

水和の観点から評価した吹付けコンクリートの強度に関する急結剤特性

○太平洋セメント(株)中央研究所 正会員 細川佳史
電気化学工業(株)セメント特殊混和材研究所 正会員 荒木昭俊
(株)竹中土木技術本部技術部 正会員 安藤慎一郎
鹿島建設(株)技術研究所 正会員 大野俊夫
東京大学生産技術研究所 F 会員 魚本健人

1 はじめに

吹付けコンクリートに対するニーズの多様化にともない種々の急結剤が開発されているが、各種急結剤の特性とそれが吹付けコンクリートの物性におよぼす影響のメカニズムについては、必ずしも明確になっているとは言い難い。そこで、ここでは急結剤の機能が水和反応に依っていることに着目し、吹付けコンクリートの強度に関する急結剤特性の評価方法について検討した。また、急結剤添加率の変化が急結剤特性におよぼす影響について併せて考察した。

2 実験の概要

2.1 急結剤種類

本研究では各種急結剤として、表 1 に示すセメント鉱物系粉体急結剤の汎用および高強度タイプの 2 種と、アルカリフリー液体急結剤の計 3 種類を検討対象とした。

表 1 急結剤種類

種 類	Symbol
セメント鉱物系粉体急結剤 (汎用)	P1
セメント鉱物系粉体急結剤 (高強度タイプ)	P2
アルカリフリー液体急結剤	L

2.2 試験方法

2.2.1 配合および実験水準

吹付け実験に使用したコンクリートの配合および実験水準をそれぞれ表 2, 3 に示す。急結剤添加率はそれぞれのコンクリート配合についての標準添加率（メーカー推奨値）とし、配合 B については標準添加率を 30% 増加および減少させた添加率についても検討した。なお、吹付け方式は湿式吹付け方式とし、ポンプ圧送方式のシステムにより吹付けを行い供試体を採取した。

表 2 配合

配合	Sl' (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	セメント量 (kg/m ³)	高性能減水剤 C×(%)
A	12	2.0	56.9	60.0	360	0.0
B	21		45.6	58.2	450	0.8

表 3 実験水準

配合	W/C (%)	急結剤種類	急結剤添加率 C×(%)		
			-30%	標準	+30%
A	56.9	P1	—	7	—
		P2	—	10	—
		L	—	9	—
B	45.6	P1	3.5	5	6.5
		P2	7.0	10	13.0
		L	6.3	9	11.7

2.2.2 試験項目および試験方法

本研究では、吹付けコンクリートの強度特性およびセメントペーストの水和特性について試験を行った。表 4 に試験項目および試験方法を示す。強度試験は 3 種類の方法を材齢時期に従い適宜表 4 のように用いた。ペースト試料の作製方法および試験方法は以下の方法に従った。各コンクリート配合中のペースト部分をホバートミキサーで混練りする。次に磁性乳鉢にペーストを採取し所定量の急結剤を添加・混合する。養生は材齢 1 日まで気中養生（20℃，RH60%），それ以降は水中養生とし、材齢経過後アセトン中で湿式粉碎して水和を停止し、40℃で乾燥して測定試料とした。結合水量は予め急結剤が有する水量を補正し、セメント+急結剤の重量（液体急結剤の場合はその固形分）に対する重量割合に換算した。

3 実験結果および考察

3.1 強度に関する急結剤の特性

図 1 に各種急結剤を添加したセメントペーストの結合水量の経時変化を配合 A について示す。図中の曲線は以下の式[1]¹⁾にて最少二乗法により回帰した結果であり、どの急結剤についても式[1]による回帰は良好であることが認められた。

表 4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法	材齢
吹付けコンクリートの初期強度試験 (MEYCO 針貫入試験)	ASTM C403-70 に準拠 現場養生	5, 30 分
吹付けコンクリートの初期強度試験 (プルアウト試験)	JSCE-G561 に準拠 現場養生	3, 6, 24 時間
吹付けコンクリートの圧縮強度試験	JIS A1107 に準拠 水中養生	7, 28 日
ペーストの結合水量	1000℃の強熱減量より算出	上記全材齢

$$w(t) = \frac{w^\infty(t + b_i(a_i w^\infty)^{-1})}{t + (a_i w^\infty)^{-1}(1 + b_i)} \quad [1]$$

(ここに、 $w(t)$ ：時刻 t における結合水量， w^∞ ：終局結合水量， t ：材齢， a_i ：水和進行性， b_i ：急結剤の急結性， i ：急結剤種類，である)

強度に関する急結剤の特性については，急結剤を添加したセメントペーストの結合水量と強度との関係の観点からの検討が有効であり¹⁾，特に，結合水量を水和セメント水比 C_H/W に換算することによって，コンクリート配合によらない考察が可能となっている²⁾。ここでは，水和セメント水比 C_H/W を，添加された急結剤の固形分と水分がそれぞれ単位結合材量および単位水量の一部であると考慮した水和結合材水比 P_H/W' (式[2]) に発展させ，強度との関係を考察した。式[1]はここで P_H/W' の算出に用いられている。

$$P_H/W' = \alpha(t) \cdot \frac{C(1+p(1-Z))}{W+pCZ} = \frac{w(t)}{w^\infty} \cdot \frac{C(1+p(1-Z))}{W+pCZ} \quad [2]$$

(ここに、 C ：単位セメント量， W ：単位水量， p ：急結剤添加率， Z ：120℃で乾燥させた急結剤の含水率， $\alpha(t)$ ：水和率= $w(t)/w^\infty$ ，である)

強度と P_H/W' の関係を図2および3に示す。このように強度と P_H/W' は全材齢にわたって直線関係となり，その傾きが急結剤ごとに異なることが認められた。この傾きはペースト部の水和の進行に対する吹付けコンクリートの強度の発現率（以下単に強度発現率と称す）を示すものであり，コンクリート配合の如何にかかわらず強度に関する急結剤の特性を表すことが可能と考えられた。

3.2 急結剤添加率の変化が急結剤特性におよぼす影響

急結剤添加率の増減がペーストの水和に対する作用は，水和の促進・遅延といった時間的現象のみと仮定すると，急結剤添加率は，時間的パラメータを持たない強度発現率，つまり急結剤特性には影響をおよぼさないものと考えられる。しかし実際には図4の急結剤 P1 での例で示すように，強度発現率は添加率によって異なることから，急結剤特性は急結剤添加率の影響を受けることが認められた。この急結剤添加率の影響については，図5に示すように急結剤特性と急結剤添加率が各急結剤ごとにほぼ直線関係となることが明らかとなった。

4 まとめ

- 1) 強度と P_H/W' が直線関係を示すことから，その傾きがコンクリート配合の如何にかかわらず強度に関する急結剤特性を表すことが可能と考えられた。
- 2) 急結剤添加率は急結剤特性に影響をおよぼし，その効果として両者の直線関係が明らかとなった。

(謝辞) 本研究は東京大学における共同研究『高品質吹付けコンクリートの開発』の成果であり，関係各位のご協力に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 細川佳史，魚本健人，吹付けコンクリートにおける各種急結剤の特性評価に関する基礎的検討，第55回セメント技術大会講演予稿集，投稿中（2001）
- 2) 細川佳史，魚本健人，吹付けコンクリートの特性に関する基礎的研究(16)，生産研究，No.11，pp.49-51，(2000)

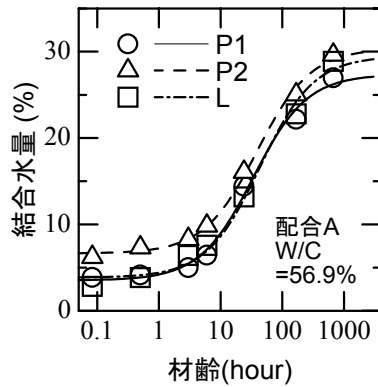


図1 ペーストの結合水量の経時変化

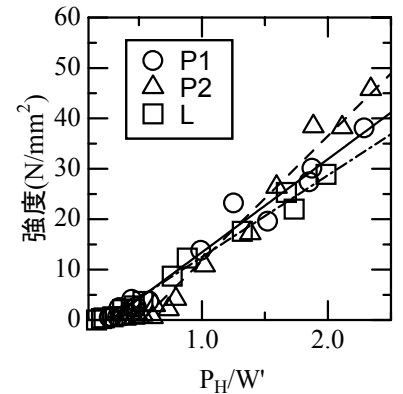


図2 強度と水和結合材水比の関係

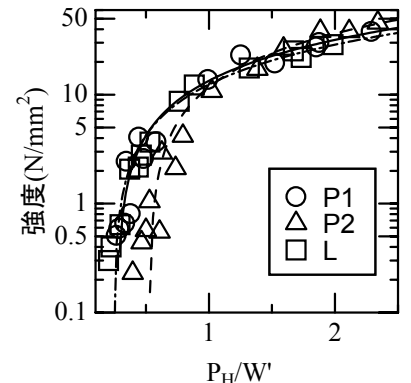


図3 強度と水和結合材水比の関係（縦軸対数表示）

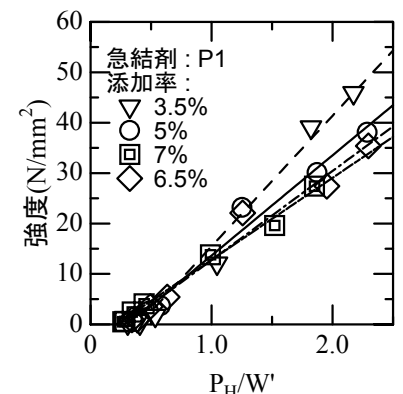


図4 強度と水和結合材水比の関係におよぼす急結剤添加率の影響

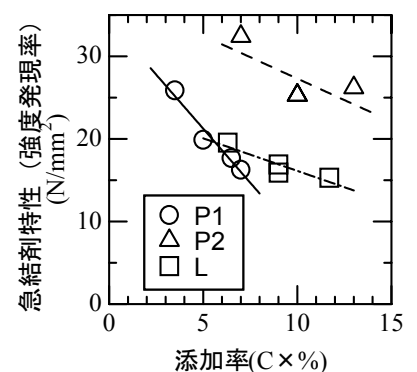


図5 急結剤特性と急結剤添加率の関係