

ペーパースラッジを用いた流動化モルタルの強度のばらつきに関する研究  
Study on Dispersion of Compressive Strength of Flowing Mortar Using Paper Sludge

○阿部孝行<sup>\*</sup> 北辻政文<sup>\*\*</sup>  
ABE Takayuki KITATSUJI Masafumi

### 1. はじめに

流動化モルタルは高い流動性を有していることから、締固めが困難な狭い箇所への施工に有効な材料である<sup>1)</sup>。また、現地発生土や産業廃棄物を材料として使用することも可能であり、環境面からも期待されている<sup>1)</sup>。しかし、流動化モルタルは普通コンクリートと比べて強度のばらつきが大きい<sup>2)</sup>。とくに、不均一な現地発生土や産業廃棄物を材料として使用する場合、それらを考慮してセメント量を多めに配合するなどの対策をとることとなり不経済である。そのため、安定的な品質の流動化モルタルを安価に提供するためには、強度のばらつきを抑制することが必要である。

そこで本研究では、ペーパースラッジ（以下、PS という）を用いた流動化モルタルについて物性試験を行い、一軸圧縮強さおよび一軸圧縮強さのばらつきについて検討を行った。また、東日本大震災で津波被害にあった水田の津波堆積物（以下、ヘドロという）を用いた流動化モルタルの物性についても検討を行った。

### 2. PS およびヘドロの物性

PS は紙の製造工程で発生する副産物であり、再生紙に不向きな短繊維や紙の表面にコーティングされていた填料などを含んだものである。PS の外観を Fig.1 に、PS およびヘドロの物性を Table 1 に示す。PS に含まれる繊維は平均値で長さ 3.2mm、直径 17 $\mu$ m であり、短く細いものが大部分であった。ヘドロは津波被害にあった宮城県沿岸部の水田より採取した。ヘドロの粒度組成は約 67%がシルトおよび粘土分で、地盤の工学的分類ではシルト（MH）に分類される。



Fig.1 ペーパースラッジの外観  
External of paper sludge

### 3. PS を用いた流動化モルタルの物性

#### 3.1 実験方法およびフレッシュ性状

セメントは高炉セメント B 種（密度 3.04 g/cm<sup>3</sup>）を用いた。PS は密度 2.12 g/cm<sup>3</sup>、含水率 50%のものを用いた。細骨材は山砂（表乾密度 2.58 g/cm<sup>3</sup>、吸水率 2.29%）および市販の粘土（密度 2.50 g/cm<sup>3</sup>）を用いた。

流動化モルタルの配合およびフレッシュ性状を Table 2 に示す。配合設計では、セメント量を 1 m<sup>3</sup>あたり 100kg とし、細骨材は細粒分率が質量比で 20%になるように山砂と粘土を混合した。PS の混合量は 1 m<sup>3</sup>あたり 20 kg とし、PS を混合しない配合（Base）、PS を混合し W/C を Base と同じ 500%とした配合（PW）および PS を混合しフロー値を Base と同じ 200mm とした配合（PF）の計 3 配合とした。なお、PS に含まれ

Table 1 ペーパースラッジおよび震災ヘドロの物性  
Physical properties of paper sludge and earthquake disaster sludge

試験		数値	備考
PS	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.12	JISA1202
	吸水率 (%)	197.6	
繊維部	長さ (mm)	3.2	ノギス計測 (20本の平均値)
	直径 ( $\mu$ m)	17	光学顕微鏡計測 (20本の平均値)
	本数 (本/g)	3.0 $\times$ 10 <sup>6</sup>	光学顕微鏡計測 (フラスコモルタルゲルメータ)
土粒子密度(g/cm <sup>3</sup> )		2.54	JIS A 1202
自然含水比(%)		45	JIS A 1203
粒度	砂分(%)	33.1	
	シルト分(%)	30.9	JIS A 1204
	粘土分(%)	36.0	
	液性限界(%)	61.0	
ヘドロ コンシステ ンシー特性	塑性限界(%)	40.2	JIS A 1205
	塑性指数(%)	20.8	
	最適含水比(%)	31.0	
強熱減量(%)		7.13	JIS A 1226
pH		7.0	pH 測定器
EC(mS/cm)		2.8	JGS0212

<sup>\*</sup>宮城大学食産業学研究科, Graduate School of Food, Agricultural and Environmental Sciences, Miyagi University, <sup>\*\*</sup>宮城大学食産業学部 School of Food, Agricultural and Environmental Sciences, Miyagi University, ペーパースラッジ 流動化モルタル 一軸圧縮強さ

**Table 2** 流動化モルタルの配合およびフレッシュ性状  
Mix proportion and properties of fresh mortar of flowing mortar

記号	W/C (%)	細粒分率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	フロー値 (mm)	ブリーディング率 20h (%)
			セメント	PS	細骨材		水			
					山砂	粘土				
Base	500	20.0	100	—	958	240.0	500	1.80	200	0.74
PW	500	20.0	100	20	948	237.5	490	1.78	165	0.58
PF	520	20.0	100	20	907	227	510	1.73	200	0.60

る水分は練り水の一部とみなした。一軸圧縮試験の供試体はφ50×100mmの円柱とし、試験材齢毎に10本ずつ作製した。

PWのフロー値はBaseと比較して小さい値となった。これは、PSに含まれる繊維の表面に流動化モルタル中の水分や空気などが吸着し、流動化モルタルの粘性が増加したためだと考えられる。流動化モルタルの用途として埋戻し材や充填材を想定した場合、ブリーディング率の目標値は1%以下または3%以下に設定することが多い。本研究では、すべての配合でブリーディング率が1%以下であり目標値を満足した。

### 3.2 一軸圧縮試験結果

材齢7日における一軸圧縮強さをFig.2に、一軸圧縮強さのばらつきを表した正規分布曲線をFig.3に示す。なお、Fig.3においてμは一軸圧縮強さの平均値、σは標準偏差を示す。一軸圧縮強さはPWとBaseが同等の値であり、PFがBaseと比べて約25%低い値であった。本研究のPS混合量においては、一軸圧縮強さはW/Cによる影響が大きく、PS混合による強度低下は認められなかった。Fig.3から、PWとPFはBaseと比べて正規分布曲線が切り立っており、標準偏差も小さいことから、一軸圧縮強さのばらつきの抑制が認められた。これは、PSが流動化モルタルの微細組織の均一化に影響を与えているためであると推察されるが、詳細は不明である。

### 4. PSおよびヘドロを用いた流動化モルタルの物性

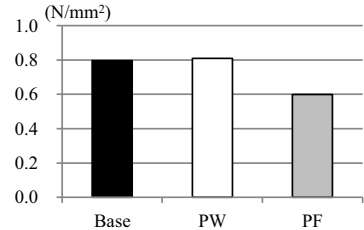
PSおよびヘドロを用いた流動化モルタルの配合をTable 3に、フレッシュ性状および物性をTable 4に示す。ヘドロの混合量は質量比で細骨材中の15%とした。流動化モルタルの主な用途である埋戻し工事では、材齢7日における一軸圧縮強さを0.2N/mm<sup>2</sup>程度に設定することが多い。PSおよびヘドロを用いた流動化モルタルはブリーディング率が1.5%であるため、用途は限定されるものの、一軸圧縮強さは目標値を満足し、強度のばらつきも小さいことから利用の可能性は高いと判断できる。

### 5. おわりに

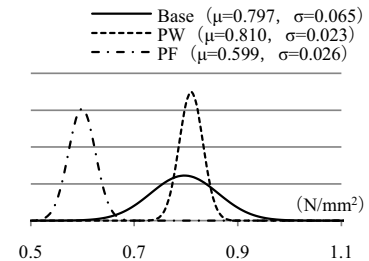
本研究の結果から、PSを用いた流動化モルタルは一軸圧縮強さのばらつきが抑制されることが確認された。今後更なる研究を重ね、東日本大震災で発生した廃棄物の流動化モルタルの材料としての利用について検討していく予定である。

#### 【参考文献】

- 久野悟郎 (1997) : 土の流動化処理工法, 技報堂出版, 5-19
- 末松静也 (1976) モルタル・コンクリート強度の統計的性質—均一性係数βと変動係数について—, 日本建築学会論文報告集, 240, 10-19.



**Fig. 2** 一軸圧縮強さ (材齢 7日)  
Compressive strength test result (Age:7d)



**Fig. 3** 一軸圧縮強さの正規分布曲線 (材齢 7日)  
Normal distribution of Compressive strength test result (Age:7d)

**Table 3** PSおよびヘドロを用いた流動化モルタルの配合  
Mix proportion of flowing mortar using paper sludge and earthquake disaster sludge

高砂	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
	セメント B種	PS	細骨材		水
			山砂	ヘドロ	
100	20	1310	231	348	

**Table 4** PSおよびヘドロを用いた流動化モルタルのフレッシュ性状および物性  
Properties of fresh mortar and physical properties of flowing mortar using paper sludge and earthquake disaster sludge

フロー値 (mm)	ブリーディング率 20h (%)	一軸圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )		標準偏差 (N/mm <sup>2</sup> )	
		材齢 7日	材齢 28日	材齢 7日	材齢 28日
		190	1.50	0.297	0.789