

V-3 珪酸質廃棄物のオートクレーブ処理による利用

徳島大学 正会員 荒木 謙一
 徳島大学 正会員 河野 清
 徳島県庁 正会員 ○ 瀬津 康賢

1. まえおき

火力発電所や製鉄所などから種種の産業廃棄物が排出され、これらの多くは利用の途がなく、大半は埋立地などに廃棄されている。しかし昨今の材料不足問題もあって、これらの廃棄物の再利用の研究が進められている。

本研究では、消石灰と産業廃棄物であるスラグ、フライアッシュ、フェロシリコンダストと使用してオートクレーブ処理をおこなない、土木材料として使用可能な品質を有するカルシウムシリケート硬化体をつくる場合の基礎的資料をえることを目的として、凝結時間、単位水量、単位結合材量、使用材料の種類とその混合比および添加剤の影響について検討をおこなった。

2. 使用材料および配合

結合材として、工業用消石灰、新日本製鉄化学工業の高炉スラグ宇部興産のフライアッシュ(F.A.)、四国電力曲条発電所のシンダーP₂Si₂(C.A.)および東洋電化工業のフェロシリコンダスト(F.S.D.)を用いた。添加材料として普通セメント、反応剤兼剤として工業用薬品の塩化カルシウム($CaCl_2$)および硫酸カルシウム($CaSO_4$)を用いた。これらの物理試験結果

表-1. 物理試験結果および化学成分

使用材料	比重	化学成分 (%)									
		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	計		
消石灰	2.28	5821	94.3	0.7	0.7	0.3	-	-	96.0		
スラグ	2.90	3780	42.5	33.8	16.2	0.8	4.6	-	97.9		
F.A.	2.03	4140	3.3	60.0	25.9	5.8	1.1	0.1	96.1		
C.A.	2.56	2055	3.1	62.0	26.0	4.8	0.6	-	98.5		
F.S.D.	2.24	22700	9.5	80.2	1.6	2.3	1.4	-	86.2		
セメント	1.15	3170	65.4	21.8	5.3	3.0	1.3	1.9	98.5		

および化学成分を表-1に示す。細骨材として吉野川産の川砂を用いた。使用した配合を表-2に示す。ここに、

配合No. A; 凝結・安定性の検討, 配合No. B; セメント添加の影響、
 配合No. C; 単位水量の影響, 配合No. D; 単位結合材量の影響、
 配合No. E; 使用材料と混合比の影響, 配合No. F; 添加剤の影響

3. 試験方法

結合材と砂とを練り鉢でから練りして、モルタルミキサーに投入し水を加えて低速1分、高速1分30秒で練り混ぜたのち、4×4×16cmのJISモルタル成形型ぬくに突き固めた。2日後表面仕上げをしたのち、脱型し、上昇速度40〜50℃/h、最高温度一圧力180℃〜10気圧保持時間5時間、自然冷却のオートクレーブ処理をおこなった。

4. 実験結果とその考察

(1) 凝結・安定性の検討 — 消石灰とフライアッシュ、シンダーP₂Si₂およびフェロシリコンダストと混合した結合材には水硬化は認められなかった。これらの結合材は脱型あるいは取り扱いに十分なだけの初期強度をえていないので、型ぬくのままオートクレーブ

表-2. 配合表

配合No.	W/B	珪酸質スラグ	F.A.	C.A.	F.S.D.	水	砂	セメント
A-1	39	60	-	360	-	-	162	-
A-2	45	120	-	280	-	-	180	-
A-3	49	180	-	220	-	-	191	-
A-4	51	240	-	160	-	-	204	-
A-5	45	120	-	280	-	-	181	-
A-6	127	120	-	-	-	280	486	-
A-7	44	144	60	194	-	-	177	-
A-8	44	120	120	160	-	-	177	-
A-9	44	94	180	126	-	-	175	-
A-10	44	69	240	91	-	-	174	-
A-11	46	180	-	180	-	-	192	セメント 40
A-12	47	160	-	150	-	-	189	セメント 30
B-1	50	302	302	-	-	-	302	1206
B-2	55	262	262	-	-	-	311	1129 C ₂ S104,113
B-3	55	293	293	-	-	-	322	1170
B-4	55	274	274	-	-	-	330	1094 C ₂ S103,110
B-5	57	297	-	-	287	-	326	1147
B-6	55	261	-	-	261	-	320	1161 C ₂ S104, 58
B-7	53	238	-	-	238	-	317	1195 C ₂ S103,119
C-1	50	302	302	-	-	-	302	1206
C-2	55	293	293	-	-	-	322	1170
C-3	60	284	284	-	-	-	341	1138
C-4	65	278	278	-	-	-	361	1106
D-1	45	442	442	-	-	-	400	442
D-2	49	378	378	-	-	-	370	755
D-3	52	330	330	-	-	-	342	990
D-4	55	293	293	-	-	-	322	1170
D-5	62	264	264	-	-	-	325	1318
D-6	45	185	266	-	433	-	400	442 C ₂ S104,18
D-7	49	158	227	-	371	-	370	755 C ₂ S104,15
D-8	52	138	198	-	323	-	342	990 C ₂ S104,13
D-9	55	123	176	-	287	-	322	1170 C ₂ S104,12
D-10	65	111	159	-	259	-	345	1318 C ₂ S104,11
E-F1-1	45	89	-	501	-	-	265	1177
E-F1-2	44	77	90	413	-	-	246	1198
E-F1-3	43	64	184	364	-	-	242	1211
E-F1-4	43	51	200	291	-	-	267	1247
E-F1-5	47	375	-	408	-	-	275	1247
E-F1-6	50	348	87	345	-	-	290	1160
E-F1-7	49	324	177	288	-	-	291	1176
E-F1-8	50	98	269	229	-	-	297	1190
E-F1-9	52	256	-	314	-	-	299	1140
E-F1-10	51	223	80	273	-	-	299	1168
E-F1-11	50	186	177	227	-	-	295	1179
E-F1-12	47	145	272	191	-	-	287	1208
E-C1-1	57	85	-	-	483	-	321	1136
E-C1-2	53	73	85	-	412	-	300	1140
E-C1-3	52	61	174	-	345	-	300	1159
E-C1-4	53	49	264	-	274	-	300	1172
E-C1-5	56	170	-	-	396	-	318	1132
E-C1-6	54	145	85	-	338	-	309	1140
E-C1-7	52	121	173	-	283	-	300	1156
E-C1-8	50	96	262	-	224	-	292	1164
E-C1-9	57	261	-	-	319	-	330	1160
E-C1-10	58	222	87	-	272	-	335	1160
E-C1-11	60	185	176	-	226	-	352	1174
E-C1-12	64	146	265	-	178	-	370	1177
E-P1-1	126	61	-	-	344	512	808	-
E-P1-2	131	51	59	-	289	523	798	-
E-P1-3	136	41	134	-	235	536	789	-
E-P1-4	127	34	186	-	193	525	826	-
E-P1-5	129	120	-	-	206	517	800	-
E-P1-6	128	103	61	-	241	518	809	-
E-P1-7	124	87	124	-	203	514	827	-
E-P1-8	111	73	198	-	169	498	878	-
E-P1-9	111	194	-	-	238	490	865	-
E-P1-10	102	166	65	-	203	441	869	-
E-P1-11	92	150	144	-	184	438	958	-
E-P1-12	79	126	231	-	155	406	1026	-
F-1	50	127	182	-	297	-	306	1218
F-2	50	127	182	-	297	-	306	1214 C ₂ S121, 6
F-3	50	127	182	-	297	-	306	1214 C ₂ S122,12
F-4	50	127	182	-	297	-	306	1214 C ₂ S123,18
F-5	50	127	182	-	297	-	306	1214 C ₂ S124,13
F-6	50	127	182	-	297	-	306	1214 C ₂ S125,25
F-7	50	127	182	-	297	-	306	1214 C ₂ S126,36

(注) W/B値はばいり150〜160mmとした。

処理する必要があると思われる(表-3参照)。

(2)セメント添加の影響 — セメントを添加した場合、結合材は水硬性と示し、成型可能な初期強度がえられると同時に、硬化体の強度改善にも有効であると思われる。

(3)単位水量の影響 — セメントを用いず、消石灰とスラグとを使用してオートクレーブ処理したカルシウムシリケート硬化体の場合にも、普通コンクリートにおける水セメント比と同様な関係が成立し、強度を大きくするには締固めが十分おこなえる範囲で、できるだけ水量を減じることが効果的であると思われる(図-1参照)。

(4)単位結合材量の影響 — ス種のを配合を用いて検討をおこなった結果、結合材量が多くなるにつれて強度低下をきたす傾向がみられた。カルシウムシリケート硬化体の場合には、最適な結合材量が存在するのではないかとと思われる(図-2参照)。

(5)使用材料の種類とその混合比の影響 — 消石灰比とスラグ比をかえて、フライアッシュ、シンダーアッシュおよびフェロシリコンダストの最適混合比を検討した結果を図-3〜5に示す。ここに、

消石灰比 = $\frac{\text{消石灰}}{\text{消石灰} + \text{フェライッシュ}}$, スラグ比 = $\frac{\text{スラグ}}{\text{消石灰} + \text{フェライッシュ} + \text{スラグ}}$

フライアッシュ、
シンダーアッシュ、
フェロシリコンダストのいずれを使用した場合でも、
オートクレーブ処理によりある程度

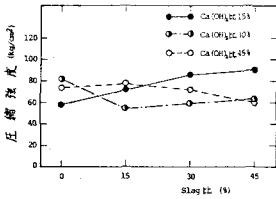


図-3 シンダーアッシュ使用と強度の関係

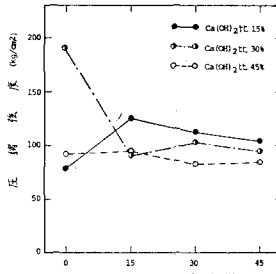


図-4 フライアッシュ使用と強度の関係

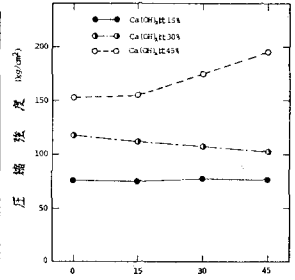


図-5 フェロシリコンダスト使用と強度の関係

の強度をもつ硬化体をつくるのが可能であり、使用材料個々に最適な混合比が存在した。また単に、トベルモライト($\text{Cs}_2\text{S}_6\text{H}_5$)生成の観点から、材料中に含まれる CaO と SiO_2 の重量モル比で配合を選定することは不可能であった。

(6)刺激剤添加の影響 — 少量の CaCl_2 または CaSO_4 を添加した場合、硬化体の強度は大幅に増進されるので、これらの硬化体の強度改善には、刺激剤の添加が必要であると思われる(図-6、7を参照)。

5. まとめ

オートクレーブ処理により、消石灰と産業廃棄物を、
用いてカルシウムシリケート硬化体をつくることができ、スラグ、フライアッシュ、シンダーアッシュおよびフェロシリコンダストなどを土木材料として再利用可能である。この場合、少量の CaCl_2 または CaSO_4 などの刺激剤の添加が強度改善には、有効であると考えられる。

表-3 凝結・安定性試験結果

配合 No.	始 時 間	発 分	終 時 間	結 分	安定性
A-1	-	-	-	-	-
A-2	-	-	-	-	-
A-3	-	-	-	-	-
A-4	-	-	-	-	-
A-5	-	-	-	-	-
A-6	-	-	-	-	-
A-7	15	30	39	30	悪
A-8	11	30	37	30	良
A-9	9	30	19	30	良
A-10	8	00	18	00	良
A-11	6	30	19	00	良
A-12	4	45	15	00	良

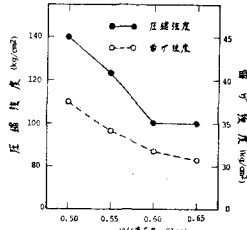


図-1 単位水量と強度の関係

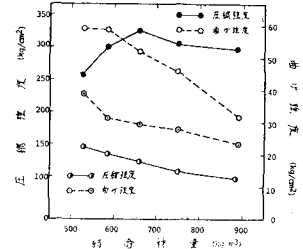


図-2 単位結合材量と強度の関係

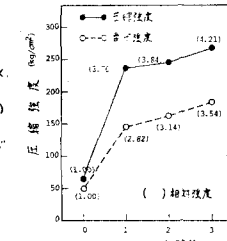


図-6 CaCl_2 添加と強度の関係

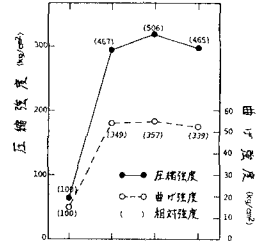


図-7 CaSO_4 添加と強度の関係