

H1-3

蒸気養生履歴がフライアッシュセメントの水和反応と圧縮強度発現性へ及ぼす影響

The Effects of Steam Curing History on Hydration and Compressive Strength Development of Fly Ash Cement

○鏡健太¹, 佐藤正己², 梅村靖弘²

*Kenta Kagami¹, Masaki Sato², Yasuhiro Umemura²

Abstract: The effects of steam curing on compressive strength development of fly ash cement are not clarified. In this study, the authors investigated the effect of steam curing history on hydration and compressive strength development of fly ash cement. From the result of this study, the following conclusions were obtained. Compared with standard steam curing, daily two-cycle steam curing of totally shortened steam curing processes made the degree of C₃S and C₂S hydration about equal or more greater at the age of 7 days and later, though lowered the degree of FA hydration and amount of C-S-H at the age of 1 day to 14days.

1. はじめに

プレキャストコンクリート(PCa)製品の蒸気養生による強度発現性については、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、高炉セメントを用いたコンクリートでの検討が行われているが、フライアッシュセメントでの蒸気養生に関する研究事例が少ないのが現状である^[1]。そこで、本研究は、一般的な蒸気養生である1日1サイクル工程と実工場で行われている1日2サイクル工程の促進蒸気養生履歴がフライアッシュセメントの水和反応と圧縮強度発現性に及ぼす影響について比較検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料と配合条件

モルタル配合を Table1 に示す。普通ポルトランドセメント(C:密度 3.16g/cm³, ブレーン値 3260cm²/g)に対するフライアッシュII種(FA:密度 2.21g/cm³, ブレーン値 4030cm²/g)の内割置換率は質量比で30%とした。細骨材は(社)セメント協会のセメント強さ用標準砂(S:表乾密度 2.62g/cm³, 吸水率 0.42%)を用いた。水結合材比(W/B)は、50%とし、ペースト配合はモルタル配合から細骨材を除いたものとした。練混ぜは、セメントの物理試験(JIS R 5201-1997)に準拠した。

2. 2 蒸気養生方法

Figure1 と Table2 に示す一般的な蒸気養生の温度プログラム(A20B15C4D)と前置時間(A), 昇温速度(B), 最高温度継続時間(C), 降温速度(D)の4項目を短縮させた実工場で行われている1日2サイクル工程の促進蒸気養生プログラム(A05B30C2)の2パターンを設定した。降温速度については4.5°C/hの徐冷降下と最高温度から常温20°Cへ暴露した急冷降下(quick cooling)を設定した。蒸気養生終了後、試験材齢まで20°Cで封緘養生とした。

2. 3 試験項目

圧縮強度試験はJIS A 1108に準拠し、φ50×100mmの缶モールドにてモルタル供試体を作製して測定した。分析はペースト試料とし、モルタル配合から細骨材を除いた配合とした。分析用試料の調整は、硬化したセメントペースト供試体を2.5mm角に粉碎し、試料をアセトンで1日浸漬させ、40°C乾燥炉内に1日入れてアセトンを蒸発させた試料を分析用試料とした。水酸化カルシウムの定量は分析用試料を熱重量示差熱分析(TG-DTA)によって測定した。フライアッシュ反応量の測定は浅賀らの遠心分離法^[2]による選択溶解法に従い測定した。セメント鉱物および水和物の定量は、XRD/リートベルト法によりTOPAS(Bruker AXS)を用い星野ら^[3]の手法に従った。定量は、シリケート相(C₃S, C₂S), 間隙質(C₃A, C₄AF), 石こう(二水, 半水), 水酸化カルシウム(CH), エトリンガイト, モノサルフェートの各セメント鉱物, 水和物と内部標準物質としてα-Al₂O₃(10mass%)を定量対象としC-S-HおよびFAを含む非晶質を同時に測定した。その定量値と間隙水量, 選択溶解法によるFA量, TG-DTAによるCH量から相組成を求めた。試験材齢は1, 3, 7, 14, 28日とした。

Table1. Mixture proportions of mortar

| W/B (%) | S/B | Unit weight(kg/m ³) | | | |
|---------|------|---------------------------------|-----|-----|------|
| | | W | B | | S |
| | | | C | FA | |
| 50 | 2.25 | 292 | 410 | 175 | 1316 |

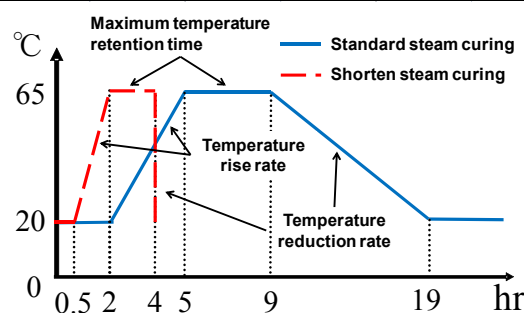


Figure1. Steam curing program

Table2. Steam curing program

| Steam curing program | Preset curing time | Temperature rise rate | Maximum temperature retention time | Temperature reduction rate |
|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------|
| | (h) | (°C/h) | (h) | (°C/h) |
| A20B15C4D | A | B | C | D |
| | 2 | 15 | 4 | 4.5 |
| A05B30C2 | 0.5 | 30 | 2 | quick cooling |

1 : 日大理工・院(後)・土木, 2 : 日大理工・教員・土木

3. 実験結果と考察

一般的な蒸気養生である A20B15C4D と促進蒸気養生である A05B30C2 の圧縮強度と水和反応を比較検討した。

Figure2 に圧縮強度の比較を示す。圧縮強度においては、A20B15C4D に比較し A05B30C2 は材齢 1 日で 30%以上、材齢 3 日で 20%低下したが、材齢 7 日以降で同等の圧縮強度となった。

Figure3 に C₃S の反応率と C₂S の反応率の比較を示す。C₃S の反応率においては、A20B15C4D と比較し A05B30C2 は材齢 1 日、3 日で反応率が低下したが、材齢 7 日以降で同等となった。C₂S の反応率は、A20B15C4D と比較し A05B30C2 では、材齢 1 日は同等であり、材齢 3 日以降では 5%以上反応率が高くなった。

Figure4 に FA の反応率と C-S-H 量の比較を示す。FA の反応率においては、A20B15C4D と比較し A05B30C2 は材齢 1 日、3 日の反応率が 10%以上も低く、材齢の経過に伴い反応率が増進したが、材齢 28 日でも 3%程度の低下となった。リートベルト法で求めた C-S-H 量においては、A20B15C4D と比較し A05B30C2 は、材齢 1 日において C-S-H 量が 10%程度低く、材齢 14 日まで低下したが、材齢 28 日で同等となった。

この結果から、一般的な蒸気養生である A20B15C4D は材齢 1 日から C₃S、FA の反応率が 15%と高く、C-S-H の生成が活性化して、材齢 1 日から圧縮強度が高い結果となった。一方、促進蒸気養生である A05B30C2 は A20B15C4D に対し、材齢 1 日の C₃S、FA の反応率は各々 10%程度低下するが、材齢 7 日では C₃S の反応率は同等となり、C₂S の反応率が材齢 3 日以降から大きく増加していることで、圧縮強度が増進し、材齢 7 日以降は同等の圧縮強度となった。FA の反応率は全材齢で低下が認められ、C-S-H 量も材齢 1 日から 14 日まで低下したが、C-S-H 量は材齢 28 日で同等となった。各蒸気養生工程による FA の反応率の大きな違いは、蒸気養生により与えられる積算熱量と FA の反応率の増進が大きく関係していると推察され、C-S-H 量に FA の反応率が関係していると考えられる^[4]。

4. まとめ

- (1) 圧縮強度を一般的な蒸気養生と促進蒸気養生で比較した結果、促進蒸気養生では一般的な蒸気養生に比較し材齢 1 日、3 日で圧縮強度が低下するが、材齢 7 日以降は同等となり、出荷材齢 14 日では短縮した影響が認められなかった。
- (2) 一般的な蒸気養生と促進蒸気養生を比較した結果、一般的な蒸気養生は C₃S と FA の反応が材齢 1 日から高く、C-S-H の生成が活性化したことで、圧縮強度が初期材齢から高い結果が認められた。一方、促進蒸気養生は一般的な蒸気養生に比較し、材齢 1 日、3 日では C₃S と FA の反応率が低下するが、材齢 7 日では C₃S の反応率は同等となり、C₂S の反応率が増加していることにより、圧縮強度も増進した。FA の反応率と C-S-H 量は材齢 1 日から 14 日まで低下したが、C-S-H 量は材齢 28 日で同等となった。

5. 参考文献

- [1] (社)セメント協会：コンクリート専門委員会報告 F-53 「蒸気養生条件がコンクリートの強度発現に及ぼす影響」, 2006.3
- [2] 浅賀喜与志ほか：セメント - 石英系水熱反応における未反応石英の定量, 窯業協会誌 No.90, pp397-400, 1982
- [3] 星野清一ほか：石灰石微粉末を添加したセメントの X 線回折/リートベルト法による水和反応解析と強度発現機構に関する検討, セメント・コンクリート論文集, No.60, pp47-54, 2006
- [4] K.Koizumi, K.Kagami, Y.Umemura, N.Tsuyuki : The Effects of Silicate Structures on Hydration of Pozzolan Materials, Congress proceedings of 13th International Congress on the Chemistry of Cement, CD-ROM, No.388, (2011)

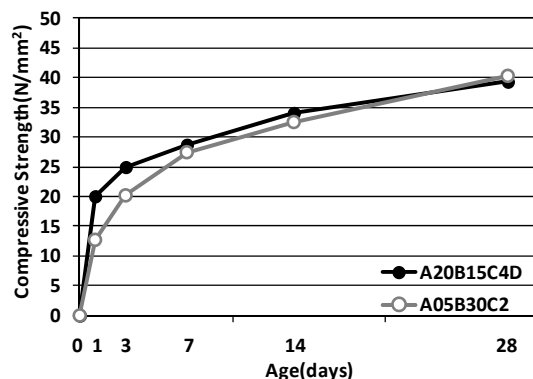


Figure2. Influence of steam curing on compressive strength

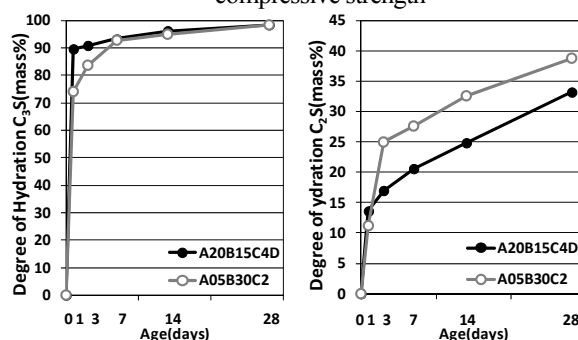


Figure3. Influence of steam curing on C₃S and C₂S hydration

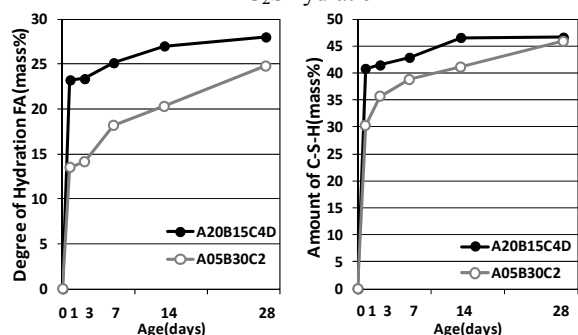


Figure4. Influence of steam curing on FA hydration and the amount of C-S-H