

各種混和材を使用した吹付けコンクリートの強度特性に関する考察

太平洋セメント(株) 研究本部 正会員 細川佳史
 鹿島建設(株) 技術研究所 正会員 大野俊夫
 飛島建設(株) 技術研究所 田中 斉
 東京大学 国際・産学共同研究センター F 会員 魚本健人

1 はじめに

吹付けコンクリートは急結剤を添加することにより早期強度を得ていることから、通常のコンクリートに比べ水和性状が異なることが予想される。そこで本研究は、近年開発が進んでいる各種混和材を使用した吹付けコンクリートの強度特性についてセメントの結合水量から考察した。

2 実験概要

2.1 使用材料

使用材料はセメントに普通ポルトランドセメント、細骨材および粗骨材にそれぞれ山砂、碎石を使用した。急結剤はセメント鉱物系粉体急結剤である。各種混和材としては、シリカフェュームおよびフライアッシュを検討対象とした。

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基本配合および実験水準をそれぞれ表 1, 2 に示す。急結剤添加率は、モルタルを用いた室内実験のプロクター試験により W/C=56.9%および 45.6%両者の急結性が同等となるよう定めたものである。各混和材の混合方法はセメント置換とし、置換率は一律 10%とした。また、目標スランプを得るために高性能減水剤を適宜添加して調整した。なお、吹付け方式は湿式吹付け方式とし、空気搬送方式のシステムにより吹付けを行い供試体を作製した。

2.2.2 試験項目および試験方法

表 3 に試験項目および試験方法を示す。ベースコンクリートの供試体は吹付け前のコンクリートから採取し作製した。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、50℃で乾燥して測定試料とした。また、急結剤を添加しないペーストは、混練り後 1 日気中養生しその後所定材齢まで水中養生した。

3 実験結果および考察

3.1 結合水量の経時変化

吹付け直後の材齢 5 分から 28 日までの急結剤を添加したペーストの結合水量を図 1 に示す。なおこの値は全粉体 (結合材+急結剤) に対する結合水量である。どの水準についても、材齢 5 分から 3 時間まで結合水量は僅かずつ増加しており、6 時間以降になると急激に増加に転ずる傾向が認められるが、混和材、W/C による顕著な影響は認められなかった。同図中の点線は、混和材無添加の結合水量について式(1)により最小 2 乗回帰した曲線である。この式はセメントの結合水量の経時変化を精度良く表現することが報告されているが¹⁾、本実験結果

表 1 基本配合

Gmax (mm)	Sl' (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
					C	W	S	G
15	12	2	56.9	60.0	360	205	1035	703
15	21	2	45.6	58.2	450	205	960	703

表 2 実験水準

No.	結合 材量 (kg/m ³)	W/C (%)	混和材	急結剤 添加率 C×(%)	Symbol	
					急結剤 添加	無添加
1	360	56.9	—	7	Nac	N
2			SF	7	SFac	SF
3			FA	7	FAac	FA
4	450	45.6	—	5	Nac	N
5			SF	5	SFac	SF
6			FA	5	FAac	FA

表 3 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, 10, 15, 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 時間
ベースコンクリートの 圧縮強度試験	JIS A1108 に準拠 水中養生	7, 28 日
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	
ペーストの結合水量	1000℃の強熱減量 より算出	上記全材齢

$$w = \frac{Wt}{(1/aW) + t} \quad (1)$$

$$w = \frac{W(t-t_0)}{(1/aW) + (t-t_0)} \quad (2)$$

w: 結合水量(%), W: 終局結合水量(%)
 a: 水和の進行しやすさを表す係数
 t: 材齢(hour), t₀: 定数

キーワード: 吹付けコンクリート, 混和材, 圧縮強度, 結合水量, 水和セメント水比

連絡先: 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 Tel 043-498-3918 Fax 043-498-3849

においては、材齢6時間以降で比較的良好に回復できているものの、材齢5分から3時間までの材齢初期については回復できているとは言い難い。一方、 t を線型変換した式(2)によれば図中実線で示すように初期材齢から回復可能である。この初期材齢の結合水量はセメントと急結剤の相互作用の水和によるものであるから、急結剤を添加していないセメントの水和に基づく式(1)は本実験結果には適用困難であり、式(2)が材齢5分から28日までの結合水量を表現可能なことがわかった。

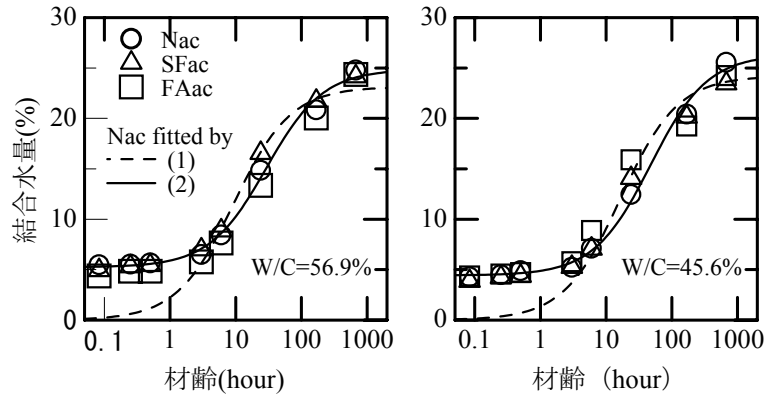


図1 急結剤添加ペーストの結合水量

3.2 結合水量と圧縮強度の関係

図2に結合水量と圧縮強度の関係を、ベース、および吹付けコンクリートについて示す。結合水量と圧縮強度の間には直線的な関係が認められることが従来報告されているが²⁾、吹付けコンクリートにおいても同様な関係が材齢5分から認められた。W/C=56.9%についてみると、ベースと吹付けで直線の傾きが異なり、同一結合水量でも吹付けの方がベースより強度が常に小さい。これは吹付けた際に硬化体に生じる構造上の相違によるものと考えられた。一方、W/C=45.6%では、SFを置換した吹付けコンクリートの直線（点線で示す）が、無添加とFAとがなす直線と異なり傾きが大きい。これは水和の進行に伴う強度の発現機構が、SFとその他とで異なることを示し、超微粒子であるSFのマイクロファイラ効果や早期のポズラン活性による強度増進効果が、このW/Cにおいて顕著に表れたものと推察された。このように混和材の影響が認められたのはW/C=45.6%、SFの場合のみであった。

図3に水和セメント水比と圧縮強度の関係を示す。ここで水和セメント水比（以降 C_H/W ）とは、単位セメント量にセメントの水和率を乗じ単位水量で除したものである。ただし水和率の算出については、結合水量を、式(2)による回帰で求めた終局結合水量により除することで求めた。 C_H/W と圧縮強度は、水比、材齢などにかかわらず良好な相関関係にあることが報告されている³⁾。本実験結果についても、ベース、吹付けコンクリートともに C_H/W と圧縮強度とがW/Cにかかわらず相関性を示したが、上記のとおりSFを置換した場合、W/Cによって結合水量と圧縮強度の関係が無添加あるいはFAの場合と異なるため、混和材よりも急結剤の影響が卓越する材齢5分から3時間までの初期材齢において、 C_H/W と圧縮強度との相関性が特に良好となることが明らかとなった。

4 まとめ

- (1) 結合水量の経時変化に及ぼす混和材、W/Cの影響は小さい
- (2) 結合水量と圧縮強度の関係は直線性を示し、吹付けとベースではその傾きが異なるが、これは吹付けにより硬化体に生じる構造上の相違と推察した。またこれらの関係に及ぼす混和材の影響は、W/C=45.6%、SFの場合のみ認められた。
- (3) 水和セメント水比と圧縮強度にはベース、吹付けそれぞれに相関性がみられた。特に、急結剤の影響が卓越する初期材齢においてその相関性が良好である。

（謝辞）本研究は東京大学 国際・産学共同研究センターにおける共同研究『高品質吹付けコンクリートの開発』の成果であり、関係各位の御協力に深く感謝を表します。

参考文献

- 1) 佐伯竜彦, 長滝重義, セメント・コンクリート論文集, No.52, pp326-333(1998)
- 2) 例えば, 山崎寛司, 土木学会論文集, No.85, pp.15-44(1962)
- 3) 関慎吾ほか, 土木学会論文集, No.146, pp38-46 (1967)

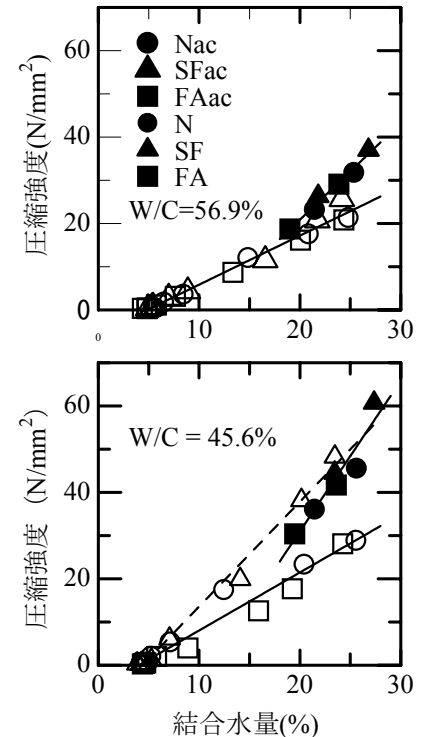


図2 結合水量と圧縮強度の関係

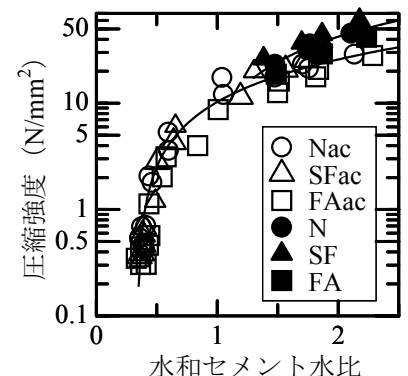


図3 水和セメント比と圧縮強度の関係