

名古屋工業大学 正員 吉田弥智

豊田工業高等専門学校 正員 中嶋清実

1. まえがき、オイルショック以後、セメントを焼成するための燃料は高騰し、豊富とされている石灰石もあと40年で採掘可能な所は取りつくすと推定されている。この状況に対処するためには省エネルギー型セメントに目を向ける必要がある。本報告は高炉水砕、シリカ、フライアッシュを結合材として、またアルカリ刺激材として普通ポルトランドセメントおよび消石灰を使用した混合硬化体についての試験結果である。

2. 実験方法、使用材料は、高炉水砕粉末：製鉄所の副産物である高炉水砕を粉砕(比重2.78, ブレイン値 $5180\text{ cm}^2/\text{g}$)、シリカ：青森県下北郡東通村産のフリストバライトを粉砕(比重2.65 $104\times$)、フライアッシュ：火力発電所の石炭燃焼の際の副産物(比重2.25, ブレイン値 $4000\text{ cm}^2/\text{g}$)、アルカリ刺激材：普通ポルトランドセメントおよび消石灰、細骨材：豊浦産標準砂、混練水：井戸水、である。高炉水砕粉末、シリカおよびフライアッシュの化学成分を表1～3に示す。

表-1 水砕粉末の化学成分(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Ti-Fe	MnO	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	T-S
372	14.5	0.64	0.59	1.23	41.0	—	2.9	0.93

表-2 シリカ(フリストバライト)の化学成分(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	ig. loss
88.2	4.7	1.5	0.20	0.16	0.49	0.20	0.81	3.88

表-3 フライアッシュの化学成分(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	H ₂ O	ig. loss	insol.
51.7	27.0	5.7	5.9	1.6	0.9	0.2	3.0	—

試験はJIS R 5201のモルタルによる凝結試験および強度試験である。

配合は表-4のように水砕とシリカの配合比、フライアッシュの混入率、およびアルカリ刺激剤の添加率の要なる54種類の組合せである。

3. 結果および考察、高炉水砕粉末の潜在水硬性、およびシリカ、フライアッシュのポズラン反応に強度発現を期待した混合硬化体の試験結果を以下に示す。

(1) 凝結試験結果、水砕およびシリカがきわめて多孔質なために標準軟度を得るための水結合材比は36%～58%となった。凝結試験結果は表-5の通りである。この表よりシリカおよびフライアッシュが増すと凝結時間は長くなることがわかる。またアルカリ刺激剤を増すと凝結時間は長くなる傾向がある。

(2) 強度試験結果、結果は結合材+アルカリ刺激剤：砂=1:2、w/c=0.65として、原則として24

表-4 混合硬化体の配合

配合番号	水砕：シリカの配合比			フライアッシュ (水砕+シリカ に対して)	アルカリ刺激剤 (水砕+シリカ +フライアッシュに対して)
	9:1	8:2	7:3		
5	1 AB	2 AB	3 AB	0 %	5
	4 AB	5 AB	6 AB	20	
	7 AB	8 AB	9 AB	30	
10	10 AB	11 AB	12 AB	0 %	10
	13 AB	14 AB	15 AB	20	
	16 AB	17 AB	18 AB	30	
15	19 AB	20 AB	21 AB	0 %	15
	22 AB	23 AB	24 AB	20	
	25 AB	26 AB	27 AB	30	

(Aは刺激剤として普通ポルトランドセメント、Bは石灰を用いる)

表-5 凝結試験結果

水砕シリカ 配合比	No.	フライアッシュ添加率0%		フライアッシュ添加率20%		フライアッシュ添加率30%	
		セメント	石灰	セメント	石灰	セメント	石灰
9:1	5%	1 2 ^h ~4 ^h	2 ^h ~5 ^h	4 4 ^h ~14 ^h	4 ^h ~7 ^h	7 5 ^h ~10 ^h	6 ^h ~11 ^h
	10	10 3~8	3~7	13 5~11	5~10	16 6~11	7~14
	15	19 4~9	4~8	22 5~11	6~11	25 6~11	7~12
8:2	5%	2 2~5	3~5	5 3~9	5~10	8 5~11	7~11
	10	11 2~8	5~14	14 3~10	5~11	17 5~11	8~20
	15	20 3~10	5~9	23 3~10	5~20	26 5~11	7~20
7:3	5%	3 2~4	4~13	6 3~7	6~11	9 5~10	8~16
	10	12 3~7	7~17	15 4~10	8~13	18 4~12	9~20
	15	21 3~10	7~10	24 4~10	9~20	27 4~11	8~20

時間後に脱型、以後 20℃ 水中養生を行ない 3 日、7 日、28 日、91 日の 4 材令での曲げ強度と圧縮強度である。

水砕とシリカの配合比と圧縮強度の関係はシリカの量が増うほど圧縮強度が低下する傾向にある(図-1)。これは水砕よりもシリカの方が強度発現が遅いためと考えられる。

アルカリ刺激材と圧縮強度の関係は普通セメントよりも消石灰を用いた方が強度が高い(図-2)。このことは反応に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が必要となるが普通セメントでは水和反応後に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を遊離するので反応に時間がかかるし、また不足するためであると推察される。

フライアッシュと圧縮強度の関係はフライアッシュの混入率が増うほど強度が弱くなる傾向がある(図-3)。このことはフライアッシュの強度発現が遅いためであると考えられる。

圧縮強度と曲げ強度の関係は図-4に示すようにアルカリ刺激材として普通セメント、消石灰のいずれを用いた場合も長期材令での圧縮強度の伸びが著しい。

高炉セメントとの比較をしたものが図-5 である。セメント協会の試験値と比較すると全体的に強度の増進が類似する傾向がみられる。3 日強度ではかなり小さくなっているが、水砕、シリカの配合比が 7:3 のものを除いて 7 日、28 日強度では 15% 弱程度にあさまっている。

最後に、資料の提供として頂いた名工大材料開発研究施設の福尾恭一教授と実験に携った名工大卒研生深尾洋二、福田幸志の両君に謝意を表します。

