

九州電力(株)総合研究所 土木研究室 正員 是石俊文

1. まえがき

南九州に広く分布するシラスは、第三紀末から第四期にかけて、始良・阿多火山等から噴出した降下軽石およびこれらの二次堆積層で、一般に灰白色で、70%程度のシリカを含んでいる。シラスの有効利用については、既に多くの研究がなされているが、筆者らは、シラスに消石灰、スラグおよび水などを加えて造粒し、95℃で蒸気養生し、非焼成人工軽量骨材($\text{SiO}_2\text{-CaO-H}_2\text{O}$ 系水熱反応硬化体、以下「活性骨材」と呼ぶ)を得たので、この製造方法およびこれを用いたコンクリートの諸性質について報告する。

2. 材料

シラスを主原料として活性骨材を製造する材料の化学成分は表1のとおりである。

2.1 シラス 活性骨材の製造に用いたシラスは鹿児島県鹿屋市古江町船岡地区で採取したものである。シラスは乾燥後0.6mmフルイでフルイ分け、通過分の一部はそのまま用い(グリーン値1,200等、以下粗粒シラスと呼ぶ)、通過分の残分をアトマイザー(スクリーンの網目1mm)で微粉砕(グリーン値3,300等、以下細粒シラスと呼ぶ)して用いた。シラスの粒度曲線を図1に示す。

2.2 スラグ スラグは八幡製鉄(株)八幡製鉄所高炉水滓スラグを用いた。グリーン値は3,800等である。

2.3 石灰質材料 石灰質材料は、東仙石灰工業(株)製の工業用消石灰を用いた。グリーン値は7,600等である。

2.4 その他 この他に石膏および塩化カルシウムを用いた。

3. 活性骨材の配合と製造

活性骨材の配合を表2に示す。この粉体材料を皿型ペレタイサーで所定水量を加えながら造粒し、約3時間後に蒸気養生を開始した。造粒状況を写真1に示す。蒸気養生は最高温度を95℃、最高温度持続時間を9時間とした。そのダイヤグラムを図2に示す。蒸気養生を終えた活性骨材は、48時間程度水中に浸漬した後貯蔵した。こうして製造された活性骨材を写真2に示す。

4. 活性骨材の諸性質

4.1 強度 活性骨材の強度試験は、破砕試験および圧潰強度試験によった。破砕試験は、φ15.6×H13.9cmのアランジャーを用い、荷重25tonを加えたときの変位量を測定した。圧潰強度

表-1 材料の化学成分

項目 試料	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	CaO	MgO	Na_2O	SO_3	CaCO_3	R_2O_3	Ca(OH)_2	不溶解 成分	その他	計	比重	グリーン (mm)
シラス (船岡)	73.0	14.0	3.5	—	3.5	—	4.0	Tr	—	—	—	—	—	98.0	2.47	1200 3300
スラグ (八幡)	30.9	19.3	1.2	1.3	38.9	6.3	—	1.0	—	—	—	—	—	98.9	2.89	3800
消石灰 (工業用)	—	0.2	—	—	—	0.4	—	—	1.8	—	97.2	0.2	—	99.8	2.31	7600

試験は、点接觸による圧縮強度試験である。破砕試験変位量と圧潰試験強度との関係を図3に示す。配合ⅢⅣの活性骨材は圧潰強度15~150 kg/cm²で焼成人工軽量骨材（ライオナイト）の120 kg/cm²と同等程度以上の値を示した。

4.2 吸水率 活性骨

写真1 活性骨材の造粒状況

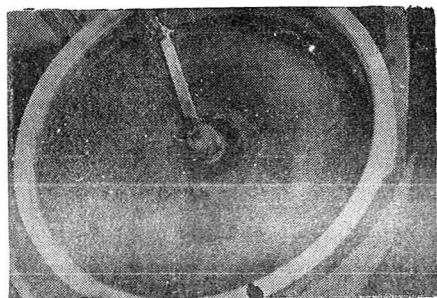


写真2 活性骨材

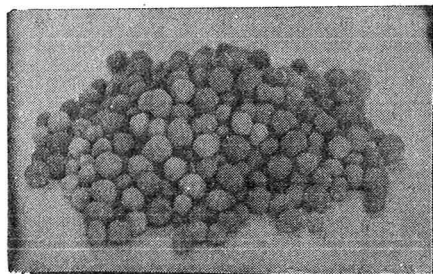


表2 活性骨材配合表(粉体材料 100 kg当り)

材料	配合No	I	II	III	IV	備考
粗粒シラス	0	40	0	40		
細粒シラス	72.5	43.5	55.8	33.48		
消石灰	22.5	13.5	17.3	10.38		消石灰/細粒シラス = 31%
スラブ	0	0	21.9	13.14		スラブ/細粒シラス+消石灰 = 30%
石膏	3.0	1.8	3.0	1.8		
塩化カルシウム	2.0	1.2	2.0	1.2		
計	100	100	100	100		
水	17.0	20.0	17.0	18.0		

図1 シラスの粒度曲線

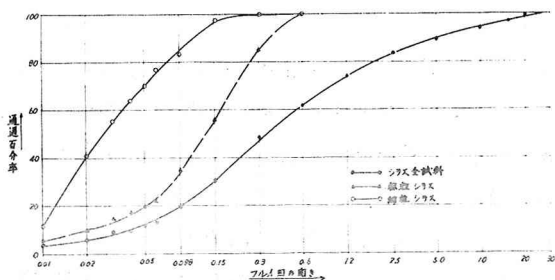
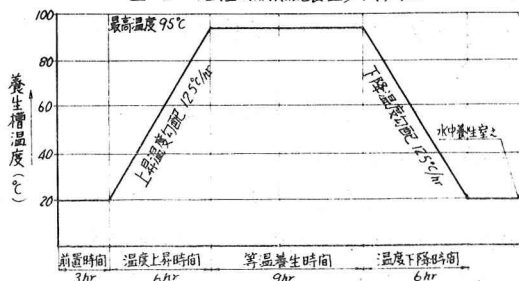


図2 活性骨材蒸気養生ダイアグラム

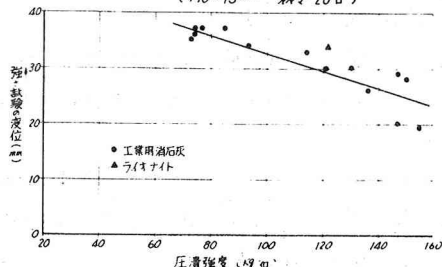


材の浸漬時間と吸水率との関係を図4に示す。24 時間における吸水率は16~20%である。焼成人工軽量骨材の24 時間吸水率に比較するとかなり大きい。

4.3 比重 活性骨材は、表乾比重1.86~1.97、絶乾比重1.31~1.43である。活性骨材は高温焼成による発泡作用を受けていないので、ペレット個個の比重のバラツキが殆んどない。単位容積重量は1,150 kg/m³である。

4.4 安定性 硫酸ナトリウム液を用いた活性骨材の安定性試験結果は材令28日で0.2~1.5%、材令91日で0~2%であり、十分耐久性を持つ骨材であると考えられる。

図3 活性骨材の圧潰強度と変位との関係 (φ10~15 mm 材令28日)



5. 各種骨材がコンクリートの諸性質におよぼす影響について

天然骨材、焼成人工軽量骨材および活性骨材という骨材の種別が、コンクリートの強度、弾性係数、耐久性などにどのような影響を及ぼすかを検討するため、表3、4に示す材料、配合によってコンクリートの諸性質を検討した。

5.1 圧縮強度

活性骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は、秋令9月182日で、天然骨材を用いた配合の113%程度。

図4 活性骨材の吸水率

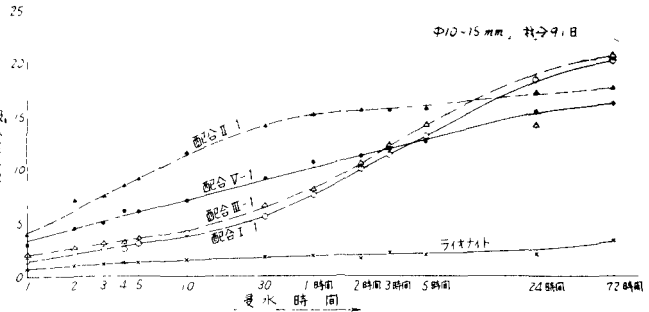


表-3 使用骨材の物理的性質

骨材の種別	比重	吸水率 (%)	単位積 重量 (kg/m³)	空隙率 (%)	粗粒率	各ふるいを通る量の重量百分率 (%)									
						0.15 mm	0.30 mm	0.60 mm	1.20 mm	2.50 mm	5 mm	10 mm	15 mm	30 mm	75 mm
粗天然骨材	2.67	1.53	1526	42.8	6.35	—	—	—	—	—	100	35	0	—	—
骨活性骨材	1.99	10.17	1210	39.2	6.35	—	—	—	—	—	100	35	0	—	—
骨ライオナイト	1.35	4.03	864	36.0	6.35	—	—	—	—	—	100	35	0	—	—
細骨材	1.90	6.20	1310	31.5	3.22	96	89	72	45	19	1	—	—	—	—
細骨材川砂+山砂	2.56	3.40	1675	34.6	2.75	94	81	59	26	9	2	—	—	—	—

表-4 コンクリート配合および試験結果

配合番号	骨材の最大法	骨材の種類 細骨材 粗骨材	単位 体積 (kg/m³)	単位 水量 (kg/m³)	水セメント比 w/c (%)	細骨材率 S/A (%)	単位細骨材量 (kg/m³)	単位粗骨材量 (kg/m³)	混和剤 (g)	スラ ー (cm)	空気量 (%)	単位重量 (kg/m³)	圧縮強度 (kg/cm²)				静弾性係数 $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 182日	動弾性係数 $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 182日
													7日	28日	91日	182日		
D I	15	川砂+山砂 碎石	300	162	54	45	798	1018	150	7.6	5.6	2302	220	298	356	384	338	3721
D II	15	・	400	168	42	44	738	980	200	8.2	5.5	2324	325	432	482	521	347	3793
D III	15	ヒルトン 石灰石	300	162	54	44	579	524	150	8.6	6.5	1620	193	262	302	332	156	1828
D IV	15	・	400	168	42	43	536	504	200	8.8	6.6	1648	306	399	466	488	161	1944
D V	15	ヒルトン 活性	300	162	54	44	579	772	150	8.0	5.4	1843	244	345	400	436	174	2119
D VI	15	・	400	168	42	43	536	743	200	7.8	5.4	1875	385	479	544	592	215	2294

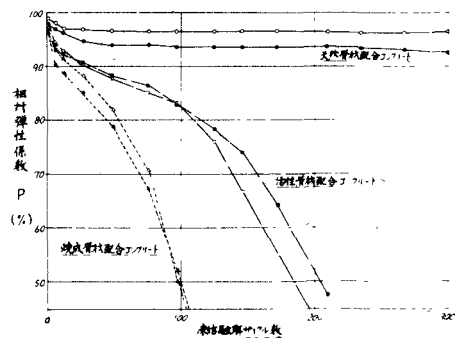
焼成人工軽量骨材を用いた配合の117~132%程度に達した。

5.2 耐久性試験 表4に示す配合のコンクリートを秋令28日で凍結融解試験を行なった。その結果を図5に示す。活性骨材を用いたコンクリートの耐久性は、天然骨材配合のコンクリートと焼成人工軽量骨材配合コンクリートとのほぼ中間にあると考えられる。

6. 活性骨材とモルタルとの付着部分の観察

活性骨材を用いたコンクリートを秋令1年で切断し、活性骨材とモルタルとの付着部分を偏光顕微鏡で観察

図5 各種骨材を用いたコンクリートの耐久性試験結果



した。その状況を写真3、図6に示す。活性骨材とモルタルとの付着部分に見られる物質は $0.01\mu\text{m}$ 以下の微粒子で、屈折率 $n=1.574$ 、 $E=1.545$ で、水酸化カルシウムを主としたものである。活性骨材とモルタルとの付着状況は、天然骨材や焼成人工軽量骨材などの場合と異なり、境界生成物質によって化学的に結合している状況が観察された。

7. むすび

7.1 南九州における未利用資源であるシラスを主原料とし、これを選別・粉砕し、工業用消石灰、スラグなどを適当に配合、造粒し、 95°C で蒸気養生して、非焼成人工軽量骨材が得られる。

7.2 この骨材は高温焼成を行っていないため、骨材中に活性のシリカが存在し、これが、ポルトランドセメントを用いてコンクリートを製造した場合にセメントの水和の際に析出される遊離石灰と反応して、活性骨材とモルタルとの付着部分は、水酸化カルシウムを主とした境界物質で、化学的に結合している（活性である）と考えられる。

7.3 活性骨材の純粋比重は $1.31\sim 1.43$ 、単位容積重量 $1,150\text{ kg/m}^3$ 程度であり、構造用軽量コンクリート骨材の区分によれば、人工軽量粗骨材MA-41Bと呼ばれるものである。

7.4 天然骨材、焼成人工軽量骨材および活性骨材という骨材の種類の差がコンクリートの諸性質にどのような影響をおよぼすかを検討した。単位セメント量 $300, 400\text{ kg/m}^3$ 、水セメント比 42.54% とした配合で、枕令 $7\sim 182$ 日の圧縮強度を比較すると、すべての枕令で、活性骨材を用いたコンクリートは、天然骨材を用いたコンクリートよりも $11\sim 16\%$ 、焼成人工軽量骨材を用いたコンクリートよりも $17\sim 32\%$ 大きい圧縮強度を示した。これは活性骨材とモルタルとの付着が化学的に行なわれている結果であると考えられる。

7.5 活性骨材を用いたコンクリートの耐久性は、天然骨材コンクリートと焼成人工軽量骨材コンクリートのほぼ中間程度であり、一般構造物用コンクリートとして十分な耐久力を有するものと考えられる。

おわりに、本研究を進めるにあたり終始御指導賜りました日本大学関教授、耐久性試験で御援助いただいた電力中央研究所永倉工博、分析で御援助いただいた九州大学山崎教授ならびに関係各位に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) シンダー・アッシュを利用したコンクリートの製造方法の研究 関・笠原・栗山・河角
- 2) 鋳物工学 吉木文平 技報堂

写真3 活性骨材とモルタルの付着状況

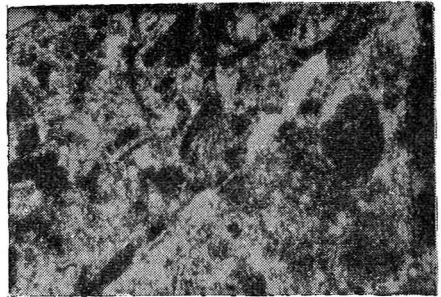


図6 活性骨材とモルタルとの付着状況

