

報告 フライアッシュの品種と凝結遅延剤の添加率がジオポリマーモルタルの圧縮強さ特性とフロー値の経時変化に及ぼす影響

野村 太地^{*1}・犬飼 利嗣^{*2}・上原 義己^{*3}・廣瀬 貴^{*4}

要旨: 本報では、数品種のフライアッシュを用いたジオポリマーモルタルの圧縮強さとフロー値の経時変化について実験的に検討した。その結果、比表面積が同程度であれば、フライアッシュの微粉碎の有無に関わらず圧縮強さは同様の傾向にあること、圧縮強さに及ぼすフライアッシュの発生箇所の違いによる影響は、フライアッシュの微粉碎の有無によって異なる傾向を示すことが分かった。また、比表面積が7000cm²/g程度のフライアッシュと3.0mol/Lのメタけい酸ナトリウム水溶液を用い適量の無水クエン酸を添加することで、常温養生で40N/mm²を超える圧縮強さのジオポリマーモルタルが得られることを確認した。

キーワード: ジオポリマー, フライアッシュ, メタけい酸ナトリウム, 無水クエン酸, 圧縮強さ, フロー値

1. はじめに

建設工事に主要な材料として使用されているコンクリートは、結合材としてポルトランドセメントが多く用いられている。しかし、ポルトランドセメントは、その製造工程で大量のCO₂を排出するので、近年、地球温暖化に繋がる一因として問題視もされている。また、排出されるCO₂の約6割は主原料である石灰石(CaCO₃)の熱分解によるもので¹⁾、その排出は避けられない現状にある。したがって、セメントコンクリートの代替となる硬化体の実用化に期待が寄せられている²⁾。一方、国内の石炭火力発電所から年間1000万トンを超えて発生する石炭灰の有効利用も重要な課題の一つであり、飛灰であるフライアッシュ(以下、FA)については、これまでにコンクリート用混和材として利用する研究が数多く行われてきた。しかし、実際に利用された実績は、排出される石炭灰の僅か3.5%程度に留まっている³⁾。

このような背景のもと、CO₂の排出量削減と産業副産物の有効利用を促進する上で、アルミナシリカ粉末(活性フィラー)とアルカリ溶液との縮重合反応によって硬化体を得る、ジオポリマー(以下、GP)に関する研究⁴⁾が注目されている。犬飼らも、FAの有効利用やGPに関する基礎的な研究^{5,7)}を進めており、GPについては微粉碎したFAと高濃度のメタけい酸ナトリウム(以下、NS)水溶液を用いれば圧縮強さの増大が図れること、フロー値の経時変化はNS水溶液の濃度、FAの微粉碎の有無、および凝結遅延剤とした無水クエン酸(以下、ST)の添加率によって、それぞれ異なる傾向にあることなどを報告している⁷⁾。しかし、FAのJISによる種類や微粉碎の有無、発生箇所、およびSTの添加率がGPモルタルの圧縮強さに及ぼ

す影響について整理するには至っていない。

そこで本報では、まず実験1として、活性フィラーにJIS I種FAとJIS II種FAを用い、FAの微粉碎の有無と比表面積がGPモルタルの圧縮強さに及ぼす影響について検討した。つぎに実験2として、発生箇所の異なる2種類のJIS II種FAを活性フィラーに用い、FAの発生箇所と微粉碎の有無がGPモルタルの圧縮強さに及ぼす影響について検討した。さらに実験3として、STの添加率がGPモルタルのフロー値の経時変化と圧縮強さに及ぼす影響について検討した。

2. FAの微粉碎の有無および比表面積とNS水溶液の濃度がGPモルタルの圧縮強さに及ぼす影響(実験1)

2.1 実験概要

(1) 実験要因

表-1に、実験要因を示す。実験要因は、FAの品種(JISによる種類と微粉碎の有無)とNS水溶液の濃度とした。

(2) 使用材料および配合

表-2に使用材料、表-3にFAの化学的品質、表-4に配合を示す。NSは所定の濃度となるよう水に溶解して水溶液(AW)とした。また、配合はAW/Fを50%、空気量を2%、NS水溶液の密度を表-5に示した値で計算した。なお、NS水溶液の濃度が3.0mol/Lになると凝結時間が極端に短くなることが観察されたので、NS水溶液の濃度が3.0mol/L以上の配合には既報⁷⁾を参考にしてFAの外割でSTを添加した。STの外割添加率を表-6に示す。

(3) 練混ぜおよびフロー試験

練混ぜおよびフロー試験は、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準じて行った。また、1バッチあたりの

*1 岐阜工業高等専門学校 建築学科 (学生会員)

*2 岐阜工業高等専門学校 建築学科教授 博士(工学) (正会員)

*3 岐阜工業高等専門学校 建築学科助教 修士(工学) (正会員)

*4 株式会社丸治コンクリート工業所 取締役研究開発部長

表-1 実験要因(実験1)

因子	水準
FAの品種	0-FA I, 0-FA II, 0-FA II 5
NS水溶液の濃度(mol/L)	2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0

表-2 使用材料(実験1~3)

材料名	記号	品種	備考	
フライアッシュ	0-FA I	A発電所 JIS I種 微粉碎なし	比表面積 (cm ² /g): 5410 密度 (g/cm ³): 2.38	
		A発電所 JIS II種 微粉碎なし	比表面積 (cm ² /g): 4046 密度 (g/cm ³): 2.33	
	0-FA II 5	A発電所 JIS II種 微粉碎あり	比表面積 (cm ² /g): 5213 密度 (g/cm ³): 2.47	
		A発電所 JIS II種 微粉碎あり	比表面積 (cm ² /g): 7088 密度 (g/cm ³): 2.52	
	1-FA II	B発電所 JIS II種 微粉碎なし	比表面積 (cm ² /g): 3480 密度 (g/cm ³): 2.28	
		B発電所 JIS II種 微粉碎あり	比表面積 (cm ² /g): 7480 密度 (g/cm ³): 2.52	
	細骨材	S	標準砂	絶対密度 (g/cm ³): 2.64
	アルカリ添加剤	NS	メタけい酸ナトリウム	密度 (g/cm ³): 2.61
	アルカリ水溶液	AW	NS水溶液	-
	凝結遅延剤	ST	無水クエン酸	密度 (g/cm ³): 1.66

表-3 FAの化学的品質(実験1~3)

FAの種類	mass%					lg. loss (%)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	
0-FA I	57.3	23.4	4.9	5.4	0.4	2.4
0-FA II	60.7	22.3	5.4	3.4	0.7	2.0
1-FA II	58.1	23.5	7.0	3.5	0.6	1.9

練混ぜ量は1Lとした。なお、0-FA IIでNS水溶液の濃度が3.0mol/L以上の配合では練混ぜ時間を1分間延長した。

(4) 空気量試験

空気量は、JIS A 5002「構造用軽量コンクリート骨材(5.12.d.モルタルの単位容積質量の測定)」に準じて単位容積質量を測定し、JIS A 1116「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法(質量方法)(6.2.空気量)」により算出した。ただし、試料は2層に分け、テーブルバイブレータで各層を30秒間締め固めた。

(5) 圧縮強さ試験

圧縮強さ試験は、JIS A 1142「有機不純物を含む細骨材のモルタルの圧縮強度による試験方法」に準じて行った。ただし、試料は2層に分け、テーブルバイブレータで各層を30秒間締め固めた。また、供試体は上面をラップした型枠内で、材齢28日まで20℃の封緘養生をした。

2.2 実験結果および考察

表-7に、フロー値と空気量の測定結果を示す。表-4に示した配合から分かるように、目標フロー値を得る単位NS水溶液量は、0-FA Iが最も小さく、0-FA II 5、0-FA IIの順で大きくなる傾向にあり、比表面積が大きくなると減少する傾向にある。また空気量は、比表面積が大きくなると増大する傾向にあった。このような傾向は、既報⁷⁾と同様である。

図-1に、圧縮強さとNS水溶液の濃度の関係を示す。図から分かるように、微粉碎なしの0-FA IIは、NS水溶液

表-4 配合(実験1)

FAの品種	NS濃度 (mol/L)	Flow	Air (%)	AW/F (%)	S/F	単位量 (kg/m ³)				外割 (kg)
						F	AW	S	ST	
0-FA I	2.0	190 ± 20	2	50	4.21	400	200	1684	-	
	2.5				3.80	430	215	1632	-	
	3.0				3.32	470	235	1560	9.4	
	3.5				3.02	500	250	1510	25.0	
	4.0				2.67	540	270	1441	37.8	
0-FA II	2.0				3.34	460	230	1536	-	
	2.5				3.04	490	245	1489	-	
	3.0				2.58	540	270	1394	16.2	
	3.5				2.61	540	270	1410	27.0	
	4.0				2.16	600	300	1296	42.0	
0-FA II 5	2.0	3.53	450	225	1589	-				
	2.5	3.44	460	230	1584	-				
	3.0	3.13	490	245	1534	9.8				
	3.5	2.76	530	265	1465	26.5				
	4.0	2.30	590	295	1357	41.3				

表-5 AWの密度(実験1~3)

NS水溶液の濃度 (mol/L)	NS水溶液の密度 (g/cm ³)
2.0	1.15
2.5	1.19
3.0	1.23
3.5	1.26
4.0	1.30

表-6 STの添加率(実験1)

NS水溶液の濃度 (mol/L)	Fに対するSTの外割添加率 (%)
3.0	2.0
3.5	5.0
4.0	7.0

表-7 フロー値と空気量の測定結果(実験1)

NS濃度 (mol/L)	Flow			Air (%)		
	FAの品種			FAの品種		
	0-FA I	0-FA II	0-FA II 5	0-FA I	0-FA II	0-FA II 5
2.0	173	187	198	2.8	1.7	2.7
2.5	175	208	182	2.6	0.5	2.4
3.0	198	182	188	1.7	1.2	2.2
3.5	197	202	204	2.1	0.7	2.7
4.0	192	200	201	2.9	1.3	3.6

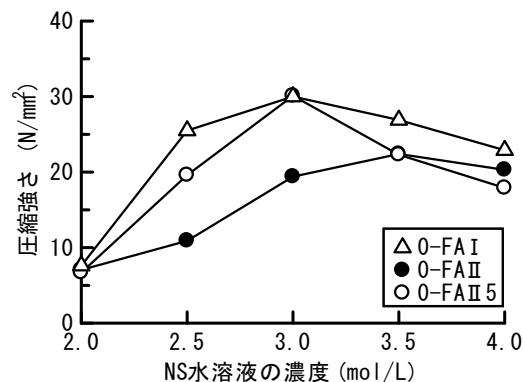


図-1 圧縮強さとNS水溶液の濃度の関係(実験1)

の濃度が高くなるほど圧縮強さが大きくなる傾向を示している。一方、0-FA Iと微粉碎ありの0-FA II 5は0-FA IIと比較して、いずれも圧縮強さは増大する傾向にはあるが、NS水溶液の濃度による影響には異なる傾向がみられる。0-FA Iと0-FA II 5の圧縮強さは、いずれもNS水溶液の濃度が3.0mol/Lで最大値となり、それを超えると減少する傾向にある。このような傾向は既報⁷⁾とは異なる傾向であり、明らかではないがSTの外割添加率が影響していると考えられる。しかし、実験結果としては、比表面積が大きくなると圧縮強さは増大すること、比表面積が同程度であればFAの微粉碎の有無に関わらず圧縮強さとNS水溶液の濃度の関係は同様の傾向にあることなどが示された。

表-8 実験要因(実験2)

因子	水準
FAの品種	0-FAⅡ, 0-FAⅡ7, 1-FAⅡ, 1-FAⅡ7
NS水溶液の濃度(mol/L)	2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0

表-10 STの添加率(実験2)

NS水溶液の濃度(mol/L)	Fに対するSTの外割添加率(%)	
	0-FAⅡ, 0-FAⅡ7	1-FAⅡ, 1-FAⅡ7
3.0	2.0	1.0
3.5	5.0	4.0
4.0	7.0	6.0

表-11 フロー値と空気量の測定結果(実験2)

NS濃度(mol/L)	Flow				Air (%)			
	FAの品種				FAの品種			
	0-FAⅡ	0-FAⅡ7	1-FAⅡ	1-FAⅡ7	0-FAⅡ	0-FAⅡ7	1-FAⅡ	1-FAⅡ7
2.0	187	186	203	180	1.7	2.0	0.2	2.3
2.5	208	196	202	197	0.5	1.8	0.5	1.9
3.0	182	197	192	181	1.2	1.7	0.8	1.5
3.5	202	192	202	209	0.7	2.4	0.7	1.5
4.0	200	194	202	196	1.3	2.9	0.2	0.9

3. FAの発生箇所および微粉碎の有無とNS水溶液の濃度がGPモルタルの圧縮強さに及ぼす影響(実験2)

3.1 実験概要

(1) 実験要因

表-8に、実験要因を示す。実験要因は、FAの品種(発生箇所と微粉碎の有無)とNS水溶液の濃度とした。

(2) 使用材料および配合

使用材料は実験1と同様(表-2参照)とし、表-9に配合を示す。配合設計条件は、実験1と同様とした。ただし、STの外割添加率は、実験1の結果と既報⁷⁾を参考にして表-10に示す値とした。

(3) 練混ぜおよびフロー試験

練混ぜおよびフロー試験は、実験1と同様とした。ただし、0-FAⅡを用いた配合ではNS水溶液の濃度が3.0mol/L以上で1分間、1-FAⅡを用いた配合ではNS水溶液の濃度が3.0mol/Lで1分間、3.5と4.0mol/Lでは2分間練混ぜ時間を延長した。

(4) 空気量試験

空気量は、実験1と同様に測定した。

(5) 圧縮強さ試験

圧縮強さ試験は、実験1と同様に行った。

3.2 実験結果および考察

表-11に、フロー値と空気量の測定結果を示す。微粉碎によりFAⅡの比表面積が大きくなると、空気量は増大する傾向にある。このような傾向は、既報⁷⁾や実験1と同様である。一方、微粉碎なしのFAⅡは、表-9に示した配合から分かるように、目標フロー値を得る単位NS水溶液量がFAⅡの発生箇所によって大きく異なるようで、1-FAⅡは0-FAⅡと比較して30~60kg/m³に至る多量のNS水溶液が必要である。

図-2に圧縮強さとNS水溶液の濃度の関係を、図-3にNS水溶液の濃度とFAⅡの微粉碎による圧縮強さの増大

表-9 配合(実験2)

FAの品種	NS濃度(mol/L)	Flow	Air (%)	AW/F (%)	S/F	単位量(kg/m ³)			外割(kg) ST
						F	AW	S	
0-FAⅡ	2.0	190 ± 20	2	50	3.34	460	230	1536	-
	2.5				3.04	490	245	1489	-
	3.0				2.58	540	270	1394	16.2
	3.5				2.61	540	270	1410	27.0
	4.0				2.16	600	300	1296	42.0
0-FAⅡ7	2.0				3.55	450	225	1597	-
	2.5				3.23	480	240	1552	-
	3.0				2.95	510	255	1505	10.2
	3.5				2.70	540	270	1457	27.0
	4.0				2.25	600	300	1349	42.0
1-FAⅡ	2.0				2.31	560	280	1296	-
	2.5				2.12	590	295	1249	-
	3.0				2.08	600	300	1246	6.0
	3.5				1.72	660	330	1135	26.4
	4.0				1.42	720	360	1022	43.2
1-FAⅡ7	2.0	3.55	450	225	1597	-			
	2.5	3.23	480	240	1552	-			
	3.0	3.05	500	250	1526	5.0			
	3.5	2.37	580	290	1375	23.2			
	4.0	2.11	620	310	1309	37.2			

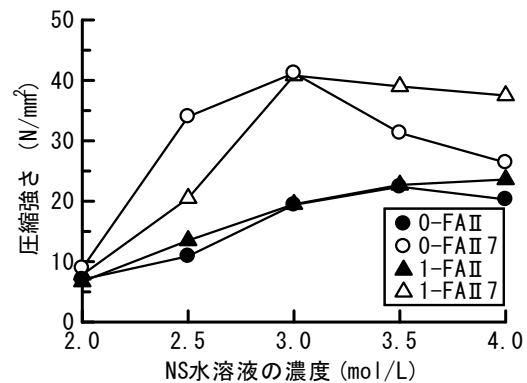


図-2 圧縮強さとNS水溶液の濃度の関係(実験2)

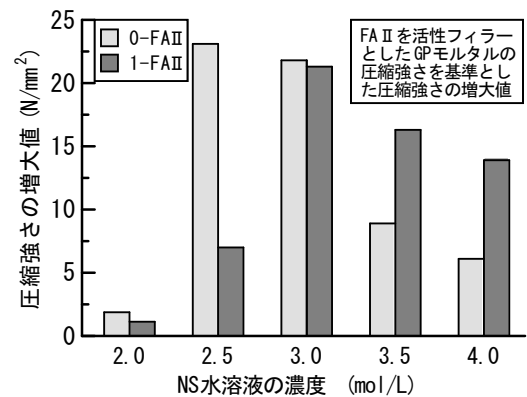


図-3 NS水溶液の濃度とFAⅡの微粉碎による圧縮強さの増大値(実験2)

値を示す。微粉碎なしのFAⅡは実験1と同様の傾向を示しており、NS水溶液の濃度が高くなるほど圧縮強さが大きくなる傾向を示している。また、0-FAⅡと1-FAⅡには発生箇所の違いによる影響はみられない。一方、微粉碎ありの0-FAⅡ7と1-FAⅡ7の圧縮強さは、いずれもNS水溶液の濃度が3.0mol/Lで最大値(約40N/mm²)を示しているものの、発生箇所の違いによる影響がみられ圧縮強さは異なる傾向にある。0-FAⅡ7の圧縮強さは、NS水溶液の濃度が2.5mol/Lまでは急激に増加し、最大値(約40N/mm²)となる3.0mol/Lを経て4.0mol/Lに至ると15N/mm²

表-12 実験要因(実験3)

NS水溶液の濃度 (mol/L)	Fに対するSTの外割添加率 (%)	フロー試験の開始時間 (分)
3.0	0-FA I, 0-FA II 5, 0-FA II 7: 2.0, 2.5, 3.0	練混ぜ終了後 0, 30, 60, 90, 120
3.5	0-FA II :3.0, 3.5, 4.0	
4.0	5.0, 5.5, 6.0	
4.0	7.0, 7.5, 8.0	

も減少している。しかし、1-FA II 7の圧縮強さは、最大値となる3.0mol/Lまで直線的に増加し4.0mol/Lに至っても3N/mm²ほどの減少に留まっている。このようなFA IIの発生箇所の違いによる影響が微粉碎の有無によって異なる要因は、現時点では明らかではないが、今後の課題として詳細に検討する必要がある。

4. STの添加率がGPモルタルのフロー値の経時変化と圧縮強さに及ぼす影響(実験3)

4.1 実験概要

(1) 実験要因

表-12に、実験要因を示す。実験要因は、NS水溶液の濃度、FAの品種(JISによる種類と微粉碎の有無)、FAに対するSTの外割添加率、およびフロー試験の開始時間とした。なおFAには、A発電所の製品を用い、NS水溶液の濃度はSTの添加によって凝結を遅延させる必要がある3.0~4.0mol/Lとした。またSTは、NS水溶液の濃度に応じて一様な外割添加率とすることを基本的な考え方とし、NS水溶液の濃度ごとに実験2の考察と予備実験をもって決定した。

(2) 使用材料および配合

使用材料は実験1と同様(表-2参照)とし、表-13に配合を示す。配合設計条件は、実験1と同様とした。

(3) 練混ぜおよびフロー試験

練混ぜおよびフロー試験は、実験1と同様とした。ただし、経時によるフロー値の測定は、測定を開始する直前に試料をさじで30秒間練り返してから行った。また、フロー値の減少率は、式(1)により算出した。

$$FLd = (FLs - FLt) / FLs \times 100 \quad (1)$$

ここに、FLd: フロー値の減少率(%)

FLs: 練混ぜ終了直後のフロー値

FLt: 練混ぜ終了後からt時間経過後のフロー値

(4) 圧縮強さ試験

圧縮強さ試験は、実験1と同様に行った。

4.2 実験結果および考察

表-14にフロー値の測定結果を、図-4にフロー値の減少率と練混ぜ終了後からの経過時間の関係を示す。なお、流動性が低下しフロー値の測定が不可能となった場合は、フロー値の減少率を一律に40%として図中に示した。

表-13 配合(実験3)

NS濃度 (mol/L)	FAの品種	ST添加率 (%)	Flow	Air (%)	AW/F (%)	S/F	単位量 (kg/m ³)			外割(kg)	
							F	AW	S		
3.0	0-FA I	2.0	190 ± 20	2	50	3.32	470	235	1560	9.4	
		2.5									11.8
		3.0									14.1
	0-FA II	3.0									15.3
		3.5									18.9
		4.0									21.6
	0-FA II 5	2.0									9.8
		2.5									12.3
		3.0									14.7
	0-FA II 7	2.0									10.2
		2.5									12.8
		3.0									15.3
3.5	0-FA I	5.0	190 ± 20	2	50	3.02	500	250	1510	25.0	
		5.5									29.7
		6.0									32.4
	0-FA II	5.0									27.0
		5.5									33.0
		6.0									36.0
	0-FA II 5	5.0									26.5
		5.5									26.5
		6.0									32.5
	0-FA II 7	5.0									35.4
		5.5									27.0
		6.0									33.0
4.0	0-FA I	7.0	190 ± 20	2	50	2.67	540	270	1441	37.8	
		7.5									40.5
		8.0									43.2
	0-FA II	7.0									42.0
		7.5									45.0
		8.0									48.0
	0-FA II 5	7.0									41.3
		7.5									44.3
		8.0									47.2
	0-FA II 7	7.0									42.0
		7.5									45.0
		8.0									48.0

表-14 フロー値の測定結果(実験3)

NS濃度 (mol/L)	FAの品種	ST添加率 (%)	フロー値				
			練混ぜ終了後からの経過時間(分)				
			0	30	60	90	120
3.0	0-FA I	2.0	184	179	178	169	165
		2.5	186	184	179	173	173
		3.0	187	182	172	172	166
	0-FA II	3.0	200	196	189	184	163
		3.5	196	195	195	187	182
		4.0	199	196	203	189	188
	0-FA II 5	2.0	181	178	175	167	166
		2.5	186	178	178	173	166
		3.0	191	181	173	174	163
	0-FA II 7	2.0	184	177	172	169	166
		2.5	185	178	174	165	164
		3.0	191	183	182	176	175
3.5	0-FA I	5.0	183	177	166	163	160
		5.5	194	192	186	182	176
		6.0	187	176	171	164	161
	0-FA II	5.0	194	181	177	174	179
		5.5	202	203	198	197	191
		6.0	201	210	199	187	191
	0-FA II 5	5.0	185	186	177	175	170
		5.5	192	182	175	168	165
		6.0	193	184	175	175	167
	0-FA II 7	5.0	184	179	182	173	166
		5.5	198	203	191	193	182
		6.0	203	208	201	190	185
4.0	0-FA I	7.0	179	167	160	149	137
		7.5	183	164	156	142	128
		8.0	184	165	155	155	140
	0-FA II	7.0	181	156	-	-	-
		7.5	186	133	-	-	-
		8.0	187	161	-	-	-
	0-FA II 5	7.0	188	195	177	170	165
		7.5	198	186	169	164	154
		8.0	193	178	170	161	161
	0-FA II 7	7.0	189	182	179	160	155
		7.5	192	185	171	160	150
		8.0	190	181	161	161	152

*)表中の-は、フロー値の測定が不可能であったことを示す

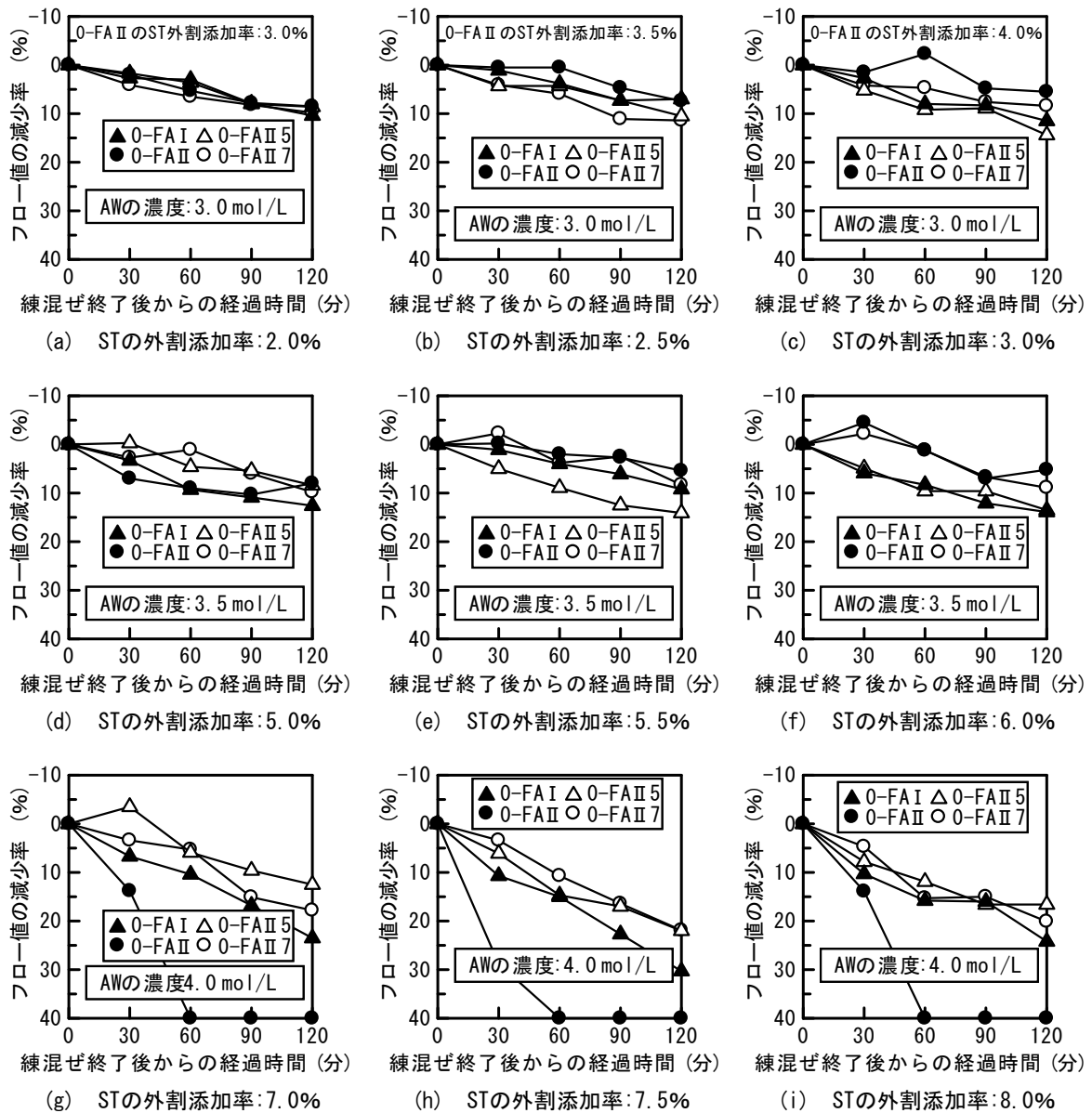


図-4 フロー値の減少率と練混ぜ終了後からの経過時間の関係(実験3)

図から分かるように、フロー値の減少率は、NS水溶液の濃度、FAのJISによる種類や微粉碎の有無、およびSTの外割添加率によって異なり、本実験の範囲では一様な傾向にはない。NS水溶液の濃度が3.0mol/LではSTの外割添加率に関わらず、いずれも緩やかなフロー値の経時変化を示している。FAのJISによる種類や微粉碎の有無による影響が若干みられるが、練混ぜ終了後から120分経過したフロー値の減少率はSTの外割添加率によって極端に変動する傾向にはない。したがって、STの外割添加率は、0-FA II では3.0%、それ以外のFAでは2.0%で十分だと考えられる。NS水溶液の濃度が3.5mol/Lでは、FAのJISによる種類や微粉碎の有無による影響がより大きくなっている。しかし、その影響は一様ではなく、微粉碎ありの0-FA II 5と0-FA II 7はSTの外割添加率が5.0%で、微粉碎なしの0-FA I と0-FA II はSTの外割添加率が5.5%で最も緩やかなフロー値の経時変化を示している。このような

FAのJISによる種類や微粉碎の有無、およびSTの外割添加率によってフロー値の経時変化が異なる傾向は、既報⁷⁾と同様の傾向である。NS水溶液の濃度が4.0mol/Lになると、FAのJISによる種類や微粉碎の有無による影響が極端に大きくなり、0-FA II では練混ぜ終了後から60分経過するとフロー値の測定が不可能となった。一方、0-FA II 以外の比表面積の大きいFAは、いずれも0-FA II と比較してフロー値の経時変化が小さくなる傾向を示している。このような傾向は既報⁷⁾でも一部は確認しているが、その要因については現時点では明らかではなく、今後の課題として詳細に検討する必要がある。このように、良好なフロー値の経時変化を得るSTの外割添加率は、NS水溶液の濃度、FAのJISによる種類や微粉碎の有無など条件によって異なるので、最適な配合を得るにはより詳細な検討をする必要がある。

図-5に、圧縮強さとSTの外割添加率の関係を示す。

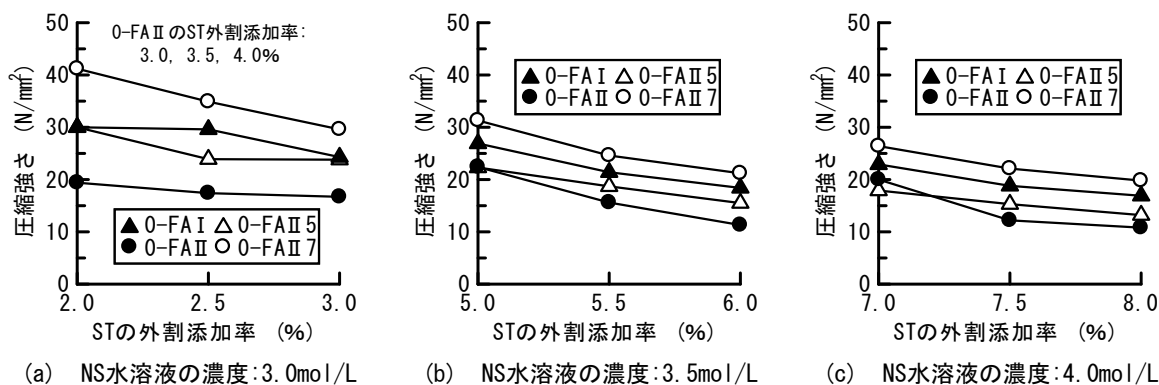


図-5 圧縮強さとSTの外割添加率の関係(実験3)

図から分かるように、0-FA IIを除いたFAの圧縮強さは、NS水溶液の濃度が概ね3.0mol/Lで最も大きく、STの外割添加率が増加すると減少する傾向にある。また圧縮強さは、NS水溶液の濃度やSTの添加率に関わらず、0-FA II 7、0-FA I、0-FA II 5、0-FA IIの順で大きくなっており、比表面積にともなった傾向がみられる。一方、0-FA IIの圧縮強さに着目してみると、各NS水溶液の濃度で得られる最大値は、濃度が高くなるほど大きくなっている。

本実験結果を踏まえると、微粉末の有無によって異なるFAの発生箇所の違いによる影響を明らかにすれば、比表面積が7000cm²/g程度のFAと3.0mol/LのNS水溶液を用い適量のSTを添加することで、常温養生であっても40N/mm²を超える圧縮強さのGPモルタルが安定的に得られると考えられる。

5. まとめ

本実験結果をまとめると、以下のようになる。

- 1) NS水溶液の濃度が3.0mol/L以上になると、FAのJISによる種類や微粉砕の有無に関わらずSTを添加する必要がある。
- 2) 同程度の比表面積であれば、FAの微粉砕の有無に関わらず圧縮強さとNS水溶液の濃度の関係は同様の傾向にある。
- 3) FAの比表面積が大きくなると、目標フロー値を得る単位NS水溶液量は減少する傾向にあり、空気量は増大する傾向にある。
- 4) 圧縮強さに及ぼすFAの発生箇所の違いによる影響は、微粉砕の有無によって異なる傾向にある。
- 5) フロー値の経時変化は、NS水溶液の濃度、FAのJISによる種類や微粉砕の有無、およびSTの外割添加率などの条件によって異なった傾向を示すので、最適な配合を得るにはより詳細な検討をする必要がある。
- 6) 比表面積が7000cm²/g程度のFAと3.0mol/LのNS水溶液を用い適量のSTを添加することで、常温養生で40 N/mm²を超える圧縮強さのGPモルタルが得られる。今後は、NS水溶液の濃度、FAのJISによる種類や微粉

砕の有無、およびSTの外割添加率が、圧縮強さやフレッシュ性状に及ぼす影響について、より詳細に検討していきたいと考えている。

謝辞

本研究費の一部は、平成27年度日本学術振興会学術研究助成金・基盤研究(C)(課題番号:15K06317)(研究代表者:犬飼利嗣)によった。また、本実験で使用したFAは、四電ビジネス株式会社と株式会社テクノ中部よりご提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 李 柱国: ジオポリマーコンクリートの環境影響に関する定量的考察, 建設分野におけるジオポリマー技術の現状と課題に関するシンポジウム論文集, pp.43-50, 2016.6
- 2) 建設分野へのジオポリマー技術の適用に関する研究委員会: 報告書, 日本コンクリート工学会, 2017.9
- 3) フライアッシュ有効活用小委員会: 循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術—利用拡大に向けた設計施工指針草案—, 土木学会, 2009.12
- 4) Joseph DAVIDOVITS: GEOPOLYMER CHEMISTRY AND APPLICATIONS, Institute GEOPOLYMER, 2011
- 5) 市川敬悟, 犬飼利嗣: フライアッシュの活性度改善に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.184-189, 2014
- 6) 芝 翔, 澤田 陽, 犬飼利嗣: ジオポリマーモルタルに関する基礎的研究(その1: アルカリ水溶液が圧縮強さ特性に及ぼす影響), 日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集, A-1, pp.1495-1496, 2016.8
- 7) Batsuuri Ashidmaa, 犬飼利嗣, 関谷有紗加: フライアッシュを活性フィラーとしたジオポリマーモルタルの圧縮強さ特性とフロー値の経時変化に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.2065-2070, 2017