

## CASによる建設汚泥処理

川崎 喜孝 徳 永 豊

## 要 旨

近年、廃棄物処分地の確保が困難になっており、廃棄物問題が深刻化している。海域においては、汚染が進み、浚渫等の浄化対策が望まれているが、浚渫を行うには、廃棄物問題と同様に浚渫ヘドロ処分地の確保が困難となってきている。そこで、本研究では、炭酸アルミネート系塩であるCASを用いて、浚渫泥水の凝集沈降実験、産業廃棄物となっている火力発電所からの捨灰を混和利用した浚渫ヘドロの固化実験、雲仙普賢岳火山灰の処理および有効利用を検討するための火山灰固化実験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ①浚渫泥水の凝集沈降実験においては、CAS剤の方が従来の凝集剤よりも早期に沈降分離できた。
- ②浚渫ヘドロの固化処理実験では、火力発電所の捨灰はフライアッシュ（石炭灰を分級したセメント混和材）と同等な強度発現が得られ、捨灰の固化材混合物としての適用性が得られた。
- ③火山灰固化実験では、CASの方が普通ポルトランドセメントより、早期に高い強度発現を呈することが解った。

## 1. まえがき

近年、廃棄物のリサイクルが推進されており、産業廃棄物に指定されている建設汚泥（含水率が高く粒子の微細な泥状の掘削物）においても再生利用が望まれている。そこで、建設汚泥の一連の処理方法について、検討する必要性が生じてきている。

一般に、濁水や汚泥の処理に対しては、大規模な設備が必要とされる。ここでは、比較的簡素で迅速に処理が可能な凝集剤であるCAS剤と固化材であるCAS材の概要を紹介するとともに、これらを用いたいくつかの実験結果について記述する。

## 2. CASの概要

## 2.1 CASとは

CASとは、炭酸アルミネート系塩（京都大学嘉門教授命名）の略称であり、一般に四成分系処理剤とも呼ばれている。「四成分」とは、粘土鉱物との反応による団粒化剤、粒子間固結剤、活性剤（硬化時間の調整等）、安定化剤である。

CASには、凝集沈降剤と固化材の2種類がある。

## 2.2 凝集沈降剤として

## (1) CAS剤の特長

CAS剤は、炭酸カルシウム及び酸化アルミニウムを主成分とした無機系凝集剤であり、魚類を始めとする生体に影響を及ぼす成分は含まれておらず、無害である。

CAS剤は従来の凝集剤と比べて凝集性に優れ、フロ

クの形成が早くかつフロックそのものが大きいため、その沈降速度が非常に速い。また、処理後の処理水と沈降フロックはともに中性であり、放流や処分のためのpH調整は不要である。

沈澱したフロックは強固故、回収後の脱水が容易である。また、回収・脱水後のケーキに固化材（CAS材に砕石粉、石炭灰、火山灰などを混合したもの）を添加することによって、早期のうちに回収フロックを土砂状に改質し、再利用することが可能である。

## (2) CAS剤の種類

CAS剤には、CAS-POK、CAS-B液およびCAS-Caの3種類がある。濃度の薄い濁水の場合は、CAS-POKのみを粉体のまま添加する。濃度が濃くあるいはベントナイト等の不純物が多くて凝集沈澱が困難な場合には、主剤CAS-POKを添加・攪拌後に助剤CAS-B液を添加することで良好なフロックを形成することができる。また、ベントナイトをより多く含む泥水の場合には、さらにCAS-Caを使用する。CAS-Caを使用する場合は、CAS-POK、CAS-Ca、CAS-Bの順に添加・攪拌する。

## (3) CAS剤の用途

CAS剤の用途として、下水汚泥（有機汚泥）処理、ベントナイト泥水処理、トンネル掘削水処理、河川・湖沼の水質浄化、養魚場の堆積ヘドロの処理、浚渫作業における排砂管内直接注入による浚渫土砂の固液分離などが考えられる。

## 2.3 固化材として

(1) CAS材の特長

CAS材の成分は、硫酸アルミニウム、炭酸ナトリウム、酸化カルシウムからなり、水和生成物が早期に生成できるような物質およびポゾラン反応を起こす物質からなる。また、高炉スラグ、石炭灰、火山灰などを併用するとポゾラン反応が促進され、泥土、ヘドロなどの固化作用が高まる。つまり、CAS材の混合物として、焼却灰、碎石粉、石炭灰や火山灰などいわゆる産業廃棄物の有効利用が可能となる。

CAS材の特徴は速効性にある。早期に強度発現するため、作業性が高い。またCAS材添加によるpHの上昇は、セメント系固化材や石灰系固化材に比べて低い。

(2) CAS材の種類

CAS材の化学成分は、混合物（碎石粉、石炭灰、火山灰など）の化学成分の中で凝固するのに不足している物質を調合したものである。CAS材の種類には、CAS # 12, # 19, # 30, # 40A, # 42などがあり、固化対象物と目標強度によって、これらの種類を使い分ける。

(3) CAS材の用途

CAS材の用途として、路床・路盤の改良、作業用仮設道路、宅地造成、公園歩道・遊歩道の造成、池・河川・海底ヘドロ処理、堆積汚泥の固化処理及び投棄処理、上・下水道汚泥処理、尿尿排泥の固化処理、ベントナイト排泥の固化処理、油泥の固化処理、焼却灰の固化、火山灰の固化、のり面の吹付け材、地中埋設管の埋戻し材、水中部の築堤用材などが考えられる。

3. 実験結果

3.1 霞ヶ浦底質の凝集沈降実験

(1) 試料

実験に用いた霞ヶ浦底質の土質特性を表-1に示す。

表-1 霞ヶ浦底質の土質特性

| 土質特性                        |                      | 実験試料  |
|-----------------------------|----------------------|-------|
| 粒度試験 (%)                    | 細礫分 (4.75~2mm)       | 0     |
|                             | 粗砂分 (2.0~0.425mm)    | 0.4   |
|                             | 細砂分 (0.425~0.075mm)  | 2.4   |
|                             | シルト分 (0.075~0.005mm) | 30.2  |
|                             | 粘土分 (0.005mm以下)      | 67.0  |
| 土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> ) |                      | 2.587 |
| 液性限界 (%)                    |                      | 154.5 |
| 塑性限界 (%)                    |                      | 55.6  |
| 塑性指数                        |                      | 98.9  |
| 強熱減量 (%)                    |                      | 13.79 |

(2) 実験方法

試料を水道水で希釈し含水比を3,000%に調整して、実

験を行った。泥水をビーカーに1l入れ、凝集剤を主剤、助剤1、助剤2の順に添加してそれぞれについて攪拌機で1分間攪拌した。これを1lメスシリンダーに移し、所定の時間で沈澱したフロックの高さを計測した。凝集剤の主剤としては、CASおよびPACをそれぞれ添加量500mg/lとした。助剤1にはCAS-B、助剤2にはアニオン系高分子凝集剤を用い、添加量は同量とし、それぞれ10mg/l、20mg/lで実験した。

(3) 実験結果

実験24時間後に、上澄水を採水して、SSとpHの分析を行った。その結果を表-2に示す。SSは原水が1,020mg/lであったのに対し、処理水はCAS, PACともに20mg/l以下の値を示した。また、pHは原水が7.7であったのに対し、CAS処理水は7.2, PAC処理水7.4と同様な値を示した。このようにSSとpHにおいては、CASとPACによる大きな差はなく、処理水はともに放流基準値 (5.8~8.6) を満足している。

表-2 上澄水の性状

| 試料  | 添加量 (mg/l) |     |     | SS (mg/l) | pH  |
|-----|------------|-----|-----|-----------|-----|
|     | 主剤         | 助剤1 | 助剤2 |           |     |
| 原水  |            |     |     | 1,020     | 7.7 |
| 処理水 | CAS 500    | 10  | 10  | 20        | 7.2 |
|     | CAS 500    | 20  | 20  | 11        | 7.2 |
|     | PAC 500    | 10  | 10  | 10        | 7.4 |
|     | PAC 500    | 20  | 20  | 10        | 7.4 |

CASとPACの経過時間による沈降率を、図-1に示す。なお、沈降率は上澄水と全試料高さの比とした。

CAS, PACともに助剤の添加量が増すに従い、沈降速度が早まっている。また、PACに比べてCASの方が早期に高い沈降率を示しており、沈降率50%に達する時間は、CASの場合は助剤の添加量が10mg/lで10分、20mg/lで3分であり、PACの場合はともに20分である。

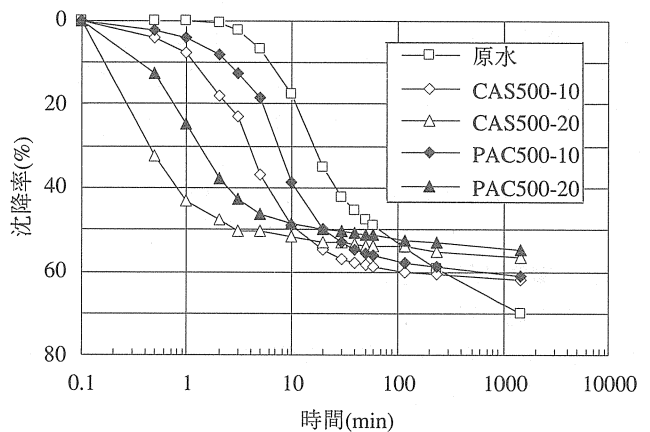


図-1 経過時間と沈降率

3.2 浚渫ヘドロの固化処理実験

(1) 使用固化材

火力発電所から発生する石炭灰（産業廃棄物として扱われる捨灰）の有効利用を図るために、CAS#30に捨灰を混合したものを使用した。また、これと比較するために、フライアッシュセメントの混合材として使用されている良質なフライアッシュを混合したものも使用した。

(2) 試料

試料に用いた原町の浚渫ヘドロの土質性状を、表-3に示す。

表-3 浚渫ヘドロの土質性状

| 土質特性            |                        | 試験試料  |
|-----------------|------------------------|-------|
| 土粒子の密度 $g/cm^3$ |                        | 2.493 |
| 含水比 %           |                        | 127.7 |
| 粒度試験 (%)        | 礫分 (2~75mm) %          | 0     |
|                 | 砂分 (75 $\mu m$ ~2mm) % | 4     |
|                 | シルト分 (5~75 $\mu m$ )   | 58    |
|                 | 粘土分 (5 $\mu m$ 以下) %   | 38    |
| 液性限界 %          |                        | 79.0  |
| 塑性限界 %          |                        | 52.9  |
| 塑性指数            |                        | 26.1  |
| pH              |                        | 7.1   |
| 強熱減量 %          |                        | 8.2   |

(3) 実験条件

CAS#30と捨灰あるいはフライアッシュを4対6の割合で混合して固化材とした。固化材添加量は120 $kg/m^3$ 、180 $kg/m^3$ 、240 $kg/m^3$ 、300 $kg/m^3$ の4ケースとし、湿度90%以上、温度20℃の恒温恒湿養生槽で養生したのち、各材

令1日、3日、7日、28日の一軸圧縮強度を求めた。

(4) 実験結果

図-2に材令と一軸圧縮強度の関係を示す。

添加量と一軸圧縮強度との関係をみると、添加量が増加するにつれて発現強度も増加している。添加量120 $kg/m^3$ と添加量300 $kg/m^3$ を比較すると、捨灰による固化材の材令1日は17.1倍、材令3日は23.7倍、材令7日は18.4倍、材令28日は16.9倍であり、フライアッシュによる固化材の材令1日は14.4倍、材令3日は22.6倍、材令7日は15.5倍、材令28日は15.3倍となっている。

使用固化材別の発現強度をみると、添加量120 $kg/m^3$ と180 $kg/m^3$ では、添加材として用いた捨灰とフライアッシュではほとんど強度差が生じておらず、添加量が増加するにしたがって捨灰とフライアッシュとの間に差異が現れ、添加量300 $kg/m^3$ では顕著な差が認められ、各材令において、捨灰の方がフライアッシュより発現強度が若干高い結果となった。これらのことから、火力発電所から発生する産業廃棄物の対象となっている捨灰も、固化材の添加材として十分適用が可能であると考えられる。

固化材添加によるpH変化を表-4に示す。原土のpH7.1に対して固化材を添加するとpHが約2~3高くなっている。pHの増加の割合は捨灰とフライアッシュの差はほとんどない。また、添加量によるpHの変化は添加量が増加するにつれて、やや高くなる傾向にある。

表-4 pH測定結果

| 添加量( $kg/m^3$ ) | 捨灰のpH | フライアッシュのpH | 原土のpH |
|-----------------|-------|------------|-------|
| 120             | 9.1   | 9.2        | 7.1   |
| 180             | 9.0   | 9.6        |       |
| 240             | 9.6   | 9.7        |       |
| 300             | 9.6   | 9.9        |       |

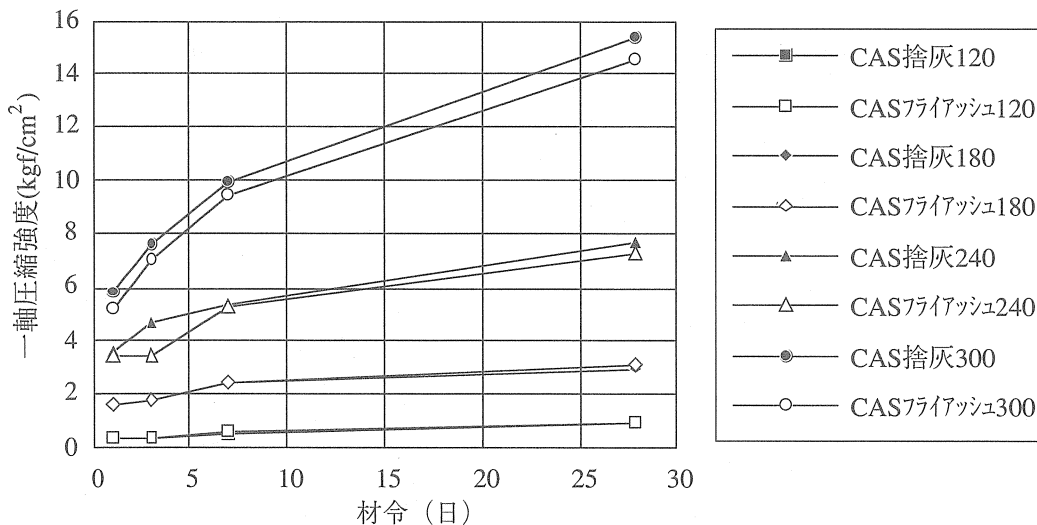


図-2 材令と一軸圧縮強度との関係

### 3.3 雲仙普賢岳火山灰の固化実験

#### (1) 実験方法

固化材として、CAS#42と普通ポルトランドセメントを使用した。供試体は、固化材と火山灰を重量比で2対8の割合で混合して、締固めをせずに、室温で水浸養生して作成した。

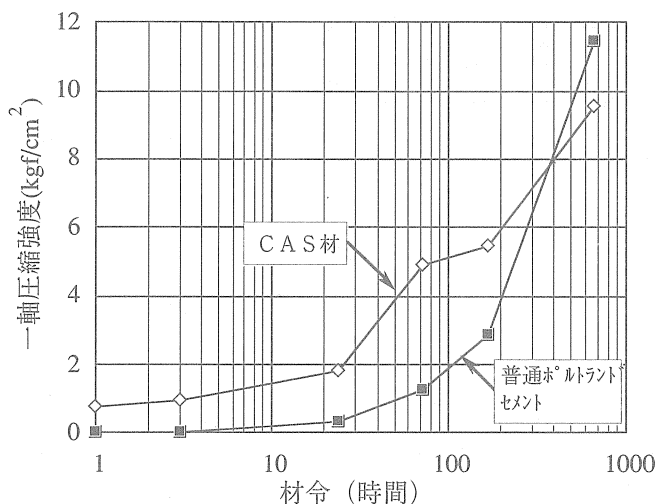
#### (2) 実験結果

実験結果を、表一5と図一3に示す。

固化材別の発現強度をみると、材令1時間から約材令7日までは、普通ポルトランドセメントよりCAS材の方が発現強度が高い傾向にあり、材令28日で逆転している。特に材令1日においては、CAS材と普通ポルトランドセメントの強度比が約5.5倍と高い値を示している。これらのことより、CAS材は特に早期強度発現が求められる場合に有効と考えられる。

表一5 火山灰固化実験結果

| 材令  | CAS材                      |                             | 普通ポルトランドセメント              |                             |
|-----|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
|     | 湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
| 1時間 | 1.674                     | 0.79                        | 試験不能                      | 試験不能                        |
| 3時間 | 1.668                     | 0.97                        | 試験不能                      | 試験不能                        |
| 1日  | 1.678                     | 1.80                        | 1.733                     | 0.33                        |
| 3日  | 1.704                     | 4.92                        | 1.692                     | 1.26                        |
| 7日  | 1.670                     | 5.49                        | 1.673                     | 2.88                        |
| 28日 | 1.685                     | 9.54                        | 1.741                     | 11.46                       |



図一3 材令と一軸圧縮強度

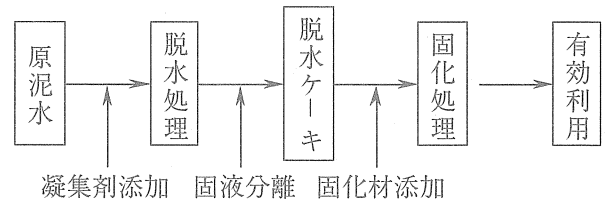
### 4. 施工方法

凝集沈降剤であるCAS剤を用いて濁水あるいは泥水を処理する場合は、凝集剤を添加・攪拌したのち、沈澱槽で固液分離するのが一般的であるが、比較的小規模の場合には凝集剤を添加した濁水を袋に投入して、固液分離

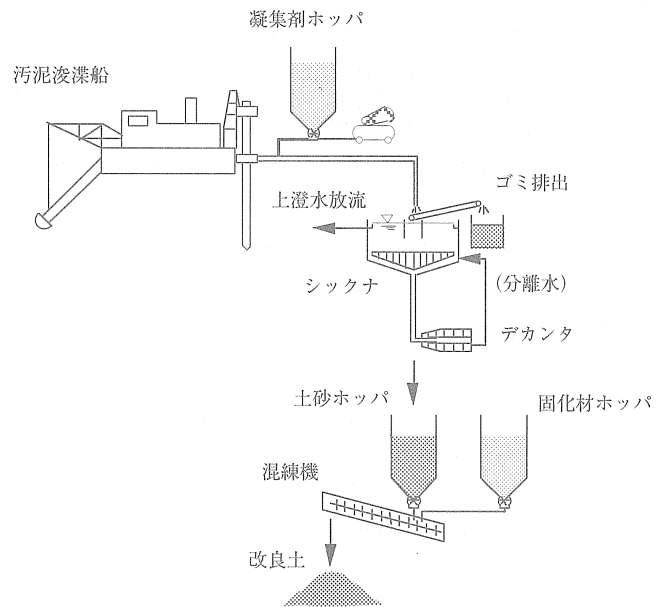
と脱水を一時期に行う袋詰め工法が効果的である。

固化材であるCAS材で軟弱土を固化処理する場合は、バックホウや泥上車などで混合する現地固化方式とプラント内で混練するプラント方式がある。

河川・湖沼などの浚渫泥水、泥水シールド、場所打ち杭工事から発生する泥水などは、適切な脱水処理と固化処理を行って、再利用することが望まれる。その泥水処理フローを図一4に、また浚渫土処理の概略を図一5に示す。



図一4 泥水処理フロー



図一5 浚渫土処理の概略図

### 5. まとめ

今回、建設汚泥の処理剤(材)として、CASを用い、各種土質に対する基本特性を把握した。

- (1) 泥水の凝集沈降については、従来の凝集剤よりCAS剤の方が分離速度が早く、また沈降したフロックも大きく脱水性に優れている。
- (2) 産業廃棄物として扱われる捨灰は、固化材の混合物として、十分利用可能である。
- (3) 現在、処理が大きな問題となっている雲仙普賢岳の火山灰もCAS材と混合することによって、固化材として利用でき、仮設の路盤材、導流堤などに適用が可能である。