

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：53701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560690

研究課題名(和文)セメントの代替材を目的とした活性化フライアッシュの開発と実用化

研究課題名(英文)Development and Practical Applications of Activation Fly Ash Aiming at Alternate Material of Ordinary Portland Cement

研究代表者

犬飼 利嗣 (INUKAI, Toshitsugu)

岐阜工業高等専門学校・高専・教授

研究者番号：30548326

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、フライアッシュ(以下、FAという)の有効利用を拡大する観点から、その活性度を改善し、セメントの代替材とすることを目的として研究を進めてきた。その結果、1)FAの置換率が25%の条件では、FAを微粉碎しNaOHを適量添加すれば、普通セメントと同等の圧縮強さが得られること、2)CaSO₄(2H₂O)は、FAの置換率が極端に大きい条件では、極めて良好な活性度の改善効果を得る添加剤であること、3)混和剤を使用した場合でも、FAを微粉碎しNaOHを添加すれば、良好な活性度の改善効果が得られることなどを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this present study, has been advanced aiming to improve the activation level from the viewpoint that expands effective use for fly ash (hereafter, FA), and to make it to an alternative material of ordinary portland cement. The following finding was obtained from a series of outcome of an experiment. (1) In the condition whose replacement ratio of FA is 25%, if FA is fine ground and NaOH is added in the proper quantity, compressive strength equal with cement is usually obtained. (2) CaSO₄(2H₂O) is an additive that obtains the ameliorating effect of an extremely excellent activation level in the condition with extremely large replacement ratio of FA. (3) Under the condition with the admixture, by the addition of NaOH and fine ground FA, improvement of excellent activity is obtained

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学，建築構造・材料

キーワード：フライアッシュ 混和材 置換率 微粉碎 添加剤 混和剤 活性度 改善手法

1. 研究開始当初の背景

石炭火力発電所の増設にともない石炭灰の発生量が増加し、平成22年度末には年間1000万トンを超えることが確実視されている。この大量に発生する石炭灰を資源的に有効利用するには、コンクリート用混和材として利用することが最も有望とされている。しかし、我が国では使用実績はまだ少なく、その原因として、初期強度の低下、および燃焼条件や輸入炭の増加にともなう品質の大幅な変動が挙げられる。したがって、これらの問題点を解決するような手法が開発された場合には、大量のフライアッシュ(以下、FAという)の使用が見込まれ、循環型社会の形成に大いに資する技術となり得る。

2. 研究の目的

輸入炭によるFAの有効利用を拡大する観点から、ワーカビリティの改善効果ではなく、活性度を特長としたFAを得るために、その活性度の改善手法について実験的に検討した。その結果、微粉碎したFA(以下、F7という)に添加剤としてNaOHを添加することで、図-1に示すように普通ポルトランドセメントと同等の圧縮強さを呈する可能性があることを報告した。しかし、再現性のある活性度の改善効果を得るには、FAの品質や添加剤について詳細に検討する必要がある。

本研究では、これまでの研究成果を進展させ、再現性のあるFAの活性度の改善手法について詳細に検討した。ついでFAの置換率に適應した活性度の改善手法について検討し、セメントの代替材となる活性化フライアッシュの開発と実用化を試みた。

3. 研究の方法

(1) NaOHの濃度が活性度に及ぼす影響

(実験1)

① 実験要因

表-1に実験要因を、表-2に追加実験要因を示す。添加剤は試薬とし、Ca(OH)₂は外割りで、NaOHは練混ぜ水に溶解して添加した。

② モルタルの使用材料および実験方法

表-3に、モルタルの使用材料を示す。実験方法は、JIS A 6201 附属書2「フライアッシュのモルタルによるフロー値比および活性度指数の試験方法」に準じて行った。なお、FAの活性度の改善効果は、材齢28日圧縮強さで評価した。

(2) Ca(OH)₂およびCaSO₄(2H₂O)の添加量が活性度に及ぼす影響(実験2)

① 実験要因

表-4に、実験要因を示す。なおNaOHの濃度は、既報で示した実験結果の再現性も確認する上で0.1molとした。また、添加剤には試薬を用い、Ca(OH)₂とCaSO₄(2H₂O)は外割りで、NaOHは練混ぜ水に溶解して添加した。

② モルタルの使用材料および実験方法

モルタルの使用材料および実験方法は、

(実験1)と同様とした。

(3) F7の置換率とNaOHの濃度が圧縮強さに及ぼす影響(実験3)

① 実験要因

表-5に、実験要因を示す。添加剤としたCa(OH)₂は外割りで0.10%添加し、NaOHの濃度は0.1molまたはF7の置換率に応じ0.1~0.3molとして、それぞれ練混ぜ水に溶解して添加した。

② モルタルの使用材料および実験方法

表-6に、モルタルの使用材料を示す。また、表-7には、各粉体の主要化学成分を示した。実験方法は、実験1と同様とした。

(4) F7の置換率とCaSO₄(2H₂O)の添加量が圧縮強さに及ぼす影響(実験4)

① 実験要因

表-8に、実験要因を示す。CaSO₄(2H₂O)はF7に対して外割りで添加した。また、Ca(OH)₂はWに対して外割りで0.10%、NaOHは実験1の考察からF7の置換率に関わらず一律に0.1molの濃度として、それぞれ練混ぜ水に溶解して添加した。

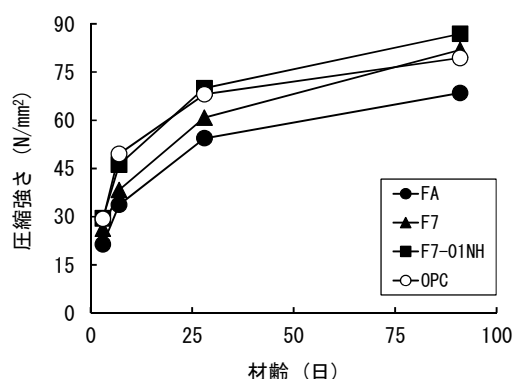


図-1 微粉碎およびNaOHがモルタルの圧縮強さに及ぼす影響

表-1 実験要因(実験1)

FAの種類	添加剤		供試体の記号
	NaOH水溶液	Ca(OH) ₂ (W×wt%)	
JIS II種 微粉碎7000 (置換率: 25%)	0.1mol	0.15	F7-01NH-015C
	0.4mol		F7-04NH-015C
	0.7mol		F7-07NH-015C
	1.0mol		F7-10NH-015C

表-2 追加実験要因(実験1)

FAの種類	添加剤		供試体の記号
	NaOH水溶液	Ca(OH) ₂ (W×wt%)	
JIS II種 微粉碎7000 (置換率: 25%)	0.025mol	0.15	F7-0025NH-015C
	0.050mol		F7-0050NH-015C
	0.075mol		F7-0075NH-015C
	0.100mol		F7-0100NH-015C

表-3 モルタルの使用材料(実験1, 2)

材料名	種類	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	密度(g/cm³): 3.16
FA	JIS II種 微粉碎7000	比表面積(cm²/g): 7000
細骨材	標準砂	-
水	上水道水	
添加剤	NaOH, Ca(OH) ₂ , CaSO ₄ (2H ₂ O)	

表-4 実験要因(実験2)

FAの種類	添加剤			供試体の記号
	NaOH水溶液	Ca(OH) ₂ (W×wt%)	CaSO ₄ (2H ₂ O)(FA×wt%)	
JIS II種 微粉砕7000 (置換率: 25%)	0.1mol	0.10	-	F7-01NH-010C
			16	F7-01NH-010C-16CS
			20	F7-01NH-010C-20CS
	0.15	-	F7-01NH-015C	
		16	F7-01NH-015C-16CS	
		20	F7-01NH-015C-20CS	

表-5 実験要因(実験3)

FAの種類	置換率(%)	添加剤			供試体の記号
		NaOH水溶液	Ca(OH) ₂ (W×wt%)	CaSO ₄ (2H ₂ O)(FA×wt%)	
FAなし	-	-	-	-	OPC
FA	25	-	-	-	025FA
F7	50	0.1mol	0.10	-	025F7-01NH-010C
				16	050F7-01NH-010C
	75	0.2mol	0.10	-	075F7-01NH-010C
				16	050F7-02NH-010C
	75	0.3mol	0.10	-	075F7-03NH-010C

表-6 モルタルの使用材料(実験3, 4)

材料名	種類	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	密度(g/cm ³): 3.16
FA	JIS II種	比表面積(cm ² /g): 3480
F7	JIS II種 微粉砕7000	比表面積(cm ² /g): 7480
細骨材	標準砂	-
水	上水道水	-
添加剤	NaOH, CaSO ₄ (2H ₂ O), Ca(OH) ₂	-

表-7 各紛体の主要化学成分(実験3, 4)

成分	セメント	FA・F7
CaO	64.26	10.93
SiO ₂	19.98	53.62
Al ₂ O ₃	5.55	23.89
Fe ₂ O ₃	3.02	10.75
MgO	0.88	1.21

② モルタルの使用材料および実験方法
モルタルの使用材料および実験方法は、実験1と同様とした。

(5) 混和剤がモルタルの圧縮強さ特性に及ぼす影響(実験5)

① 実験要因

表-9に、実験要因を示す。添加剤としたCa(OH)₂は0.10%を外割で、NaOHは0.1mol/Lの濃度として練混ぜ水に溶解して添加した。

② モルタルの使用材料および割合

表-10にモルタルの使用材料を、表-11にモルタルの割合を示す。単位混和剤量は全粉体量の1%とし、単位水量はフロー値が190±20となるよう予備実験で決定した。

③ 実験方法

実験方法は、JIS A 6201 付属書2「フライアッシュのモルタルによるフロー値および活性度指数の試験方法」に準じて行い、FAの活性度の改善効果は、材齢28日圧縮強さとプレーンモルタル供試体の圧縮強さを基準とした圧縮強さの増加率で評価した。なお、供試体の養生水には、すでに他の供試体よりCa(OH)₂などが溶出している養生水を、試験材齢まで交換することなく使用した。

4. 研究成果

表-8 実験要因(実験4)

FAの種類	置換率(%)	添加剤			供試体の記号
		NaOH水溶液	Ca(OH) ₂ (W×wt%)	CaSO ₄ (2H ₂ O)(FA×wt%)	
F7	25	0.1mol	0.10	-	025F7-NH-C
				5	025F7-NH-C-5CS
				10	025F7-NH-C-10CS
				15	025F7-NH-C-15CS
				20	025F7-NH-C-20CS
	50			-	050F7-NH-C
				5	050F7-NH-C-5CS
				10	050F7-NH-C-10CS
				15	050F7-NH-C-15CS
				20	050F7-NH-C-20CS
	75			-	075F7-NH-C
				5	075F7-NH-C-5CS
				10	075F7-NH-C-10CS
				15	075F7-NH-C-15CS
				20	075F7-NH-C-20CS

表-9 実験要因(実験5)

因子	水準
FAの種類	OPCのみ, FA, F7
NaOH(0.1mol/L)	添加あり, 添加なし
Ca(OH) ₂ (W×0.1%)	添加あり, 添加なし
混和剤	混和あり, 混和なし

表-10 モルタルの使用材料(実験5)

材料名	種類	記号
セメント	普通ポルトランドセメント	C
細骨材	標準砂	S
混和材	フライアッシュ II種	FA
	フライアッシュ II種微粉砕7000	F7
混和剤	AE減水剤標準形 I種	AD
添加剤	NaOH	Na
	Ca(OH) ₂	Ca
水	上水道水	W

表-11 モルタルの割合(実験5)

No.	FL	Air(%)	W/B ¹⁾ (%)	S/B	単位量(kg/m ³)					供試体の記号	
					W ²⁾	C	FA	F7	S		AD
1	190 ± 20	3 ± 1.5	50	3.30	235	469	-	-	1548	4.7	OPC
2				3.00	248	497	-	-	1490	-	
3				3.35	230	344	115	-	1538	4.6	025FA
4				3.00	245	367	122	-	1468	-	
5				3.37	230	344	-	115	1547	4.6	025F7
6				3.00	246	369	-	123	1475	-	
7				3.49	225	337	-	112	1567	4.5	025F7
8				3.00	246	369	-	123	1475	-	-NH
9				3.37	230	344	-	115	1547	4.6	025F7
10				3.00	246	369	-	123	1475	-	-NH-C

1) B: C+FA (F7)

2) No. 1~6は上水道水, No. 7, 8はNaOH, 1mol/L, No. 9, 10はNaOH, 0.1mol/L-CaO, 10%の水溶液とし, ADはB×0.1%としてWに含む

(1) NaOHの濃度が活性度に及ぼす影響(実験1)

図-2に、NaOHの濃度が活性度に及ぼす影響について示す。図からわかるように、NaOHの濃度が0.1~1.0molの範囲では、濃度が高くなるほど圧縮強さは大幅に減少し、1.0molでは0.1molの1/2程度となっている。一方、図-3に示すように、NaOHの濃度を0.025~0.1molとした追加実験要因の範囲では、圧縮強さにほとんど変化はみられず、いずれも良好な活性度の改善効果を得ている。したがって、NaOHの濃度は、0.025~0.1molとするのが最適であると考えられる。

(2) Ca(OH)₂およびCaSO₄(2H₂O)の添加量が活性度に及ぼす影響(実験2)

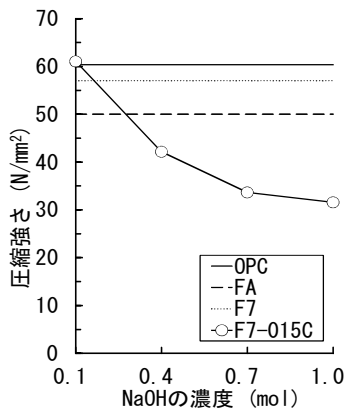


図-2 NaOHの濃度が活性度に及ぼす影響1(実験1)

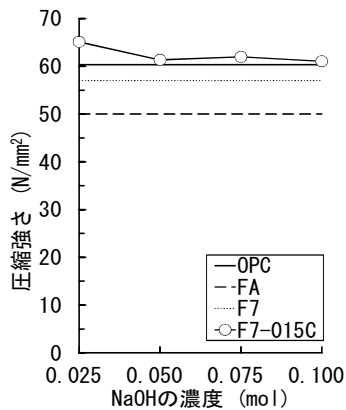


図-3 NaOHの濃度が活性度に及ぼす影響2(実験1)

図-4に、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ の添加量が活性度に及ぼす影響について示す。図からわかるように、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の添加量が0.15%では、 $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ の添加量が20%になると圧縮強さが大幅に減少している。また、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の添加量が0.1%では、 $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ による影響はみられない。これは、既報の実験結果を再現する傾向にあり、FAの置換率が25%では、添加剤として活性度の改善効果を得る $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を適量に添加すれば、 $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ は添加する必要はないことを示している。

このように、FAの置換率が25%では、添加剤として $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ は添加する必要はなく、実験1の結果も踏まえれば、NaOHの0.025~0.1mol水溶液を練混ぜ水として用い、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を外割で0.10%添加することで、最適な活性度の改善効果が得られると考えられる。

(3) F7の置換率とNaOHの濃度が圧縮強さに及ぼす影響(実験3)

図-5に、F7の置換率とNaOHの濃度が圧縮強さに及ぼす影響について示す。図から分かるように、F7の置換率に応じてNaOHの濃度を大きくしても活性度の改善効果はみられず、圧縮強さはF7の置換率にともない直線的に減少している。また、F7の置換率には関係なくNaOHの濃度を0.1molとしたモルタルの圧縮強さとほぼ同じ値を示している。これは、F7の置換率が25%を超えると、これまで検討し

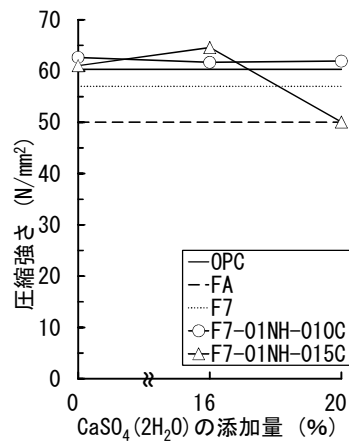


図-4 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ の添加量が活性度に及ぼす影響(実験2)

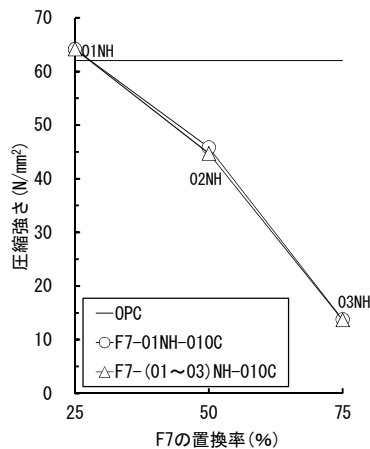


図-5 F7の置換率とNaOHの濃度が圧縮強さに及ぼす影響(実験3)

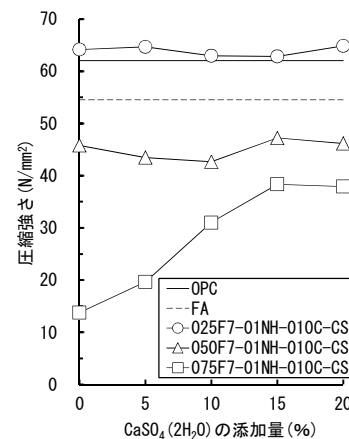


図-6 F7の置換率と $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ の添加量が圧縮強さに及ぼす影響(実験4)

た活性度の改善手法では活性度の改善効果がほとんど得られないことを示しており、新たな活性度の改善手法を提案する必要があることを示している。

(4) F7の置換率と $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ の添加量が圧縮強さに及ぼす影響(実験4)

図-6に、F7の置換率と $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ の添加量が圧縮強さに及ぼす影響について示す。図から分かるように、F7の置換率が25%および

50%では、 $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ による影響はみられない。これは、既報の実験結果の一部を再現しており、F7の置換率が50%までの範囲では、 $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ による活性度の改善効果はほとんどないことを示している。一方、F7の置換率が75%になると $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ による影響は大きく、添加量が15%までの範囲では、添加量が増大するほど圧縮強さも直線的に増大している。また、その値も大きく、添加量が0%の供試体と比較すると3倍ほど大きくなっている。

このように、 $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ を添加剤とすることは、単位セメント量が極端に小さくF7の置換率が大きい条件では、極めて良好な活性度の改善効果を得る手法であるといえる。

(5) 混和剤がモルタルの圧縮強さ特性に及ぼす影響(実験5)

図-7に、混和剤がモルタルの圧縮強さ特性に及ぼす影響について示す。図から分かるように、混和剤を使用したモルタルの圧縮強さは、いずれもプレーンモルタルの圧縮強さを上回っており、粉体粒子の分散作用による圧縮強さの増大効果がみられる。その圧縮強さの改善効果は、図-8に示したOPC、O25FA、およびO25F7の圧縮強さの増加率から分かるように、FAやF7を混入すると減少する傾向にある。しかし、NaOHを添加したO25F7-NHの圧縮強さの増加率はOPCより大きく、F7を混入しているにも関わらず7%以上の活性度の改善効果を得ている。これは、混和剤を使用した場合でもNaOHを添加することでF7の活性度が改善されることを示しており、プレーンモルタルで得た実験結果と同様の活性度の改善効果が得られることを示している。一方、プレーンモルタルでは最適な活性度の改善効果を得たO25F7-NH-Cは、NaOHに加え $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を添加したことで活性度の改善効果は3%まで減少している。これは、養生水のOH-濃度による影響と考えられ、添加剤として $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を添加した供試体を、すでに $\text{Ca}(\text{OH})_2$ などが溶出している養生水中で養生すれば、供試体中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が過剰となり活性度の改善効果に悪影響を及ぼすことを示唆している。

このように、混和剤を使用した場合でも、FAを微粉砕しNaOHを添加すれば、良好な活性度の改善効果が得られると考えられる。しかし、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に記されるような標準的な養生水(養生水を交換する場合は、一度に全量を交換してはならない)で供試体を養生する場合には、添加剤として $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を添加するとFAの活性度の改善効果に悪影響を及ぼす可能性がある。

(6) まとめ

本研究では、FAの有効利用を拡大する観点から、その活性度を改善し、セメントの代替材とすることを目的として研究を進めてきた。研究の主な成果をまとめると、以下のようになる。

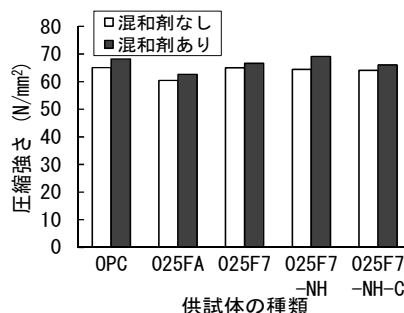


図-7 混和剤がモルタルの圧縮強さ特性に及ぼす影響(実験5)

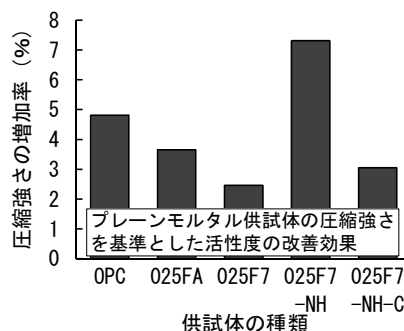


図-8 混和剤による活性度の改善効果(実験5)

- ①FAの置換率が25%の条件では、FAを微粉砕しNaOHを適量添加すれば、普通セメントと同等の圧縮強さが得られる。
- ② $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ は、FAの置換率が極端に大きい条件では、極めて良好な活性度の改善効果を得る添加剤である。
- ③混和剤を使用した場合でも、FAを微粉砕しNaOHを添加すれば、良好な活性度の改善効果が得られる。
- ④ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ などが溶出している養生水で供試体を養生する場合には、添加剤として $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を添加すると活性度の改善効果に悪影響を及ぼす可能性がある。

このように、再現性のあるFAの活性度の改善手法については提示したものの、セメントの代替材となる活性化FAの開発と実用化には至らなかった。

今後は、混和剤を考慮したFAの活性度の改善効果に関するメカニズムについて詳細に検討し、より良好で活性度を安定的に得る活性化FAを開発し実用化したいと考えている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計7件)

- ① 市川敬悟, 犬飼利嗣: フライアッシュの活性度改善手法に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 28, No. 1 2014. 7(掲載決定), 査読あり
- ② 犬飼利嗣, 小沼高士, 市川敬悟, 小林竜平, 齊藤和秀: 活性度を改善したフライアッシュを用いたコンクリートの圧縮強度特性と耐久性, 第57回日本学会材料工学連合講演会講演論文集, pp. 77-78, 2013. 11, 査読なし

- ③ Toshitsugu Inukai: Fundamental Study on Techniques for Improving Activity of Fly Ash, Proceeding of The Second International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment, Topic 1, pp.138-150, 2013.11, 査読なし
- ④ 市川敬悟, 井戸 希, 犬飼利嗣: フライアッシュの活性度改善に関する基礎的研究(その8: フライアッシュの置換率に適応した活性度の改善手法に関する検討), 日本建築学会大会(北海道)学術講演梗概集, A-1, pp. 513-514, 2013. 8, 査読なし
- ⑤ 市川敬悟, 犬飼利嗣: フライアッシュの活性度改善に関する基礎的研究(その7: 添加剤の添加量に関する検討), 日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集, A-1, pp. 555-556, 2012. 9, 査読なし
- ⑥ 古田将大, 柝元紗弥, 犬飼利嗣: フライアッシュの活性度改善に関する基礎的研究(その6: 安定的な活性度の改善手法に関する実験結果および考察), 日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集, A-1, pp. 679-680, 2011. 8
- ⑦ 柝元紗弥, 古田将大, 犬飼利嗣: フライアッシュの活性度改善に関する基礎的研究(その5: 安定的な活性度の改善手法に関する実験概要), 日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集, A-1, pp. 677-678, 2011. 8

〔学会発表〕(計4件)

- ① 犬飼利嗣, 小沼高士, 市川敬悟, 小林竜平, 齊藤和秀: 活性度を改善したフライアッシュを用いたコンクリートの圧縮強度特性と耐久性, 第57回日本学術会議材料工学連合講演会講演論文集, pp. 77-78, 2013. 11. 25, 京都テルサ
- ② Toshitsugu Inukai: Fundamental Study on Techniques for Improving Activity of Fly Ash, Proceeding of The Second International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment, Topic 1, pp.138-150, 2013.11.20, Institut Teknologi Bandung
- ③ 市川敬悟, 井戸 希, 犬飼利嗣: フライアッシュの活性度改善に関する基礎的研究(その8: フライアッシュの置換率に適応した活性度の改善手法に関する検討), 日本建築学会大会(北海道)学術講演梗概集, A-1, pp. 513-514, 2013. 8. 30, 北海道大学, 北海道大学札幌キャンパス
- ④ 市川敬悟, 犬飼利嗣: フライアッシュの活性度改善に関する基礎的研究(その7: 添加剤の添加量に関する検討), 日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集, A-1, pp. 555-556, 2012. 9. 13, 名古屋大学東山キャンパス
- ⑥ 古田将大, 柝元紗弥, 犬飼利嗣: フライアッシュの活性度改善に関する基礎的研究(その6: 安定的な活性度の改善手法に関する実験結果および考察), 日本建築学

会大会(関東)学術講演梗概集, A-1, pp. 679-680, 2011. 8. 23, 早稲田大学早稲田キャンパス

- ⑦ 柝元紗弥, 古田将大, 犬飼利嗣: フライアッシュの活性度改善に関する基礎的研究(その5: 安定的な活性度の改善手法に関する実験概要), 日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集, A-1, pp. 677-678, 2011. 8. 23, 早稲田大学早稲田キャンパス

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称: フライアッシュの活性度改善手法, 活性化フライアッシュを用いたフライアッシュセメント, 及び, 活性化フライアッシュ及びフライアッシュセメントを用いたコンクリート組成物

発明者: 犬飼利嗣, 畑中重光, 三島直生

権利者: 犬飼利嗣, 中川武志

種類: 特許権

番号: 特開2013-32242

出願年月日: 平成23年8月1日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.gifu-nct.ac.jp/archi/inukai/Index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

犬飼 利嗣 (INUKAI Toshitsugu)

岐阜工業高等専門学校・建築学科・教授

研究者番号: 30548326