

# 未利用の骨材を用いたポーラスコンクリートの調合設計手法

○池崎智美<sup>A)</sup> 武田浩二<sup>B)</sup> 村上 聖<sup>B)</sup> 山口 信<sup>B)</sup>

A)工学部 B)自然科学研究科

## 1. はじめに

本研究で使用する骨材は、パルプスラッジ焼却灰造粒物（以降、PS 灰造粒物）とフライアッシュ造粒物（以降、FA 造粒物）の2種の廃材である。**(写真1)**ここで、PS 灰造粒物とは、製紙工場で排出されるパルプスラッジをセメント系固化剤で固化したものである。また、FA 造粒物 は火力発電所等で排出されるフライアッシュを PS 灰造粒物と同様の方法で固化したものである。これらを利用し、ポーラスコンクリートの作製を行う。その際に、通常使用される砕石とは性質が異なるような、特殊な骨材を使用する練り混ぜにおいて、良好な練り上がり状態となる調合設計手法の確立を目指す。

## 2. 使用材料

使用する材料を**表1**に示す。骨材の特徴として、PS 灰造粒物は吸水率が約50%であり、吸水性・保水性が高いことがわかる。また、密度も小さく、軽量の骨材であることが言える。FA 造粒物も、PS 灰造粒物と比較するとやや吸水率は低い、通常の砕石と比べ吸水率は高く、軽量の骨材と言える。これらの性質により、特殊な骨材を用いたポーラスコンクリートと通常の砕石ポーラスコンクリートとの練り上がり状態の差が生じる。

また、フライアッシュは通常コンクリート混和材として使用されるが、本研究で使用するFA 造粒物のフライアッシュは未燃カーボンを含む低品質のものである。

## 3. ポーラスコンクリートの試し練り試験

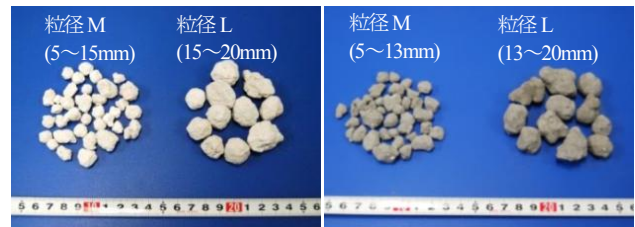
### 3.1 実験概要

本研究では、特殊な骨材における練り混ぜ方法を以下の手順で提案する。この方法を取ることでにより特殊な骨材を用いた場合でも、良好な練り上がり状態となる調合を効率的に定めることが可能である。

1. フロー値を設定する
2. 試し練りを繰り返し、練り上がり状態が良好となる目標空隙率を選定する
3. 同一フロー値で水セメント比、混和剤添加率を変化

**表1 使用材料**

セメント	高炉セメントB種 密度 3.03g/cm <sup>3</sup>	
骨材	PS 灰造粒物	
	粒径	M(5~15mm) L(15~20mm)
	表乾密度	1.73 g/cm <sup>3</sup> 1.72 g/cm <sup>3</sup>
	吸水率	49.8% 49.4%
	実積率	63.1% 62.6%
	FA 造粒物	
	粒径	M(5~13mm) L(13~20mm)
	表乾密度	1.76 g/cm <sup>3</sup> 1.76 g/cm <sup>3</sup>
吸水率	32.4% 30.3%	
実積率	61.2% 60.3%	
混和剤	高性能 AE 減水剤	



PS 灰造粒物 FA 造粒物

**写真1 使用骨材**

**表2 設定フロー値**

設定フロー値	水セメント比 (%)	高性能 AE 減水剤使用量 (対セメント比) (%)
175±15	22	0.65
	25	0.35
	28	0.20
215±15	22	0.75
	25	0.50
	28	0.30
255±15	22	0.85
	25	0.60
	28	0.40

させ、練り混ぜを行う

### 3.2 実験方法

手順1.フロー値の設定は、既往の研究<sup>1)</sup>より定める。本報で使用するフロー値は表2に示す175±15、215±15、255±15の3水準とする。この3水準のフロー値で各々W/C=25%の場合で、手順2.練り上がり状態が良好となる

目標空隙率の選定を行う。手順2で定めた目標空隙率を用い、手順1による同一フロー値でW/C、Sp/Cを変化させ、良好な練り上がり状態となるか目視により確認を行う。なお、本研究における良好な練り上がり状態とは、写真2のように底面に垂れが出ず、セメントペーストによる空隙の閉塞が起これない、またセメントペースト不

表3 供試体条件

試験	供試体寸法	個数
空隙率測定試験	φ100×200円柱供試体	各1体
圧縮強度試験	φ100×200円柱供試体(両端面セメントペーストキャッピング)	各1体
サンプル	半透明プラスチック製容器	各1体



写真2 良好となる練り上がり状態

表4 W/C=25%において良好となる目標空隙率

粒径	フロー値	PS 灰造粒物 目標空隙率(%)	FA 造粒物 目標空隙率(%)
M	175±15	20	20
	215±15	25	30
	255±15	25	30
L	175±15	25	25
	215±15	30	30
	255±15	30	30

表5 練り上がり状態が良好となる調合

PS 灰造粒物 粒径 M								FA 造粒物 粒径 M							
フロー値	目標空隙率 (%)	W/C, Sp/C (%)		単位量(kg/m <sup>3</sup> )				フロー値	目標空隙率 (%)	W/C, Sp/C (%)		単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
				C	W	G	Sp					C	W	G	Sp
175±15	20	22	0.65	330	73	1072	2.1	175±15	20	22	0.65	364	80	1056	2.4
	20	25	0.35	313	78	1072	1.1		20	25	0.35	345	86	1056	1.2
	20	28	0.20	298	83	1072	0.6		20	28	0.20	328	92	1056	0.7
215±15	25	22	0.75	239	53	1072	1.8	215±15	30	22	0.75	182	40	1056	1.4
	25	25	0.50	227	57	1072	1.1		30	25	0.50	173	43	1056	0.9
	25	28	0.30	216	60	1072	0.6		30	28	0.30	164	46	1056	0.5
255±15	25	22	0.85	239	53	1072	2.0	255±15	30	22	0.85	182	40	1056	1.5
	25	25	0.60	227	57	1072	1.4		30	25	0.60	173	43	1056	1.0
	25	28	0.40	216	60	1072	0.9		30	28	0.40	164	46	1056	0.7
PS 灰造粒物 粒径 L								FA 造粒物 粒径 L							
フロー値	目標空隙率 (%)	W/C, Sp/C (%)		単位量(kg/m <sup>3</sup> )				フロー値	目標空隙率 (%)	W/C, Sp/C (%)		単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
				C	W	G	Sp					C	W	G	Sp
175±15	25	22	0.65	249	55	1053	1.6	175±15	25	22	0.65	289	64	1040	1.9
	25	25	0.35	236	59	1053	0.8		25	25	0.35	274	69	1040	1.0
	25	28	0.20	224	63	1053	0.4		25	28	0.20	261	73	1040	0.5
215±15	30	22	0.75	158	35	1053	1.2	215±15	30	22	0.75	198	44	1040	1.5
	30	25	0.50	150	37	1053	0.7		30	25	0.50	188	47	1040	0.9
	30	28	0.30	142	40	1053	0.4		30	28	0.30	179	50	1040	0.5
255±15	30	22	0.85	158	35	1053	1.3	255±15	30	22	0.85	198	44	1040	1.7
	30	25	0.60	150	37	1053	0.9		30	25	0.60	188	47	1040	1.1
	30	28	0.40	142	40	1053	0.6		30	28	0.40	179	50	1040	0.7

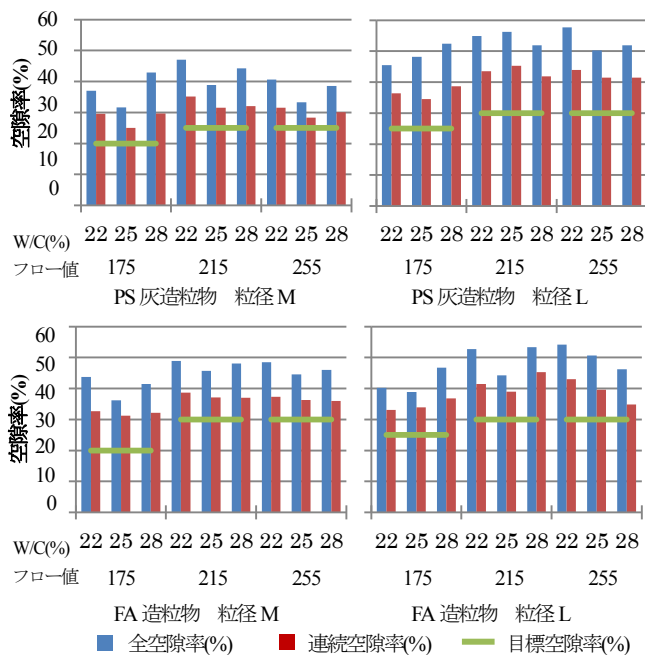


図1 練り上がり状態が良好となる調合の空隙率

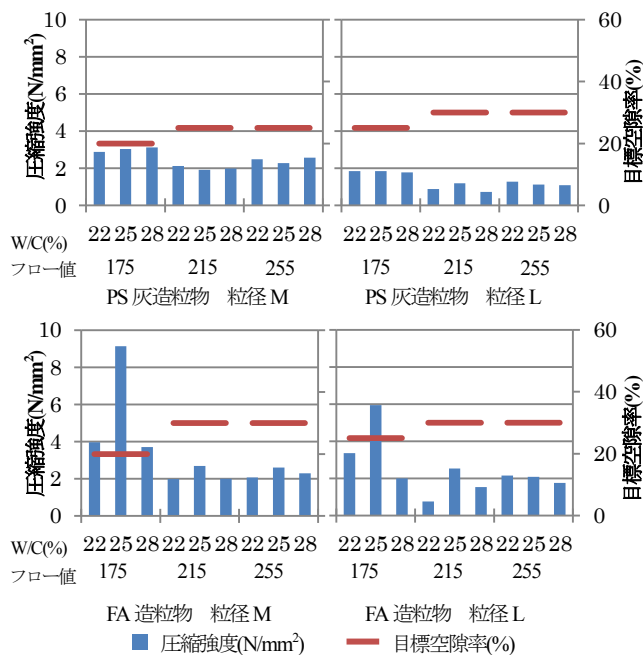


図2 練り上がり状態が良好となる調合の圧縮強度

表6 空隙率・圧縮強度試験結果

骨材 粒径	フロー 値	T.V. (%)	W/C	Sp/C (%)	At (%)	Ac (%)	Fc (N/mm <sup>2</sup> )
PS	175 ±15	20	22	0.65	37.0	29.6	2.88
		20	25	0.35	31.7	25.0	3.02
		20	28	0.20	42.9	29.7	3.12
	215 ±15	25	22	0.75	47.0	35.2	2.12
		25	25	0.50	38.9	31.5	1.91
		25	28	0.30	44.3	32.0	1.99
255 ±15	25	22	0.85	40.6	31.5	2.48	
	25	25	0.60	33.3	28.3	2.28	
	25	28	0.40	38.5	30.1	2.56	
PS L	175 ±15	25	22	0.65	45.5	36.4	1.85
		25	25	0.35	48.2	34.6	1.84
		25	28	0.20	52.4	38.7	1.78
	215 ±15	30	22	0.75	54.9	43.5	0.88
		30	25	0.50	56.3	45.3	1.19
		30	28	0.30	51.9	41.9	0.72
	255 ±15	30	22	0.85	57.7	43.9	1.27
		30	25	0.60	50.2	41.4	1.11
		30	28	0.40	51.9	41.4	1.08
FA M	175 ±15	20	22	0.65	43.8	32.7	3.96
		20	25	0.35	36.2	31.2	9.14
		20	28	0.20	41.5	32.2	3.71
	215 ±15	30	22	0.75	48.9	38.7	1.97
		30	25	0.50	45.7	37.2	2.69
		30	28	0.30	48.1	37.0	2.01
	255 ±15	30	22	0.85	48.5	37.4	2.07
		30	25	0.60	44.5	36.3	2.59
		30	28	0.40	46.0	36.0	2.29
FA L	175 ±15	25	22	0.65	40.2	33.0	3.36
		25	25	0.35	38.9	33.9	5.94
		25	28	0.20	46.7	36.8	2.01
	215 ±15	30	22	0.75	52.8	41.5	0.76
		30	25	0.50	44.3	39.0	2.54
		30	28	0.30	53.3	45.3	1.53
	255 ±15	30	22	0.85	54.2	43.1	2.15
		30	25	0.60	50.7	39.6	2.08
		30	28	0.40	46.2	34.8	1.75

T.V.: 目標空隙率 At: 全空隙率 Ac: 連続空隙率 Fc: 圧縮強度

足による接着力の低下が見られないものとする。

これらの手順を経て作製したポーラスコンクリートの空隙率測定試験及び圧縮強度試験を行い、特殊な骨材を用いた際のポーラスコンクリートの特性を見る。また、垂れ具合等の練り上がり状態を観察するためにサンプルを作製する。なお、試験に使用する供試体寸法・個数を表3に示す。圧縮強度試験の供試体には、両端面にセメントペーストキャッピングを行う。

### 3.3 実験結果及び考察

手順2による練り上がり状態が良好となった調合の目標空隙率を表4に示す。また、この結果を用い、手順3を行った調合を表5、結果を表6に示す。手順2で良好となった目標空隙率を使用した手順3では、全ての調合において練り上がり状態が良好となった。これらの良好となる調合で作製したポーラスコンクリートの空隙率、圧縮強度を図1、図2に示す。

表4の目標空隙率では、フロー値が低い、つまり流動性が低いものにおいて目標空隙率が下がる傾向が見られる。これは、流動性が低い為に底面に垂れが出にくい、骨材にセメントペーストが付着しやすいことが起因していると考えられる。また、空隙率では両骨材とも目標空隙率より実際の全空隙率および連続空隙率が大きくなった。これについては、次章にて考察を行う。圧縮強度においては、FA造粒物で図2のようにW/C=25%が大きく

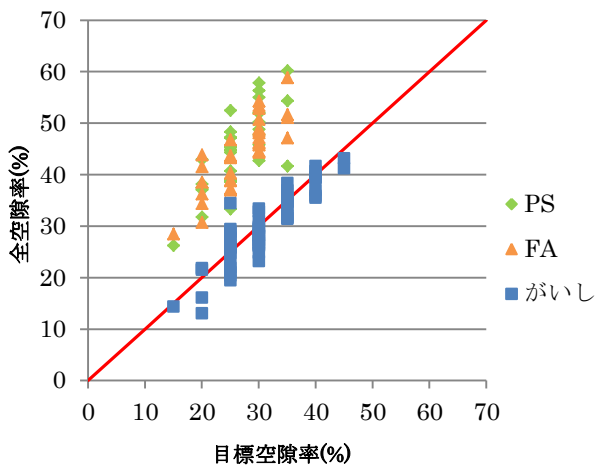


図3 目標空隙率と全空隙率の関係

出る傾向にあるが、これは試験日が W/C=25%のみ異なり、打設時の環境条件の違いからによるものと考えられる。これらの結果より、同一フロー値であれば、空隙率も圧縮強度も同等の性質であることが伺える。

#### 4. 骨材による比較

既報<sup>1)</sup>で使用したがいし破碎骨材、及び本報で使用した PS 灰造粒物、FA 造粒物の比較を行う。なお、がいしは、電気絶縁体として使用されているセラミックス材料であり、硬度・耐久性・寸法安定性に優れているという特性を持つ材料である。これら骨材の相違点として挙げられる点は吸水率である。がいしは吸水率が0%であり、本報の骨材とは正反対と言える。この影響が図3に示すよう目標空隙率と全空隙率の差にみられる。吸水率が低いがいしは骨材内に空隙がなく、目標空隙率と全空隙率の差が小さい。反対に、PS 灰造粒物においては、骨材内部の空隙も空隙率に含まれると推察される。また、練り混ぜの際に、全ての骨材は表乾状態で使用するが、通常使用する碎石より吸水率が高く、骨材内部に保水された水が放出され、実際の W/C より高くなり、強度が低下していると推察される。ただし、骨材自体の強度や練り混ぜ時の環境条件も異なるため、相関関係は明確ではない。また、目標空隙率と全空隙率の差と骨材の吸水率の関係を図4に示した。これより骨材の吸水率が高いほど全空隙率との差が開くことがわかる。

また、骨材表面の質感もがいしと PS 灰造粒物及び FA 造粒物では異なり、がいしはツルツルとした滑らかな表面で、PS 灰造粒物、FA 造粒物はざらざらとした細かい凹凸がある表面になっている。この表面形状の違いがセメントペーストの付着しやすさや摩擦等によってポーラ

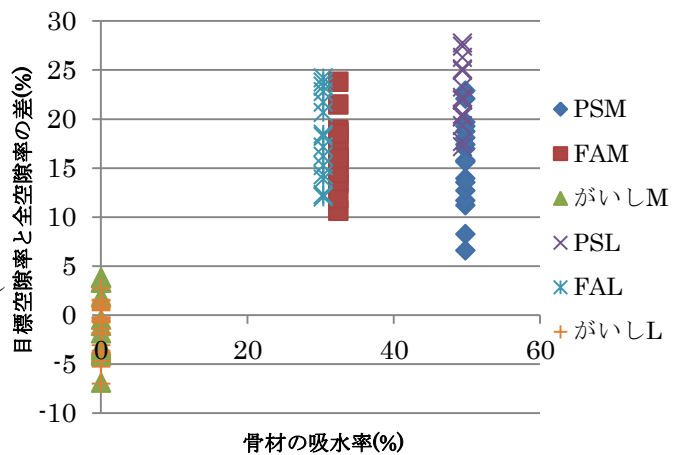


図4 目標空隙率と全空隙率の差と骨材の吸水率の関係

スコンクリートの練り上がり状態と関係がある可能性がある。

#### 5. まとめ

本研究では、特殊な骨材を使用するポーラスコンクリートの調合設計手法について検討を行った。練り混ぜにおいて、この方法が有用であることが確認された。この手法を用いることによって、効率的に、また求める性質に近いポーラスコンクリートを作製できると言える。

今後の展望として、本報における試験では、供試体数を各1体としており、今後も多くのデータ収集をしていく必要がある。また、調合設計の際に全空隙率及び連続空隙率が設計通りになる手法の検討も行う予定である。また、骨材が異なることにより関係がある点は、吸水率、骨材の表面形状等が挙げられる。練り上がり状態とこれらの関係性を明らかにしていくことにより、より効率的な調合設計が可能になると言える。

#### 【謝辞】

本研究を行うにあたり、(有)福岡建設合材より PS 灰造粒物及び FA 造粒物を提供いただきました。ここに記して謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 池崎智美ほか: がいしポーラスコンクリートの調合に関する実験的研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第51号・1, pp.97-100, 2012.3

2013年9月 2013年度日本建築学会大会(北海道)発表