

下水汚泥焼却灰を用いた ジオポリマーコンクリートの透水性に関する基礎的研究

日本大学 学生会員 ○望月 勇樹
日本大学 正会員 山口 晋

日本大学 正会員 伊藤 義也
日本大学 正会員 前田 正博

1. はじめに

コンクリートの主要材料であるセメントは、年間約 3000 トンもの産業廃棄物や副産物をセメント原料、代替エネルギーとして有効活用しているものの、¹⁾環境負荷低減の観点においては、更なる改善策の提案が必要とされている。

このような背景の中、近年、セメントを使用しないコンクリート製造技術が注目されている。この技術は、アルカリシリカ溶液(以下、GP 溶液)とアルミナシリカ粉末(以下、活性フィラー)の反応によって形成される固化技術で、セメントを全く使用しないことから従来のセメントを用いたコンクリートに比べ、約 80%の二酸化炭素削減を可能としている。²⁾また、活性フィラーとして、高炉スラグ微粉末とフライアッシュ、都市ごみ焼却灰熔融スラグなどを利用することができることから、産業副産物の有効利用の観点からも期待される技術である。

以上のことから、我々は、年間 224 万トン発生する下水汚泥焼却灰に着目し、活性フィラーとして使用したコンクリートへの適用に関する研究を開始した。³⁾本研究は、下水汚泥焼却灰の適用を目的としたジオポリマーコンクリートの透水性に関する実験を行ったものである。

2. 実験方法

2.1 使用材料および配合

本実験で使用した材料を Table.1 に示す。本実験では、アルカリ/水比(以下、A/W)を 0.11, 0.12, 0.14, 3 水準とした。次に各材料の配合を Table.2 に示す。なお、ジオポリマーコンクリートの比較用として、予備実験により確認した GP200 の圧縮強度に相当する Table.3 の配合を用いた普通コンクリートを作製した。

2.2 練混ぜおよび養生方法

練混ぜ方法は、50L の強制練パン型ミキサーを用いて、粗骨材、細骨材、活性フィラーの順に材料を入れ 30 秒間練混ぜを行い、予め 20°C の環境室内で作製、保管しておいた GP 溶液を注水し、60 秒間練混ぜを行った。そ

Table.1 使用材料

分類	材料
GP溶液	水ガラス+苛性ソーダ(密度: 1.27g/cm ³)
活性フィラー	下水汚泥焼却灰(SA: 密度: 2.60g/cm ³)
	フライアッシュⅡ種(FA: 密度: 2.20g/cm ³)
	高炉スラグ微粉末(BS: 密度: 2.91g/cm ³)
細骨材	茨城県鹿島陸砂産+北海道白老郡産(S: 密度: 2.63g/cm ³)
粗骨材	砕石2005 東京都青梅産(G: 密度: 2.91g/cm ³)
水	水道水(W: 密度: 1.00g/cm ³)

Table.2 ジオポリマーコンクリートの配合

種類	A/W	単位量 (kg/m ³)						
		W	GP溶液	SA	FA	BS	S	G
GP200	0.11	90	200	66	222	92	744.3	755.6
GP250	0.12	81	250	82	277	115	652.2	662.2
GP300	0.14	71	300	98	333	137	560.2	571.4

Table.3 普通コンクリートの配合

種類	単位量					
	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	AE剤 (g/m ³)	補助AE剤 (g/m ³)
普通コンクリート	158	313	796	1029	3129	2503

の後、休止し、30 秒間かき落としを行い、再度 90 秒間練混ぜを行った。

養生は、恒温恒湿機を用いて 20°C-3 時間の前置養生を行った後、20°C/h で昇温し、70°C -9 時間保持した蒸気養生を実施した。自然放冷の後、装置から取り出し、各種試験に供した。

2.4 圧縮強度試験方法

圧縮強度試験は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠し各養生後に試験を行った。

2.5 透水試験方法と拡散係数

透水試験は、インプット法⁴⁾で行った。供試体側面に水の浸透を防止するため、エポキシ樹脂系の塗料を塗り、2 時間乾燥させた。透水試験機に供試体を設置し、水圧が 10 気圧で 48 時間の加圧を行った。試験終了後、供試体を直径方向に割裂し、浸透深さの撮影を行った。撮影した写真を画像解析用ソフトにより、供試体前面のピクセル数と浸透深さのピクセル数を測定し、平均透水深さ

キーワード ジオポリマー、下水汚泥焼却灰、圧縮強度試験、透水試験

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 TEL.047-474-2470

を求め、拡散係数算出した。また、浸透深さにおける供試体の割裂後の一例を Fig.1 に示す通りである。

なお、拡散係数は以下の(1)式により求めた。⁴⁾⁵⁾

$$\beta_i^2 = \alpha \frac{D_m^2}{4t\xi^2} \quad (1)$$

β_i^2 : 拡散係数($\times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{s}$), t : 試験時間(s), D_m : 平均浸透深さ(mm), α : 試験時間に関する補正係数(今回は 48 時間のため, $\alpha=175.7$ を用いた), ξ : 試験水压に関する係数(今回は水压が 10 気圧のため, $\xi=1.163$ を用いた)

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度試験

Fig.2 に圧縮強度試験結果を示す。この結果によれば、A/W が大となる、GP200, GP250, GP300 の順に圧縮強度が増進した。また、活性フィラーの添加量が増えると圧縮強度が高くなることも確認されたが、活性フィラーによる下水汚泥焼却灰、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末の各添加量における強度変化は、今回の研究では確認することができなかったため、今後、添加量に関する検討は必要であると考えた。

3.2 透水試験

Table.4 にジオポリマーコンクリートの透水試験結果を示す。この結果は、2.5 (1)式により算出した拡散係数であるが、GP200, GP 250, GP300 の拡散係数は、それぞれ $12.42 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{s}$, $4.89 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{s}$, $3.37 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{s}$ となり、A/W が大きくなるにつれて拡散係数が減少する結果となった。A/W に比例して拡散係数が減少、つまり、水密性の向上を示しており、この要因は、圧縮強度の結果からも明らかのように、A/W に比例して供試体が緻密化し、水密性が向上していると推察した。また、ジオポリマーコンクリートの GP200 と圧縮強度に相当する普通コンクリートの拡散係数は、ほぼ同等の値を示したことにより、本研究の範囲では、ジオポリマーコンクリートと普通コンクリートの透水性は同等であると判断した。

4. まとめ

本研究から得られた知見を以下に示す。

(1) 圧縮強度試験の結果より、A/W が大きくなるほど圧縮強度が高くなることが確認された。また、活性フィラーの添加量が増えることにより圧縮強度の増進が確認された、本研究の範囲では、GP 溶液比が大きくなるほど透水性は向上するとともに、圧縮強度も増加することから、これらは供試体の緻密化が要因であると判断した。

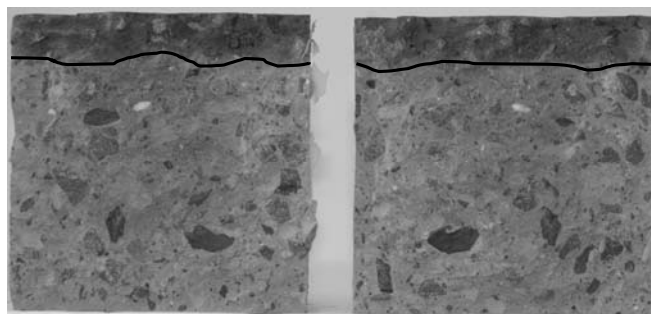


Fig.1 割裂後の写真一例

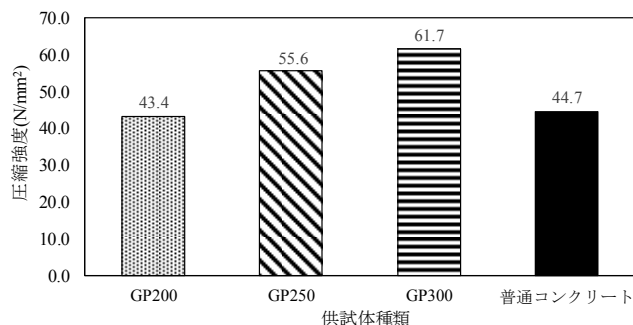


Fig.2 圧縮強度試験結果

Table.4 透水試験結果

配合種別 No.		平均浸透深さ (cm)	拡散係数 $\beta_i^2 \times 10^{-4}$ (cm^2/s)	
GP200	1	2.627	0.00130	12.42×10^{-4}
	2	2.555	0.00123	
	3	2.528	0.00120	
GP250	1	1.709	0.00055	4.89×10^{-4}
	2	1.582	0.00047	
	3	1.543	0.00045	
GP300	1	1.362	0.00035	3.36×10^{-4}
	2	1.232	0.00029	
	3	1.416	0.00038	
普通 コンクリート	1	2.775	0.00145	13.99×10^{-4}
	2	2.690	0.00136	
	3	2.719	0.00139	

(2) 透水試験の結果より、ジオポリマーコンクリートは、圧縮強度が高いほど高い水密性があることが認められた。

(3) 研究の主な目的である下水汚泥焼却灰の有効活用を考慮すれば、活性フィラーにおける下水汚泥焼却灰の添加量に着目した更なる検討が必要である。

参考文献

- 1) セメント協会: 持続可能社会の構築に向けた取り組み, pp.1, 2014.
- 2) 相原直樹ほか: 鉄道用材料の LCA による環境評価, 鉄道総研報告, Vol.23, No.6, pp.5-10, 2009.
- 3) 望月勇樹ほか: 下水汚泥焼却灰を活用したジオポリマーモルタルの基礎的性状に関する研究, 土木学会第 71 回年次学術講演会, V-204, pp.407-408, 2016.09.
- 4) 村田二郎: コンクリートの水密性とコンクリート構造物の水密性設計, pp. 18-44, 2002.
- 5) 國分正胤: 土木材料実験, pp.1. 289-292, 1983.