

## ジオポリマーコンクリートにおける機械的性質の相互関係

松江工業高等専門学校 正会員 ○周藤将司  
松江工業高等専門学校専攻科 伊藤大悟, 石原孔

## 1. はじめに

ジオポリマー (GP) コンクリートを建設材料として利用するためには、機械的性質の相互関係が明らかにされている必要があると考える。GP コンクリートにおいても、相互関係に関する研究は散見される<sup>(例えば1), 2)</sup>ものの、材料や配合の違いによる相互関係の比較を行っているものが多く、実際に推定式まで求めているものは稀である。また、実験要因として材齢の変化を考慮しているものは見当たらない。

本稿では、GP コンクリートによる実験を行い、配合や試験材齢が機械的性質の相互関係に与える影響について検討を行った結果を報告する。

## 2. 実験概要

GP コンクリートの配合を表-1 に、CM コンクリートの配合を表-2 に示す。GP コンクリートの配合はBFS 置換率の違いによって3水準とした。GP コンクリートのスランブは、粘性が非常に高かったため測定不能であった。また、CM コンクリートの配合はW/Cの異なる3水準とした。

GP コンクリートでは、BFS 0%置換は蒸気養生のみで、

BFS 10, 20%置換は気中養生と蒸気養生の2種類の養生方法で供試体を作製した。気中養生は、実験室内で温湿度を管理しない状態で行った。蒸気養生は、65°Cに設定した養生槽で3時間行った。その後は試験材齢まで実験室内で気中養生を行った。CM コンクリートは、いずれの配合でも水温20°Cの水中養生とした。

本実験において配合や養生の種類は、圧縮強度50N/mm<sup>2</sup>までの普通コンクリートの範囲内でデータを幅広く取得することを目的として種々に定めた。測定も、同様の目的を達成するため、材齢3~91日の間で適宜行った。試験では、動弾性係数の測定 (JIS A 1127; 縦振動) を行った後に、同一の供試体で圧縮強度 (JIS A 1127)、静弾性係数 (JIS A 1149) の測定を行った。また、別の供試体で割裂引張強度 (JIS A 1113)、曲げ強度 (JIS A 1106) の測定を行った。なお、同一の測定に用いる供試体本数は3本としたが、曲げ強度のみ各材齢の測定に用いる供試体本数を1本とした。

## 3. 結果と考察

表-1, 表-2の右半分に、結果の一覧を示している。BFS

表-1 GP コンクリートの配合と結果一覧

| 記号  | BFS<br>置換率<br>(%) | 単体量 (kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |      |     |     |      | 養生<br>方法 | 材齢<br>(日) | $f'_c$ | $f_t$ | $f_b$ | $E_s$ | $E_d$ |     |     |     |      |
|-----|-------------------|--------------------------|------|-----|------|-----|-----|------|----------|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|------|
|     |                   | FA                       | BFS  | WG  | NaOH | W   | S   | G    |          |           |        |       |       |       |       |     |     |     |      |
| 0S  | 0                 | 460                      | 0    | 123 | 92   | 61  | 628 | 900  | 蒸気       | 11        | 5.2    | 0.7   | 2.3   | 8.9   | 7.3   |     |     |     |      |
|     |                   |                          |      |     |      |     |     |      |          |           |        |       |       |       | 91    | 9.1 | 1.2 | 3.1 | 18.6 |
| 10S | 10                | 414                      | 58   |     |      |     |     |      | 蒸気       | 11        | 24.4   | 2.9   | 3.5   | 24.1  | 23.4  |     |     |     |      |
|     |                   |                          |      |     |      |     |     |      |          | 91        | 35.9   | 3.2   | 5.5   | 31.6  | 25.7  |     |     |     |      |
| 10A |                   |                          |      |     |      |     |     |      | 気中       | 11        | 26.1   | 3.3   | 3.5   | 26.6  | 24.2  |     |     |     |      |
|     |                   |                          |      |     |      |     |     |      |          | 25        | 32.9   | 4.1   | 4.9   | 29.8  | 25.8  |     |     |     |      |
|     |                   |                          |      |     |      |     |     |      |          | 35        | 38.3   | 4.3   | 5.7   | -     | 29.8  |     |     |     |      |
|     |                   |                          |      |     |      |     |     |      |          | 49        | 45.4   | 4.5   | 5.8   | 32.4  | 32.9  |     |     |     |      |
| 20S | 蒸気                | 11                       | 40.4 |     |      |     |     |      | 3.3      | 5.3       | 27.4   | 30.9  |       |       |       |     |     |     |      |
|     |                   | 91                       | 49.7 |     |      |     |     |      | 4.1      | 6.5       | 34.2   | 31.3  |       |       |       |     |     |     |      |
| 20A | 20                | 368                      | 116  |     |      |     |     |      | 気中       | 11        | 29.8   | 3.3   | 5.2   | 29.5  | 26.4  |     |     |     |      |
|     |                   |                          |      |     |      |     |     |      |          | 25        | 38.4   | 4.1   | 6.3   | 31.9  | 31.8  |     |     |     |      |
|     |                   |                          |      | 35  | 40.0 | 4.3 | 7.8 | 31.0 |          | 35.1      |        |       |       |       |       |     |     |     |      |
|     |                   |                          |      | 49  | 47.2 | 4.5 | 8.1 | 37.4 |          | 36.4      |        |       |       |       |       |     |     |     |      |
|     |                   |                          |      | 91  | 50.8 | 4.6 | 8.8 | 39.7 |          | 37.1      |        |       |       |       |       |     |     |     |      |

FA: フライアッシュ (密度2.30g/cm<sup>3</sup>, JIS II種), BFS: 高炉スラグ微粉末 (密度2.91g/cm<sup>3</sup>, 粉末度4000, 石こうなし), WG: 水ガラス (JIS 1号), NaOH: 水酸化ナトリウム水溶液 (10mol/L), W: 地下水, S: 加工砂 (密度2.57g/cm<sup>3</sup>), G: 砕石 (密度2.78g/cm<sup>3</sup>)

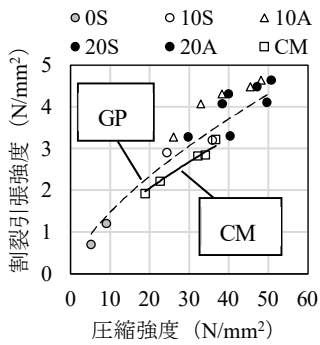
$f'_c$ : 圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>),  $f_t$ : 割裂引張強度 (N/mm<sup>2</sup>),  $f_b$ : 曲げ強度 (N/mm<sup>2</sup>),  $E_s$ : 静弾性係数 (kN/mm<sup>2</sup>),  $E_d$ : 動弾性係数 (kN/mm<sup>2</sup>)

キーワード ジオポリマー, 圧縮強度, 割裂引張強度, 曲げ強度, 静弾性係数, 動弾性係数  
連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町14-4, TEL/FAX 0852-36-5260

表-2 CM コンクリートの配合と結果一覧

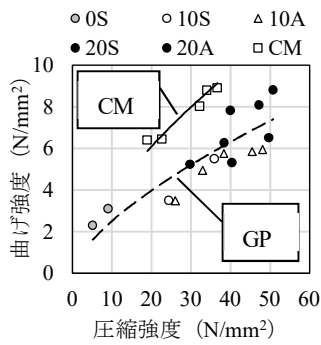
| W/C (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     | スラン プ(cm) | 養生 方法 | 材齢 (日) | f' <sub>c</sub> | f <sub>t</sub> | f <sub>b</sub> | E <sub>s</sub> | E <sub>d</sub> |
|---------|--------------------------|-----|-----|-----|-----------|-------|--------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|         | C                        | W   | S   | G   |           |       |        |                 |                |                |                |                |
| 47      | 428                      | 201 | 793 | 925 | 14.0      | 水中    | 7      | 32.2            | 2.8            | 8.0            | 24.8           | 24.8           |
|         |                          |     |     |     |           |       | 14     | 34.1            | 2.8            | 8.8            | 35.0           | 38.7           |
|         |                          |     |     |     |           |       | 28     | 36.7            | 3.2            | 8.9            | 34.7           | 39.7           |
| 68      | 290                      | 197 | 908 | 932 | 9.0       | 水中    | 7      | 18.9            | 1.9            | 6.4            | 27.6           | 29.0           |
|         |                          |     |     |     |           |       | 14     | 22.7            | 2.2            | 6.4            | 29.0           | 30.1           |
| 54      | 372                      | 201 | 817 | 948 | 9.5       | 水中    | 28     | 30.8            | -              | -              | 30.7           | -              |

C: 普通ポルトランドセメント (密度 3.14g/cm<sup>3</sup>), W: 上水道水, S: 加工砂 (密度 2.55g/cm<sup>3</sup>), G: 砕石 (密度 2.79g/cm<sup>3</sup>)



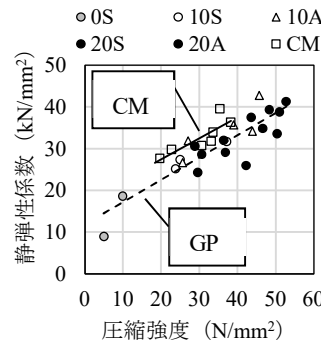
GP :  $f_t = 0.32f'_c \frac{2}{3}$  (n=16)  
 CM :  $f_t = 0.28f'_c \frac{2}{3}$  (n=5)

図-1 圧縮強度と割裂引張強度の相互関係



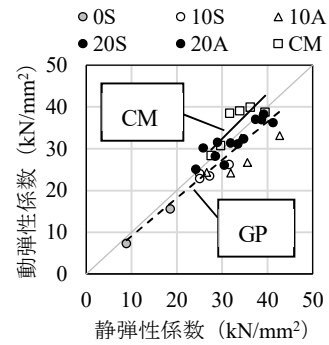
GP :  $f_b = 0.54f'_c \frac{2}{3}$  (n=16)  
 CM :  $f_b = 0.83f'_c \frac{2}{3}$  (n=5)

図-2 圧縮強度と曲げ強度の相互関係



GP :  $E_c = 0.53f'_c + 11.79$  (n=23)  
 CM :  $E_c = 0.50f'_c + 17.38$  (n=7)

図-3 圧縮強度と静弾性係数の相互関係



GP :  $E_d = 0.91E_c$  (n=23)  
 CM :  $E_d = 1.08E_c$  (n=7)

図-4 静弾性係数と動弾性係数の相互関係

を 10, 20%置換した GP コンクリートの結果から、材齢 91 日では蒸気養生よりも気中養生の方が高い強度を示すことが確認された。蒸気養生は、初期の強度発現においては有効であるものの、長期材齢では気中養生での強度発現に劣ることが分かる。

図-1 から図-4 に各々の相互関係を示す。図-3, 図-4 については、各々の供試体での比較が可能であることから、平均値ではなく、各供試体のデータをプロットしている。また、図の下に近似式を示す。ここでは、配合や養生方法の違いによって線形が異なるとは言えないと判断し、GP コンクリートの全てのデータから一つの近似式を求めている。本実験の結果より、GP コンクリートの相互関係は、CM コンクリートとは傾きが異なるものの、コンクリート標準示方書で示されている推定式と同様な形でおおよそ推定できることが確認された。これらの結果は概ね既往の研究<sup>1), 2)</sup>で触れられている結果とも一致している。

本実験においては、試験材齢を種々に設けているが、材齢の変化によって、データのバラツキが大きくなるような傾向は確認されなかった。したがって、材齢が機械的性質の相互関係に及ぼす影響は、考慮が必要になるほどのものではないことが確認された。一方で、GP コンクリートでは、配

合や養生方法によっては、長期材齢で圧縮強度が低下する研究事例も存在する<sup>3)</sup>。そのような場合に、機械的性質の相互関係に変化が生じる可能性も考えられるため、今後、様々な実験条件での実験を行うことが肝要であると考えられる。

4. まとめ

本報では、本実験の範疇で材齢 91 日までの範囲においては、機械的性質の相互関係の変化は考慮する必要がないことが確認された。今後は、さらに材齢が長期になった場合などの検討を行う。また、材料の種類などによる影響も検討要因に追加して、さらに検討を進める予定である。

参考文献

- 1) ポンマハーサイ パラミ, 伊藤彰利, 畑中重光: 圧縮強度と骨材量を変化させたジオポリマー硬化体のヤング係数に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.1949-1954, 2019
- 2) 南 浩輔, 松林 卓, 船橋政司: ジオポリマー硬化体の諸物性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1957-1962, 2013
- 3) 八谷 英佑, 近藤 文義: 初期加熱および養生条件の違いがジオポリマー硬化体の圧縮強度に及ぼす影響, 農業農村工学会論文集, Vol.87, No.1, pp. II\_39-II\_45, 2019