

ポルトランドセメントの初期水和反応に及ぼす化学混和剤の影響

前橋工科大学 学生会員 ○伊神 一輝 正会員 佐川 孝広
(株)フローリック 猪瀬 亮 (株)フローリック 正会員 西 祐宜

1. 研究背景・目的

コンクリートの性能の一つである凝結・硬化性状は、コンクリート打設後の仕上げ時間や脱型時期などに影響を及ぼすことから、これらを促進することで施工工期の短縮や製造工程の効率化が可能である。このような観点で、近年、凝結や硬化性状を促進する化学混和剤に対する関心が高まっている¹⁾。また、近年諸外国では、各種のアミン類が少量の添加でセメントの初期水和反応を促進し、強度増進を示すことが報告されている²⁾。しかし、これらアミン類の水和促進メカニズムや国産のポルトランドセメントに添加した際の影響については不明な点が多い。

そこで本研究では、セメントの初期水和反応を促進する化学混和剤として各種のアミン類を選定し、初期水和反応および強度発現性を評価した。

2. 実験概要

表 1 に本実験の概要を示す。

2. 1 使用材料

本研究では、普通ポルトランドセメント(OPC)を用い、化学混和剤はトリエタノールアミン(TEA)、ジエタノールアミン(DEA)、ジエタノールイソプロパノールアミン(DEIPA)、トリイソプロパノールアミン(TIPA)、グリセリン(GLY)の 5 種類を選定した。

2. 2 モルタル圧縮強度

モルタルの配合は水セメント比 45%、細骨材比 2.0 とし、化学混和剤の添加率はそれぞれ 0.05、0.1、0.3% とした。圧縮強度試験の供試体はφ5×10cm の円柱とし、養生方法は 20℃水中養生で測定材齢は 1、3、7 日とした。

2. 3 強熱減量

セメントペーストの作製は OPC を用い、水セメント比は 45%とした。化学混和剤の添加率はモルタルの作製と同一とし、ペーストの混練はハンドミキサーにて 2 分間行い、チャック付きポリ袋に厚さ約 3mm 程度に成型し、20℃で 24 時間封緘養生を行っ

表 1 実験概要

対象	W/C=45%のモルタル、セメントペースト
使用材料	普通ポルトランドセメント
化学混和剤	TEA:トリエタノールアミン
	DEA:ジエタノールアミン
	DEIPA:ジエタノールイソプロパノールアミン
	TIPA:トリイソプロパノールアミン
	GLY:グリセリン
添加率	C×0.05、0.10、0.30%
測定項目	モルタル圧縮強度、強熱減量、空隙率、発熱特性
水和停止方法	イソプロパノールに3時間浸漬
	真空脱気あと、40℃24時間乾燥
測定時期	材齢1、3、7日

た。脱型後、20℃水中にて所定の材齢まで養生し、測定材齢はモルタル供試体と同一とした。

水和試料は多量のイソプロパノールにて 3 時間水和停止を行い、30 分の真空脱気をした。その後、40℃で 24 時間乾燥し、遊星ミルにて粉砕した。粉砕後の試料は 950℃で 30 分加熱し、強熱後の質量に対する減量を結合水率として求めた。

2. 4 空隙率

ペースト試料の表乾質量から 40℃24時間質量の減量を吸水率として測定し、ペーストの理論配合と強熱減量より空隙率を算定した。

2. 5 発熱特性

放熱環境下における熱測定は、200×200×300mm の断熱材内中心に 20℃で混練した圧縮強度試験と同一のモルタルを 350g(φ50×約 80mm)設置し、熱電対にて中心温度を測定した。

3. 実験結果および考察

表 2 に圧縮強度、結合水率、最高温度の測定結果を示す。圧縮強度、結合水率については、化学混和剤無添加(blank)の測定値と、混和剤添加の配合は、blank との圧縮強度比、結合水率比として示した。既往の研究²⁾では、各種アミン類の添加での初期強度増進が報告されているが、本実験では、TEA と DEIPA の添加率 0.05%で、材齢 1 日の圧縮強度が 22%、15% 増大したほかは強度の顕著な増大は認められず、一部の混和剤では、強度は blank より低下した。添加率

表 2 圧縮強度，結合水率，最高温度の測定結果

	添加率 (%)	圧縮強度(N/mm ²)			結合水率(%)			最高温 度(°C)
		1d	3d	7d	1d	3d	7d	
blank	0	8.1	29.4	45.2	17.0	20.4	25.3	30.4
	添加率 (%)	圧縮強度比(%)			結合水率比(%)			
		1d	3d	7d	1d	3d	7d	
TEA	0.05	122	101	101	111	99	97	32.2
	0.1	110	104	98	97	99	103	32.1
	0.3	28	74	79	100	95	106	33.3
DEA	0.05	104	103	100	85	94	93	32.1
	0.1	107	101	103	76	98	111	31.5
	0.3	106	99	101	69	105	104	29.2
DEIPA	0.05	115	101	96	107	111	113	34.8
	0.1	100	92	91	101	117	114	35.3
	0.3	74	86	80	103	117	123	35.1
TIPA	0.05	104	99	102	84	104	106	33.5
	0.1	96	97	96	102	103	108	34.4
	0.3	82	87	92	88	107	116	36.6
GLY	0.05	94	95	101	87	106	105	30.6
	0.1	94	101	101	91	110	108	30.6
	0.3	95	101	101	87	104	107	29.7

の影響に着目すると，全般的な傾向として添加率 0.05%の強度増進効果が大きく，0.1, 0.3%では強度増進を目的とした場合は過剰添加と考えられる。

化学混和剤添加による初期強度増進のメカニズムは，セメント水和反応の促進によるものと考えられるが，表 2 の結果は，セメント水和反応の促進程度を表す結合水率比と圧縮強度比の関係は必ずしも対応していない。例えば，DEIPA の材齢 7 日では，全ての添加率で結合水率比は増大する一方で強度比は低下し，DEA の材齢 1 日では全ての添加率で結合水率が低下しているのにも関わらず強度比は増大した。

最高温度については，blank の 30.4°C に対し，混和剤添加率が 0.3%の水準のいくつかで最高温度の低下が認められるが，全般には，混和剤の添加で最高温度は上昇する傾向にあった。

ここで，強度増進効果が比較的大きかった添加率 0.05%の結果のみに着目する。図 1 に各混和剤の添加率 0.05%での圧縮強度比と結合水率比との関係を示す。図中の丸囲みが，前述の材齢 1 日で強度増進が大きかった水準である。この TEA と DEIPA の添加率 0.05%では，強度が増大するとともに，結合水率も増大した。その他の条件では，混和剤の水和反応への影響(結合水率比の変化)に対して圧縮強度の変動幅が小さく，より詳細な検討を行うには，粉末 X 線回析の測定など，結合水率以外の指標にて水和反応を評価する必要があると考えられる。

図 2 には，モルタルの材齢 3, 7 日の圧縮強度と発熱特性を測定した供試体の最高温度との関係を示す。

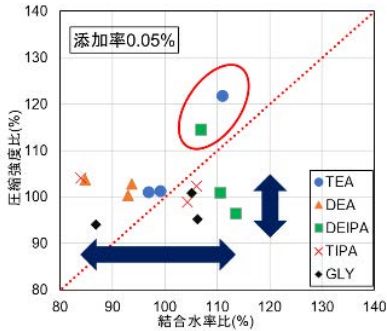


図 1 添加率 0.05%における圧縮強度比と結合水率比の関係

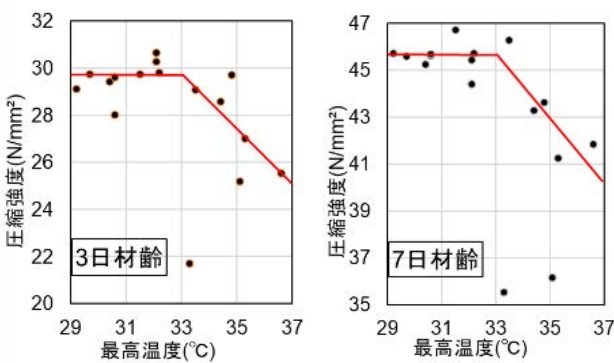


図 2 材齢 3 日，7 日の圧縮強度と最高温度の関係
材齢 3, 7 日のいずれも，バラつきはあるが最高温度が過度に高い場合に圧縮強度は低下する傾向にあった。したがって，放熱環境下で初期の水和反応が促進し，過度に温度上昇を示す配合では，必ずしも初期強度は改善せず，低下する場合もあると考えられる。

4. まとめ

- (1)TEA と DEIPA の添加率 0.05%で，材齢 1 日の圧縮強度は 22%，15%増大した。
- (2)圧縮強度の増進と結合水率の増大との関係は，必ずしも対応しなかった。
- (3)放熱環境下で過度に温度上昇を示す配合では，圧縮強度は低下する場合もあると考えられた。

参考文献

1) 西祐宜，小泉信一，宮川美穂，森本孝敏：各種混和材を用いたコンクリートにおける化学混和剤の適用状況と今後の課題，コンクリート工学 Vol. 52, No.5, pp.480-483, 2014

2) 坂井悦朗ほか：高炉スラグ高含有セメントの水和に及ぼす亜硝酸カルシウムとアルカノールアミンの影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.73, pp.52-58, 2019