

繰返し高応力を受けるジオポリマーコンクリートの力学特性

電力中央研究所	正会員	○柴山	淳
電力中央研究所	正会員	菊地	道生
電力中央研究所	正会員	山本	武志

1. はじめに

ジオポリマーコンクリート(以下, GPC)の適用範囲を構造部材に拡大するには, 力学特性の把握およびその評価方法の確立が必要である。GPC の疲労抵抗性は, これまで疲労に対する検討が必要となるような適用事例が少ないこともあり, 知見が少ない[1]。適用範囲を構造部材に拡大することを目指すにあたり, 長周期地震動時に多数回の高応力繰返し荷重が作用することを想定し, 高応力を繰返し受ける GPC の疲労抵抗性に対する実験的な検討が必要である。本報では, GPC の圧縮に対する疲労特性を明らかにするためシリンダー試験体に対して行った高応力低サイクル疲労試験について報告する。

2. 実験概要

GPC の配合を表 1 に, 材料試験結果を表 2 に示す。本研究で用いた GPC は粉体としてフライアッシュ, 高炉スラグ, シリカヒュームの 3 種類を用いた。アルカリ刺激剤には水酸化ナトリウム水溶液のみを用いており, 水ガラスは使用していない。また, 試験体には蒸気養生を施している。実験には設計目標強度 51MPa, 直径 100mm 高さ 200mm のシリンダー試験体を用いた。

載荷装置を図 1 に示す。載荷波形は sin 波とし, 載荷速度は 0.25Hz とした。疲労試験の下限応力(S_{min})および上限(S_{max})は, 表 2 に示した材料強度試験結果を基準として設定した。下限応力比は 0.05, 上限応力比を 0.7 に設定した。繰返し回数を 1000 回とし, 1000 回繰返し圧縮力を加えたのち, 単調圧縮載荷により試験体を破壊させた。実験における計測項目は, 荷重およびシリンダー試験体の縦および横方向ひずみである。荷重はロードセルを用いて, 試験体のひずみは標点距離 60mm のコンクリート用ひずみゲージを用いて計測した。なお, 本実験の条件は, 杉田[2]が行った本実験と同程度の圧縮強度を有するセメントコンクリート(以下, OPCC)に対する疲労試験と同様であり, 本報中の OPCC の実験結果は杉田の実験結果である。

3. 実験結果

実験結果概要を表 3 に, 応力-ひずみ関係の一例を図 2 に示す。表 3 の最大応力の列の括弧の値は, 繰返し載荷後に行った単調載荷における最大応力を, 表 2 の材料試験結果で除した値である。図 2 の破線は材料強度試験の結果を用いて Popovics Model[3]により算出したものである。本研究では, 圧縮強度の 0.7 倍の圧縮応力を 1000 回繰返し載荷したが, その後の単調載荷における最大圧縮応力, すなわち残存圧縮強度は材料試験結果と同等であった。また, GPC の最大応力時の縦ひずみ, 横方向ひずみおよび体積ひずみも単調載荷の結果とほぼ同じ値であることが図 2 から読み取れる。これらの結果は OPCC でも同様の傾向があることを杉田が報告している。

図 3 に応力-縦ひずみ関係の一例を示す。圧縮強度の 0.7 倍の圧縮力を加えた時の縦ひずみの値は常に GPC の方が大きい。これは, GPC の弾性係数が OPCC より低いことに起因する。また, 単調載荷を行う前の縦ひずみの値も GPC が OPCC より高い。しかしながら, 単調載荷を行う直前のサイクルの下限応力が加えられた時の縦ひずみの値は GPC が OPCC より低い。つまり, GPC は OPCC に比べて繰返し載荷を受けた場合の残留ひずみが小さい。実験における上限応力が加えられた際のひずみ増分(ΔS_{max}), 下限応力が加えられた際のひずみ増分(ΔS_{min}), ひずみ残留率($\Delta S_{min} / \Delta S_{max}$)を表 4 に示す。GPC の ΔS_{max} は OPCC と同程度であるのに対して, ΔS_{min} は小さい。よって, ひずみ残留率が小さく, OPCC では約 8 割程度であるのに対して, GPC では

キーワード ジオポリマーコンクリート, フライアッシュ, 高応力低サイクル疲労

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財)電力中央研究所 地球工学研究所 TEL 04-7182-1181

2.5 割程度であった。この結果は、骨材量など配合の影響を受けると考えられるため今後データの充実を図る必要があるが、GPC は OPCC よりも残留変形が小さい可能性があることを示唆している。

4. まとめ

圧縮強度の 0.7 倍の圧縮応力を 1000 回繰返し受けたあとの単調載荷における GPC の圧縮強度、最大圧縮強度時の縦ひずみ、横ひずみおよび体積ひずみは材料強度を調べた単調載荷試験の結果と同等であり、これらの結果は OPCC と同様であった。しかしながら、縦ひずみの残留率は OPCC と比して小さいため、GPC は繰返し圧縮力を受けても残留変形が OPCC より小さくなる可能性があることを明らかにした。

謝辞: 本研究は、環境省の CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業の一環として実施したものです。また、比較対象とした杉田氏による OPCC の実験結果は、京都大学大学院工学研究科建築学専攻建築構法学講座の西山峰広先生にご提供頂きました。ここに記して感謝の意を表す次第です。

参考文献

[1] 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 年 9 月。
[2] 杉田ようこ：低サイクル疲労による PC 部材の損傷と終局時耐力，京都大学大学院工学研究科建築学専攻修士論文，2013 年 3 月。
[3] S.Popovics：A Numerical Approach to the Complete Stress - Strain Curve of Concrete, Cement and Concrete Research, Vol.3, pp.583-599, 1973.

表 1 配合表

W/P	s/a	粉体	W	NaOH	S	G
%	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
30	44	576	174	76	668	863

表 2 材料試験結果

	圧縮強度	弾性係数	最大応力時 縦ひずみ
	MPa	GPa	%
GPC	47.0	21.1	0.31
OPCC	50.5	31.4	0.28

表 3 実験結果概要

種類	試験体名	最大応力	最大応力時の縦ひずみ
GPC	F51-9	46.5MPa (0.99)	0.29%
	F51-10	47.4MPa (1.01)	0.32%
	A07-1	51.6MPa (1.02)	0.29%
OPCC	A07-2	50.0MPa (0.99)	0.27%
	A07-3	52.0MPa (1.03)	0.26%

表 4 ひずみ増分とひずみ残留率

種類	試験体名	ΔS_{max}	ΔS_{min}	$\Delta S_{min} / \Delta S_{max}$
		%	%	%
GPC	F51-9	0.047	0.011	24.1
	F51-10	0.064	0.017	26.4
	A07-1	0.050	0.042	83.3
OPCC	A07-2	0.060	0.048	79.2
	A07-3	0.052	0.043	82.5

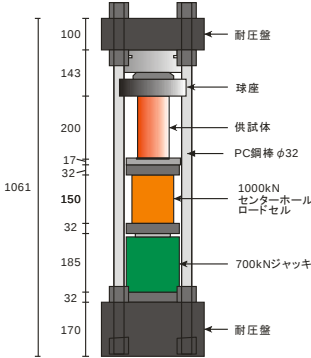


図 1 載荷装置

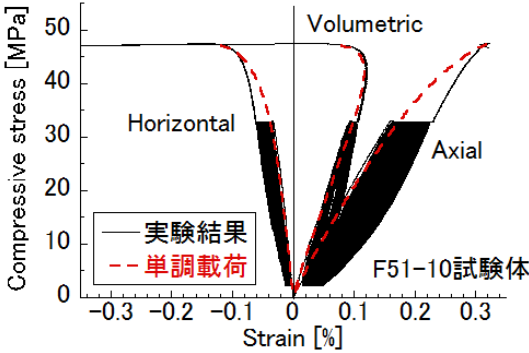


図 2 応力-ひずみ関係

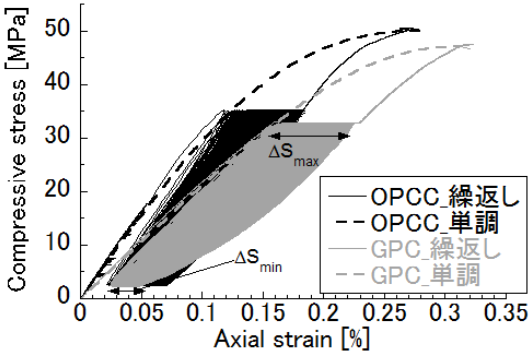


図 3 応力-縦ひずみ関係