

論文 FA サンドを用いたコンクリートの基礎性状の評価および混合誤差の把握に関する実験的検討

吉谷 拓磨*1・田端 辰伍*2・宮里 心一*3

要旨 : FA サンドとは、細骨材と FA を事前混合し、通常細骨材と同様の手順で使用可能なコンクリート用細骨材である。近年、関西地方では良質な天然骨材の枯渇化に伴い、FA サンドの利用が検討されている。しかし、研究事例は極めて少ない。そのため、本研究では、FA サンドを使用したコンクリートのフレッシュ性状、発熱量および強度を評価した。また、FA サンドの計量誤差の許容範囲の把握を目的に、混合誤差の影響を評価した。その結果、FA サンドを用いたコンクリートの性状は、FA 外割りと同等であった。また、±3%の混合誤差を有する FA サンドを用いたコンクリートの性状は、通常の FA サンドと同等であった。

キーワード : FA サンド, フレッシュ性状, 発熱量, 圧縮強度, 計量誤差

1. はじめに

近年、関西地方では良質な天然骨材の枯渇化、および海砂の採取禁止の拡大を受け、砕砂の使用割合が増加している。しかしながら、砕砂は粒径や粒度分布が悪いことから、単位水量の増大やワーカビリティの悪化等が問題となる¹⁾。この対策として、FA (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方法が提案されている²⁾。しかしながら、FA をコンクリート用混和材として使用する場合、FA 貯蔵サイロや圧送設備など、専用の設備が必要となる。このことが、FA のコンクリート用混和材としての利用が進展しない理由の一つであると考えられる。そこで、FA を細骨材に事前混合した FA サンドの利用が検討されており³⁾、建設技術審査証の第 1003 号として、所定の性能が確認されている。ここで、FA サンド (以下 FAS と称す) とは、練混ぜ前に FA と細骨材を混合し、通常細骨材と同様の手順で運搬、貯蔵、計量、練混ぜが可能なコンクリート用細骨材である。しかしながら、FAS を使用したコンクリートの実験データは少なく、JIS 化に向けては更なる検討が求められている。

以上の背景を踏まえ、本研究では、FAS の汎用化および FA の有効利用を図るため、FAS を使用したコンクリートの性能データを多く収集することを意図し、フレッシュ性状 (12 打フローによる粘性、ブリーディング)、発熱量 (簡易断熱温度上昇) および強度 (圧縮強度) について評価した。そのため、3.2 では、FAS と FA 無混和のコンクリート、または FA 外割りのコンクリートの実験結果を比較し、評価を行った。さらに 3.3 では、FAS の計量誤差の許容範囲の把握を目的に、FAS および FA 外割りに±3%の混合誤差を生じさせ、評価を行った。

2. 実験手順

2.1 使用材料

使用材料の物理的特性を表-1 に示す。また、混和剤は汎用タイプの AE 減水剤 (主成分: リグニンスルホン酸塩とオキシカルボン酸塩) および AE 剤 (主成分: 樹脂酸塩系界面活性剤) を使用した。

2.2 FAS 製造方法

図-1 に示すとおり、砕砂および FA を容量 60 リットルの水平二軸型強制練ミキサに投入後、接着用の水を加え、90 秒間に亘り攪拌した。その後、チャップマンフラスコを用いて、表面水率を 2~4% の範囲に調整した。また、FAS を製造後の 24 時間以内にコンクリートを打設し、貯蔵の影響を除いた。

表-1 使用材料の物理的特性

材料	種類	物性値
セメント	普通ポルトランドセメント (N)	密度: 3.13g/cm ³ 比表面積: 3320cm ² /g
	高炉セメント B 種 (BB)	密度: 3.04g/cm ³ 比表面積: 3750cm ² /g
細骨材	砕砂	表乾密度: 2.62g/cm ³ 吸水率: 1.78%
	陸砂	表乾密度: 2.59g/cm ³ 吸水率: 1.56 %
粗骨材	砕石	表乾密度: 2.58g/cm ³ 吸水率: 2.17%
	陸砂利	表乾密度: 2.63g/cm ³ 吸水率: 0.54%
混和材	舞鶴産 FA (II 種)	密度: 2.26g/cm ³ 強熱減量: 2.3% 比表面積: 3610 cm ² /g 活性度指数 (材齢 28 日): 86 活性度指数 (材齢 91 日): 102 メチレンブルー吸着量: 0.39mg/g

*1 金沢工業大学大学院 工学研究科環境土木工学専攻 (学生会員)

*2 金沢工業大学大学院 工学研究科環境土木工学専攻 (学生会員)

*3 金沢工業大学大学院 工学研究科環境土木工学専攻 (正会員)

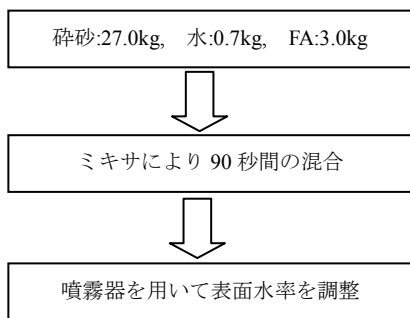


図-1 FAS 製造方法

表-2 実験ケース

No	セメント種類	骨材種類	FA 混合量	置換方法
1	N	砕砂・砕石	-	FA 無混和
2			10%	FA 外割り
3			-	FAS
4		陸砂・陸砂利	-	FA 無混和
5			10%	FA 外割り
6			-	FAS
7	BB	砕砂・砕石	-	FA 無混和
8			10%	FA 外割り
9			-	FAS
10	N	砕砂・砕石	7%	FA 外割り
11			13%	
12			7%	FAS
13			13%	

表-3 コンクリートの配合

No	全容積 V(m ³)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/V)								
				W	C	FA	S	FAS	G	Ad	AE	
1	1.000	55	46	175	318	-	802	-	927	1.59	-	
2						79	714	-		1.91	0.06	
3						-	-	793		1.27	0.07	
4						-	808	-	963	1.91	-	
5						80	716	-		0.96	0.07	
6						-	-	796	923	-	1.59	0.01
7						-	798	-		1.27	0.07	
8						79	710	-		0.08	-	
9						-	-	789	927	-	1.91	0.06
10	0.991	56	713	-	1.27	0.07						
11	1.009	103	713	-	1.91	0.06						
12	0.991	-	-	769	1.27	0.07						
13	1.009	-	-	816	-	-	-					

2.3 実験ケース

表-2 に、実験ケースを示す。セメントの種類は、普通ポルトランドセメント(N)および高炉セメントB種(BB)の2水準とした。また、骨材の種類は、砕砂・砕石および陸砂・陸砂利の2水準とした。さらに、FAの混合量は、FAを細骨材補充混和材として用いた研究⁴⁾を踏まえてNo.2, No.3, No.5, No.6, No.8 および No.9 では、細骨材の全体積の10%とした。一方、No.10, No.11, No.12 および No.13 では、計量誤差の許容範囲を検討するため、前述の混合量10%に対して±3%の誤差を与えた。

2.4 配合

表-3 に、コンクリートの配合を示す。練上がり直後のフレッシュ性状として、スランプが8.0±2.0cm、空気量が4.5%±1.5%となる様に混和剤量を調整した。ここで、No.10とNo.11はNo.2を基準に、またNo.12とNo.13はNo.3を基準に、配合を設計した。

2.5 試験概要

試験項目は、①スランプと空気量、②粘性(12打フロー)、③ブリーディング、④簡易断熱温度上昇および⑤圧縮強度である。ここで、①スランプと空気量は、JIS A 1101とJIS A 1118に準じて測定した。各ケースのスランプおよび空気量を表-4に示す。②粘性(12打フロー)は、モルタルフローの試験方法を基にした。すなわち、スランプ測定後に平板の4隅を3回ずつ計12回打撃し、コンク

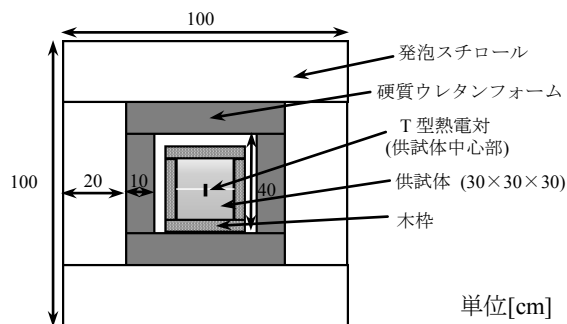


図-2 簡易断熱温度上昇試験の模式図(断面図)

表-4 0~90分後のスランプと空気量

No.	スランプ(cm)			空気量(%)		
	0分後	45分後	90分後	0分後	45分後	90分後
1	6.6	6.0	2.0	4.8	4.0	3.9
2	10.0	8.8	7.2	4.1	3.4	2.9
3	8.8	7.8	2.3	4.5	3.2	2.6
4	9.6	6.2	3.0	4.4	4.4	4.1
5	9.0	5.6	3.5	4.8	4.0	3.1
6	9.9	8.0	7.4	4.6	3.9	3.3
7	9.6	5.6	2.1	5.7	4.2	3.6
8	9.5	5.5	1.0	4.1	3.4	2.6
9	10.0	6.3	4.0	3.9	3.4	2.9
10	10.0	6.4	3.8	6.8	5.1	3.9
11	7.7	5.3	2.0	3.4	3.2	2.6
12	12.0	8.5	5.5	7.5	6.0	4.9
13	8.7	5.3	4.5	3.4	3.1	3.0

リートの平面的な広がり測定した。③ブリーディングは、練上がり直後のフレッシュコンクリートを使用して、JIS A 1123 に準拠して測定した。④簡易断熱温度上昇は、図-2 に示す発泡スチロール製断熱容器を約 20°C の実験室内に設置し、1 時間毎に 7 日間に亘り供試体中心の温度を T 型熱電対を用いて測定した。⑤圧縮強度は、JIS A 1108 に準じて、材齢 7, 28, 56 および 91 日に測定した。

3. 実験結果

3.1 全結果

図-3, 図-4, 図-5, 図-6, 図-7 および図-8 に、試験項目の全結果、およびブリーディングと簡易断熱温度上昇の測定例を示す。

3.2 FAS と FA 無混和または FA 外割りの比較

(1) 粘性 (12 打フロー)

図-9 に、FA 無混和に対する FAS の 12 打フローを示す。また図-10 に、FA 外割りに対する FAS の 12 打フローを示す。図中には、JIS A 5308 におけるスランブフローの評価方法を元に、参考値として±7.5cm の許容範囲も示す。なお、全ケースにおいて試験時のフレッシュコンク

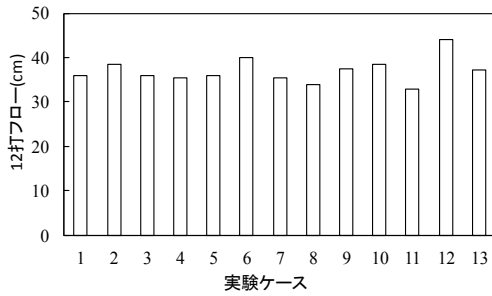


図-3 12 打フロー

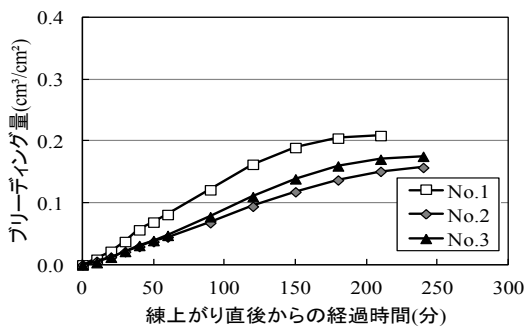


図-4 ブリーディング量の測定例

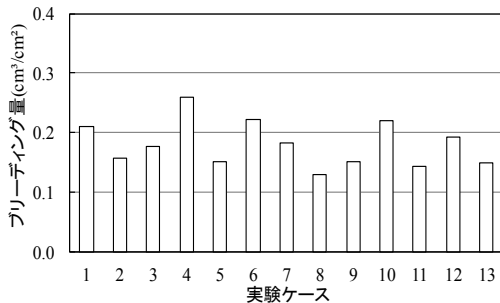


図-5 ブリーディング量

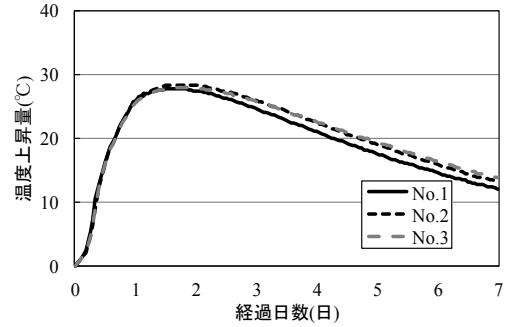


図-6 簡易断熱温度上昇試験の測定例

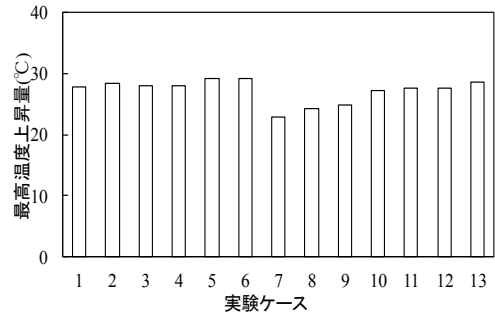


図-7 最高温度上昇量

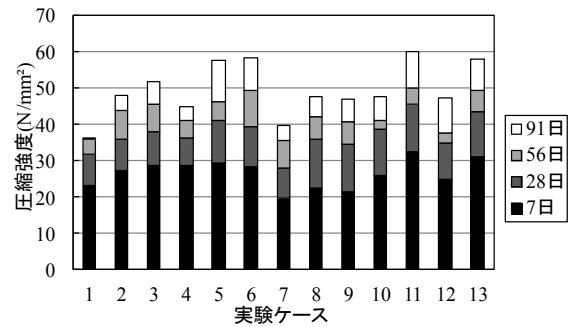


図-8 圧縮強度

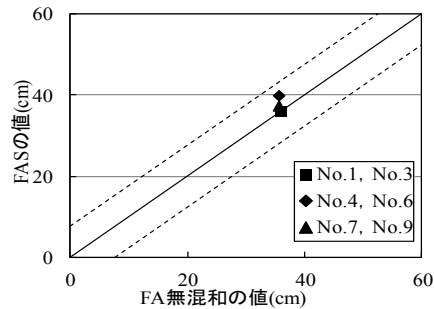


図-9 FA 無混和と FAS の 12 打フロー

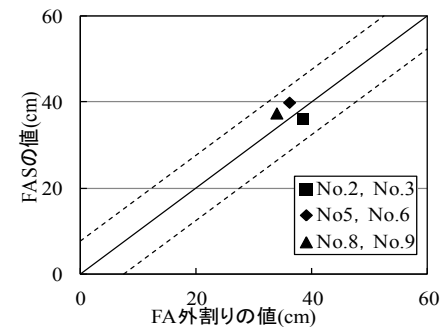


図-10 FA 外割りと FAS の 12 打フロー

リートには粘性があり、材料分離していないことを確認した。したがって、これらによれば、FASを用いたコンクリートの粘性は、FA無混和またはFA外割りと比較して、同等であることが認められる。

(2) ブリーディング

図-11に、FA無混和に対するFASのブリーディング量を示す。また図-12に、FA外割りに対するFASのブリーディング量を示す。これらによれば、ブリーディング量は $0.26\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 以下であることを確認できる。ここで、ブリーディング量が $0.40\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 以下であれば、耐凍害性を有することが示されている⁵⁾。したがって、文献⁵⁾とはW/Cや骨材種類が異なるため、あくまでも参考値としての比較になるが、FASを用いたコンクリートのブリーディング量は、FA無混和またはFA外割りと同様に、凍害が生じにくい程度に低いことが認められる。

(3) 簡易断熱温度上昇

図-13に、FA無混和に対するFASの最高温度上昇量を示す。また図-14に、FA外割りに対するFASの最高温度上昇量を示す。図中には、 $1\sim 3^\circ\text{C}$ は有意な差があると判断している既往の研究⁶⁾を踏まえ、 $\pm 1^\circ\text{C}$ の範囲も示す。したがって、これらによれば、FASを用いたコンクリートの最高温度上昇量は、FA無混和またはFA外割りと比較して、概ね同等であることが認められる。

(4) 圧縮強度

図-15に、FA無混和に対するFASの初期（材齢7日）および長期（材齢91日）の強度を示す。また図-16に、FA外割りに対するFASの初期および長期の圧縮強度を示す。図中には、JIS A 5308では呼び強度の85%未満を許容しないとして判断する規定を踏まえ、 $\pm 15\%$ の範囲も示す。したがって、これらによれば、FASを用いたコンクリートの初期の強度は、FA無混和またはFA外割りと比較して、同等であることが認められる。また、FASを用いたコンクリートの長期の強度は、FA無混和と比較して高く、FA外割りと比較して同等であることが認められる。これは、FAを混和した場合、長期に亘り強度発現が継続するポズラン反応によるためと考えられる。

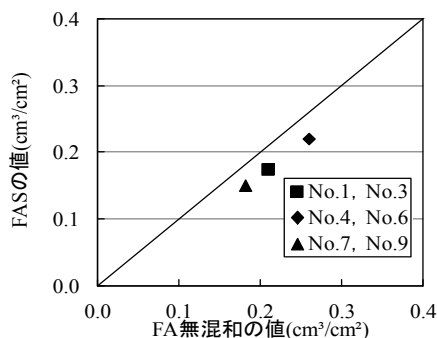


図-11 FA無混和とFASのブリーディング量

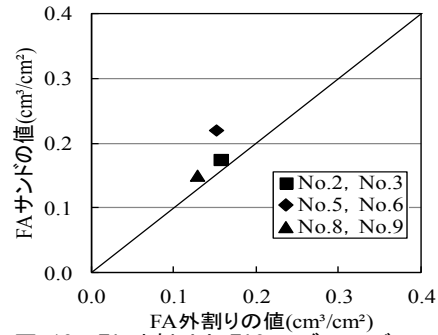


図-12 FA外割りとFASのブリーディング量

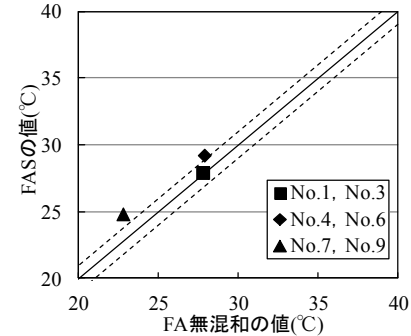


図-13 FA無混和とFASの最高温度上昇量

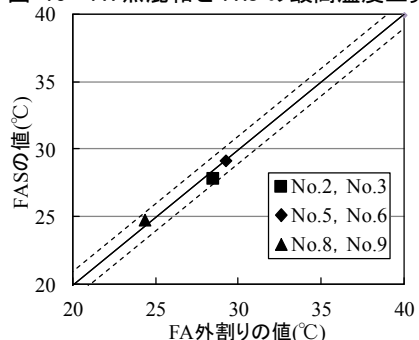


図-14 FA外割りとFASの最高温度上昇量

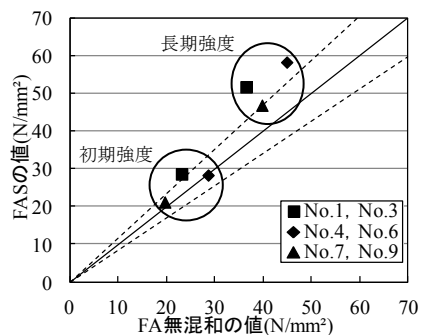


図-15 FA無混和とFAサンドの圧縮強度

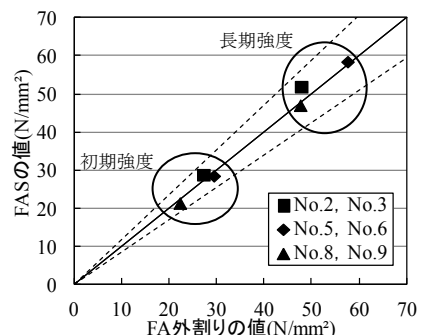


図-16 FA外割りとFASの圧縮強度

3.3 FASおよびFA外割りの混合誤差の影響

(1) 粘性 (12 打フロー)

図-17, 図-18 および図-19 に, 誤差を有しない FAS と誤差を有する FAS, 誤差を有しない FA 外割りと誤差を有する FA 外割り, および双方が誤差を有する FAS と FA 外割りの 12 打フローの関係を示す。これらによれば, 何れの粘性も, 同等であることが認められる。

(2) ブリーディング

図-20, 図-21 および図-22 に, 誤差を有しない FAS と誤差を有する FAS, 誤差を有しない FA 外割りと誤差を有する FA 外割り, および双方が誤差を有する FAS と FA 外割りのブリーディング量の関係を示す。これらによれば, ブリーディング量は $0.26\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 以下であることを確認できる。したがって, 3.2(2)と同様に, 何れのブリーディング量も, 同様に低いことが認められる。

(3) 簡易断熱温度上昇

図-23, 図-24 および図-25 に, 誤差を有しない FAS と誤差を有する FAS, 誤差を有しない FA 外割りと誤差を有する FA 外割り, および双方が誤差を有する FAS と FA 外割りの最高温度上昇量の関係を示す。これらによれば,

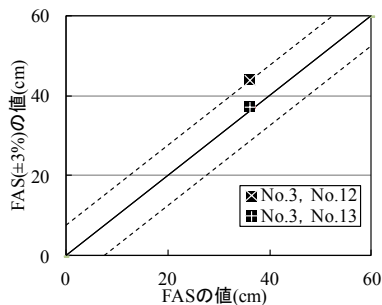


図-17 誤差無 FAS と誤差有 FAS の 12 打フロー

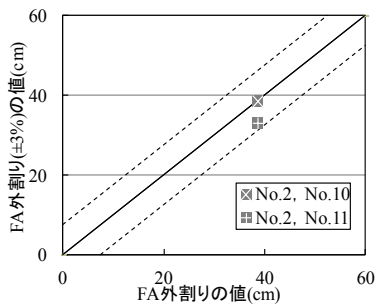


図-18 誤差無 FA 外割りと誤差有 FA 外割りの 12 打フロー

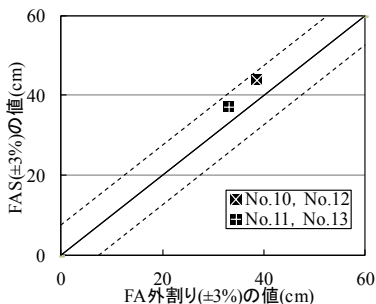


図-19 誤差有 FA 外割りと誤差有 FAS の 12 打フロー

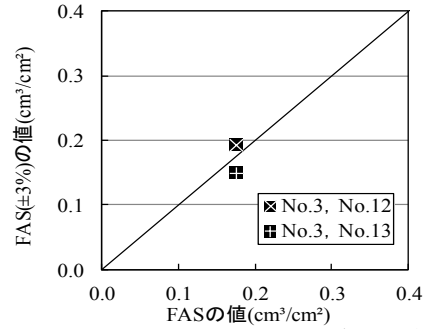


図-20 誤差無 FAS と誤差有 FAS のブリーディング量

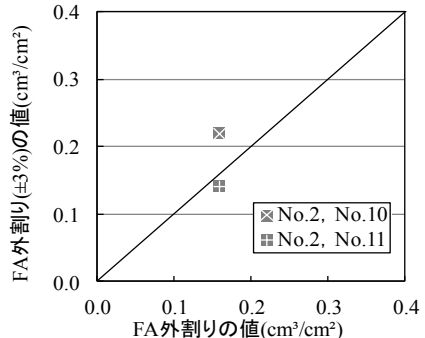


図-21 誤差有 FA 外割りと誤差有 FA 外割りのブリーディング量

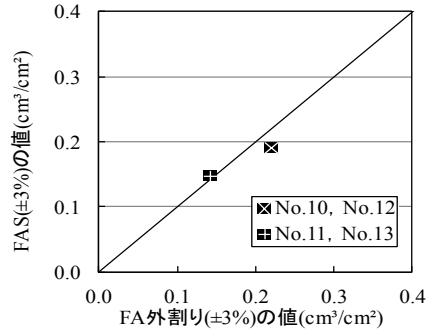


図-22 誤差有 FA 外割りと誤差有 FAS のブリーディング

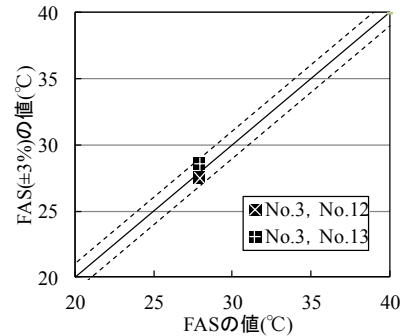


図-23 誤差無 FAS と誤差有 FAS の最高温度上昇

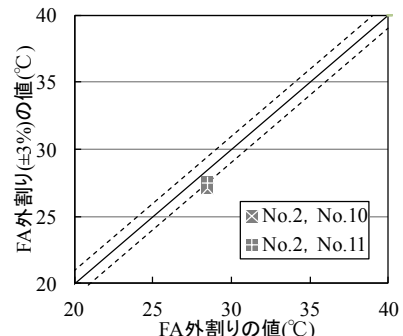


図-24 誤差無 FA 外割りと誤差有 FA 外割りの最高温度上昇量

何れの最高温度上昇量も、同等であることが認められる。

(4) 圧縮強度

図-26、図-27 および図-28 に、誤差を有しない FAS と誤差を有する FAS、誤差を有しない FA 外割りと誤差を有する FA 外割り、および双方が誤差を有する FAS と FA 外割りの初期（材齢 7 日）および長期（材齢 91 日）の圧縮強度の関係を示す。これらによれば、何れの圧縮強度も、概ね同等であることが認められる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) FAS を用いたコンクリートの粘性、ブリーディング、発熱量および初期の強度は、FA 無混和または FA 外割りと比較して、同等であった。また、長期の強度は、FA 無混和より高く、FA 外割りと同等であった。
- (2) 混合誤差 (±3%) を有する FAS を用いたコンクリートの粘性、ブリーディング、発熱量および圧縮強度は、誤差を有しない FAS と比較して、同等であった。また、双方が誤差を有する FAS と FA 外割りを比較した場合も、同等であった。したがって、±3% の混合誤差は、コンクリートの性能に影響を及ぼさないと判断した。

謝辞

福留和人教授(石川高専)に御指導を、ならびに関電パワーテック(株)に御支援を頂きました。

参考文献

- 1) 山本大介, 松下博通, 鶴田浩章, 尾上幸造: 砕砂を用いたコンクリートの基礎的性状に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.79-84, 2005
- 2) 船本憲治, 村上英治, 黒羽健嗣, 並木 哲: フライアッシュが高強度コンクリートの流動性および強度発現に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.18, No.1, pp.357-362, 1996
- 3) 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
- 4) 坂本守, 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混合砂の実用性に関する研究, 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集, V-489, pp.977-978, 2010

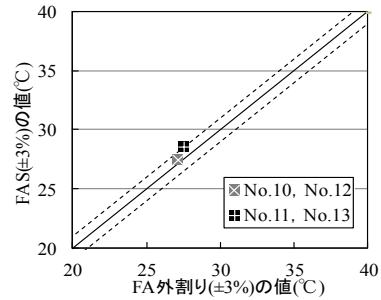


図-25 誤差有 FA 外割りと誤差有 FAS の最高温度上昇量

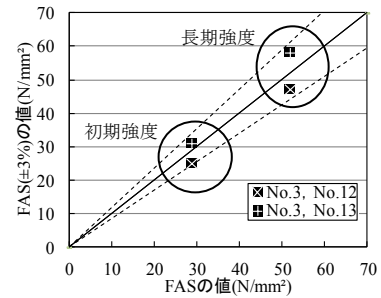


図-26 誤差無 FAS と誤差有 FAS の圧縮強度

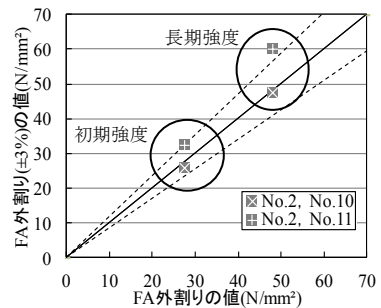


図-27 誤差無 FA 外割りと誤差有 FA 外割りの圧縮強度

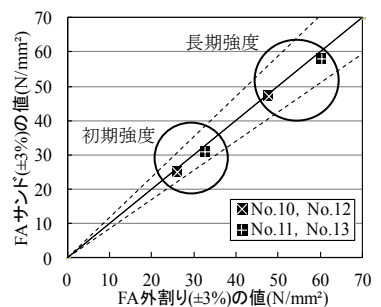


図-28 誤差有 FA 外割りと誤差有 FAS の圧縮強度

- 5) 坂田 昇, 管俣 匠, 林 大介, 作榮二郎: コンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼすブリーディングの影響に関する一考察, コンクリート工学論文集, Vol.23, No.2, pp.59-69, 2012
- 6) 高橋昭裕, 高橋和之, 齋藤直, 吉武勇: 断熱温度上昇量と強度性状におよぼすフライアッシュの影響に関する基礎実験, セメント・コンクリート論文集, No.62, pp.262-267, 2008