

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

豊田工業高等専門学校 学生会員 ○村林 美幸
豊田工業高等専門学校 正会員 中嶋 清実
豊田工業高等専門学校 正会員 河野伊知郎
西松建設(株)技術研究所 正会員 松井 健一

1. はじめに

もみがら灰をコンクリート用混和材として利用する研究は、アメリカや日本をはじめとして世界各国で進められている。これよりもみがら灰のコンクリート用混和材としての有効性は明らかにされているが、実用化に向けてさらに製造方法、品質保障、安定供給などを検討しなければならない。そこで本研究は実用化に向けての一研究として、アメリカの火力発電所で排出されたもみがら灰と、日本でくん炭を焼成する方法で焼成されたもみがら灰を用いて、もみがら灰のコンクリート用混和材としての利用に関する研究を行った。

2. 使用材料および配合

使用材料は、セメント：普通ポルトランドセメント、粗骨材：静岡県天竜川産の川砂利(最大寸法25mm, FM2.75, 比重2.65, 吸水率0.58%)、細骨材：岐阜県揖斐川産の粗砂(FM3.05, 比重2.60, 吸水率1.57%)と岐阜県長良川産の細砂(FM2.18, 比重2.57, 吸水率1.32%)を、重量比7.25:2.75の割合で混合した混合砂、混和剤：AE補助剤(S社製)、高性能AE減水剤(T社製)、混和材料：シリカフューム(E社製)、日本製もみがら灰(くん炭を製造する装置で36時間かけて焼成したもの)、アメリカ製もみがら灰ⅠおよびⅡ(カリフォルニア州の火力発電所で500~700℃で長時間かけて焼成されたもの)を用

表-1 混和材の物理的性質

いた。ここでⅠおよびⅡは同じプラントで採取したものであるが、採取した時期の異なるものであることを表している。表-1に混和材の物理的性質を、表-2にもみがら灰の化学組成を示し、表-3にコンクリートの配合を示す。本論文では、プレーンコンクリートをP、シリカフューム混入コンクリートをS、日本製もみがら灰混入コンク

種類	比表面積(m ² /g)	比重
シリカフューム	20	2.2
アメリカ製もみがら灰Ⅰ	42.0	2.3
アメリカ製もみがら灰Ⅱ	79.1	2.1
日本製もみがら灰	65.5	2.2

リートにJR、アメリカ製もみがら灰混入コンクリートをARⅠおよびARⅡで表している。ここでNo.1は水結合材比(W/(C+R))50%で混和剤無添加の配合であり、No.2は水結合材比40%で混和剤添加の配合である。

表-2 もみがら灰の化学組成

もみがら灰の種類	ig. loss (%)	C (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
アメリカ製Ⅰ	7.9	5.2	85.4	0.5	1.0	3.86	0.3
アメリカ製Ⅱ	8.3	5.8	85.4	0.2	0.2	3.16	0.1
日本製	10.7	5.3	83.4	0.2	0.4	1.53	0.2

3. 実験項目

実験項目は、スランブ試験(JIS A 1101)、空気量試験(JIS A 1118)、ブリーディング試験(JIS A 1123)、凝結硬化速度試験(ASTM C 403-65)、透水試験(インプット法)、圧縮強度試験(JIS A 1108)、乾燥収縮試験(JIS A 1129)、凍結融解試験(JIS A 6204 付属書2)、塩化物イオン透過性試験(AASHTO T277-89)、中性化促進試験(フェノールフタレイン法)、耐酸性試験(JIS原案 コンクリートの溶液浸せきによる耐薬品性試験方法)である。

表-3 コンクリートの配合

配合表 No.	コンクリートの種類	目標スランブ(cm)	目標空気量(%)	混和材置換率(%)	水結合材比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m ³)					AE補助剤(C×%)	高性能AE減水剤(C×%)	試験結果	
							水	セメント	混和材	細骨材	粗骨材			スランブ(cm)	空気量(%)
1	NN-P	15±1	1.5	10	50	40	175	349	-	694	1065	-	-	14.2	0.5
	NN-S						226	406	45	601	923	-	-	14.8	0.3
	NN-JR						203	365	41	641	984	-	-	14.5	1.5
	NN-ARⅠ						184	332	37	674	1032	-	-	15.7	0.5
2	AH-P	15±1	4.5±0.5	10	40	40	167	418	-	679	1042	0.0009	0.34	14.9	4.9
	AH-S						167	376	42	673	1033	0.0002	0.54	14.0	4.0
	AH-JR						167	376	42	674	1034	0.0011	0.91	15.0	4.4
	AH-ARⅡ						167	376	42	674	1034	0.007	0.54	16.0	4.0

4. 実験結果および考察

図-1に水結合材比50%で混和剤を添加しない場合の圧縮強度試験結果を示す。この図より3日強度においてはJR、S、AR I、Pの順となっており、JRが最も高く、AR Iは低い値を示している。これは日本製もみがら灰は早期からポズラン反応が起きているためと考えられる。しかし、材齢28日以降の長期強度においてはS、AR I、JR、Pとなり、AR IがJRより高い値を示している。これはAR Iの非晶質度がJRよりも高かったためと考えられる。図-2に水結合材比40%で混和剤を添加したときの圧縮強度試験結果を示す。この場合の3日強度はS、P、JR、AR IIの順となっており、JRの初期強度発現はあまり見られない。これは、JRは他の混和材と比べ高性能AE減水剤を多量に必要とすることから、減水剤による遅延現象のためと考えられる。

図-3に凍結融解試験結果を示す。300サイクルではどれも大差はなく、500サイクルの時点ではJR、AR II、S、Pの順となっている。もみがら灰およびシリカフュームを用いた場合が高い値を示しているのは、混和材を混入したことにより緻密度があがり、凍結融解に対する抵抗性が高くなったものと考えられる。

表-4に塩化物イオン透過性試験結果を、表-5に塩化物イオン透過性の評価方法を示す。これらの表からS、JR、AR IIがともにPよりも低い値で、特にS、JRが「低い」の範囲内に入っていることからコンクリートの緻密度が高いと言える。

図-4に中性化促進試験結果を示す。試験開始から91日経過した時点ではP、JR、S、AR IIの順となっておりPが中性化に対して高い抵抗性を示している。JR、S、AR IIは硬化する際にセメント中の水和物である水酸化カルシウムと結合しこれを消失させるため、コンクリートの中性化を早める結果となったと考えられる。

5. まとめ

もみがら灰を混和材として使用することにより、混和材を混入しないものよりもコンクリートの諸性状をかなり改善させることができ、また、シリカフュームを混和材として使用したものと同程度の改善効果あることがわかった。しかし、日本製もみがら灰においては高性能AE減水剤、アメリカ製もみがら灰はAE剤補助剤を多量に必要とする問題があげられる。これらは、もみがら灰の適切な焼成方法により改善されると思われる。

表-4 水結合材比40%、混和剤添加
塩化物イオン透過性試験結果

種類	電流量 (クーロン)	平均値 (クーロン)	塩化物イオン 透過性
P	1 3318	3440	中位
	2 3768		
	3 3234		
S	1 1356	1318	低い
	2 1338		
	3 1260		
JR	1 1842	1922	低い
	2 1986		
	3 1938		
AR II	1 2532	2586	中位
	2 2616		
	3 2610		

表-5 塩化物イオン透過性の評価

電流量 (クーロン)	塩化物イオン 透過性
>4000	高い
2000~4000	中位
1000~2000	低い
100~1000	非常に低い
<100	ほとんどない

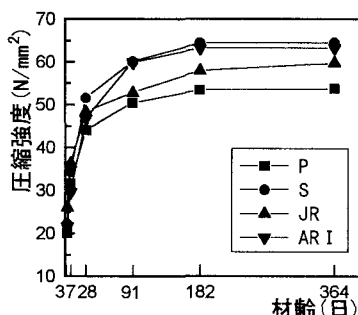


図-1 水結合材比50%、混和剤無添加
圧縮強度試験結果

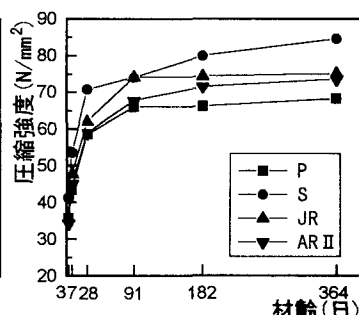


図-2 水結合材比40%、混和剤添加
圧縮強度試験結果

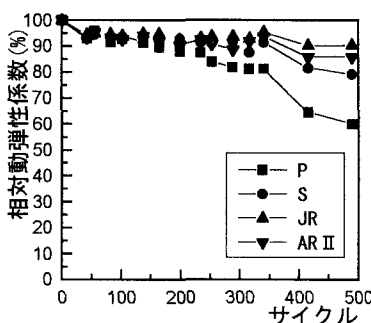


図-3 水結合材比40%、混和剤添加
凍結融解試験結果

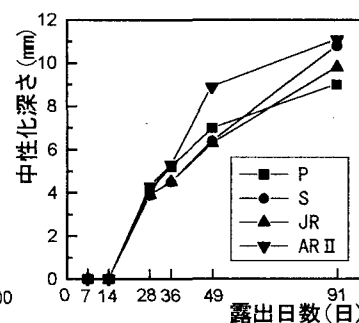


図-4 水結合材比40%、混和剤添加
中性化促進試験結果