

ジオポリマーコンクリートを用いた鉄筋コンクリートはりの曲げ挙動

前田建設工業株式会社 正会員 ○松林 卓 正会員 南 浩輔
 梶田 秀幸 正会員 舟橋 政司

1. はじめに

ジオポリマー法による硬化体は、石炭灰や高炉スラグなどの産業副産物を原材料として大量に使用でき、一般的なコンクリートと比較して 80%もの CO₂ を削減¹⁾することが可能な材料として注目されている。ジオポリマー（以下、GP と記す）硬化体の構造利用については、基礎的な検討が試みられているが²⁾、小型はりの曲げ試験が行われている程度であり、データは少ない。本研究では、比較的大型の RC はりを用いた曲げ載荷試験を行い、一般的なセメントコンクリートとの曲げ挙動の相違について検討を行った。

2. 実験の概要

表 1 実験ケースおよび実験結果

No.	試験体タイプ	コンクリート種類	コンクリート物性値			実験結果		
			圧縮強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	弾性係数 kN/mm ²	最大荷重 kN	終局変位 mm	破壊形式
1	曲げ	セメントコンクリート	48.9	3.91	32.6	125.3	60.1	曲げ引張
2	破壊型	GP コンクリート	47.7	3.42	24.1	130.7	51.0	曲げ引張
3	せん断	セメントコンクリート	47.5	4.07	33.2	164.5	6.7	斜め引張
4	破壊型	GP コンクリート	47.3	3.63	23.6	270.5	18.3	せん断圧縮

実験ケースを表 1 に示す。実験は破壊モードの異なる 2 種類のはり（曲げ破壊型、せん断破壊型）について行うこととし、コンクリートの種類によ

る挙動の相違を比較した。図 1 に試験体形状および寸法を示す。両コンクリートは、圧縮強度が同等となるように配合を設定した。コンクリートの物性値を表 1 に、配合を表 2 に示す。なお、粗骨材の噛み合わせの相違がせん断挙動に影響しないように粗骨材量を一定とした。鉄筋は図 1 に示した通りであり、D13, D19, D25, D41 の降伏点はそれぞれ 400, 379, 371, 525N/mm²であった。荷重は 600mm の等曲げ区間を設けた 2 点単調載荷とした。計測は、荷重 P, 支間中央における鉛直変位 δ , 支間中央部の主鉄筋ひずみ ϵ_s , はり下面におけるひび割れ幅 w とした。なお、 w は 100mm 間隔で設置したパイ型変位計による計測値をひび割れ幅と考えた。

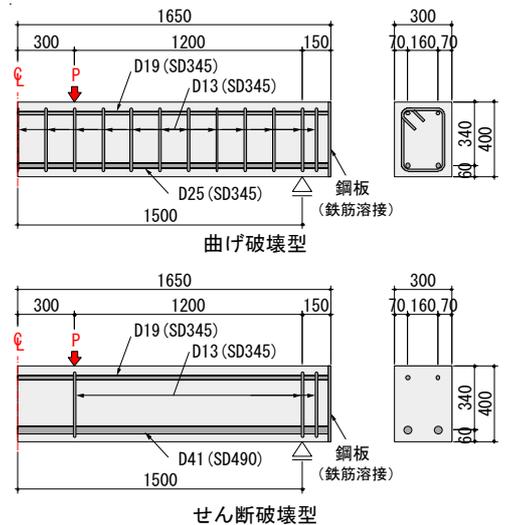


図 1 試験体形状および寸法

3. 実験結果

No.1, No.2（曲げ破壊型）のひび割れ発生状況を図 2 a) に、P- δ 関係を図 3 a) に示す。図 3 a) には、No.1, No.2 の物性値の平均値を用い、ファイバーモデルにより算出した骨格曲線を併せて示した。No.1, No.2 はともに、引張側の主鉄筋が降伏した後に圧縮側のコンクリートが圧壊する曲げ引張破壊で終局を迎えた。No.1 と No.2 の P- δ 関係は良く対応しているが、鉄筋降伏前の弾性領域においては、No.2 の変位が No.1 より若干小さい傾向が見られた。一方で、最大荷重及び終局変位は同等であった。曲げモーメント M と等曲げ区間の曲率 ϕ の関係を図 4 に示す。図には、全断面有効およびひび割れ断面における $M - \phi$ 関係の計算値を併せて示した。これらによれば、No.2 は No.1 に比べてひび割れ発生後の曲率の増加が小さい結果となった。以上より、GP コンクリートの方が鉄筋とコンクリートの間の一体性が強く、ひび割れ発生後の曲げ剛性が高くなっていることが示唆される。図 2 a) によると、ひび割れ本数は、No.1 の方が多い結果となった。ここで、ひび割れが安定した $\epsilon_{s,cal}=1500\mu$ 時点 ($\epsilon_{s,cal}$: 主鉄筋ひずみの計算値) において等曲げ区間に発生したひび割

表 2 コンクリートの配合 [kg/m³]

配合	W/C	s/a	W	C	S	G	Ad
セメント	41.7%	50.0%	168	403	883	892	2.90
配合	AL/W	Si/AL	ASS	FA+BS	S	G	A
GP	0.15	0.30	225	580	524	892	11.6

FA: フライアッシュ, BS: 高炉スラグ, S: 細骨材, G: 粗骨材, ASS: ケイ酸アルカリ溶液

キーワード ジオポリマー, 石炭灰, フライアッシュ, 産業副産物, CO₂ 削減, RC はり

連絡先 〒101-0064 東京都千代田区猿楽町 2-8-8 猿楽町ビル 前田建設工業土木技術部 TEL 03-5217-9563

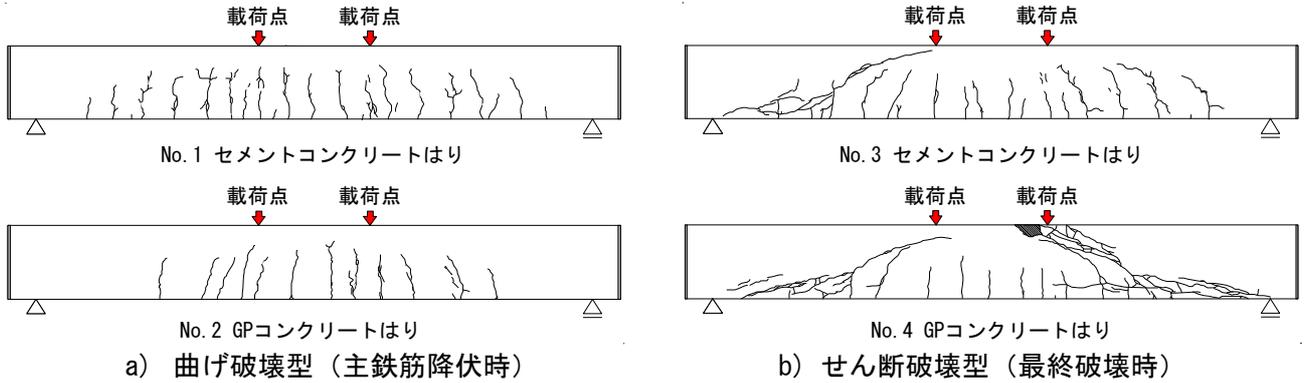


図2 ひび割れ図(曲げ破壊型はり)

これらの幅を表3に示す。これらによれば、ひび割れ幅はGPコンクリートの方が小さい結果となった。No.2の方が曲げ剛性が高いこと、ひび割れ幅が小さいことから、GPコンクリートの鉄筋との付着はセメントコンクリートのそれよりも良好であり、ひび割れ本数は多くなることが予想されるが、実際はGPコンクリートはりのひび割れ本数は、セメントコンクリートはりよりも少なかった。以上のことから、GPコンクリートの鉄筋との付着特性や引張軟化特性がセメントコンクリートと異なることが予想される。今後は、これらの特性に着目した検討を継続する予定である。

No.3, No.4(せん断破壊型)のひび割れ発生状況を図2b)に、荷重-変位関係を図3b)に示す。図3b)には、No.3, No.4の物性値の平均値を用いて二羽式³⁾により算出したせん断耐力を併せて示した。No.3が、片側のせん断スパンにせん断ひび割れが発生すると同時に耐力が急激に低下する斜め引張破壊となったのに対し、No.4は片側のせん断スパンにせん断ひび割れが発生した後も急激に耐力が低下せず、反対側のせん断スパンにもせん断ひび割れが発生し、再び荷重が増加して荷重点近傍のコンクリートが圧壊するせん断圧縮破壊で終局を迎えた。

4. まとめ

本検討の結果得られた知見を以下に示す。

- (1) 曲げ破壊型 RC はりの荷重試験の結果、セメントコンクリートと GP コンクリートの曲げ耐力及び曲げ変形性能は同等であり、破壊モードも一致したが、鉄筋の弾性域における曲げ剛性やひび割れ幅は異なった。
- (2) せん断破壊型 RC はりの荷重試験の結果、セメントコンクリートを用いた RC はりが斜め引張破壊で終局を迎えたのに対し、GP コンクリートを用いた RC はりはセメントコンクリートはりよりも大きな荷重でせん断圧縮破壊を迎えた。

参考文献

1)相原直樹ほか：鉄道用材料の LCA による環境評価，鉄道総研報告，Vol.23，No.6，pp.5-10，2009.6
 2)河尻留奈ほか：ジオポリマーの基礎物性と構造利用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.1，2011
 3)二羽淳一郎ほか：せん断補強鉄筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，第 372 号，pp.167-176，1986

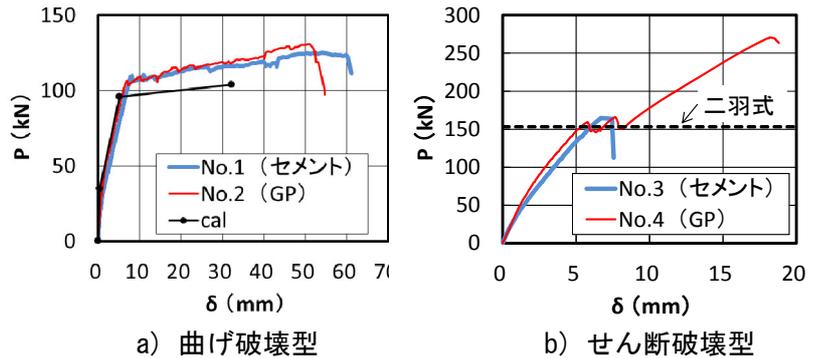


図3 荷重-変位関係

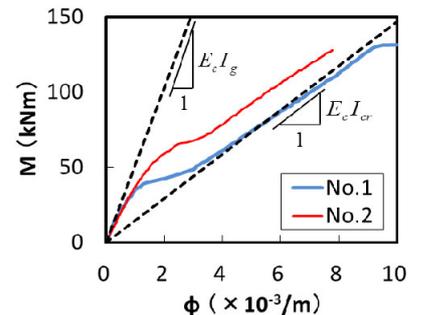


図4 M-φ関係

表3 ひび割れ幅(等曲げ区間, ε_{s,cal}=1500μ時)

No.	ひび割れ幅(mm)					
	1	2	3	4	5	平均
1	0.24	0.21	0.24	0.26	0.16	0.22
2	0.11	0.19	0.16	0.19		0.16