

各種細骨材を用いたモルタルの耐硫酸性に関する研究

呉高専 正員 市坪 誠 呉高専 正員 竹村和夫 呉高専 正員 堀口 至
呉高専 正員 山口隆司 呉高専専攻科 学员○山田 宏

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り上げられるようになった。下水道施設では、硫酸塩還元細菌と硫酸化細菌が関与する硫酸による侵食・劣化が著しくその対象範囲も広いことから、早急で適切な対応が求められている。ここで、材料のなかでもセメントおよび混和材料により耐硫酸性の向上を図った研究^{1) 2) 3)}は数多く存在するものの、他の材料、特に細骨材による耐硫酸性の影響を検討した知見は見当たらない。そこで本研究は、細骨材がモルタルの耐硫酸性に及ぼす影響について実験的に検討を行った。

2. 実験概要

供試体は、表-1に示す材料を使用し、表-2に示す組み合わせで、配合をセメント：砂：水＝1：1：0.4とし、4*4*4cmに成形したものをを用いた。本研究は促進試験とし、10%硫酸溶液に供試体を浸漬させた。浸漬した供試体は、1, 2, 4, 8, 16, 32日毎に質量を測定した。また、耐硫酸性に及ぼす使用材料の構成成分の影響を把握するために、浸漬後32日目の質量と使用材料の構成成分で重回帰分析を行った。

3. 結果および考察

図-1は細骨材に着目した供試体の質量の経時変化を示したものである。混合砂、銅スラグ細骨材およびフェロニッケルスラグ細骨材を用いた供試体は、浸漬後32日で約55～75%減少した。一方、高炉スラグ水砕砂を用いた供試体は、浸漬後32日で約40%減少した。

図-2はセメントに着目した供試体の質量の経時変化を示したものである。普通ポルトランドセメントおよびエコセメントを用いた供試体(NCn, ECn)は、浸漬後32日で約75%減少した。一方、高炉セメント(BCn)を用いた供試体は、浸漬後32日で約30%減少した。また、細骨材および細骨材およびセメントを両者ともに高炉副産物を用いた供試体(BCb)は、浸漬後32日で約30%減少した。エコセメントと高炉スラグ水砕砂を用いた供試体(ECb)は、浸漬後32日で約45%減少した。

以上の結果、高炉副産物を使用した材料は耐硫酸性に優れている結果となった。なお、BCnとNCbを比較した結果、後者がより良好な耐硫酸性を得ることとなった。

表-3に重回帰分析結果を示す。ここで、取り上げている説明変数は、セメントからは比較的化学抵抗性が大きいC₂Sおよび耐硫酸性に多大に貢献するC₃Aを選定した。細骨材からは構成する化学成分のうち、主成分であるCaOおよびSiO₂を選定した。

決定係数は96.62%と高くこれら4つの鉱物・化学成分で耐硫酸性を説明できる。

偏回帰係数の正負の結果より、細骨材中のCaOは耐硫酸性を向上させる傾向にあることが理解できた。これに対し、セメント中のC₂S（ビーライト）およびC₃A（ア

表-1 使用材料の物性

	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	吸水率 (%)	F.M.	化学成分 (%)							鉱物成分 (%)			
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	SO ₃	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
セメント															
NC	3.16	3290	—	—	22.2	5.2	2.8	—	64.2	1.5	2.0	64.8	9.4	8.2	9.4
BC	3.04	3870	—	—	25.6	8.5	1.8	—	54.7	3.6	2.0	32.4	4.7	4.1	4.7
EC	3.17	4260	—	—	18.4	7.9	3.4	—	61.3	2.3	4.1	52.2	9.6	13.7	13.3
細骨材															
n	2.55	—	2.00	2.55	70.4	12.2	—	4.3	7.0	1.2	—	—	—	—	—
c	3.41	—	0.81	3.17	33.8	14.4	—	0.6	42.7	6.7	—	—	—	—	—
f	3.10	—	0.45	1.66	56.0	1.9	—	8.0	4.7	28.1	—	—	—	—	—
b	2.80	—	0.46	2.57	34.0	6.0	—	38.0	34.1	2.8	—	—	—	—	—

表-2 材料の組み合わせ

セメント	細骨材	n (混合砂)	b (高炉スラグ水砕砂)	f (フェロニッケルスラグ細骨材)	c (銅スラグ細骨材)
NC (普通ポルトランドセメント)		○	○	○	○
EC (エコセメント)		○	○		
BC (高炉セメントB種)		○	○		

ルミネート相)と細骨材中のSiO₂は耐硫酸性を低下させる傾向にあることが理解できた。

標準偏回帰係数の結果より、細骨材中のCaOが、耐硫酸性向上に寄与することが理解できた。

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。

以上の結果より、高炉副産物（セメントおよび細骨材）を用いることにより耐硫酸性を向上させることが把握された。今後の下水道施設等、耐硫酸性が必要な箇所には、高炉副産物を積極的かつ複合的に用いることが必要であると判断された。

4. まとめ

- 本研究の結果をまとめると以下ようになる。
- (1) 高炉セメントおよび高炉スラグ水砕砂を用いることにより、耐硫酸性を向上することができた。
- (2) 高炉副産物において、高炉セメントより細骨材を用いたほうが耐硫酸性を得られることが把握された。
- (3) 特に細骨材中のCaOが耐硫酸性に寄与する。

【参考文献】

- 寺西修治，河合研至：二種類の混和材を含むセメントペースト硬化体の化学的耐久性，セメント・コンクリート論文集，No.46，pp.244-249，1992
- 浅上 修，岡田昌巳，五十嵐秀明，米田俊一：各種セメントの耐硫酸性に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No.50，pp.152-157，1996
- 浅上 修，五十嵐秀明，米田俊一：各種混和材料添加モルタルの耐硫酸性に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No.51，pp.642-647，1997

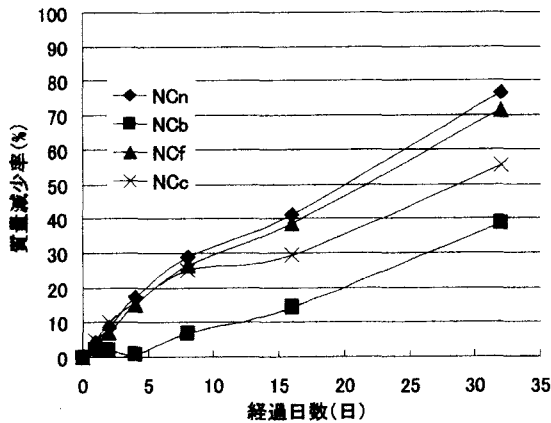


図-1 細骨材に着目した質量減少率

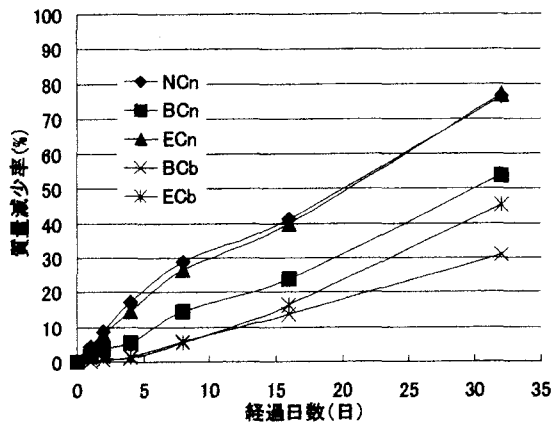


図-2 セメントに着目した質量減少率

表-3 耐硫酸性に及ぼす鉱物・化学成分の影響

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
C ₂ S (セメント)	-8.260601944	-0.3914	3.9056	1.9763	0.1426	
C ₃ A (セメント)	-0.923860822	-0.0720	0.1420	0.3768	0.7314	
CaO (細骨材)	0.961642305	0.3896	5.1050	2.2594	0.1090	
SiO ₂ (細骨材)	-1.392552181	-0.5395	10.6176	3.2585	0.0472	*
定数項	91.21488836		35.3177	5.9429	0.0095	**

変数名	標準誤差	偏相関	単相関
C ₂ S (セメント)	4.179908105	-0.7520	-0.4837
C ₃ A (セメント)	2.451714706	-0.2126	-0.3743
CaO (細骨材)	0.425614311	0.7936	0.8251
SiO ₂ (細骨材)	0.427363904	-0.8830	-0.7941
定数項	15.34861827		

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	2072.799584	4	518.1998961	21.42250605	0.0152	*
誤差変動	72.56852606	3	24.18950869			
全体変動	2145.368111	7				

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

** : 1%有意

* : 5%有意

** : 1%有意 * : 5%有意