

新規結合材を用いたモルタル組成体の耐硫酸性について

呉高専（正員） 市坪 誠 山口隆司 堀口 至 竹村和夫

新居浜高専 牧 慎也 中国電力 田中雅章 中村康雄 大村 剛

1. はじめに

近年、地下および地中構造物の侵食・劣化が顕在化し、その耐久性が社会問題として大きく取上げられている。なかでも下水道施設において、硫酸塩還元細菌と硫酸酸化細菌が関与する硫酸による侵食・劣化は著しくその対象範囲も広いため、早急で適切な対応が求められている。下水道関連施設も他の社会基盤と同様に維持管理の時代を迎えており、施設の耐用年数を長期とし、できるだけコストが低減できる新規材料の開発が必要になってきている。

そこで本研究は、建設構造物の酸性劣化に対する耐食性向上の基礎的資料を得るために、PFBC（加圧流動床）灰を活用した新規結合材に着目し、そのモルタル組成体の力学的特性および耐硫酸性について実験的に検討を行った。

2. 研究概要

使用材料に普通ポルトランドセメント（記号：NC）、高炉スラグ微粉末（記号：BF）、PFBC 灰（記号：F）を用い、細骨材は広島県産混合砂（記号：n）、高炉スラグ水砕砂（記号：b）を用いた。表-1 に各材料の物性値を示し、表-2 に化学組成を示す。圧縮曲げ試験は表-3 に示す配合のモルタルを、所定の日数（7, 28, 91 日）まで水中標準養生（20℃）後、JIS R 5201 に準拠して行った。耐硫酸性試験は表-4 に示す配合のモルタルを水中標準養生（20℃）後、材齢 21 日において 10% 硫酸溶液に供試体を浸漬した。供試体は、4×4×4cm に成形したものを用い、浸漬した供試体は、1, 2, 4, 8, 16, 32 日ごとに質量を測定した。また、材料の化学成分が耐硫酸性に及ぼす影響を把握するため、耐硫酸性試験の 32 日目の質量減少率を目的変数、使用材料の化学成分を説明変数とした重回帰分析を行った。

3. 結果及び考察

強度試験において、新規結合材を用いたいずれの供試体も材齢 28 日で圧縮強度は約 18~21N/mm²、曲げ強度は 4~6 N/mm²程度となった。図-1、図-2 に示すように、結合材水比(B/W)と各材齢の圧縮および曲げ強度の間に線形関係が成立つことを把握した。耐硫酸性試験

表-1 各材料の物性値

		比表面率 (cm ² /g)	密度 (g/cm ³)	吸水率(%)
結合材	PFBC灰	45800	2.61	-
	普通ポルトランドセメント	3200	3.15	-
	高炉スラグ微粉末	4200	2.89	-
細骨材	混合砂	-	2.55	2.14
	高炉スラグ水砕砂	-	2.80	0.48

表-2 化学組成

	化学組成(%)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	その他
PFBC灰	44.0	13.0	3.0	21.0	0.0	19.0
普通ポルトランドセメント	22.2	5.2	1.8	54.7	3.6	12.5
高炉スラグ微粉末	33.0	13.0	0.1	42.0	7.0	4.9
混合砂	70.4	12.2	4.3	7.0	1.2	4.9
高炉スラグ水砕砂	33.8	14.7	0.3	42.0	6.7	2.5

表-3 強度試験に用いる配合

供試体番号	供試体当り質量 (g/供試体)							
	B/W (W/B)	S/B	F/BF	W	S	B		
						C	F	BF
17100	1.7 (0.59)	3.0	1.00	250	1,266	-	211	211
20050	2.0 (0.50)		0.50		1,500		166	334
20075			0.75				215	285
20100			1.00				250	250
20125			1.25				278	222
23100	2.3 (0.43)		1.00		1,744		291	291
RE17	1.7 (0.59)	-	-	-	1,266	422	-	-
RE20	2.0 (0.50)				1,500	500	-	-
RE23	2.3 (0.43)				1,744	582	-	-

表-4 耐硫酸性に用いる配合

供試体番号	供試体当り質量 (g/供試体)							
	B/W (W/B)	S/B	F/BF	W	S			
					n	b	C	F
NCn	2.0 (0.5)	3.0	-	250	1,500	-	500	-
20050			0.50			-	-	166
20100			1.00			-	-	250
20125			1.25			-	-	278
NCb			-	235	1,413	-	471	-
b20050			0.50			-	-	157
b20100			1.00			-	-	235
b20125			1.25			-	-	262

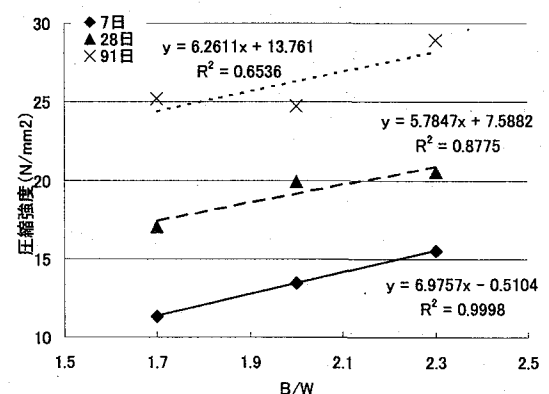


図-1 圧縮強度と B/W の関係

において、図-3、図-4より、セメントを使用した供試体と比較して、新規結合材を用いることで耐硫酸性が向上することが明らかとなった。また、図-3と図-4の比較から、混合砂よりむしろ高炉スラグ水砕砂をモルタル組成体に用いることで耐硫酸性がより向上した。

材料の化学成分が耐硫酸性に及ぼす影響を把握するため、重回帰分析の結果を表-5に示した。決定係数は96.6%と高くこれら4つの化学成分で耐硫酸性を説明できる。偏回帰係数の正負および標準偏回帰係数の結果より、細骨材中のCaOおよび結合材中のSiO₂は耐硫酸性を向上させる傾向にあった。なお、解析を行うに際し、サンプル数は8と少なかったものの有意水準0.05（信頼度95%）で分析の精度は良い結果となった。

4. まとめ

PFBC灰と高炉スラグ微粉末のみを用いた新規結合材に着目し、これを活用したモルタル組成体に関する知見を以下に示した。

- 1) 新規結合材を用いたモルタル組成体の圧縮強度は材齢28日で約18~21N/mm²となり、圧縮強度とB/Wの間に線形関係が成立した。
- 2) 新規結合材を用いたモルタル組成体は、高炉スラグ水砕砂と組合せることで耐硫酸性がより向上した。
- 3) 結合材中のSiO₂と細骨材中のCaOが耐硫酸性を向上させることを把握した。

謝 辞

一連の研究遂行にあたり、新日鐵高炉セメント（株）田川 厚氏、日新製鋼（株）宮中勇治氏、呉高専専攻科生 山田 宏氏、本科生 前東崇史氏、沖藤 豊氏、三井金属鉱業（株）、カヤ興産（株）、鉄鋼スラグ協会ほか、関係各位に感謝の意を表する。

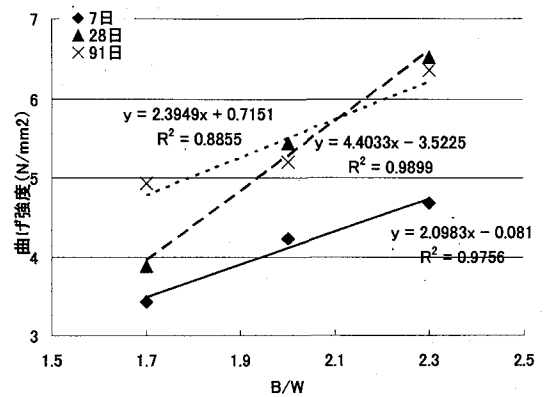


図-2 曲げ強度とB/Wの関係

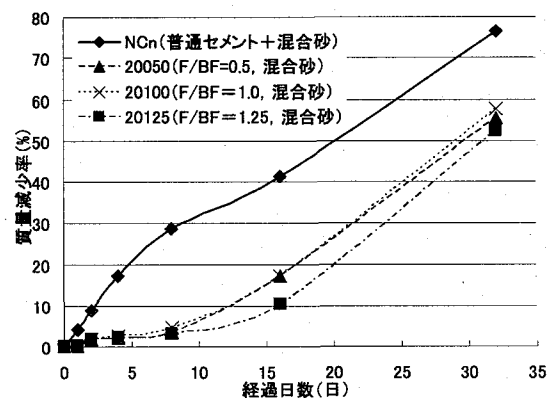


図-3 耐硫酸性試験結果 (n)

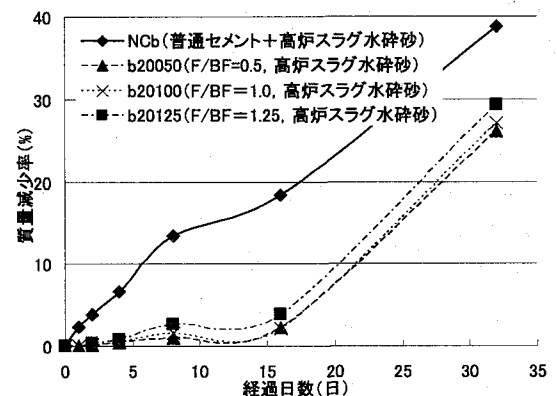


図-4 耐硫酸性試験結果 (b)

表-5 重回帰分析結果

重回帰式									
変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値	判定	標準誤差	偏相関	単相関
CaO (結合材)	2.296	0.211	1.397	1.182	0.322		1.942	0.5638	0.4587
SiO (結合材)	-4.791	-0.273	2.761	1.661	0.195		2.883	-0.692	-0.4372
CaO (細骨材)	-0.961	-0.388	5.105	2.259	0.109		0.425	-0.7936	-0.825
SiO ₂ (細骨材)	1.392	0.539	10.617	3.258	0.047	*	0.427	0.883	0.7941
定数項	23.464		0.115	0.339	0.756		69.193		

** : 1%有意 * : 5%有意

精度	
決定係数	0.9662
修正済決定係数	0.9211
重相関係数	0.9829
修正済重相関係数	0.9597
ダービン・ワトソン比	1.8718
赤池のAIC	52.3437

分散分析表

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F 値	P 値	判定
回帰変動	2072.79958	4	518.199896	21.422506	0.0152	*
誤差変動	72.5685261	3	24.1895087			
全体変動	2145.36811	7				

** : 1%有意 * : 5%有意