

外国産珪殻灰を混入したコンクリートの有効利用に関する基礎的研究

○ 名古屋工業大学技術部 正会員 平原英樹 名古屋工業大学大学院 正会員 上原 匠

名古屋工業大学大学院 正会員 梅原秀哲 名古屋工業大学大学院 梶原教裕

名古屋工業大学大学院 樋口祐治

1. はじめに

近年、海外においては珪殻を燃料にした火力発電が普及し始め、年々増加傾向にある電力使用量に伴い珪殻灰の発生量も大量化する傾向にあり、その有効利用が課題となっている。珪殻灰はその生成方法により、活性度を有する粉体であることが認識されており、シリカフェームに似ていて、製造費も安く、大量に安定供給可能な良質な混和材料であると考えられる。しかし課題として、珪殻灰はシリカフェームと違い微粉碎する必要があること、珪殻灰を生成するために新たなプラントの建設をしなければいけないこと、珪殻灰を混入したコンクリートを打設する時にシリカフェームと比べ多量の化学混和剤を必要とすること、そして珪殻灰の集積輸送コストがかかることが挙げられたため、日本では実用化が見送られている。そこで、本研究では、火力発電の副産物として安価に安定供給される外国産珪殻灰を対象に、東南アジアの稲作地帯での珪殻灰の有効利用への貢献を最終目的に、外国産珪殻灰（以下、珪殻灰）の混入がモルタルおよびコンクリートの圧縮強度に与える影響について実験に基づいて検討した。

2. 使用材料および実験概要

表 1 に使用材料の一覧を示す。珪殻灰をコンクリート用混和材として練混ぜに用い、珪殻灰混入コンクリートの物性の把握を目的とした。始めにモルタルによる物性評価実験を 3 種類の珪殻灰 RHA1、RHA2、RHA3 を対象に行い、さらに排出状態の珪殻灰 RHA1 を対象にコンクリートでの実験を行った。

モルタルの配合を表 2 に示す。JIS R 5201 に規定されているセメントの強さ試験供試体に用いる配合を Base と設定し、3 種類の珪殻灰に対しては、セメント質量の 25%を珪殻灰で置換する配合を設定した。珪殻灰を混入することで、著しくワーカビリティが低下することが推察されることから、高性能 AE 減水剤（以下、SP）を利用することを想定し、その適正量の把握および、練混ぜ時間を決定することを目的にフロー試験を実施した。練混ぜ方法および供試体の作製は JIS R 5201 に基づいて行った。試験項目はフロー試験および圧縮強度試験であり、活性度指数の算出も行った。

次にコンクリートの配合を表 3 に示す。RHA1 を対象に、混和材としての性能把握を目的として珪殻灰混入コンクリートでの実験を行った。今回の実験では、フレッシュコンクリートのスランプ試験、硬化コンクリートの圧縮強度試験を実施した。対象とした RHA1 に対して単位量として 50kg/m³（以下、50R）、100kg/m³

表 1 使用材料一覧表

項目	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:3300cm ² /g
細骨材	山砂	表乾密度:2.55g/cm ³ 絶対密度:2.52g/cm ³ 吸水率:1.23% 粗粒率: 2.92
	標準砂	絶対密度:2.64g/cm ³ 吸水率:0.42% 単位容積質量:1.76kg/l 実積率:66.7%
粗骨材	G	表乾密度:2.72g/cm ³ 絶対密度:2.70g/cm ³ 吸水率:0.53% 粗粒率:6.64 実積率:58.9%
混和材 (珪殻灰)	混合珪殻灰	RHA1 密度:2.41g/cm ³ 平均粒径:80.1μm 比表面積:321000cm ² /g 未燃カーボン:3.5%
	粉碎珪殻灰	RHA2 密度:2.38g/cm ³ 平均粒径:19.0μm 比表面積:255000cm ² /g 未燃カーボン:3.9%
	集塵珪殻灰	RHA3 密度:2.63g/cm ³ 平均粒径:84.9μm 比表面積:270000cm ² /g 未燃カーボン:3.4%
	混和剤	SP 主成分:ポリカルボン酸系

表 2 モルタルの配合

配合名	W(g)	C(g)	S(g)	RHA(g)	SP添加率(%)	練混ぜ時間
Base	225	450	1350	-	-	標準
RHA1	225	337.5	1350	112.5	(C+RHA) × a	標準 + b
RHA2	225	337.5	1350	112.5	(C+RHA) × a	標準 + b
RHA3	225	337.5	1350	112.5	(C+RHA) × a	標準 + b

*a,bはフロー試験より判断

表 3 コンクリートの配合

配合名	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)					SP(%)
			W	C	S	G	RHA	
Base60	60	44.6	175	292	811	1074	—	C×1.1
50R-60		43.0					50	C×4.0
100R-60		41.2					100	
Base55	55	43.6	175	318	783	1080	—	C×1.1
50R-55		41.9					50	C×4.0
100R-55		40.0					100	
Base50	50	42.6	175	350	754	1084	—	C×1.1
50R-50		40.8					50	C×4.0
100R-50		38.9					100	

キーワード：珪殻灰、混和材、ポゾラン反応、火力発電、粉体

連絡先：〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 電話：052-735-5502 FAX：052-735-5502

(以下、100R)の2水準を設定し、細骨材と容積置換した。また水セメント比は60%、55%、50%の3水準を設定した。SP添加量を一定に、練混ぜ時間を通常と異なり供試体作製可能な状態になるまでとした。供試体は、所定の試験材齢まで水中養生を行った。

3. 実験結果

(1) モルタル

フロー試験の結果を表4に示す。RHA1、RHA2、RHA3に対しては、SP添加率1%を採用し、練混ぜ時間を調整することで、練上りのフレッシュ状態の向上を図った。練混ぜ時間については、BaseはJIS R 5201に準じ、粉殻灰混入モルタルに対しては最終的にはJIS R 5201に規定された時間から最大4分間延長して行った。粉殻灰を混入することで流動性は低下するが、SPを用いて練混ぜ時間を調整することで、施工上必要な流動性が得られることが明らかとなった。しかし、SP添加率と練混ぜ時間の適切な組み合わせは今回判定できなかった。SPと練混ぜ時間を調整した結果よりRHA1、RHA3はBaseよりもフロー値が小さいため流動性が低く、RHA2はBaseよりも大きいため流動性が高いことが明らかとなった。圧縮強度試験結果を図1に示す。Base、RHA1、RHA2、RHA3において材齢が経過するとともに圧縮強度が増し、特に材齢が7日から28日にかけて顕著に増加している。活性度指数に着目するとRHA2の材齢28日、91日が基準の100%を超え、微粉砕するとその特性が高くなることが明らかとなった。なお、RHA1も90%以上の活性度指数を示すことから、排出時の状態でも十分混和材として利用可能と言える。

(2) コンクリート

フレッシュ試験結果を表5に、圧縮強度試験結果を図2に示す。50R、100Rともスランブが大きく流動性が高いことが明らかとなった。なお、50RシリーズはSPの添加量が多過ぎたため材料分離が見られた。すべてのシリーズにおいて材齢とともに強度が増加している。特に100Rでは顕著となった。

4. まとめ

- (1) 高性能 AE 減水剤を添加したモルタルのフロー試験より、粒径の小さい粉殻灰は流動性が高いことが明らかとなった。
- (2) モルタルの圧縮強度試験結果より、粒径の小さい粉殻灰は高い強度と高い活性度指数を有することが明らかとなった。なお、排出時の状態でも90%以上の活性度指数を有することが確認された。
- (3) スランブ試験より、混合粉殻灰を単位量50kg/m³または100kg/m³混入したコンクリートは、ともにスランブが大きく流動性が高いこと、強度も十分であることが明らかとなった。

今回の実験結果から、今後は施工性と経済性に配慮した配合の開発が挙げられる。また通常のスランブで制御するコンクリートではなくスランブフローで制御する高流動コンクリートに適していると判断されることから、用途開発の検討も必要とされる。

表 4 フロー試験結果

配合名	フロー値(mm)	フロー値比(%)	SP添加率(%)	練混ぜ時間
Base	197	100	0	標準
RHA1	148	75	1	標準+4分
RHA2	263	134	1	標準
RHA3	151	77	1	標準+4分

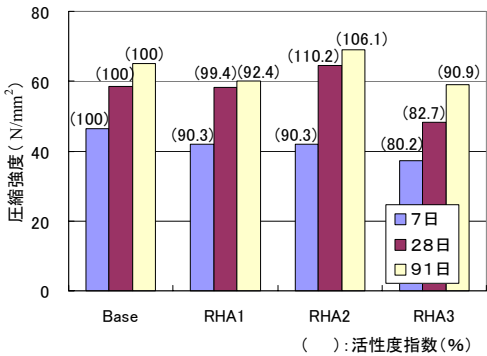


図 1 モルタルの圧縮強度試験結果

表 5 フレッシュ試験結果

配合名	スランブ(cm)	空気量(%)	練温(°C)	単位体積質量(kg/l)	SP(%)
Base60	14.5	1.3	17.5	224	C×1.1
50R-60	22.5	0.4	19.0	225	
100R-60	20.5	0.1	19.0	223	C×4.0
Base55	14.3	1.7	17.5	225	C×1.1
50R-55	22.0	0.5	17.0	223	
100R-55	19.0	0.2	20.5	225	C×4.0
Base50	13.0	1.4	18.0	227	C×1.1
50R-50	23.0	0.7	16.0	225	
100R-50	19.5	1.5	18.0	224	C×4.0

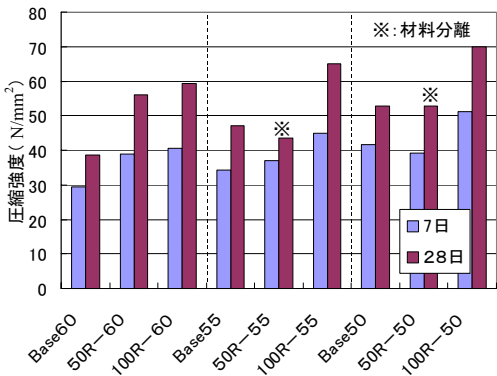


図 2 コンクリートの圧縮試験結果