ペーパースラッジ焼却灰を用いたガラス繊維補強セメント複合材料の諸性質について

国立大学法人熊本大学　学生会員　迫　綾子
学生会員　石井 靖洋
正会員　重石 光弘
Ni Nyoman KENCANAWATI

1．はじめに

現在、大量生産された多くのインフラ構造物が供用年数50年を迎えようとしている。これらを壊して新たに造り直すと、産業廃棄物排出量、金銭コストが増加する。しかし、社会は循環型社会の形成を目指しているため、造り直すことは避け、既存の構造物を延命化・長寿命化させる補修・補強が必要となっている。補修・補強することが多くなることによって、さらに効率のよい、循環型社会に合うような材料の開発が求められる。

土木構造物には、的確で、容易で、作業時間が短いセメント系材料による吹き付け工法が多く用いられる。しかし吹き付けでは、施工後にひび割れが生じやすい。また、セメントは生産過程において二酸化炭素排出量が多く、環境への負荷が大きい。

よって本研究では、ひび割れが生じにくく、環境への負荷が小さい新しいセメント複合材料を考えた。

2．繊維補強セメント複合材料

一般的なモルタル材料は水・セメント・砂である。低環境負荷化のためにセメントの量を減らし、代替材としてPSAを加える。PSAとはペーパースラッジアッシュで、紙を再生するときに出る廃棄物を燃焼させたものである。PSAは二酸化珪素を多く含有しており、FA（フライアッシュ）と同じポゾラン活性が期待できる。ポゾラン活性とは、二酸化珪素がセメントの水和の際に生成される水酸化カルシウムと常温で徐々に化合し、不溶性の安定な水和物を生成することである。この水和物が生成されることで、硬化をもたらす。FAも二酸化珪素の含有率が高く、ポゾラン活性をすることが分かっており、既にセメントの代替材として広く普及している。しかし今回は、八代市に製紙工場があり、PSAの入手が容易であることから、PSAに着目した。

ひび割れ対策として繊維、樹脂を加える。使用するのは、グラス繊維、エマルジョン樹脂（乳化した樹脂）である。グラス繊維は高強度・高靱性を持っており、エマルジョン樹脂は速硬性・延展性を持っている。これらの特性より、ひび割れが起きにくくなると考えた。また樹脂の油分により、繊維がダマをつくらず、全体に分散されるというメリットもある。砂は豊浦珪砂、セメントは普通ポルトランドセメントを使用する。

以上の材料で供試体を作製し、材齢を変えて強さ試験を行う。

3．材料の配合

本実験では、（セメント＋PSA＋砂＋グラス繊維）：（エマルジョン樹脂＋水）＝3：1の割合となり、グラス繊維含有率5%、PSA含有率0%の配合を基準配合とし、**5GFPS0**と呼称する。また**5GFPS0**のフロー値を測定した結果190という値を得た。PSAはセメント質量に対して内割りで0、5、10、20%の割合で混合し、グラス繊維は（セメント＋PSA＋砂）の質量に対して外割りで0、5、10%の割合で混合した。また流動性を一定にするために、基準配合**5GFPS0**と同じフロー値190が得られる水量とエマルジョン樹脂量をそれぞれの配合ごとに決定した。素材量の詳細は**表**1に示す。

表1　供試体の種類と作製に必要な素材量

配合名	セメント	PSA	豊浦珪砂	グラス繊維	エマルジョン樹脂	水
0GFPS0	541.8	0.0	361.2	0.0	241.8	0.0
0GFPS5	514.7	27.1			254.7	
0GFPS10	487.6	54.2			258.9	
0GFPS20	433.4	108.4			265.4	
5GFPS0	541.8	0.0	361.2	45.2	301.0	150.5
5GFPS5	514.7	27.1				152.0
5GFPS10	487.6	54.2				179.1
5GFPS20	433.4	108.4				209.8
10GFPS0	541.8	0.0	361.2	90.3	301.0	384.4
10GFPS5	514.7	27.1				425.2
10GFPS10	487.6	54.2				467.2
10GFPS20	433.4	108.4				439.2

4．強さ試験及び長さ試験

試験には湿空条件で養生した材齢1、3、7、28、56日の40×40×160mmの角柱供試体を使用した。養生する際、水中養生を用いる場合が多いが、今回は水中に入れてしまうと、エマルジョン樹脂が溶け出してしまう恐れがあるので、湿空養生にした。

4.1 曲げ試験

40×40×160mmの供試体を3本準備し、三点曲げ試験により毎秒50±10Nの載荷速度で曲げ強度を求め、3本の平均をその配合の曲げ強度とする。同時に変位も測り、曲げ靱性を出す。

4.2 圧縮試験

曲げ試験によって半分に折れた計6本の角柱供試体と、円柱供試体3本の圧縮強度を求め、それぞれ平均をその供試体の圧縮強度とする。

5．試験結果・考察

5.1 曲げ試験の結果・考察

試験結果のグラフを図1に示す。7および28日強度をそれぞれ5GP0の供試体の配合を基準とし、全供試体の曲げ強度を比強度で表した。左側が7日強度、右側が28日強度である。それぞれ3つの塊で表し、左からグラス繊維の配合割合0、5、10%の供試体で、ひとつの塊の左からPSAの配合割合0、5、10、20%の供試体である。

グラフより、グラス繊維およびPSAの混合量が増すにつれて強度は小さくなっていることがわかる。これはPSAとグラス繊維の含有率が増えるにつれ、加水量が増加しているからだと考えられる。しかし材齢が増すと、全体的に強度が増している。

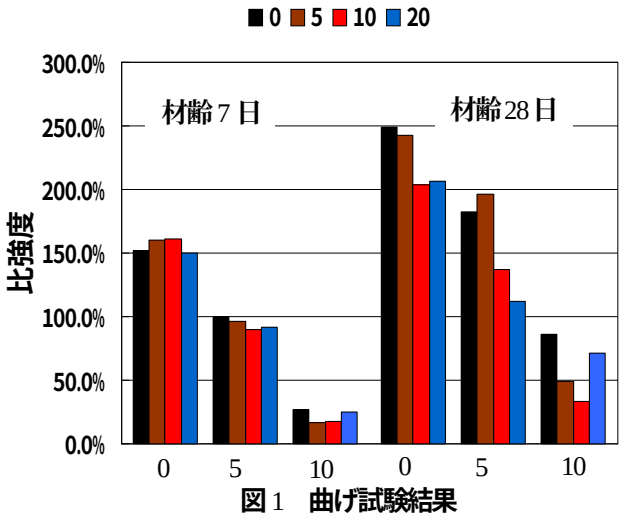

図1　曲げ試験結果

5.2 圧縮試験結果・考察

圧縮試験も曲げ試験と同様に比強度で表した(図2)。圧縮試験も、曲げ試験と同様の結果を得た。グラス繊維およびPSA混合の供試体は混合率0%に比べて、急激に強度が小さくなっている。このことより、グラス繊維・PSAを混合することによる強度の増加は見込めないことがわかる。

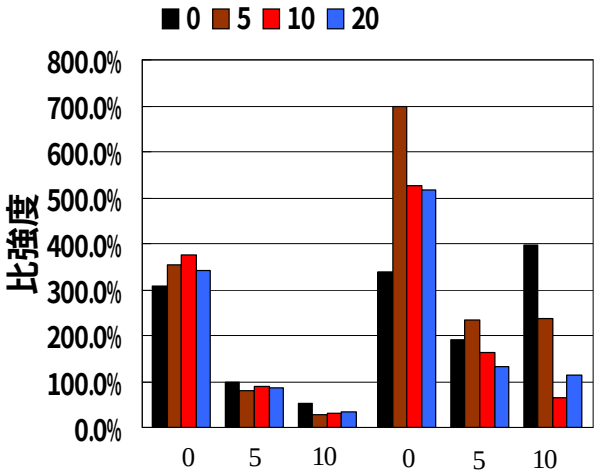

図2　圧縮試験結果

5.3 曲げ靱性結果・考察

PSA混合率0%でグラス繊維混合率0、5、10%の供試体の曲げ靱性の結果を図3のグラフに示す。

グラフより、繊維の量が増加するにつれて高い曲げ靱性が出ている。これより、繊維を混入することで引張りに強い、つまりひび割れができにくい材料ができると考えられる。

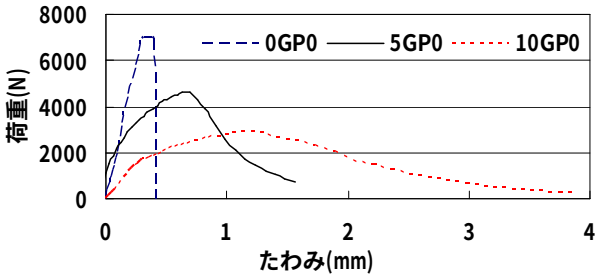

図3　荷重-たわみ曲線

6．まとめ

今回の実験において、材齢7日・28日の基礎データを得ることができた。材齢28日の5GP5において、同じ材齢の5GP0と比べて曲げおよび圧縮強度は約10%高い。また曲げ靱性も繊維なしに比べて高いので、吹き付けられた材料のひび割れ発生、剥落の抑制、環境負荷の低減も見込めるため大変有効であると考えられる。

今後の展望としては、強度や耐久性を比較的必要としない低品質コンクリート、すなわち法面吹き付けモルタルへの適用の可能性を探る。

参考文献

1) 社団法人　日本土木工業協会CE建設業界 http://www.dokokyo.or.jp/ce/ce0801/essay.html
2) 社団法人土木学会：吹付けコンクリート指針(案)―補修・補強編，コンクリートライブラリ123，2005.8
3) 社団法人土木学会：複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針（案），コンクリートライブラリ127，2007.3