

第5部門

粉体アルカリ活性化材を用いた鉄筋 GPC 梁における曲げ挙動に関する検討

京都大学大学院 学生員 ○山崎 一真
京都大学大学院 正会員 佐藤 顕彦

京都大学大学院 正会員 安 琳
京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

1. はじめに

地球温暖化の主因である CO₂排出削減のため、排出量の多いセメントに代わる建設材料としてジオポリマーコンクリート (GPC) が注目されている。中でも本研究では、高温養生や液体のアルカリ活性化剤を用いず、粉体のメタケイ酸ナトリウム九水和物(SS)のみを使用し、常温養生で製造可能な GPC に着目した。これを用いた鉄筋 GPC 梁を対象に、曲げ耐力・せん断耐力・ひび割れ進展・破壊挙動といった力学的性能を評価し、従来の RC 梁との比較を通じて、鉄筋 GPC 梁の構造的特性や設計上の留意点を明らかにする。

2. 使用材料, 配合, 供試体及び実験方法

2.1. 使用材料および配合

本実験では、GPC の活性フィラーに、フライアッシュ II 種(FA)と高炉スラグ微粉末 4000(BFS)を併用した。本実験で使用した GPC の配合パラメータは、総水量 156.8g, BFS 置換率 60%, アルカリ/水比 8%, 水/バインダー比 40%, 細骨材比 45%とした。一方、普通セメントコンクリート(OPC)は水/セメント比 50%, 細骨材比 45%とし、GPC と同程度の強度となるように配合を設計した。表 1, 表 2 に GPC, OPC の配合を示す。なお、W は水、C は早強ポルトランドセメント、S は細骨材、G は粗骨材を示している。

表 1 GPC の配合 (g/L)

W-(S*1.02-S)	SS	FA	BFS	S	G
9.93	7.89	1.57	23.5	83.1	98.8

表 2 普通 OPC の配合 (g/L)

W-(S*1.02-S)	C	S	G
14.7	33.4	83.3	102.0

2.2. 供試体

本研究では、幅 100mm, 高さ 200mm, 長さ 1600mm の長方形断面の梁供試体を GPC 4 体 (G-B-1,2,G-S-1,2), OPC 2 体 (C-B, C-S) 作製した。図 1, 図 2 に配筋図を示す。全ての供試体において、主鉄筋は D13 を 2 本

下段に配筋した。せん断補強筋 D6 については、G-B-1,2・O-B は曲げ破壊を想定し、100mm 間隔で 15 本配筋した。一方、G-S-1,2・O-S はせん断破壊を想定し、せん断補強筋 D6 は支点部と載荷点部にのみ 3 本ずつ配筋した。全供試体は同一条件で練り混ぜ、常温で封緘養生し、材齢 28 日で試験を実施した。

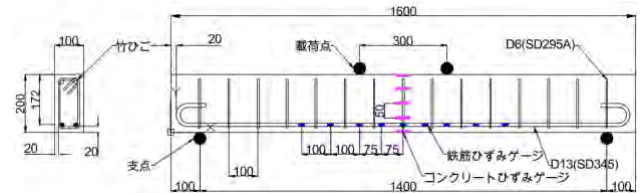


図 1 曲げ破壊試験用供試体配筋図

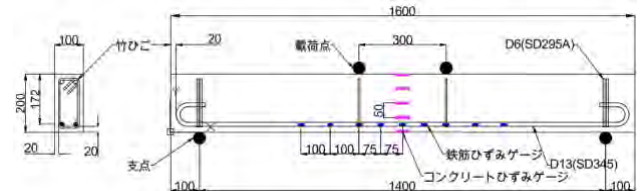


図 2 せん断破壊試験用供試体配筋図

2.3. 実験方法

本研究における載荷方法は、等曲げモーメント区間の長さを 300mm, 支点間距離を 1400mm とし、4 点の単調曲げ載荷を行った。また、最大荷重に達するまで荷重制御により載荷試験を実施した。荷重はロードセルを使用し、データロガーを介して測定した。

3. 実験結果

3.1. 材料試験

本研究では、GPC および OPC について、JIS A 1108 による圧縮強度試験 (各 4 体) と JIS A 1113 による割裂引張強度試験 (各 2 体) を実施した。表 4 に材料試験の結果を示す。平均圧縮強度 σ_c は GPC が 43.03MPa, OPC は 50.69MPa であり、配合は同程度の強度を想定して設計したものの、OPC の方が圧縮強度は 7~8MPa 高かった。なお、GPC と OPC の σ_c の変動係数はそれぞれ 0.016, 0.037 であり、 σ_t の変動係数はそれぞれ 0.169, 0.144 であった。一方で、静弾性係数 E_c およびスラン

プ値Sは両者で同程度であった。

表3 材料試験の結果

	σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c/σ_t	E_c (GPa)	S (cm)
GPC	43.03	3.43	0.080	37.2	2.4
OPC	50.69	4.22	0.083	39.9	2.5

3.2. 実験値と計算値の比較 (曲げ破壊試験)

ひび割れ発生強度 P_{cr} の計算値は、梁の下縁応力が σ_t に達した時の強度とし、主鉄筋降伏強度 P_y の計算値は、主鉄筋降伏荷重時に計測した中立軸の位置をもとに、平面保持の仮定のもと算出し、最大強度 P_{max} の計算値は、梁の圧縮縁応力が σ_c となるとき強度とし、等価応力ブロック法を用いて算出した。

曲げ破壊試験の実験値と計算値を表4に示す。 P_{cr} に関しては、GPCは実験値と計算値の乖離がより大きかった。これは、計算値の算出に用いた σ_t のばらつきにより、本来よりも小さい値の計算値が得られたことや、ひび割れを目視で確認しているため、実験値が本来より大きく観測されたことが理由として挙げられる。本研究では、GPC、OPCともに実験値と計算値の比が1以上であるため、今回の算出方法で概ね評価可能であることがわかる。 P_y に関しては、G-B-2において実験値が計算値をわずかに下回ったものの、実験値と計算値の比がおよそ1.0~1.1の範囲であり、今回の計算値の算出方法で概ね評価可能であることがわかる。 P_{max} に関しては、実験値と計算値の比が1.1~1.2の範囲であり、今回の計算値の算出方法で概ね評価可能であることがわかる。

表4 実験値と計算値の比較

	P_{cr} (MPa)		
	計算	実験	比
G-B-1	4.16	5.97	1.44
G-B-2		5.26	1.26
C-B	5.12	5.41	1.06
	P_y (MPa)		
	計算	実験	比
G-B-1	22.5	24.0	1.07
G-B-2	23.0	22.5	0.98
C-B	23.3	23.4	1.00
P_{max} (MPa)			

	計算	実験	比
G-B-1	23.6	27.2	1.15
G-B-2		26.4	1.12
C-B	23.9	28.4	1.19

3.3. 曲げ挙動の比較 (ひび割れ観察)

図3に、両梁の主鉄筋降伏時のひび割れ性状を示す。図3では、各供試体で両側面のうち、ひび割れ本数の多い側面を示している。両梁のひび割れ本数や主鉄筋降伏時の最大ひび割れ幅(いずれも0.2mm)に大きな差は見られなかった。今回の実験で使用したGPCはOPCと比較して σ_c, σ_t が小さいが、鉄筋GPC梁と鉄筋OPC梁でひび割れ性状に大きな差がなかったことから、GPCはOPCと比較して主鉄筋との付着性能が高くひび割れ分散性に優れる傾向があるといえる。先行研究¹⁾においても鉄筋GPC梁はひび割れ分散性に優れることが示されており、本研究の結果とも一致する。また、いずれの供試体もひび割れ幅は平成29年制定コンクリート標準示方書²⁾の限界値0.3mmを下回っていた。



図3 各供試体のひび割れ(順に G-B-1 B面, G-B-2 B面, C-B A面)

4. まとめ

本実験で作製した鉄筋 GPC 梁は、現行の鉄筋 OPC 梁の設計式を用いて概ね評価可能であることがわかった。本試験における鉄筋 GPC 梁と鉄筋 OPC 梁は、ひび割れ性状が概ね等しく、今回の実験で使用した GPC は OPC と比較して σ_c, σ_t が小さいことを考慮すると、GPC は OPC と比較して主鉄筋との付着性能が高くひび割れ分散性に優れる傾向があることがわかった。

5. 参考文献

- 1) 佐川康貴, 田周, 合田寛基, 大西俊輔: “ジオポリマーコンクリートはりの曲げ耐荷性状における基礎的研究”, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.2095-2100, 2017.
- 2) (社)土木学会:平成29年制定コンクリート標準示方書[設計編], 2018.