環境負荷低減に考慮した各種モルタル調合による耐硫酸性向上に関する研究

井形友彦^{*1} 村上聖^{*2} 武田浩二^{*2} 松田学^{*1}^{*1} 株式会社ヤマックス 技術本部開発研究課(〒862-0950 熊本県熊本市中央区水前寺 3-9-5)^{*2} 熊本大学 大学院自然科学研究科(〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1)

要旨：本研究は耐硫酸性に優れるプレキャスト部材用調合の開発を目的に、結合材や骨材の種類、材料の組合せ、混和材の置換率、砂結合材比および水結合材比を実験要因とし、モルタル試験体による硫酸浸漬試験を行った。結果、耐硫酸性には結合材に比し細骨材の与える影響が大きく、ごみ熔融スラグ、石灰石砕砂および高炉スラグ細骨材は内部への硫酸の浸透を抑制した。また、水結合材比が耐硫酸性に与える影響は、細骨材に洗浄海砂および石灰石砕砂使用調合では水結合材比が小さいほど表層部が剥落し内部への硫酸の浸透が進行したが、高炉スラグ細骨材使用調合では表層に緻密な膜が形成され、水結合材比が小さいほど内部への硫酸の浸透が抑制された。

キーワード：耐硫酸性、高炉スラグ細骨材、ごみ熔融スラグ、石灰石砕砂、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、水結合材比

1. はじめに

温泉地帯や下水道関連施設では硫酸によるコンクリートの早期劣化が大きな問題となる。下水道施設では、下水汚泥の嫌気性環境で生息する硫酸塩還元細菌によって硫酸塩から硫化水素が生成され、その硫化水素が気中部に拡散し、好気性環境に生息する硫黄酸化細菌によって硫酸が生成する¹⁾。また、温泉地帯では土壌の場合、地熱地帯の深部から上昇する硫化水素ガスが地表近くで空気中の酸素により酸化されて硫酸になり、温泉水の場合は地下水中に溶存する硫化水素が水中の酸素により酸化されて硫酸となる²⁾。

コンクリートの硫酸劣化メカニズムは、i)セメントペーストと硫酸が接触する面に二水石膏の被膜を生成 $[H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O]$ 、ii)二水石膏とセメント組成化合物の $C_3A(3CaO \cdot Al_2O_3)$ が反応し、セメントペーストと二水石膏の界面にエトリンガイト $(3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O)$ が生成、iii)エトリンガイト生成域に硫酸が浸透しpHが低下するとエトリンガイトがパテ状の二水石膏に変化、iv)エトリンガイトとパテ状の二水石膏の量が多くなり、その膨張圧により表面の硬い二水石膏が剥がれ落ち、セメントペーストの新たな健全部が硫酸と接触し、上記の劣化が繰り返される³⁾。

一方、資源循環・環境保全の観点から建設業界では高炉スラグやフライアッシュ等の産業副産物の有効利用が推奨されている。既往の研究では、高炉スラグ微粉末や高炉スラグ細骨材は耐硫酸性に優れることが明らかにされており、硫酸と接触する表面に緻密な二水石膏膜が形成され、コンクリート内部への硫酸浸透が抑制されることでコンクリートの耐硫酸性が向上するとされている。

そこで本研究では、結合材や骨材の種類、混和材の組合せ、混和材の置換率、砂結合材比および水結合材比を実験因子としたモルタル調合による供試体を作製し、強度発現ならびに硫酸浸漬による耐硫酸性に優れる調合を実験的に検討した。

2. モルタル調合による耐硫酸性の評価

2.1 実験方法

本研究では調合種別として、結合材の主成分をセメント系(以下シリーズⅠ)とスラグ石膏系(以下シリーズⅡ)に大別し、調合の選定段階毎に実験を4度に分けて行った。なお、シリーズⅡとは結合材の主成分に高炉スラグ微粉末、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二水石膏を添加した環境負荷低減に期待される調合である。

試験は圧縮強度および硫酸浸漬を行い、各試験に供する試験体は $\phi 50 \times 100$ mmの円柱を3本ずつとし、モルタルの練り混ぜにはオムニミキサを用い、練り上がり時に流動性が不足する場合は高性能減水剤で適宜調整した。試験体は打設翌日に脱型後、 20 ± 2 ℃の水中にて28日間養生した後試験に供した。

硫酸浸漬試験は、質量濃度5%の硫酸に試験体を28日間浸漬後、質量変化率および試験体断面を測定した。断面性状の測定方法をFig.1に示す。浸漬終了後の試験体を高さ方向に半分に分断しフェノールフタレイン溶液を噴霧後、形状保持部および呈色部の直径を5箇所計測しその平均値を記録した。なお、硫酸浸透深さは供試体の基準径(50mm)から呈色部の直径を引いた値を2で割ることにより求める。また、実験1・2では毎週硫

Fig. 1 Specimen cross section measurement method

酸交換を行ったが、実験 3・4 では硫酸の交換を行わなかった。

2.2 セメント種類が耐硫酸性に与える影響(実験 1)

実験 1 ではセメント種類が耐硫酸性に与える影響について検討した。Table 1、2 に使用材料の諸元および調合表をそれぞれ示す。シリーズ I・II とともに細骨材に洗浄海砂を用いて砂結合材比を 3 とし、シリーズ I では結合材に普通、耐硫酸塩、中庸熱および普通ポルトランドセメントの一部に高炉スラグ微粉末とフライアッシュをそれぞれ一部置換した水準を用意した。シリーズ II では II.1-1 を基準とし、フライアッシュおよび特殊無機微粉末(IP)を高炉スラグ微粉末の一部に置換した水準を用

Table 1 Material specification

	Material	Density (g/cm ³)	Remarks	
Cement	C : Ordinarily portland cement	3.16	Specific surface area (cm ² /g)	3210
	M : Moderate heat portland cement	3.21		3180
	SR : Sulfate-resistant portland cement	3.20		3250
Admixture	BS : Blast furnace slag fine powder with plaster / non plaster	2.91		5910
	FA : II types of fly ash	2.91		5860
	IP : Special inorganic fine powder	2.24		4050
	GP : Two-water plaster	2.37		14 × 10 ³
	GP : Two-water plaster	2.23		—
	EX : Lime-based expansive agent	3.19		4940
Fine aggregate	SS : Washed sea sand	2.57	FM	2.51
	SB : Blast furnace slag fine aggregate	2.70		2.29
	SM : Waste molten slag fine aggregate	2.74		2.53
	SL : Limestone crushed sand	2.67		2.71
Chemical admixture	SP : High performance water reducing agent	1.05	—	

Table 2 Mix proportion of mortar (Experiment 1 and 2)

Symbol	Type of mixture	W/B (%)	s/b	Unit Content (kg/m ³)											SP (%)	F _c (N/mm ²)
				W	B					S						
					C	BS	FA	GP	IP	SS	SL	SM	SB			
I.1-1	C	50	3	247	494	—	—	—	—	1482	—	—	—	—	38.7	
I.1-2	SR			247	495	—	—	—	—	1485	—	—	—	—	41.7	
I.1-3	M			248	495	—	—	—	—	1485	—	—	—	—	35.0	
I.1-4	C70BS30			246	344	148	—	—	—	1476	—	—	—	—	47.4	
I.1-5	C85FA15			244	416	—	73	—	—	1467	—	—	—	—	36.8	
I.2-1	C + SS	50	3	Referencing I .1-1												
I.2-2	C + SL			253	505	—	—	—	—	—	1515	—	—	—	44.9	
I.2-3	C + SM			256	513	—	—	—	—	—	—	1538	—	—	24.5	
I.2-4	C + SB3			254	508	—	—	—	—	—	—	—	1525	0.7	38.8	
I.2-5	C + SB2		2	315	629	—	—	—	—	—	—	—	1259	—	43.5	
I.2-6	C + SB1		1	413	826	—	—	—	—	—	—	—	826	—	50.8	
II.1-1	C10BS80GP10(CBG)	50	3	243	49	388	—	49	—	1482	—	—	—	—	19.0	
II.1-2	C10BS65GP10FA15			241	41	328	72	41	—	1485	—	—	—	—	16.6	
II.1-3	C10BS72GP10IP8			246	45	362	—	45	40	1485	—	—	—	—	22.3	
II.2-1	CBG + SS	50	3	Referencing II .1-1												
II.2-2	CBG + SB			250	50	400	—	50	—	—	—	—	—	1498	0.7	22.2

* W/B : Water to binder ratio, s/b : Sand to binder ratio, B : Binder, S : Fine aggregate, Fc : Compressive strength

Fig. 2 Sulfuric acid immersion test results (Experiment 1 and 2)

意した。なお、高炉スラグ微粉末はシリーズⅠに石膏添加型を、シリーズⅡに石膏無添加型をそれぞれ用いた。特殊無機微粉末とは比表面積が $10\text{m}^2/\text{g}$ 以上ありポゾラン反応を有する混和材で、コンクリートの密実化および強度増加に寄与する。

Fig. 2 に硫酸浸漬試験結果を、Table 3 に浸漬試験終了後の供試体外観をそれぞれ示す。シリーズⅠでは全ての水準において表面からの硫酸浸食による劣化が進み、質量が 30 % 以上減少した。硫酸浸透深さは耐硫酸塩セメントを用いた I.1-2 が、基準調合である I.1-1 に比し浸透深さを 22 % 抑制したが、それ以外は I.1-1 と概ね同程度であった。耐硫酸塩セメントは成分中の C_3A が削減されており、エトリンガイトの生成が抑制されたと考えられる。

シリーズⅡは全ての水準において表層に膜が形成されたが、一部に剥落が生じている。形状保持部は元の直径より 2mm ほど大きくなり質量もわずかに増加したが、硫酸浸透深さは普通ポルトランドセメントを使用した I.1-1 と概ね同程度である。II.1-1～II.1-3 調合は、高炉スラグ微粉末の影響により二水石膏膜を形成したが硫酸による劣化サイクルを止めるほどではなく、内部に硫酸が浸透したと考えられる。

2.3 細骨材が耐硫酸性に与える影響(実験 2)

実験 2 では細骨材が耐硫酸性に与える影響について検討した。Table 1、2 に使用材料の諸元および調合表をそれぞれ示す。シリーズⅠでは結合材に普通ポルトランドセメント、細骨材に石灰石砕砂、ごみ熔融スラグ、高炉スラグ細骨材および比較用として洗浄海砂を用いた。また、高炉スラグ細骨材は砂結合材比 ($s/b=$) 3、2 および 1 の調合を用意した。シリーズⅡでは実験 1 より、基本調合である II.1-1 に比し高炉スラグ微粉末の一部を他の混和材で置換した調合に耐硫酸性の大きな差は認められなかったため、結合材は II.1-1 を基本とし細骨材に高炉スラグ細骨材および比較用として洗浄海砂を用いた。

Fig. 2 に硫酸浸漬試験結果を、Table 3 に浸漬試験終了後の供試体外観をそれぞれ示す。シリーズⅠについて、砂結合材比 3 で比較するとごみ熔融スラグおよび高炉スラグ細骨材使用調合である I.2-3 および I.2-4

Table 3 Specimen appearance (Experiment 1 and 2)

	1	2	3	4	5	6
I.1-						
I.2-	Referencing I.1-1					
	II.1-1	II.1-2	II.1-3	II.2-1	II.2-2	II.2-3
				Referencing II.1-1		

は表層に膜が形成され質量が増加し、硫酸浸透深さは洗浄海砂使用調合である I.2-1 に比し 58 % ほど低減された。ただし触感ではあるが、高炉スラグ細骨材で形成された表層膜は硬質であったが、ごみ熔融スラグで形成された表層膜は脆弱であった。石灰石砕砂使用調合である I.2-2 は表面からの劣化が進み質量は減少したが、硫酸浸透深さは I.2-1 に比し 39 % 低減した。これは石灰石砕砂中に含まれる微粒分による構造の緻密化、石灰石による硫酸の中和および骨材と結合材界面の緊密化の影響だと考えられる⁴⁾。砂結合材比の影響について、I.2-4～I.2-6 では砂結合材比の低下に伴い硫酸浸透深さおよび質量がわずかに増加した。これは砂結合材比の低下に伴い単位水量が増加したため、細空隙率が増加し硫酸浸透による反応が進んだと考えられる。また、砂結合材比 3 の場合、練り上がり時の巻き込み空気が目視されたが、砂結合材比 2 および 1 では確認されなかった。圧縮強度について、洗浄海砂使用調合に比し石灰石砕砂で 16 % 増加、ごみ熔融スラグで 45 % 低下、高炉スラグ細骨材ではほぼ同程度となった。

シリーズⅡについて、高炉スラグ細骨材使用調合の II.2-2 は表層に膜が形成され、洗浄海砂使用調合である

Table 4 Mix proportion of mortar (Experiment 3 and 4)

Symbol	Type of mixture	W/B (%)	s/b	Unit Content (kg/m ³)											SP (%)	Fc (N/mm ²)
				W	B						S					
					C	BS	FA	GP	IP	EX	SS	SL	SB			
I.3-1	C100	50	3	Referencing I.1-1												
I.3-2	C50BS50			245	245	245	—	—	—	—	1472	—	1472	—	48.6	
I.3-3	C50FA50			239	239	—	239	—	—	—	1435	—	1435	—	24.6	
I.3-4	C50BS30FA20			243	243	146	97	—	—	—	1457	—	1457	—	46.2	
I.3-5	C50BS30IP20			244	244	146	—	—	97	—	1461	—	1461	0.4	51.4	
I.3-6	C50FA30IP20			240	240	—	144	—	96	—	1439	—	1439	0.3	41.9	
I.4-1	C100 + SB2	50	2	Referencing I.2-5												
I.4-2		40		267	667	—	—	—	—	—	1335			1.0	65.2	
I.4-3	C50BS50 + SB2	40		265	331	331	—	—	—	—	—	—	1323	1.0	43.7	
I.4-4		30		213	355	355	—	—	—	—	—	—	1418	3.0	85.3	
I.4-5	C50BS30IP20 + SB2	40		262	327	196	—	—	131	—	—	—	1309	1.0	38.9	
I.4-6		30		210	351	210	—	—	140	—	—	—	1403	3.0	74.9	
I.4-7	C50BS30FA20 + SB2	40		261	326	196	131	—	—	—	—	—	1306	0.8	52.5	
I.4-8		30		210	350	210	140	—	—	—	—	—	1399	2.7	86.9	
I.4-9	C100 + SBSL2	40		267	668	—	—	—	—	—	—	668	668	0.5	63.2	
II.3-1	CBG + SS	50	3	Referencing II.1-1												
II.3-2		40		204	51	409	—	51	—	—	1532	—	—	0.5	38.4	
II.3-3		30		162	54	431	—	54	—	—	1617	—	—	1.4	54.7	
II.3-4	CBG + SL	40		209	52	418	—	52	—	—	—	1568	—	0.4	50.8	
II.3-5	C10FA72GP10IP8	40		196	49	—	353	49	40	—	1471	—	—	0.5	9.8	
II.4-1	CBG + SB2	40	2	261	65	521	—	66	—	—	—	—	1304	0.3	43.0	
II.4-2		30		210	70	559	—	70	—	—	—	—	1397	0.9	52.8	
II.4-3	CBG + SL2	40		261	65	522	—	65	—	—	—	1306	—	0.1	40.9	
II.4-4		30		210	70	560	—	70	—	—	—	1399	—	0.4	70.9	
II.4-5	C15BS80EX5 + SB2	40		263	99	526	—	—	—	33	—	—	1316	0.3	57.7	

* W/B : Water to binder ratio, s/b : Sand to binder ratio, B : Binder, S : Fine aggregate, Fc : Compressive strength

II.2-1 に比し質量が増加し硫酸浸透深さは 8 % 低減した。実験 1・2 のシリーズ II は、いずれの割合も圧縮強度は 20N/mm² 以下であり普通セメント使用割合の半分以下となった。

2.4 混和材置換率および水結合材比が耐硫酸性に与える影響(実験 3)

実験 3 について、シリーズ I では混和材の置換率、シリーズ II では水結合材比が耐硫酸性に与える影響についてそれぞれ検討した。Table 1、4 に使用材料の諸元および割合表をそれぞれ示す。シリーズ I では、実験 1 の結果から C₃A の削減により耐硫酸性が向上すると考えられるため、混和材置換率を 50 % まで上げることにより C₃A 削減を図った割合を用意した。シリーズ II では、海砂使用割合における水結合材比が耐硫酸性に与える影響を検討する割合、実験 2 で硫酸浸透深さ抑制に優れた石灰石細骨材使用割合および高炉スラグ微粉末の全量をフライアッシュに置換し、強度発現性を考慮し特殊無機無機微粉末を一部置換した割合を用意した。

Fig. 3 に硫酸浸漬試験結果を、Table 5 に浸漬試験終了後の供試体外観をそれぞれ示す。シリーズ I につい

て、硫酸浸透深さは混和材置換割合である I.3-2～I.3-6 が普通セメント使用割合である I.3-1 に比し 40 % 程度低減した。ただし I.3-1 は硫酸を毎週交換したため、質量が大きく減少し硫酸浸透深さも深いことを考慮しなければならない。試験体外観は、高炉スラグ微粉末を 50 % 置換した I.3-2 は表層膜に一部剥落がみられ膨張が進んだ。ボゾラン反応を有する混和材を 50 % 置換した I.3-3 および I.3-6 は表層に高炉スラグ使用割合のような密実な膜の形成はみられず質量変化率も小さい。これはボゾラン反応により水酸化カルシウムを消費し、二水石膏の生成が停滞したためと考えられる。また、フライアッシュを 50 % 置換した I.3-3 は圧縮強度が普通セメント使用割合に比し大きく低下し 24.6N/mm² であった。

ここで耐硫酸性と水セメント比の関係について既往の研究より、細孔空隙は二水石膏生成による膨張力を緩和するが、i) 膨張力を緩和できず細孔が崩壊する場合、水セメント比が小さく細孔空隙量が少ないほど表層の硫酸浸食および内部への硫酸浸透による中性化は進行し、ii) 膨張力が緩和され細孔が崩壊しない場合、水セメント比が大きく細孔空隙量が多いほど内部への硫酸浸透に

Fig. 3 Sulfuric acid immersion test results (Experiment 3 and 4)

よる中性化は進行する⁵⁾。

シリーズⅡについて、洗浄海砂使用割合で水結合材比 (W/B=)30 %のⅡ.3-3は細孔空隙による膨張力の緩和量を二水石膏の生成量が上回ったため表層膜の大部分が剥がれ落ち、水結合材比40 %であるⅡ.3-2に比し内部への中性化が進行したと考えられる。なお、水結合材比50 %のⅡ.3-1は硫酸交換を毎週行っており、条件が厳しいため硫酸浸食が進行したと考えられる。水結合材比40 %で比較すると、石灰石砕砂を用いたⅡ.3-4は表層膜が形成されず表層から硫酸による浸食が進行したが、硫酸浸透深さは洗浄海砂を使用したⅡ.3-2に比し46 %小さくなった。フライアッシュを結合材の主材料としたⅡ.3-5は質量減少量および硫酸浸透量が大きく耐硫酸性に劣る結果となり、圧縮強度も小さかった。これは潜在水硬性に比しボゾラン反応の方が水酸化カルシウムの消費量が多い、または反応速度が遅いため反応が進まなかったと考えられる。圧縮強度について、混和材を多量置換したシリーズⅡにおいても水結合材比が小さくなると圧縮強度が増加し、水結合材比を調整することにより所定の圧縮強度を得ることが可能である。

2.5 材料の組合せおよび水結合材比が耐硫酸性に与える影響(実験4)

実験4ではここまでに選定した材料の組合せおよび水結合材比が耐硫酸性に与える影響について検討した。Table 1、4に使用材料の諸元および調合表をそれぞれ示す。実験2より、高炉スラグ細骨材使用割合では砂結合材比3の場合、巻き込み空气が認められたため砂結合材比2で統一し、シリーズⅠではこれまでの実験

Table 5 Specimen appearance (Experiment 3 and 4)

	1	2	3	4	5	6
I.3-	Referencing I.1-1					
I.4-	Referencing I.2-5					
				I.4-7	I.4-8	I.4-9
II.3-	Referencing II.1-1					
II.4-						

で選定した調合に加え、結合材に普通ポルトランドセメント、細骨材に高炉スラグ細骨材と石灰石砕砂を同量混

合した調査を用意した。シリーズⅡでは、高炉スラグ細骨材または石灰石砕砂を使用した調査における水結合材比が耐硫酸性に与える影響について検討した。また、シリーズⅡで使用している二水石膏を石灰系膨張材(EX)に代替した調査を併せて検討した。

Fig. 3 に硫酸浸漬試験結果を、Table 5 に浸漬試験終了後の供試体外観をそれぞれ示す。シリーズⅠについて、水結合材比 40 % で比較すると、結合材に普通ポルトランドセメントを用いたⅠ.4-2 に比し混和材を 50 % 置換した調査は硫酸浸透深さが増加した。高炉スラグ細骨材と石灰石砕砂を併用したⅠ.4-9 は形状保持直径が基準よりも膨張しているが、外周に硬質な膜は形成されず表層からの浸食が進行した。水結合材比の影響について、Ⅰ.4-3～Ⅰ.4-6 は水結合材比が小さい調査の方が硫酸の浸透が抑制され質量変化率が小さかった。これは材料由来の膨張力緩和効果が大きかったため細孔空隙が崩壊せず、水結合材比が小さい調査の方が細孔空隙量が少なく反応が進まなかったと考えられる。なお、Ⅰ.4-1 は硫酸を毎週交換しており条件が厳しいため硫酸劣化がより進行したと考えられる。フライアッシュを一部置換したⅠ.4-7～Ⅰ.4-8 は水結合材比による影響は小さかった。

シリーズⅡについて、水結合材比 40 % で比較すると硫酸浸透深さに大きな差はないが、質量変化率では石灰石砕砂を用いたⅡ.4-3 が高炉スラグ細骨材使用調査であるⅡ.4-1 に比し表層からの浸食劣化により質量が 7 % 減少した。また石灰系膨張材を一部置換したⅡ.4-5 は硫酸浸漬を行った 3 体のいずれの供試体においても表層にポップアウト状の剥落がみられ、表層内部で異常膨張が起こったと考えられる。水結合材比の影響について、高炉スラグ細骨材使用調査は水結合材比の小さい方が硫酸浸透深さは小さくなり、石灰石砕砂使用調査は水結合材比の小さい方が硫酸浸透深さは大きくなった。石灰石砕砂は洗浄海砂同様、二水石膏生成による膨張力に対する緩和量が高炉スラグ細骨材使用調査に比し小さいため細孔空隙が崩壊し、その進捗は水結合材比の小さい調査の方が細孔空隙量は少ないため進行が早く、質量減少量および硫酸の浸透量が大きくなったと考えられる。

Fig. 4 に実験 1～4 の硫酸浸透深さと質量変化率の関係を骨材種類毎に分類し示す。洗浄海砂使用調査では結合材に混和材を置換することにより質量変化率が小さくなったが、硫酸浸透深さは抑制されなかった。対して石灰石砕砂、高炉スラグ細骨材およびゴミ溶融スラグ使用調査では硫酸浸透深さが小さくなる傾向にある。本実験の範囲内では硫酸浸透深さには結合材に比し細骨材が与える影響が大きい結果となった。

3. まとめ

本研究は耐硫酸性に優れるプレキャスト部材用調査の開発を目的に、各種産業副産物を使用したモルタル調査による硫酸浸漬試験を行った。得られた知見を以下に示す。

Fig. 4 Relationship between erosion depth and mass change rate

- ・硫酸の浸透深さについて結合材に比し細骨材の与える影響が大きく、洗浄海砂に比し石灰石砕砂、ゴミ溶融スラグおよび高炉スラグ細骨材が有効であるが、表層が剥落する石灰石砕砂や脆弱な膜を形成するゴミ溶融スラグに比し緻密な膜を形成した高炉スラグ細骨材が外観に優れる。
- ・水結合材比の影響について、本実験の範囲内では、細骨材に洗浄海砂および石灰石砕砂を用いた調査では水結合材比が小さいほど表層部が剥落し内部への硫酸の浸透が進行したが、高炉スラグ細骨材では表層に緻密な膜が形成され、水結合材比が小さいほど内部への硫酸の浸透が抑制された。

今後コンクリート調査による耐硫酸性の検討および構造部材による載荷試験を順次実施する予定である。

参考文献：

- 1) 大脇英司ほか：耐硫酸コンクリートを活用した下水道の整備と再生、コンクリート工学、Vol. 54、No. 12、pp. 1169-1177 (2016)
- 2) 徳光善治ほか：別府温泉におけるコンクリートの腐食試験、コンクリート工学、Vol. 16、No. 11、pp. 11-19 (1978)
- 3) Paweena JARIYATHITIPONG ほか：高炉スラグ細骨材によるコンクリートの耐硫酸性改善に関する研究、土木学会論文集、Vol. 69、No. 4、pp. 337-347 (2013)
- 4) 宮原茂禎ほか：下水道施設に用いる耐硫酸コンクリートの開発、大成建設技術センター報、第 39 号、pp. 1-5 (2006)
- 5) 蔵重勲ほか：硫酸腐食環境におけるコンクリートの劣化特性 (3) —硬化体中の細孔空隙の影響—、東京大学生産研究、Vol. 53、No. 5、pp. 69-72 (2001)

RESEARCH ON THE IMPROVEMENT OF SULFURIC ACID RESISTANCE BY VARIOUS MORTAR PREPARATION IN CONSIDERATION OF ENVIRONMENTAL LOAD REDUCTION

Tomohiko IGATA^{*1}, Kiyoshi MURAKAMI^{*1}, Koji TAKEDA^{*2} and Manabu MATSUDA^{*1}

*1 YAMAX CORPORATION, Department of Research and Development (3-9-5, Suizenji, Chuo-ku, Kumamoto-shi, Kumamoto 860-8555, Japan)

*2 KUMAMOTO UNIVERSITY, Graduate School of Science and Technology (2-39-1, Kurokami, Chuo-ku, Kumamoto-shi, Kumamoto 860-8555, Japan)

ABSTRACT : This study aimed to develop a precast concrete mix which is excellent in sulfuric acid resistance. The experimental factors were the type of binder and aggregate, the combination of materials, the substitution ratio of admixture, the ratio of sand binder to the ratio of water binder, and the sulfuric acid immersion test was performed with a mortar specimen. As a result, the influence of the fine aggregate on the sulfuric acid resistance was larger than that of the binder, and the waste molten slag, limestone crushed sand and blast furnace slag fine aggregate suppress the permeation of sulfuric acid to the inside. In addition, the influence of the water binder ratio on the sulfuric acid resistance is that in the use of washed sea sand and limestone crushed sand in the fine aggregate, as the water binder ratio is smaller, the surface layer part peels off and the penetration of sulfuric acid into the inside progresses. In the blast furnace slag fine aggregate use formulation, a dense film was formed on the surface layer, and the penetration of sulfuric acid into the interior was suppressed as the water-bonding material ratio was smaller.

KEY WORDS : Sulfuric acid resistance, Blast furnace slag fine aggregate, Waste melting slag, Limestone crushed sand, Blast furnace slag fine powder, Fly ash, Water binder ratio