

# しらすと廃石膏を利用した硬化体の強度特性

鹿児島高専 学生会員 ○中野 大樹, 鞘脇 和也, 萱場 将士  
正員 前野 祐二, 長山 昭夫, 三原 めぐみ

## 1. はじめに

しらすは鹿児島湾奥部の始良カルデラ起源の入戸火砕流の堆積物として、総量約 2000 億トン以上ある。このしらすの斜面は、大雨などによりがけ崩れが発生している。一方、この堆積しているしらすは、天然のポズラン質材料として、新しい硬化材料としての活用が考えられている。そこで、本研究ではしらすに廃石膏ボードを添加した混合セメントで硬化体を作成し、比較的高強度を示す、しらす、セメント、石膏の最適な配合比の考案を行い、しらすを主原料とした混合セメントの開発を目指す。また、X線回折、蛍光 X 線分析によりこの硬化体の強度特性を明らかにすることを目的とする。本研究は東串良のしらすを用いて基本的な強度特性を明らかにしていく。

## 2. しらす・廃石膏の化学組成

表 1 に蛍光 X 線分析装置によるしらすの化学組成を示す。表に示すように  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  が主な化学組成である。しらすの X 線回折パターンを図 1 に示す。図に示すように東串良しらすには、クォーツとアノサイト(長石類)が結晶として定性されるが、ガラス質も多く含まれていると推量できる。

表 2 に蛍光 X 線分析装置による廃石膏の化学組成を示す。表に示すように、 $\text{CaO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が主な化学組成である。廃石膏の X 線回折パターンを図 2 に示す。図に示すように廃石膏は bassanite(半水石膏)が成分の大半を占めている。

表 1 しらすの化学組成

化学組成	分析値 (%)
$\text{SiO}_2$	79.5
$\text{Al}_2\text{O}_3$	11.7
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2.93
$\text{CaO}$	2.66
$\text{K}_2\text{O}$	2.62

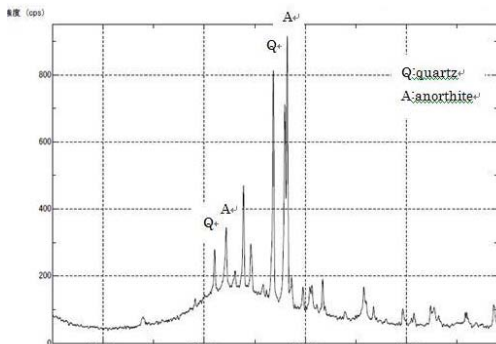


図 1 しらすの X 線回折パターン

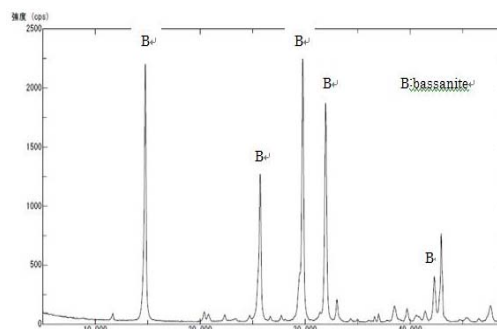


図 2 廃石膏の X 線回折パターン

表 2 廃石膏の化学組成

化学組成	分析値 (%)
$\text{CaO}$	44.9
$\text{SO}_3$	27.3
$\text{P}_2\text{O}_5$	13
$\text{SiO}_2$	11.8
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1.22

## 3. 実験方法

しらすと廃石膏を振動ミルで粉砕した。これらのしらすと廃石膏を用いて「JIS A 6201 コンクリート用フライアッシュ」に準じて活性度指数を「JIS R 5201 セメントの物理試験方法」に準じて計測した。また、作製した硬化体の強度特性を明らかにするために、X線回折、蛍光 X 線分析でそれぞれ化学組成、鉱物組成の分析を行った。上記とは別に粉砕したしらすをサイクロンにかけ分級し、サイクロンに残留するしらす(平均粒径  $25\mu\text{m}$ )とバグフィルターに捕集されるしらす(平均粒径  $3\mu\text{m}$ )の 2 種類のしらすを用いて硬化体を作製した。

## 4. 石膏添加量の違いによる強度の変化

混合セメント(セメント, しらす, 廃石膏)1 に対して標準砂 3 という配合比で硬化体を作製した。廃石膏の添加量を内割り度で 0, 5%, 10%, 30%とあらかじめ決めておき、しらす:セメント = 1:2 となるように配合を行った。図 3 は材齢 7 日の圧縮強度, 材齢 28 日の圧縮強度, 活性度指数を示したグラフである。材齢 7 日の圧縮強度は添加 0 が  $16.95\text{ N/mm}^2$ , 添加 5% が  $12.50\text{ N/mm}^2$ , 添加 10% が  $7.65\text{ N/mm}^2$ , 添加 30% が  $1.60\text{ N/mm}^2$  であった。材齢 28 日の圧縮強度は添加 0 が  $18.9\text{ N/mm}^2$ , 添加 5% が  $30.25\text{ N/mm}^2$ , 添加 10%

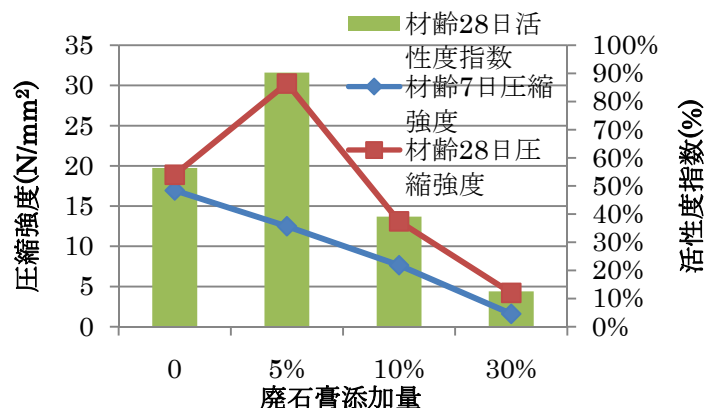


図 3 石膏添加量による強度変化

が 13.1 N/mm<sup>2</sup>, 添加 30%が 4.2 N/mm<sup>2</sup>であった。材齢 28 日の活性度指数は添加 0 が 56.4%, 添加 5%が 90.3%, 添加 10%が 39.1%, 添加 30%が 12.5%であった。図 3 に示すように廃石膏の少量の添加は強度発現に非常に有効であるといえる。しかし、廃石膏の混合割合が多いと強度が下がると推量できる。本試験では廃石膏添加 5%(しらすの置き換え率は 32%)の硬化体が廃石膏添加 0(しらすの置き換え率 33%)の硬化体よりも材齢 7 日の圧縮強度では劣っていたが、材齢 28 日では大きく上回りの活性度指数も 90.3%と非常に大きな強度が得られた。

### 5. 強度特性

図 4 は廃石膏添加 5%の硬化体の時間経過に伴う鉱物組成の変化を 1 時間後、1 日後、1 週間後を示している。それぞれの試料はアセトンによる水和停止を行った。図に示すように練混ぜ 1 時間後、portlandite, C<sub>3</sub>S(エーライト), C<sub>2</sub>S(ビーライト), calcite, anorthite, quartz が定性できる。廃石膏の主成分であった bassanite が水と反応してできた gypsum(二水石膏)も定性できる。練混ぜ 1 週間後、上記組成が減少していることが分かる。特に gypsum は, ettringite 生成の際に必要なことから, この図から, gypsum は練り混ぜ 1 週間後は練り混ぜ 1 時間後よりも著しく減少していることがわかる。その代りに ettringite が増加している。このことから 4. における廃石膏添加 5%の強度は C<sub>3</sub>S の強度発現だけでなく、廃石膏を混入したことで ettringite が生成されたことも要因である。

### 6. しらす粒径の違いによる強度変化

しらすとセメントと標準砂を 50 : 50 : 300 の比で混合し、水セメント比(しらす+セメントに対する比)で供試体を作製した。なお、しらすはサイクロンで分級されたしらすとバグフィルターに捕集されたしらすである。それぞれ、平均粒径は 25 μm と 3 μm である。図 5 は材齢 7 日、材齢 28 日、材齢 91 日の曲げ強度、圧縮強度を示している。図に示すようにバグフィルターに捕集されたしらすを用いた供試体の強度は、材齢が大きくなるほど大きくなっていることが分かる。これは粒径が小さいことにより、空隙が小さくなり密度が大きくなったと考えることができる。しかし、その強度は、早期には強度増加に寄与しないが、材齢が長くなるほどその効果が大きいようである。一般に粒径が小さいと早期強度が大きいようであるが、今回のバグフィルターで捕集できたしらすは粒径が、早期に強度が発現するほどの粒径でなかったため強度発現が遅れたと考えられる

### 7. まとめ

本研究ではセメントをしらす 32%と廃石膏 5%に置き換えて混合することで活性度指数 90.3%という非常に高強度のコンクリート硬化体の作成に成功した。これにより、しらすを主原料とした混合セメントの開発の可能性を見出すことができた。強度発現の原因は廃石膏を混合したことによる ettringite の生成の影響が大きいと推定できる。今回は、東串良のしらすを用いて実験を行ったが、他の地方のしらすではどのような強度発現を示すのか、化学組成の違いはあるが、さらに強度の強い配合比の考察などがこれからの研究課題である。また、本研究で開発できた混合セメントの活用についても検討する必要がある。また、強度増加は粒径を細かくすることで、大きくなることがわかった。本研究では、これらの研究データを元に実用化の検討を行うことが重要であろう。

### 参考文献

1) 無水石膏および石灰石微粉末が高炉スラグ微粉末混和セメントの対硫酸塩性に及ぼす影響 李 允燮, 斎藤 豪, 内田 雄久, 大即 信明 「材料」 Vol. 59 (2010), No. 10 pp.737-74

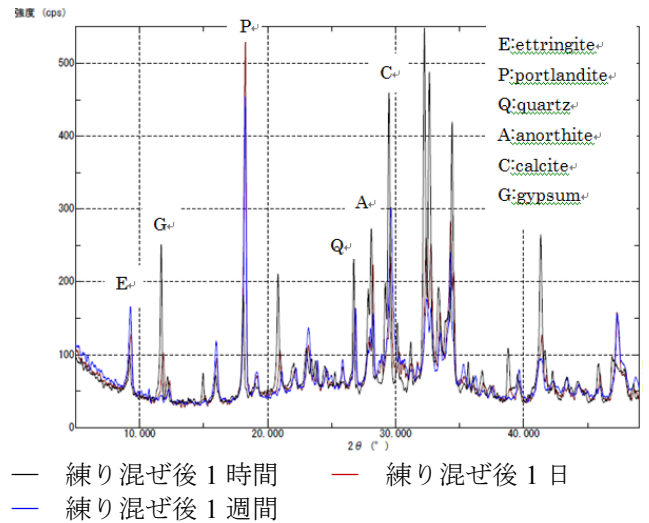


図 4 硬化体の時間経過による成分変化

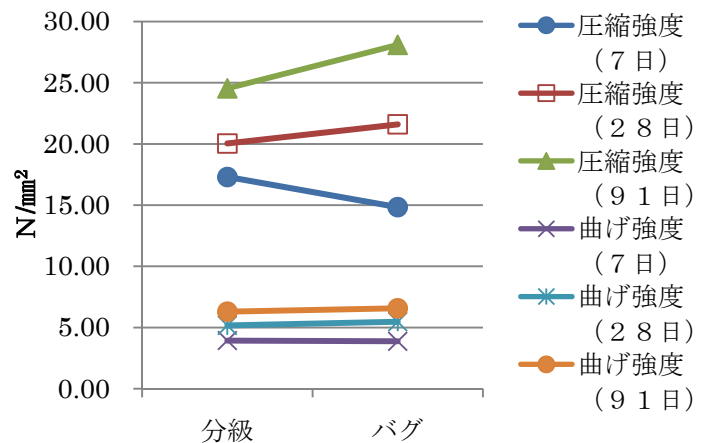


図 5 しらすの粒径による強度変化