

論文 品質工学的的手法を用いたフライアッシュベースジオポリマーの製造条件の最適化

岩本 崇臣*1・尾上 幸造*2・佐川 康貴*3・上野 貴行*4

要旨：フライアッシュベースジオポリマーの製造条件を最適化するために、タグチメソッドの動的パラメータ設計を適用した。既往の研究を踏まえ、入力を活性フィラーとアルカリ溶液の容積比、出力を15打フロー値と曲げ・圧縮強度とし、設計パラメータとして水ガラスと水酸化ナトリウム水溶液の質量比、練混ぜ時間、加熱養生時の保持温度および積算温度を取り上げた。ノイズ条件として実験機関とフライアッシュのロットの違いを考慮した。L₉直交表を用いた実験を実施し、SN比に主眼を置いて設計パラメータを最適化した。さらに、最適条件下での入出力の関係式を示した。

キーワード：フライアッシュ、ジオポリマー、タグチメソッド、動的パラメータ設計、SN比、感度

1. はじめに

ジオポリマーはフランスの Davidovits¹⁾により提唱されたものであり、セメントクリンカーを使用せず、非晶質のケイ酸アルミニウムを主成分とした原料（活性フィラー）とアルカリ金属のケイ酸塩、炭酸塩、水酸化物水溶液（アルカリ溶液）を用いて硬化させたものと定義されている²⁾。活性フィラーには Al³⁺および Si⁴⁺の溶出源となるフライアッシュやメタカオリン、他にも高炉スラグ微粉末や下水汚泥溶融スラグ³⁾などの産業廃棄物が使用される。アルカリ溶液には水酸化ナトリウム水溶液または水酸化カリウム水溶液と、珪酸ナトリウム水溶液（水ガラス）が主に使用される。ジオポリマーは、セメントを使用しないため、セメント製造時に発生する二酸化炭素を約80%削減できる⁴⁾と考えられており、環境負荷低減型の次世代コンクリートとして期待されている。また、フライアッシュの排出の増加や処分場の不足が問題⁵⁾となっているが、ジオポリマーはフライアッシュの有効活用を促進させることも可能である。

ジオポリマーは加熱養生することによって早くて高い強度を発現でき、耐硫酸性・耐火性、アルカリ骨材反応に対する抵抗性を有するといった特長がある⁶⁾。そのため、プレキャスト製品としての利用に適しており、酸性や高温環境下で優位な性能を発揮すると考えられる。

しかしながら、ジオポリマーの製造時の設計パラメータは多岐にわたり、そのことが材料設計を困難なものとしている。そこで本研究では、パラメータ間の影響を含めた入出力関係を導出できるタグチメソッド⁷⁾に着目した。タグチメソッドには静的手法と動的手法がある。前者は、目的とする品質特性が、ある一つの固定された水

準を持つ、すなわち入力を変えても決まった出力値が求められるときに用いられる。一方、後者は、品質特性がある範囲をもって変動する場合に用いられ、任意の要求性能に応じて設計を変化させることができるため、実際に際しての優位性がある。動的手法の最終的な目的は、入力値と出力値の関係に影響を与える設計パラメータを最適化することである。言い換えると、ノイズに対して入出力関係が安定するパラメータを見つけることである。

著者ら⁸⁾は、タグチメソッドの動的手法を適用し、九州内のある一箇所の発電所で生産された JIS II 種フライアッシュを用いたジオポリマーの製造条件の最適化について検討し、同手法がフライアッシュベースジオポリマーの製造条件の最適化に適用できる可能性を示すとともに、最適条件下での入力と出力の関係を報告した。本論文では、既往の研究^{8),9)}の結果を踏まえ、同手法を別の発電所産の JIS II 種フライアッシュを用いたジオポリマーの製造条件の最適化に適用した結果について報告する。

表-1 使用したフライアッシュ（JIS II 種）の品質

項目	ロットa	ロットb
二酸化けい素含有量 %	57.0	58.3
湿分 %	0.1	0.2
強熱減量 %	2.8	2.6
密度 g/cm ³	2.27	2.24
比表面積 cm ² /g	4020	3980
フロー値比 %	108	98
活性度指数 %	材齢28日	83
	材齢91日	81
		101

*1 熊本大学大学院 自然科学研究科社会環境工学専攻（学生会員）

*2 熊本大学大学院 先端科学研究部（工学系）准教授 博士（工学）（正会員）

*3 九州大学大学院 工学研究院建設デザイン部門准教授 博士（工学）（正会員）

*4 九州大学大学院 工学府建設システム工学専攻（学生会員）

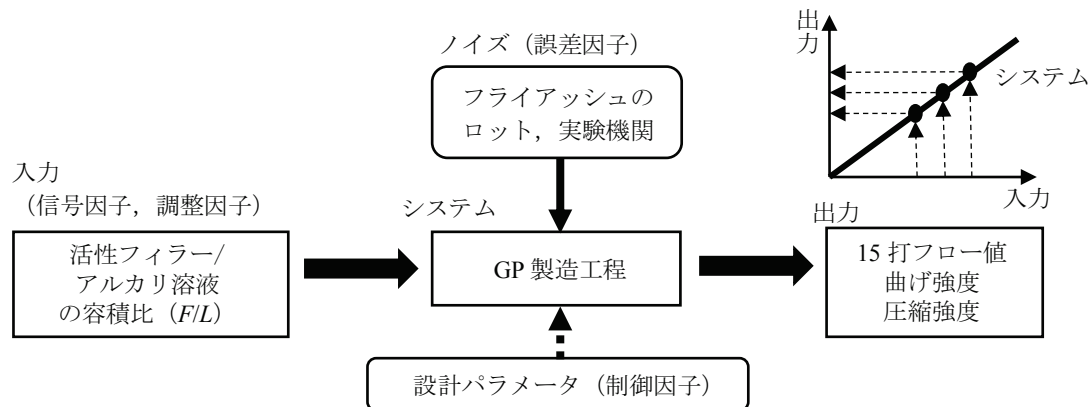


図-1 本研究で想定したシステムチャート

2. 実験概要

2.1 実験材料

活性フィラーとして、単一の発電所で生産されたロットの異なる2種類のフライアッシュ (FA, JIS A 6201¹⁰) におけるII種、品質は表-1に示すと高炉スラグ微粉末4000 (BFS, 密度: 2.91 g/cm³, 比表面積: 4160 cm²/g), アルカリ溶液として水ガラス (JIS K 1408¹¹) に規定される3号品, 密度: 1.41 g/cm³ と水酸化ナトリウム水溶液 (NaOHaq, 濃度: 6 M, 密度: 1.21 g/cm³), 細骨材として JIS R 5201¹² の標準砂 (密度: 2.64 g/cm³) を用いた。NaOHaq は水溶液作製時に蒸留水を使用した。また反応時に発熱し体積が変化するため、打設日の2日前までに混合しておき、翌日室温まで冷却したのちに蒸留水を足して所定の濃度となるよう調整した。温度による影響を極力排除するため、全ての材料を恒温恒湿室 (20°C, 60% R.H.) で保管した。

2.2 タグメソッドによる動的パラメータ設計の適用

(1) 入力, 出力, 設計パラメータ, ノイズ設定

本研究におけるシステムチャートを図-1に示す。入力 (信号因子) を活性フィラーとアルカリ溶液の容積比 (以下, F/L と称す), 出力を15打フロー値および曲げ・圧縮強度とした。入力である F/L はコンクリートにおけるセメント水比 (C/W) に対応した指標であると考えることができる。すなわち, F/L が大きいほどジオポリマーモルタルの強度は大きく, フロー値は小さくなると予想される。ここで, セメント水比は質量比であるのに対し, F/L は容積比である。ジオポリマーにおいては粉体とアルカリ溶液の種類が多く, 密度も材料間で大きく異なるため, 本研究では容積比を採用した。一方, システムを決定付ける設計パラメータとして, A: 水ガラスとNaOHaqの質量比, B: 練混ぜ時間, C: 加熱養生時の保持温度, D: 加熱養生時の積算温度を取り上げた。ここで, NaOHaqの濃度, 高炉スラグ微粉末のフライアッシュに

表-2 ノイズ条件の組合せ

	実験機関	FAロット
N_1	熊本大学	a
N_2	九州大学	a
N_3	熊本大学	b
N_4	九州大学	b

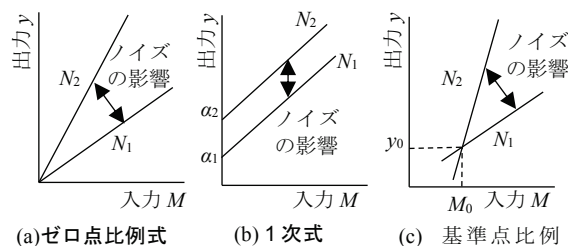


図-2 線形関係の理想機能

表-3 サンプルデータ

ノイズ (n 水準) 繰り返し $r_0=1$	信号 (k 水準)				合計 N_i
	M_1	M_2	...	M_k	
N_1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1k}	N_1
N_2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2k}	N_2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
N_n	y_{n1}	y_{n2}	...	y_{nk}	N_n
計	Y_1	Y_2	...	Y_k	T

対する置換率等も, システムに影響を与えると考えられるが, 既往の研究^{8),9)}を踏まえ, それらについて本研究では一定値に固定した。さらにノイズとして, フライアッシュのロットの違いと実験機関を取り上げた。フライアッシュのロットの種類は2種類とし, 実験機関は, 熊本大学と九州大学の2ヶ所を設け, それぞれを組み合わせた $N_1 \sim N_4$ をノイズの種類とした (表-2)。

(2) 動特性のSN比と感度の計算方法

タグメソッドにおいて, システムのロバストネス (ノイズに対する入出力の安定性) の評価にSN比という指

標が用いられる。SN 比とは、一般的に、「SN 比=信号パワー/ノイズパワー」と通信工学などの分野では表されるが、機能の精度とばらつき（誤差）の比と言い換えられる。この値が大きいかほど理想機能からのばらつきが小さく、機能性が高いと言える。一方、感度は入出力関係の傾きを示している。これらの指標は、主に入力値と各条件の実験で得られた出力値を使い算出する。算出する際は、入力と出力の理想関係（理想機能）によって計算方法が異なるため、それぞれの理想機能を設定しなければならない。線形関係の理想機能を図-2 に示す。本研究において、後述するように F/L とフロー値および強度の理想機能は一次式と考えられた。表-3 に示すサンプルデータに対し、理想機能が一次式である場合の SN 比と感度の具体的な計算方法は以下の通りである。

$$S_m = (y_{11} + y_{12} + \dots + y_{nk})^2 / r_0nk \quad (1)$$

$$S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{nk}^2 \quad (2)$$

$$\overline{M} = (M_1 + M_2 + \dots + M_k) / k \quad (3)$$

$$r = r_0n \left[(M_1 - \overline{M})^2 + (M_2 - \overline{M})^2 + \dots + (M_k - \overline{M})^2 \right] \quad (4)$$

$$S_\beta = \frac{1}{r} \left[(M_1 - \overline{M})y_1 + (M_2 - \overline{M})y_2 + \dots + (M_k - \overline{M})y_k \right]^2 \quad (5)$$

$$S_N = (N_1^2 + N_2^2 + \dots + N_n^2) / r_0k - S_m \quad (6)$$

$$S_e = S_T - S_m - S_\beta - S_N \quad (7)$$

$$V_e = S_e / (r_0nk - 1 - n) \quad (8)$$

$$S_{N'} = S_N + S_e = S_T - S_m - S_\beta \quad (9)$$

$$V_{N'} = S_{N'} / (r_0nk - 2) \quad (10)$$

$$\text{SN比} \eta = 10 \log \frac{1/r (S_\beta - V_e)}{V_{N'}} \quad (11)$$

$$\text{感度} S = 10 \log \frac{1}{r} (S_\beta - V_e) \quad (12)$$

ここで、 S_m : 平均値の効果、 r_0 : 繰返し回数（本研究では $r_0=1$ ）、 S_T : 全変動（全データの 2 乗和）、 \overline{M} : 入力信号の平均値、 r : 有効除数（入力の単位変化量あたりに変換する係数）、 S_β : 入力の効果（比例式の回帰 2 乗和）、 S_N : ノイズの効果、 S_e : 誤差変動（取り上げなかった誤差）、 V_e : 誤差分散、 $S_{N'}$: 誤差全体の変動（ノイズと偶然誤差の和）、 $V_{N'}$: 誤差全体の分散である。

(3) 設計パラメータの最適化

まず、SN 比と感度それぞれについて、設計パラメータごとに水準別で表した要因効果図を作成した。この図を用いて、2 段階設計を行い、パラメータを最適化した。2 段階設計の第 1 段階では、SN 比の高い水準を選定し、水準変化の小さいパラメータはコストに有利な水準を選定した。第 2 段階では、入出力関係に目標線があるときの

表-4 L_9 直交表

No.	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

表-5 設計パラメータの設定値

設計パラメータ	1	2	3
A: 水ガラス/NaOHaq(質量比)	1	2	3
B: 練混ぜ時間(分)	4	6	8
C: 加熱養生時の保持温度(°C)	60	75	90
D: 加熱養生の積算温度(°C・h)	640	1000	1360

み、感度を調整することで最適化した。

2.3 実験条件

実験は、 L_9 直交表（表-4）を用いて実施した。この直交表はどの 2 列を取り出しても二元配置となっており、各条件のデータ数が揃っているため、実験条件を 81 通りから 9 通りに減らすことができる。そして、この表には 3 水準のパラメータを 4 つまで対応させることができるため、設計パラメータを既往の研究⁸⁾を参考に表-5 のように設定した。積算温度は保持温度 60°C、養生時間 24 h のとき 1360°C・h であり、それを基準に等間隔で小さくした数値とした。

また、入力値は実験 No. 9 で試し練りを行い設定した。すなわち、フロー値が 170~250 の間を取ったときの $F/L=[0.6, 0.75, 0.9]$ を入力値とし、1 つの実験番号につき入力値の異なる 3 つの供試体を作製した。

その他の実験条件として、既往の研究^{8),9)}を踏まえ NaOHaq の濃度を 6 M、フライアッシュの質量に対する BFS 置換率を 15% とし、細骨材である標準砂の容積割合を 0.582 m³/m³ に固定した。最適化のために実施したモルタル打設のバッチ数の総計は、9（実験条件）×3（入力信号）×4（ノイズ条件）=108 であった。

2.4 実験方法

実験の主な流れは、練混ぜ、15 打フロー試験、打設、加熱養生、強度試験である。具体的な実験方法を以下に示す。

(1) 練混ぜ・15 打フロー試験

水ガラス、NaOHaq、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末の順にモルタルミキサに入れ、30 秒低速で混ぜた後に標準砂（1 袋：1350 g）を投入した。その後 30 秒低速、

30 秒高速で練り混ぜ, 15 秒で掻き落としを行った後 1 分 30 秒間休止し, 所定の時間まで高速で練り混ぜた。練混ぜ後, フレッシュジオポリマーモルタルの 15 打フロー値を JIS R 5201¹²⁾に準拠して測定した。

(2) 打設

JIS R 5201¹²⁾に準拠し, ジオポリマーモルタルをテーブルパイププレート上で三連型枠 (1 枠 4×4×16 cm) に詰めた。表面処理を施した後, 水分の蒸発を防ぐためにラップフィルムを 3 重に巻きつけた。

(3) 加熱養生・強度試験

本研究では, 前述の通り, 表-4 に示す 9 種類の実験を実施した。1 つの実験条件につき 3 つの入力条件で実験を行ったが, 実験を進めるに際しては同一の実験条件について入力値の異なる 3 バッチのモルタルを同時に作製した。2 バッチ目の打設を基準に前置き時間を 3 時間とし, その後所定の温度と時間で加熱養生した。加熱養生には, プログラム制御が可能な送風定温恒温器を用いた。加熱養生時の昇温速度を 20°C/h とし, 降温速度については, 制御可能な場合については-20°C/h とした。制御不可能な場合については, ヒーターを停止した時点からの槽内における降温曲線を取得しておき, 所定の積算温度となるよう, 供試体取り出すまでの時間を調整した。加熱養生終了後, 脱型し, 恒温恒湿室 (20°C, 60%R.H.) に静置した。脱型の 24 時間後に供試体の質量を測定し, 曲げおよび圧縮強度試験を JIS R 5201¹²⁾に準拠して実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 実験結果

表-6 に 15 打フロー値, 曲げおよび圧縮強度の実験結果一覧を示す。圧縮強度, 曲げ強度, 15 打フロー値の試験結果 (例として条件 2) をそれぞれ図-3~5 に示す。ここで, 圧縮強度は 6 つのデータの平均値, 曲げ強度は 3 つのデータの平均値, 15 打フロー値は 1 回測定した際の最大径とその直角方向の平均値である。

図-3, 4 において圧縮強度と曲げ強度は, 本研究で設定した入力値の範囲内において, ノイズ条件の組合せ毎にはほぼ平行移動していることがわかる。その他の実験条件についても, 傾向は同じであった。そのため, 本研究においては, 圧縮強度に関する入出力間の理想機能として一次式を選定した。

図-5 に L/F と 15 打フロー値の関係を示す。15 打フロー値については, その特性を考慮し, F/L の逆数である L/F で整理した。本研究で設定した入力範囲内においては, 圧縮強度や曲げ強度と同様に理想機能を一次式と見なせるものと判断した。

表-6 実験結果一覧

出力 入力	15打フロー値 (mm)			曲げ強度 (N/mm ²)			圧縮強度 (N/mm ²)		
	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9
1	251.2	231.2	173.9	3.41	4.54	5.45	20.1	27.4	36.8
2	255.7	231.2	196.1	4.76	6.34	7.51	31.1	40.4	51.4
3	259.0	228.1	196.1	6.47	7.36	9.14	39.5	48.6	60.1
4	244.5	223.1	164.3	4.82	6.82	8.32	29.8	39.0	43.6
5	244.1	212.5	172.5	4.64	6.59	7.82	28.3	37.7	46.6
6	243.4	210.7	162.9	3.62	4.92	5.88	20.6	29.0	37.0
7	237.8	207.4	143.2	5.08	7.02	7.74	28.6	38.3	43.2
8	239.5	201.7	154.8	4.03	4.98	5.85	24.5	29.9	36.4
9	235.3	190.8	131.8	4.09	5.66	6.62	22.6	30.7	38.3

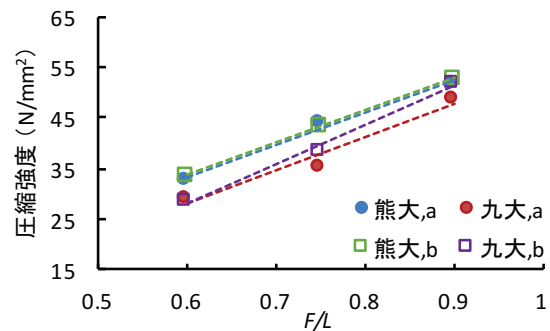


図-3 条件 2 における圧縮強度の試験結果

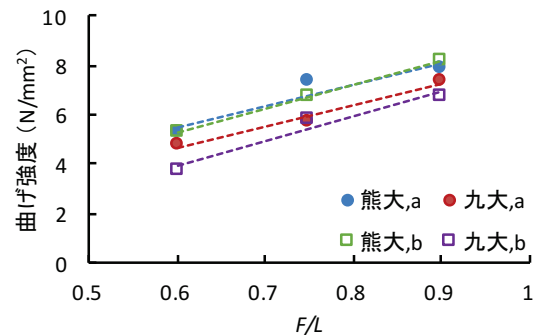


図-4 条件 2 における曲げ強度の試験結果

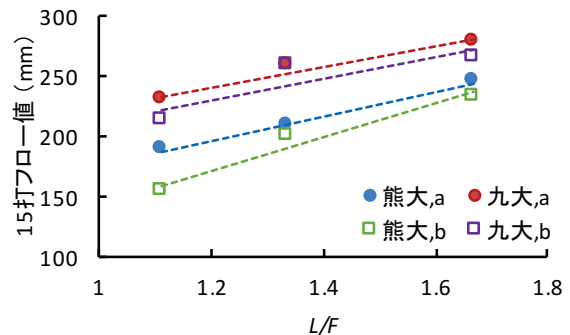


図-5 条件 2 における 15 打フローの試験結果

3.2 要因効果図

圧縮強度, 曲げ強度, 15 打フロー値それぞれの SN 比と感度の要因効果図を図-6 に示す。図-6 (c) においては, フロー値試験は養生前に行うことから養生の保持温

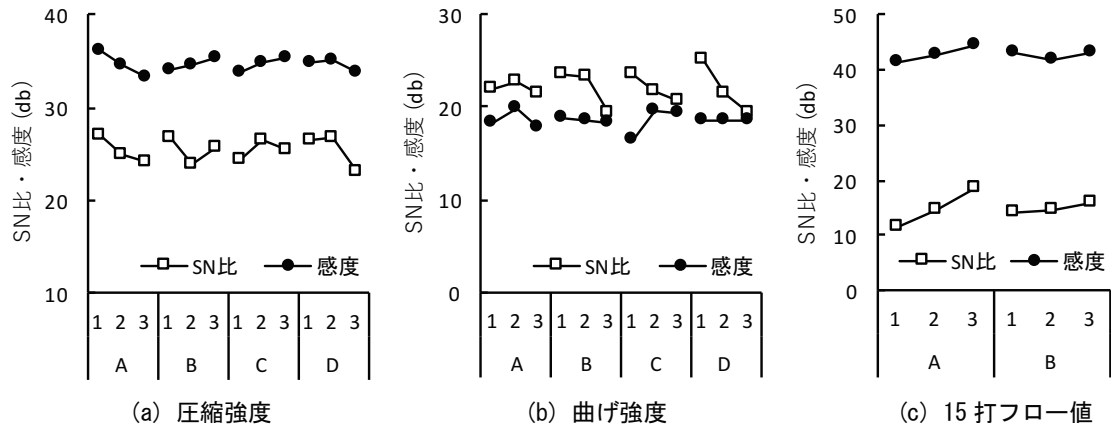


図-6 要因効果図 (A : 水ガラス/NaOHaqの質量比, B : 練混ぜ時間, C : 保持温度, D : 積算温度)

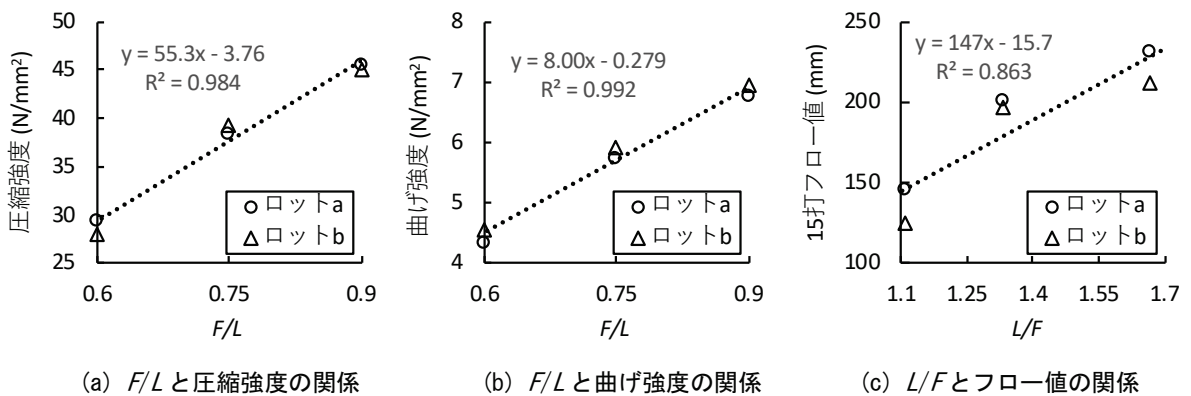


図-7 最適条件での圧縮強度、曲げ強度、および15打フロー値の入出力関係

度や積算温度は無関係であるため、設計パラメータ A, B の二つで作成した。

まず、感度に注目すると、いずれのパラメータにおいても水準に対する値の変化が小さい。これは、入出力関係において直線の傾きがほぼ同じであることを示している。つまり、機能が平行移動することを示しており、理想機能として1次式が妥当であったと言える。

SN比については、パラメータごとに考察する。

(1) A : 水ガラスと NaOHaq の質量比

水ガラスと NaOHaq の質量比が高くなるにつれ、圧縮強度の SN 比は低下し、15 打フロー値の SN 比は増加した。圧縮強度については、NaOHaq の割合が大きくアルカリ性が強いほど出力が安定するのに対し、15 打フロー値については、水ガラスの割合が大きく粘性が増すほど、出力が安定することを示している。曲げ強度の SN 比は、水準 2 で最大値を示した。

(2) B : 練混ぜ時間

圧縮および曲げ強度においては 4 分が一番安定しており、フロー値は大きな変化はなかった。しかし、時間を長くしていくと曲げ強度の SN 比は下がるが、圧縮強度の SN 比は一旦下がった後再度上昇している。Davidovits 博士は、JCITC-155A 報告会 (2017 年 9 月 29 日) の特別

表-7 設計パラメーターの最適水準

設計パラメータ	水準	設定値
A : 水ガラス/NaOHaq(質量比)	2	2 倍
B : 練混ぜ時間	1	4 分
C : 加熱養生時の保持温度	2	75 °C
D : 加熱養生の積算温度	2	1000 °C・h

適用条件 : NaOHaq 濃度 : 6 M, フライアッシュに対する高炉スラグ微粉末の質量置換率 : 15%, 標準砂の容積割合 : 0.582 m³/m³

講演会において、ジオポリマーを製造する際、活性フィラーとアルカリ溶液を比較的に長めに練り混ぜることが肝要であると述べている。そのため、練混ぜ時間の影響については、今後より詳細な検討を実施する予定である。

(3) C : 加熱養生時の保持温度, D : 積算温度

圧縮強度の SN 比については中央の水準で最大であるが、曲げ強度の SN 比については水準とともに低下する傾向が認められる。

3.3 最適条件

本研究では、主として圧縮強度に関する SN 比が高くなる設計パラメータの水準を最適なものとした。ただし、A : 水ガラスと NaOHaq の質量比の SN 比については、圧縮強度の SN 比が最大となるのは水準 1 であるが、曲

げ強度と 15 打フロー値を考慮して水準 2 を選定した。

本研究で得られた最適な設計パラメータの組合せを表-7 に示す。また、この条件下において熊本大学にてノイズ別に打設および試験を行った結果を図-7 に示す。図中の回帰直線式は、同一入力値に対するロット a とロット b のデータを平均したものについて求めた。圧縮強度と曲げ強度に関しては、ロット間のばらつきが小さく、重相関係数の高い回帰直線式を得ることができた。15 打フロー値については、ロット間にばらつきが見られ、回帰直線式の重相関係数もやや低くなっているが、これは、今回の最適化において圧縮強度の SN 比を重視したためと考えられる。表-7 に示した設計パラメータの水準を設定し、さらに図-7 中の関係式を用い、入力値 (F/L) を 0.6~0.9 の間に設定することで、任意の強度(ただし、圧縮強度は 29.4~46.0 N/mm², 曲げ強度は 4.5~6.9 N/mm²) やフロー値 (229~148) のジオポリマーを製造することが可能となる。

4. 結論

フライアッシュベースジオポリマーの製造条件は多岐にわたることから、本研究ではタグチメソッドの動的パラメータ設計の適用を試みた。具体的には、粉体とアルカリ溶液の容積比である F/L を入力値とし、水ガラスと NaOHaq との質量比、練混ぜ時間、加熱養生時の保持温度・積算温度を設計パラメータとし、さらにフライアッシュのロットと実験機関をノイズに設定して、 F/L と出力値(圧縮強度、曲げ強度および 15 打フロー値)の関係を SN 比の大きさに基づいて最適化した。その結果、NaOHaq 濃度を 6 M、フライアッシュに対する高炉スラグ微粉末の質量置換率を 15%、標準砂の容積割合を 0.582 m³/m³ とする条件の下で、水ガラスと NaOHaq との質量比は 2、練混ぜ時間は 4 分、加熱養生時の保持温度は 75℃、積算温度は 1000℃・h のときが最適となり、入出力関係が最も安定した。上記の条件下でモルタルを作製して試験を行い、入力値 F/L が 0.6~0.9 の範囲における入出力間の関係を得た。これらの関係式を用いることで、上記 F/L の範囲内における任意の強度やフロー値に対応したジオポリマーを製造可能であることを示した。

今後、今回最適化されたジオポリマーの長期的な強度や耐久性に関するデータを蓄積するとともに、他の発電所からの JIS フライアッシュや原粉についても本手法が適用できるかどうか検証する予定である。

謝辞

本研究は、科研費・基盤研究(C) JP16K06442 を受け実施しました。また、実験実施に際し、熊本大学工学部 4 年生の山口 瑠一郎氏ならびに九州大学工学部 4 年生の浅田 純氏の協力を得ました。ここに記し謝意を表します。

参考文献

- 1) Davidovits, J.: US Patent No. 4349386 “Mineral polymers and methods of making them”, 1982.9
- 2) 日本コンクリート工学会：建設分野へのジオポリマー技術の適用に関する研究委員会報告書，2017.9
- 3) Yamaguchi, N. and Ikeda, K.: Preparation of geopolymetric materials from sewage sludge slag with special emphasis to the matrix compositions, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, Vol. 118, No. 2, pp. 107-112, Feb. 2010
- 4) Davidovits, J.: Geopolymers – Inorganic polymeric new materials, *Journal of Thermal Analysis*, Vol. 37 (8), pp. 1633-1656, Aug. 1991
- 5) セメントを使用しない低炭素型・高耐久ジオポリマーコンクリート
https://shingi.jst.go.jp/past_abst/abst/p/12/1218/kousen02.pdf (閲覧日：2018年1月14日)
- 6) 原田耕司，一宮一夫，津郷俊二，池田攻：ジオポリマーモルタルの耐久性に関する基礎的研究，*コンクリート工学年次論文集*, Vol.33, No.1, pp.1937-1942, 2011
- 7) 立林和夫：入門タグチメソッド，日科技連，2004
- 8) 岩本崇臣ほか：タグチメソッドによるフライアッシュベースジオポリマーの配合最適化，*土木学会第72回年次学術講演会講演概要集*, V-087, pp. 173-174, 2017.9
- 9) Onoue, K. and Bier, T.A.: Optimization of alkali-activated mortar utilizing ground granulated blast-furnace slag and natural pozzolan from Germany with the dynamic approach of the Taguchi method, *Construction and Building Materials*, 144, pp. 357-372, Jul. 2017
- 10) JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」, 2015.3
- 11) JIS K 1408「けい酸ナトリウム(けい酸ソーダ)」, 1966.12
- 12) JIS R 5201「セメントの物理試験方法」, 2015.3