

ジオポリマーコンクリートの強度および耐久設計手法の提案

建築学専攻
材料施工研究

MJ22008 ^{いいだ}飯田 ^{よしまさ}雄大
指導教員 濱崎 仁

1. 研究の背景と目的

ジオポリマー（以下、GP）は、セメントを使用しない環境配慮型の建設材料であり、実用化に向けて研究が進められている。しかし、セメントコンクリートのような調合計算式や強度および耐久設計手法が一般化されていないため実用化には至っていない。

そこで本研究では、GP コンクリートについての各種試験により物性や耐久性の評価を行うと共に、得られた結果より、強度および耐久設計手法の提案を行う。

2. 実験概要

2-1. 使用材料の選定

使用材料を表-1 に示す。GP は活性フィラー（以下、P）とアルカリ溶液（以下、AS）より構成される。近年の研究において GP の使用材料が多様化しているが、本研究では一宮ら¹⁾の研究を参考に GP において最も一般的な材料を選定した。

2-2. 強度および耐久設計の基準となる指標の選定

GP の性状を変化させる指標は、アルカリ溶液粉体比（以下、AS/P）や BFS 置換率（以下、BFS/P）、アルカリ溶液濃度（以下、A/W）等がある。本研究では、これらの指標の中でも GP の性状に大きく影響を与えると考えられる指標として BFS/P を選定し、水準を変動させた。作製した GP コンクリートの水準を表-2 に示す。比較対象は、GP0 および普通ポルトランドセメントを使用した W/C=63.4%のコンクリート（以下、OPC-C）とした。

2-3. 実施試験項目

本研究では、強度および耐久設計手法の提案を目的として、GP コンクリートに対し圧縮強度試験、促進中性化試験、塩分浸透試験および鉄筋腐食試験を実施した。

本稿では、圧縮強度試験と促進中性化試験について報告する。圧縮強度試験は JIS A 1108、促進中性化試験は JIS A 1153 を参考に実施した。

3. 実験結果および考察

3-1. BFS 置換率と強度の関係

各材齢時点における圧縮強度を図-1 に示す。BFS/P が大きいほど圧縮強度は大きくなる傾向にあるが、GP コンクリートの多くの水準において、長期材齢で強度低下が生じている。

強度低下の理由としては、骨材周辺のマトリクス部分に乾燥に伴う微細なクラックが生じていることなどが考えられるが、調合設計の際には、これらの強度低下を

表-1 使用材料

項目	材料名	備考
P	フライアッシュ	密度:2.31g/cm ³
	高炉スラグ微粉末 (BFS)	密度:2.91g/cm ³
AS	希釈水ガラス	比重:1.54 NaOH:19.4% SiO ₂ :31.4% H ₂ O:49.2%
	水酸化ナトリウム水溶液	NaOH:35.0% H ₂ O:65.0%
	水	上水道水 密度:1.00g/cm ³

※希釈水ガラスは純水により事前に 1.5 倍の体積希釈したもの

表-2 GP コンクリート試験体水準

記号	水準		
	BFS/P (Vol%)	AS/P (mass%)	A/W (モル比)
GP1	50	55	0.150
GP2	40		
GP3	30		
GP0	0		

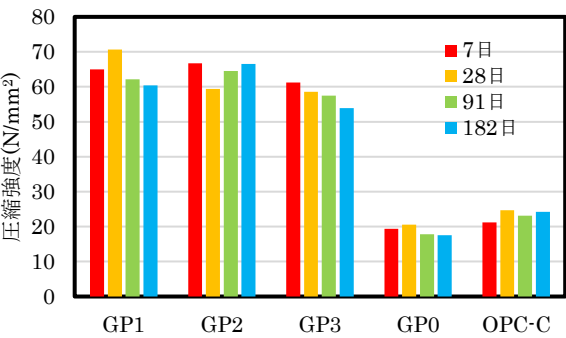


図-1 各材齢時点の圧縮強度の比較

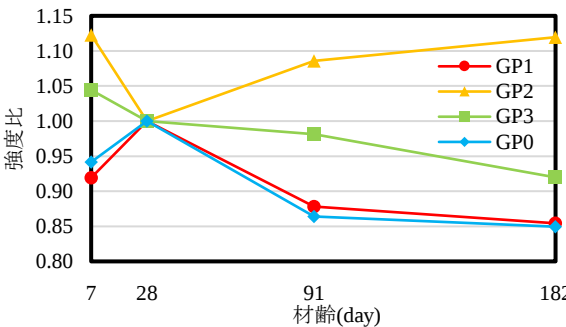


図-2 各材齢時点の強度比

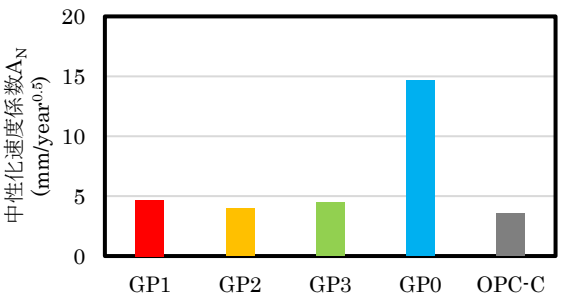


図-3 中性化速度係数の比較

考慮する必要がある。

そこで、図-2 に 28 日圧縮強度（以下、 F_{28} ）を基準とした各材齢時点の圧縮強度の強度比を示す。これにより、本研究の範囲では、GP コンクリートの強度設計において、最大 15%の強度低下を見込むこととした。

3-2. BFS 置換率と中性化抵抗性の関係

図-3 に促進中性化試験より得られた促進中性化速度係数を実環境下（ CO_2 濃度:0.04%）における中性化速度係数（以下、 A_N ）に換算し比較したものを示す。GP コンクリートは BFS/P を 30%以上とすれば、OPC-C と同程度の中性化抵抗性を得ることが可能である。

4. 強度および耐久設計手法の提案

4-1. 強度および耐久設計の前提

GP は若材齢の段階から強度発現があり、早強ポルトランドセメントの強度発現性状に類似している。したがって、本研究における強度および耐久設計手法の提案の前提として、設計基準強度（以下、 F_d ）の最大値を早強ポルトランドセメントの 36N/mm^2 、構造体強度補正值（以下、 $_{28}S_{91}$ ）の最大値を 6N/mm^2 とした。

4-2. 強度設計手法の提案

図-4 に BFS/P と F_{28} の関係を示す。GP コンクリートにおける BFS 置換率と F_{28} の関係は一次式で表すことができる。また、 F_{28} の標準偏差の最大値は、 60N/mm^2 の強度域で 7.15 であり、一般的なセメントコンクリートと比較して大きくなる傾向にあった。したがって、GP コンクリートでは、標準偏差 $\sigma = 0.12F_r$ とすることにより、強度のばらつきを考慮した。

これらの結果を踏まえた GP コンクリートの強度設計フローを図-5 に示す。

4-3. 耐久設計手法の提案

図-6 に F_{28} と A_N の関係を示す。なお、図中の NC は井出ら²⁾の研究におけるセメントコンクリートの値である。この図より、GP コンクリートの F_{28} と A_N の関係はセメントコンクリートと同様の関数上に表され、これに基づいた耐久設計が可能である。

図-5 および図-6 の結果を踏まえた GP コンクリートの耐久設計フローを図-7 に示す。

5. まとめ

- (1) GP コンクリートは長期材齢において、 F_{28} から最大 15%の強度低下が生じるため、強度設計をする際にはこれを考慮する必要がある。
- (2) GP コンクリートの A_N は、BFS/P が 30~50%の範囲では大きな差異はなく、OPC-C と同程度の中性化抵抗性を得ることが可能である。
- (3) GP コンクリートは、設計基準強度 36N/mm^2 の範囲において、早強ポルトランドセメントと同様に強度設計を行うことが可能である。
- (4) GP コンクリートは、計画供用期間の級が標準（65 年程度）の範囲において、コンクリートと同様の耐久設計を行うことが可能である。

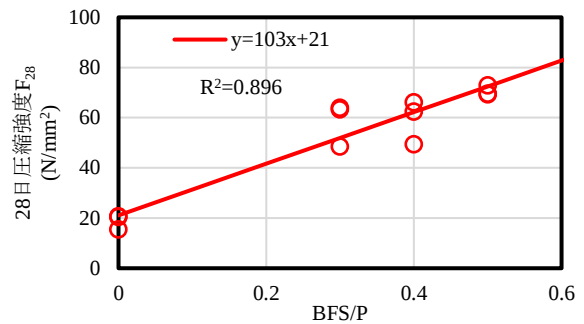


図-4 BFS/P と 28 日圧縮強度 F_{28} の関係

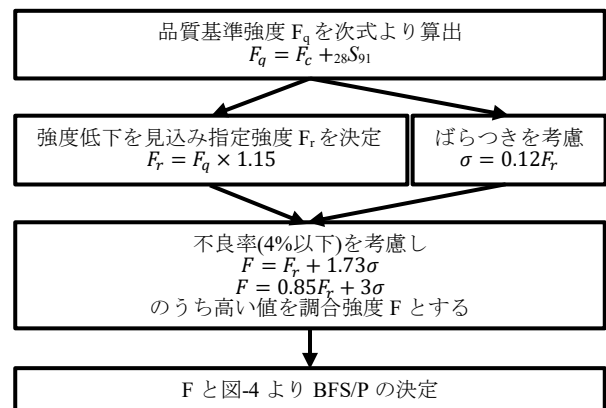


図-5 GP コンクリートの強度設計フロー

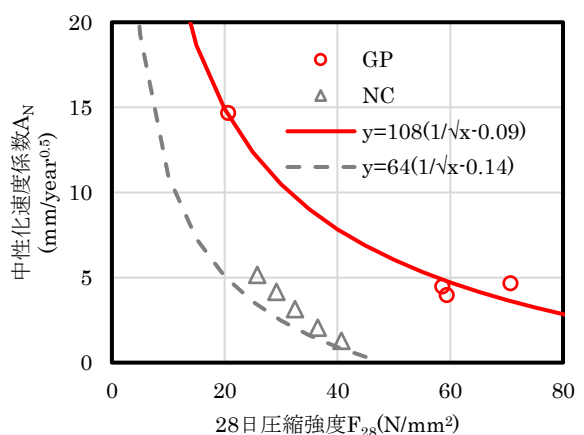


図-6 28 日圧縮強度 F_{28} と中性化速度係数 A_N の関係

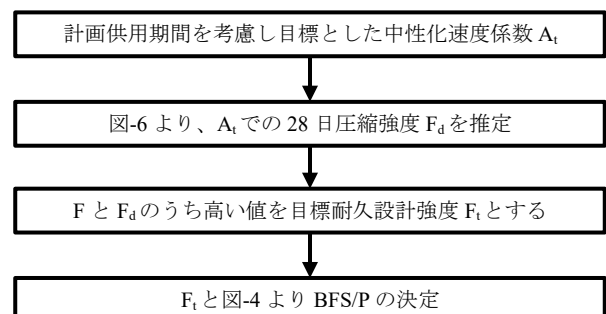


図-7 GP コンクリートの耐久設計フロー

参考文献

- 1) 一宮一夫, 山本理得, 池田攻: ジオポリマー中の鉄筋腐食性能評価に関する基礎実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.1084-1089, 2022.7
- 2) 井出朋孝, 濱崎仁ほか: 環境区分ごとのコンクリートの中性化速度予測に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.509-514, 2020.7