

繰返し荷重に対するジオポリマーコンクリートのせん断挙動

法政大学大学院 学生会員 ○岡田修哉 加藤遼二郎 正会員 藤山知加子

1. 研究目的

本研究では、フライアッシュのみを活性フィラーとしたジオポリマーコンクリート（以下 GP コンクリート）の構造部材適用を目指し、GP コンクリートの繰返し作用下でのせん断特性について検討することを目的とする。

2. 実験概要

2.1 試験ケース、配合

試験ケースを表-1に示す。本研究では、GP コンクリートと OPC を用いた通常のコンクリート（以下 OPC コンクリート）の比較を行った。GP コンクリートと OPC コンクリートの使用材料を表-2に、各配合を表-3と表-4に示す。混和材は、ポリカルボン酸エーテル系の高性能 AE 減水剤を使用した。用いた粗骨材の最大寸法は 20mm である。

2.2 練り混ぜ手順、養生条件

GP コンクリートの練り混ぜ手順は、砂とフライアッシュを 30 秒間空練りし、ケイ酸ナトリウム水溶液、水酸化ナトリウム水溶液及び高性能 AE 減水剤を加え、45 秒間練り混ぜを行った。その後粗骨材を加え、180 秒間練り混ぜ、均一に練り混ぜられた状態を確認し、さらに 30 秒間練り混ぜた。

フライアッシュベースの GP コンクリートでは、強度発現を促進させるために、加熱が必要である。そのため恒温恒湿槽（温度 50℃、湿度 60%）に 3 日間、その後恒温恒湿室（温度 20℃、湿度 60%）で 25 日間養生した。

3. 実験方法

試験装置を写真-1に示す。また供試体寸法を図-1に示す。試験法は伊藤ら<sup>1)</sup>が行った実験を参考にし、中央部にノッチとひび割れがある供試体を用いて、1 面せん断試験を実施した。試験体寸法は 100×100×200mm で、ノッチを設けることでせん断面は約 80×80mm となった。ノッチでひび割れ面を形成するため、あらかじめ供試体を三点曲げで完全に分離した。載荷時は、写真-1に示すように、丸鋼により供試体を拘束した。このとき、20N・m のトルクレンチを用いて、2 本の丸鋼に各々軸力 0.66kN を与え、供試体を拘束した。

測定項目は、せん断荷重、せん断変位、ひび割れ幅、拘束力とした。せん断荷重はロードセルを、せん断変位とひび割れ幅は 2 方向の変位を同時に測定できる 2 軸型き裂変位計を使った。拘束力は丸鋼のひずみに金属棒の断面積、ヤング率を乗じることによって求めた。載荷方法は変位制御による除荷再載荷の繰返し載荷とした。除荷再載荷のサイクルは、せん断変位が 0.25mm 増加することに行った。

キーワード ジオポリマー、せん断挙動、せん断剛性、ひび割れ、繰返し荷重  
連絡先 東京都新宿区市ヶ谷田町 2-3-3

表-1 試験ケース、養生条件

| 試験体名  | 材齢                                    |
|-------|---------------------------------------|
| GP-1  | 温度50℃ 湿度60%(3日間)<br>温度20℃ 湿度60%(25日間) |
| GP-2  |                                       |
| GP-3  |                                       |
| GP-4  |                                       |
| OPC-1 | 標準養生(29日間)                            |
| OPC-2 |                                       |
| OPC-3 |                                       |
| OPC-4 |                                       |

表-2 使用材料

| 記号   | 材料          |
|------|-------------|
| FA   | フライアッシュ     |
| WG   | 水ガラス        |
| NaOH | 水酸化ナトリウム水溶液 |
| S    | 細骨材         |
| G    | 粗骨材         |
| C    | セメント        |
| SP   | 高性能AE減水剤    |
| AE1  | AE剤         |
| AE2  | AE減水剤       |

表-1 OPC コンクリートの配合表

|     |      |     |     |     |      |
|-----|------|-----|-----|-----|------|
| AE1 | AE2  | W   | C   | S   | G    |
| 3   | 0.01 | 165 | 300 | 789 | 1035 |

表-2 GP コンクリートの配合表

|      |     |    |      |     |     |     |
|------|-----|----|------|-----|-----|-----|
| SP   | WG  | W  | NaOH | FA  | S   | G   |
| 5.17 | 160 | 38 | 79   | 517 | 548 | 959 |



写真-1 試験装置

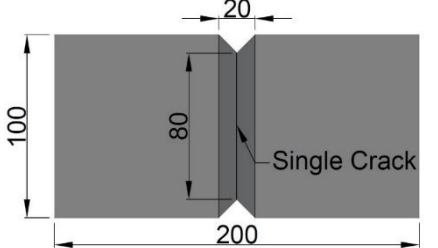


図-1 供試体寸法

#### 4. 実験結果及び考察

OPC コンクリート及びGP コンクリートのシリンダーの強度試験結果を表-5に示す。図-2にGP コンクリート全ケースの荷重-せん断変位関係を示す。全供試体に共通して、繰返し载荷のサイクルを重ねるごとに、残留せん断変位、残留ひび割れ幅が増加した。いずれのケースも変位が0.5mm以下で最大荷重を記録し、その後のサイクルではせん断変位が急激に増加した。これはある荷重に達したとき、ペーストの降伏点あるいは骨材の破壊を迎え、ひび割れ面のせん断抵抗が急激に低下したためだと考えられる。

図-3にGPとOPCのせん断応力/圧縮強度の推移を示す。OPCの値の平均は0.14であったが、GPは0.11と比較的低かった。このことから、本研究のGPは一般的なOPCよりひび割れ面でのせん断伝達力が低い可能性が示唆された。写真-2に载荷前後のせん断面の写真を示す。せん断面を観察してみると、载荷前に比べ、载荷後は表面が削れていた。これは繰返しにより、セメントペースト部分の摩擦や骨材の抜け出しが生じたためだと考えられる。

#### 5. 既往のせん断伝達モデルとの比較

図-4にGP-1~4の接線せん断剛性とせん断変位の関係を示す。黒い線で描かれているのが、既往のモデルである<sup>2)</sup>。OPCコンクリートの接線せん断剛性は、およそせん断変位が0.04mmでその値の最大値を取る。一方GPコンクリートでは、ピークが明瞭に見られず、せん断変位が0.1mm以降に見られる。このことより、GPコンクリートが、OPCコンクリートと同程度のせん断剛性が出るまでには、OPCより大きなせん断変位が要することが分かった。

この違いが生じたことには2つの可能性が考えられる。1つ目に、ひび割れ面の凹凸形状である。本研究では、試験前にあらかじめひび割れを導入しているが、写真-2に示すように、骨材やバインダーによる凹凸形状がせん断剛性に違いをもたらした可能性がある。2つ目にGPコンクリートのヤング率がOPCコンクリートより低いことである。ヤング率が低いことから、同程度の荷重でもより大きな変形状を示す可能性がある。

このことを明確に示すためには、3Dスキャナーを用いて凹凸形状を調査する必要がある。また骨材の影響を除いたペーストの供試体を作成し、同様のせん断試験を行う必要がある。

#### 6. 結論

本研究で用いたフライアッシュのみを活性フィラーとして用いたGPコンクリートのひび割れ面のせん断伝達応力は、OPCに比べて低い。今後は高炉スラグを添加した場合のGPコンクリートでも同様の検証を行う。

#### 参考文献

- 1) 伊藤哲男, 馬場弘二, 城間博通, 吉武勇, 中川浩二: トンネル覆工コンクリートにおけるひび割れ界面のせん断強度実験, 土木学会論文集, No.777/VI-65, 15-21, 2004.12
- 2) 岡村甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991

表-3 強度試験結果

|     | 圧縮強度<br>$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング率<br>$E_{1/3}$ (kN/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|------------------------------------|-----------------------------------------|
| OPC | 46.1                               | 30.1                                    |
| GP  | 50.0                               | 21.4                                    |

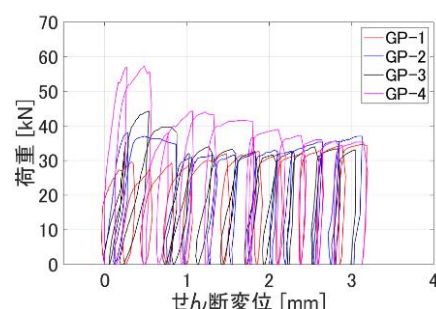


図-2 荷重-せん断変位関係

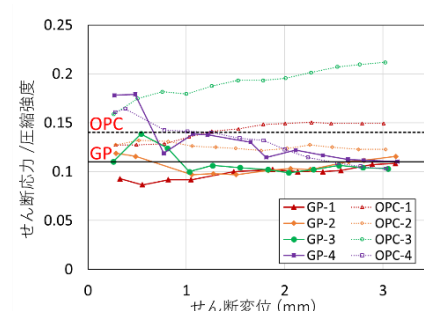


図-3 せん断応力の推移

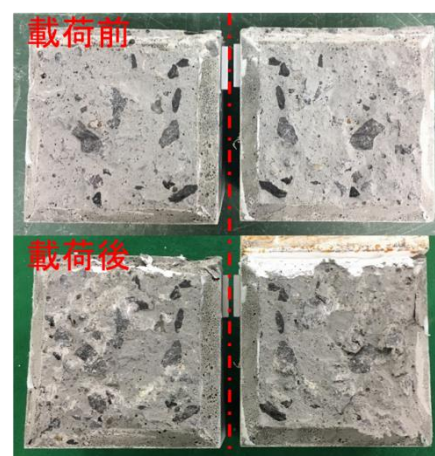


写真-2 载荷前後のせん断面 (GP-1)

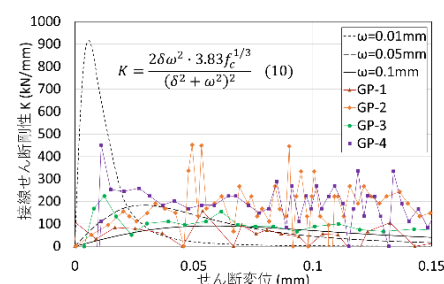


図-2 せん断実験結果と既往のせん断剛性モデルの比較 (GP-1~4)