

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

○池崎智美^{A)}，武田浩二^{B)}，村上聖^{B)}，山口信^{B)}

^{A)}環境建設技術系

^{B)}工学部建築学科

1. はじめに

がいしと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、その特性として、硬度・耐久性・寸法安定性に優れていることが挙げられる。送電施設の更新時の取替えや、製造過程において品質基準に満たないがいしは廃棄される為、リサイクルが望まれている。本研究は、その解決策の1つとして、がいし廃材を破碎した上で、ポーラスコンクリート（以下、POC）の骨材として利用し、その調合について実験的検討を行ったものである。

ところで、POC 製造にあたり、玉井¹⁾が提唱する Funicular の第1領域を確保するためには、骨材間を架橋するセメントペーストの量および流動性が適切であることが、空隙率及び強度の安定面で求められる。これまで、汎用的な碎石POCを対象とした上記関係に関する研究は行われているが、本研究で検討対象とするがいしのように特殊な骨材を導入するにあたっては、その関係を適切に検討する必要がある。

そこで、本研究ではがいし POC の適切な調合条件を整理することを目的に、がいしの粒径やセメントペーストの量及び流動性の違いが、がいし POC のフレッシュ性状に及ぼす影響について実験的検討を行った。また、良好なフレッシュ性状と判断された調合について、空隙率・

強度試験を行い、がいし POC の力学的特性について考察を試みた。

2. 使用材料

本研究の使用材料を表1に示す。これは本研究の全章で統一とする。但し、3章セメントペーストフロー試験では骨材は使用しないこととする。本研究では、生物対応型 POC の製造を想定し、アルカリ溶出量が少ない高炉セメント B 種を用いた。また、がいしは粒径 S (2~5mm)、粒径 M (5~10mm)、粒径 L (10~20mm) の3種類を使用した(写真1)。

3. セメントペーストフロー試験

3.1 実験方法

POC を製造する際、セメントペーストのフロー値がそのフレッシュ性状に影響する。そこで、フロー値と水セメント比（以下、W/C）・高性能 AE 減水剤添加率（以下、Sp/C）の関係性について実験的検討を行った。

実験方法としては、W/C=25%、Sp/C=0.5%を基準とし、W/C=20~30%、Sp/C=0.10~0.90%の範囲で調合を変化させ、セメントペーストフロー試験を行った。

3.2 実験結果および考察

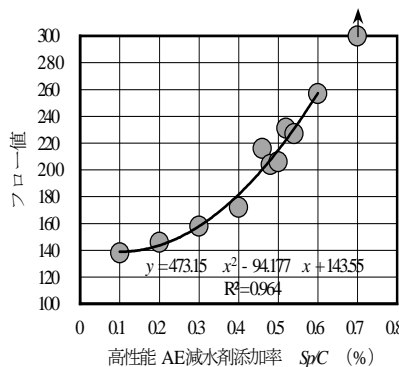
W/C=25%一定の場合、Sp/C がフロー値に及ぼす影響は式(1)に示す2次関数で表される(図1)。

$$\text{Flow} = 473.15(\text{Sp}/\text{C})^2 - 94.177(\text{Sp}/\text{C}) + 143.55 \quad (1)$$

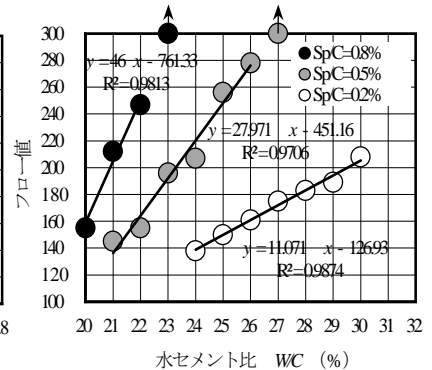
セメント	高炉セメント B 種
粗骨材	がいし廃材破碎骨材 密度：2.57g/cm ³ 、吸水率：0% 粒径 S (2~5mm) 実積率：50.7% 粒径 M (5~10mm) 実積率：51.4% 粒径 L (10~20mm) 実積率：50.6%
混和剤	ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤



写真1 がいしの外観



注) 図中の矢印は、フロー値300超を示す。



注) 図中の矢印は、フロー値300超を示す。

図1 高性能AE減水剤添加率がフロー値に及ぼす影響 (W/C=25%一定) 図2 水セメント比がフロー値に及ぼす影響 (Sp/C=0.2, 0.5, 0.8%)

また、W/C とフロー値の関係は、Sp/Cにより傾きが変化する線形であることがわかる(図2)。その傾きは、Sp/Cに比例する為(図3)、W/C=25%を基準とした場合、W/Cによるフロー値の変動yは以下の式(2)により表される。つまり、W/C=25%の場合はフロー値の変動y=0である。

$$y = (W/C - 25)(58.215(Sp/C) - 0.7602) \quad (2)$$

この2式を併せることにより、W/C、Sp/Cともに変化させた場合に合った式(3)が構築される。

$$\text{Flow} = 473.15(Sp/C)^2 - 94.177(Sp/C) + 143.55 + (W/C - 25)(58.215(Sp/C) - 0.7602) \quad (3)$$

この式によって求めた予測フロー値と実測フロー値は

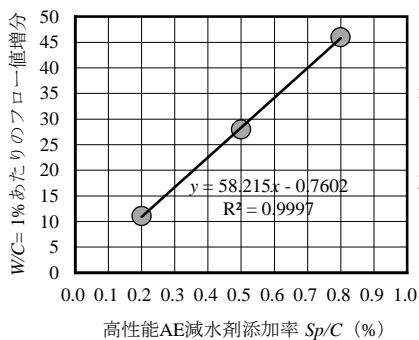


図3 高性能AE減水剤添加率が図2中の直線の傾きに及ぼす影響

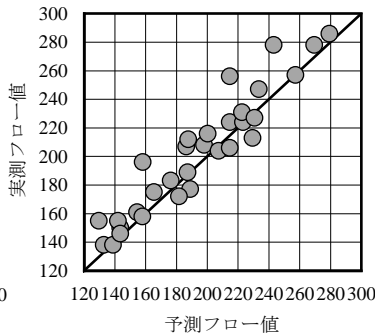


図4 フロー値の実測値と式(3)による予測値との関係

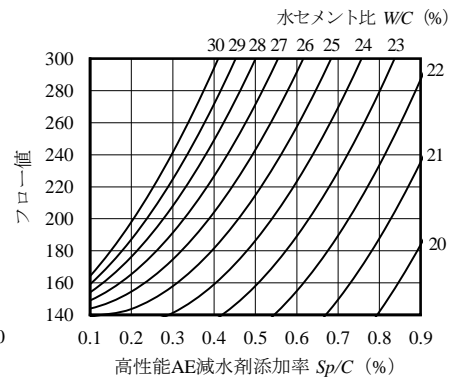


図5 水セメント比および高性能AE減水剤添加率がフロー値に及ぼす影響

図4に表わされ、これより予測フロー値と実測フロー値の差は僅少であることがわかる。この結果より、式(3)による計算結果を基に、W/C、Sp/Cおよびフロー値の関係を整理した結果を図5に示す。次章の実験では、図5より目標フロー値に応じたW/C、Sp/Cを設定し、POCの製造を行った。

4. がいし POC のフレッシュ性状

4.1 実験方法

表2に使用調査を示す。ここで、目標空隙率を設定した上で各材料の単位量を求める本調査計算法によれば、目標空隙率は高くなるほど、がいにに対してセメントペ

表2 使用調査

1) シリーズ1-a (目標フロー値: 175±15)

がいに 粒径	W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)			Sp/C (%)	フレッシュ 性状
			C	W	G		
S	25	20	523	131	1277	0.35	ペースト過多, ダマ有
	25	25	437	109	1277	0.35	良好
	25	30	350	88	1277	0.35	ペーストやや不足
	25	35	264	66	1277	0.35	ペースト不足
M	25	20	512	128	1294	0.35	ペースト過多, 垂れ有
	25	25	425	106	1294	0.35	良好
	25	30	339	85	1294	0.35	ペーストやや不足
L	25	15	611	153	1273	0.35	ペースト過多, 垂れ有
	25	20	525	131	1273	0.35	ペースト過多, 垂れ有
	25	25	439	108	1273	0.35	ペーストやや過多
	25	30	353	88	1273	0.35	良好
	25	35	266	67	1273	0.35	ペーストやや不足
25	40	180	45	1273	0.35	ペースト不足	

2) シリーズ1-b (目標フロー値: 175±15)

がいに 粒径	W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)			Sp/C (%)	フレッシュ 性状
			C	W	G		
S	22	25	460	101	1277	0.65	良好
	25	25	437	109	1277	0.35	良好
	28	25	415	116	1277	0.20	良好
M	22	25	449	99	1294	0.65	良好
	25	25	425	106	1294	0.35	良好
	28	25	404	113	1294	0.20	良好
L	22	30	372	82	1273	0.65	良好
	25	30	353	88	1273	0.35	良好
	28	30	335	94	1273	0.20	良好

3) シリーズ2-a (目標フロー値: 215±15)

がいに 粒径	W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)			Sp/C (%)	フレッシュ 性状
			C	W	G		
S	25	25	437	109	1277	0.50	良好
	25	30	350	88	1277	0.50	ペースト不足
M	25	30	339	85	1294	0.50	良好
	25	35	253	63	1294	0.50	ペースト不足
L	25	30	353	88	1273	0.50	ペースト過多, 垂れ有
	25	35	266	67	1273	0.50	良好
	25	40	180	45	1273	0.50	ペースト不足

注1) W/C: 水セメント比, C: セメント, W: 水, G: 粗骨材, Sp: 高性能AE減水剤
注2) 太線内は, 変化させた調査因子を示す。

4) シリーズ2-b (目標フロー値: 215±15)

がいに 粒径	W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)			Sp/C (%)	フレッシュ 性状
			C	W	G		
S	22	25	460	101	1277	0.75	良好
	25	25	437	109	1277	0.50	良好
	28	25	415	116	1277	0.30	良好
	22	30	358	79	1294	0.75	良好
M	25	30	339	85	1294	0.50	良好
	28	30	322	90	1294	0.30	良好
	22	35	281	62	1273	0.75	良好
L	25	35	266	67	1273	0.50	良好
	28	35	253	71	1273	0.30	良好

5) シリーズ3-a (目標フロー値: 255±15)

がいに 粒径	W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)			Sp/C (%)	フレッシュ 性状
			C	W	G		
S	25	25	437	109	1277	0.60	ペーストやや過多
	25	30	350	88	1277	0.60	良好
	25	35	264	66	1277	0.60	ペーストやや不足
	25	40	178	45	1277	0.60	ペーストやや不足
M	25	30	339	85	1294	0.60	ペーストやや過多
	25	35	253	63	1294	0.60	良好
	25	40	167	42	1294	0.60	ペーストやや不足
L	25	45	81	20	1294	0.60	ペースト不足
	25	25	439	110	1273	0.60	ペースト過多, 垂れ有
	25	30	353	88	1273	0.60	ペースト過多, 垂れ有
	25	35	266	67	1273	0.60	ペーストやや過多
	25	40	180	45	1273	0.60	良好
25	45	94	25	1273	0.60	ペースト不足	

6) シリーズ3-b (目標フロー値: 255±15)

がいに 粒径	W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)			Sp/C (%)	フレッシュ 性状
			C	W	G		
S	22	30	370	81	1277	0.85	良好
	25	30	350	88	1277	0.60	良好
	28	30	333	93	1277	0.40	良好
M	22	35	267	59	1294	0.85	良好
	25	35	253	63	1294	0.60	良好
	28	35	241	67	1294	0.40	良好
L	22	40	190	42	1273	0.85	良好
	25	40	180	45	1273	0.60	良好
	28	40	171	48	1273	0.40	良好

ースト量が少なくなることを示す。また、良好なフレッシュ性状とは、垂れや閉塞が見られないが、骨材間を架橋するペースト量は確保された状態のことを指す。本実験では、低フロー値 (175±15)、標準フロー値 (215±15)、高フロー値 (255±15) の3水準のフロー値に対応する適切な目標空隙率を求めた。

本実験は以下の2段階で行なった。

a) W/C=25%一定の条件下で、図5を用いて目標フロー値が得られるSp/Cを設定し、目標空隙率を変化させてがいしPOCを混練する。これを各粒径のがいしに対して実施することで、骨材粒径の違いに応じた適切な目標空隙率を求める。混練には、容量55Lの強制2軸攪拌型ミキサーを使用し、空練り30秒、混練90秒で練り上げる。がいしPOCのフレッシュ性状は、半透明プラスチック製円筒容器にフレッシュPOCを打設し、突き棒による締固めを行った後に、垂れの有無やペーストの過不足を目視により評価する(写真2)。

b) 実験aで選定した目標空隙率を適用し、同一フロー値となるように図5を用いてW/C, Sp/Cを変動させた割合で混練する。試験および評価方法は実験aと同様である。

4.2 実験結果および考察

がいしPOCのフレッシュ性状の評価結果は、前掲の表2に併記している。図6に目標フロー値および目標空隙率がフレッシュ性状に及ぼす影響を示している。図6より、POCの適切なフレッシュ性状を得る上で、骨材粒径、ペーストフローに応じた適切な目標空隙率が存在することが判る。目標フロー値が一定であれば、粒径が小さいほど目標空隙率が低いほうがフレッシュ性状が良好となる結果が得られた。これは粒径が小さいほど、骨材表面積が大きくセメントペースト量が多く必要になる為であ

ると推察される。また、打設の際、粒径Sは骨材間の空隙が他の粒径と比べ小さい為、低フロー値のペーストでは閉塞が起りやすいように見受けられた。図6に示す粒径Sの回帰直線の傾きが粒径M, Lに比べ急であるのは、このためであると考えられる。

なお、適切な目標空隙率を設定し、同一フロー値でW/C, Sp/Cを変動させた場合においても、良好なフレッシュ性状を有するPOCを作製することができた(表2)。従って、POCの製造に用いるセメントペーストの流動性は、フロー値により評価できると考えられる。

5. がいしPOCの力学的特性

5.1 実験方法

本章では、前章の結果を基に、良好なフレッシュ性状を有するがいしPOCを用い、空隙率測定、圧縮および曲げ強度試験を行い、がいしPOCの力学的特性を検証した。実験では、比較的高強度のがいしPOCの製造を意図し、目標フロー値を低フロー値 (Flow=175±15, W/C=22%, Sp/C=0.65%) に設定した。また、適切なフレッシュ性状を得ることができる目標空隙率(粒径S, M: 25%, 粒径L: 30%)を設定した(表3)。なお、混練・打設方法は前章と同様で、28日間標準養生後試験に供した。供試体寸法・個数については、表4に示す通りである。圧縮強度試験用供試体は両端面セメントペーストキャッピングと

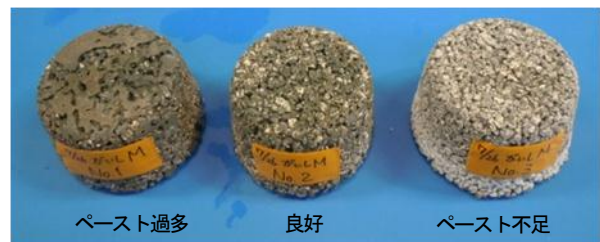


写真2 POCのフレッシュ性状の評価例

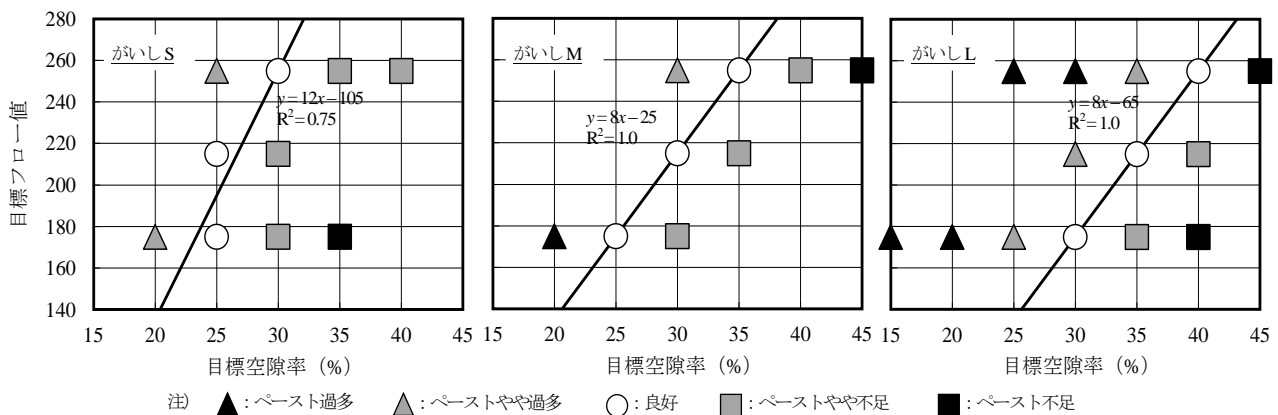


図6 目標フロー値および目標空隙率がフレッシュ性状に及ぼす影響

表3 使用調合及び試験結果

	がいし 粒径	W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)			Sp/C (%)	A _i (%)	A _c (%)	F _c (N/mm ²)	F _b (N/mm ²)
				C	W	G					
本報	S	22	25	460	101	1277	0.65	19.8	21.4	13.0	4.64
	M	22	25	449	99	1294	0.65	32.4	32.6	12.5	3.93
	L	22	30	372	82	1273	0.65	33.4	33.0	8.26	2.20
前報 ⁹⁾	S	25	25	437	109	1277	0.50	10.9	11.2	24.7	3.36
	M	25	30	339	85	1294	0.50	23.7	24.0	13.8	2.65
	L	25	35	266	67	1273	0.50	28.6	27.8	6.1	2.21

注) A_i: 全空隙率, A_c: 連続空隙率, F_c: 圧縮強度, F_b: 曲げ強度

表4 供試体条件

試験項目	供試体寸法	個数	測定項目
空隙率試験	φ100×200mm 円柱供試体	3	全空隙率, 連続空隙率
圧縮強度試験	φ100×200mm 円柱供試体 (両端面セメントペーストキャッピング)	3	圧縮強度
曲げ強度試験	100×100×400mm 角柱供試体 (スパン長: 300mm)	3	曲げ強度 (3等分点曲げ載荷による)

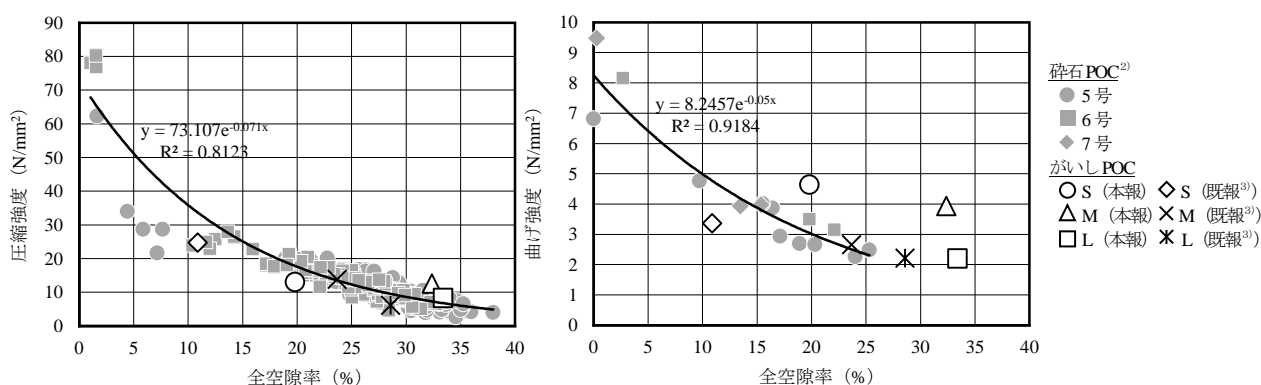


図7 全空隙率と圧縮および曲げ強度との関係

し、曲げ強度試験はスパン 300mm の 3 等分点曲げ載荷により実施した。

5.2 実験結果および考察

試験結果は表 3 に併記している。図 7 に全空隙率と圧縮および曲げ強度との関係を示している。なお、図中には比較用に既報の砕石 POC²⁾ およびがいし POC³⁾ に関する実験データを併記している。

圧縮強度、曲げ強度ともに、がいし POC の実験データは砕石 POC の回帰式による計算値と近い値を示しているが、曲げ強度においては、本実験で検討対象とした粒径 S, M のがいし POC が砕石 POC より若干高い値となっている。また、供試体の破断面では、骨材破断が観察された。これは本実験の調合が高結合強度 (W/C=22%) である為、がいし自体の力学的特性を反映し、曲げ強度が高くなったと推察される。しかし、現段階でデータが少ない為断定はできず、今後も検討を続けていく必要がある。

6. まとめ

本研究では、セメントペーストフロー値と骨材粒径、目標空隙率の相互関係から、良好なフレッシュ性状を有するがいし POC の調合条件を示した。また、がいし POC の圧縮強度は全空隙率が一定であれば砕石 POC のそれと

同等であることや、結合強度が高い場合に砕石 POC よりも曲げ強度が大きくなる傾向にあることを示した。但し、がいし POC の力学的特性については、今後も引き続き検討する必要がある。

【謝辞】

本研究を行うにあたり、光洋電器工業(株)よりがいし廃材破砕骨材を提供いただきました。実験の実施にあたっては、熊本大学技術職員 甲斐定夫氏、戸田善統氏、同大学院生 牟田口克洋氏、同卒研究生 赤坂成範氏、貝嶋大輔氏、仲尾次嗣友氏をはじめとする 4 年生諸氏に協力頂きました。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1)玉井元治:連続空隙を有する固化体の透水性,セメント技術年報,42,pp.591-594,1982.12
- 2)大谷俊浩:ポーラスコンクリートの強度特性と応用技術に関する研究,熊本大学学位論文,2005.6
- 3)武田浩二ほか:がいしを骨材としたポーラスコンクリートの基礎物性と藻場復元材料への応用,日本建築学会九州支部研究報告,第50号・1,pp.169-172,2011.3