養生温度が改質したフライアッシュを用いたセメントペーストの 水和反応と細孔構造に及ぼす影響

小野本憲人^{*1} 高巢幸二^{*2} 小山田英弘^{*2} 陶山裕樹^{*2}

^{*1} 北九州市立大学 大学院国際環境工学研究科(〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの 1-1)

^{*2} 北九州市立大学 国際環境工学部(〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの 1-1)

要旨：フライアッシュ(以下 FA と称す)の供給拡大に向け、JIS 規格品に限らず品質が比較的ばらつきやすい JIS 規格外の企業発電灰を浮遊選鉱法により改質し、改質の前後で性状に違いが生じるかを確認するとともに改質 FA が持つ特性を明らかにすることを目的とした。材齢 91 日の圧縮強度において、FA の違いによらずに大きな差は認められなかった。養生温度 80℃の供試体を除くと FA 混合の有無及び違いによらず積算温度による圧縮強度推定式で評価できることが確認された。改質 FA の C_3S の反応率は JIS II 種 FA と同水準を示し、CH 量については FA 混合が無混合より少なかったが改質による差は見られなかった。供試体の細孔量も改質による差は見られなかった。

キーワード：浮遊選鉱法、フライアッシュ、養生温度、鉱物組成、水和反応、細孔構造、XRD/リートベルト法

1. はじめに

石炭火力発電による産業副産物である FA をコンクリート混和材として使用することで、ボールベアリング効果による流動性改善、非晶質層が反応するポゾラン反応による組織の緻密化およびアルカリシリカ反応(ASR)の抑制をもたらすことが知られている。2016 年には長崎県土木部や土木学会四国支部が FA 利用に関する指針を公表し^{1,2)}、2017 年には鉄道建設・運輸施設整備支援機構も北陸新幹線の延伸工事で工事示方書に FA の使用を書き入れるなど³⁾、建設業界では FA の有効利用を強く推進している。しかし、2018 年度における FA の発生量 1280 万トン・有効利用量 1267 万トンに対し、コンクリート混和材として利用された FA は 10 万トンに過ぎない⁴⁾。この原因のひとつとして、FA の品質および供給に対して発注者や生産者の信頼性が得られていないことが考えられる。

これまでに著者らは、浮遊選鉱法によって FA 中の未燃カーボンを分離・除去する技術を開発し、FA の強熱減量を JIS II 種相当の水準に改質できることを明らかにしている⁵⁾。浮遊選鉱法による FA の改質は、比較的強熱減量が大きい企業発電のプラントから発生する FA に対して有効な技術であると考えられる。佐藤ら⁶⁾は、初期の養生温度が FA セメントのポゾラン反応に影響を及ぼすことを示しているが、JIS II 種規格品を用いた検証であり、JIS 規格外の FA およびそれらを改質した FA を用いた検討例は少ない。改質 FA を実用化していくためには、改質 FA を使用した硬化体が、JIS 規格品 FA を使用したときとどのような違いがあるのか明らかにしておく必要がある。

以上を背景に本研究では、強熱減量が比較的大きな

JIS 規格外の企業発電灰を浮遊選鉱法により改質し、改質の前後で性状に違いが生じるかを確認した。さらに JIS 規格外 FA、浮遊選鉱法により改質して JIS II 種相当とした FA および JIS II 種 FA を用いたセメントペーストに対して、初期の養生温度の違いが水和反応および細孔構造に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および調合

Table 1 に使用材料を示す。セメントには普通ポルトランドセメント、混和材としての FA には、JIS II 種適合品と自家火力発電所から排出された企業発電灰の 2 種類を使用した。Table 1 中の FA(O)は自家火力発電により排出された企業発電灰、FA(M)は FA(O)を浮遊選鉱法により改質したもの、FA(R)は JIS II 種適合品を示す。浮遊選鉱法により改質した FA はスラリー状態となり、本実験で使用した FA は全て 105℃定温電気乾燥炉で絶乾状態にしたものを使用した。Table 2 に本実験における調合を示す。実験は骨材を除いたセメントペーストで行い、水結合材比(W/B と称す)を 50%一定とした。FA はセメント代替による内割混合として混合率は 15%、30%とした。

2.2 供試体の養生および作製方法

練混ぜは 5L モルタルミキサーを使用し、210 秒間練混ぜた後、 $\phi 50 \times 100$ mm のプラスチック製円柱型枠を使用して供試体を作製した。養生は所定の温度による封緘養生とし、養生温度条件は 5℃、20℃、40℃および 80℃の 4 種類とした。分析に用いた試料は所定の材齢でハンマーによって粉碎し、ふるいを用いて 2.5～

Table 1 Materials

Item	Symbol	Type	Physical properties
Cement	C	Ordinary portland cement	Density : 3.16g/cm ³
Fly ash	FA (O)	Fly ash (Non JIS)	Density : 2.15g/cm ³ Specific surface area : 6000cm ² /g Loss on ignition : 8.25 %, Percent flow : 89 % Activity index 28 and 91days : 75.4 %, 85.4 %
		Fly ash (Non JIS)	Density : 2.17g/cm ³ Specific surface area : 5824cm ² /g Loss on ignition : 1.85 %, Percent flow : 95 % Activity index 28 and 91days : 82.7 %, 103.3 %
		Fly ash (JIS class II)	Density : 2.3g/cm ³ Specific surface area : 4000cm ² /g Loss on ignition : 1.3 %, Percent flow : 108 % Activity index 28 and 91days : 83.3 %, 90.5 %
Water	W	Tap water	—

Table 3 Compressive strength

Ash type	Temperature (°C)	Compressive strength (N/mm ²)			
		3days	7days	28days	91days
P	5	10.5	20.9	39.7	49.9
	20	20.3	27.6	44.0	53.2
	40	30.8	32.2	40.4	36.8
	80	31.8	28.4	23.4	29.3
R15	5	7.3	16.5	34.7	39.3
	20	17.0	22.5	37.4	51.5
	40	28.4	36.2	53.2	46.3
	80	31.8	32.4	20.6	27.0
R30	5	4.3	13.7	23.1	37.1
	20	13.6	19.7	35.0	60.8
	40	18.6	26.9	47.2	40.5
	80	26.4	22.9	20.5	21.6
O15	5	7.5	17.3	22.0	42.0
	20	17.7	20.2	39.3	54.8
	40	28.0	34.8	46.2	44.0
	80	26.4	30.2	25.6	25.1
O30	5	5.7	11.8	20.7	32.4
	20	14.8	17.2	34.8	52.6
	40	23.2	32.8	37.5	40.6
	80	21.4	18.0	20.4	25.7
M15	5	5.6	14.6	29.7	43.3
	20	15.2	22.8	35.0	54.0
	40	21.5	25.9	41.0	48.4
	80	31.2	31.8	23.6	30.0
M30	5	4.7	12.2	20.9	27.6
	20	12.7	17.8	31.4	45.6
	40	23.1	26.9	40.6	40.4
	80	23.3	25.0	25.6	27.7

5.0mm の粒径とした。その後、アセトンに 24 時間浸漬して水和反応を停止させ、真空乾燥器を用い 72 時間 D-乾燥を施した。それを細孔量測定用試料とし、自動乳鉢を用いさらに粉碎して 300 μ m ふるいによって粒径 300 μ m 以下としたものを水和反応分析用試料とした。

Table 2 Mixture proportions

Type	W/C (%)	W/B (%)	Unit weight (kg/cm ³)		
			W	C	FA
FA0	50.0	50	180	360	0
FA15	58.8	50	180	306	54
FA30	71.4	50	180	252	108

2.3 測定項目および測定方法

測定項目は、圧縮強度、セメント鉱物および水和物の定量、水酸化カルシウム (CH) 存在量の定量、細孔量とした。圧縮強度測定は JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じて行った。なお、圧縮強度試験用供試体は恒温槽から取り出した後、直ちに研磨し圧縮強度試験を行った。セメントペーストの圧縮強度材齢は 3、7、28 および 91 日とした。セメント鉱物および水和物の定量に関しては、XRD/リートベルト法により解析ソフト PDXL2(Rigaku)を用い、星野らの手法⁷⁾と同様に α -Al₂O₃ の定量結果から式[1]に従って算出した。

$$G = 100 \cdot (A - R) / \left\{ A \cdot \frac{100 - R}{100} \right\} \quad [1]$$

ここに、G：非晶質量 (%)

R： α -Al₂O₃ 混合量 (%)

A： α -Al₂O₃ 定量値 (%)

本報告では水和したセメントペーストに含まれる非晶質のほとんどはケイ酸カルシウム水和物 (C-S-H) であるとし、式[1]より求まる非晶質量を C-S-H 量と定義して用いた。内部標準物質に α -Al₂O₃ (10mass%) を用い、ユーライト (C₃S)、ビーライト (C₂S)、間隙質 (C₃A、C₄AF)、ペリクレーズ (Periclase)、二水石膏 (Gypsum)、エトリンガイト (Ettringite)、CH の各セメント鉱物、C-S-H と FA を含む非晶質について定量を行った。

CH 生成量の測定は熱重量示差熱計 (TG-DTA) を用い、日本コンクリート工学会の「コンクリートの試験・分析マニュアル」に準じ 400～500 °C 付近の減量値で算出した。細孔量測定は水銀圧入式ポロシメーターにより行った。圧縮強度試験以外の試験材齢は材齢 3 日を除き材齢 7、28、91 日とした。

3. 実験結果および考察

3.1 養生温度と圧縮強度の関係

Table 3 に材齢ごとの圧縮強度、Fig. 1 に養生温度と圧縮強度の関係を示す。FA 混合と無混合 (P) 供試体を強度増進率で比較すると、養生温度 5 °C の供試体ではすべての材齢間で FA 混合供試体が無混合供試体を下回っている。養生温度 20 °C の供試体においては材齢 28 日から 91 日の強度増進率で FA 混合供試体が無混合供試体を上回っている。養生温度 40 °C の供試体においては材齢 3 日から 7 日および材齢 7 日から 28 日にかけて

Fig. 1 The effect of curing temperature on the compressive strength

での強度増進率で FA 混合供試体が無混合供試体を上回っている。従って、養生温度 20℃においては材齢 28 日以降、養生温度 40℃においては材齢 3 日から 28 日にかけてポズラン反応による強度発現の可能性が示唆された。材齢 91 日において比較すると、FA(O)と FA(M)の養生温度 5℃と 20℃において、15%置換では FA(M)の圧縮強度が若干大きく、30%置換では FA(O)が若干大きかった。養生温度 40℃と 80℃では逆の傾向が認められた。FA(M)と FA(R)を比較すると、15%置換において FA(M)が全ての養生温度において FA(R)を若干上回った。本実験の範囲内では、改質の有無の違いによる大きな影響は認められず、FA の種類による影響も認められなかった。置換率ごとで比較すると灰種によらず置換率が低い供試体は置換率が高い供試体よりも強度発現が大きい結果を示した。本実験の範囲内ではセメントペーストのみでの比較であるため、今後モルタルやコンクリートで比較を行う必要がある。

本研究では穴倉らの手法⁸⁾により積算温度を算出した。式[2]に積算温度の算出式および式[3]に積算温度を用いた強度推定式を示す。

$$M = \sum_0^t (\theta + 10) \cdot \Delta_t \quad [2]$$

ここに、 M ：積算温度(℃・日)

Δ_t ：時間(日)

θ ： Δ_t 時間中の温度(℃)

$$F = a \times \exp\left(-\frac{b}{M}\right) \quad [3]$$

ここに、 F ：圧縮強度(N/mm²)

A, b ：実験係数

M ：積算温度(℃・日)

積算温度とコンクリート強度の関係は、セメントの種類、粉末度、調合条件などによって異なるため、本研究では成長曲線の 1 つである指数関数式を用い強度の推定を行った。Fig. 2 に置換率 15%の供試体における積算温度と圧縮強度の関係を示す。実施工において想定外となる養生温度 80℃を除くと、回帰式の決定係数 R^2 は 0.87 となった。また、すべての調合をほぼ同じ回帰式で近似できたことから、FA 混合の有無および FA の種類に関わらず、積算温度の関数で材齢 91 日までの圧縮強度を推定できるといえる。

3.2 使用材料の鉱物組成比較

Table 4, 5 に XRD/リートベルト法によるセメントと FA の鉱物組成を示す。今回使用したポルトランドセメントの鉱物組成は、星野らの⁷⁾測定結果と近い値を示した。

FA(R)とFA(O)およびFA(M)で鉱物組成に違いが確認された。FAを構成する主な鉱物はQuartz、Mullite、Magnetiteであるが、いずれの鉱物においてもFA(R)の定量値はFA(O)およびFA(M)より少なかった。FA(O)とFA(M)を比較したところ定量値に大きな変化はなく、浮遊選鉱法が鉱物組成に与える影響は確認されなかった。

3.3 養生温度が水和反応に及ぼす影響

Fig. 3 に C_3S 反応率の経時変化を示す。全ての調査で材齢 7 日において 80 % 以上の反応率を示した。FA

Fig. 2 Relations accumulated temperature and compressive strength

Table 4 Mineral composition of cement

C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	Gypsum
55.99	25.6	11.06	14.4	6.27

Fig. 3 Measured amount of C_3S

混合の有無、FA 改質による反応率の違いはほとんど確認されなかった。

Fig. 4 に FA ごとの C_2S 反応率の経時変化を示す。材齢 7 日の C_2S 反応率は養生温度が高いほど大きくなる傾向を示した。材齢 7 日以降においては養生温度 5 ~ 40 °C の環境下で C_2S 反応率が増進する傾向が確認された。 C_2S 反応率は混合した FA の種類によって増減したが、原因の特定に至らなかった。

Fig. 5 にセメント 100g あたりの CH 量の経時変化を示す。養生温度 5 °C における CH 量は FA の無混合・混合に関わらず同程度の値を示した。これは低温度領域における FA のポズラン反応の鈍化が原因であると考えられる。養生温度 20 ~ 80 °C においては、FA を混合した供試体の CH 量が無混合の供試体に比べ小さく、養生温度が高いほどその差が大きかった。佐藤らの指摘⁶⁾と同様に養生温度が FA のポズラン反応の進行に影響を与えることが確認された。いずれの養生温度においても FA(O)を混合した供試体と FA(M)を混合した供試体との間に、CH 量の傾向に明確な違いは認められず、

Table 5 Mineral composition of fly ash

	FA(O)	FA(M)	FA(R)
Quartz	19.6	19.9	7.9
Mullite	19.6	19.4	9.4
Magnetite	1.3	1.3	0.3
Glass	53.7	56.6	80.1

Fig. 4 Measured amount of C_2S

Fig. 5 Calcium hydroxide content

Fig. 6 Amount of C-S-H

浮遊選鉱法による改質の影響が小さいことが確認された。80℃養生においては材齢7日において顕著にCH量が減少したものの、材齢経過に伴って減少傾向を示さなかった。ごく初期材齢でFAがCHを消費したものの、材齢7日以降でボゾラン反応が停止した可能性が示唆される。FA(R)よりもFA(O)およびFA(M)を混合した供試体のCH量の方が小さい傾向を示した。一般的にガラス化率が高いFAほどボゾラン活性が高く、CH消費量が多いといわれているが⁹⁾、今回の実験では逆の傾向が確認された。この原因の特定には至らなかった。

Fig. 6 に C-S-H 生成量の経時変化を示す。FA を混

Fig. 7 Relations of amount of C-S-H and compressive strength

合した供試体の C-S-H 量は養生温度 20℃、40℃において無混合の供試体とほぼ同等の値となり、養生温度 80℃において無混合の供試体より大きくなった。佐藤らの報告⁶⁾と同様に、高温養生のものほどボゾラン反応が早期に進行したことが確認された。Fig. 7 に C-S-H 存在量と圧縮強度の関係を示す。C-S-H と圧縮強度との間には、同一調査・同一養生温度において正の相関関係が確認された。これは単に材齢の経過に伴って C-S-H 存在量と圧縮強度が同じように増加することを意味する。しかし、FA の種類や養生温度が異なると、同程度の C-S-H 生成量であっても異なる圧縮強度を示

Fig. 8 Amount of pore volume

した。圧縮強度は C-S-H 存在量だけに支配されるのではなく、密度や C/S 比などの影響を強く受けることが考えられる。

3.4 養生温度が細孔量へ及ぼす影響

Fig. 8 に細孔量の経時変化を示す。材齢 7 日の細孔量は無混合と比較して、FA 混合供試体の細孔量が多い結果を示した。FA 混合供試体では FA (R) と FA (O) が同程度、FA (M) が少なかった。材齢 7 日から 28 日にかけては、いずれの供試体においても細孔量は減少傾向にあった。養生温度 5℃、20℃、40℃では FA (O) と FA (M) において細孔量が少なくなる傾向にあった。養生温度 80℃ではいずれの供試体においても細孔量に変化が認められなかった。

Fig. 9 に区間細孔分布の経時変化を示す。鏡¹⁰⁾と同様に 0.003~0.03μm、0.03~0.3μm、0.3~2μm、2~36μm の区間範囲で確認すると、2~36μm の細孔直径の範囲では、いずれの養生温度においても材齢の進行に伴う細孔量の大きな変化は認められなかった。0.3~2μm の細孔直径の範囲では養生温度 5℃の材齢 7 日において他の養生温度に比べ細孔量の割合が多く見られたが、材齢が進行するに伴い他の養生温度の供試体と同程度になった。これは養生温度によるセメントの反応速度が影響していると考えられる。0.03~0.3μm の範囲では養生温度による違いが顕著に表れ、養生温度 5℃、20℃、40℃の供試体では材齢の進行に伴い増加したが、養生

温度 80℃の供試体では減少傾向を示した。その傾向は FA を混合した供試体の方が顕著であった。一方、浮遊選鉱法による FA の改質が細孔量・細孔径分布に与える影響は認められなかった。FA 中の未燃カーボンは硬化体の細孔構造に殆ど影響を与えないことが考えられる。本実験の範囲内では、養生温度が異なると細孔量から強度発現を一元的に表すことは難しいと示唆された。

4. 総括

圧縮強度に関しては、総じて本実験の範囲内では改質の有無の違いによる大きな影響は認められず FA の種類による影響も小さかった。

積算温度と圧縮強度の関係において実施工上想定外である養生温度 80℃を除けばすべての調査においてほぼ同じ回帰式で近似を行うことが出来た。材齢 91 日までにおいて FA 混合の有無および灰種の違いによらず、積算温度によって圧縮強度を推定できることが示された。

改質 FA を混合した供試体の C_3S の反応率は、JIS II 種 FA と同程度の値を示した。FA 混合の有無および灰種の違いは確認されなかった。

C_2S の反応率は養生温度が高くなるほど大きくなった。材齢 7 日以降では養生温度 5~40℃の環境下で反応率の増進傾向が確認された。

CH 量は養生温度が高いほど減少量が大きく、ポズラン反応が進むことが示されたが、FA の改質の有無によ

Fig. 9 Ratio of pore volume in each pore diameter section

る差は認められなかった。80℃養生では材齢の進行によるCH量の減少が認められなかったため、ポズラン反応が材齢初期で停止した可能性が示唆された。ガラス化率が大きなFA(R)より小さなFA(O)またはFA(M)のCH消費量が大きくなった。一般的にはガラス化率が高いほどポズラン活性が高いと言われているが、今回は逆の結果であった。FAがJIS規格外品であったことも踏まえ今後実験を継続していく必要がある。

C-S-Hと圧縮強度の関係は、同調合の供試体ではC-S-Hの増加に伴う圧縮強度の増加が認められたが、FAの種類や養生温度が異なると圧縮強度が同じでもC-S-Hの生成量が異なるため、圧縮強度の推定には至らなかった。

細孔量は養生温度5℃、20℃、40℃ではFA(O)とFA(M)において細孔量が少なくなる傾向にあった。浮遊選鉱法により改質した影響は確認されなかった。

区間細孔分布は0.03~0.3μmの範囲において養生温度5℃、20℃、40℃の供試体で増加傾向を示し、養生温度80℃では減少傾向を示した。この傾向はFAを混合した供試体において顕著であった。さらに、浮遊選鉱法によるFAの改質の有無による影響は認められなかった。FAの未燃カーボン量がセメントペーストの細孔量

に与える影響は小さいと考えられる。また、細孔量から強度発現を一元的に表すことは難しいことが示された。

謝辞：

本研究は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(3-1703)の助成を得て実施した。実験に関しては本学EA・三倉英史氏、修論生・松尾浩孝氏(現九州電力株)から協力を得た。末尾に記して謝意を表す。

参考文献：

- 1) 長崎県土木部：長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造および施工指針(2015)
- 2) 土木学会四国支部：四国版 フライアッシュを結合材として用いたコンクリートの配合設計・施工指針(2016)
- 3) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構：土木工事標準示方書(2017)
- 4) 一般財団法人石炭エネルギーセンター：石炭灰全国実態調査報告書(平成28年度実績)(2018)
- 5) 高巢幸二ほか：浮遊選鉱法によるフライアッシュ中の未燃カーボンおよびそのフライアッシュスラリー

- を使用したコンクリートの性状、日本建築学会構造系論文集、第 79 巻、第 697 号、pp. 331-340 (2014)
- 6) 佐藤正己ほか：フライアッシュと水酸化カルシウムによるポゾラン反応に及ぼす養生温度の影響、セメント・コンクリート論文集、Vol. 70、pp. 69-76 (2016)
 - 7) 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研究、セメント・コンクリート論文集、No. 60、pp. 47-54 (2006)
 - 8) 宍倉大樹：積算温度方式による高強度コンクリートの圧縮強度推定に関する基礎的研究、建材試験センター、建材試験情報、Vol. 49、pp. 6-11 (2013)
 - 9) 石川嘉崇：フライアッシュの活性度指数についての基礎検討、第 66 回セメント技術大会講演要旨、pp. 288-289 (2012)
 - 10) 鏡健太ほか：蒸気養生履歴がフライアッシュモルタルの水和反応と細孔構造に及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集、Vol. 66、pp. 143-150 (2012)

A STUDY ON THE INFLUENCE OF CURING TEMPERATURE ON HYDRATION REACTION AND PORE STRUCTURE OF CEMENT PASTE WITH MODIFIED FLY ASH

Kento ONOMOTO^{*1}, Koji TAKASU^{*2}, Hidehiro KOYAMADA^{*2} and Hiroki SUYAMA^{*2}

^{*1} THE UNIVERSITY OF KITAKYUSHU, Graduate School of Environmental Engineering (1-1, Hibikino, Wakamatu-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka 808-0135, Japan)

^{*2} THE UNIVERSITY OF KITAKYUSHU, Faculty of Environmental Engineering (1-1, Hibikino, Wakamatu-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka 808-0135, Japan)

ABSTRACT : Effective utilization of fly ash as a by-product of coal-fired power plant is an issue. However, as the quality of fly ash fluctuates depending on the coal source, quality stabilization is required. Therefore, we studied development of quality stabilization technology for improving the quality by flotation method, and developed the unburned carbon removing device. Influence on hydration reaction and pore structure when curing temperature was changed was verified by cement paste with modified fly ash. The early age compressive strength increased with higher curing temperature, and there was no influence of fly ash. At long-term age, curing at 40 °C was promoted by the pozzolanic reaction to the greatest extent. And, Compressive strength showed higher strength of cement paste with fly ash. The relationship between the cumulative temperature and the compressive strength is difficult to estimate and evaluate the compressive strength at the cumulative temperature as the temperature curing becomes 80 °C. Regarding the reaction rate of C₃S, the modified fly ash showed the same level of reaction as Japanese Industrial Standard fly ash classII. However, the hydration rate of C₂S of the modified fly ash was lower than the hydration rate of non-modified fly ash. The amount of calcium hydroxide was higher as the curing temperature was higher, and there was a difference from that without fly ash. The higher the curing temperature, the more pozzolanic reaction progressed at early age. The relationship between C-S-H and compressive strength was confirmed to increase in compressive strength with increasing C-S-H in a single specimen. If the kind of fly ash and curing temperature are different, amount of C-S-H is different even at the same level of compressive strength, so we could not estimate the strength. In the range of pore diameter 0.03~0.3μm, specimens with curing temperature 5, 20 and 40 °C increased with progression of the age. Whereas in the specimen 80 °C the specimens decreased. The influence of the amount of un burned carbon in fly ash is small on the pore structure.

KEY WORDS : Flotation method, Fly ash, Curing temperature, Mineral composition, Hydration reaction, Pore structure, XRD/Rietveld method