

未粉砕処理の珪殻灰を混入したコンクリートの特性

梶原 教裕*1・上原 匠*2・齊藤 和秀*3

概要: バイオマス火力発電所等により排出される未粉砕処理の珪殻灰を混入したコンクリートの特性把握を行った。その結果、セメントの内割置換（結合材）で使用した場合、単位水量を 20~70 kg/m³ 増加させることでスランプ制御が容易となり、適正な珪殻灰混入量は 25~80 kg/m³ の範囲内であったが、無混入と比較して強度発現性は小さくなることが明らかとなった。一方、セメントの外割置換（混和材）で使用した場合、単位水量 175kg/m³、水セメント比 60%の配合では、珪殻灰を 50~75 kg/m³ 混入する事で粘性を含め適切なフレッシュ性状が確保され、強度も増進する結果が得られた。さらに、無混入に比べ凝結時間の短縮、ブリーディング量の低減、高い耐凍害性を示すことから、混和材として利用することが望ましいことが明らかとなった。

キーワード: 珪殻灰, 未粉砕, 火力発電, 結合材, 混和材

1. はじめに

近年日本では、多種多様な発電へのシフトが進められている。現状の火力発電は主として化石燃料を使用しているが、将来、日本においても化石燃料に代わり、例えば珪殻などのいわゆるバイオマスを燃料とした火力発電の推進も十分にあり得る。従って、事前に産業副産物となる珪殻灰の有効利用を図ることは、環境負荷低減を図り、持続可能な社会を構築する上でも重要な課題の一つと考えられる。

珪殻灰に対する既往の研究^{1, 2)}では、高い活性度を有する混和材料として、珪殻灰を粉砕処理した状態での利用を考えたのに対して、著者らは珪殻灰を環境負荷低減材料と位置付け、前処理を必要としない排出時の状態での使用を利用条件とした。

混和材料をコンクリートに混合する配合には、セメントと置換する内割混合と、単位セメント量を保持して骨材と置換する外割混合がある。

著者らは既報^{3, 4)}において、セメントの内割置換（単位セメント量を低減させ CO₂ 排出量を抑制）での有効利用を目的に、珪殻灰を排出時の状態で練り混ぜたコンクリートの物性について報告している。既報³⁾では、未粉砕処理の珪殻灰を最大 30%まで置換しても高い活性度を有していること、ただし珪殻灰置換率を増やすに従い、流動性を確保するため細骨材率を上げ、化学混和剤の使用量を増やす必要があり、その結果フレッシュコンクリートの粘性が高くなることを報告した。その結果を踏ま

えて、既報⁴⁾では珪殻灰置換率 30%に対して、コンクリート標準示方書⁵⁾（以下、示方書と表記）で推奨される単位水量 175kg/m³ より 20kg 多い単位水量 195kg/m³ の配合 1 水準を検討した結果、スランプ値の改善は小さいが化学混和剤の使用量が半分となり粘性も施工上問題ないこと、単位水量を増加させても強度及び乾燥収縮、耐凍害性に問題がないことなど、利用できる可能性を報告した。

また、既報^{6, 7)}では、既往の研究^{1, 2)}と同様に混和材と位置づけ、細骨材と珪殻灰を置換（セメントの外割置換）した珪殻灰混入コンクリート（以下、RHA コンクリートと表記）の物性について報告している。珪殻灰混入モルタルでは、強度試験結果より、未粉砕処理の状態でも 90% 以上の高い活性度を示すことから、未粉砕処理での利用を考えた。しかし、フロー試験結果より、単位水量と化学混和剤使用量を一定にした場合、珪殻灰無混入のフロー値比を 100%とすると、粉砕処理した珪殻灰と未粉砕処理の珪殻灰では、フロー値比比較でそれぞれ、134%、75%となり、未粉砕処理の珪殻灰を使用すると流動性が低下することが明らかとなった。また、RHA コンクリートでは、珪殻灰 3 水準の配合から、珪殻灰の単位量が 75kg/m³ の場合に施工性を保持しつつ、高い強度が確保できることを報告している。ただし、乾燥収縮及び耐凍害性の確認はなされていない。今後、有効利用を推進するには RHA コンクリートが施工性、強度、耐久性を満足する必要がある。

そこで本研究では、未粉砕処理の珪殻灰をコンクリー

*1 名古屋工業大学大学院 工学研究科社会工学専攻 工修（正会員）〒466-8555 愛知県名古屋市中昭和区御器所町

*2 名古屋工業大学大学院 准教授 工学研究科社会工学専攻 工博（正会員）〒466-8555 愛知県名古屋市中昭和区御器所町

*3 竹本油脂（株）第三事業部（正会員）〒443-8611 愛知県蒲郡市港町 2-5

表-1 使用材料

種別		記号	物性値
普通ポルトランドセメント		C	密度:3.16g/cm ³ 比表面積:3290cm ² /g(UM社製)
細骨材	砕砂	S	表乾密度:2.67 g/cm ³ 絶乾密度:2.64 g/cm ³ 吸水率:1.24% 粗粒率:2.77 実積率:58.5%
粗骨材	砕石 2005	G	表乾密度:2.72 g/cm ³ 絶乾密度:2.70 g/cm ³ 吸水率:0.53% 粗粒率:6.64 実積率:58.9%
混和材	籾殻灰	RHA	密度:2.41g/cm ³ 平均粒径:80.1 μm 比表面積:321000cm ² /g 未燃カーボン:3.5%
混和剤	高性能 AE 減水剤	SP	主成分:末端スルホン酸基を有するポリカルボン酸基含有多元ポリマー
	AE 剤	AE	主成分:高級脂肪酸及び非イオン系界面活性剤

表-2 籾殻灰物性値

項目	単位	分析方法	本論文で 用いた 籾殻灰	既報 ⁷⁾ で 用いた 粉碎 籾殻灰	中嶋 ¹⁾ らの論文で用いた もみがら灰			佐藤ら ²⁾ の論文で用 いたもみがら灰		
					レイジ アナ産	テキサ ス産	メキシ コ産	JR	AR	
未燃カーボン	%	CHN 計	3.5	3.9	-	-	-	-	-	
強熱減量	%	815℃加熱(重量法)	8.2	8.6	-	-	-	-	-	
かさ密度	g/mL	重量法(30回ポンピング)	0.48	0.92	-	-	-	-	-	
比表面積	cm ² /g	BET 法	321000	255000	79200	162300	244400	655000	420000	
平均粒径	μm	レーザー回析法	80.1	19.0	6.47	6.39	5.18	-	-	
密度	g/cm ³	比重計	2.41	2.38	2.18	2.15	2.21	2.13	2.12	
焼成温度	℃	-	800 程度	800 程度	500~700			700 程度		
化 学 成 分	SiO ₂	wt%	ICP 発光分析	83.0	81.0	93.30	93.00~ 97.00	97.50	83.4	85.4
	Al ₂ O ₃		ICP 発光分析	0.35	0.55	-	1.00	0.20	0.20	0.20
	CaO		ICP 発光分析	0.56	0.87	0.35	1.00	0.10	0.40	0.20
	MgO		ICP 発光分析	0.33	0.40	0.08	1.00	0.20	0.40	0.20
	SO ₃		ICP 発光分析	0.31	0.39	-	-	-	-	-
	Cl		イオンクロマトグラフ法	0.24	0.24	-	-	-	-	-
	K ₂ O		原子吸光分析法	1.3	0.28	1.51	1.00	0.30	1.53	3.16
pH	-	水抽出(1g/20ml) pH 計	9.9	10.0	-	-	-	-	-	
湿分	wt%	重量法	0.77	1.9	-	-	-	-	-	

トに効果的に利用する適切な混入量および利用形態を明らかにするため、フレッシュ時と硬化後の特性について、既報のデータ^{4, 6, 7)}も含めて実験データを統計的に整理し考察した。さらに、フレッシュ時の不具合を抑え、混入することによる硬化コンクリートの強度、耐凍害性の向上及び乾燥収縮が抑制される配合条件について検討した。すなわち、既報のデータを含め、実験データは結合材(セメント内割置換)及び混和材(セメント外割置換)ごとに、それぞれ単位水量などの因子をパラメータに整理、考察した。

2. 使用材料

使用材料及びその物性値を表-1に、本研究で使用した籾殻灰を表-2、写真-1に示す。実験で使用した籾殻灰は、

東南アジアの稲作地帯で稼働する籾殻を燃料とした火力発電所から排出される産業副産物であり、火力発電所の燃焼炉底部と燃焼炉内の集じん機から回収された混合籾殻灰(約9:1の割合)である(2005年の時点で、年間約2.7万トンの籾殻灰が発生)。未粉碎処理の状態であるため、その特徴として、形状にばらつきがあることが倍率200の写真から判断できる。倍率1000の写真からは内部の空隙の形状寸法も様々な多孔質構造であることがわかり、そのため粒径が大きくても、比表面積が大きいと判断される。会報誌(2012年7月発刊)⁸⁾によると、既往の研究で用いられている籾殻灰の比表面積は3110000~40000cm²/g、平均粒径は22.4~5.0 μm程度と報告されているが、本研究で使用した未粉碎処理の籾殻灰の比表面積は321000cm²/g、平均粒径は80.1 μm程度の大きめの粒子形状であることがわかる。なお、用いた籾殻灰は多

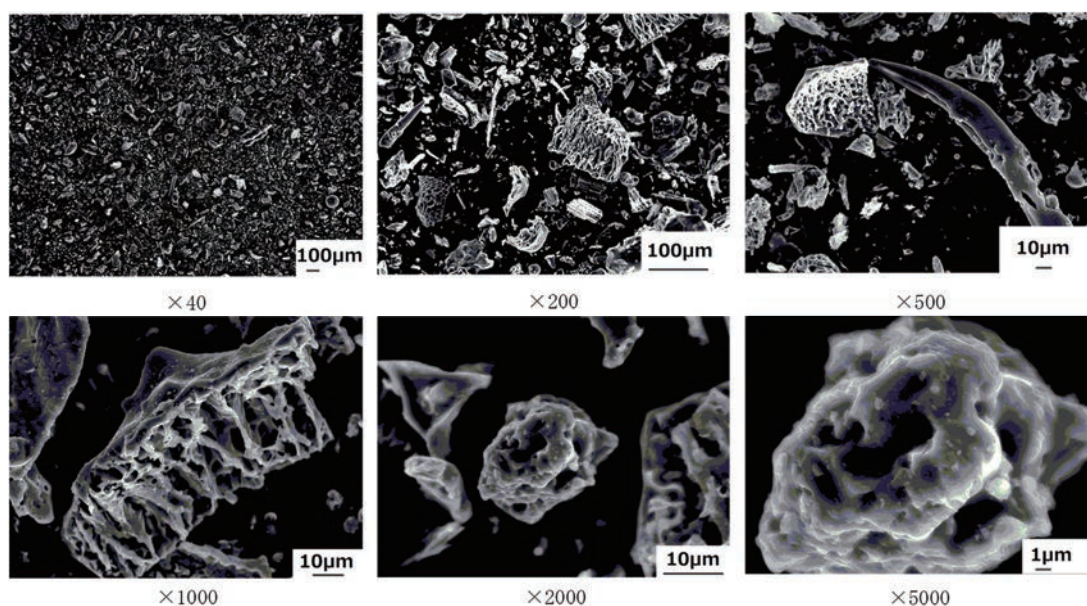


写真-1 使用した粉砕灰のSEM写真

孔質であり、かつ、破碎処理がなされてなく粒子も粗いため、ブレーン空気透過装置での比表面積の測定が不能となったことから気体吸着法 (BET 法) により測定した。粉砕灰の化学反応性に関しては、粉砕は火力発電の燃料として約 800℃で燃焼利用されていることから、粉砕灰の主成分である SiO_2 は活性度が高いことが明らかにされている⁴⁾。産業副産物は、経済性や環境負荷低減の観点から、地産地消での利用が望まれる。すなわち、現地の基準に沿った試験が必要となるが、日本の基準を適用した方が、粉砕灰の影響度合いを精度良く把握でき、性能を理解しやすいと考えたこと、東日本大震災後の電力不足に対して日本でのバイオマス発電の可能性も考え、各種試験は JIS 規格に準拠して実施した。

なお、細骨材には砕砂 (瀬戸産)、粗骨材には砕石 (瀬戸産) を使用した。また、混和剤は、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤、高級脂肪酸及び非イオン系界面活性剤を主成分としたフライアッシュ用 AE 剤を用いた。

3. 実験概要

表-3 に既報の配合を含む全配合を示す。シリーズ A はセメントの内割置換 (結合材) の配合 (No.1~16) を、シリーズ B はセメントの外割置換 (混和材) の配合 (No.17~38) を示す。

3.1 セメントの内割置換 (結合材)

セメントの内割置換で粉砕灰を使用する配合では、単位水量、単位粉砕灰量、水結合材比、細骨材率、化学混和剤量、練混ぜ時間をパラメータとし RHA コンクリートの流動性改善と粘性低減を試みた。特に、単位水量に着目し、流動性と強度発現を兼備する配合の目安を実験により検証した。ただし、強度確保と流動性改善の観点及

び、過度の化学混和剤使用量と練混ぜ時間低減の観点から、粉砕灰を有効利用するための適切な配合を模索することとした。水結合材比は 80, 70, 60, 55, 50 の 5 水準設定し、粉砕灰置換率においてもセメント質量の 0%, 10%, 20%, 30%, 50% の 5 水準設定した。また、単位水量を増加させることから併せて乾燥収縮及び耐凍害性試験も実施した。

結合材として有効利用する場合、粉砕灰の置換率を最大でセメント質量の 30% までとした。(ただし、R50-80-A は比較配合のためこの限りではない) シリーズ A で設定した配合は、単位水量 195 kg/m^3 を基準にさらなる流動性改善と粘性低減を目的に、単位水量を増加させた。

目標スランブは後述する設定条件により適宜設定し、目視及び供試体作製時において材料分離が見受けられず、適切な流動性を保持している事を確認して試験を実施した。目標空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ とした。

3.2 セメントの外割置換 (混和材)

既報^{6,7)}では明らかにされていなかった凝結時間、ブリーディング量の把握に加えて、乾燥収縮及び耐凍害性を改めて検討することとした。シリーズ B では単位水量を 175 kg/m^3 、水セメント比を 50, 60% の 2 水準とし示方書⁹⁾に準拠する範囲での値を採用した。シリーズ B での検討は、施工性確保に加えて、単位セメント量が少ない配合や、水セメント比 60% と比較的水セメント比の高い配合に対して懸念される強度確保や乾燥収縮及び耐凍害性に対して、粉砕灰を混入することの有効性を明らかにすることにある。なお、目標スランブは特に設定せず、目視及び供試体作製時において材料分離が見受けられず、適切な流動性を保持している事を確認して試験を実施した。(10 \pm 2.5cm 程度) なお AE コンクリートの目標空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ に設定した。

表-3 既報を含めた配合表一覧

No.	種別	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					化学混和剤		スランプ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	練上がり温度 (°C)	練混ぜ時間 (分)
					水 W	セメント C	珪砂灰 RHA	細骨材 S	粗骨材 G	SP (kg/m ³)	AE (B×%)					
1	Base-50-A0 ⁴⁾	50	50	39.6	175	350	0	708	1099	1.75	0.02	12.0	4.7	2.324	25.5	1.5
2	R10-50-A0 ⁴⁾	56	50	39.6	175	315	35	704	1094	3.50	0.02	7.0	5.4	2.284	25.4	2.0
3	R30-50-A0 ⁴⁾	71	50	39.6	175	245	105	697	1082	7.35	0.02	7.0	5.5	2.304	25.6	4.0
4	Base-50-A02 ⁴⁾	50	50	38.1	185	370	0	664	1067	0.74	0.04	10.5	3.6	2.341	27.8	1.5
5	R30-50-A02 ⁴⁾	71	50	36.3	195	273	117	606	1051	3.90	0.04	5.0	4.5	2.252	28.5	7.0
6	Base-50-A	50	50	36.3	195	390	0	617	1103	0.78	0.07	12.0	4.0	2.322	23.4	1.5
7	R10-50-A	56	50	36.3	195	351	39	613	1096	3.12	0.04	12.5	6.0	2.274	23.7	2.0
8	R20-50-A1	63	50	36.3	195	312	78	609	1091	5.07	0.03	9.5	4.4	2.308	23.6	3.0
9	R30-80-A	114	80	40.0	280	245	105	592	904	2.80	0.008	19.5	5.0	2.077	22.4	1.0
10	R30-70-A	100	70	40.0	245	245	105	629	961	2.80	0.008	12.0	4.3	2.201	22.6	2.0
11	R30-60-A	86	60	40.0	210	245	105	665	1018	2.80	0.008	1.5	3.8	2.261	23.0	2.0
12	R50-80-A	160	80	40.0	280	175	175	584	893	5.25	0.02	21.0	4.5	2.111	22.7	6.0
13	R30-60-A	86	60	40.0	210	245	105	666	1018	5.25	0.02	13.5	4.8	2.219	14.3	3.0
14	R20-60-A	75	60	40.0	195	260	65	695	1062	2.60	0.03	9.5	4.9	2.247	14.4	3.0
15	R20-55-A	69	55	40.0	195	284	71	684	1046	3.55	0.025	14.0	5.1	2.249	15.0	3.0
16	R20-50-A2	63	50	40.0	195	312	78	672	1027	3.90	0.035	10.5	4.2	2.272	14.8	3.0
17	Base-60-B0 ⁶⁾	60	-	44.6	175	292	0	811	1074	3.21	-	14.5	1.3	2.24	17.5	1.5
18	50R-60-B0 ⁶⁾	60	-	43.0	175	292	50	758	1074	13.68	-	22.5	0.4	2.25	19.0	3.0
19	100R-60-B0 ⁶⁾	60	-	41.2	175	292	100	706	1074	15.68	-	20.5	0.1	2.23	19.0	3.0
20	Base-55-B0 ⁶⁾	55	-	43.6	175	318	0	783	1080	3.50	-	14.5	1.7	2.25	17.5	1.5
21	50R-55-B0 ⁶⁾	55	-	41.9	175	318	50	730	1080	14.72	-	22.0	0.5	2.23	17.0	3.0
22	100R-55-B0 ⁶⁾	55	-	40.0	175	318	100	677	1080	16.72	-	19.0	0.2	2.25	20.5	3.0
23	Base-50-B0 ⁶⁾	50	-	42.6	175	350	0	754	1084	3.85	-	13.0	1.4	2.27	18.0	1.5
24	50R-50-B0 ⁶⁾	50	-	40.8	175	350	50	701	1084	16.00	-	23.0	0.7	2.25	16.0	3.0
25	100R-50-B0 ⁶⁾	50	-	38.9	175	350	100	647	1084	18.00	-	19.5	1.5	2.24	18.0	3.0
26	Base-50-B00-2 ⁷⁾	50	-	39.6	175	350	0	708	1099	1.40	0.035	8.0	4.8	-	-	2.0
27	50R-50-B00 ⁷⁾	50	-	37.8	175	350	50	652	1099	4.00	0.10	7.0	6.0	-	-	2.0
28	75R-50-B00 ⁷⁾	50	-	36.8	175	350	75	625	1099	6.38	0.35	8.0	5.1	-	-	4.0
29	Base-60-B00 ⁷⁾	60	-	39.6	175	292	0	727	1130	1.17	0.035	8.5	4.0	-	-	2.0
30	50R-60-B00 ⁷⁾	60	-	37.8	175	292	50	672	1130	3.42	0.07	6.0	4.2	-	-	2.0
31	75R-60-B00-2 ⁷⁾	60	-	36.7	175	292	75	644	1130	5.51	0.105	7.0	5.1	-	-	2.0
32	100R-60-B00 ⁷⁾	60	-	35.7	175	292	100	616	1132	7.84	0.14	6.5	4.0	-	-	4.0
33	Base-50-B	50	-	39.6	175	350	0	708	1099	1.40	0.035	8.0	4.8	-	-	2.0
34	50R-50-B	50	-	37.8	175	350	50	652	1099	4.00	0.05	7.0	5.0	-	-	2.0
35	75R-50-B	50	-	36.8	175	350	75	625	1099	6.38	0.35	8.0	5.1	-	-	4.0
36	Base-60-B	60	-	39.5	175	292	0	725	1132	2.04	0.025	12.0	5.4	2.315	23.2	1.5
37	50R-60-B	60	-	37.6	175	292	50	669	1132	5.13	0.04	8.5	5.8	2.282	23.8	1.5
38	75R-60-B	60	-	36.6	175	292	75	642	1132	8.44	0.05	8.0	5.9	2.267	23.8	3.0

*No.1~16 はセメントの内割置換配合を, No.17~38 はセメントの外割置換配合を示す。

新たに実施した配合では、既報⁷⁾と同じ水セメント比 60%、単位水量 175kg/m³、単位セメント量 292kg/m³、単位粗骨材量 1132kg/m³ 一定の条件の下、単位珪灰量 0、50、75kg/m³ (Base-60-B、50R-60-B、75R-60-B と表記) をそれぞれ細骨材と質量置換した配合を設定した。また比較配合として水セメント比 50%、単位水量 175kg/m³、単位セメント量 350kg/m³、単位粗骨材量 1099kg/m³ を設定し珪灰混入量の差がフレッシュ性状及び硬化性状に与える影響について改めて検討した。

全配合の設定条件は以下のとおりとなる。

内割置換 (目標スランブは適宜設定)

No.1~3 : W=175 kg/m³, W/B=50%, s/a=39.6% 一定

・示方書の単位水量の上限に準拠した際の性状把握

No.4~8 : 推奨値より単位水量を 10~20 kg/m³ 高く設定

・単位水量増加による性状把握

・No.6~8 の目標スランブは 12±2.5cm

No.9~13 : 単位水量をさらに高く設定 (W=210~280 kg/m³)

・高単位水量が強度とフレッシュ性状に与える影響把握

・目標スランブの設定なし

No.14~16 : W=195 kg/m³, s/a=40.0% 一定

・W/B を変化させた際の性状把握

・目標スランブは 12±2.5cm

外割置換 (目標スランブは 12±2.5cm 程度)

No.17~25 : Non-AE コンクリート, W/C=60, 55, 50%

・示方書の単位水量の上限に準拠した際の性状把握

No.26~32 : AE コンクリート, W/C=60, 50%

・示方書の単位水量の上限に準拠した際の性状把握

No.33~38 : AE コンクリート, W/C=60, 50%

・示方書の単位水量の上限に準拠した際の乾燥収縮、耐凍害性への影響把握

3.3 試験方法

コンクリートの練混ぜには、公称容量 0.06m³ の水平 2 軸型強制練りミキサを使用した。本試験での材料投入手順は、砕砂の半分、セメント、珪灰、残りの砕砂、碎石の順序で行い、空練り後に練混ぜ水を投入する手順とした。練混ぜ時間は珪灰の混入量が増加するに従い適宜調整し、1~7 分程度になった。練混ぜ終了後のコンクリートは練り板に受け、均一になるように 2 往復繰り返した後に直ちにフレッシュ試験を行った。なお、スランブや空気量が目標値から外れた場合、十分な材料分離抵抗性と目標空気量を有している場合は試料として有効であると判断し、供試体を作製した。

コンクリートの試験項目は、フレッシュ性状に対しては、スランブ試験 (JIS A 1101-2005)、空気量試験 (JIS A 1128-2005)、単位容積質量試験 (JIS A 1116-2005)、凝結時間試験 (JIS A 1147-2007)、ブリーディング試験 (JIS A 1123-2003) とした。硬化コンクリートに対しては、圧縮強度試験 (JIS A 1108-2006)、静弾性係数試験 (JSCE-G 502-1999)、長さ変化率試験 (JIS A 1129-3-2001)、凍結融

解試験 (JIS A 1148-2001) を実施した。圧縮強度の試験材齢、静弾性係数の試験材齢は適宜設定し、長さ変化率試験は材齢 26 週まで、凍結融解試験は 300 サイクルまで実施した。供試体の養生方法については JIS に準拠して養生した。

4. 内割置換によるフレッシュ性状と硬化物性の評価

4.1 フレッシュ性状

表-3 にシリーズ A のフレッシュ性状試験結果を示す。表-3 より単位水量 195kg/m³、s/a=36.3% 一定の配合 No.6~8 で Base-50-A (No.6) と比較すると、R10-50-A (No.7)、R20-50-A1 (No.8) では、スランブが目標範囲内に収まり、未粉碎処理の珪灰を用いても化学混和剤使用量と練混ぜ時間を調整することで No.6 の配合と同程度のスランブ制御は可能となることが確認された。また、目視によるフレッシュコンクリートの練上がり状態から No.7、No.8 とともに施工可能なコンシステンシーを有していることも確認された。これは、既報の単位水量 175kg/m³ の配合 (No.1~3) と比較すると、単位ペースト量が増加したことでワーカブルなコンクリートが得られた事によりスランブが増大したと考えられる。空気量についても、ばらつきはあるが 4.5±1.5% の範囲に収まった。既報⁴⁾の単位水量 195kg/m³ (No.5) と比較すると、流動性を確保するには珪灰の単位量に応じて単位水量をさらに増やす必要があると言える。珪灰無混入の No.6 の配合と同等のフレッシュ性状となるように、単位水量を最大 280kg/m³ まで増加させ、化学混和剤使用量の低減を試みた配合 (No.9~13) では、未粉碎処理の珪灰を使用する際の単位水量を示方書⁵⁾推奨値である 175kg/m³ (単位水量の上限値) より大幅に増やすことでスランブの制御は容易となり、フレッシュ時の切返し作業から、ハンドリング (粘性低減) の向上も確認された。

なお、単位水量を最大 280kg/m³ まで増加させても、材料分離は認められなかった。しかし、No.7~16 の RHA コンクリートは Base-50-A (No.6) と比較して、化学混和剤使用量の低減が認められなかった事や、後述する硬化性状への悪影響が懸念されることから、未粉碎処理の珪灰を内割置換する場合には、単位水量を 195kg/m³ で使用する事が目安になると考えた。単位水量 195kg/m³、珪灰置換率 20% 一定の下で、水粉体比を 60、55、50% と 3 水準設定 (No.14~16) した配合でも化学混和剤と練混ぜ時間を適宜調整することで適切なフレッシュ性状が確保されることを確認した。No.9~16 の空気量についても、ばらつきはあるが 4.5±1.5% の範囲に収まった。

次に、珪灰をセメントの内割置換した配合のフレッシュ性状に影響を与える因子の傾向を明確にするため図-1 に単位珪灰量と高性能 AE 減水剤の関係を、図-2 に

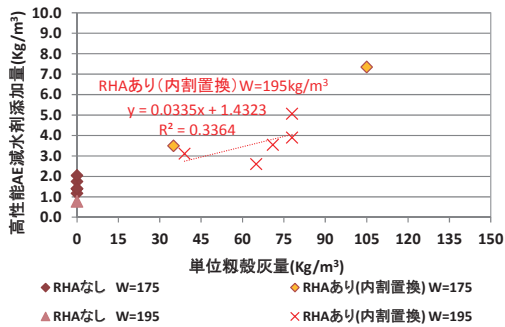


図-1 単位珪砂灰量と高性能 AE 減水剤添加量の関係

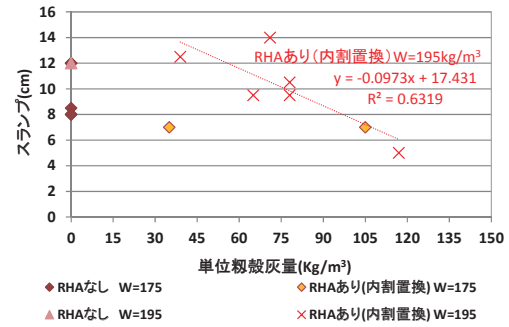


図-2 単位珪砂灰量とスランプの関係

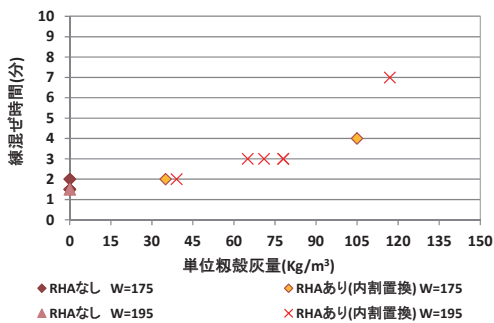


図-3 単位珪砂灰量と練混ぜ時間の関係

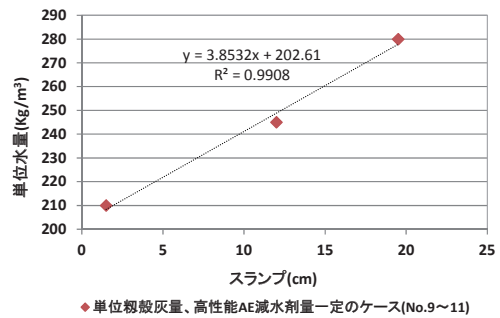


図-4 スランプと単位水量の関係

単位珪砂灰量とスランプの関係を、図-3に単位珪砂灰量と練混ぜ時間の関係を、図-4にスランプと単位水量の関係を、図-5に練混ぜ時間と単位水量の関係を示す。

図-1より、単位水量 195kg/m³の配合 (No.6~8, 14~16)において、RHA コンクリート中の単位珪砂灰置換量を増大させると、無混入のコンクリートと比較して、高性能 AE 減水剤の使用量が 2.0~5.0 kg/m³と最大で無混入のコンクリートの 7 倍程度の使用量が必要となることが認められた。また、単位水量 175kg/m³の配合 (No.1~3)と比較すると、傾向として、高性能 AE 減水剤の使用量は少なくなることが読み取れるが、RHA コンクリートの単位珪砂灰置換量と高性能 AE 減水剤の使用量との相関は R²=0.3364 と低いことが確認された。すなわち、粉体中の単位珪砂灰量に対し、効果的に高性能 AE 減水剤が分散に寄与していないことが明らかとなった。今後の課題として珪砂灰の有効利用を確立する上でもセメントだけではなく珪砂灰も効率よく分散する化学混和剤の開発が待たれる。

図-2より、単位水量 195kg/m³の配合 (No.5~8, 14~16)において、RHA コンクリート中の単位珪砂灰置換量を増大させると、スランプは低下する傾向にあることが認められた。この原因には、単純に単位珪砂灰置換量を増大させ粉体全体の比表面積が増大したことが挙げられる。さらに、写真-1の珪砂灰の SEM 写真より、多孔質であり平均粒径がセメントより大きい珪砂灰に練混ぜ水が吸着され珪砂灰内部に練混ぜ水がとどまる (保水される) ことで本来流動性に寄与する練混ぜ水が相対的に少

なくなることも流動性が低下する一因と考えられる。ただし、単位水量 175kg/m³の配合 (No.1~3)と比較すると、単位水量 195kg/m³の配合 (No.6~8, 14~16)のスランプは増大し、No.5を除いて目標スランプ内に収まることが確認された。

図-3より、単位水量 195kg/m³の配合 (No.6~8, 14~16)において、RHA コンクリート中の単位珪砂灰置換量 39~78kg/m³の範囲では、無混入のコンクリートと比較して同等のスランプを得るためには、1.5~2 倍程度の練混ぜ時間が目安となることが明らかとなった。すなわちコンクリートが均一に一体化するまでの時間が長くなることが確認された。ただし、今後の課題として、練混ぜ方法も含めた合理的な練混ぜ時間を検討しデータ整理する必要がある。また、RHA コンクリート中の単位珪砂灰置換量 100kg/m³以上の範囲では無混入のコンクリートと比較して、2 倍以上の練混ぜ時間が必要となり練混ぜ効率が著しく低下することが認められた。すなわち、練混ぜ効率に支配的な影響を及ぼさない範囲での単位珪砂灰量の適正混入量は 25~80kg/m³の範囲 (R10 及び R20 シリーズ相当)にあることが実験より明らかとなった。

図-4より、単位珪砂灰量 105kg/m³、高性能 AE 減水剤添加量 2.80kg/m³一律の配合 (No.9~11)において、相関係数 R²=0.9908 との試験結果から、RHA コンクリートのスランプと単位水量には高い相関関係があることが認められた。すなわち、スランプを調整するには、化学混和剤ではなく単位水量で制御することが効果的であることが明らかとなった。最大で単位水量は 280kg/m³まで設定

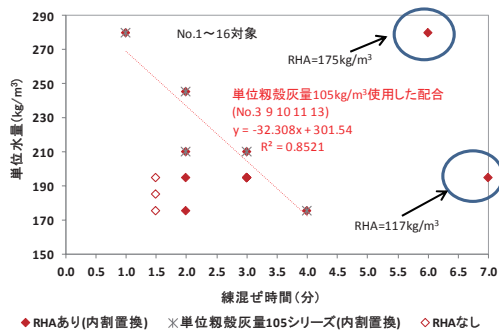


図-5 練混ぜ時間と単位水量の関係

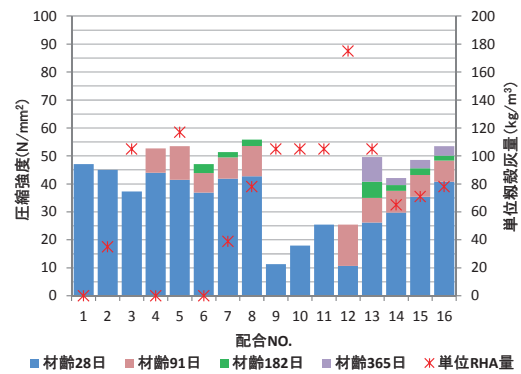


図-6 各配合における圧縮強度試験結果

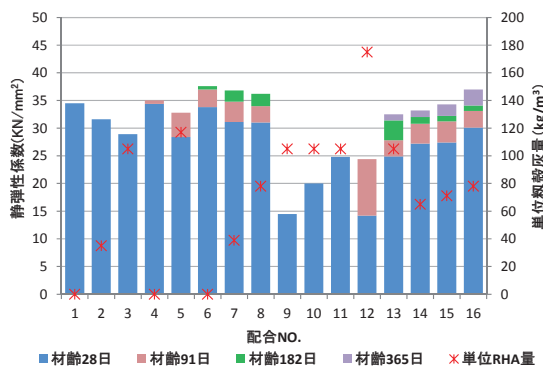


図-7 各配合における静弾性係数試験結果

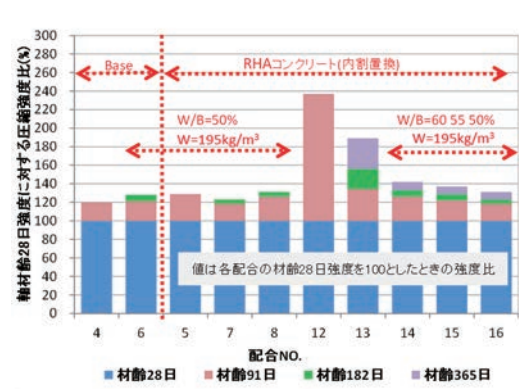


図-8 材齢 28 日に対する圧縮強度比の関係

したが、材料分離はなくブリーディングも認められなかった。

図-5 より、RHA コンクリートは無混入のコンクリートと比較して単位水量が少ないと練混ぜ時間が増加する傾向にある。これは粗粒灰に対する濡れ性¹⁰⁾の影響が関係すると考える。すなわち、単位水量を少なくすることで、モルタルの粘性が増加することから、RHA コンクリートの濡れ性が低下し、結果的に練混ぜ時間が増加したと考えられる。また、単位粗粒灰量 175kg/m³、117kg/m³の結果から、単位粗粒灰量 105kg/m³ 使用した配合 (No.3, 9, 10, 11, 13) の場合、単位水量と練混ぜ時間に負の相関 (R²=0.8521) があることが認められた。したがって、設定した単位水量に応じて適宜練混ぜ時間を調整する必要があることが確認された。ただし、設定した単位水量を踏まえた最適な練混ぜ時間は、今回の試験から把握できなかった。

4.2 硬化性状

図-6、図-7、図-8 にシリーズ A の材齢 28, 91, 182, 365 日での圧縮強度、静弾性係数及び、材齢 28 日に対する各材齢の圧縮強度比を示す。

図-6 より、Base コンクリート (No.4) と比べ RHA コンクリート (No.5) は、セメントの内割置換のため材齢 28 日の強度は低いが、材齢 91 日の強度では同等以上になることが明らかとなった。また、単位水量 195kg/m³、水粉体比 50%の配合 (No.6~8) について、Base コンクリート (No.6) と比べ RHA コンクリート (No.7, 8) は、

空気量が 0.4~2.0%高い結果にも関わらず強度発現性が大きく、単位粗粒灰量が増加することで強度も高くなることが確認された。すなわち、強度発現の観点から、単位粗粒灰量はセメントの代替材料として有効であることが認められた。

図-7 より、静弾性係数も圧縮強度と同様に材齢とともに高くなることが確認された。図-8 より、RHA コンクリート、Base コンクリートともに、材齢 28 日以降の強度増進が確認できる。特に、材齢 28 日から 91 日にかけて、単位水量と単位粗粒灰量が他の配合と比べて比較的多い配合 No.12 及び No.13 の伸びが大きい。また、単位水量 195kg/m³、水粉体比 60, 55, 50%の配合 (No.14~16) について、図-6 より、圧縮強度は水粉体比が小さいほど強度発現は大きくなるが、図-7 より、材齢 28 日以降の強度増進は逆の傾向となる。すなわち、RHA コンクリートのポズラン反応の活性度に注目すると、単位水量と単位粗粒灰量を増加させることでその効果が発揮され、多孔質な粗粒灰が練混ぜ水を取込み、保水することで内部水中養生効果が生まれ、長期強度発現に繋がったと考えられる。ただし、単位水量 195kg/m³、水粉体比 50%の配合 (No.6~8) について、Base コンクリート (No.6) と RHA コンクリート (No.7, 8) の強度増進はほぼ同等となり、RHA コンクリートのポズラン反応による優位性が確認されず、ポズラン反応が活性化する最適な単位水量と単位粗粒灰量は、今回の実験からは把握できなかった。

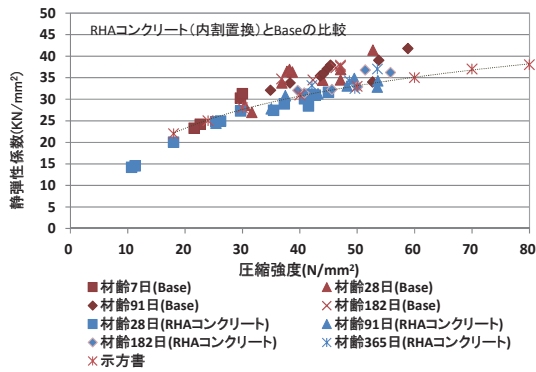


図-9 圧縮強度と静弾性係数の関係

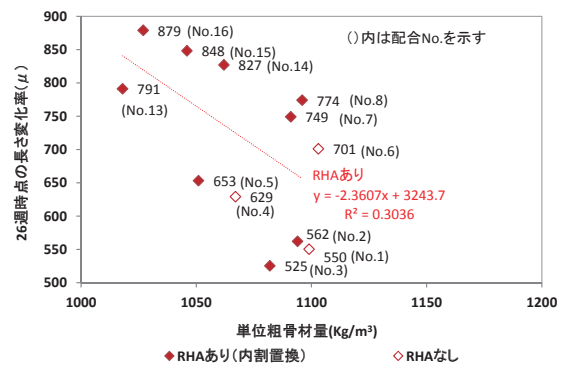


図-10 単位粗骨材量と26週時点の長さ変化率の関係

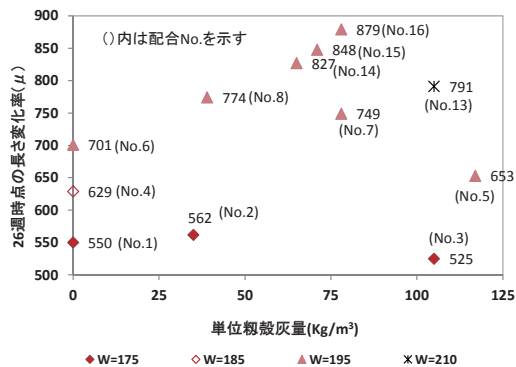


図-11 単位粉砕灰量と26週時点の長さ変化率の関係

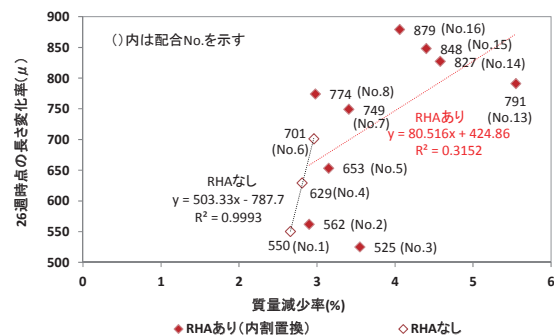


図-12 質量減少率と26週時点の長さ変化率の関係

た。

図-9に、圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。図中に示す示方書⁹⁾の関係と比較すると、いずれの結果も強度と弾性係数の相関性は高いことが認められた。ただし、RHAコンクリートは普通コンクリートより低い結果となった。

図-10に、単位粗骨材量と26週時点の長さ変化率の関係を示す。一般に、コンクリートは1m³中の単位粗骨材量が多くなるとコンクリート中のモルタルを拘束するため乾燥収縮は小さくなる傾向にある。今回のRHAコンクリートも普通コンクリート同様に単位粗骨材量が増加することにより乾燥収縮が抑制されることが認められた。すなわち、RHAコンクリートの乾燥収縮を抑制するには、一般的なコンクリートと同様に、フレッシュ性状に影響のない範囲で単位粗骨材量を増やすことが有効であることが明らかとなった。

図-11に、単位粉砕灰量と26週時点の長さ変化率の関係を、図-12に、質量減少率と26週時点の長さ変化率の関係を示す。図-11より、全体的にデータのばらつきがおおきく、単位粉砕灰量と26週時点の長さ変化率に明確な相関関係はみられなかった。ただし、単位水量が増加するごとに乾燥収縮ひずみも大きくなる傾向にあることが読み取れることから、単位粉砕灰量の影響よりも単位水量による影響が支配的であることが認められた。図-12より、RHAコンクリートと無混入のコンクリートを比較

すると、RHAコンクリートの質量減少率が無混入のコンクリートと比較して大きいことが明らかとなった。これは、RHAコンクリートの単位水量が無混入コンクリートより大きく設定されていることや、粉砕灰が練混ぜ水を保水するため、水分蒸発する期間が無混入のコンクリートと比べて相対的に長くなることで、最終的に水分蒸発量が大きくなると考えられる。ただし、無混入コンクリートの相関係数がR²=0.9993と高いのに対して、R²=0.3152と相関が低いことから、RHAコンクリートの乾燥収縮は水分蒸発以外の要因で引き起こされる可能性がある。また、粉砕灰が多孔質であり、比表面積が大きいことにより、粉砕灰自体が吸着していた水分の蒸発も生じていると考えられる。

図-10、図-11、図-12より、示方書⁵⁾に記載されている乾燥収縮率の上限値を満足することから、粉砕灰を混入した場合の乾燥収縮性状については、特に、単位粗骨材量および単位水量をパラメータとして制御することで有効利用上の問題はないと言える。

図-13に、空気量と300サイクル時点の相対動弾性係数の関係を示す。一般に、コンクリートは1m³中の空気量が多くなるとコンクリート中にかかる内部膨張圧が緩和されるため耐凍害性は向上する傾向にある。今回のRHAコンクリートも普通コンクリート同様に空気量が増加することにより相対動弾性係数も高い値を示すこと

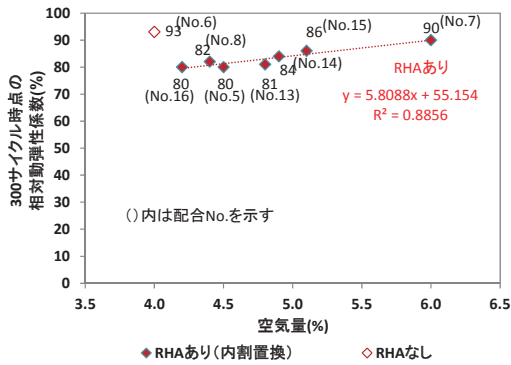


図-13 空気量と 300 サイクル時相対動弾性係数の関係

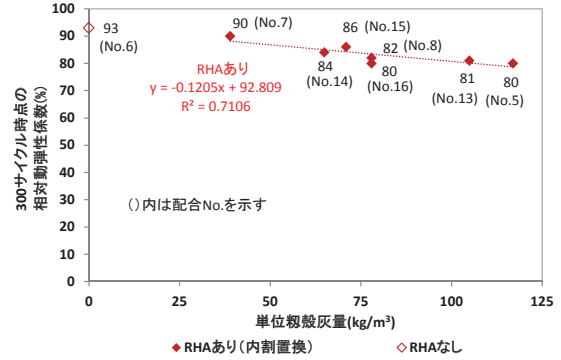


図-14 単位粉殻灰量と 300 サイクル時相対動弾性係数の関係

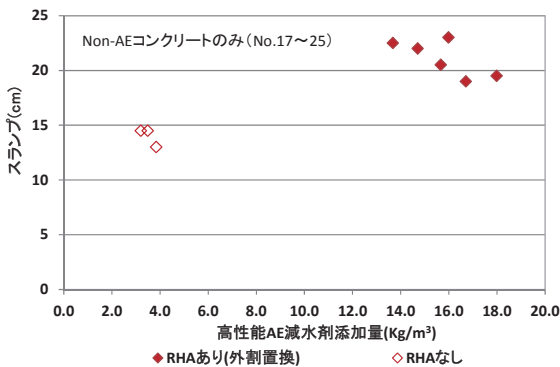


図-15 高性能 AE 減水剤添加量とスランプの関係

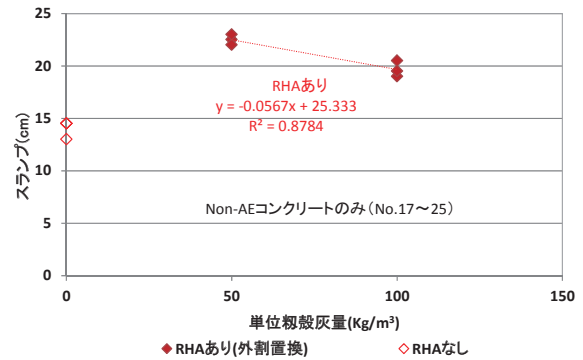


図-16 単位粉殻灰量とスランプの関係

が認められた。すなわち、RHA コンクリートにおいても空気量と相対動弾性係数は高い相関関係 ($R^2=0.8856$) にあり、耐凍害性を確保するためには空気量を増やすことが有効であることが明らかとなった。また、同一空気量の場合、RHA なしの値に比べて RHA ありの値が低い傾向を示すのは、試験開始材齢時の強度差に起因していると考えられる。すなわち、本試験は JIS に準拠した試験条件で実施したため、十分なポズラン反応による長中期の活性化が進んでいない状況での比較試験であることが一要因と考えられる。よって、図-13 より、連行空気量を 2%程度増やすことで耐凍害性は改善されると言える。

図-14 に、単位粉殻灰量と 300 サイクル時点の相対動弾性係数の関係を示す。粉殻灰混入による内部膨張圧の緩和を期待したが、図-14 から単位粉殻灰量が増加するにしたがって相対動弾性係数が漸減することが認められた。原因として、粉殻灰置換による単位セメント量の減少も一因に挙げられるが、図-6 の圧縮強度試験結果では説明できない。ところで、凍結融解作用の供試体については、既往の研究^{11,12)}より、凍結融解の繰返しにおいて、凍結過程の水の押込みと融解過程の水の吸込みにより、常温では吸水されない量の水がコンクリート中に供給されることが報告されている。シリーズ A では、セメントの内割で粉殻灰を使用しているため、単位粉殻灰量が増加することで相対的に単位セメント量は減少するが、粉

体全体の比表面積は大きくなるため、水分を多く保有(吸着)しやすい構造となり、コンクリート内部の含水能力が大きくなると考えられる。その結果、凍結融解作用下では内部構造が緩み相対動弾性係数が漸減したと考えられる。つまり、粉殻灰が多孔質であることによる内部膨張圧の緩和よりも、コンクリート内部含水能力増加による内部組織の緩和の方が支配的となったと考えられる。

図-13、図-14 より 300 サイクル終了時点で相対動弾性係数が 60%以上を保っていることから、有効利用上の耐凍害性の問題はないと言える。また、粉殻灰をセメントの内割置換で結合材として使用する場合には、置換率の設定においては目標空気量を高めに設定することを検討する必要があると言える。

5. 外割置換によるフレッシュ性状と硬化物性の評価

5.1 フレッシュ性状

表-3 にシリーズ B のフレッシュ性状試験結果を、図-15、図-16 に、それぞれ Non-AE コンクリート (No.17~25) における高性能 AE 減水剤添加量とスランプの関係、単位粉殻灰量とスランプの関係を示す。内割置換で用いた場合と同じく RHA コンクリートは無混入のコンクリートと比較して同等以上のスランプを得るためには、高性能 AE 減水剤の添加量が極めて多くなり、粉殻灰置

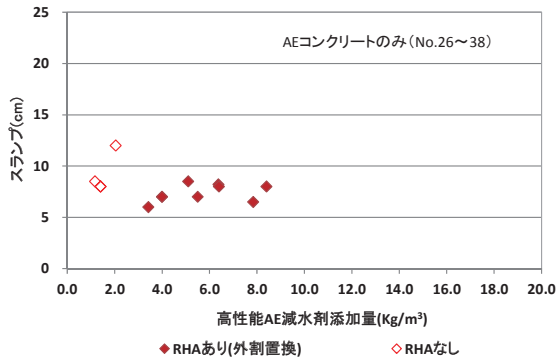


図-17 高性能 AE 減水剤添加量とスランプの関係

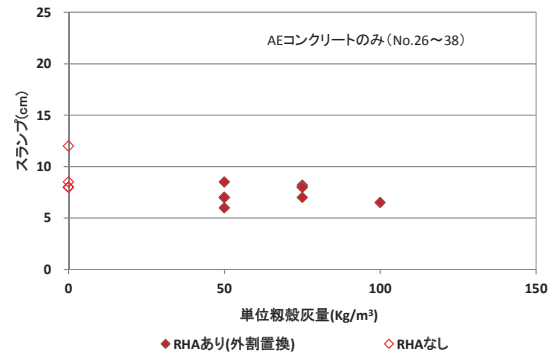


図-18 単位珪灰量とスランプの関係

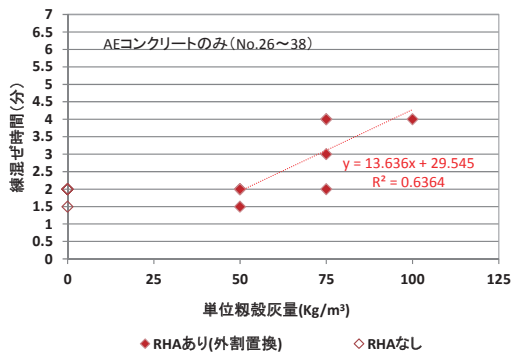


図-19 練混ぜ時間と単位珪灰量の関係

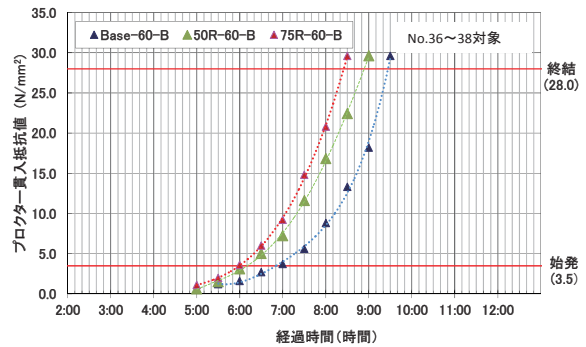


図-20 単位珪灰量と凝結時間の関係

換量が多くなるとスランプは低下することが明らかとなった。すなわち、珪灰を混和材と位置付け細骨材と置換すると、コンクリートの系全体の粉体の比表面積が大きくなることで、比表面積あたりに作用する混和剤の吸着が相対的に少なくなり、十分に分散効果が得られなかったことが考えられる。また、コンクリートに占める総粉体量が増えることで粘性が増加し、適度な流動性、つまり、施工可能なスランプを得るためには、化学混和剤の使用量を増加させる必要があるが、Non-AE コンクリートであることから空気量が少ないことも化学混和剤使用量が增大した要因の1つと考えられる。

図-17、図-18に、AE コンクリート (No.26~38) における高性能 AE 減水剤添加量とスランプの関係、単位珪灰量とスランプの関係を示す。Non-AE コンクリートのフレッシュ性状と同様に RHA コンクリートは無混入のコンクリートと比較してほぼ同等のスランプを得るためには、高性能 AE 減水剤の添加量が多くなる傾向ではあるが、空気を連行させることで高性能 AE 減水剤添加量が 3.4~8.4kg/m³ 程度に収まり、Non-AE コンクリートの RHA コンクリートよりも少ない高性能 AE 減水剤の添加量で無混入のコンクリートとほぼ同等のスランプを得た。すなわち、空気を連行させることによる AE 剤の作用 (ボールベアリング効果) によって流動性が改善されたと考えられる。

図-19に、AE コンクリートにおける練混ぜ時間と単位

珪灰量の関係を示す。RHA コンクリートの相関係数が $R^2=0.6364$ と比較的高いことから、単位珪灰量を増加させた場合には練混ぜ時間を長く調整することで所定のフレッシュ性状を得る目安となることが認められた。

図-20に、凝結試験結果 (No.36~38) を示す。珪灰混入量が多いほど始発、終結ともに早くなる結果となった。これはコンクリートに占める総粉体量が増え、粉体の総比表面積が増大することにより練混ぜ水と接する面積が多くなり、反応初期段階において珪灰に水分が吸着され、流動性の低下と見かけの水セメント比の低下が生じ、その影響が凝結時間の差になったと考えられる。後述する図-22の結果から珪灰の混入による強度増進は明らかであり、凝結時間にも影響を与えていると思われるが、今回の試験結果からは珪灰の混入が初期の水和反応促進に直接関与したことを示すデータはなく、明らかにできなかった。また、一般的に高性能 AE 減水剤が増えると凝結は遅延するが、今回の試験からは確認されなかった。高性能 AE 減水剤を多量に使うことによる悪影響は少なく鈍感に作用することが確認された。

図-21に、ブリーディング試験結果 (No.36~38) を示す。珪灰混入量が多いほどブリーディングが抑制されることが確認された。これは、1つの要因として珪灰が練混ぜ水を保水するためと考えられるが、今回の試験からは粉体量が増加したことによるものなのか、それとも珪灰の混入量が多くなることによる特有の効果 (保

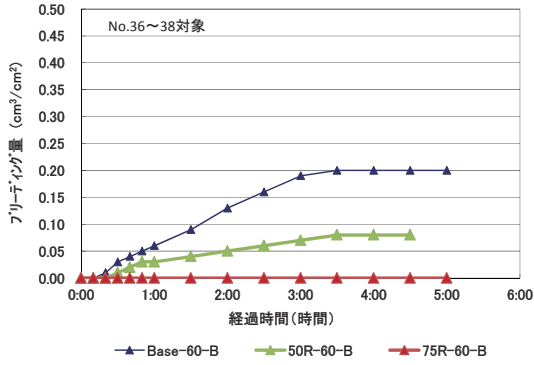


図-21 単位珪灰量とブリーディングの関係

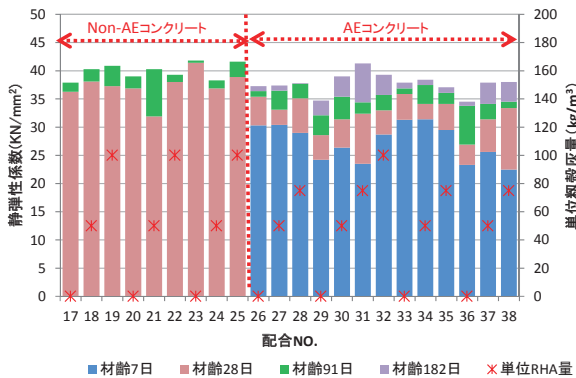


図-23 各配合における静弾性係数試験結果

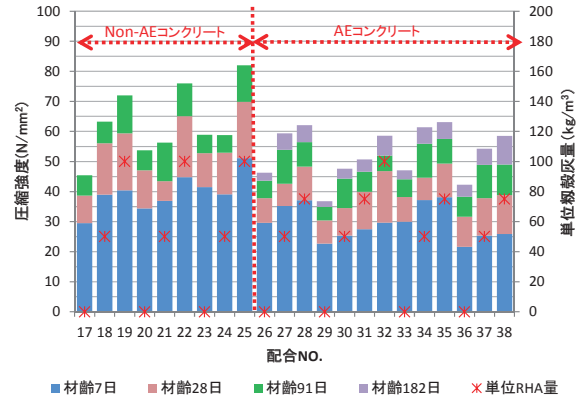


図-22 各配合における圧縮強度試験結果

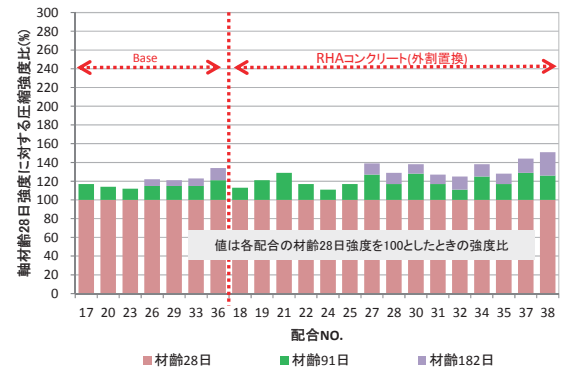


図-24 材齢 28 日に対する圧縮強度比の関係

水効果) なのかは判別できなかった。また 75R-60-B (No.38)の配合ではブリーディング量は0との結果となったが、目視による試験体上面の乾燥はなくプラスチック収縮ひび割れの発生について懸念されることはないと判断した。

5.2 硬化性状

図-22、図-23 に、シリーズ B の材齢 7、28、91、182 日での圧縮強度及び静弾性係数を、図-24 に、材齢 28 日に対する各材齢の圧縮強度比を示す。

図-22、図-23 から、圧縮強度試験結果及び静弾性係数について、RHA コンクリートは材齢とともに強度、静弾性係数ともに増加する傾向にあり、珪灰を混入する量が多いほど高い強度が得られることが明らかとなった。珪灰が無混入または 50kg/m³ 混入した配合、Non-AE コンクリート (No.17~25) では No.17, 18, 20, 21, 23, 24, AE コンクリート (No.26~38) では No.26, 27, 29, 30, 33, 34, 36, 37 に着目すると、材齢 7 日から 28 日にかけての強度発現にはばらつきが生じているが、75~100kg/m³ 混入した配合、Non-AE コンクリート (No.17~25) では No.19, 22, 25, AE コンクリート (No.26~38) では No.28, 31, 32, 35, 38 に着目すると、強度発現の伸びが安定して大きいことが明らかとなった。

図-24 より、外割置換した配合においても、RHA コンクリートは、Base コンクリートと同様に、材齢 28 日以

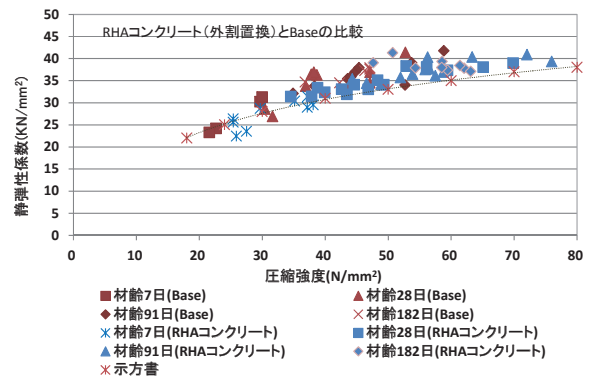


図-25 圧縮強度と静弾性係数の関係

降の強度増進が確認できる。また、材齢 182 日までの強度試験を実施した AE コンクリートに着目すると、Base コンクリート (No.26, 29, 33, 36) は No.36 を除いて、材齢 28 日に対する材齢 182 日の強度比が 120%程度 (No.36 は 135%程度) に対して、RHA コンクリート (No.27~38) は 120~150%程度と Base コンクリート (No.26, 29, 33, 36) と比べて、最大で 1.25 倍程度の強度比になることから、長期強度発現性にも優れていることが認められた。すなわち、長期的にポズラン反応が発揮され、コンクリート内部組織が緻密になることで長期強度増進に繋がることが明らかとなった。

図-25 に、圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。図-25

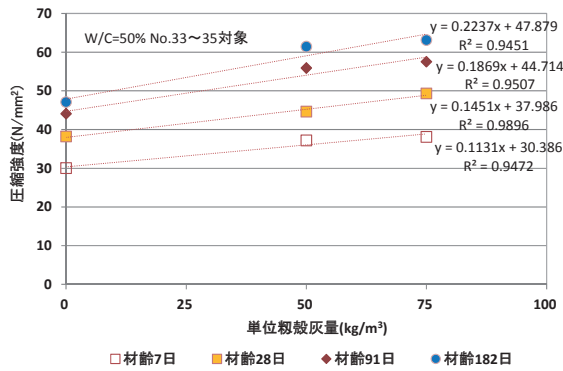


図-26 単位珪灰灰量と圧縮強度の関係 (No. 33~35)

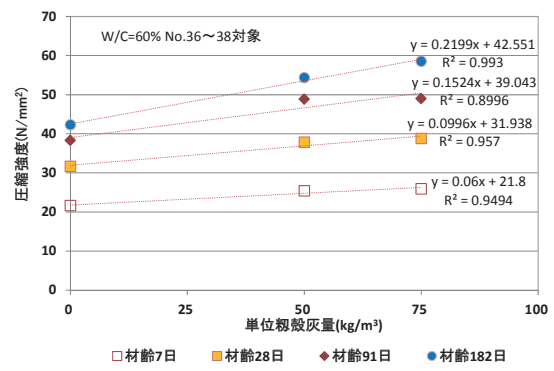


図-27 単位珪灰灰量と圧縮強度の関係 (No. 36~38)

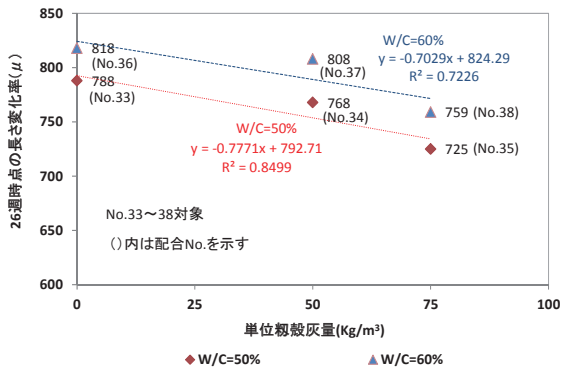


図-28 単位珪灰灰量と 26 週時点の長さ変化率の関係

中に示す示方書⁹⁾の関係と比較すると、いずれの結果も強度と弾性係数の相関性は高いことが明らかとなった。図-9と比較して強度、弾性係数ともに高い値を示していることから、珪灰は内割(シリーズ A)で使用するよりも、外割(シリーズ B)で使用することで効果的に強度及び弾性係数に寄与すると考えられる。

図-26に、単位珪灰灰量と圧縮強度の関係(No.33~35)を、図-27に、単位珪灰灰量と圧縮強度の関係(No.36~38)を示す。単位珪灰灰量と圧縮強度は極めて高い相関関係があることが明らかとなった。また、図-26、図-27に示した回帰式の傾きが材齢ごとに大きくなっていることから、配合 No. 33~38 中の RHA コンクリートは長期強度発現性が良好であることが明らかとなった。

図-28に、単位珪灰灰量と 26 週時点の長さ変化率の関係を示す。(No.33~38)一般に水セメント比(以下 W/C と表記)が大きいと乾燥収縮が大きくなる傾向にある。RHA コンクリートも同様に W/C が高いと乾燥収縮がおおきくなることが図中から読み取れる。珪灰の混入量に着目すると 50 kg/m³ 混入した RHA コンクリートよりも 75 kg/m³ 混入した RHA コンクリートの方が W/C=50%、60%の両ケースともに乾燥収縮が小さくなることが認められた。これは、上述した強度試験の結果からも 75 kg/m³ 混入した RHA コンクリートは、50 kg/m³ 混入した RHA コンクリートと比較して強度増進が大きく、コンクリー

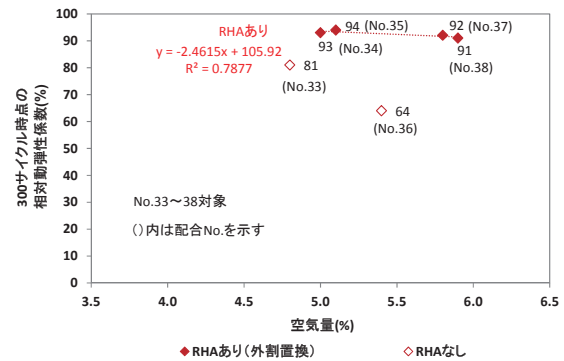


図-29 空気量と 300 サイクル時相対動弾性係数の関係

トの内部組織が緻密化したことで、乾燥収縮の影響を受けにくくなったと考えられる。ただし、75 kg/m³の珪灰灰混入量が乾燥収縮抑制に寄与する最適な混入量であるかどうかは今回の試験結果のみからは判断できない。

図-29に、空気量と相対動弾性係数の関係を示す。相対動弾性係数が90%以上であることから外割置換による RHA コンクリートは高い耐凍害性を有することが確認された。内割配合による RHA コンクリートの凍結融解試験結果(図-13)と比較して良好な結果となった要因として、単位水量が少ないことや、空気量が若干多めであることが考えられるが、今後さらなるデータの蓄積と考察が必要である。

6. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 珪灰を結合材として利用する場合には、単位水量を 20~70kg/m³ 増加させることでスランプ制御が容易となり、適正な混入量は 25~80kg/m³ の範囲にあることが明らかとなった。また乾燥収縮を抑制するには単位粗骨材量を増加させること、耐凍害性を向上させるには空気量を多く設定することで効果的な利用となるが明らかとなった。
- 2) 珪灰を混和材として利用する場合には、単位水量 175kg/m³、水セメント比 60%の配合において、

籾殻灰を 50～75kg/m³ 混入することで、無混入と比べ凝結時間の短縮、ブリーディング量の低減、圧縮強度との高い相関、高い耐凍害性を示し、コンクリートの性能向上が図られることが明らかとなった。

3) 籾殻灰を結合材として利用する場合は、混和材として利用する場合と比較して、コンクリート標準示方書の推奨値よりも 20kg/m³ 程度多くの単位水量を必要とし、単位水量の増加にともない単位セメント量も多く必要とする不経済な配合となるため、混和材として利用することが望ましいことが明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) 中嶋清実, 河野伊知郎ほか: コンクリート用混和材としてのもみがら灰の利用について, コンクリート工学年次論文集, Vol.16, pp.419-424, 1994.6
- 2) 佐藤幸三ほか: コンクリート用混和材としてのもみがら灰の利用に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.20, No.2, pp.193-198, 1998
- 3) 梶原教裕ほか: 外国産籾殻灰を用いたコンクリートの配合設計に関する実験的研究, セメントコンクリート論文集, No.63, pp.554-561, 2009

- 4) 梶原教裕ほか: 籾殻を燃料とした火力発電所から排出される粉碎処理を施さない籾殻灰を混入したコンクリートの耐久性, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, pp.1558-1563, 2012
- 5) コンクリート標準示方書, 施工編 2007 年制定
- 6) 梶原教裕ほか: 火力発電所より排出される籾殻灰の有効利用に関する基礎的研究, セメントコンクリート論文集, No.61, pp.565-571, 2007
- 7) 梶原教裕ほか: 火力発電所より排出される籾殻灰の有効利用に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, pp.1873-1878, 2009
- 8) コンクリート工学会報誌, 2012 年 7 月発刊, pp.628-633
- 9) コンクリート標準示方書, 構造性能照査編 2002 年制定, pp.28-29
- 10) 公益社団法人精密工学会, ホームページ
- 11) 木村信孝ほか: 暴露条件・粗骨材種別が高強度コンクリートの耐凍害性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, pp.745-750, 2005
- 12) 青野義道ほか: 高強度コンクリートの耐凍害性に及ぼすマイクロラックの影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, pp.1117-1122, 2005

(原稿受理年月日: 2015 年 5 月 11 日)

Fundamental Study of Fresh and Hardening Property of Concrete with Non-crushed Rice Husk Ash

By Norihiro Kajiwara, Takumi Uehara and Kazuhide Saito

Concrete Research and Technology, Vol.28, 2017

Synopsis: This paper describes a study on the fundamental physical properties of concrete with rice husk ash, which a number of other researchers have already investigated. The study used Southeast Asian non-crushed rice husk ash (primary components: SiO₂, density: 2.41g/cm³, average size of aggregate: 80.1 μm, specific surface area: 321,000 cm²/g). The purpose of this study was to examine suitable utilization forms of rice husk ash blended concrete. The test results show that rice husk ash can be blended in concrete as binder in the range of 25 to 80 kg/m³ and as mineral admixture in the range of 50 to 75 kg/m³.

Keywords: Rice Husk Ash, Non-Crushed, Thermal Power Generation, Binder, Mineral Admixture