

機関番号：21301

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20580266

研究課題名 (和文) プレフォーム型 AE 剤を用いたフライアッシュコンクリートの利用に関する実証的研究

研究課題名 (英文) Substantial study on use of Prefoam-type Air-entraining Admixture for Fly Ash Concrete

研究代表者

北辻政文 (KITATSUJI MASAFUMI)

宮城大学 食産業学部 教授

研究者番号：30195268

研究成果の概要 (和文)：2010 年には、わが国の石炭灰の発生量は 1000 万トンが見込まれている。フライアッシュを用いたフライアッシュセメントは、ポゾラン反応や発熱抑制効果があることから、これまでダムなどのマスコンクリートへ利用されてきた実績がある。さらに今後は、大量に発生する再生骨材や低品質な骨材の ASR 対策として期待されている。しかし、AE 剤を練混ぜ時に投入し、連行させる現行の方法 (アフターフォーム型：以下 AAE という) では FA に含まれる未燃カーボンが AE 剤を吸着し発泡作用を弱め、コンクリートの空気量を適正に管理することが難しくなる。このため、フレッシュコンクリートの性状や、耐凍害性が低下する危険性がある。

そこで本研究では、ムース状の微細な空気泡を先に生成したプレフォーム型の AE (以下 PAE という) を練混ぜ時に投入することにより、未燃カーボンの影響を低減し、耐凍害性を高めることを試みた。

研究の結果、フライアッシュの未燃カーボンの影響が緩和され、空気量のコントロールが可能であることが分かった。さらに、その効果は、未燃カーボン量の多い非 JIS フライアッシュにおいても証明された。

研究成果の概要 (英文) : Increased use of fly ash is expected from the standpoint of the effective use of natural resources and measures against alkali-silica reaction. However, it is difficult to adequately control the air content of fly ash concrete, as unburnt carbon contained in fly ash adsorbs the air-entraining admixture, posing a risk of reducing the resistance of concrete to frost damage. In this study, a prefoam-type air-entraining admixture of a whipped cream consistency, which is less prone to the effect of unburnt carbon, was used to entrain fine air bubbles into concrete, in an attempt to enhance its resistance to frost damage. The prefoam-type air-entraining admixture was found to be capable of reducing the spacing factor of fly ash concrete and thus effective against freezing and thawing action.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：①プレフォーム型 AE 剤②エントレインドエア ③コンクリート④フライアッシュ⑤凍結融解抵抗性

1. 研究開始当初の背景

フライアッシュは、年間 1000 万トン排出されている。このため、その有効利用は、今後、大きな課題となってくる。フライアッシュは発熱抑制材やアルカリ骨材反応 (ASR) 対策として使用されてきたが、最近では、大量使用を目的として、細骨材としての代替利用、および溶融スラグ等のブリーディング低減材としても利用され始めた。しかし、フライアッシュに含まれる未燃焼のカーボンが AE 剤を吸着し発泡作用を弱め、コンクリートの空気量を適正に管理することが難しいことから、寒冷地においては、コンクリートの耐凍害性が低下する危険性がある。そこで、この問題点を解決するためにプレフォーム型エントレインドエア(以下 PAE)を開発し、フライアッシュの利用・普及に貢献できることが示唆された。しかし、その成果は実験室のみでデータであり、フィールド試験で実証する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、フライアッシュコンクリートへ利用した場合の PAE の効果を実証するために、以下の実験を行う。

- ①プレフォーム型 AE 剤 (PAE) の性質検証
- ②多量のフライアッシュを添加したコンクリートへの PAE の適用
- ③非 JIS FA を使用したコンクリートへの PAE の適用
- ④再生粗骨材 M, フライアッシュおよび PAE を同時に用いた PCa の基礎的研究

3. 研究の方法

- ①プレフォーム型 AE 剤 (PAE) の性質検証
PAE の粒径、FA の置換率とコンクリートの空気量の関係、およびフレッシュ時の空気量と気泡間隔係数の関係を明らかにする。
- ②多量のフライアッシュを添加したコンクリートへの PAE の適用
FA を最大 185kg/m まで利用したコンクリ

ートを作製し、フレッシュコンクリートの性状、強度、耐久性を検証する。さらに、コンクリート工場の実機を用いて製品(フリーム)を作製し、製品としての JIS 規格試験を行う。

③非 JIS FA を使用したコンクリートへの PAE の適用

②と同様な実験を行うが、さらに作製したコンクリート製品を工事現場へ敷設する。

④再生粗骨材 M, フライアッシュおよび PAE を同時に用いた PCa の基礎的研究

②③と同様な実験を行うが、ここでは再生粗骨材のアルカリシリカ反応対策として FA を利用するため、FA の置換率は 15% とする。

今後大量に発生するコンクリートガラは、廃棄物の抑制対策、路盤材としての限界、骨材不足などの社会背景から、将来的には再生骨材としてコンクリートに再利用されることになる。しかし、出所の異なる多種多様なコンクリートガラから生成される再生骨材の ASR 判定を行うことはきわめて難しく、その対策としては、反応性骨材が含まれると想定し、混合セメントを利用することが不可欠となる。また、再生骨材 M は、吸水率が大きいため、寒冷地での利用は難しいとされているが、PAE を併用することにより、耐凍害性の向上にも有利であると推定される。具体的な実験方法は前項と同じである。

4. 研究成果

①プレフォーム型 AE 剤 (PAE) の性質検証

写真-1 は、PAE 生成装置である。装置は、主としてエアーコンプレッサ部、液送り部、ミキシング部および気泡生成部はからなる。生成方法は、気泡原液を液送り部に流し込みその後、エアーコンプレッサで作られた圧縮空気と同時にミキシング部に送られ、混合後気泡生成部のフィルターを通過し気泡が生成される。フィルターは、細かな気泡の生成が可能になるように独自の工夫がなされて

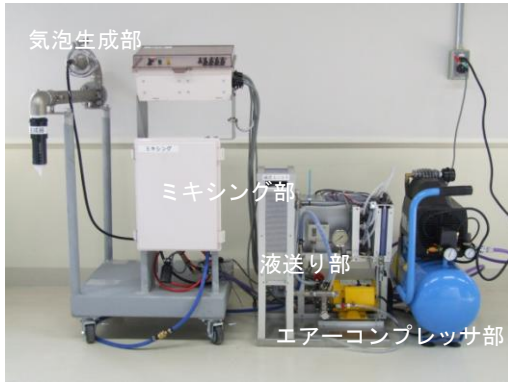


写真-1 PAE 生成装置

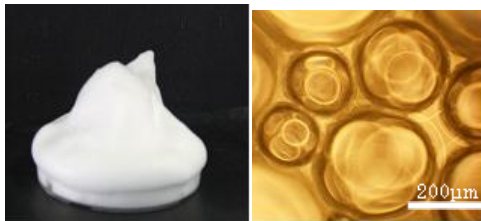


写真-2 PAE の外観



写真-3 PAE のミキサへの投入状況

いる。なお気泡原液はエーテル型アニオン活性剤を主成分とし、気泡膜強化剤が含有されている。

写真-3 は PAE をミキサへ投入状況を示している。図-1 は、空気量 4.5%を得るための FA 置換率と AE 剤使用量の関係を示したものである。PAE の使用量と FA 置換率には比例関係がある。このことから、PAE は未燃カーボンの影響を受けにくいことがわかる。また、PAE を使用することにより、FA を添加したコンクリートの空気量のコントロールが可能である。

フレッシュ時の空気量と気泡間隔係数の関係を図-2 に示す。これより、空気量が同じ場合、普通 AE に比べて PAE コンクリートの気泡間隔係数が小さいことがわかる。これは、PAE の空気泡が小さいことを意味している。このため、凍結融解抵抗性においては有効に機能すると推察される。

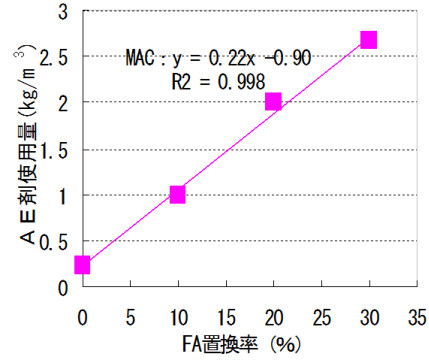


図-1 PAE の使用量と FA 置換率との関係

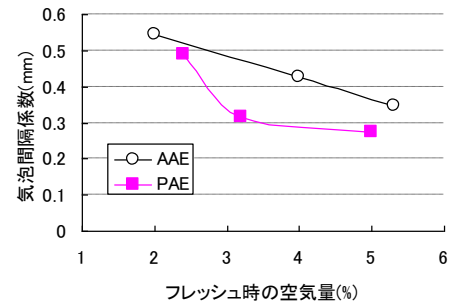


図-2 空気量と気泡間隔係数の関係

②多量のフライアッシュを添加したコンクリートへの PAE の適用

フライアッシュの混入率は、多量を想定しているため、粉体および細骨材の代替として質量比内割で $0 \sim 185 \text{ kg/m}^3$ とした。配合設計は、PCa 製品の設計基準強度である 30 N/mm^2 を満足するために水セメント比 (W/C) を 50%、細骨材率 (s/a) を N : 50%、FA85-0、FAS85-50 および FAS85-100 : 51.5%、FARG85-50 : 49.6% とした。FARG85-50 は、粗骨材全量を再生粗骨材 M で置換し、膨張剤を添加した。一般的に、再生粗骨材は吸水率が高いため乾燥収縮が大きくなると言われているため、収縮対策のために膨張剤を添加した。

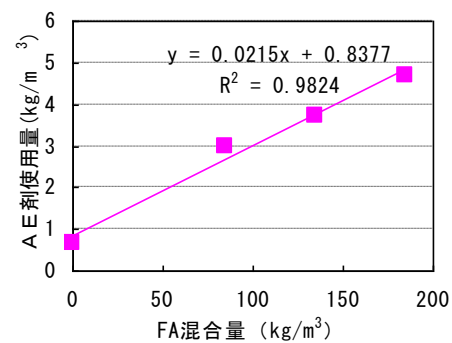


図-3 FA 置換率と PAE の使用量の関係

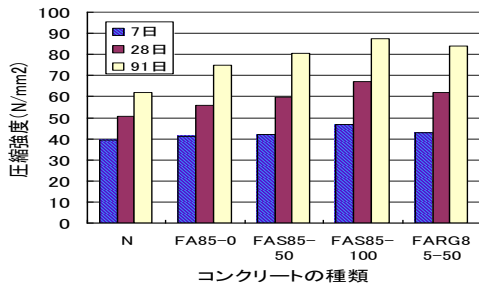


図-4 圧縮強度試験結果

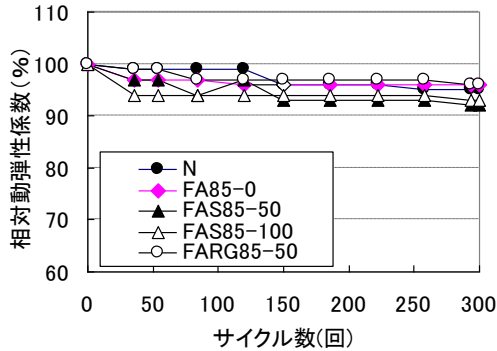


図-5 凍結融解試験結果

空気量 5.0%を得るための FA 置換率と PAE の使用量の関係を図-3 に示す。FA の混入量が増加に伴い、PAE の使用量は直線的に増加している。このことから、PAE は FA に含まれる未燃カーボンの消泡作用の影響を受けにくく、空気量のコントロールが容易であるといえる。

圧縮試験結果を図-4 に示す。FA を混入したコンクリートは、いずれの材齢も N に比べて強度が大きい。また、混入量が多いほど、長期強度が高く、これはポズラン反応によるものと考えられる。

凍結融解試験結果を図-5 に示す。FA の混入の有無にも拘わらず、いずれのコンクリートも 300 サイクル終了時の相対動弾性係数は、90%以上であり、これらのコンクリートの耐凍害性は高いと判断できる。

室内試験の結果が良好であったので、実証試験として、コンクリート製品工場で実機を用いて PCa 製品を試作した。試作した製品は、鉄筋コンクリートベンチフリューム (I 型, B400×H260×L1000mm) であり、製品の曲げ強度試験を行った。製品の外観を写真-4 に示す。

③非 JIS FA を使用したコンクリートへの PAE の適用

非 JIS FA は、大量に発生するものの強熱減量が大きく普通 AE 剤の使用によるコンクリートの空気量コントロールが JIS FA に比べ

表-1 非 JIS FA の品質

検査項目	非 JIS FA	2 種 JIS 規格値	
二酸化ケイ素 (%)	55.9	45 以上	
湿分 (%)	0.1	1.0 以下	
強熱減量 (%)	4.8	5.0 以下	
密度 (g/cm ³)	2.23	1.95 以下	
フロー値 (%)	92	95 以上	
メチレンブルー吸着量 (mg/g)	0.55	—	
粉末度	45μm ふるい (%)	13.4	40 以下
	比表面積 (ブレン法) (cm ² /g)	4160	2500 以上

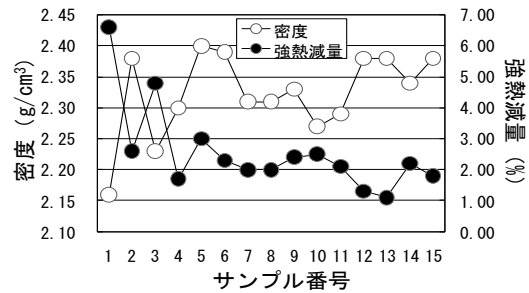


図-6 非 JIS FA の密度と強熱減量の変動

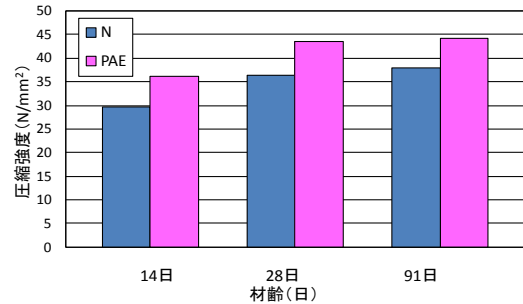


図-7 圧縮強度試験結果

て困難である。しかし、資源の有効利用の観点からは、非 JIS FA の利用が望まれる。

そこで本章では、非 JIS FA を使用した場合のプレフォーム型 AE 剤の効果を確認するとともに、実証試験として PCa 製品を試作し、強度特性および耐久性の観点から検討を行った。

今回使用した非 JIS FA は、酒田火力発電所のもを用いた。その品質を表-1 に示す。非 JIS FA はフロー値が規格値を満たしていないものの 2 種相当の品質であった。また、図-6 に密度と強熱減量の変動を示す。採取時期により変動していることが分かる。

配合設計は、製品の設計基準強度である 30N/mm²を満たすよう N では W/C を 45.2%、PAE では 51.3%とした。

圧縮試験結果を図-7 に示す。一般的に FA を混和材に用いると、初期強度が小さ

いと言われているが、PAE は FA を添加しているにも拘わらず圧縮強度は、N よりも高い値であった。PAE 長期強度が大きくなったのは、FA のポズラン反応によりコンクリートの緻密化が進んだことによるものだと考えられる。

凍結融解試験結果を図-8 に示す。この結果より、N および PAE とともに劣化判定基準の 85% を超えており耐凍害性があると判断できる。とくに PAE は、非 JIS FA を添加しているのにも拘わらず劣化判定基準を超えている。このことより、非 JIS FA を添加しても PAE は、効果を発揮することが分かった。

製品の外観を写真-4 に荷重と変位の関係を図-9 に示す。設計荷重 275kN 載荷時、製品に異常は見られなかった。その後、荷重を載荷し続け約 400kN のところで載荷点真下からひび割れがおきた。500kN からひび割れが載荷点を中心に左右に増え、最終的に支点と載荷点を結ぶ位置にひび割れがおき、770kN で破壊に至った。この結果より、PCa 製品は設計荷重を満たす値となり、製品の性能として問題ないと判断できる。

④再生粗骨材 M、フライアッシュおよび PAE を同時に用いた PCa の基礎的研究

再生骨材 M は品質と製造コストの面から最も利用普及の期待が大きいものの、乾燥収縮や凍結融解作用の影響からその使用にあたっては、地下構造物のみに限定されており、東北地方などの寒冷地では一般の構造物には利用できない状況にある。そこで、本実験では、再生骨材の ASR 対策として非 JISFA を用い、PAE を用いることにより耐凍害性を高めることを試みた。

使用した再生粗骨材 M の品質を表-2 に、外観を写真-5 に示す。試験結果は大きな問題となる点はなく、規格値を満たしている。

圧縮強度試験結果を図-5.3 に示す。圧縮強度試験の目標値は、PCa 製品の設計基準強度である 30 N/mm² である。NP, FARG いずれも目標値を超えているものの、再生骨材を使用したコンクリートはやや小さい結果となった。

凍結融解試験結果を図-11 に示す。いずれのコンクリートも劣化判定基準の 85% より高い値であり、再生骨材を利用したコンクリートであっても十分な耐凍害性能を有していることが分かる。

今回、試作した PCa 製品の曲げ強度試験を行った。製品の曲げ試験の状況を写真-6 に示す。材齢は、工場出荷可能材齢である 14 日とした。コンクリート L 型の曲げ強度試験の JIS 規格値は 29kN/0.6m であり、今回の試験では 32kN/0.6m まで荷重をかけてもひび割れは確認できず良好な結果であった。

さらに、作製した PCa 製品を山形県山形市

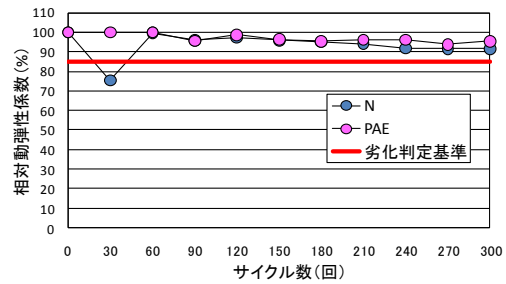


図-8 凍結融解試験結果



写真-4 製品の的外観

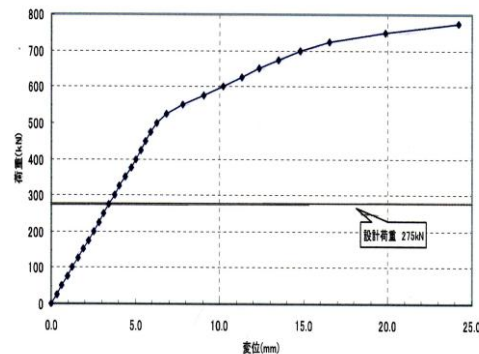


図-9 荷重と変位の関係

表-5.2 再生粗骨材 M の品質

検査項目		再生粗骨材 M	JIS 規格値
密度 g/cm ³	表乾	241	—
	絶乾	258	230 以上
吸水率 %		4.16	5.00 以下
微粒分量%		0.11	15 以下
不純物量 %		0	30 以下
塩化物量 %		0.008	0.04 以下
粗粒率 %		653	—
ASR		—	区分 B

飯田地内の国道 4 号線沿いに設置した。製品の設置状況を写真-6 に示す。敷設後、約 1 年が経過したがひび割れは発生していない



写真-5 再生骨材 M の外観

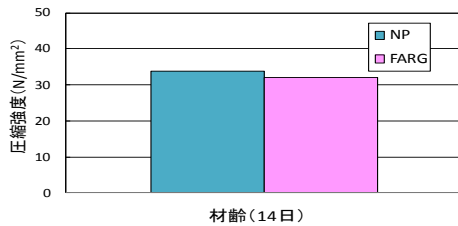


図-10 圧縮強度試験結果

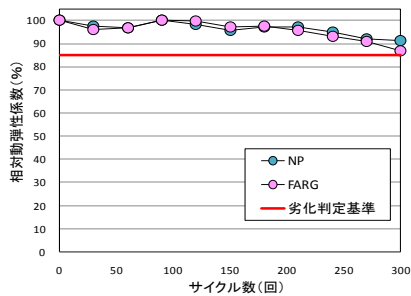


図-11 凍結融解試験結果



写真-6 製品の曲げ試験状況



写真-6 試作した製品の現場敷設状況

ことが確認された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. M.Kitatsuji・H.Aoyama・K.Saito・T.Endo : Development of a Prefoam-type Air-entraining Admixture for Fly Ash Concrete, Proceeding of the 6th International Conference on Concrete under Severe Conditions Environment and Loading, pp.1513-1520,2010.7
2. 北辻政文ら;再生粗骨材 M のプレキャストコンクリート製品への利用に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, 32 巻 1 号, pp.1469-1474, 2010.7

[学会発表] (計 5 件)

1. 佐竹保洋, 北辻政文:再生粗骨材コンクリートへのプレフォーム AE 剤の利用, 農業農村工学会東北支部, 盛岡市, 2010.11
2. 北辻政文ほか:非 JIS フライアッシュコンクリートへのプレフォーム型 AE 剤の利用, 農業農村工学会大会, 神戸大学, 2010.9
3. 北辻政文, 青山宏昭, 斎藤和秀;フライアッシュの違いがプレフォーム型 AE 剤の使用量に及ぼす影響, 64 回年次学術講演会 (社)土木学会, 福岡大学, 2009.9
4. 北辻政文, 青山宏昭, 斎藤和秀;フライアッシュを多量に用いたコンクリートへのプレフォーム型 AE 剤の適用, 63 回年次学術講演会 (社)土木学会, 東北大学, 2008.9
5. 北辻政文, 青山宏昭, 斎藤和秀;フライアッシュコンクリートへのプレフォーム型 AE 剤の利用, 平成 20 年度農業農村工学会大会, 秋田県立大学, 2008.8

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北辻政文 (KITATSUJI MASAFUMI)
 宮城大学 食産業学部 教授
 研究者番号: 30195268