使用量の設定は非常に重要であるといえる。

コンクリートの温度によって硬化調整剤の使用量は変化し、5℃~35℃のコンクリート温度での硬化調整剤と作業可能時間との関係の一例を図-4 に示す。同等の作業可能時間を確保するための硬化調

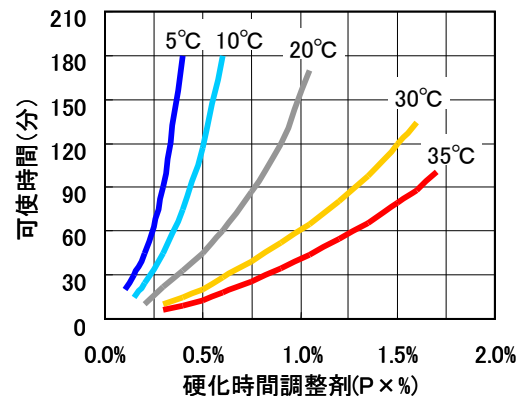


図-4 可使時間のコントロール

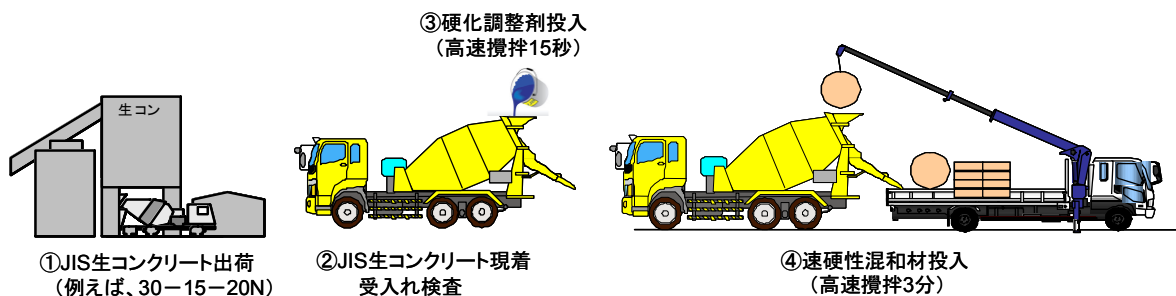


図-5 実機製造方法の模式図

整剤の使用量は、コンクリートの温度が高いほど、多くなっており、低温では少ない硬化調整剤の使用量で可使用時間が長く確保できる。すなわち、環境温度およびコンクリート温度を考慮しながら、凝結調整剤の使用量を適切に増減させることによって、作業可能時間のコントロールは可能であると考えられる。

4. 実機製造試験

30-15-20NのJIS生コンクリートを用いて実機製造試験を行った。図-5に実機製造方法の模式図を示す。2m³のJIS生コンクリートを購入し、受入れ検査を行った後、速硬コンクリートの製造を行った。速硬コンクリートの品質目標は、可使用時間1時間、6時間圧縮強度24N/mm²以上であり、品質目標を満足するように、製造時のコンクリート温度を考慮し、硬化調整剤量を設定した。硬化調整剤を10ℓの水に溶解させ、トラックアジテータに投入後、15秒高速攪拌を行った。その後、速硬性混和材を添加し、3分間高速攪拌することで速硬コンクリートを製造した。

表-3に実機製造試験結果を示す。速硬コンクリートのスランプは、練り直後で20.5cm、60分経過後も15.0cmで、60分以上の可使用時間が確保できている。

図-6に材齢1年までの圧縮強度の試験結果を示す。練上りから4時間で24N/mm²以上の目標性能をクリアし、その後のセメントの水和によって圧縮強度は増進し、材齢1年では80N/mm²以上の強度が得られている。速硬コンクリートの28日圧縮強度は78.7N/mm²であり、主に速硬性混和材による強度発現と考えられる1日圧縮強度40N/mm²に、ベースコンクリートの28日圧縮強度38N/mm²を足した値同等になっており、速硬性混和材に関係なく、セメントの水和は進行していると推測される。

図-7に乾燥収縮試験結果を示す。材齢約1年までの測定結果から乾燥収縮および質量変化率はベースコンクリートに比べて両者とも非常に小さくなっている。

図-8に中性化促進試験結果を示す。促進材齢25週までの測定結果から中性化進行速度はベースコンクリート同

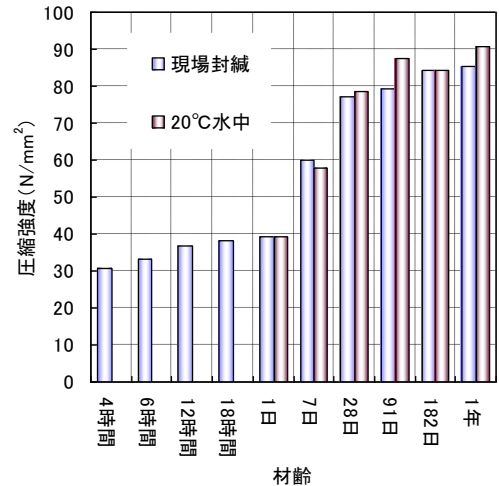


図-6 圧縮強度

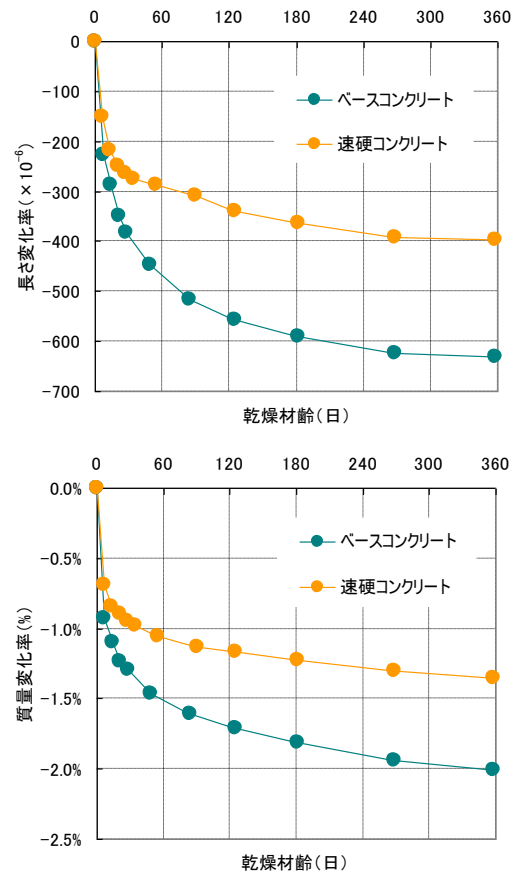


図-7 収縮ひずみおよび質量変化率

表-3 実機製造試験結果

	ベースコンクリート		速硬コンクリート				
	受入れ検査	練上り	20分経過	40分経過	60分経過	—	
スランプ (cm)	15.0	20.5	20.0	19.0	15.0	—	
空気量 (%)	5.6	1.4	2.0	1.8	1.5	—	
C.T. (°C)	25.0	28.0	28.0	29.0	27.5	—	
圧縮強度 (N/mm ²)		7日	4時間	6時間	12時間	18時間	24時間
		29.9	30.7	33.1	36.7	38.2	39.3
		28日	7日	28日	91日	182日	1年
		38.0	58.0	78.7	87.6	84.3	90.6

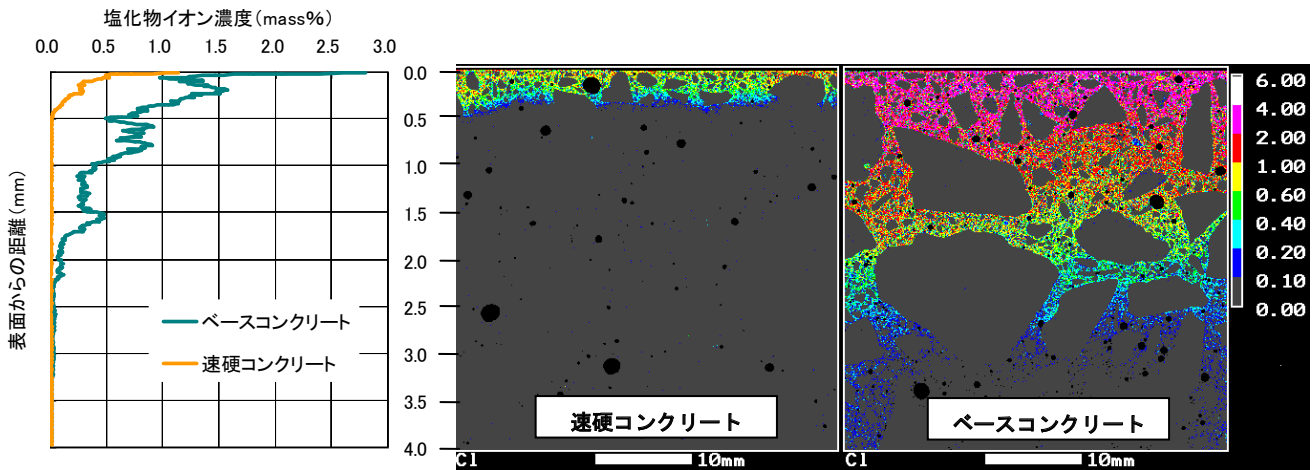


図-9 塩化物イオン浸透抵抗性

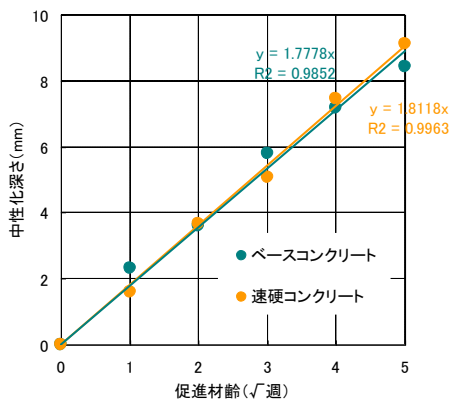


図-8 中性化進行速度

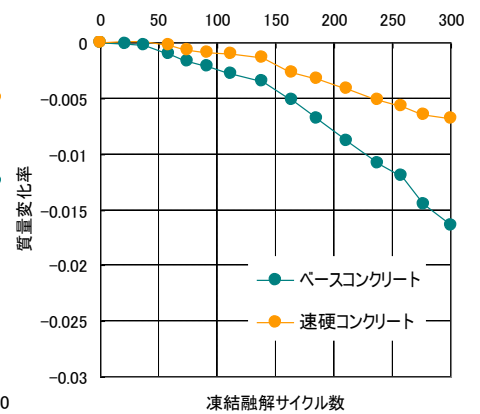
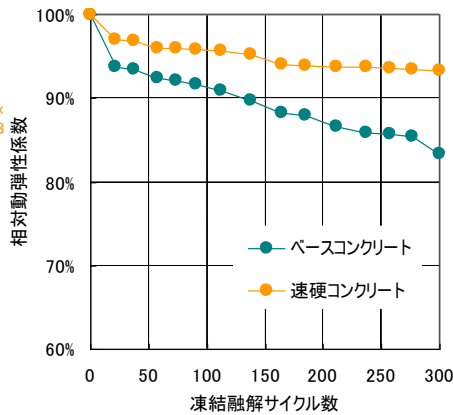


図-10 凍結融解抵抗性

等といえる。促進試験開始時の圧縮強度レベルを考えると中性化進行速度は若干速い傾向であるが、これは速硬性混和材によるアルカリの消費が影響していると考えられる。

材齢 26 週の塩分浸透試験の EPMA 測定結果および深さごとの塩化物イオン濃度を図-9 に示す。速硬コンクリートでは塩分はほとんど浸透しておらず、塩化物イオンの見かけの拡散係数は、ベースコンクリートで $1.03\text{cm}^2/\text{y}$ 、速硬コンクリートで $0.0453\text{cm}^2/\text{y}$ であり、高い塩分浸透抵抗性が確認できた。この優れる能力の機構については、固定化能力も含めて今後更なる検討が必要であると考えられる。

凍結融解試験結果を図-10 に示す。製造工程上、エントラップトエアの恐れから空気量を消しており、凍結融解抵抗性は懸念されるものであるが、圧縮強度で担保する材料設計になっており²⁾、本試験レベルでは凍結融解抵抗性はベースコンクリート以上であることが確認できた。今後の課題としては、強度レベルによる性状の確認および空気連行のコントロール技術が必要であると考えられる。

5. まとめ

JIS生コンクリートに速硬性混和材を混和し、速硬コンクリートを製造することは可能であり、硬化調整剤により可使時間をコントロールすることができる。製造された速硬コンクリートの基礎耐久性は、ベースコンクリート同等以上であることが確認できた。

参考文献

- 1) 浜中昭徳・長塩靖祐・郭度連：速硬性混和材を用いた速硬コンクリートの製造方法検討，プレストレストコンクリート技術協会第 20 回シンポジウム論文集，pp. 541-544，2010
- 2) 中嶋清美・吉田弥智：超速硬セメントコンクリートの低温時の強度発現特性と耐久性に関する研究，土木学会論文集，No. 466，V-19，pp. 21-30，1993