

フライアッシュを事前混合したF Aサンドの品質管理手法に関する研究

福留和人¹・守口安保²・大前延夫³・小門勝彦²・坂本守¹

¹正会員 工博 株式会社間組 技術研究第一部 (〒305-0822 茨城県つくば市荊間515-1)

²正会員 関電パワーテック 環境事業部 (〒552-0007 大阪市港区弁天町1丁目2番1-1800号)

³正会員 工博 関電パワーテック 環境事業部 (〒552-0007 大阪市港区弁天町1丁目2番1-1800号)

筆者らは、通常のコンクリートとほぼ同様の要領でフライアッシュを混和材として使用するため、事前にフライアッシュを細骨材に混合し（以下、F Aサンド）、細骨材としてプラントに供給してコンクリートを製造することを提案した。本研究では、F Aサンドの品質管理手法を確立するために、F Aサンドのフライアッシュ混合率および表面水率の測定方法を検討するとともにフライアッシュの混合率の変動が表面水率およびコンクリートの性能に及ぼす影響を評価した。その結果、フライアッシュの混合率は、骨材の微粒分量測定方法によって正確に測定できること、フライアッシュの混合率が±3%程度変動してもコンクリートの性能に及ぼす影響は小さいことが明らかとなった。

キーワード: フライアッシュ, 細骨材, 事前混合, 品質管理, 表面水率, スランプ, 空気量

1. はじめに

近年、河川砂・山陸砂等の良質な天然骨材の枯渇化、海砂の採取禁止の拡大などの影響から、砕砂の使用割合が増加しつつあり、将来的にも増大することが予想される。砕砂は、河川砂等に比較して粒径、粒度分布等が悪いことから、単位水量の増大、ワーカビリティ、ポンプ圧送性の低下が問題となる場合がある。この対策として、フライアッシュを細骨材の一部に置換することでコンクリートのワーカビリティや強度等の硬化後の物性を改善する方法が提案されている。しかしながら、フライアッシュをコンクリート用混和材として使用する場合、フライアッシュ専用の貯蔵設備および計量設備などの新たな設備投資が必要となる。このことは、フライアッシュのコンクリート用混和材としての利用が進まないことの大きな理由になっているものと考えられる。本研究での取り組みは、事前にフライアッシュを細骨材に混合し（以下、F Aサンドと呼称）、細骨材としてプラントに供給してコンクリートを製造しようとするものである。この方法によれば、フライアッシュ専用の設備を設ける必要がなく、通常のコンクリートとほぼ同様の要領でフライアッシュを混和材として使用したコンクリートを製造することが可

能となる。

これまで、F Aサンドの取り扱い性の評価試験、F Aサンドを用いたコンクリートの基本特性の評価試験、実規模のプラントにおける実証実験等により、実用性は十分高いことを確認している1),2),3),4)。

本研究では、F Aサンドの実用化を進めるに当たり、品質管理手法の確立のための実験的な検討を行った。

2. F Aサンドの品質管理上の課題

(1) F Aサンドの品質管理の基本

図-1にF Aサンドの製造システムを示す。F Aサンドの製造管理上の留意点は、以下のようになる。

- ① 使用するフライアッシュおよび細骨材が所要の品質を満足していることを確認する。
- ② 設定したフライアッシュ混合率で各材料を正確に計量し、十分な混合を行い、フライアッシュと細骨材を所定の混合率で均一に混合する。
- ③ F Aサンドの使用時の取り扱い性、フライアッシュの飛散防止の観点から、製造時のF Aサンドの表面水率の範囲を細骨材の品質、フライアッシュの混合率等の条件に応じて適切に設定し、

所定の表面水となるように製造する。

- ④ 製造したF Aサンドのフライアッシュ混合率が所定の比率で混合されていることを品質管理試験により確認する。

験により確認する。

- ⑤ 製造したF Aサンドは、混合したフライアッシュの飛散、流出がないよう保管、運搬を行う。

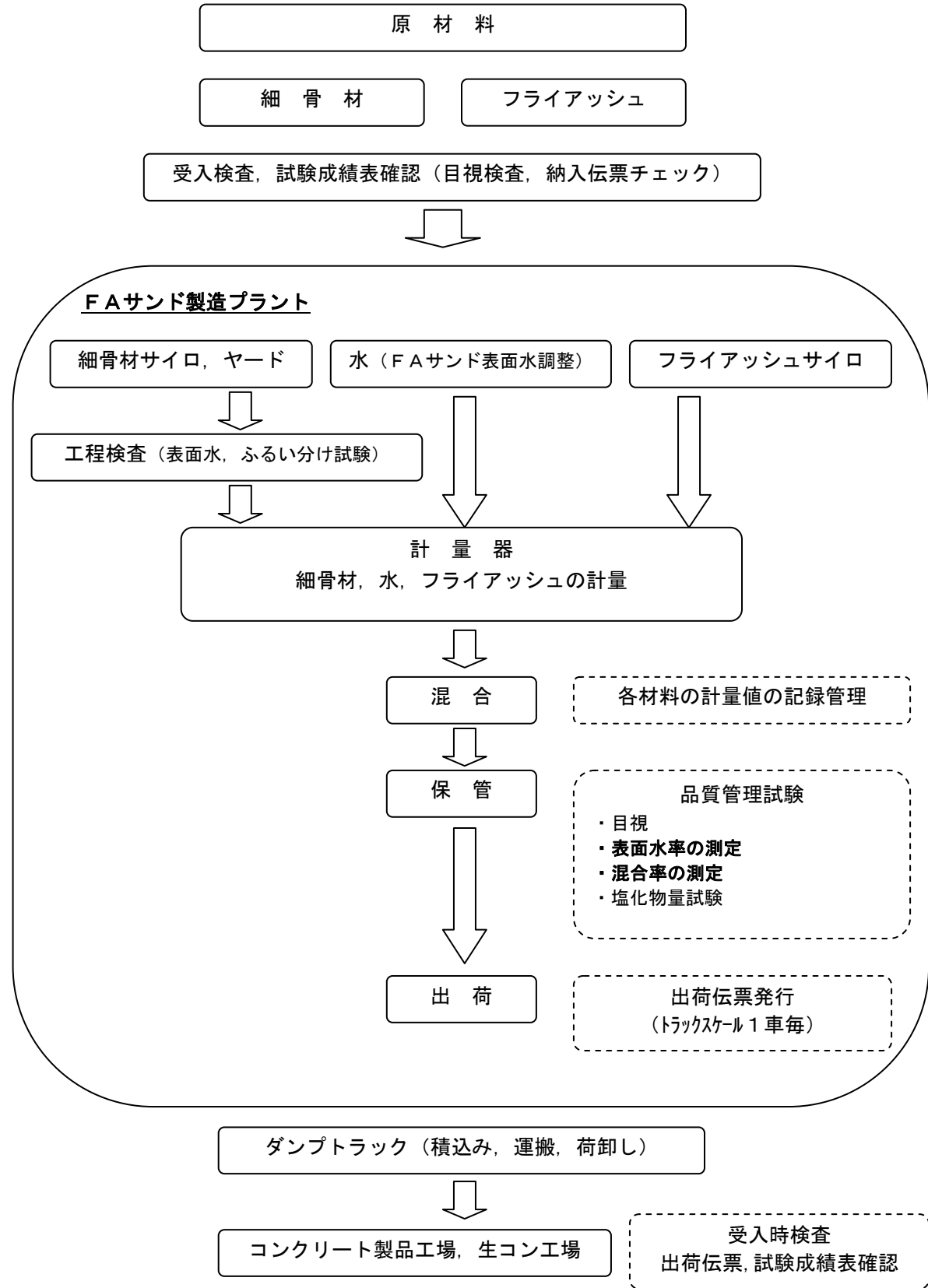


図-1 F Aサンドの製造フロー

(2) F Aサンドの品質管理上の課題

(1)に記載のとおり、F Aサンドの製造時管理は、原材料である細骨材とフライアッシュの品質管理、製造時の各材料の計量値の管理によることを基本とする。また、使用時に所定のフライアッシュ混合率が保たれるように、取り扱い・保管中にフライアッシュの飛散、分離等が生じないように留意する必要がある。F Aサンド使用時には、フライアッシュが所定の混合率であることを保証する必要がある、F Aサンドのフライアッシュの混合率を測定する試験方法を確立しておくことが必要である。さらに、フライアッシュ混合率が変動してもコンクリートの品質に問題となる影響を与えないことを確認しておくことが必要である。すなわち、フライアッシュ混合率の変動の許容範囲も検討しておく必要がある。

(3) F Aサンドの表面水率測定・補正上の課題

F Aサンドは、微粒分量の多い細骨材と同様、JISに示されるフローコーンによる表面乾燥状態の判定が困難となる。そのため、細骨材としての物性（密度、吸水率等）の測定は、困難となる。したがって、密度、吸水率は、原材料の密度、吸水率およびフライアッシュの混合率から理論的に算定することになる。コンクリートの製造管理において重要となる表面水率の測定および補正がF Aサンドにおいても適切に行えることを確認しておく必要がある。

3. 実験概要

(1) 検討概要

2.で示した課題を検討するために、F Aサンドのフライアッシュ混合率の測定方法および表面水率の測定方法の検討を行う。また、F Aサンドのフライアッシュの混合率の変動が表面水率の測定値およびコンクリートの基本性能に及ぼす影響を評価する。

(2) 使用材料

フライアッシュ以外の材料は、大阪府岸和田市に

あるJIS表示認定工場のレディーミクストコンクリート工場で使用されているものとした。セメントは、普通ポルトランドセメント（密度3.16g/cm³）、細骨材は、砕砂（密度2.55g/cm³、吸水率2.25%）と高炉スラグ細骨材（密度2.69g/cm³、吸水率1.58%）を質量比1：1で混合使用した。微粒分量は、それぞれ9.3%および2.6%である。粗骨材は、最大寸法20mmの碎石（密度2.63g/cm³）とした。混和剤には、ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤および空気量調整剤（主成分：陰イオン界面活性剤）を使用した。フライアッシュの品質を表-1に示す。フライアッシュは、JIS A 6201コンクリート用フライアッシュのⅡ種の品質の一般的なものである。

(2) F Aサンド製造方法

フライアッシュを細骨材補充混和材として用いることを想定して、F Aサンドのフライアッシュ混合率は、質量で10%（内割）を基準とした。本研究では、F Aサンドのフライアッシュ混合率の測定方法の検討、フライアッシュ混合率の変動が表面水率の測定およびコンクリートの品質に及ぼす影響を把握するため、フライアッシュ混合率を設定値±0、±1、±2、±3%と変化させたF Aサンドを製造した。

F Aサンドの製造は、フライアッシュの均一な混合を確保するためにバッチ式で十分な混合能力のある混合設備で行う必要がある。また、適切な材料貯蔵設備を有している必要がある。この観点から、実用時には、F Aサンドの製造設備は、JIS A 5308レディーミクストコンクリートの規定を満足することを原則とすることとしている。以上のことから、本研究では、F Aサンドの製造には、コンクリートミ

表-1 フライアッシュの品質

湿分 (%)	強熱減量 (%)	SiO ₂ (%)	密度 (g/cm ³)	ブレーン比表面積 (cm ² /g)
0.07	1.60	60.1	2.30	3,800

表-2 コンクリートの配合

配合種類		スランプ [°] (cm)	空気量 (%)	水セメント 比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能 AE 減水 剤 wt. %
						水 W	セメント C	フライアッシュ F	細骨材 S	粗骨材 G	
製品 配合	同時添加	15.0	2.0 ±1.0	45.0	45.0	175	389	82	736	986	1.0
	F A サンド							818 (F A サンド)			
生コン 配合	同時添加	±2.5	4.5 ±1.0	55.0	47.0	175	318	85	766	947	1.0
	F A サン							851 (F A サン)			

キサ（容量50 l のパン型強制練り）を用いて行った。混合時間は、均一なフライアッシュの混合が達成できる時間を確保する観点から、コンクリートを練り混ぜる場合と同等の練り混ぜ時間とした。細骨材、フライアッシュを一括投入後3分間練り混ぜを行った。混合時の細骨材の表面水率は、3%程度、混合後の保管期間は、1～3日とした。F Aサンドは、無混合の細骨材と同様、密封できる容器で保管し、取扱いも同様とした。

(3) コンクリートの配合および練り混ぜ方法

コンクリートの配合は、コンクリート工場製品およびレディーミクストコンクリートへの適用を考慮した配合（以下、製品配合および生コン配合と呼ぶ）の2種類とした。それぞれ、従来どおり練混ぜ時にフライアッシュを他の材料とともに同時添加する方法とF Aサンドを用いる場合の2ケースで比較した。単位水量、細骨材率および混和剤添加率は、スランブ 15 ± 2.5 cmとなるように選定した。空気量は、製品配合では 2.0 ± 1.0 %とした。生コン配合は、A Eコンクリートとし、空気量の目標値 4.5 ± 1.0 %として空気量調整剤添加量により調整した。ここで、空気量調整剤の添加量は、フライアッシュ混合率が設定値どおりの10%において選定し、フライアッシュ混合率を変化させた場合も、一定の添加量とした。表-2にコンクリートの配合を示す。コンクリートの練混ぜには、容量50 l のパン型強制練りを使用し、練混ぜ時間は、材料一括投入後3分間とした。コンクリートの練混ぜは、 20 ± 2 °Cの恒温室内で行った。

(4) 試験項目および試験方法

F Aサンドの品質評価試験として、表面水率およびフライアッシュ混合率の測定を行った。フライアッシュ混合率は、F Aサンドの微粒分量をJIS A 1103に準じた骨材の微粒分量測定方法により微粒分量を測定し、この測定値から砕砂および高炉スラグ細骨材の微粒分量を差し引くことで求めた。表面水率の測定は、JIS A 1111「細骨材の表面水率試験方法」およびJIS A 1125「骨材の含水率試験方法及び含水率に基づく表面水率の試験方法」に準じて行った。ここで、JIS A 1111およびJIS A 1125による測定に当たってそれぞれF Aサンドの密度および吸水率が必要である。前述のとおり、F Aサンドは、微粒分の多い砕砂と同様、表乾状態の判定が不明瞭となるため、密度および吸水率の実測が困難である。そのため、F Aサンドの密度および吸水率は、混合前の細骨材の密度および吸水率の測定値およびフラ

イアッシュ混合率から理論的に算定した。なお、実際にはフライアッシュも吸水するが、吸収される水も配合補正上は、表面水として取り扱う必要があるため、フライアッシュの吸水率は0%として、表面水率の算定を行った。

コンクリートの試験として、スランブ（JIS A 1101）および空気量試験（JIS A 1128）および圧縮強度試験（JIS A 1108、材齢7, 28および91日）を実施した。コンクリートの養生は、 20 ± 1 °Cの標準水中養生とした。コンクリートの圧縮強度試験以外の試験は、 20 ± 2 °Cの恒温室内で実施した。

4. 結果および考察

(1) 混合率の測定方法の検討

図-2にF Aサンドのフライアッシュ混合率の設定値と混合率の測定値の比較結果を示す。図に示すように、F Aサンドの混合率の測定値と設定値の差は、最大で0.5%程度であり、JIS A 1103骨材の微粒分量測定方法によって、フライアッシュ混合率をほぼ正確に測定することが可能であると言える。また、この結果は、F Aサンドの取扱い中、フライアッシュと細骨材の分離は見られず、均一な状態が保たれることも示しているものと推察される。前述のとおり、F Aサンドとしての物性の測定値が困難なことなどから、F Aサンドの品質管理は、原材料である細骨材とフライアッシュの品質管理、製造時の各材料の計量値の管理によることを基本とするが、F Aサンドの製造後も微粒分量測定試験によれば、フライアッシュ混合率が設定値どおり保持されているこ

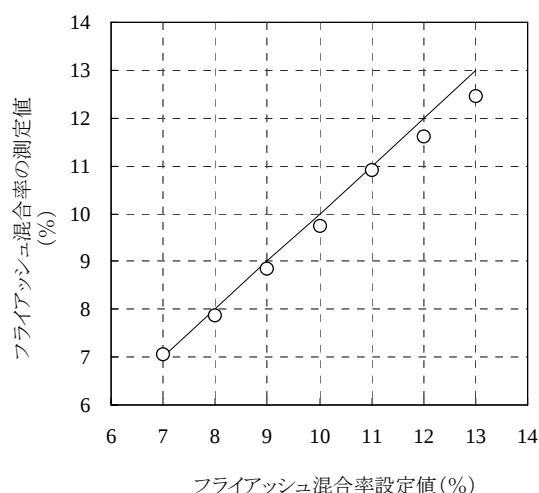


図-2 フライアッシュ混合率の設定値と測定値の関係

との確認は十分可能であるものと考えられる。

(2) 混合率の変動が表面水率測定に及ぼす影響

図-3および図-4にフライアッシュ混合率の変動がFAサンドの表面水率の測定値に及ぼす影響を示す。ここで、図-3は、フライアッシュ混合率の変動を考慮して測定した表面水率の測定値を示す。図-4は、フライアッシュ混合率を設定値どおりの10%と仮定した時の表面水率の測定値を示す。すなわち、フライアッシュ混合率が変動したことが不明で、密度および吸水率をフライアッシュ混合率を当初の設定値どおりとして算定した場合を想定している。

図-2に示すように、フライアッシュ混合率の変動を考慮して測定した場合には、測定方法による差は、最大0.3%程度であり、いずれの方法でもほぼ正確に表面水率の測定が行われているものと推定される。一方、フライアッシュ混合率の変動があったにもかかわらず、その変動を考慮せず設定どおりの混合率として表面水率を算定すると、測定方法による差が若干大きくなる。しかし、取扱い中にフライアッシ

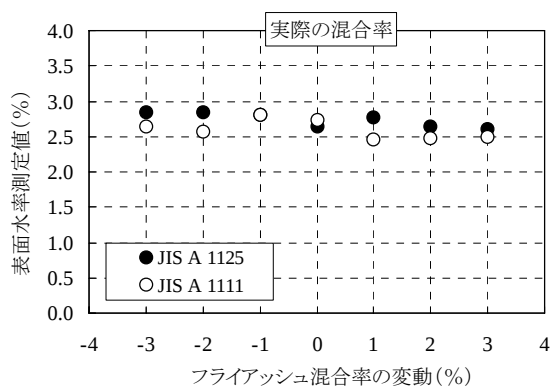


図-3 フライアッシュ混合率の変動と表面水率測定値の関係

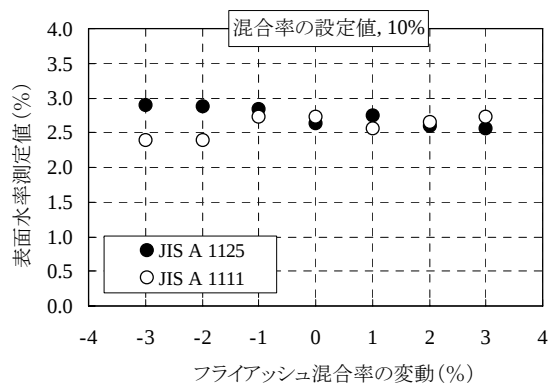


図-4 フライアッシュ混合率の変動と表面水率測定値の関係

ュ混合率が±3%と大きく変動した場合でも表面水率の測定値に及ぼす影響は0.3%程度であり、実際のフライアッシュ混合率の変動が±1%であること²⁾を考慮すれば、実用上は問題ないものと推察される。

(3) 混合率の変動がコンクリート品質に及ぼす影響

図-5および図-6にそれぞれフライアッシュ混合率の変動がスランプおよび空気量に及ぼす影響を示す。

スランプは、フライアッシュ混合率が設定値より低い方に変動するほど大きく、高い方に変動するほど小さくなる傾向が見られる。しかしながら、スランプの変動幅は、最大1cm程度であり、実用上問題となる変動ではない。空気量は、生コン配合のAEコンクリートでは、フライアッシュ混合率の変動が高い方に変動するほどやや低減する傾向は見られるものの、その差は小さい。製品配合では、フライアッシュ混合率の変動が空気量に及ぼす影響はほとんど見られない。以上から、フライアッシュ混合率が±3%程度変化してもフレッシュコンクリートの性状にほとんど影響を及ぼさないものと考えられる。

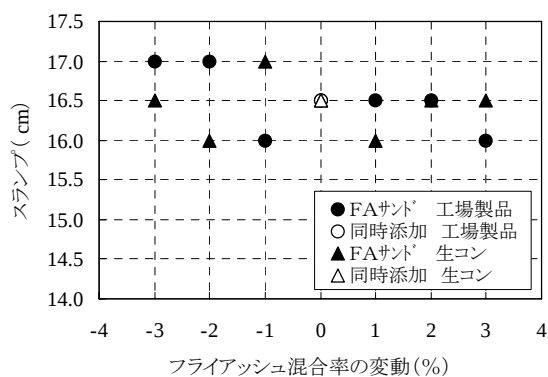


図-5 フライアッシュ混合率の変動がスランプに及ぼす影響

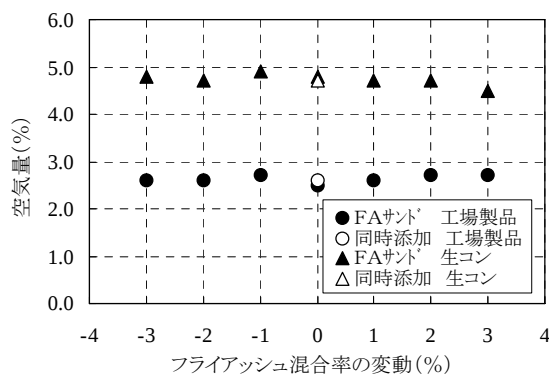


図-6 フライアッシュ混合率の変動が空気量に及ぼす影響

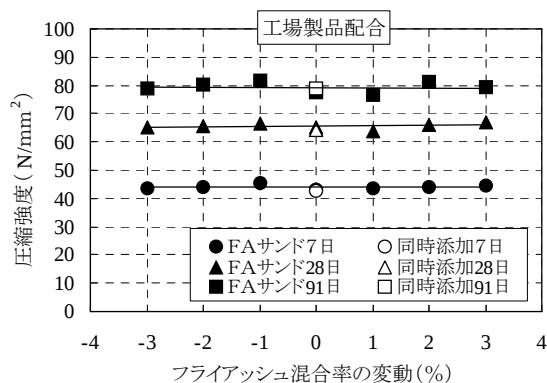


図-7 フライアッシュ混合率の変動が
圧縮強度に及ぼす影響

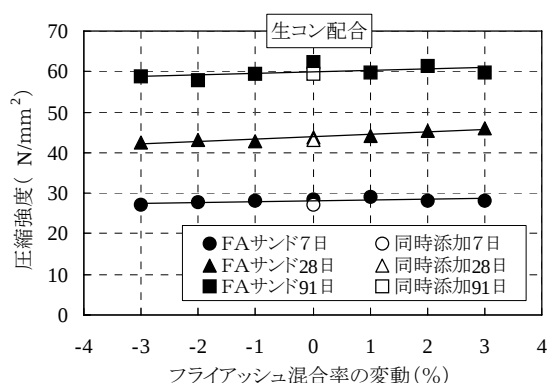


図-8 フライアッシュ混合率の変動が
圧縮強度に及ぼす影響

図-7および図-8にそれぞれ製品配合および生コン配合の圧縮強度に及ぼすフライアッシュ混合率の変動の影響を示す。図に示すように、フライアッシュ混合率が高い方に変動するほど、圧縮強度は増加する傾向が見られるが、その差は小さい。これは、フライアッシュ混合率が高い方に変動するほど、粉体量が増加し結合材量が増加する効果が現れるためであるが、セメント量を一定としているためその影響はさほど大きくないものと推察される。

なお、フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度のいずれも従来どおりフライアッシュを同時添加する場合との差もほとんどなく、F Aサンドの使用がコンクリートの品質に及ぼす影響は小さいと言える。

5. まとめ

本研究では、フライアッシュを細骨材に事前混合したF Aサンドの品質管理上の課題を検討するために、F Aサンドのフライアッシュ混合率の測定方法および表面水率の測定方法を検討するとともに、フライアッシュ混合率の変動がF Aサンドの表面水率の測定およびコンクリートの品質に及ぼす影響を実験的に評価した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① F Aサンドのフライアッシュ混合率は、JIS A 1103による微粒分量の測定値から細骨材の微粒分量を差引くことによって $\pm 0.5\%$ 程度の精度で測定可能である。
- ② F Aサンドの表面水率は、JIS A 1111およびJIS A 1125により実用上問題のない精度で測定可能である。
- ③ F Aサンドのフライアッシュ混合率が $\pm 3\%$ 程度変動しても表面水率の測定値に及ぼす影響は、ほとんど見られない。
- ④ F Aサンドのフライアッシュ混合率が $\pm 3\%$ 程度変動してもコンクリートの性能に及ぼす影響はほとんど見られない。

参考文献

- 1) 福留和人, 小門勝彦, 守口安保, 田原博歴史, 大前延夫, 坂本守: Fundamental properties of concrete using crushed sand blended with fly-ash”, 土木学会第64回年次学術講演会, V-229, pp. 457-458, 2008.
- 2) 福留和人, 小門勝彦, 守口安保, 大前延夫: フライアッシュを事前混合した砕砂の実用化に関する研究, コンクリート工学, Vol. 46, No. 10, pp. 19-26, 2008.
- 3) 福留 和人*1・小門 勝彦*2・守口 安保*2・大前延夫: フライアッシュを事前混合した砕砂を用いたコンクリートの基本特性および環境性能評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No. 1, pp. 235-240, 2009.
- 4) 福留和人, 小門勝彦, 守口安保, 田原博史, 大前延夫: フライアッシュを事前混合した砕砂を用いたコンクリートの基本特性, 土木学会第63回年次学術講演会, V-229, 2008.
- 5) 土田建次, 木村 一: 版下原稿スタイルフォーマットの作成について, 土木学会論文集, No. 333/II-99, pp. 20-33, 1994.