

高流動ジオポリマーコンクリートの配合および強度に関する検討

九州大学大学院 学生会員 仲町 征将

九州大学大学院 正会員 佐川 康貴

九州大学大学院 学生会員 香島 和輝

九州大学工学部 学生会員 大樂 一史

1. はじめに

アルカリシリカ溶液に水ガラスを用いるジオポリマー (GP) は、セメントコンクリートに比べて粘性が高いという性質がある。

そこで本検討では、高流動 GP コンクリートの配合を確立するため、スランプフローと強度に着目し、配合の検討を行った。

2. 単位の計算方法

2.1 前提条件

粗骨材容積 (V_g) は土木学会「高流動コンクリートの配合設計施工指針」の自己充填性のランク 1 である $0.28\text{m}^3/\text{m}^3 \sim 0.30\text{m}^3/\text{m}^3$ に設定した。全骨材容積中の細骨材容積 (s/a) を 45% とした。また、空気量 (Air) を 2% とした。上原ら¹⁾の研究を参考に、アルカリシリカ溶液の成分を定量的に表す指標として、アルカリシリカ溶液中に含まれるナトリウム (Na) と水 (H_2O) のモル比を A/W、ケイ素 (Si) と Na のモル比を Si/A と定義した。また、フライアッシュ (FA) ベースの GP コンクリートとし、高炉スラグ微粉末の置換率は 0~20% とした。

2.2 計算フロー

図-1 に GP コンクリートの単位量を決定するフローを示す。まず、2.1 節の前提条件より、 V_g を決定し、 s/a の値から細骨材容積 (V_s) を算出した。次に、ペーストが占める容積 (V_{paste}) を算出し、活性フィラー (P) に対するアルカリシリカ溶液 (L) の容積比 (L/P) を設定し、アルカリシリカ溶液の容積 (V_L) と活性フィラーの容積 (V_P) を求めた。次に、活性フィラーのうちの高炉スラグ微粉末 (GGBS) の質量比 (GGBS/P) を設定し、FA と GGBS の単位量を決定した。水ガラス (SS) と水酸化ナトリウム溶液 (SH) の質量比 (SS/SH)、水ガラスの成分と密度、水酸化ナトリウム水溶液の濃度と密度を設定し、SS と SH の単位量を求めた。その後、A/W と Si/A を算出し、目標値 ± 0.005 に収まっているか確認した。両者が目標範囲に収まっていない場合は SH の濃度・密度、SS/SH を変更し、目標範囲に収まるまで計算を繰り返した。

その後、A/W と Si/A を算出し、目標値 ± 0.005 に収まっているか確認した。両者が目標範囲に収まっていない場合は SH の濃度・密度、SS/SH を変更し、目標範囲に収まるまで計算を繰り返した。

3. 実験概要

3.1 使用材料・配合

本研究における GP コンクリートの使用材料を表-1、配合を表-2 に示す。本検討ではアルカリシリカ溶液として、JIS K 1408 の 1 号のケイ酸ナトリウム (水ガラス) と NaOH 水溶液を混合したものをを用いた。NaOH 水溶液は試薬特級の NaOH (粒状) を蒸留水で溶かして調製 (3.60mol/L) したものをを用いた。活性フィラーとして、フライアッシュ (FA) は、JIS A 6201 の II 種を使用した。高炉スラグ微粉末は JIS A 6206 の高炉スラグ微粉末 4000 で石こ

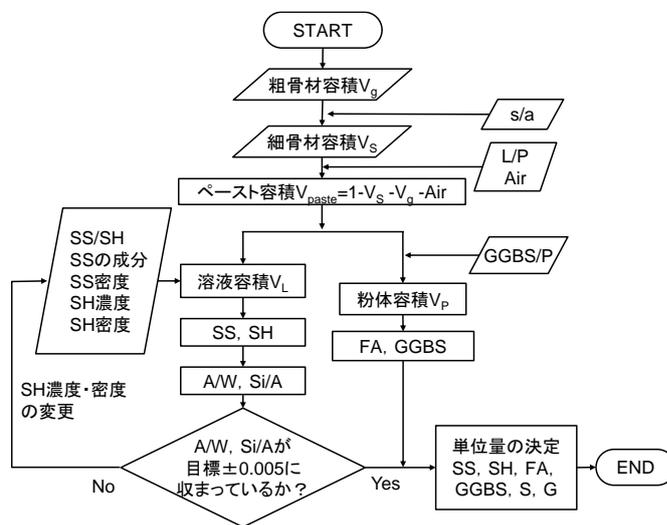


図-1 GP コンクリートの単位量算定フロー

表-1 使用材料

材料名	記号	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)
水ガラス 1 号	SS	1.702(配合 No.1~No.10) 1.696(配合 No.11~No.13)	
NaOH 水溶液	SH	1.136(3.60mol/L)	
フライアッシュ II 種	FA	2.24	3530
高炉スラグ微粉末	GGBS	2.91	3980
海砂 (除塩)	S	2.54	-
碎石 (20~10mm)	G1	2.74	-
碎石 (10~5mm)	G2	2.74	-

表-2 配合および試験結果

No.	L/P (vol.)	粗骨材 容積 (m ³ /m ³)	GGBS/ P (wt.%)	A/W	Si/A	W (kg/m ³)	スラン プフロ ー(mm)	500mm 到達 時間(s)	圧縮強度 (N/mm ²)		静弾性係数 (kN/mm ²)		割裂引張強度 (N/mm ²)		
									7日	28日	7日	28日	7日	28日	
1	1.00	0.28	20	0.125	0.70	213	740		28.6		10.1				
2	0.95	0.28	0	0.125	0.70	206	740		11.3	14.4	5.23	6.97	0.85	0.90	
3			715					22.4	28.1	9.06	12.1	2.16	1.58		
4			650					33.7	32.1	12.6	12.9	2.28	1.80		
5	0.90	0.28	0	0.125	0.70	194	740	12	12.4	14.1	6.67	7.48	0.77	0.91	
6	0.90	0.30	20				179	640	15	30.4	32.1	13.0	13.2	1.96	1.92
7	0.80		20				163	515	30	37.7	44.3	19.1	17.9	2.46	2.30
8	0.85	0.28	0	0.125	0.70	188	615	29	12.2	17.3	6.41	9.51	0.90	1.15	
9			605				40	28.2	30.9	11.8	13.4	1.91	1.98		
10			600				57	39.0	37.6	14.9	14.6	2.43	2.46		
11	0.90	0.28	0	0.124	0.70	194	715	14	12.1		7.24		0.93		
12			665				24	27.8		12.9		1.91			
13			665				33	37.2		14.5		2.19			

う無添加のものを用いた。細骨材 (S) は海砂, 粗骨材 (G1, G2) は砕石を用いた。なお, 単位水量 (W) は, アルカリシリカ溶液中の全水量を表す。本検討では, SS/SH=1.00, SH濃度=3.60mol/Lに固定した。スランプフローは GGBS/P=0%は 700~750mm, 10%は 650~700 mm, 20%は 600~650mm を目標とした。

3.2 作製方法・養生方法

練混ぜには, パン型一軸強制練りミキサを用いた。細骨材, 活性フィラーの順に投入し, 30 秒間練り混ぜた。ミキサを一旦停止させ, アルカリシリカ溶液を投入し, 60 秒間練り混ぜた。掻き落としを行った後, 粗骨材を投入し 60 秒間練り混ぜた。作製したコンクリートを型枠に打ち込んだ後, 3 時間の前置き時間を設け, 昇降温度 13.3°C/h, 最高温度 60°C, 保持時間 12 時間の加熱養生を行った。その後, 脱型し, 気中養生 (20°C, 60%R.H.) を所定期間行った。

4. 結果および考察

本検討では練上がり直後のスランプフローおよび材齢 7 日, 28 日の圧縮強度, 静弾性係数, 割裂引張強度を求めた。結果を表-2に示す。No.1~No.5 (L/P=1.00~0.95) の場合にはスランプフローが大きく, 流動性が高いことが分かった。そこで, 骨材量の影響を検討するため No.6~No.7 では骨材量を増やしたところ流動性が低くなったが, スランプフローと骨材量の関係性については今後より詳細な検討が必要である。No.8~No.10 (L/P=0.85) ではスランプフローが小さく, 流動性が低くなった。No.11~No.13 (L/P=0.90) では, 目標スランプフローが得られたが GGBS/P=20%が 665mm と大きな値となった。28 日での圧縮強度は GGBS/P=0%では低くなったが, GGBS/P=10, 20%では 28.1~44.3N/mm² と普通強度のセメントコンクリートと同等の強度が得られた。このことから, 実用性を考えると GGBS を混合する配合が適していると考えられる。また, 圧縮強度と静弾性係数, 割裂引張強度は, L/P が小さいほど, また, GGBS/P が大きいほど増加する傾向にあることが確認できた。

5. まとめ

本検討において, 高流動 GP コンクリートの配合について検討した。本検討の範囲では, L/P=0.90, SS/SH=1.00, SH濃度=3.60 mol/Lに設定し, A/W=0.125程度, Si/A=0.70程度に調整した配合 (表-2中の No.11~No.13) が, 比較的取り扱いのしやすい配合であった。

謝辞 本研究を行うに当たり, 土木学会コンクリート委員会「土木分野におけるジオポリマー技術の実用化推進のための研究小委員会 (361 委員会)」の皆様からのご助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 上原元樹, 南浩輔, 平田紘子, 山崎淳司: ジオポリマー硬化体の配合・作製法と諸性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1987-1992, 2015