

電気炉酸化スラグ細骨材を用いたコンクリートはり部材における力学的挙動の検討

徳島大学大学院学生会員 ○坂本達也 徳島大学大学院フェロー 橋本親典
徳島大学大学院 正会員 渡邊 健 徳島大学大学院 正会員 石丸啓輔

1. はじめに

近年、環境問題への意識の高まりの中で副産資源の有効活用や天然資源の枯渇、骨材採取による環境破壊防止の観点から、電気炉酸化スラグ細骨材（以後、EFS と称す）は環境負荷を低減させる材料として高く評価されている。EFS は、一般の普通骨材に比べて密度が 3.5g/cm^3 以上であり、この特徴を活かし、港湾用のコンクリートブロックや砂防ダム、放射線遮蔽用ブロックコンクリートへ適用されている。しかし、EFS をコンクリート用骨材として多量に使用した場合、プラスティシティーの低下、骨材の沈降、ブリーディング量の増加など材料分離の発生が指摘されている。既往の研究^{1), 2)}では、硬化性状として圧縮強度や引張強度などの材料特性の研究は実施しているが、はり供試体を作成した構造部材の特性の研究事例の報告は非常に少ない。本研究では、EFS を用いたコンクリートはり部材を作成し、力学的挙動の検討を行った。

2. 使用材料および配合条件

表-1 に使用材料、表-2 に配合表を示す。目標スランブは $12\pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量は $4.5\pm 1.5\%$ とした。細骨材には硬質砂岩砕砂と EFS を用いた。EFS の置換率は 0, 10, 30, 50% の 4 配合とした。EFS 置換率の増加に伴い目標のフレッシュ性状を確保するために、試験練りを実施し、配合を決定した。フライアッシュ (FA) は、ブリーディング抑制のために使用した。

その結果、EFS の置換率の増加に伴い、単位水量と単位セメント量、単位 FA 量が大きく異なる配合となった。

3. 実験方法

各配合で目標スランブ、目標空気量を満たしたことを確認した後、円柱供試体 ($100\times 200\text{mm}$)、鉄筋とスターラップを入れたはり供試体 (幅 $100\times$ 高さ $200\times$ 長さ 1800mm) を作成した。材齢 28 日で、円柱供試体において圧縮強度、引張強度の測定、はり供試体において曲げ耐力を測定した。曲げ試験は、はり供試体のスパン中央断面でのたわみを計測することにより、荷重-変位曲線を算出し、式 (1) を用いて曲げ靱性係数を算定することで評価した。算出に用いる荷重-変位曲線の一例を図-1 に示す。

$$\bar{f}_b = \frac{T_b}{\delta_{tb}} \times \frac{l}{bh^2} \quad (1)$$

\bar{f}_b : 曲げ靱性係数 (N/mm^2)

T_b : 荷重-変位曲線において 0 から δ_{tb} までの面積 ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

δ_{tb} : スパンの 1/150 までのたわみ (mm)

l : スパン (mm)

b : 破断面の幅 (mm)

h : 破断面の高さ (mm)

表-1 使用材料

| 材料名 | 記号 | 種類および物性値 |
|---------|-----|---|
| セメント | C | 太平洋セメント(株)普通ポルトランドセメント 密度: 3.16g/cm^3 、比表面積: $3340\text{cm}^2/\text{g}$ |
| フライアッシュ | FA | 四国電力(株)フライアッシュ II 種 密度: 2.22g/cm^3 、比表面積: $3420\text{cm}^2/\text{g}$ |
| 細骨材 | S | 兵庫県産砕砂 密度: 2.58g/cm^3 、粗粒率: 2.85、吸水率: 1.66%、実積率: 57.5% |
| | EFS | 電気炉酸化スラグ 5-0.3 密度: 3.59g/cm^3 、粗粒率: 3.25、吸水率: 0.42% |
| 粗骨材 | G1 | 徳島県産砕石 1505 密度: 2.57g/cm^3 、粗粒率: 6.42、吸水率: 1.62%、実積率: 59.4% |
| | G2 | 徳島県産砕石 2010 密度: 2.68g/cm^3 、粗粒率: 6.68、吸水率: 0.41%、実積率: 59.9% |
| 混和剤 | SP | AE 減水剤 (リグニンスルホン酸塩とオキシカルボン酸塩) 高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸エーテル系) |
| | AE | AE 剤 (変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤) |

表-2 配合表

| 配合名 | EFS 置換率 (%) | W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m^3) | | | | | | | |
|--------|----------------|---------|---------|-------------------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | | | W | C | FA | S | EFS | G1 | G2 | |
| EFS-0 | 0 | 50 | 48 | 178 | 356 | 0 | 822 | 0 | 532 | 370 | |
| EFS-10 | 10 | 50 | 48 | 173 | 346 | 30 | 736 | 116 | 539 | 375 | |
| EFS-30 | 30 | 50 | 48 | 168 | 335 | 50 | 568 | 352 | 546 | 380 | |
| EFS-50 | 50 | 50 | 48 | 157 | 314 | 70 | 401 | 602 | 560 | 389 | |

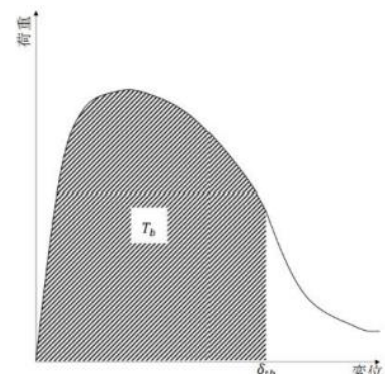


図-1 荷重-変位曲線の一例

表-3 フレッシュ性状の試験結果

| 配合名 | スランプ値 (cm) | 空気量 (%) | C.T. (°C) |
|--------|------------|---------|-----------|
| EFS-0 | 13 | 4.5 | 18.9 |
| EFS-10 | 14 | 4.0 | 19.1 |
| EFS-30 | 14 | 6.0 | 17.6 |
| EFS-50 | 14 | 5.0 | 17.4 |

4. 実験結果

フレッシュ性状の試験結果を表-3に示す。

EFS置換率を変化させたことによる材料分離の発生は見られなかった。これは単位水量の減少、フライアッシュの使用により、粘性が十分確保できていたためと考えられる。

圧縮強度試験結果を図-2に示す。EFS置換率の変化による圧縮強度の大きな変化は見られなかった。EFSが球状で滑らかであることにより、界面が滑ることで圧縮強度が低下する可能性があったが、フライアッシュを外割で加えていたため微粉末効果により圧縮強度が増加する影響があり、相互に作用することで圧縮強度の変化がわずかであったと考えられる。

引張強度の試験結果を図-3に示す。引張強度はEFS置換率を増加させることで減少する結果となった。これは、EFSの形状が滑らかであることにより、セメントペーストとの付着が低下した影響であると考えられる。

曲げ靱性係数を図-4、荷重-変位曲線を図-5に示す。EFS置換率の変化による荷重-変位曲線の大きな変化は見られなかった。これはブリーディングの発生を抑制し鉄筋の付着特性がすべての配合で同程度であったためである。つまり、EFSの形状による影響は配合を制御することによって、力学的特性に影響を与えることはないと考えられる。

5. まとめ

今回の配合では、EFS置換率の増加により、引張強度は減少する結果となった。しかし、単位水量、単位セメント量、単位FA量が大きく変化しても所要の目標性能を満足すれば、圧縮強度、曲げ靱性係数についてはEFS置換率の変化による大きな値の変化は見られなかった。

これらのことから、EFS置換率を任意に変化させても、鉄筋を入れることで、通常の鉄筋コンクリート部材と遜色ない性能を有する部材を作成することが可能であるといえる。

【参考文献】

- 1) 五味信治, 榊田佳寛, 青沼隆嗣, 佐藤佳広: スラグ骨材を使用した高密度コンクリートの調合と諸性状に関する実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1837-1842, 2009
- 2) 横山卓哉, 橋本親典, 渡邊健, 石丸啓輔: 電気炉酸化スラグ細骨材とフライアッシュを用いた粉体系高流動コンクリートのフレッシュ性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.1157-1162, 2019

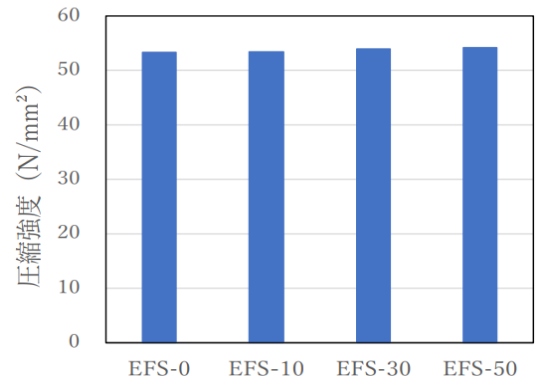


図-2 圧縮強度試験結果

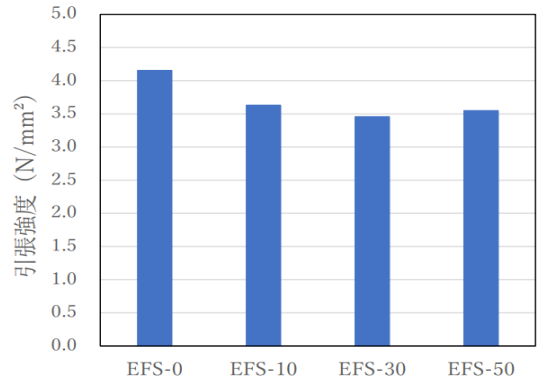


図-3 引張強度試験結果

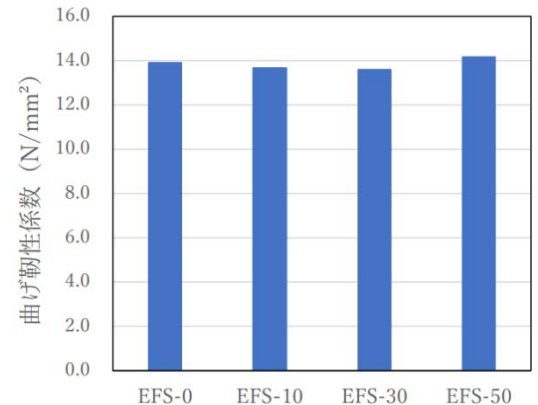


図-4 曲げ靱性係数

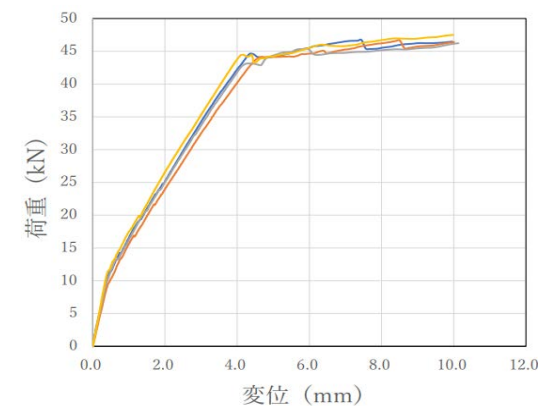


図-5 荷重-変位曲線