

ジオポリマーモルタルの機械的性質に関する研究 Study on the mechanical properties of geopolymers mortar

○伊藤 大悟*, 周藤 将司**, 石原 孔*

ITO Daigo, SUTO Masashi and ISHIHARA Kou

1. はじめに

近年, セメントを使用しない新たな建設材料としてジオポリマー(GP)が注目されている. GP は, 活性フィラーとアルカリ溶液の縮重合反応によって生成される, セメントを使用しない硬化体である¹⁾. GP を建設材料として使用するためには, 設計段階で GP の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.

セメントコンクリートでは, 機械的性質の相互関係が明らかになっており, 圧縮強度から引張強度などを推定するための式が示方書に明示されている²⁾. GP コンクリートの場合にも, 今後, 同様な考え方で設計が行われると予想される. しかし, GP の機械的性質に関する研究事例は少なく^例 (例えば³⁾), 相互関係については明らかになっていない. そこで本研究では, GP 硬化体の機械的性質に関する指標の相互関係を明らかにすることを目的とする. ここでは, 基礎的なデータを得るために行った GP モルタルの試験結果について示す.

2. 研究概要

GP モルタルの配合を Table 1 に示す. 使用材料は, 活性フィラーがフライアッシュ (FA), 高炉スラグ (BFS) であり, アルカリ溶液が水ガラス (WG) と NaOH と上水道水 (W) の混合液である. 細骨材は絶乾状態の加工砂 (S) である. セメントモルタルの配合を Table 2 に示す. セメントには普通ポルトランドセメント (C) を使用し, W と S は GP モルタルと同じ材料を使用する. 配合 1 は, GP モルタルの流動性と同程度となるように W/C を調整して決定した. 配合 2 は低強度の場合の結果を得るため, 配合 1 の単位水量を変化させずに W/C を増大させたものとした.

試験概要を Table 3 に示す. 各配合のフロー値

Table 1 GP モルタルの配合(単位: g/L)
Mix proportion of geopolymers mortar

BFS 置換率 (%)	FA	BFS	WG	NaOH	W	S
0	552	0	155	52	141	1223
10	497	70				
20	442	140				

Table 2 セメントモルタルの配合(単位: g/L)
Mix proportion of cement mortar

	W/C	C	W	S
配合 1	65	586	382	1465
配合 2	71	536	382	1528

Table 3 試験概要
Examination outline

配合	フロー (mm)	養生	材齢 (日)
GP モルタル BFS0%	279	気中養生 蒸気養生	3,7,14, 28,91
GP モルタル BFS10%	253		
GP モルタル BFS20%	247		
セメントモルタル 配合 1	244	標準養生	3,7,14, 28,91
		気中養生	3
セメントモルタル 配合 2	231	標準養生	3

は, 表に示すとおり 250 mm 前後の値を示した. 供試体は $\phi 50 \times 100$ mm の円柱供試体とした. 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, 60°C, 95%RH に設定した恒温恒湿器内で 24 時間保管し, その後は試験材齢まで実験室内で気中養生を行った. 所定の材齢に達した時点で圧縮強度, 割裂引張強度, 静弾性係数, 動弾性係数の測定を行った. なお, 同一の測定に用いる供試体本数は 3 本であり, 圧縮強度, 静弾性係数, 動弾性係数は同一の供試体で測定した.

3. 結果と考察

圧縮強度と割裂引張強度の関係を Fig.1 に示す.

*松江工業高等専門学校専攻科 生産・建設システム工学専攻, Advanced Production and Construction Systems, National Institute of Technology, Matsue College, **松江工業高等専門学校 環境・建設工学科, Department of Civil and Environmental Engineering, National Institute of Technology, Matsue College

キーワード: ジオポリマー, 圧縮強度, 割裂引張強度, 静弾性係数, 動弾性係数

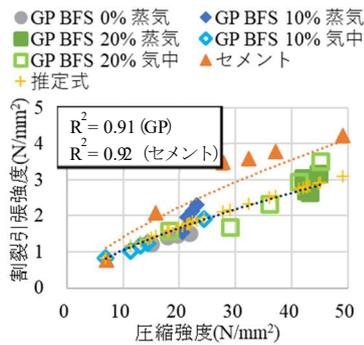


Fig. 1 圧縮強度と割裂引張強度の関係
Relationship between compressive strength and split tensile strength

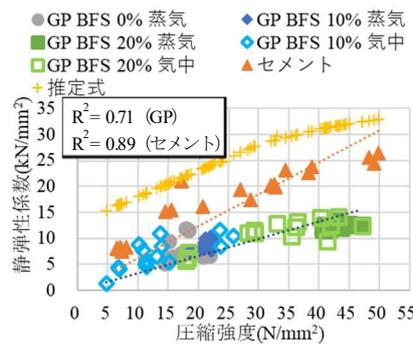


Fig. 2 圧縮強度と静弾性係数の関係
Relationship between compressive strength and static elastic modulus

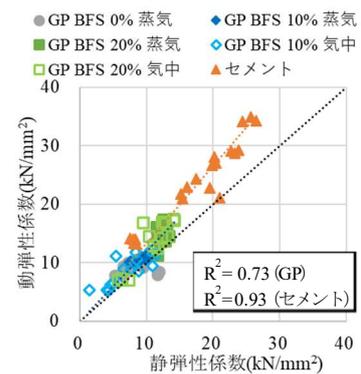


Fig. 3 動弾性係数と静弾性係数の関係
Relationship between dynamic elastic modulus and static elastic modulus

圧縮強度試験と割裂引張強度試験は、別の供試体で実施していたため、Fig.1のデータは各測定の本数の平均値で示している。式(1)にGPモルタル、式(2)にセメントモルタルの近似式を示す。

$$f_t = 0.23f'_c \frac{2}{3} \quad (n=24) \quad (1)$$

$$f_t = 0.30f'_c \frac{3}{3} \quad (n=7) \quad (2)$$

ここに、 f_t ：割裂引張強度 (N/mm²)、 f'_c ：圧縮強度 (N/mm²) である。

同程度の流動性を有するモルタルにおいて、GPモルタルはセメントモルタルと比較して、圧縮強度に対する割裂引張強度が低くなる傾向を示した。ここで、セメントモルタルの圧縮強度から示方書の推定式²⁾を用いて求めた割裂引張強度は、実測値より低い値を示した。この要因としては、粗骨材の有無が影響していると考えられる。

圧縮強度と静弾性係数の関係を Fig.2 に示す。式(3)にGPモルタル、式(4)にセメントモルタルの近似式を示す。

$$E_c = 0.32f'_c \quad (n=72) \quad (3)$$

$$E_c = 0.62f'_c \quad (n=21) \quad (4)$$

ここに、 E_c ：静弾性係数 (kN/mm²) である。

GPモルタルは、セメントモルタルと比較して圧縮強度に対する静弾性係数は低くなる傾向が確認された。しかし、値のバラつきも多く存在しているため、今後さらなる検討が必要である。ここで、セメントモルタルの圧縮強度から示方書の推定式⁴⁾を用いて求めた静弾性係数は、実測値よりも大きくなった。この要因も、粗骨材の有無によるものと考えられる。

動弾性係数と静弾性係数の結果を Fig.3 に示す。式(5)にGPモルタル、式(6)にセメントモルタルの近似式を示す。

タルの近似式を示す。

$$E_D = 1.19E_c \quad (n=72) \quad (5)$$

$$E_D = 1.33E_c \quad (n=21) \quad (6)$$

ここに、 E_D ：動弾性係数 (kN/mm²) である。

GPモルタルはセメントモルタルと比較して、静弾性係数に対する動弾性係数が低くなる傾向を示した。一般にセメントコンクリートにおいては、動弾性係数は静弾性係数よりも15%程度大きくなると言われている。モルタルの試験結果からは、GPコンクリートの動弾性係数は静弾性係数と同等程度の値を示すことが予測される。

また、本試験では、全体を通して、GPモルタルにおけるBFSの置換率や養生方法に関係なく、同一の線形で示すことが可能であった。このことより、溶液と粉体の比が一定であれば、機械的性質の相互関係は、一つの線形で示される可能性が示唆された。

4. まとめ

本研究では、GPモルタルとセメントモルタルの機械的性質に関する比較を行った。今後は、コンクリートで測定を行い、GPコンクリートとセメントコンクリートの相違点を確認する予定である。

参考文献

- 1) 一宮一夫ら：ジオポリマーモルタルの配合ならびに製造法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, pp575-580(2011)
- 2) 公益社団法人土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書 [設計編]、p.39(2018)
- 3) Palamy Phommahaxay et al, Fundamental study on compression characteristics of geopolymer, Conference Proceedings of ConMat20 6th International Conference on Construction Materials, pp.337-346(2020)
- 4) 公益社団法人土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書 [設計編]、p.43(2018)