TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo University of Marine Science and Technology (東京海洋大学)

# ホンダワラ凝集剤の生コンクリートスラッジ水減容化への応用



| メタデータ | 言語: jpn<br>出版者:<br>公開日: 2021-06-21<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: 門松, 美里<br>メールアドレス:<br>所属: |
|---|---|
| URL | https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/2167 |

修士学位論文

# ホンダワラ凝集剤の生コンクリートスラッジ水減容化への応用

平成 29 年度
(2018 年 3 月)

東京海洋大学大学院
海洋科学技術研究科
海洋環境保全学専攻

門松　美里

# 目次

1　序論 ..... 1
1.1.　凝集剤 ..... 1
1.2.　アルギン酸 ..... 1
1.3.　ホンダワラ ..... 1
1.4.　スラッジ水の発生と処理方法 ..... 2
1.5.　生コンクリート ..... 2
1.6.　セメント ..... 3
1.7.　陸砂（おかずな） ..... 3
1.8.　高性能 AE 減水剤 ..... 3
1.9.　研究の目的 ..... 4
2　実験 ..... 5
2.1.　実験材料・試薬 ..... 5
2.2.　ホンダワラ凝集剤の調製 ..... 5
2.2.1.　ホンダワラの粉末化 ..... 5
2.2.2.　塩酸洗浄・アルカリ浸漬処理 ..... 5
2.2.3.　炭酸アンモニウムの添加 ..... 6
2.3.　擬似スラッジ水の調製 ..... 6
2.3.1.　乾燥スラッジの粉末化 ..... 6
2.3.2.　陸砂（細骨材）の洗浄・粉末化 ..... 6
2.3.3.　擬似スラッジ水の調製 ..... 6
2.4.　擬似スラッジ水を用いた凝集試験 ..... 7
2.5.　実際のスラッジ水を用いた凝集試験 ..... 7
2.5.1.　実験室における凝集試験 ..... 7
2.5.2.　生コンクリート工場における凝集試験 ..... 7
2.6.　スラッジ水上澄み Ca イオン吸光度測定 ..... 7
2.6.1.　試料の原子吸光度測定 ..... 8
2.6.2.　検量線の作成 ..... 8
2.7.　炭酸アンモニウム添加による炭酸カルシウム沈殿の生成 ..... 8
3.　結果および考察 ..... 9
3.1.　擬似スラッジ水調製条件の再検討 ..... 9
3.1.1.　高性能 AE 減水剤の添加量の決定 ..... 9
3.1.2.　成分組成による沈降速度の制御 ..... 9
3.2.　凝集剤の投入時濃度がスラッジ水の減容化に及ぼす影響 ..... 9
3.2.1.　凝集剤の投入時濃度および投入量が減容化率に及ぼす影響（擬似スラッジ水） ... 10
3.2.2.　凝集剤の投入時濃度および最終濃度が減容化率に及ぼす影響 ..... 10

3.2.3.　凝集剤の投入時濃度および投入量が減容化率に及ぼす影響（実スラッジ水）.....11
3.2.4.　実験規模拡大時における実スラッジ水凝集試験結果.....11
3.3.　炭酸アンモニウム添加による凝集試験結果.....12
3.3.1.　擬似スラッジ水凝集試験結果.....12
3.3.2.　実スラッジ水凝集試験結果.....13
3.4.　擬似スラッジ水および実スラッジ水の上澄み Ca イオン濃度測定.....13
3.4.1.　Ca イオン濃度検量線作成.....13
3.4.2.　擬似スラッジ水上澄み Ca イオン濃度測定.....13
3.4.3.　実スラッジ水上澄み Ca イオン濃度測定.....14
3.4.4.　実スラッジ水上澄み Ca イオン濃度測定（実験規模拡大時）.....14
3.4.5.　炭酸アンモニウム添加によるスラッジ水上澄み Ca 消費の変化(擬似スラッジ水）14
3.4.6.　炭酸アンモニウム添加によるスラッジ水上澄み Ca 消費の変化(実スラッジ水）...15
3.4.7.　スラッジ水への炭酸アンモニウム添加による沈殿の生成.....15
4.　結論.....17
5　謝辞.....19
6　参考文献.....20
図、表.....21～60

# 1　序論

## 1.1.　凝集剤

凝集剤とは、懸濁液中に浮遊している固体粒子を集合させ、沈降を促進させるために使用する薬剤である。一般に水中の懸濁粒子は表面に負の電荷を帯びており、互いの電荷によって反発し合って浮遊している。凝集剤を使用することでこの電荷を中和し、反発を抑制すると共に、複数の粒子を凝集させてフロックと呼ばれる大きな凝集体を形成させることができる。懸濁水中に適切な条件で投入することで粒子を速やかに沈降させるため、下水や排水処理における初期の固液分離に利用されている。

凝集剤は無機系凝集剤と有機系凝集剤に大別される。無機系凝集剤には、硫酸アルミニウムやポリ塩化アルミニウムなどが挙げられ、固体粒子の表面電荷を中和することで凝集させる。このように作用することから、無機系凝集剤は非常に小さな粒子に対して効果的であるといわれている。一方有機系凝集剤には、ポリアクリルアミドやキトサン、アルギン酸ナトリウムなどが挙げられる。その凝集機構には、無機系凝集剤と同様に粒子の表面電荷を中和だけでなく、固体粒子同士を架橋も含まれる。このため高分子凝集剤は大きな粒子に対して効果的であると言われている。この 2 つは併用されることが多いが、高分子凝集剤の方が強力な作用を持っている[1] [2]。

## 1.2.　アルギン酸

アルギン酸とは、褐藻類に広く分布する細胞間粘質多糖であり、α-L-グルロン酸とβ-D-マンヌロン酸という 2 種類のウロン酸が直鎖状に重合した高分子多糖である。アルギン酸には 1 ユニットに 1 つのカルボキシル基があり、アルギン酸そのものはこのカルボキシル基が遊離酸の状態であるため、水に不溶である。しかしアルギン酸にアルカリを加え、カルボキシル基が 1 価のアルカリ金属イオンやアンモニウムイオンと塩を形成した場合は水に溶解する。アルギン酸は水に溶けると粘性のあるコロイド溶液となり、その粘度は重合度に比例する。一方、多価カチオンとアルギン酸が塩を形成した場合、複数のカルボキシル基が 1 つの多価カチオンによって架橋され、水に不溶となる。特にカルシウムイオンはアルギン酸中のα-L-グルロン酸が連なるセグメントエッグボックス構造を形成し、強固なゲルを与える。これらの性質から、アルギン酸とその塩類は食品、医薬品、繊維、水処理などの幅広い分野に利用されている。

特に水処理分野においては、アルギン酸はそれ自体でアニオン性高分子として凝集効果を示す。上述のとおり、カルシウム塩を凝固剤として使用すると、強固なフロックを生成する優れた凝集剤となり、工場廃水や建築・浚渫排水の処理に応用されている[3]。

## 1.3.　ホンダワラ

ホンダワラ（学名　*Sargassum fulvellum* (Turner) C. Agardh）は植物界褐藻植物門褐藻綱ヒバマタ目ホンダワラ科ホンダワラ属の海藻である。大部分は潮間帯に分布しており、水深 1～3 m の岩盤や転石上に多く見られる。付着器、茎、主枝、側枝、葉、気泡、生殖器床などの部位を持ち、長さは

50 cm から大きなものは 3 m ほどに成長する。体の上部に楕円体状から紡錘状の気泡を多数付け、気泡の浮力によって海中では立ち上がった状態で生育する。主な含有色素はクロロフィル a、カテキン、キサントフィル、フコキサンチンなどである [4] 。

三陸沿岸、九州と四国の南部を除いた本州の沿岸域に分布しており、特に日本海側に多く分布している。付着器が小さいために固着力が弱く、波あたりの強い場所では流されることが多い。

ホンダワラの無機成分含量は、ヒジキ、ワカメ、コンブと比較してカリウム、ナトリウムが少なく、マグネシウムが多い。特にナトリウム量はワカメの約 1／10、コンブの約 1／4、ヒジキの約 1／2 である。遊離アミノ酸含有量は、コンブやワカメとは比較できないほど微量であるため、私達が普段食している海藻が持つ旨味は少ないと言える。[5]

しかし、細胞間物質としてアルギン酸やフコイダンを多量に含んでおり、アルギン酸は藻種、藻体部位や季節により変動するが、乾燥重量に対して 10~30%含まれている[6]。

## 1.4. スラッジ水の発生と処理方法

生コンクリートは、製造工場から使用現場まで生コン車(アジテート車)によって運搬され、調製から荷卸が 90 分以内（最大 120 分以内）[10]に行われ、打設される。

生コンクリートは時間経過とともに凝結、硬化するため、工場内の設備及び生コン車は毎回速やかに洗浄し、付着している残渣を除去する必要がある。この洗浄水中にはセメントや骨材が含まれており、骨材は再利用可能であるため、処理する際にはこれらを分離する必要がある。骨材を除去した、微粒分を含む洗浄水がスラッジ水である。

生コンクリートの国内出荷量は年間約 8000 万㎥であり[7]、そのうち残渣は約 3%と言われている。この残渣 1 ㎥に対し約 450 kgの洗浄水を必要とするため、年間のスラッジ水総排出量は、およそ 108 万 ㎥と計算することができる。スラッジ水は固形分率が低く、水が大半の構成物質であるため、生コンクリート中のセメント量に対する固形分率 3%以下で練り混ぜ水として添加し、再利用することができる[8]。しかし現状ではほとんどのスラッジ水が使用されておらず、産業廃棄物として処理されている。この処理費用に 1 ㎥あたり 1 万円前後かかり、これに加えて運搬費用もかかるため、処理費用は膨大である。また、環境保全の観点からも、大量の排水を廃棄することに懸念がある。

## 1.5. 生コンクリート

生コンクリートはレディーミクストコンクリートとも呼ばれ、セメント、水道水、骨材と呼ばれる砂利や砂、混和剤（セメント粒子を分散させる・生コンクリートの流動性を維持するなどの働きを持つ）を所定の配合で練った建築材料である。調製直後はやわらかい状態であるが、時間経過とともに凝結・硬化し、コンクリートとなる[9]。用途や打設環境に応じて流動性、凝結・硬化後の強度や耐久性、密度を変化させる必要があるため、材料の種類や配合が細かく設定されている。また、工場で設定どおりに配合・混合されても、必ず打設直前に適切な流動性や施工性があるかを確認され、これに合格した場合にのみ使用される。基準に満たない場合は未使用のまま工場へ戻され、廃棄物として処理される。

## 1.6. セメント

セメントとは、広義には固形物の断片同士を結合させる接着物質全般のことである。建築資材分野においては、水と反応してコンクリートやアスファルトなどに含まれる砂や砂利同士を接着させる粉体である。用途や使用する環境によって異なる性質のセメントが使用されている。

原料は、石灰石（炭酸カルシウム）、珪石、粘土、酸化鉄原料などである。これらを所定量混合して粉砕・乾燥させたのちにロータリーキルンと呼ばれる回転窯に入れ、1450℃以上で焼成する。これによりクリンカという黒い固体が得られる。このクリンカに石膏を加えて細かく粉砕したものがセメントである。このような製造工程から、セメントを構成する元素は、カルシウム、アルミニウム、ケイ素、鉄、硫黄、酸素である。これらは、量の多い順に、珪酸三カルシウム($3CaO・SiO_2$)、珪酸二カルシウム($2CaO・SiO_2$)、アルミン酸カルシウム($3CaO・Al_2O_3$)、鉄アルミン酸四カルシウム($4CaO・Al_2O_3・Fe_2O_3$)として存在している。これら 4 つの化合物はいずれも水と接すると粒子表面において水和反応し、水和物が粒子間隙を満たすことで粒子同士を強固に接着させることができる。また、水和反応の過程で水酸化物イオンとカルシウムイオンを放出する[10] [11]。

セメントの水和反応速度は、練り混ぜに使用する水の量、混和剤、温度などで変化する。コンクリートを製造する場合には、特に水量が非常に重要であり、反応速度だけでなくセメント水和物の緻密さにも影響する。水和物の密度が低い場合は、生コンクリートの耐久性と強度が低下する。そのため、生コンクリートやモルタル、セメントペーストなどの建築資材として用いる際には、配合や打設現場の環境を考慮し、他の材料との配合を決定しなければならない。また、セメントの水和反応は長期に渡って続くため、使用製品は定期的に検査が行われ、品質が管理されている。

近年ではセメントの製造工程に着目し、一般廃棄物や汚泥を原料の一部に使用したエコセメントが製品化された。廃棄物や汚泥をロータリーキルンで焼成、無害化し、残った灰とその他の材料から製造されている。セメントの製造は廃棄物のリサイクルにも貢献しており、環境に配慮した建築資材の1つと言える。

## 1.7. 陸砂（おかずな）

陸砂とは、旧河川敷の砂礫層から採集した砂利や砂のことである。本研究では擬似スラッジ水を調製する際に、スラッジ水に含まれるセメント以外の微粒子分（シルト）として使用した。

## 1.8. 高性能 AE 減水剤

高性能 AE 減水剤とは、AE 剤と減水剤の両方の機能を持つ混和材である。AE 剤とは生コンクリート中に、微細な気泡を混入させるための混和剤である。この気泡は生コンクリートの流動性、施工性を高めるだけでなく、生コンクリート中の水分が凍結融解を繰り返すことで生じる劣化を防ぐ働きがある。また減水剤とは、セメント粒子に吸着し、セメント粒子を分散させる混和剤である。セメント粒子の分散により、施工性と流動性を保ちながら、使用する水量とセメント量を減らすことができる。

高性能 AE 減水剤の成分は、ポリカルボン酸塩やリグニンスルホン酸塩などである[11]。カルボキ

シル基、スルホン酸基、水酸基などの親水基を多く持つため水中で電離し、分子全体で負の電荷を帯びている。セメント粒子は水と接した直後から水和反応が始まるため、表面に Ca イオンを多量に保持し、ここに高性能 AE 減水剤が吸着する。この時の分散機構は種類によって異なっており、表面の電荷を反発させる場合、立体的に吸着して粒子同士の隙間を保つ場合などがある。

## 1.9. 研究の目的

コンクリートは人間生活において最も重要な建築材料の一つであり、他に代替可能なものがない。そのため、生コンクリートは日々生産され、使用されている。特に最近は経年劣化によって高速道路や橋の補強工事、東京オリンピック開催に伴う建築物の新規建設によって国内の需要が高まっている。また、インフラ整備にも必要不可欠であるため、今後は海外の発展途上国での需要が高まると予想される。

これに伴いスラッジ水も大量に排出され、環境への負荷及び廃棄コストを考慮すると、廃棄量を削減することが必要とされる。その上、効率的に固液分離が可能になると、上水を再利用する可能性が生まれる。上水は生コン車（アジテート車）や工場設備の洗浄に利用されるだけでなく、固形分が 6% 以下で生コンクリートの練り混ぜ水に再利用できるという報告もある[12]。そのためには、凝集剤を使用し、迅速にスラッジ水を固液分離すること、すなわちスラッジ水の沈殿層減容化が重要である。また、コストおよび環境への負荷を考慮すると、固液分離には安価で生体に安全なものを使用することが望ましい。

本研究室がこれまでに開発した海藻凝集剤は、助剤として Ca イオンを用いると高い凝集性能を示すことがわかっている。また生コンクリートスラッジ水は、セメント由来の Ca イオンが多量に含まれているため、凝集剤のみで凝集効果を示すと予測される。

本研究では、生コンクリートスラッジ水を対象として、海藻凝集剤を用いて固液分離を迅速に行い、固形分体積を減容化させる最適条件を検討した。試験を始めるにあたりまず、実際のスラッジ水に性状や自然沈降の様子を類似させた実験室用のモデルスラッジ水（以下：擬似スラッジ水）を調製し、凝集・減容化試験を行った。その後、擬似スラッジ水での試験と同様の方法を用いて実際のスラッジ水でも試験を行い、凝集剤の減容化効果を確認した。

## 2　実験

### 2.1.　実験材料・試薬

本研究で使用した試料および試薬を下表に示した。

| | |
|---|---|
| ホンダワラ | たまごや商店より購入<br>http://www.tama5ya.jp/product/242 |
| 塩酸　35%　鹿一級 | 国産化学株式会社より購入 |
| 炭酸ナトリウム　特級 | 国産化学株式会社より購入 |
| 炭酸アンモニウム　特級 | 関東化学株式会社より購入 |
| カルシウム標準液 | 関東化学株式会社より購入 |
| 乾燥スラッジ | 住商セメント株式会社より提供 |
| 普通ポルトランドセメント | 住友大阪セメント製　住商セメント株式会社より提供 |
| シルト（陸砂） | 採取場所：千葉県木更津市　住商セメント株式会社より提供 |
| 高性能 AE 減水剤<br>（シーカメント 1100NT） | 日本シーカ株式会社製　住商セメント株式会社より提供 |
| スラッジ水 | 住商セメント株式会社より提供 |

### 2.2.　ホンダワラ凝集剤の調製

#### 2.2.1. ホンダワラの粉末化

乾燥したホンダワラを粉砕機 WDL-1(大阪ケミカル)を用い、約 30 秒間処理して粉末を得た。その後、目開き 500 μm×500 μm のふるいを使用し、ふるいを通過した粉末を実験に使用した。

#### 2.2.2. 塩酸洗浄・アルカリ浸漬処理

ホンダワラ粉末の含水率を測定し、乾燥重量が 50 g に相当する粉末を量りとり、1000 mL ビーカーへ加えた。ここに 1000 mL の 0.6 M 塩酸を、ホンダワラ粉末が舞い上がらないよう注意して加え、スターラーを用いて室温で 15 時間撹拌した。その後、撹拌を止め、30 分以上静置し、ビーカーを傾斜させることによって上澄みを除去した。傾斜のみで除去できなかった塩酸はパスツールピペットを用いて吸い取り、できる限り除去した。得られた残渣の含水率を測定し、炭酸ナトリウムと蒸留水を加え、攪拌機を用いて 200rpm の速度で 30 分攪拌した。このとき、蒸留水のホンダワラ粉末に対する液比は 1：20（g：mL）とし、炭酸ナトリウムは乾燥ホンダワラ 1 g に対して 0.5416 g（塩酸の中和：0.1416 g、浸漬：0.4 g）加えた。

得られた凝集剤を蒸留水で 1.0%(w／v)に定容し、その溶液の pH を測定した。pH が 9.7 以上となるように炭酸ナトリウムを加えて 30 分間攪拌、pH の測定を繰り返し、9.7 以上となった時点で更に 30 分攪拌した。得られた凝集剤の含水率を測定し、乾燥重量で 1 g となるように小分けし、冷凍

保存した。

2.2.3. 炭酸アンモニウムの添加

ホンダワラ凝集剤を 100 mL ガラスビーカーに入れて解凍し、メスフラスコを用いて所定の濃度に蒸留水で定容した。これをガラスビーカーへ移し、所定量の炭酸アンモニウム粉末を加えてスターラーで攪拌し、炭酸アンモニウム入り凝集剤とした。炭酸アンモニウムを加えない場合はそのまま凝集試験に使用した。

2.3. 擬似スラッジ水の調製

原料となるセメント等の試料は H28 年度初期に 2 回、提供を受け、いずれの場合も全て粉砕・混合等を施し、それぞれを 1 ロットとした。

2.3.1. 乾燥スラッジの粉末化

乾燥スラッジを石頭ハンマーで粒径が約 3 cm 以下になるように砕き、50℃に設定した乾燥オーブンで一晩から三晩かけて乾燥させた。その後粉砕機 T-626(東京ユニコム) を用い、約 1 分間処理して粉末を得た。その後、目開き 500 μm×500 μm のふるいを使用し、ふるいを通過した粉末を回収して実験に使用した。

2.3.2. 陸砂（細骨材）の洗浄・粉末化

陸砂を平らなプラスチック容器に厚さ 2 cm 程度敷き詰め、深さが 5 cm 程度になるように水道水を加えて薬さじ（大）を用いて撹拌した。その後数十分間静置し、容器を傾斜させて上澄み水を除去した。この操作を合計で 3 回繰り返した。沈殿物を、クッキングシートを敷いたバットに流し込み、50℃に設定した乾燥オーブンで一晩から三晩かけて乾燥させた。その後粉砕機 T-626(東京ユニコム) を用い、約 1 分間処理して粉末にし、目開き 500 μm×500 μm のふるいを通過した粉末を回収して実験に使用した。

2.3.3. 擬似スラッジ水の調製

乾燥スラッジ、普通ポルトランドセメント、陸砂、高性能 AE 減水剤を所定の配合にて容器中で合わせ、ここに全固形分と水道水の液比が 100 : 50（g : mL）となるように水道水を加えて所定時間、攪拌した（以下、「練り時間」とする）（表 A)。その後、擬似スラッジ水の密度から算出した量の水道水・不足分をさらに加えて撹拌を続けた(以下、「撹拌時間」とする)。

撹拌・練り条件の詳細は以下のとおりである（表 A)。

| 練りの方法 | 攪拌方法 |
| --- | --- |
| シュパーテルで混合後、攪拌せずに湯浴を用いて所定時間、加温した。 | 室温にて所定時間、攪拌した。その後、直ちに凝集試験に用いた。 |

2.4.　擬似スラッジ水を用いた凝集試験

調製した擬似スラッジ水を 300 mL トールビーカーに 200 mL ずつ加え、スターラーを用いて撹拌した。ここにメスフラスコを用いて濃度を希釈した所定量・所定濃度のホンダワラ凝集剤を加え、5 分間撹拌した。その後 30 分間静置し、静置時間 0 分から 30 分までの沈澱高さを、定規を用いて測定した。

沈澱高さから、以下の式を用いて沈澱体積率、および減容化率を求めた。

沈殿体積率[%]　＝　静置 X 分後の沈澱高さ[㎜]　÷　静置 0 分後の沈殿高さ[㎜]　×　100

減容化率[%]　＝　（ブランク試料の沈殿高さ[㎜]　－　処理試料の沈殿高さ[㎜]）　／　ブランク試料の沈殿高さ[㎜]　×　100

2.5.　実際のスラッジ水を用いた凝集試験

2.5.1. 実験室における凝集試験

工場から実際のスラッジ水を平成 29 年 2 月 8 日・9 日、3 月 10 日および 6 月 8 日に提供を受けた。スラッジ水をメスシリンダーで 100 mL はかりとり、その重量を測定することで密度を算出した。密度が 1.15 g/㎤より大きい場合は水道水を加えて密度を下げた。以降の凝集試験は擬似スラッジ水と同様の手順で行った。

2.5.2. 生コンクリート工場における凝集試験

実際のスラッジ水を予め体積の目盛りが書いてある 90 L の半透明ポリバケツに 70 L 入れ、生コンクリート用の攪拌機を用いて攪拌した。直後にスラッジ水をメスシリンダーで 100 mL はかりとり、その重量を測定することで密度を算出した。密度が 1.15 g/㎤より大きい場合は水道水を加えて密度を下げた。

凝集試験時は、予め攪拌機で 1 分間攪拌したあと、続けて攪拌しながら凝集剤を加え、加え終わった時点からさらに 1 分間攪拌した。攪拌を止め、その場で静置し、静置時間毎の体積を記録した。

2.6.　スラッジ水上澄み Ca イオン吸光度測定

### 2.6.1. 試料の原子吸光度測定

凝集試験後のスラッジ水から上清を約 30 mL 駒込ピペットで採取し、ADVANTEC NO.5B の濾紙を用いて自然ろ過した。濾液をホールピペットで 10 mL とり、メスフラスコに入れた。ここに 0.1 M 塩酸をマイクロピペットで 4 mL 加えて振り混ぜ、蒸留水で 100 mL に定容した。これを 10 倍または 100 倍に希釈して原子吸光光度計 AA-7000（島津製作所）を用いて吸光度を測定した。

### 2.6.2. 検量線の作成

Ca イオン吸光度測定にあたり、カルシウム標準液を用いて検量線を作成した。

カルシウム標準液を、濃度が 1，2.5，5，10，15，30 μg/mL となるように希釈し、原子吸光光度計で吸光度を 3 回ずつ測定し、その平均値を算出して検量線を得た。

## 2.7. 炭酸アンモニウム添加による炭酸カルシウム沈殿の生成

凝集試験後の擬似スラッジ水を自然沈降させ、上澄みを 100 mL 程度を得た。これを自然ろ過して（濾紙：ADVANTEC　5B）200 mL ガラスビーカーに入れた。ここに 1.6%（w/v）炭酸アンモニウム水溶液を 5 mL 程度、スターラーで攪拌しながら駒込ピペットで加えて様子を観察した。その後さらに 1 M 塩酸を 5 mL 程度加え、様子を観察した。

## 3.　結果および考察

### 3.1.　擬似スラッジ水調製条件の再検討

卒業研究時に調製した擬似スラッジ水は、実際のスラッジ水の平均的な沈降よりも優位に速く、調製に長時間を要していた。この問題を解決し、沈降速度を抑制する目的で、高性能 AE 減水剤を使用して擬似スラッジ水調製条件を再検討した。また、セメントの水和反応は熱を加えると加速するため、練り工程は加温した状態で進めた。これらの調製条件を新たに加え、実スラッジ水の沈降速度へ近づけるべく、固形分の配合を変化させて新たな擬似スラッジ水調製条件を再検討した。

#### 3.1.1. 高性能 AE 減水剤の添加量の決定

高性能 AE 減水剤を、材料の水道水に溶かして練り工程時に加え、所定の条件で擬似スラッジ水を調製した。これを自然沈降させ、高性能 AE 減水剤濃度が擬似スラッジ水の沈降速度へ与える影響を調べた（表 1、図 1）。高性能 AE 減水剤が最終濃度 2%以上の場合には、スラッジ水が固形分と水に直ちに分離してしまったため、試験に用いることができなかった。また、0.7%では全体が 3 層に分離してしまった（図 1 の 0.7%の結果は 2 層目の高さを示した）。10 分後の沈殿体積率は濃度 0.1%で最大となり、これより高濃度側は沈殿体積率が減少する傾向を示した。30 分後の沈殿体積率は 0.05%で最大値を示したが、10 分後と同様にこれより高濃度側は沈殿体積率が減少する傾向を示した。以上の結果から高性能 AE 減水剤添加量はスラッジ水に対して 0.1%と決定した。

#### 3.1.2. 成分組成による沈降速度の制御

H28 年度に提供を受けた試料を用い、上記で決定した高性能 AE 減水剤の添加量で擬似スラッジ水を調製した。実スラッジ水の沈降速度へ近づけるべく、配合 A から F を設定して擬似スラッジ水を調製し、自然沈降させた（表 2(a)、(b)）。再現性を確認するため同じ配合のサンプルを 4 つずつ作成し、その平均沈殿体積率を図 2 に示した。配合 B、C については試験 2 回の平均値をとった。どの配合条件においても各サンプルの沈殿高さの差が 2 mm 以内に収まっていたため、再現性を確認できた。

配合 A、C は静置 20 分後以降で実スラッジ水よりも高い沈殿体積率を示した。配合 B、D、E は静置 5 分以降で実スラッジ水よりも低い沈殿体積率を示した。配合 F は実スラッジ水と比較すると、5 分後、10 分後はやや低く、30 分後はやや高い値を示した。以上の結果から、実スラッジ水の沈降挙動に最も近い挙動を示す配合 F を新たな擬似スラッジ水と設定した。

### 3.2.　凝集剤の投入時濃度がスラッジ水の減容化に及ぼす影響

スラッジ水は多くの Ca イオンを含んでいる。このため、投入する凝集剤液が高濃度である場合、凝集剤中のアルギン酸が速やかに Ca イオンとゲルを形成し、骨材等と吸着せずに充分な凝集沈殿効果が得られないことが予測された。

本項では投入時の適切な凝集剤液濃度を検討することを目的として、投入時のホンダワラ凝集剤濃度を 0.1～1.3 %の間で変化させ、種々の投入量にてスラッジ水の凝集試験を行った（表 3-1～4）。この結果から、最終的に使用した凝集剤の固形分量あたりの凝集効果（減容化促進効果）が最も高くなる投入時濃度を検討した。

### 3. 2. 1. 凝集剤の投入時濃度および投入量が減容化率に及ぼす影響（擬似スラッジ水）

凝集剤の減容化効果の評価には、『減容化率』を使用した。減容化率は、自然沈降と各サンプルの沈殿層高さの差を百分率で表したものである（実験 2.4.参照）。減容化率が高いほど、凝集剤の効果が高いことを示す。

ホンダワラ凝集剤の投入時濃度毎に、スラッジ水の減容化率における経時変化を図.3-1～3-6 に示した。概ね、静置 5 分以内では自然沈降の方が凝集剤使用時よりも速く沈降するが、5 分以降では徐々に自然沈降よりも減容化速度が高まる傾向がみられた。

投入時条件を個々に着目すると、凝集剤投入時濃度 0.1%、0.15%、0.35%では投入量を増加させても減容化効果が高まらず、減容化率は 10%以下を示した。また同様の傾向は投入時濃度 1.1～1.3%の高濃度側でも観察された。0.6%を除く 0.4%～1.0%では投入量が 12.5 mL 以上で概ね 10%を超える減容化率を示した。加えて 0.4%は 5 mL、7.5 mL、0.9%と 1.0%は 7.5 mL において 10%を超える減容化率を示した。

### 3. 2. 2. 凝集剤の投入時濃度および最終濃度が減容化率に及ぼす影響

本項では、使用した凝集剤固形分量とともに、投入時濃度の影響を観察した。

図 4 では、静置 2 分後と 10 分後の減容化率を、凝集剤最終濃度に対してプロットした。前項に記載のとおり、静置 5 分以内では自然沈降の方が速く、10 分後には減容化が促されていることがわかる。また、10 分後の減容化率は凝集剤最終濃度が 400～800 ppm のとき 10～20%を示すものが多かった。

次いで、10 分後のプロットのうち、凝集剤の初期濃度が 0.4～1.3%のものについて、最終濃度 0～600 ppm の範囲を拡大して図 5 に示した。

投入時濃度 0.4%の結果は最も良いように見えるが、0.45%、0.50%の値をみると、この付近の濃度は安定した減容効果を与えないことがわかる。

一方、投入時濃度が 0.8～1.0%の場合には、安定して、低い最終濃度から良好な結果が示された。1.1%を超えると減容化効果が低下し、この濃度以上ではゲル化により、潜在的な凝集力を発揮できないことが示唆された。

また、凝集剤投入時濃度が 0.4%以上で試験を行った場合、擬似スラッジ水の上澄みにゲルと思われる塊が頻繁に観察された（図 A）。

### 3.2.3. 凝集剤の投入時濃度および投入量が減容化率に及ぼす影響（実スラッジ水）

前項で擬似スラッジ水における減容化効果は、凝集剤投入時濃度 0.8%～1.0%、投入量 10 mL 以上で比較的安定していることが確認された。この結果を基に実スラッジ水でも同様の試験を行い、凝集剤投入条件が減容化率へ与える影響を調べた（表 4、図 6）。

凝集剤投入時濃度が 0.2%までの低濃度側では、減容化率が 0%以下を示し、減容化していなかった。0.4%では凝集剤最終濃度が増加すると減容化率は減少する傾向が見られたが、0.5%、0.6%は最終濃度が増加すると減容化率も増加する傾向が見られた。0.8%では最終濃度によらず同程度の減容化率が得られたが、サンプルによって減容化率に 5～10%の差が見られた。

以上の結果から、擬似スラッジ水では凝集剤投入時濃度が 0.4%～0.6%では濃度によって減容効果が見られなかったのに対し、実スラッジ水では全ての濃度で 5%以上の減容化率を示した。また、投入時濃度 0.8%は本試験中で最も高い減容化率を示したが、サンプルによって異なる減容化率を示し、中には 5%程度のものもあった。

各凝集剤投入条件による減容化率への影響において、10 分後と 20 分後の比較を図 7 に示した。同じ投入時条件が複数ある場合は、最も減容化率が高いものを選択した。蒸留水、水道水および凝集剤投入時濃度 0.2%以下の場合、水道水と 0.2%の投入量 20 mL を除く全てで、静置時間にかかわらず減容化率が 0 以下であった。また、水道水 10 mL、0.2%10 mL と 20 mL のサンプルは 20 分後の方が減容化率は低い値を示したが、それら以外は 20 分後の方が高い値を示した。投入時濃度 0.5%、0.6%においては、10 分後の減容化率は 10%前後であったが、20 分後には概ね 0%であった。0.4%、0.8%においては全てのサンプルで 10 分後の減容化率が 10%前後を示し、20 分後には数%上昇した。

蒸留水および水道水のみの投入量が減容化率に及ぼす影響を図 8 に示した。10 mL では、水道水における減容化率の値にバラ付きが見られた。一方添加量 20 mL では、全てのサンプルにおいて減容化率が負の値を示した。

### 3.2.4. 実験規模拡大時における実スラッジ水凝集試験結果

実験室での試験では、擬似スラッジ水と実スラッジ水の両方に対して海藻凝集剤は投入時濃度 0.4%、0.8%で 5～20%程度の減容化率を示すことがわかった。そこで、実験規模を拡大した場合においても実験室での規模と同様の減容化率を得られるかを確認するために、生コンクリート工場において実験規模を 35 倍に拡大して凝集試験を行った。

凝集剤最終濃度が 30 分後の沈殿体積減容化へ及ぼす影響を調べ、表 5、図 9 に示した。コントロール実験として水道水を加えた場合の減容化率は負の値を示した。一方凝集剤を加えた場合は、ほとんどが正の減容化率を示し、凝集剤最終濃度が高くなるにつれ減容化率が高くなる傾向が見られた。しかし減容化率は実験室規模とは異なり、2%から 5%程度に留まった。

これは攪拌器具が実験室と異なり、生コンクリート用の攪拌機を用いたため、凝集剤投入後の攪拌

時間が短く、充分に凝集剤を混合できなかったことが原因だと考えられる。また、攪拌速度が速すぎたため、仮にスラッジ水中の粒子を凝集していたとしても、高速攪拌によって凝集物同士が激しく衝突し、凝集を阻害し再分散させたことも要因として考えられる。

### 3.3. 炭酸アンモニウム添加による凝集試験結果

上記 3.2 で得られた結果から、スラッジ水に凝集剤を濃度 0.4%および 0.8～1.0%、体積の 5～10%を加えると最も高い減容効果を示すことがわかった。しかしこれらの条件では、図 A に示されるように試験後の上澄みに大きなゲルの塊がみられた。また、実験日によって減容効果を示さない場合もあり、安定して効果を得られなかった。これは凝集剤がスラッジ水中に分散できずに Ca イオンとゲルを形成したためと考えられる。

そこでスラッジ水中の凝集剤と Ca イオンとの急速な結合を抑制し、分散性を高めるために、炭酸アンモニウムを凝集剤に添加して試験を行い、減容効果が安定するかを調べた。これは炭酸アンモニウムを添加することにより、スラッジ水中の Ca イオン量の割合を相対的に減らすことで、凝集剤がスラッジ水中の Ca イオンと接触しにくくなると予想して行った。

#### 3.3.1. 擬似スラッジ水凝集試験結果

炭酸アンモニウムの濃度を変化させて凝集剤に添加し、擬似スラッジ水について凝集試験を行った（表 6・7、図 10-1~3）。

炭酸アンモニウム最終濃度が約 1000 ppm で最も高い減容化率を示した。凝集剤投入時濃度が 0.4%では、1000 ppm までは濃度が高くなるにつれ減容化率も上がる傾向を示し、約 1000 ppm で最大値をとった。しかしそれより高濃度側では減容化率が下がる傾向が見られた。また、最終濃度が同程度でも、投入時濃度が低い方が高い減容化率を示しており、特に 0.4%では最終濃度 500 ppm 付近で、1.2%は 1000～2000 ppm の間で安定して 10～15%程度の減容化率を示した。凝集剤投入時濃度が 0.8%では、1000 ppm までは 0.4%と同様の傾向を示した。また、約 1500 ppm で減容化率が最大値をとり、1000～2000 ppm の間で安定して 10～15%程度の減容化率を示した。2000 ppm を超えると減容化率は下がる傾向が見られた。

次に擬似スラッジ水凝集試験結果を、凝集剤濃度と炭酸アンモニウム濃度の比についてまとめ、その傾向について調べた（図 11-1・11-2）。

凝集剤投入時濃度が 0.4%では、凝集剤最終濃度が 400 ppm までの低濃度側で比が凝集剤：炭酸アンモニウム濃度が 1：1～1：3 のときに減容化率が増加する傾向を示し、400 ppm 付近で最も高い減容化率を示した。また、比が 1：1、1：3 のときは凝集剤最終濃度 400 ppm 以降で減容化率が下がる傾向を示した。

比が 1：4 のときは凝集剤最終濃度が高くなるにつれて減容化率は下がる傾向を示した。凝集剤投入時濃度が 0.8%では、比が 1：1.5、1：2、1：3 のときに減容化率の最大値を示した。比が 1：1 で

凝集剤最終濃度 400 ppm 以降では、安定して 10%程度の減容化率を示した。

凝集剤投入時濃度が 0.8%では、比が 1：1、1：1.5 のときは凝集剤最終濃度が高くなるにつれ減容化率も増加する傾向が見られた。一方比が 1：2、1：3 のときは凝集剤最終濃度が 400 ppm までの低濃度側で減容化率が増加する傾向を示し、600 ppm 付近で最大値を示した。それ以降の減容化率は下がる傾向を示した。

凝集試験後の上澄みの様子を撮影した（図 B、C）。

凝集剤のみでは上澄みにゲルが生じたが、炭酸アンモニウムを加えた場合にはゲルは生じなくなった。

以上の結果から、炭酸アンモニウムを凝集剤に添加することで、擬似スラッジ水の減容効果を安定して得られることがわかった。特に凝集剤投入時濃度 0.4%においては、炭酸アンモニウムを濃度が 1.2%で最終濃度が 1000 ppm 程度になるように加えると、最も高い減容効果を示すことがわかった。また凝集剤投入時濃度 0.8%においては、炭酸アンモニウムを濃度が 1.6%、2.4%で最終濃度が 1000～2000 ppm 程度になるように加えると、高い減容効果を安定して示すことがわかった。

### 3.3.2. 実スラッジ水凝集試験結果

炭酸アンモニウムの投入時濃度を変化させて凝集剤に添加し、実スラッジ水について凝集試験を行った（表 8、図 12-1）。

全ての投入条件で減容化率が負の値を示した。また、炭酸アンモニウム投入時濃度 0.8%以外では、最終濃度が増加するにつれ減容化率は減少する傾向が見られた。

次に擬似スラッジ水凝集試験結果を、凝集剤濃度と炭酸アンモニウム濃度の比についてまとめ、その傾向について調べた（図 12-2）。

添加した炭酸アンモニウム濃度がでは凝集剤最終濃度によって減容化率は変化しなかった。また、凝集剤：炭酸アンモニウム濃度比が 1：1、1：2 のときにおいては最終濃度によって減容化率が急激に下がった。比が 1：3、1：4 においては概ね凝集剤最終濃度が増加するにつれ減容化率は減少する傾向が見られた。

## 3.4. 擬似スラッジ水および実スラッジ水の上澄み Ca イオン濃度測定

### 3.4.1. Ca イオン濃度検量線作成

カルシウム標準液を用いて、Ca イオン検量線を作成した（表 9、図 13）。検量線から得られた近似直線の式を用いて、原子吸光光度計で測定した吸光度から凝集試験後の上澄み水中の Ca イオン濃度を算出した。

### 3.4.2. 擬似スラッジ水上澄み Ca イオン濃度測定

凝集試験では、凝集剤投入時濃度が 1.1%以上になると減容化率が低下した。スラッジ水中には多量の Ca イオンを含むことから、この低下は凝集剤のゲル化によると考えられる。そこで凝集試験後

の擬似スラッジ水の上澄みカルシウム濃度を測定し、凝集剤の投入条件における Ca イオン濃度変化を調べた（表 10、図 14）。

ブランクの Ca イオン濃度はおよそ 1300 ppm であるのに対し、凝集剤および水道水を加えた場合は 700～800 ppm に減少した。これはブランクに Ca イオンを含まない添加物を加えたことで、擬似スラッジ水自体の体積が増加したために Ca イオン濃度が低下したと考えられる。

また、凝集剤濃度が高くなるにつれ Ca イオン濃度は減少する傾向が見られ、凝集剤最終濃度と Ca イオン濃度に負の相関があることが示された。このことから凝集剤が凝集物やゲルの生成に Ca イオンを使用していることが確認された。

### 3.4.3. 実スラッジ水上澄み Ca イオン濃度測定

擬似スラッジ水と同様に実スラッジ水においても凝集試験後の上澄み Ca イオン濃度を測定し、凝集剤の投入条件における Ca イオン濃度変化を調べた（表 11、図 15、16）。

実スラッジ水では、上澄み Ca イオン濃度が実験日によって 100 ppm 程度のずれが生じたが、どちらの実験日もブランクが最も低い値を示した。

擬似スラッジ水と同様に、水道水、蒸留水のみを加えた場合、ブランクよりも Ca イオン濃度が増加した。また、凝集剤濃度が高くなるにつれ Ca イオン濃度は減少する傾向が見られ、外れ値を除くと凝集剤最終濃度と Ca イオン濃度に負の相関があることが示された。

### 3.4.4. 実スラッジ水上澄み Ca イオン濃度測定（実験規模拡大時）

実験規模を拡大した実スラッジ水においても凝集試験後の上澄み Ca イオン濃度を測定し、凝集剤の投入条件における Ca イオン濃度変化を調べた（表 12、図 17）。

実験室規模の実スラッジ水における試験結果とは異なり、ブランクの Ca イオン濃度は凝集剤投入時よりも高い値を示した。

一方、コントロールと凝集剤添加時の Ca イオン濃度の挙動は、実験室規模の試験結果と同様であった。凝集剤濃度が増加すると Ca イオン濃度は減少し、凝集剤最終濃度と Ca イオン濃度に負の相関があることが示された。

### 3.4.5. 炭酸アンモニウム添加によるスラッジ水上澄み Ca 消費の変化(擬似スラッジ水)

擬似スラッジ水凝集試験結果を、炭酸アンモニウム濃度と上澄み Ca イオン濃度についてまとめ、その傾向について調べた(表 13、14)。前項の実験室における実スラッジ水結果と同様に、ここでも実験日によって上澄み Ca イオン濃度は異なっていた。そのため、同日に行ったブランクと凝集試験結果の差をとり、Ca イオン濃度差として図 18 にまとめた。

どの凝集剤投入時濃度においても炭酸アンモニウム最終濃度の増加と上澄み Ca イオン濃度の差には正の相関が見られた。また、炭酸アンモニウムのみでも凝集剤添加時と同様に正の相関が見られたため、炭酸アンモニウム自体がスラッジ水中の Ca イオンを消費していることが示唆された。

また、凝集剤 0%よりも 0.4、0.8%の方が上澄み Ca 濃度の差は大きかったため、アンモニウムを添加した場合でも凝集剤も Ca イオンを消費していることが示された。

次に凝集剤最終濃度と上澄み Ca イオン濃度差についてまとめ、炭酸アンモニウムと凝集剤の比が与える傾向について調べた（図 19）。

同じ凝集剤最終濃度において、概ね比が大きくなるにつれ上澄みCaイオン濃度差も大きくなった。また、凝集剤最終濃度が増加することによっても Ca イオン濃度差が大きくなった。これらのことから、凝集剤に添加した炭酸アンモニウム量の増加によってスラッジ水中の Ca イオンがより多く消費されていることが示唆された。

次に炭酸アンモニウムと凝集剤の比がCaイオン濃度差によって減容化率に与える傾向について調べた（図 20～22）。

凝集剤投入時濃度が 0.4%では、Ca イオン濃度差に関わりなく、凝集剤：炭酸アンモニウム濃度比が 1：1、1：2、1：3 のときに減容化率は 5%以上を示した。一方、比が 1：4 のときは Ca イオン濃度差が高くなるほど減容化率は減少する傾向が見られた。凝集剤のみ(凡例が 0)では減容化していなかった。

凝集剤投入時濃度が 0.8%では、凝集剤のみを除く全ての比で Ca イオン濃度差が高くなるにつれ減容化率も増加する傾向が見られた。

### 3.4.6. 炭酸アンモニウム添加によるスラッジ水上澄み Ca 消費の変化(実スラッジ水)

実スラッジ水凝集試験結果を、炭酸アンモニウム濃度と上澄み Ca イオン濃度についてまとめ、その傾向について調べた(表 15)。

RUN1、2、3 それぞれのブランクと凝集試験結果の差をとり、その変化を調べた（図 23）。

擬似スラッジ水の結果と同様に、凝集剤投入時濃度が 0.4、0.8%のどちらにおいても炭酸アンモニウム最終濃度の増加と上澄み Ca イオン濃度の差には正の相関が見られた。また、炭酸アンモニウムが同じ最終濃度でも、0.4%より 0.8%の方が上澄み Ca 濃度の差は大きかった。

次に凝集剤最終濃度と上澄み Ca イオン濃度についてまとめ、炭酸アンモニウムと凝集剤の比が与える傾向について調べた（図 24）。

同じ凝集剤最終濃度において、Ca イオン濃度差は比が 0 のときに最小値を示し、2 のとこに最大値を示した。また、全ての比で凝集剤最終濃度が高くなるにつれ、Ca イオン濃度差も大きくなった。

また、減容化率と上澄み Ca イオン濃度についてまとめ、炭酸アンモニウムと凝集剤の比が与える傾向について調べた（図 25）。

全ての条件で減容化率は負の値を示した。また、概ね全ての比において Ca イオン濃度差が増加するにつれ減容化率が減少する傾向が見られた。

### 3.4.7. スラッジ水への炭酸アンモニウム添加による沈殿の生成

前項で擬似スラッジ水に炭酸アンモニウムのみを添加した場合でも、上澄み Ca イオン濃度差は増

加することがわかった。そこで、炭酸アンモニウムがスラッジ水中の Ca イオンを消費している要因を推測し、実験によって確認した。

凝集試験後のスラッジ水上澄みをろ過し、炭酸アンモニウムを加えたところ、白色沈殿が得られた（図 D)。ここに塩酸を加えたところ、沈殿は発泡しながら消失した。

この結果から、生じた白色沈殿はスラッジ水上澄み中の Ca と炭酸アンモニウム中の炭酸が化合して生成した炭酸カルシウムだと考えられる。沈殿はスラッジ水中では確認できなかったが、これは攪拌により沈殿がスラッジ固形分と混合したためであると考えられる。また、凝集剤自体も Ca を消費しているため、沈殿が生成しても微量だったため確認できなかったと考えられる。

## 4. 結論

本研究では、生コンクリートスラッジ水を対象として、海藻凝集剤を用いて固液分離を迅速に行い、固形分体積を減容化させる最適条件を検討した。また、試験後上澄み Ca イオン濃度を測定し、凝集剤の凝集挙動に与える影響について調べた。

● 擬似スラッジ水調製条件の再検討

実際のスラッジ水は、経時的な性状変化があるため、実験の再現性を確認しにくい。そのためまず、実際のスラッジ水に性状や自然沈降の様子を類似させた実験室用の擬似スラッジ水を調製した。

卒業研究と比較して新たに、1）練り工程時の加温、2）高性能 AE 減水剤の添加、3）固形分組成の変更を行った。加温を行うことでスラッジ水中の未水和セメントの水和反応が加速したため、調製時間の短縮につながった。また、高性能 AE 減水剤をスラッジ水に対して 0.1%添加することにより、スラッジ水中の粒子がより分散され、沈降速度を遅くすることができた。固形分の組成は、重量比で 200 mL スラッジ水あたり、乾燥スラッジ：セメント：シルトを 40：5：8 が最も実際のスラッジ水に近い沈降挙動を示したため、この組成を最適擬似スラッジ水調製条件と決定した。

これらの条件で擬似スラッジ水を調製し、凝集試験を行った。

● 凝集剤投入条件がスラッジ水凝集試験結果に与える影響

擬似スラッジ水において、凝集剤のみを投入した場合は投入時濃度 0.4%および 0.8～1.0%、最終濃度が 400 ppm 以上で 10～20%の減容化率を示した。また、実スラッジ水においては投入時濃度 0.4～0.8%、最終濃度が 200 ppm 以上で 10～20%の減容化率を示した。しかし、どちらも減容化率が安定して得られず、試験後の上澄みには減容化に寄与せずスラッジ水中の Ca と結合した凝集剤がゲル化していた。ゲル化を抑制し、スラッジ水中の凝集剤をより分散させるために、炭酸アンモニウムを凝集剤に添加して試験を行った。

擬似スラッジ水においては凝集剤投入時濃度が 0.4%の場合は炭酸アンモニウム濃度が 0.4 または 1.2%のとき、0.8%の場合は炭酸アンモニウム濃度が 1.6 または 2.4%のときに最も高い減容化率を示した。また、上澄みにゲルは生じなかった。

一方、実スラッジ水においては凝集剤、炭酸アンモニウムがどの条件においても減容化せず、添加量の増加と共に減容化率は減少した。

凝集剤は投入時濃度 0.4%および 0.8～1.0%、最終濃度が 400 ppm 以上でスラッジ水減容化に効果を示すと言える。しかしスラッジ水中の Ca イオンが過剰なためにゲル化し、減容効果は安定しない。この解決策として炭酸アンモニウムを添加することで、ゲル化を抑え、凝集剤のみの場合と比較して安定して減容効果を示すことができた。よって炭酸アンモニウムはスラッジ水における凝集剤の分散性に効果を与えたと言える。

しかし、実スラッジ水においては減容化を安定させるどころか、沈殿体積を増大させる結果となった。この時に使用したスラッジ水は、以前使用したものと比較して自然沈降速度が速かったため、性状が異なっており、凝集剤が減容効果を発揮できなかったと考えられる。

●上澄み Ca イオン濃度測定結果

凝集剤や水を添加してスラッジ水の体積を増加させると、凝集試験後の上澄み Ca イオン濃度も増加した。これはスラッジ水の密度を下げ、粒子同士の間隔が広げられたことにより、セメントがより多くの Ca イオンを放出したと考えられる。

また、凝集剤添加量が増加すると上澄み Ca イオン濃度は減少する傾向が見られ、凝集剤がスラッジ水中の Ca イオンを消費していることが確認された。

凝集剤に炭酸アンモニウムを添加すると、上澄み Ca イオン濃度はさらに減少した。これは凝集剤の分散性が高まり、ゲルを形成することなくより多くの Ca イオンと結合して凝集物を形成したためだと考えられる。また、炭酸アンモニウム自体が Ca イオンと炭酸カルシウムの沈殿を生成したため、スラッジ水中の Ca イオン濃度をゲルが形成しない程度まで減少させたためだと考えられる。

擬似スラッジ水において、凝集剤に対して 3 倍の濃度で添加した場合は上澄み Ca イオン濃度差によらず 5%以上の減容化率を安定して示した。しかし実スラッジ水においては、炭酸アンモニウム量によらず上澄み Ca 濃度が減少するにつれ、減容化しなくなる傾向を示した。

●今後の展望

本研究では、生コンクリートスラッジ水に対して、海藻凝集剤は限られた性状のスラッジ水のみで固液分離に効果を示した。しかし実際のスラッジ水は、発生環境によってあらゆる性状を持つため、凝集剤はこれに対応していかなければならない。これを達成するためには、性状の異なる擬似スラッジ水を何通りも調製し、凝集試験を進めていく必要がある。また、凝集剤の分散を阻害する過剰の Ca イオンにも何らかの対応が必要である。さらに、本研究結果で得られた凝集剤最適条件は、投入量が排水の 10%程度と多く、規模を拡大した実験の際には、凝集剤の調製や投入が非常に労力を要した。スラッジ水は pH が 11 程度と非常に高いため、工業排水としてそのまま処理することができない。凝集剤投入によってスラッジ水の体積を 10%程度増加させることは、固液分離に貢献したとしても別の工程でコストを増加させることが懸念される。このため、凝集剤投入量を減らすことも今後の課題である。

## 5　謝辞

本論文、研究に関して多大なるお力添えを受け賜りました、東京海洋大学機能材料化学研究室准教授の榎牧子先生に深く感謝申し上げます。

本論文の執筆にあたり多大なるご助言とご指導を賜りました、東京海洋大学海洋無機化学研究室准教授の高橋美穂先生に心より御礼申し上げます。

本論文の執筆にあたり多大なるご助言とご指導を賜りました、東京海洋大学生体機能利用学研究室教授の任恵峰先生に心より御礼申し上げます。

本研究室で実験を一から丁寧に教えてくださり、多くの助言をいただいた、佐藤駿佑氏に深くお礼申し上げます。

本研究に関して、多くのご協力を頂いた住商セメント株式会社の坂田信二様に、心より感謝申し上げます。

同研究室で実験、勉学のみならず生活全体を支えていただいた、また一緒に過ごして参りました同研究室の仲間に心より感謝申し上げます。

最後に私の大学院生活をいつも変わらずに様々な面で支えてくださいました友人、家族へ心より感謝申し上げます。

## 6　参考文献

[1]森山登、「分散・凝集の化学」、産業図書、2002
[2]大森英三、「高分子凝集剤」、高分子刊行会、1986
[3]宮島千尋　アルギン酸類の概要と応用　繊維学会誌　65 巻　12 号　2009
[4]大野正夫、「有用海藻誌　海藻の資源開発と利用に向けて」、内田老鶴圃、2004
[5]桐村ます美　海藻(ホンダワラ)の食用利用に関する一考察　京都短期大学紀要　35 巻 1 号　2007
[6]大石圭一、「海藻の化学」、朝倉書店、2003
[7]JIS A 5308、2016
[8]全国生コンクリート工業組合連合会
http://www.zennama.or.jp/3-toukei/gaiyou/index.html
[9]日本コンクリート工学会
http://www.jci-net.or.jp/j/public/kiso/RecoveredWater.html
[10]岩瀬泰己・岩瀬文夫、「図解入門　よくわかるコンクリートの基本としくみ　第 2 版」　秀和システム、2015
[11]深谷泰文・露木尚光、「セメント・コンクリート材料化学」、技術書院、2009
[12] B.Chatveera・P.Lertwattanaruk,“Use of ready-mixed concrete plant sludge water in concrete containing an additive or admixture.”, Journal of Environmental Management, Volume 90, Issue 5, 1901-1908, April 2009,

# 図、表

表1. 高性能AE減水剤最終濃度変化による擬似スラッジ水の沈殿体積率変化

| 実験日 | 高性能AE減水剤最終濃度[%] | 静置時間毎の沈澱高さ[mm] 静置時間[分] 0 | 1 | 3 | 5 | 10 | 20 | 30 | スラッジ水の様子 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4月26日 | 2 | 69 | | | | | | | 分離 |
| | 2 | 69 | | | | | | | |
| | 0.7 | 70 | | 58 | 53 | 41 | 33 | 30 | 3層に分離 |
| | 0.7 | 68 | | 56 | 51 | 39 | 31 | 30 | |
| | 0.21 | 69 | 67 | 63 | 60 | 53 | 39 | 35 | |
| | 0.21 | 69 | 66 | 62 | 59 | 52 | 38 | 35 | |
| | 3 | 69 | | | | | | | 分離 |
| | 3 | 69 | | | | | | | |
| | 0.02 | 69 | 67 | 64 | 60 | 48 | 43 | 40 | |
| | 0.02 | 69 | 67 | 63 | 58 | 47 | 42 | 40 | |
| | 0.05 | 69 | 68 | 63 | 58 | 48 | 42 | 40 | |
| | 0.05 | 69 | 67 | 63 | 58 | 48 | 42 | 40 | |
| 4月27日 | 0.1 | 69 | 67 | 63 | 60 | 53 | 41 | 39 | |
| | 0.1 | 69 | 66 | 63 | 60 | 53 | 41 | 39 | |
| | 0.02 | 69 | 67 | 62 | 58 | 51 | 40 | 38 | |
| | 0.02 | 69 | 66 | 62 | 58 | 51 | 40 | 37 | |
| | 0 | 68 | 65 | 61 | 57 | 47 | 39 | 38 | |
| | 0 | 68 | 66 | 62 | 58 | 48 | 40 | 38 | |

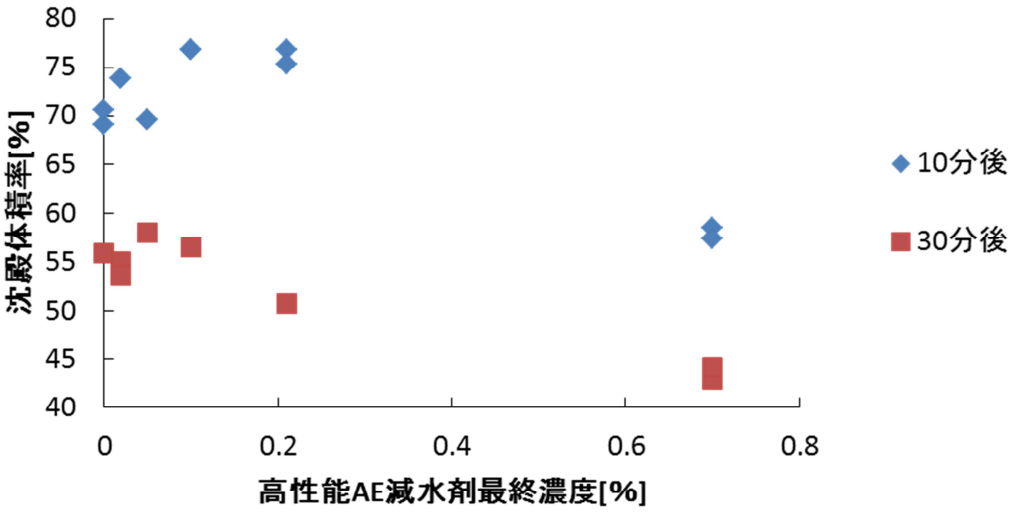



図1. 高性能AE減水剤最終濃度が沈殿体積率に与える影響

＜条件＞
擬似スラッジ水目標密度：1.15 g/㎤
調製スケール：500 mL
乾燥スラッジ：110 g　セメント：12.5 g　シルト：10 g
練り時間：60分　混ぜ時間：30分
沈殿体積率[%]：各静置時間における（ブランク沈澱高さ ／ 各サンプル沈殿高さ[mm]） × 100
撹拌時間：5分
静置時間：0～30分

実験日：4/26～4/27

表2(a). 擬似スラッジ水材料の配合が沈殿体積率に与える影響

| 実験日 | 配合 | 乾燥スラッジ[g] | セメント[g] | シルト[g] | 静置時間毎の沈殿高さ[mm] | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 静置時間[分] | | | | | | |
| | | | | | 0 | 1 | 3 | 5 | 10 | 20 | 30 |
| 6月24日 | A | 198.0 | 22.5 | 18.0 | 69 | 68 | 68 | 67 | 65 | 63 | 60 |
| | | | | | 69 | 68 | 67 | 67 | 65 | 63 | 59 |
| | | | | | 68 | 67 | 67 | 66 | 64 | 62 | 59 |
| | | | | | 70 | 69 | 68 | 67 | 65 | 63 | 60 |
| | B-1 | 220.5 | 0.0 | 18.0 | 70 | 68 | 66 | 65 | 61 | 53 | 46 |
| | | | | | 69 | 68 | 66 | 65 | 61 | 53 | 46 |
| | | | | | 69 | 68 | 66 | 64 | 61 | 52 | 45 |
| | | | | | 69 | 68 | 66 | 64 | 61 | 52 | 45 |
| 6月28日 | B-2 | 220.5 | 0.0 | 18.0 | 70 | 69 | 67 | 65 | 61 | 52 | 50 |
| | | | | | 69 | 68 | 66 | 65 | 60 | 51 | 50 |
| | | | | | 69 | 68 | 66 | 64 | 60 | 52 | 49 |
| | | | | | 70 | 68 | 67 | 64 | 60 | 52 | 49 |
| 6月30日 | C-1 | 209.3 | 11.3 | 18.0 | 69 | 69 | 68 | 67 | 65 | 63 | 61 |
| | | | | | 69 | 69 | 68 | 67 | 65 | 63 | 61 |
| | | | | | 69 | 68 | 67 | 66 | 65 | 63 | 61 |
| | | | | | 70 | 69 | 68 | 67 | 66 | 63 | 62 |
| | C-2 | 209.3 | 11.3 | 18.0 | 69 | 68 | 67 | 67 | 65 | 62 | 59 |
| | | | | | 69 | 68 | 67 | 67 | 65 | 62 | 59 |
| | | | | | 69 | 68 | 67 | 67 | 65 | 62 | 59 |
| | | | | | 69 | 68 | 67 | 67 | 65 | 62 | 59 |
| 7月1日 | D | 219.2 | 1.3 | 18.0 | 70 | 68 | 66 | 64 | 60 | 50 | 47 |
| | | | | | 69 | 68 | 66 | 64 | 60 | 50 | 47 |
| | | | | | 69 | 67 | 65 | 64 | 60 | 50 | 47 |
| | | | | | 68 | 67 | 64 | 63 | 59 | 49 | 46 |
| | E | 214.9 | 5.6 | 18.0 | 70 | 68 | 66 | 64 | 60 | 50 | 48 |
| | | | | | 69 | 68 | 66 | 64 | 60 | 50 | 48 |
| | | | | | 70 | 68 | 66 | 64 | 60 | 50 | 48 |
| | | | | | 69 | 67 | 66 | 64 | 60 | 49 | 47 |
| 7月5日 | F | 180.0 | 22.5 | 36.0 | 70 | 68 | 67 | 66 | 64 | 61 | 58 |
| | | | | | 69 | 67 | 66 | 66 | 63 | 60 | 57 |
| | | | | | 69 | 68 | 66 | 65 | 63 | 59 | 56 |
| | | | | | 68 | 67 | 66 | 65 | 63 | 59 | 56 |

表2(b). 擬似スラッジ水材料の配合と調製条件

| 配合 | 乾燥スラッジ [g] | セメント [g] | シルト [g] | 水道水[mL] | | 高性能AE減水剤 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ① | ② | 添加量 [mL] | 最終濃度 [%] |
| A | 198.0 | 22.5 | 18.0 | 119 | 690 | 0.9 | 0.10 |
| B | 220.5 | 0 | 18.0 | 119 | 690 | 0.9 | 0.10 |
| C | 209.3 | 11.3 | 18.0 | 119 | 690 | 0.9 | 0.10 |
| D | 219.2 | 1.3 | 18.0 | 119 | 690 | 0.7 | 0.08 |
| E | 214.9 | 5.6 | 18.0 | 119 | 690 | 0.9 | 0.10 |
| F | 180.0 | 22.5 | 36.0 | 119 | 690 | 0.9 | 0.10 |

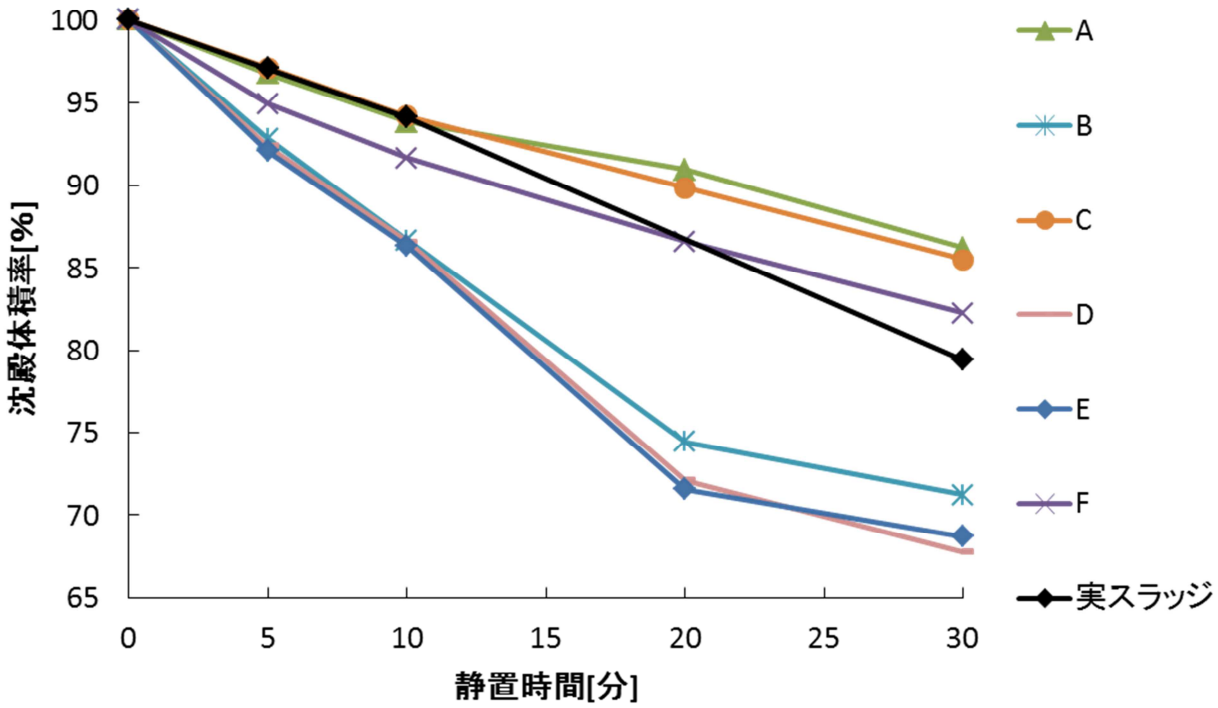



図2. 擬似スラッジ水材料の配合が沈殿体積率に与える影響

＜条件＞
擬似スラッジ水目標密度：1.15 g/㎤
練り時間：20分
混ぜ時間：20分
温浴温度：50～53℃
沈殿体積率[%]：各静置時間における（ブランク沈澱高さ ／ 各サンプル沈殿高さ[㎜]） × 100
撹拌時間：5分
静置時間：0～30分

実験日：6/24～7/5

表3-1. 凝集剤投入条件が擬似スラッジ水の沈殿高さに与える影響①

| 実験日 | 凝集剤 | | | 静置時間毎の沈澱高さ[mm] | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 投入時濃度[%] | 投入量[mL] | 最終濃度[ppm] | 静置時間[分] | | | | | | |
| | | | | 0 | 2 | 4 | 6 | 10 | 20 | 30 |
| 7月21日 | 0.1 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | 65 | 64 | 59 | 55 |
| | | 0.5 | 2.5 | 69 | 67 | 65 | 65 | 63 | 60 | 56 |
| | | 1 | 5.0 | 70 | 67 | 66 | 65 | 64 | 60 | 56 |
| | | 2 | 9.9 | 70 | 68 | 67 | 66 | 64 | 60 | 56 |
| | | 5 | 24.4 | 72 | 69 | 68 | 67 | 64 | 60 | 55 |
| | | 7.5 | 36.1 | 73 | 69 | 68 | 67 | 64 | 58 | 53 |
| | | 10 | 47.6 | 72 | 69 | 67 | 66 | 64 | 58 | 53 |
| | | 20 | 90.9 | 76 | 72 | 71 | 69 | 65 | 58 | 53 |
| | 0.25 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 66 | 65 | 64 | 60 | 56 |
| | | 0.5 | 6.2 | 70 | 67 | 66 | 65 | 64 | 60 | 56 |
| | | 1 | 12.4 | 70 | 68 | 67 | 66 | 64 | 60 | 56 |
| | | 2 | 24.8 | 70 | 68 | 67 | 66 | 64 | 59 | 55 |
| | | 5 | 61.0 | 72 | 69 | 68 | 67 | 64 | 58 | 53 |
| | | 7.5 | 90.4 | 73 | 70 | 68 | 67 | 64 | 57 | 53 |
| | | 10 | 119.0 | 73 | 70 | 68 | 67 | 64 | 58 | 53 |
| | | 20 | 227.3 | 75 | 72 | 70 | 67 | 63 | 55 | 50 |
| 7月22日 | 0.1 | 0 | 0.0 | 70 | 69 | 68 | 67 | 65 | 61 | 56 |
| | | 25 | 111.1 | 77 | 73 | 72 | 69 | 65 | 57 | 52 |
| | | 30 | 130.4 | 78 | 74 | 72 | 70 | 65 | 56 | 51 |
| | | 40 | 166.7 | 82 | 78 | 75 | 73 | 68 | 57 | 53 |
| | 0.25 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 66 | 65 | 62 | 57 | 52 |
| | | 25 | 277.8 | 76 | 73 | 70 | 67 | 60 | 51 | 48 |
| | | 30 | 326.1 | 79 | 74 | 71 | 68 | 63 | 53 | 49 |
| | | 40 | 416.7 | 82 | 77 | 73 | 69 | 62 | 53 | 50 |
| | 0.15 | 0 | 0.0 | 69 | 67 | 66 | 65 | 64 | 59 | 55 |
| | | 2.5 | 18.5 | 70 | 68 | 66 | 65 | 63 | 58 | 54 |
| | | 5 | 36.6 | 71 | 68 | 67 | 65 | 62 | 55 | 52 |
| | | 10 | 71.4 | 74 | 70 | 69 | 68 | 65 | 58 | 54 |
| | | 15 | 104.7 | 74 | 70 | 68 | 67 | 64 | 57 | 52 |
| | | 20 | 136.4 | 76 | 73 | 71 | 68 | 60 | 53 | 50 |
| | | 30 | 195.7 | 79 | 75 | 73 | 69 | 64 | 54 | 50 |
| | | 40 | 250.0 | 82 | 78 | 75 | 72 | 67 | 55 | 51 |
| 7月26日 | 0.3 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | 65 | 64 | 59 | 55 |
| | | 2.5 | 37.0 | 70 | 68 | 67 | 65 | 64 | 59 | 54 |
| | | 5 | 73.2 | 70 | 68 | 66 | 65 | 63 | 58 | 54 |
| | | 10 | 142.9 | 73 | 70 | 69 | 67 | 65 | 59 | 54 |
| | | 15 | 209.3 | 75 | 72 | 70 | 68 | 65 | 57 | 52 |
| | | 20 | 272.7 | 76 | 73 | 70 | 65 | 55 | 49 | 46 |
| | | 25 | 333.3 | 77 | 73 | 72 | 68 | 59 | 50 | 47 |
| | | 30 | 391.3 | 78 | 76 | 73 | 69 | 57 | 50 | 47 |
| | 0.4 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | 65 | 64 | 59 | 55 |
| | | 2.5 | 49.4 | 70 | 67 | 66 | 65 | 63 | 58 | 53 |
| | | 5 | 97.6 | 71 | 68 | 67 | 65 | 60 | 53 | 50 |
| | | 10 | 190.5 | 73 | 70 | 67 | 67 | 65 | 59 | 54 |
| | | 15 | 279.1 | 75 | 71 | 69 | 64 | 54 | 49 | 47 |
| | | 20 | 363.6 | 75 | 71 | 69 | 65 | 55 | 49 | 47 |
| | | 25 | 444.4 | 78 | 75 | 73 | 68 | 57 | 50 | 48 |
| | | 30 | 521.7 | 79 | 75 | 70 | 65 | 54 | 49 | 47 |

表3-2. 凝集剤投入条件が擬似スラッジ水の沈殿高さに与える影響②

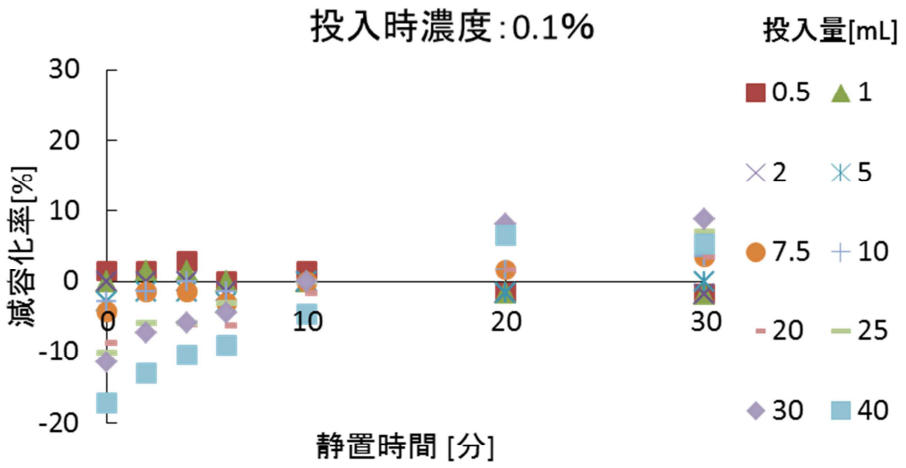
| 実験日 | 凝集剤 | | | 静置時間毎の沈澱高さ[mm] | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 投入時濃度[%] | 投入量[mL] | 最終濃度[ppm] | 静置時間[分] | | | | | | |
| | | | | 0 | 2 | 4 | 6 | 10 | 20 | 30 |
| 7月27日 | 0.35 | 0 | 0.0 | 69 | 67 | 65 | 64 | 61 | 54 | 50 |
| | | 2.5 | 43.2 | 70 | 68 | 67 | 65 | 63 | 58 | 53 |
| | | 5 | 85.4 | 71 | 68 | 67 | 66 | 64 | 59 | 54 |
| | | 10 | 166.7 | 73 | 70 | 69 | 68 | 63 | 55 | 50 |
| | | 15 | 244.2 | 74 | 71 | 70 | 69 | 65 | 58 | 53 |
| | | 20 | 318.2 | 75 | 73 | 71 | 69 | 66 | 59 | 53 |
| | | 25 | 388.9 | 78 | 75 | 73 | 70 | 61 | 51 | 48 |
| | | 30 | 456.5 | 80 | 76 | 71 | 65 | 54 | 50 | 48 |
| | 0.45 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | 66 | 64 | 60 | 56 |
| | | 2.5 | 55.6 | 70 | 68 | 67 | 66 | 64 | 60 | 55 |
| | | 5 | 109.8 | 70 | 67 | 67 | 65 | 63 | 59 | 54 |
| | | 10 | 214.3 | 73 | 70 | 69 | 68 | 65 | 60 | 54 |
| | | 15 | 314.0 | 74 | 72 | 69 | 65 | 55 | 49 | 47 |
| | | 20 | 409.1 | 75 | 73 | 69 | 65 | 54 | 49 | 47 |
| | | 25 | 500.0 | 78 | 75 | 72 | 68 | 56 | 50 | 48 |
| | | 30 | 587.0 | 79 | 76 | 73 | 68 | 56 | 50 | 48 |
| 7月22日 | 0.5 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 68 | 67 | 65 | 61 | 57 |
| | | 2.5 | 61.7 | 70 | 68 | 67 | 65 | 63 | 58 | 53 |
| | | 5 | 122.0 | 72 | 70 | 68 | 66 | 63 | 58 | 53 |
| | | 10 | 238.1 | 71 | 68 | 67 | 65 | 63 | 58 | 54 |
| | | 15 | 348.8 | 75 | 73 | 70 | 65 | 55 | 50 | 48 |
| | | 20 | 454.5 | 76 | 73 | 72 | 68 | 57 | 50 | 48 |
| | | 30 | 652.2 | 79 | 76 | 72 | 64 | 55 | 50 | 49 |
| | | 40 | 833.3 | 82 | 78 | 72 | 61 | 54 | 50 | 50 |
| 7月28日 | 0.25 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | | 63 | 58 | 54 |
| | | 2.5 | 30.9 | 70 | 68 | 67 | | 64 | 59 | 54 |
| | | 5 | 61.0 | 71 | 68 | 67 | | 64 | 59 | 54 |
| | | 10 | 119.0 | 73 | 70 | 69 | | 63 | 56 | 51 |
| | | 15 | 174.4 | 74 | 71 | 70 | | 65 | 57 | 52 |
| | | 20 | 227.3 | 76 | 72 | 70 | | 64 | 55 | 50 |
| | | 25 | 277.8 | 77 | 74 | 70 | | 55 | 49 | 47 |
| | | 30 | 326.1 | 79 | 75 | 73 | | 63 | 53 | 49 |
| | 0.35 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | 67 | 65 | 60 | 56 |
| | | 2.5 | 43.2 | 69 | 67 | 66 | 65 | 63 | 59 | 54 |
| | | 5 | 85.4 | 70 | 68 | 67 | 65 | 64 | 59 | 55 |
| | | 10 | 166.7 | 73 | 70 | 69 | 68 | 64 | 58 | 53 |
| | | 15 | 244.2 | 74 | 72 | 70 | 69 | 65 | 58 | 54 |
| | | 20 | 318.2 | 77 | 74 | 72 | 70 | 65 | 55 | 51 |
| | | 25 | 388.9 | 78 | 74 | 73 | 69 | 64 | 56 | 52 |
| | | 30 | 456.5 | 79 | 76 | 74 | 73 | 70 | 62 | 56 |

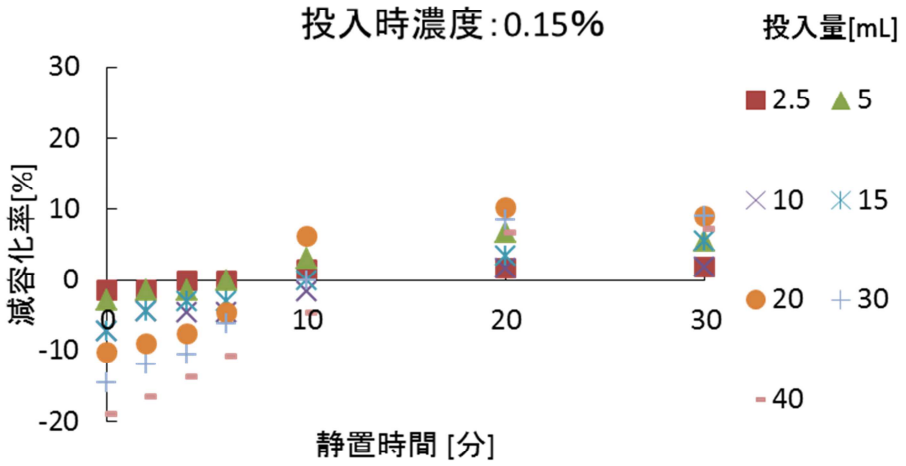
表3-3. 凝集剤投入条件が擬似スラッジ水の沈殿高さに与える影響③

| 実験日 | 凝集剤 | | | 静置時間毎の沈澱高さ[mm] | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 投入時濃度[%] | 投入量[mL] | 最終濃度[ppm] | 静置時間[分] | | | | | | |
| | | | | 0 | 2 | 4 | 6 | 10 | 20 | 30 |
| 8月2日 | 0.7 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | 66 | 65 | 60 | 55 |
| | | 7.5 | 253.0 | 72 | 70 | 69 | 67 | 63 | 57 | 53 |
| | | 10 | 333.3 | 73 | 71 | 69 | 67 | 61 | 54 | 50 |
| | | 12.5 | 411.8 | 73 | 70 | 67 | 62 | 55 | 49 | 48 |
| | | 15 | 488.4 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 60 | 55 |
| | | 17.5 | 563.2 | 75 | 72 | 66 | 60 | 55 | 49 | 48 |
| | | 20 | 636.4 | 76 | 72 | 66 | 59 | 52 | 48 | 47 |
| | | 25 | 777.8 | 79 | 75 | 68 | 58 | 54 | 50 | 48 |
| | 0.6 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | 65 | 64 | 60 | 56 |
| | | 7.5 | 216.9 | 72 | 69 | 68 | 67 | 65 | 60 | 56 |
| | | 10 | 285.7 | 73 | 70 | 69 | 68 | 67 | 62 | 57 |
| | | 12.5 | 352.9 | 74 | 72 | 70 | 68 | 65 | 60 | 55 |
| | | 15 | 418.6 | 74 | 71 | 70 | 69 | 66 | 61 | 56 |
| | | 17.5 | 482.8 | 74 | 71 | 69 | 65 | 55 | 50 | 48 |
| | | 20 | 545.5 | 76 | 74 | 72 | 70 | 67 | 63 | 57 |
| | | 25 | 666.7 | 78 | 75 | 74 | 72 | 69 | 64 | 58 |
| 8月3日 | 0.55 | 0 | 0.0 | 69 | 67 | 65 | 64 | 62 | 56 | 53 |
| | | 7.5 | 198.8 | 72 | 69 | 68 | 67 | 64 | 58 | 53 |
| | | 10 | 261.9 | 73 | 70 | 69 | 68 | 65 | 60 | 55 |
| | | 12.5 | 323.5 | 74 | 71 | 70 | 68 | 67 | 62 | 57 |
| | | 15 | 383.7 | 74 | 71 | 69 | 66 | 57 | 50 | 48 |
| | | 17.5 | 442.5 | 74 | 71 | 69 | 64 | 53 | 49 | 47 |
| | | 20 | 500.0 | 76 | 73 | 68 | 61 | 53 | 49 | 47 |
| | | 25 | 611.1 | 78 | 74 | 69 | 63 | 53 | 49 | 47 |
| | 0.65 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | 66 | 63 | 58 | 53 |
| | | 7.5 | 234.9 | 72 | 69 | 67 | 64 | 56 | 49 | 47 |
| | | 10 | 309.5 | 73 | 70 | 69 | 66 | 57 | 50 | 48 |
| | | 12.5 | 382.4 | 73 | 70 | 69 | 68 | 65 | 60 | 54 |
| | | 15 | 453.5 | 74 | 71 | 68 | 64 | 53 | 49 | 46 |
| | | 17.5 | 523.0 | 75 | 72 | 66 | 62 | 52 | 49 | 47 |
| | | 20 | 590.9 | 76 | 72 | 68 | 60 | 52 | 48 | 48 |
| | | 25 | 722.2 | 78 | 73 | 68 | 60 | 52 | 48 | 48 |
| 8月5日 | 0.8 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | 66 | 64 | 60 | 55 |
| | | 5 | 195.1 | 71 | 69 | 66 | 63 | 57 | 51 | 49 |
| | | 7.5 | 289.2 | 72 | 70 | 68 | 65 | 55 | 49 | 46 |
| | | 10 | 381.0 | 73 | 70 | 67 | 64 | 55 | 49 | 47 |
| | | 12.5 | 470.6 | 74 | 72 | 69 | 65 | 55 | 50 | 48 |
| | | 15 | 558.1 | 74 | 72 | 70 | 68 | 64 | 57 | 52 |
| | | 17.5 | 643.7 | 75 | 71 | 65 | 58 | 52 | 49 | 47 |
| | | 20 | 727.3 | 77 | 73 | 67 | 58 | 53 | 49 | 47 |
| | 0.4 | 0 | 0.0 | 69 | 67 | 66 | 65 | 63 | 58 | 53 |
| | | 7.5 | 144.6 | 73 | 69 | 68 | 65 | 58 | 50 | 48 |
| | | 10 | 190.5 | 73 | 70 | 68 | 67 | 63 | 56 | 52 |
| | | 12.5 | 235.3 | 73 | 70 | 68 | 64 | 55 | 50 | 48 |
| | | 15 | 279.1 | 74 | 72 | 70 | 65 | 58 | 52 | 49 |
| | | 17.5 | 321.8 | 75 | 72 | 68 | 65 | 55 | 50 | 48 |
| | | 20 | 363.6 | 76 | 72 | 68 | 65 | 54 | 50 | 48 |
| | | 25 | 444.4 | 78 | 73 | 69 | 65 | 55 | 50 | 49 |

表3-4. 凝集剤投入条件が擬似スラッジ水の沈殿高さに与える影響④

| 実験日 | 凝集剤 | | | 静置時間毎の沈澱高さ[mm] | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 投入時濃度[%] | 投入量[mL] | 最終濃度[ppm] | 静置時間[分] | | | | | | |
| | | | | 0 | 2 | 4 | 6 | 10 | 20 | 30 |
| 8月15日 | 0.9 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | 65 | 63 | 59 | 54 |
| | | 4 | 176.5 | 71 | 68 | 65 | 62 | 54 | 49 | 46 |
| | | 5 | 219.5 | 71 | 68 | 67 | 64 | 59 | 54 | 50 |
| | | 7.5 | 325.3 | 71 | 68 | 65 | 62 | 57 | 51 | 48 |
| | | 10 | 428.6 | 72 | 69 | 65 | 61 | 53 | 48 | 46 |
| | | 12.5 | 529.4 | 74 | 70 | 65 | 59 | 52 | 48 | 46 |
| | | 15 | 627.9 | 74 | 71 | 67 | 63 | 52 | 48 | 46 |
| | | 20 | 818.2 | 75 | 73 | 67 | 60 | 52 | 48 | 47 |
| | 1.0 | 0 | 0.0 | 69 | 67 | 66 | 65 | 63 | 58 | 54 |
| | | 3 | 147.8 | 69 | 67 | 65 | 63 | 59 | 52 | 49 |
| | | 5 | 243.9 | 71 | 68 | 67 | 64 | 58 | 51 | 47 |
| | | 7.5 | 361.4 | 72 | 69 | 65 | 60 | 55 | 49 | 46 |
| | | 10 | 476.2 | 73 | 69 | 66 | 62 | 54 | 49 | 46 |
| | | 12.5 | 588.2 | 74 | 70 | 65 | 49 | 52 | 48 | 46 |
| | | 15 | 697.7 | 75 | 71 | 67 | 63 | 53 | 48 | 47 |
| | | 20 | 909.1 | 76 | 73 | 69 | 63 | 53 | 48 | 46 |
| 8月16日 | 0.6 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | 65 | 64 | 59 | 55 |
| | | 5 | 146.3 | 70 | 68 | 66 | 65 | 63 | 58 | 54 |
| | | 7.5 | 216.9 | 72 | 69 | 68 | 65 | 63 | 58 | 54 |
| | | 10 | 285.7 | 73 | 70 | 69 | 67 | 65 | 60 | 55 |
| | | 12.5 | 352.9 | 74 | 71 | 69 | 67 | 64 | 58 | 54 |
| | | 15 | 418.6 | 74 | 71 | 69 | 65 | 61 | 54 | 51 |
| | | 17.5 | 482.8 | 75 | 72 | 69 | 68 | 65 | 60 | 55 |
| | | 20 | 545.5 | 75 | 73 | 71 | 69 | 63 | 56 | 53 |
| | 1.2 | 0 | 0.0 | 70 | 68 | 68 | 67 | 65 | 60 | 57 |
| | | 2.5 | 148.1 | 70 | 68 | 67 | 66 | 64 | 60 | 56 |
| | | 5 | 292.7 | 71 | 69 | 68 | 66 | 63 | 58 | 54 |
| | | 7.5 | 433.7 | 72 | 69 | 67 | 65 | 62 | 57 | 53 |
| | | 10 | 571.4 | 73 | 69 | 68 | 66 | 63 | 57 | 53 |
| | | 12.5 | 705.9 | 74 | 71 | 69 | 67 | 64 | 58 | 54 |
| | | 15 | 837.2 | 74 | 71 | 70 | 68 | 65 | 60 | 55 |
| | | 20 | 1090.9 | 76 | 73 | 70 | 68 | 66 | 58 | 54 |
| 8月18日 | 1.1 | 0 | 0.0 | 69 | 67 | 66 | 65 | 63 | 59 | 55 |
| | | 2.5 | 135.8 | 69 | 67 | 65 | 64 | 62 | 56 | 52 |
| | | 5 | 268.3 | 71 | 68 | 66 | 66 | 62 | 57 | 53 |
| | | 7.5 | 397.6 | 73 | 69 | 68 | 66 | 63 | 58 | 53 |
| | | 10 | 523.8 | 73 | 70 | 68 | 67 | 64 | 59 | 54 |
| | | 12.5 | 647.1 | 74 | 71 | 69 | 68 | 64 | 59 | 55 |
| | | 15 | 767.4 | 74 | 71 | 67 | 64 | 60 | 54 | 52 |
| | | 20 | 1000.0 | 76 | 73 | 71 | 69 | 67 | 60 | 56 |
| | 1.3 | 0 | 0.0 | 69 | 67 | 66 | 65 | 64 | 59 | 56 |
| | | 2.5 | 160.5 | 70 | 68 | 67 | 65 | 64 | 59 | 55 |
| | | 5 | 317.1 | 71 | 68 | 67 | 65 | 62 | 57 | 53 |
| | | 7.5 | 469.9 | 71 | 69 | 68 | 67 | 64 | 59 | 54 |
| | | 10 | 619.0 | 72 | 69 | 68 | 66 | 63 | 58 | 53 |
| | | 12.5 | 764.7 | 74 | 71 | 69 | 68 | 65 | 59 | 55 |
| | | 15 | 907.0 | 74 | 72 | 69 | 68 | 65 | 59 | 55 |
| | | 20 | 1181.8 | 76 | 73 | 71 | 69 | 66 | 59 | 55 |



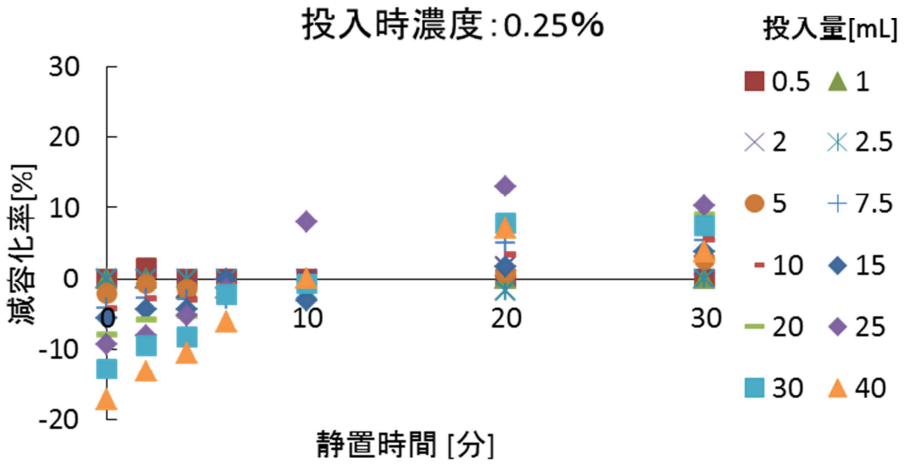
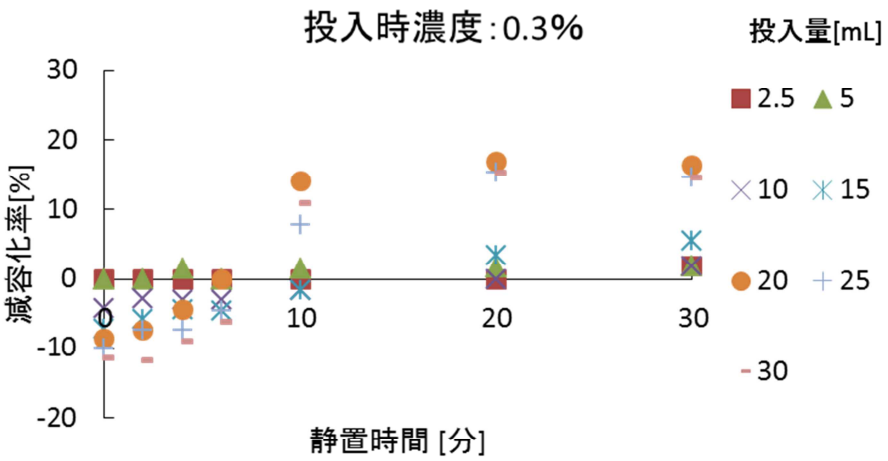
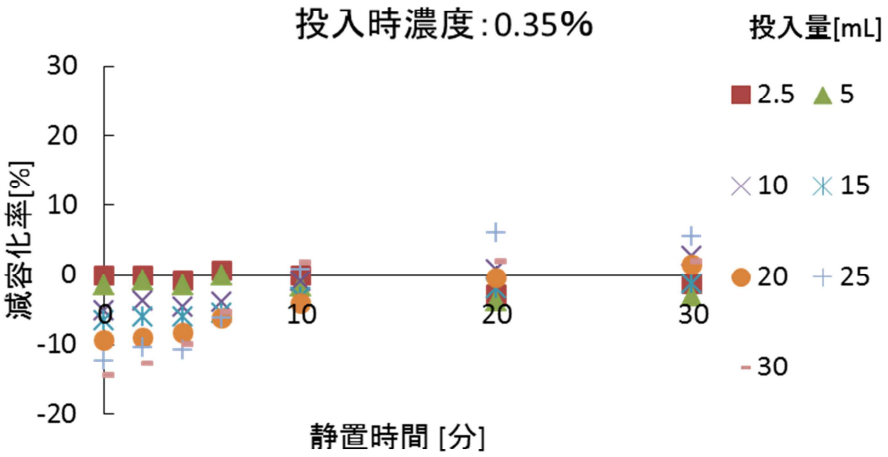




図3-1. 凝集剤投入量と投入時濃度が減容化率の経時変化に及ぼす影響

＜条件＞
擬似スラッジ水密度:1.15 g/㎤
凝集剤投入時濃度: 0.1%～0.25%
減容化率[%]:各静置時間における(ブランク沈澱高さ － 各サンプル沈殿高さ[㎜]) / ブランク沈澱高さ[㎜] × 100
撹拌時間:5分
静置時間:0～30分



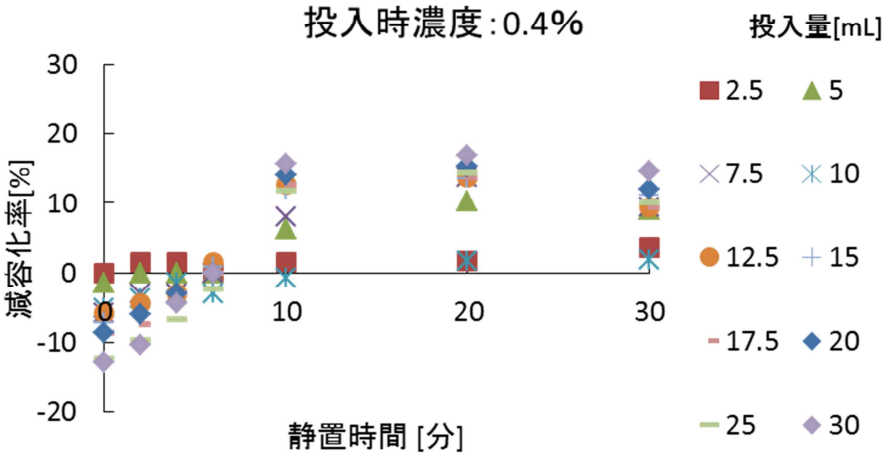




図3-2. 凝集剤投入量と投入時濃度が減容化率の経時変化に及ぼす影響

＜条件＞
擬似スラッジ水密度:1.15 g/㎤
凝集剤投入時濃度: 0.3%～0.4%
減容化率[%]:各静置時間における(ブランク沈澱高さ － 各サンプル沈殿高さ[㎜]) / ブランク沈澱高さ[㎜] × 100
撹拌時間:5分
静置時間:0～30分

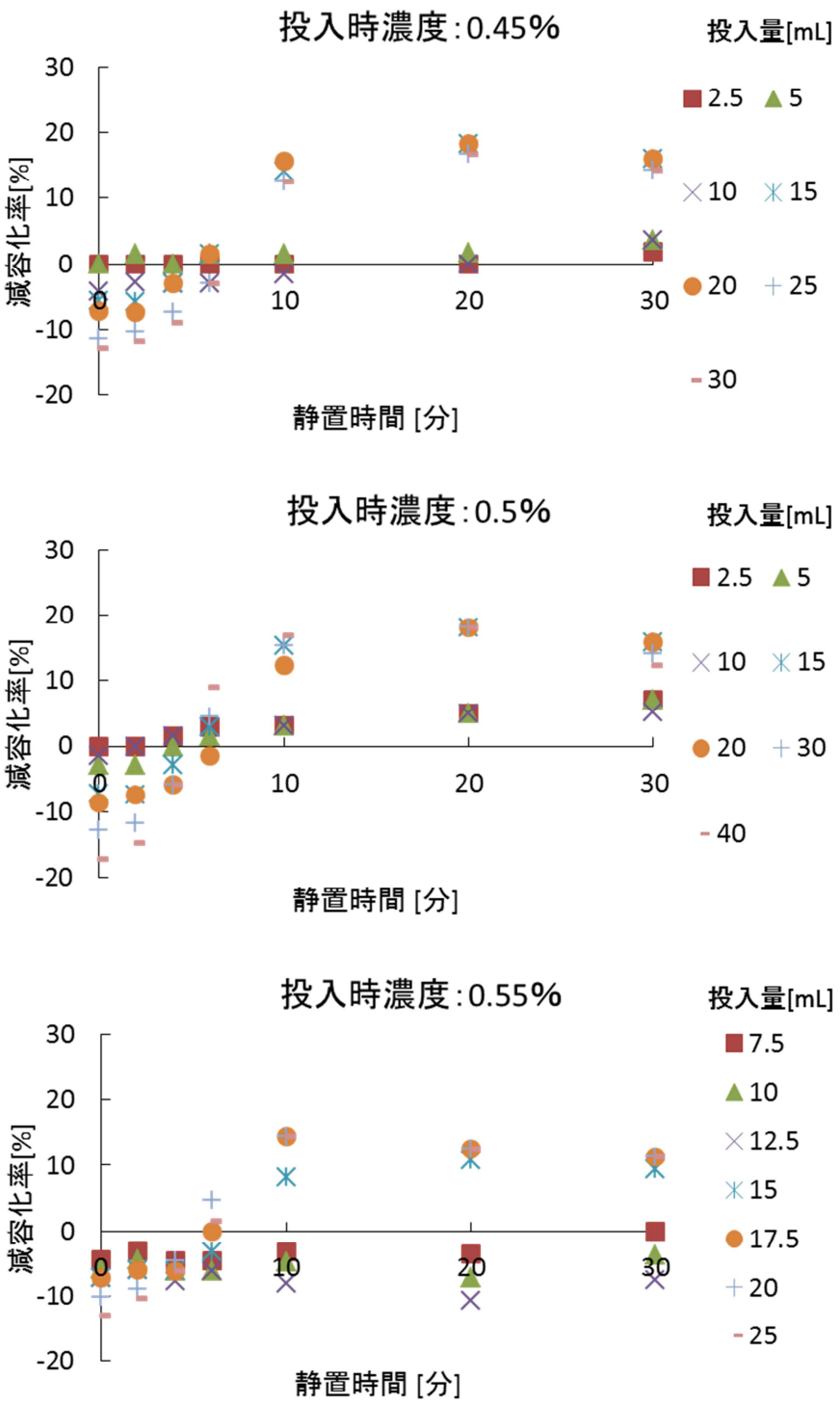



図3-3. 凝集剤投入量と投入時濃度が減容化率の経時変化に及ぼす影響

＜条件＞
擬似スラッジ水密度:1.15 g/㎤
凝集剤投入時濃度: 0.45%～0.55%
減容化率[%]:各静置時間における(ブランク沈澱高さ － 各サンプル沈殿高さ[㎜]) / ブランク沈澱高さ[㎜] × 100
撹拌時間:5分
静置時間:0～30分

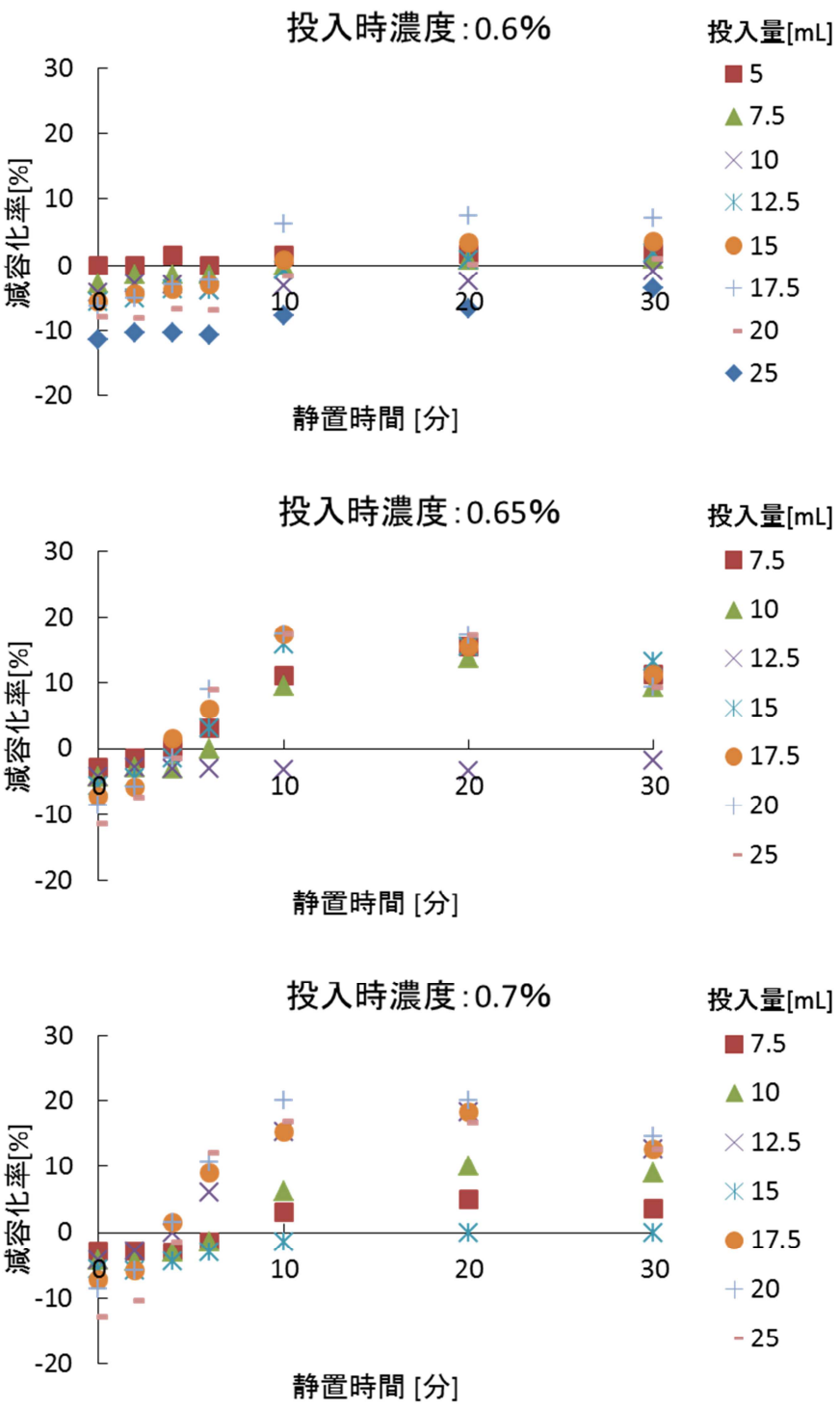



図3-4. 凝集剤投入量と投入時濃度が減容化率の経時変化に及ぼす影響

＜条件＞
擬似スラッジ水密度:1.15 g/㎤
凝集剤投入時濃度: 0.6%～0.7%
減容化率[%]:各静置時間における(ブランク沈澱高さ － 各サンプル沈殿高さ[㎜]) / ブランク沈澱高さ[㎜] × 100
撹拌時間:5分
静置時間:0～30分

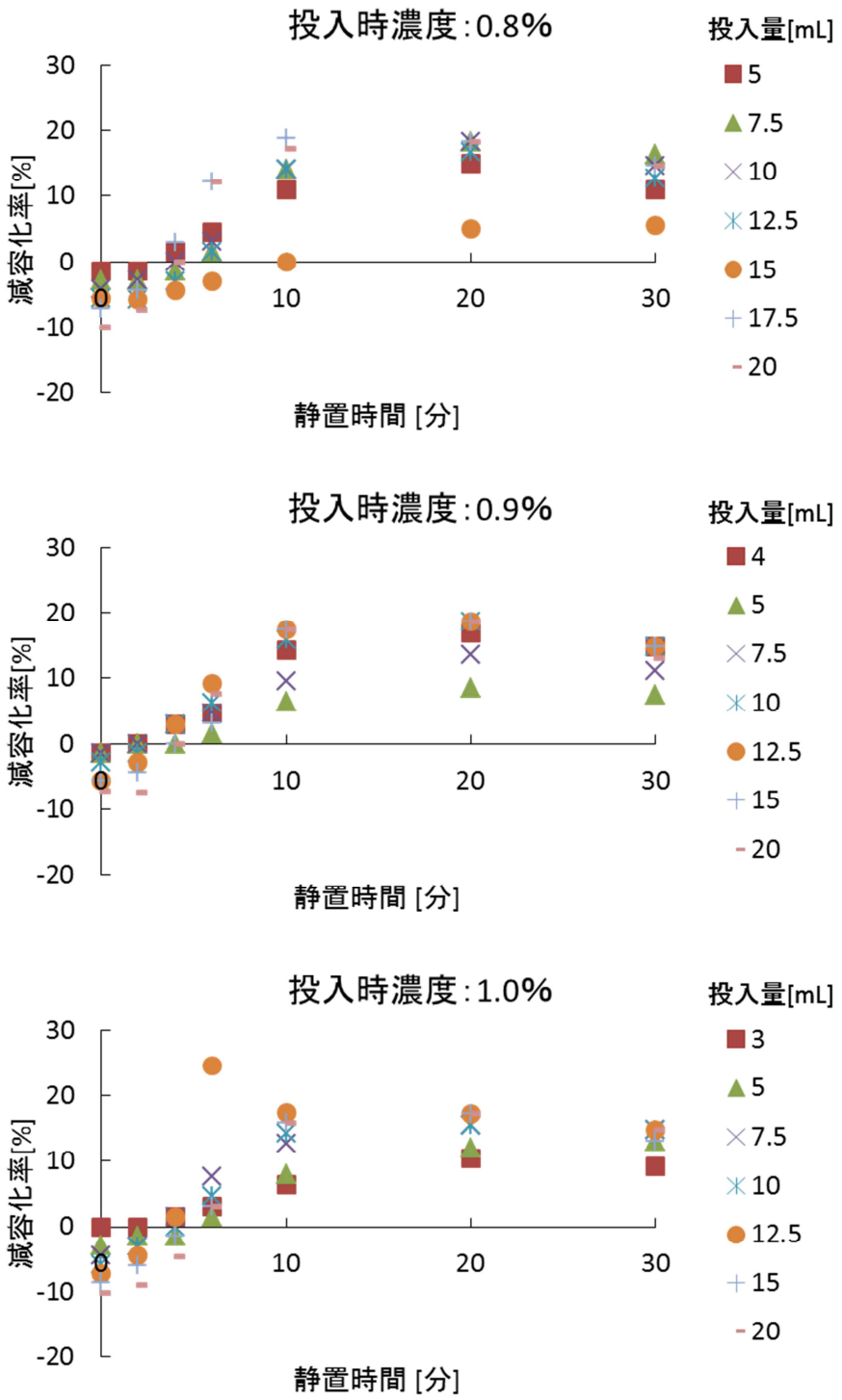
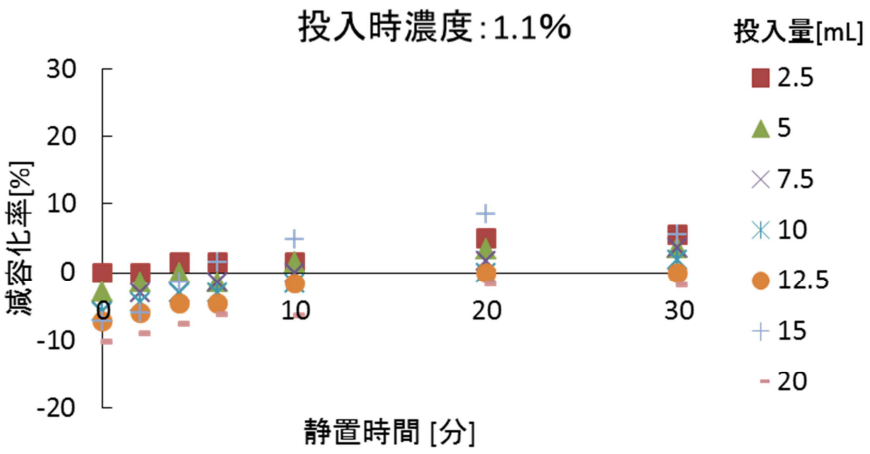
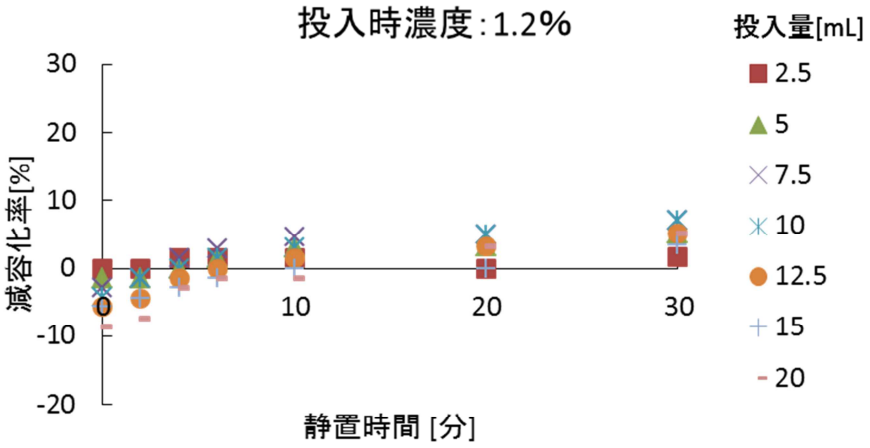



図3-5. 凝集剤投入量と投入時濃度が減容化率の経時変化に及ぼす影響

＜条件＞
擬似スラッジ水密度:1.15 g/㎤
凝集剤投入時濃度: 0.8%～1.0%
減容化率[%]:各静置時間における(ブランク沈澱高さ － 各サンプル沈殿高さ[㎜]) / ブランク沈澱高さ[㎜] × 100
撹拌時間:5分
静置時間:0～30分



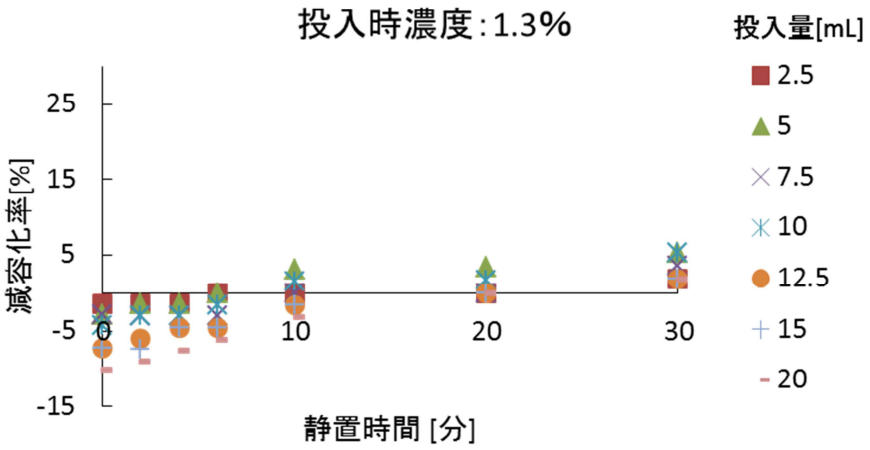
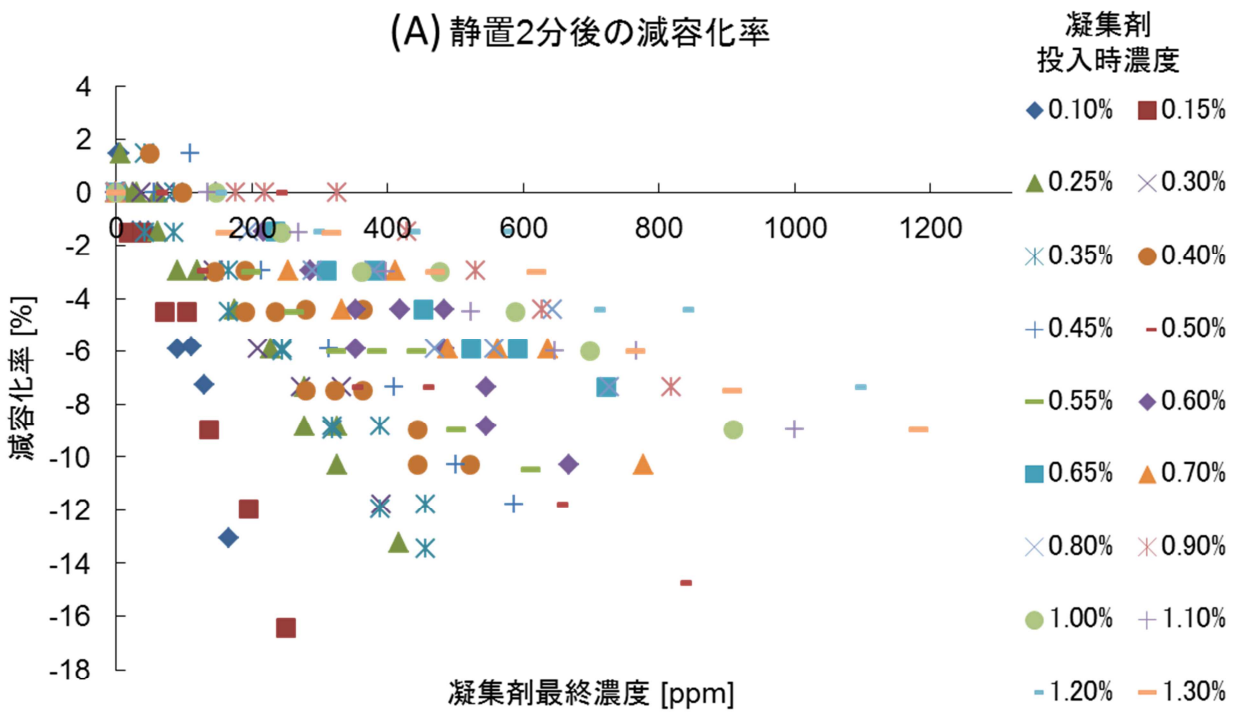




図3-6. 凝集剤投入量と投入時濃度が減容化率の経時変化に及ぼす影響

＜条件＞
擬似スラッジ水密度:1.15 g/㎤
凝集剤投入時濃度: 1.1%～1.3%
減容化率[%]:各静置時間における(ブランク沈澱高さ － 各サンプル沈殿高さ[㎜]) / ブランク沈澱高さ[㎜] × 100
撹拌時間:5分
静置時間:0～30分



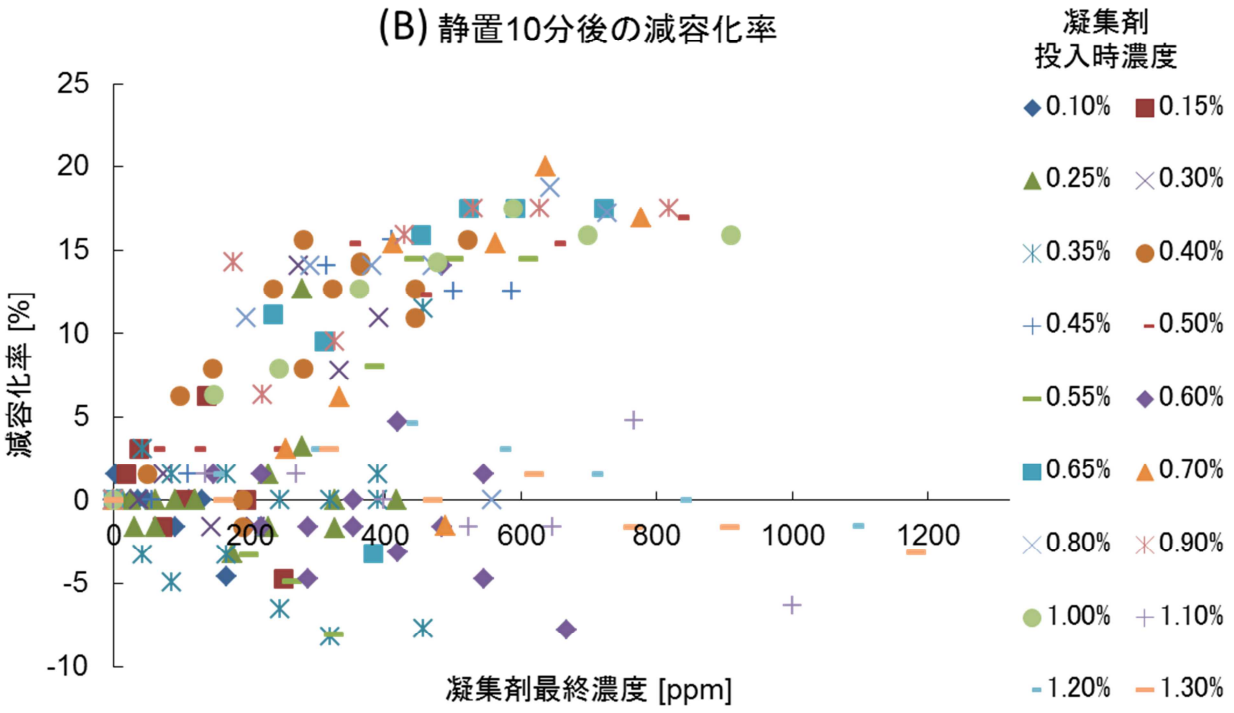




図4. 投入時濃度が減容化率の経時変化に及ぼす影響

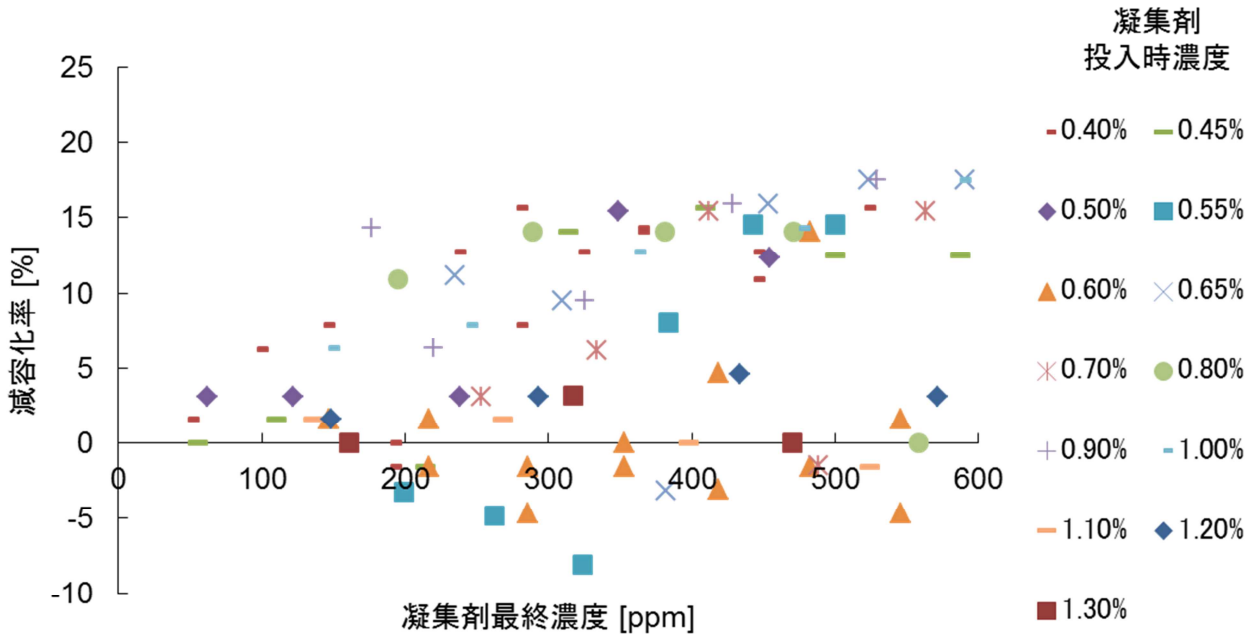



図5. 投入時濃度が減容化率の経時変化に及ぼす影響 （静置10分後）
*投入時濃度0.4～1.3%について、最終濃度0～600 ppmの範囲で表示

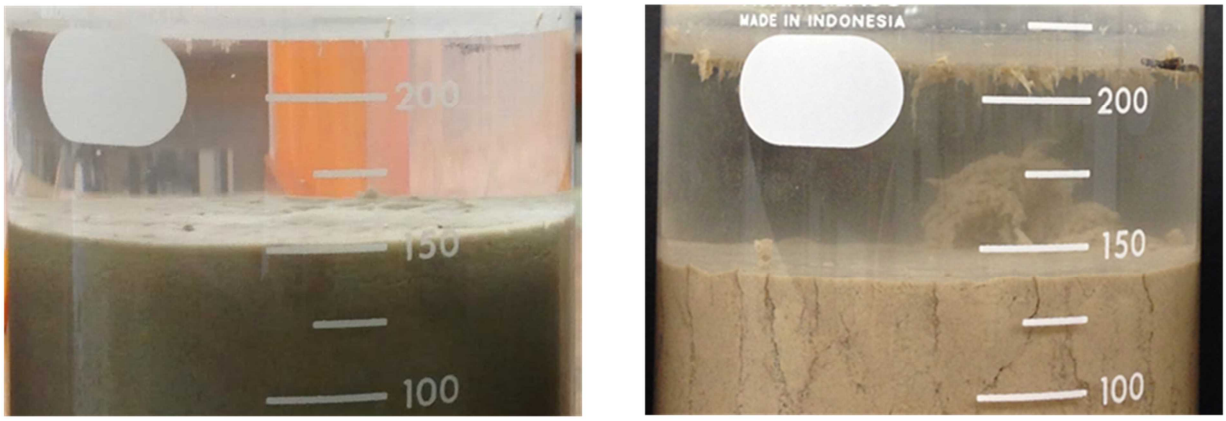



図.A凝集試験後の上澄みの様子
左：凝集剤投入なし　右：凝集剤0.8%投入時

表4. 実スラッジ水における凝集剤投入条件が減容化率へ与える影響

（RUN1・2・3　:2月8日、RUN4・5・6　:2月9日に実施）

| 実験日 | RUN | 凝集剤 | | | 静置時間毎の沈殿高さ[mm] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 投入時濃度[%] | 投入量[mL] | 最終濃度[ppm] | 静置時間[分] | | | | |
| | | | | | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 |
| 2月8日 | 1 | 0 | 0 | 0.0 | 70 | 65 | 63 | 57 | 52 |
| | | 水道水 | 10 | 0.0 | 72 | 67 | 59 | 49 | 44 |
| | | 0.04 | 10 | 19.0 | 72 | 67 | 64 | 57 | 51 |
| | | 0.08 | 10 | 38.1 | 71 | 67 | 64 | 57 | 52 |
| | | 0.2 | 10 | 95.2 | 72 | 67 | 64 | 57 | 51 |
| | | 0.4 | 10 | 190.5 | 71 | 64 | 52 | 46 | 44 |
| | | 0.8 | 10 | 381.0 | 72 | 63 | 51 | 45 | 44 |
| | 2 | 0 | 0 | 0.0 | 68 | 64 | 61 | 56 | 51 |
| | | 水道水 | 10 | 0.0 | 72 | 66 | 63 | 54 | 49 |
| | | 水道水 | 10 | 0.0 | 71 | 67 | 64 | 58 | 52 |
| | | 0.4 | 10 | 190.5 | 72 | 64 | 54 | 48 | 45 |
| | | 0.4 | 10 | 190.5 | 72 | 64 | 54 | 48 | 45 |
| | | 0.8 | 10 | 381.0 | 72 | 64 | 53 | 47 | 45 |
| | | 0.8 | 10 | 381.0 | 72 | 62 | 53 | 43 | 45 |
| | 3 | 0 | 0 | 0.0 | 69 | 65 | 62 | 57 | 52 |
| | | 水道水 | 20 | 0.0 | 76 | 71 | 66 | 54 | 49 |
| | | 水道水 | 20 | 0.0 | 76 | 70 | 65 | 53 | 49 |
| | | 0.4 | 20 | 363.6 | 76 | 67 | 57 | 50 | 48 |
| | | 0.4 | 20 | 363.6 | 75 | 66 | 55 | 50 | 48 |
| | | 0.8 | 20 | 727.3 | 75 | 65 | 58 | 52 | 49 |
| | | 0.8 | 20 | 727.3 | 75 | 65 | 56 | 50 | 49 |
| 2月9日 | 4 | 0 | 0 | 0.0 | 69 | 61 | 53 | 41 | 39 |
| | | 蒸留水 | 10 | 0.0 | 72 | 63 | 54 | 41 | 38 |
| | | 蒸留水 | 20 | 0.0 | 76 | 65 | 56 | 42 | 39 |
| | | 0.2 | 20 | 181.8 | 76 | 65 | 49 | 42 | 40 |
| | | 0.5 | 20 | 454.5 | 75 | 61 | 47 | 41 | 39 |
| | | 0.6 | 10 | 285.7 | 72 | 60 | 49 | 41 | 39 |
| | | 0.6 | 20 | 545.5 | 75 | 62 | 48 | 42 | 40 |
| | 5 | 0 | 0 | 0.0 | 69 | 64 | 57 | 43 | 40 |
| | | 蒸留水 | 10 | 0.0 | 73 | 65 | 58 | 44 | 40 |
| | | 蒸留水 | 20 | 0.0 | 75 | 67 | 58 | 43 | 40 |
| | | 0.2 | 10 | 95.2 | 72 | 66 | 57 | 44 | 40 |
| | | 0.4 | 20 | 363.6 | 71 | 61 | 50 | 42 | 40 |
| | | 0.4 | 10 | 190.5 | 75 | 63 | 50 | 43 | 40 |
| | | 0.5 | 10 | 238.1 | 72 | 63 | 51 | 43 | 40 |
| | | 0.8 | 10 | 381.0 | 72 | 63 | 53 | 43 | 40 |
| | 6 | 0 | 0 | 0.0 | 69 | 65 | 60 | 45 | 41 |
| | | 水道水 | 10 | 0.0 | 72 | 66 | 59 | 55 | 40 |
| | | 0.2 | 20 | 181.8 | 75 | 69 | 61 | 49 | 44 |
| | | 0.5 | 20 | 454.5 | 74 | 63 | 49 | 44 | 42 |
| | | 0.6 | 10 | 285.7 | 72 | 63 | 53 | 44 | 41 |
| | | 0.6 | 20 | 545.5 | 75 | 64 | 51 | 44 | 42 |
| | | 0.8 | 20 | 727.3 | 74 | 63 | 49 | 44 | 41 |

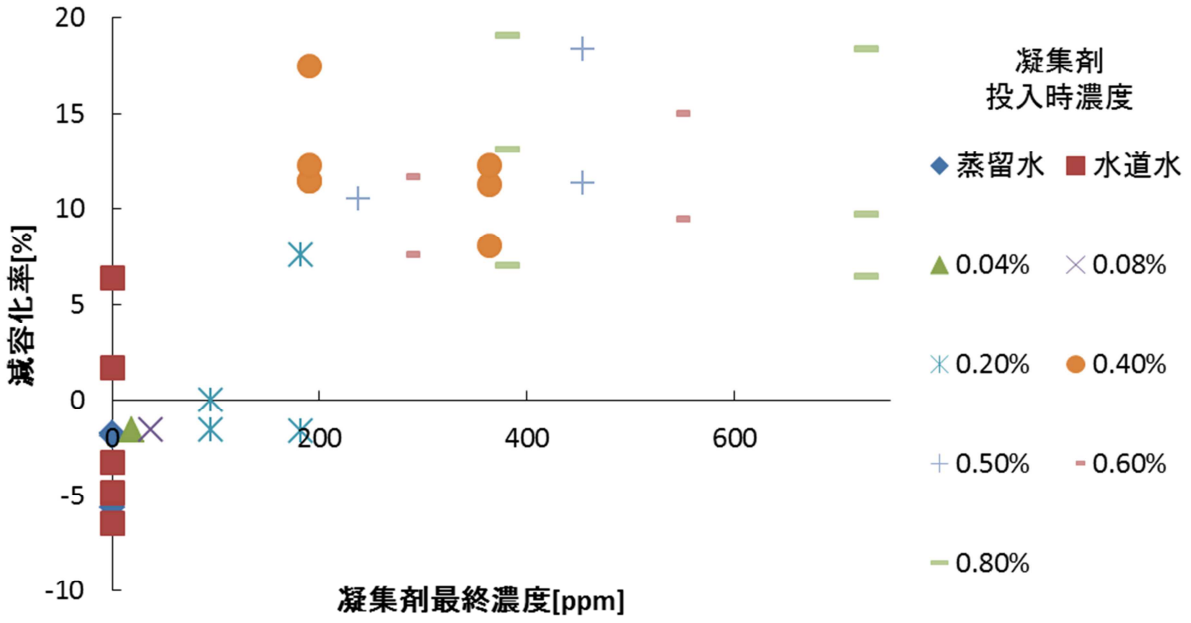



図6. 実スラッジ水における凝集剤最終濃度による沈殿体積減容化への影響(10分後)

＜条件＞
実スラッジ水密度：1.15 g/㎤
凝集剤投入時濃度：0.04%～0.8%
減容化率[%]：各静置時間における（ブランク沈澱高さ － 各サンプル沈殿高さ[㎜]） / ブランク沈澱高さ[㎜] × 100
撹拌時間：5分
静置時間：0～30分

実験日：2/8～2/9

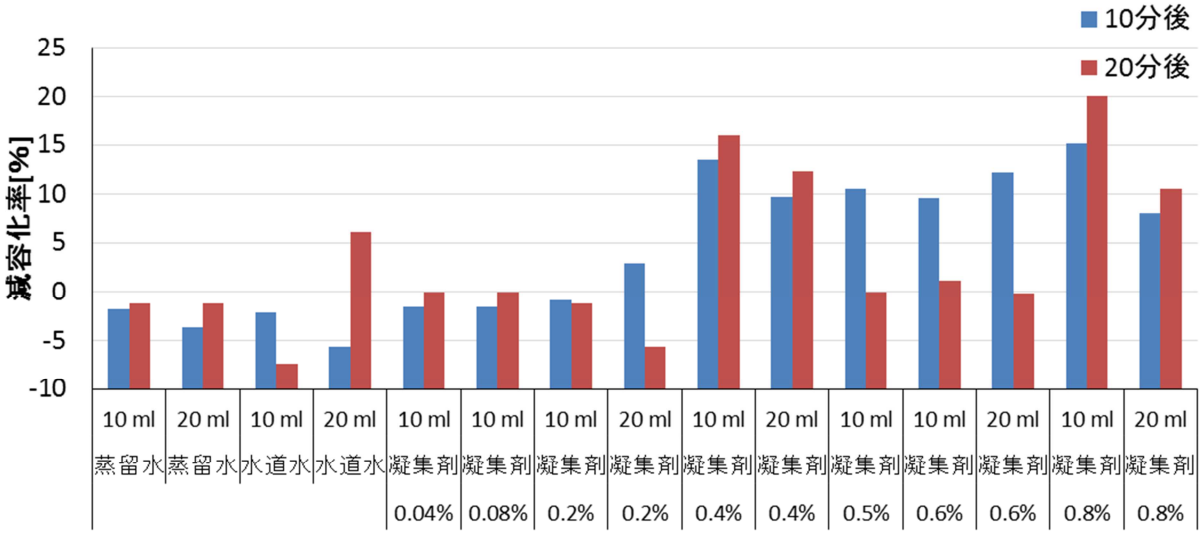



図7. 凝集剤投入条件による沈殿体積減容化への影響　10分後と20分後の比較

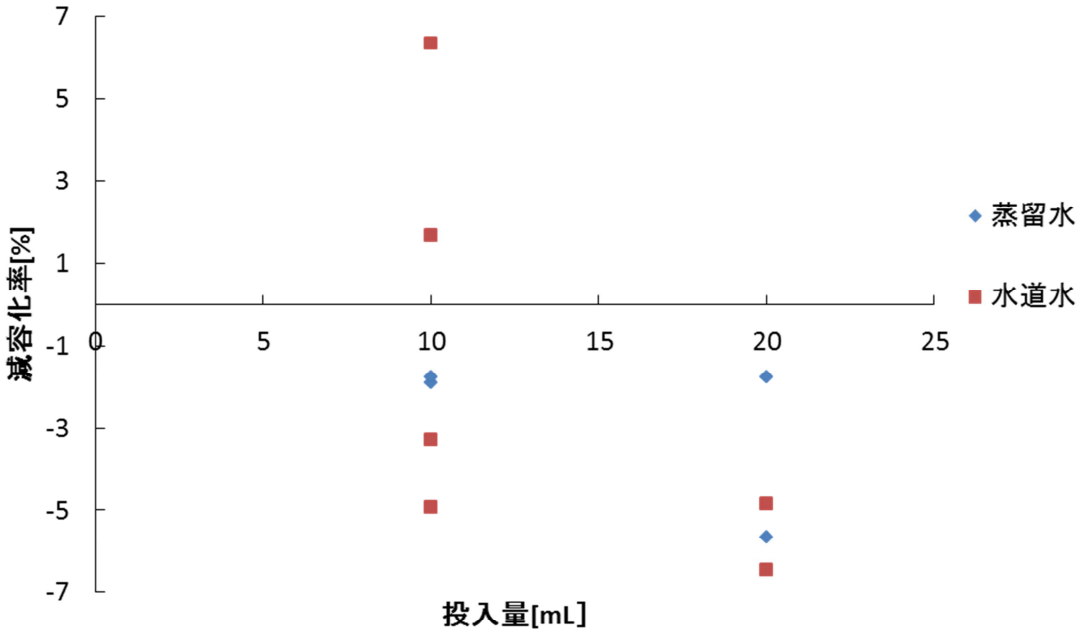



図8. 実スラッジ水における水道水と蒸留水投入による沈殿体積減容化への影響(10分後)

表5. 実スラッジ水における凝集剤投入条件による凝集効果への影響
(実験規模拡大時)

| 密度 [g/mL] | 凝集剤 | | | 静置時間毎の沈殿体積[L] | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 投入時濃度[%] | 投入量[L] | 最終濃度[ppm] | 静置時間[分] | | | | | | |
| | | | | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| 1.14 | 0 | 0 | 0.0 | 70.0 | 68.0 | 67.5 | 65.5 | 63.5 | 62.5 | 61.0 |
| 1.13 | 0 | 3.5 | 0.0 | 73.5 | 72.0 | 70.5 | 68.0 | 67.0 | 65.0 | 64.0 |
| 1.14 | 0.4 | 3.5 | 190.5 | 73.5 | 71.0 | 68.3 | 66.3 | 63.5 | 62.0 | 60.0 |
| 1.11 | 0.8 | 3.5 | 381.0 | 73.5 | 70.5 | 68.0 | 65.5 | 63.3 | 61.5 | 58.8 |
| 1.12 | 0.4 | 3.5 | 190.5 | 73.5 | 70.5 | 68.0 | 66.3 | 64.5 | 62.5 | 60.0 |
| 1.14 | 0.8 | 3.5 | 381.0 | 73.5 | 72.0 | 70.0 | 68.0 | 66.5 | 65.0 | 62.5 |
| 1.12 | 0.4 | 7 | 363.6 | 77.0 | 74.5 | 72.0 | 68.0 | 65.5 | 62.5 | 60.0 |
| 1.12 | 0.8 | 7 | 727.3 | 77.0 | 73.5 | 70.0 | 67.5 | 64.8 | 61.8 | 58.0 |

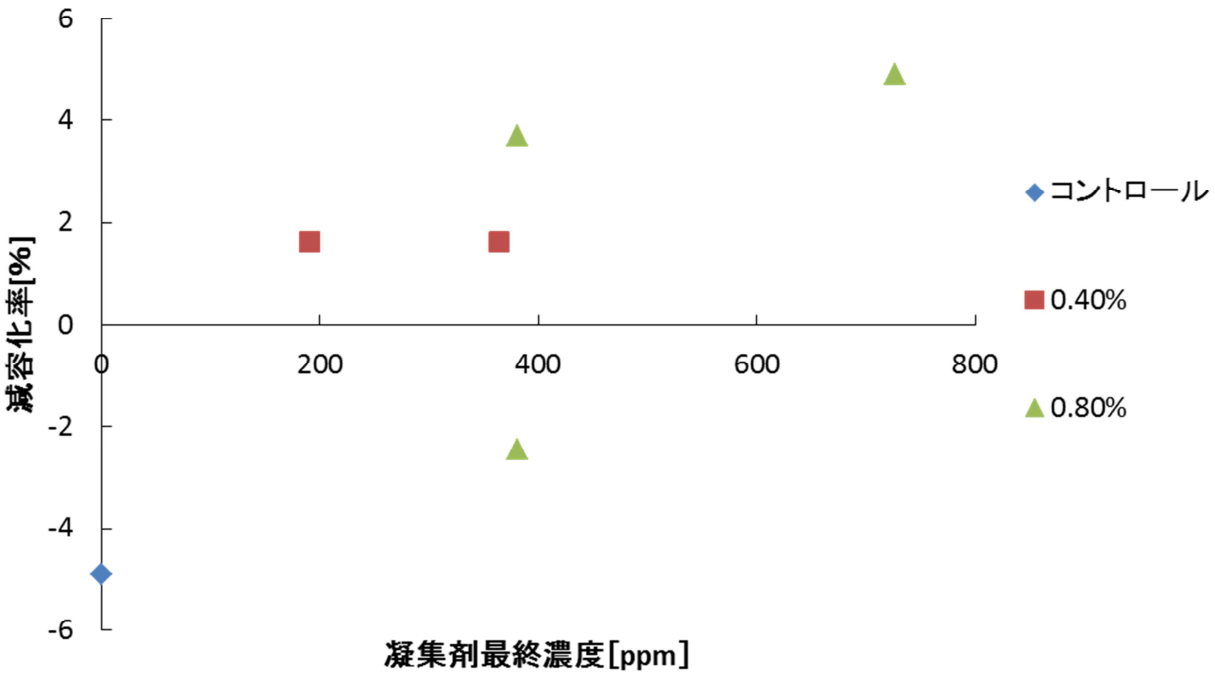



図9. 凝集剤最終濃度が沈殿体積減容化へ及ぼす影響(30分後)

＜条件＞
実験スケール:70 L
攪拌時間:1分
減容化率[%]:各静置時間における(ブランク沈澱高さ － 各サンプル沈殿高さ[mm]) / ブランク沈澱高さ[mm] × 100
実験日:3/10

表6. 擬似スラッジ水における凝集剤および炭酸アンモニウム投入条件による沈殿高さへの影響

| 実験日 | 凝集剤 | | | $(NH_4)_2CO_3$ | | 静置時間毎の沈殿高さ[mm] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 投入時濃度[%] | 投入量[mL] | 最終濃度[ppm] | 投入時濃度[%] | 最終濃度[ppm] | 静置時間[分] | | | | |
| | | | | | | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 |
| 6月7日 | 0 | 0 | 0.000 | 0.0 | 0.000 | 69 | 65 | 63 | 58 | 55 |
| | 0 | 20 | 0.000 | 0.0 | 0.000 | 75 | 67 | 54 | 49 | 46 |
| | 0.4 | 20 | 363.636 | 0.4 | 363.636 | 77 | 61 | 66 | 57 | 53 |
| | 0.4 | 20 | 363.636 | 0.4 | 363.636 | 75 | 69 | 65 | 57 | 52 |
| | 0.4 | 20 | 363.636 | 0.4 | 363.636 | 74 | 67 | 62 | 54 | 50 |
| | 0.4 | 20 | 363.636 | 1.2 | 1090.909 | 75 | 66 | 60 | 53 | 50 |
| | 0.4 | 20 | 363.636 | 1.2 | 1090.909 | 75 | 66 | 59 | 52 | 50 |
| | 0.4 | 20 | 363.636 | 1.2 | 1090.909 | 77 | 69 | 63 | 55 | 53 |
| | 0 | 20 | 0.000 | 0.0 | 0.000 | 75 | 72 | 69 | 65 | 60 |
| | 0.8 | 20 | 727.273 | 0.4 | 363.636 | 77 | 73 | 69 | 63 | 58 |
| | 0.8 | 20 | 727.273 | 0.4 | 363.636 | 77 | 73 | 69 | 63 | 58 |
| | 0.8 | 20 | 727.273 | 0.4 | 363.636 | 76 | 72 | 69 | 63 | 58 |
| | 0.8 | 20 | 727.273 | 1.2 | 1090.909 | 76 | 69 | 64 | 56 | 53 |
| | 0.8 | 20 | 727.273 | 1.2 | 1090.909 | 76 | 71 | 66 | 60 | 56 |
| | 0.8 | 20 | 727.273 | 1.2 | 1090.909 | 75 | 69 | 63 | 56 | 53 |
| 6月22日 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 70 | 66 | 64 | 61 | 57 |
| | | 20 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 76 | 72 | 69 | 65 | 60 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.8 | 381.0 | 74 | 68 | 65 | 58 | 54 |
| | | 20 | 363.6 | 0.8 | 727.3 | 78 | 71 | 65 | 57 | 54 |
| | | 10 | 190.5 | 1.6 | 761.9 | 72 | 67 | 63 | 55 | 52 |
| | | 20 | 363.6 | 1.6 | 1454.5 | 75 | 68 | 62 | 55 | 53 |
| | | 30 | 521.7 | 1.6 | 2087.0 | 79 | 66 | 61 | 58 | 58 |
| | | 40 | 666.7 | 1.6 | 2666.7 | 84 | 76 | 69 | 62 | 59 |
| | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 72 | 69 | 66 | 63 | 59 |
| | | 20 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 78 | 72 | 65 | 58 | 54 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.8 | 381.0 | 71 | 65 | 62 | 55 | 50 |
| | | 20 | 363.6 | 0.8 | 727.3 | 75 | 67 | 60 | 53 | 50 |
| | | 10 | 190.5 | 1.6 | 761.9 | 73 | 66 | 62 | 55 | 52 |
| | | 20 | 363.6 | 1.6 | 1454.5 | 75 | 68 | 63 | 55 | 54 |
| | | 30 | 521.7 | 1.6 | 2087.0 | 80 | 72 | 66 | 59 | 57 |
| | | 40 | 666.7 | 1.6 | 2666.7 | 82 | 72 | 65 | 59 | 59 |
| 6月27日 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 69 | 65 | 63 | 59 | 55 |
| | | 20 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 75 | 69 | 58 | 50 | 47 |
| | 0.8 | 10 | 381.0 | 0.8 | 381.0 | 73 | 68 | 65 | 59 | 54 |
| | | 20 | 727.3 | 0.8 | 727.3 | 75 | 68 | 63 | 55 | 52 |
| | | 10 | 381.0 | 1.6 | 761.9 | 72 | 66 | 63 | 55 | 51 |
| | | 20 | 727.3 | 1.6 | 1454.5 | 76 | 67 | 60 | 53 | 52 |
| | | 10 | 381.0 | 2.4 | 1142.9 | 74 | 67 | 62 | 54 | 52 |
| | | 20 | 727.3 | 2.4 | 2181.8 | 78 | 69 | 63 | 57 | 55 |

表7. 擬似スラッジ水における凝集剤および炭酸アンモニウム投入条件による沈殿高さへの影響

| 実験日 | 凝集剤 | | | $(NH_4)_2CO_3$ | | 静置時間毎の沈殿高さ[mm] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 投入時濃度[%] | 投入量[mL] | 最終濃度[ppm] | 投入時濃度[%] | 最終濃度[ppm] | 静置時間[分] | | | | |
| | | | | | | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 |
| 6月27日 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 69 | 66 | 65 | 61 | 57 |
| | | 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 71 | 66 | 63 | 58 | 54 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.0 | 0.0 | 72 | 68 | 65 | 61 | 57 |
| | | 20 | 363.6 | 0.0 | 0.0 | 77 | 73 | 70 | 65 | 61 |
| | | 30 | 521.7 | 0.0 | 0.0 | 81 | 74 | 69 | 64 | 59 |
| | 0.8 | 10 | 381.0 | 0.0 | 0.0 | 74 | 70 | 69 | 64 | 60 |
| | | 20 | 727.3 | 0.0 | 0.0 | 78 | 74 | 70 | 66 | 62 |
| | | 30 | 1043.5 | 0.0 | 0.0 | 79 | 71 | 67 | 60 | 57 |
| 6月29日 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 70 | 67 | 65 | 61 | 57 |
| | | 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 74 | 71 | 69 | 64 | 60 |
| | | 10 | 0.0 | 0.8 | 381.0 | 74 | 70 | 68 | 63 | 59 |
| | | 20 | 0.0 | 0.8 | 727.3 | 75 | 70 | 66 | 59 | 54 |
| | | 10 | 0.0 | 1.6 | 761.9 | 71 | 67 | 64 | 59 | 55 |
| | | 20 | 0.0 | 1.6 | 1454.5 | 76 | 72 | 69 | 64 | 59 |
| | | 10 | 0.0 | 2.4 | 1142.9 | 72 | 69 | 67 | 61 | 57 |
| | | 20 | 0.0 | 2.4 | 2181.8 | 78 | 72 | 60 | 65 | 50 |
| 7月11日 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 70 | 67 | 65 | 62 | 58 |
| | | 15 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 72 | 69 | 66 | 61 | 56 |
| | 0.8 | 5 | 195.1 | 1.6 | 390.2 | 70 | 66 | 63 | 58 | 53 |
| | | 15 | 558.1 | 1.6 | 1116.3 | 75 | 68 | 62 | 54 | 52 |
| | | 5 | 195.1 | 2.4 | 585.4 | 70 | 66 | 62 | 56 | 52 |
| | | 15 | 558.1 | 2.4 | 1674.4 | 73 | 65 | 58 | 53 | 51 |
| 7月12日 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 70 | 68 | 67 | 63 | 58 |
| | | 5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 71 | 67 | 65 | 61 | 57 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.4 | 190.5 | 72 | 67 | 64 | 58 | 52 |
| | | 30 | 521.7 | 0.4 | 521.7 | 80 | 71 | 64 | 55 | 52 |
| | | 40 | 666.7 | 0.4 | 666.7 | 80 | 70 | 61 | 53 | 51 |
| | | 10 | 190.5 | 1.2 | 571.4 | 74 | 68 | 65 | 57 | 53 |
| | | 30 | 521.7 | 1.2 | 1565.2 | 78 | 67 | 59 | 54 | 53 |
| | | 40 | 666.7 | 1.2 | 2000.0 | 82 | 70 | 61 | 56 | 55 |
| | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 70 | 66 | 64 | 60 | 57 |
| | | 5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 72 | 68 | 66 | 62 | 58 |
| | 0.8 | 5 | 195.1 | 0.4 | 97.6 | 71 | 68 | 65 | 62 | 57 |
| | | 10 | 381.0 | 0.4 | 190.5 | 73 | 69 | 65 | 60 | 56 |
| | | 15 | 558.1 | 0.4 | 279.1 | 73 | 68 | 64 | 58 | 53 |
| | | 5 | 195.1 | 1.2 | 292.7 | 71 | 67 | 65 | 60 | 55 |
| | | 10 | 381.0 | 1.2 | 571.4 | 75 | 70 | 67 | 61 | 57 |
| | | 15 | 558.1 | 1.2 | 837.2 | 74 | 68 | 64 | 56 | 53 |

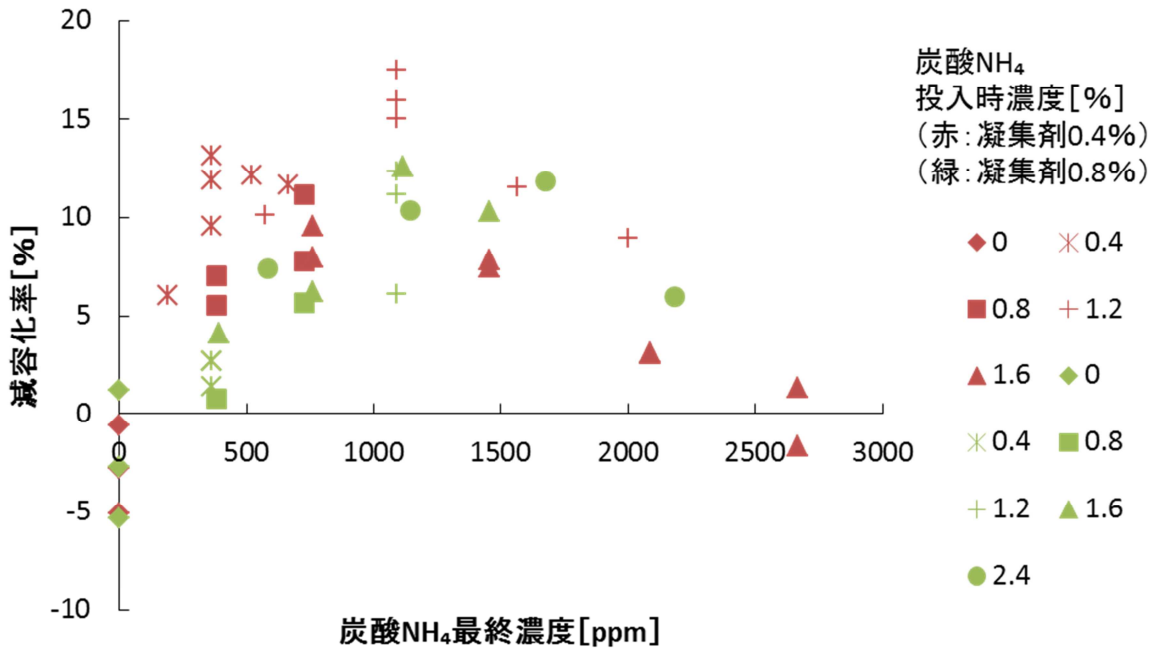
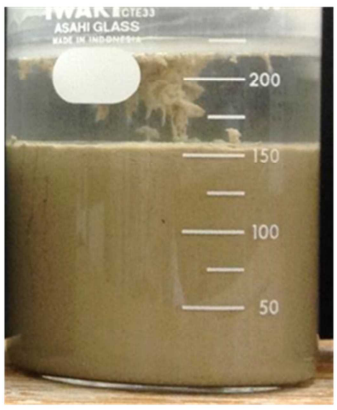
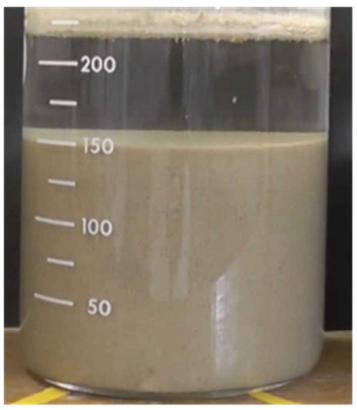



図10-1. 擬似スラッジ水における炭酸アンモニウム投入条件による減容化率への影響(静置20分後)

＜条件＞
擬似スラッジ水密度:1.15 g/㎤
凝集剤投入時濃度: 0.4%・0.8%
減容化率[%]:各静置時間における(ブランク沈澱高さ ー 各サンプル沈殿高さ[㎜]) / ブランク沈澱高さ[㎜] × 100
撹拌時間:5分
静置時間:0～30分

実験日:6/22～7/12




図B.(左)凝集剤のみ添加した際の上澄み
図C.(右)凝集剤に炭酸アンモニウムを添加した際の上澄み
(どちらも凝集剤投入条件:0.8%・10 mL、図 は炭酸アンモニウム濃度:0.8%)

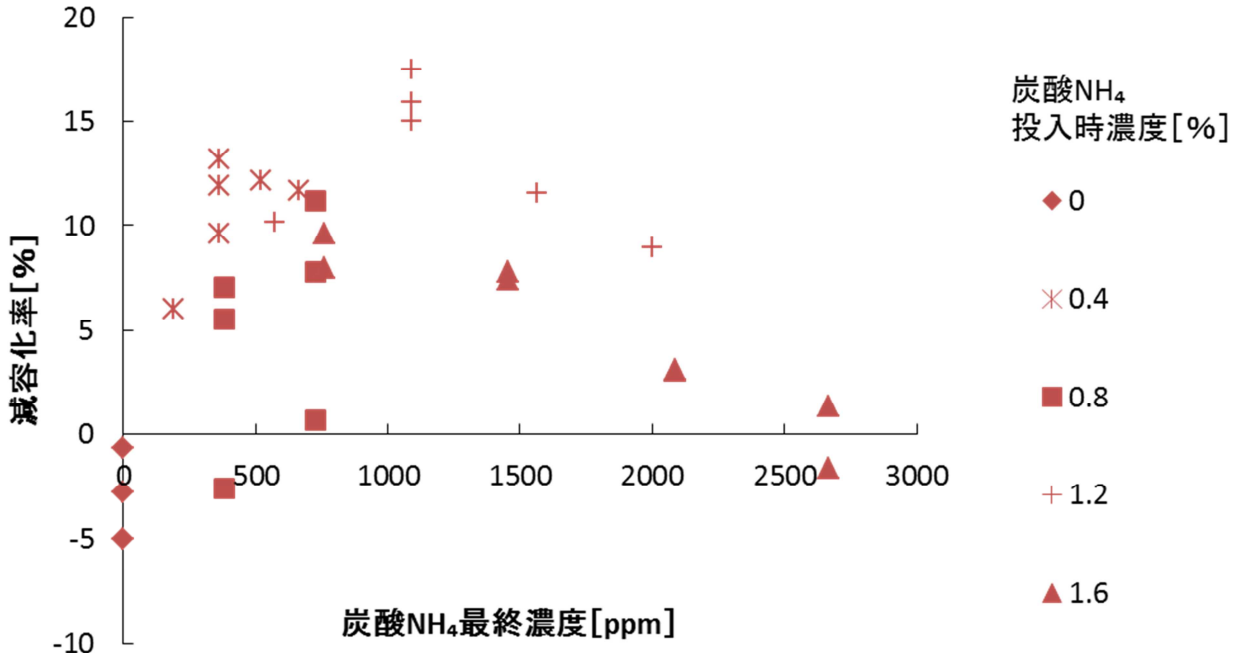



図10-2. 凝集剤投入時濃度0.4%における炭酸アンモニウム濃度が
減容化率へ与える影響（静置20分後）

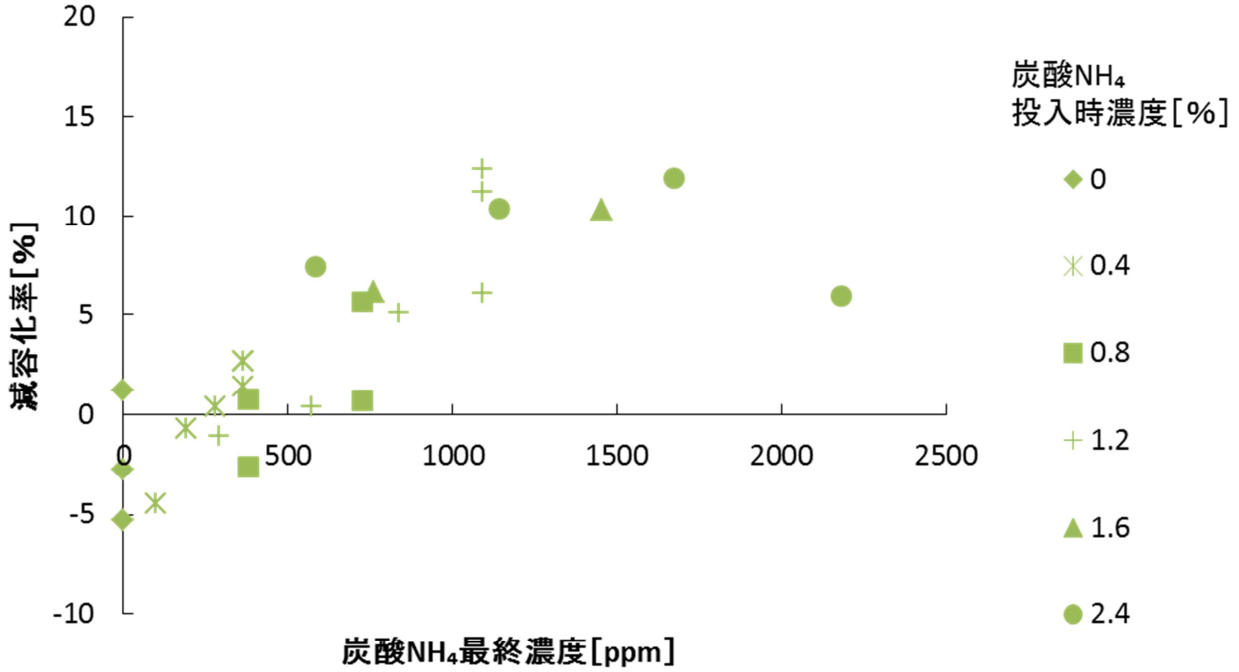



図10-3. 凝集剤投入時濃度0.8%における炭酸アンモニウム濃度が
減容化率へ与える影響（静置20分後）

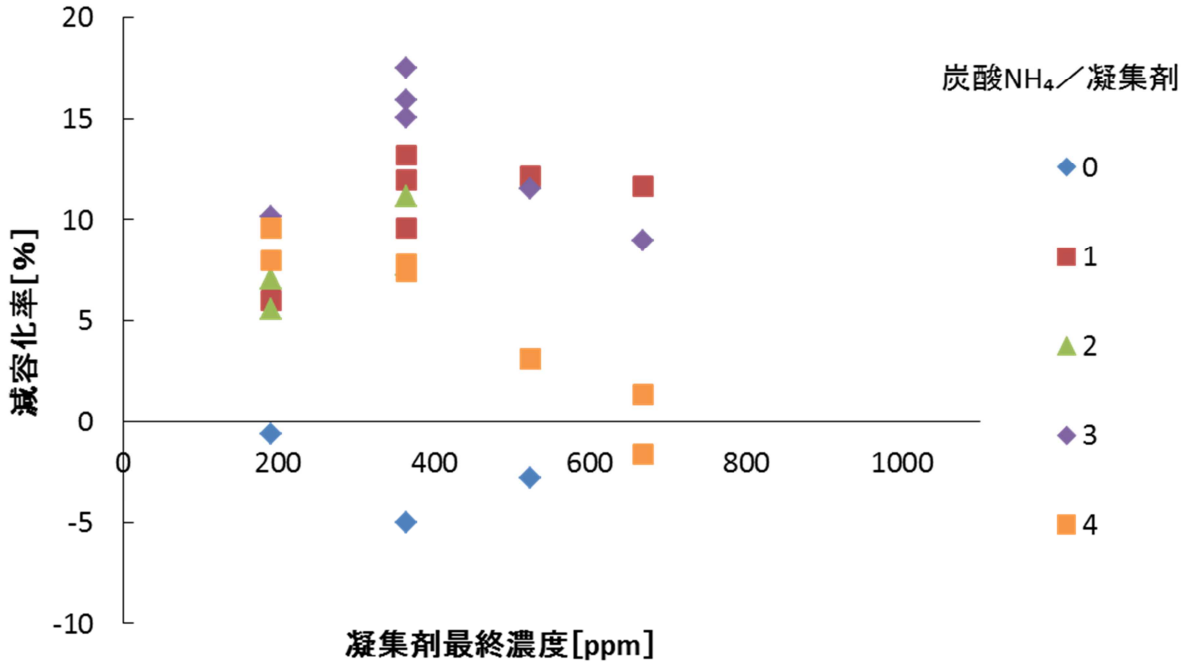



図11-1. 凝集剤と炭酸アンモニウム濃度比が減容化率へ与える影響
（凝集剤投入時濃度0.4%・静置20分後）

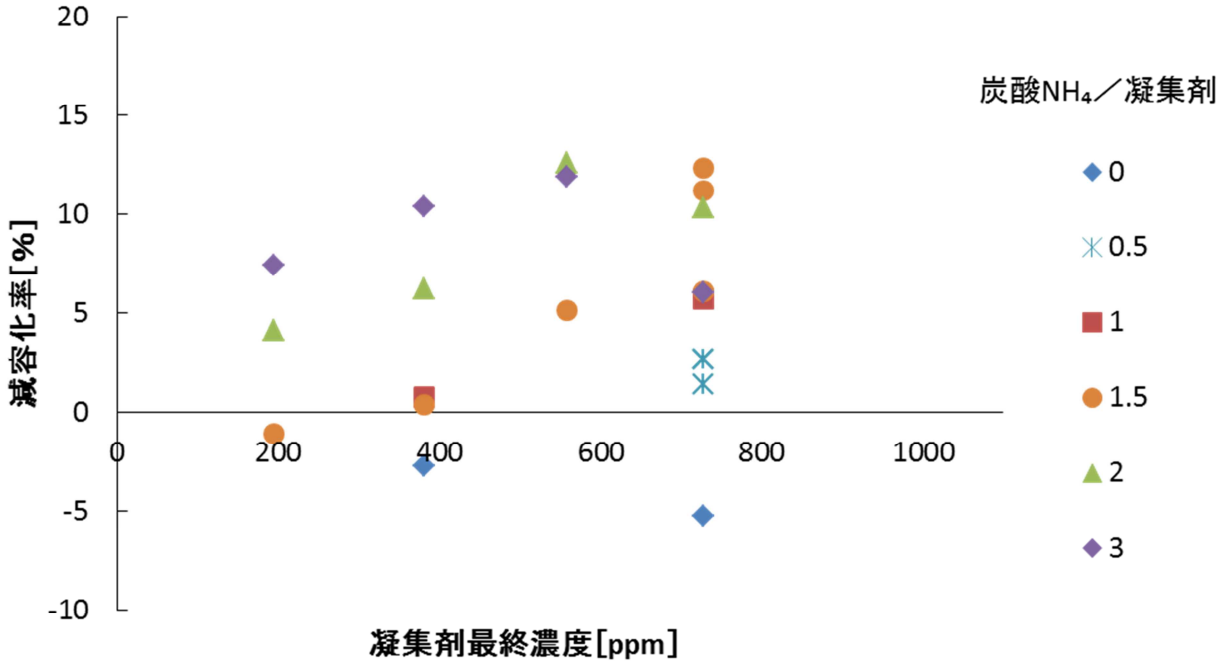



図11-2. 凝集剤と炭酸アンモニウム濃度比が減容化率へ与える影響
（凝集剤投入時濃度0.8%・静置20分後）

表8. 実スラッジ水における凝集剤および炭酸アンモニウム投入条件による凝集効果への影響

| RUN | 凝集剤 | | | $(NH_4)_2CO_3$ | | 静置時間毎の沈殿高さ[mm] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 投入時濃度[%] | 投入量[mL] | 最終濃度[ppm] | 投入時濃度[%] | 最終濃度[ppm] | 静置時間[分] | | | | |
| | | | | | | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 |
| 1 | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 69 | 63 | 54 | 42 | 40 |
| | 0 | 10 | 0.0 | 0 | 0.0 | 73 | 65 | 55 | 42 | 40 |
| | 0 | 20 | 0.0 | 0 | 0.0 | 75 | 66 | 56 | 43 | 40 |
| | 0.4 | 20 | 363.6 | 0 | 0.0 | 77 | 65 | 51 | 46 | 43 |
| | 0.8 | 20 | 727.3 | 0 | 0.0 | 75 | 64 | 50 | 45 | 42 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.8 | 381.0 | 75 | 68 | 56 | 45 | 42 |
| | 0.4 | 20 | 363.6 | 0.8 | 727.3 | 77 | 70 | 65 | 56 | 50 |
| | 0.8 | 10 | 381.0 | 0.8 | 381.0 | 72 | 62 | 47 | 43 | 40 |
| | 0.8 | 20 | 727.3 | 0.8 | 727.3 | 75 | 69 | 64 | 57 | 51 |
| 2 | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 70 | 65 | 60 | 47 | 44 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 1.6 | 761.9 | 75 | 68 | 63 | 53 | 48 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 1.6 | 761.9 | 73 | 67 | 62 | 51 | 47 |
| | 0.4 | 20 | 363.6 | 1.6 | 1454.5 | 77 | 69 | 63 | 52 | 48 |
| | 0.4 | 20 | 363.6 | 1.6 | 1454.5 | 75 | 68 | 61 | 50 | 47 |
| | 0.8 | 10 | 381.0 | 1.6 | 761.9 | 74 | 68 | 65 | 57 | 51 |
| | 0.8 | 10 | 381.0 | 1.6 | 761.9 | 72 | 67 | 63 | 54 | 48 |
| | 0.8 | 20 | 727.3 | 1.6 | 1454.5 | 77 | 70 | 65 | 55 | 51 |
| | 0.8 | 20 | 727.3 | 1.6 | 1454.5 | 76 | 70 | 64 | 54 | 50 |
| 3 | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 70 | 65 | 60 | 48 | 44 |
| | 0 | 10 | 0.0 | 0 | 0.0 | 73 | 67 | 58 | 47 | 43 |
| | 0 | 20 | 0.0 | 0 | 0.0 | 75 | 68 | 60 | 46 | 42 |
| | 0.4 | 5 | 97.6 | 1.6 | 390.2 | 71 | 66 | 61 | 49 | 44 |
| | 0.4 | 30 | 521.7 | 1.6 | 2087.0 | 77 | 69 | 63 | 54 | 52 |
| | 0.4 | 40 | 666.7 | 1.6 | 2666.7 | 82 | 74 | 67 | 58 | 55 |
| | 0.8 | 10 | 381.0 | 2.4 | 1142.9 | 73 | 67 | 62 | 54 | 49 |
| | 0.8 | 20 | 727.3 | 2.4 | 2181.8 | 76 | 67 | 61 | 54 | 51 |
| | 0.8 | 30 | 1043.5 | 2.4 | 3130.4 | 79 | 69 | 63 | 56 | 55 |

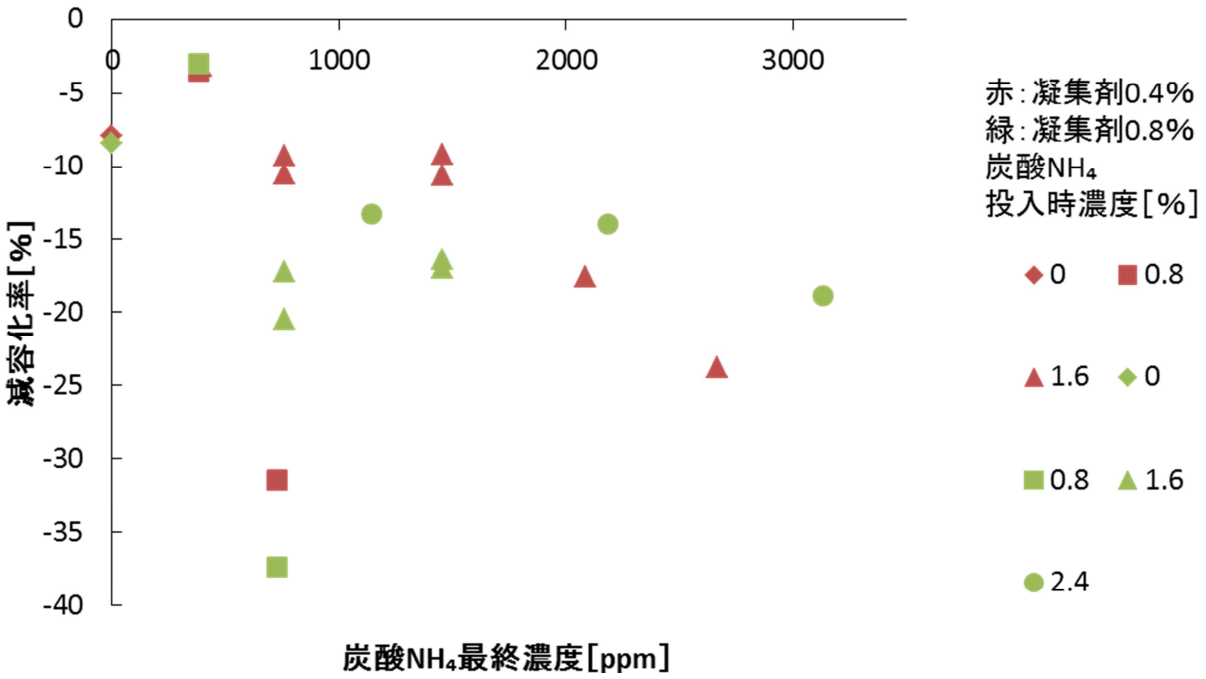



図12-1. 炭酸アンモニウム最終濃度が減容化率へ与える影響（実スラッジ）
（凝集剤投入時濃度0.4%・0.8%　静置20分後）

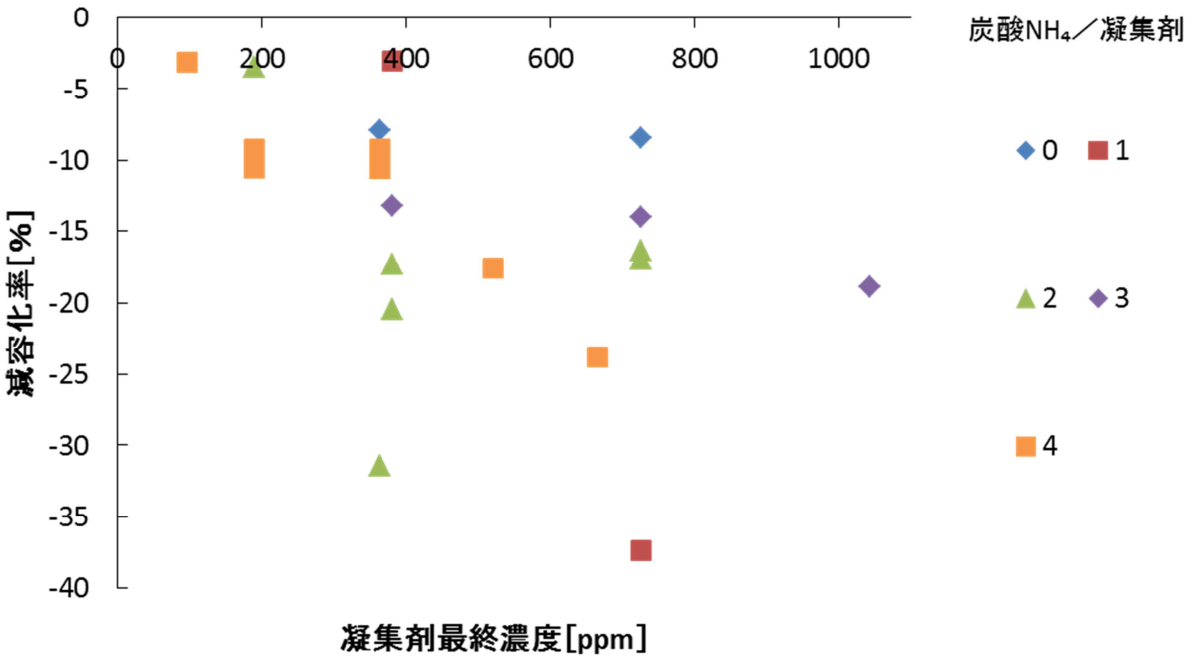



図12-2. 凝集剤と炭酸アンモニウム濃度比が減容化率へ与える影響（実スラッジ）
（凝集剤投入時濃度0.8%・静置20分後）

表9. カルシウムイオンの濃度と吸光度

| Ca濃度[ppm] | | 0 | 1 | 2.5 | 5 | 10 | 15 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 吸光度 | 1回目 | −0.0009 | 0.0451 | 0.0970 | 0.1755 | 0.3167 | 0.4407 | 0.7576 |
| | 2回目 | −0.0002 | 0.0466 | 0.0986 | 0.1783 | 0.3153 | 0.4420 | 0.7590 |
| | 3回目 | 0.0004 | 0.0473 | 0.0991 | 0.1766 | 0.3180 | 0.4488 | 0.7442 |
| | 平均値 | −0.0002 | 0.0463 | 0.0982 | 0.1768 | 0.3167 | 0.4438 | 0.7536 |

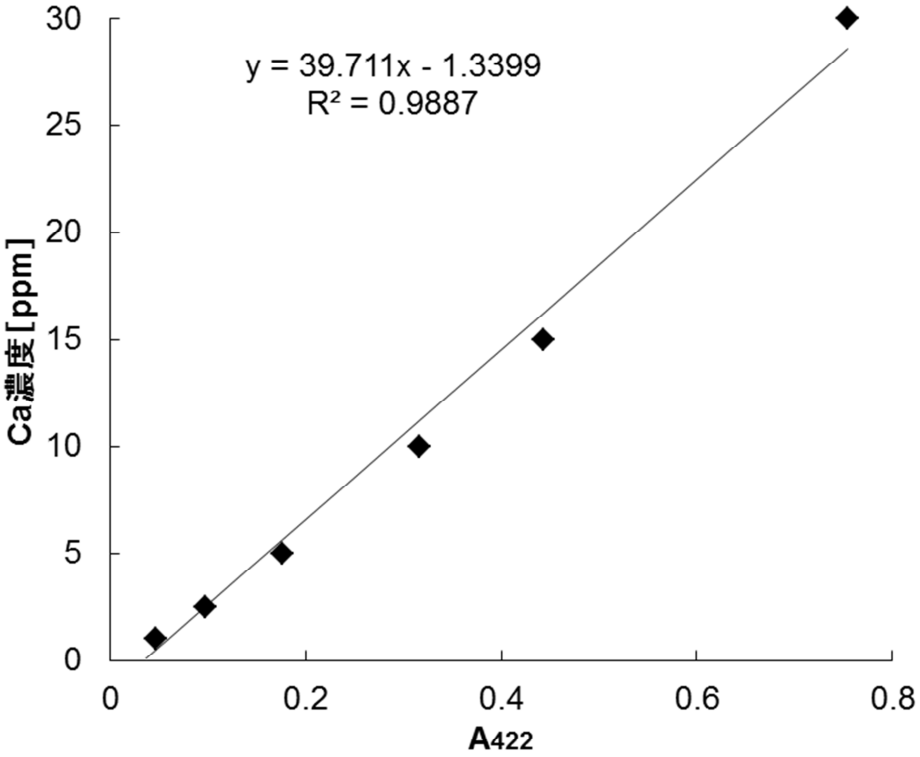



図13. Ca濃度検量線

表10. 擬似スラッジ水におけるカルシウムイオン吸光度と濃度

| | | ブランク | 水道水20mL | 0.2%20mL | 0.4%20mL | 0.8%20mL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 吸光度 | 1回目 | 0.315 | 0.1972 | 0.1953 | 0.1889 | 0.1835 |
| | 2回目 | 0.3172 | 0.2013 | 0.2002 | 0.1938 | 0.1812 |
| | 3回目 | 0.3223 | 0.2037 | 0.1977 | 0.1878 | 0.177 |
| | 平均 | 0.31816667 | 0.20073333 | 0.19773333 | 0.19016667 | 0.18056667 |
| Ca濃度[ppm] | | 1276.31995 | 804.700134 | 792.651941 | 762.263722 | 723.709505 |

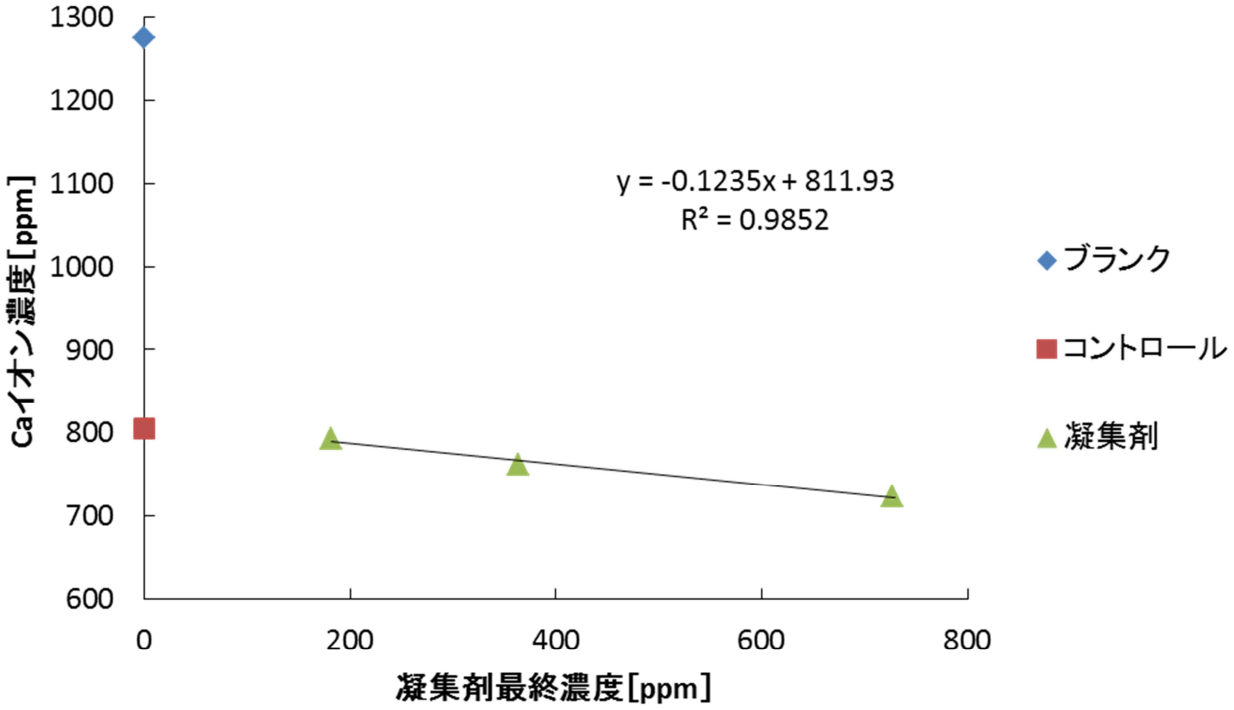



図14. 擬似スラッジ水におけるCaイオン吸光度と濃度

表11. 実スラッジ水における凝集剤投入条件が
上澄みCaイオン濃度へ与える影響

（RUN1・2・3　:2月8日、RUN4・5・6　:2月9日に実施）

| 実験日 | RUN | 凝集剤 | | | 30分後上澄みCa吸光度 | | | Ca濃度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 投入時濃度[%] | 投入量[mL] | 最終濃度[ppm] | 1回目 | 2回目 | 3回目 | [ppm] |
| 2月8日 | 1 | 0 | 0 | 0.0 | 0.177 | 0.171 | 0.172 | 696.1 |
| | | 水道水 | 10 | 0.0 | 0.239 | 0.232 | 0.231 | 939.2 |
| | | 0.04 | 10 | 19.0 | | | | |
| | | 0.08 | 10 | 38.1 | | | | |
| | | 0.2 | 10 | 95.2 | | | | |
| | | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.248 | 0.243 | 0.241 | 979.2 |
| | | 0.8 | 10 | 381.0 | 0.202 | 0.194 | 0.195 | 790.7 |
| | 2 | 0 | 0 | 0.0 | | | | |
| | | 水道水 | 10 | 0.0 | 0.251 | 0.247 | 0.239 | 986.4 |
| | | 水道水 | 10 | 0.0 | | | | |
| | | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.228 | 0.218 | 0.222 | 893.4 |
| | | 0.4 | 10 | 190.5 | | | | |
| | | 0.8 | 10 | 381.0 | 0.230 | 0.221 | 0.221 | 898.8 |
| | | 0.8 | 10 | 381.0 | | | | |
| | 3 | 0 | 0 | 0.0 | | | | |
| | | 水道水 | 20 | 0.0 | | | | |
| | | 水道水 | 20 | 0.0 | 0.201 | 0.192 | 0.194 | 785.5 |
| | | 0.4 | 20 | 363.6 | | | | |
| | | 0.4 | 20 | 363.6 | 0.201 | 0.191 | 0.195 | 785.5 |
| | | 0.8 | 20 | 727.3 | | | | |
| | | 0.8 | 20 | 727.3 | 0.191 | 0.186 | 0.185 | 751.5 |
| 2月9日 | 4 | 0 | 0 | 0.0 | | | | |
| | | 蒸留水 | 10 | 0.0 | 0.211 | 0.202 | 0.191 | 1070.0 |
| | | 蒸留水 | 20 | 0.0 | | | | |
| | | 0.2 | 20 | 181.8 | | | | |
| | | 0.5 | 20 | 454.5 | 0.269 | 0.264 | 0.249 | 1047.2 |
| | | 0.6 | 10 | 285.7 | | | | |
| | | 0.6 | 20 | 545.5 | | | | |
| | 5 | 0 | 0 | 0.0 | 0.202 | 0.203 | 0.182 | 785.4 |
| | | 蒸留水 | 10 | 0.0 | 0.283 | 0.258 | 0.259 | 1094.9 |
| | | 蒸留水 | 20 | 0.0 | 0.291 | 0.284 | 0.277 | 1139.5 |
| | | 0.2 | 10 | 95.2 | 0.260 | 0.253 | 0.242 | 1010.0 |
| | | 0.4 | 20 | 363.6 | | | | |
| | | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.256 | 0.249 | 0.232 | 985.5 |
| | | 0.5 | 10 | 238.1 | | | | |
| | | 0.8 | 10 | 381.0 | 0.237 | 0.234 | 0.219 | 924.1 |
| | 6 | 0 | 0 | 0.0 | | | | |
| | | 水道水 | 10 | 0.0 | 0.278 | 0.277 | 0.264 | 807.6 |
| | | 0.2 | 20 | 181.8 | 0.250 | 0.237 | 0.229 | 957.7 |
| | | 0.5 | 20 | 454.5 | | | | |
| | | 0.6 | 10 | 285.7 | 0.210 | 0.193 | 0.187 | 788.5 |
| | | 0.6 | 20 | 545.5 | | | | |
| | | 0.8 | 20 | 727.3 | 0.226 | 0.212 | 0.201 | 855.7 |

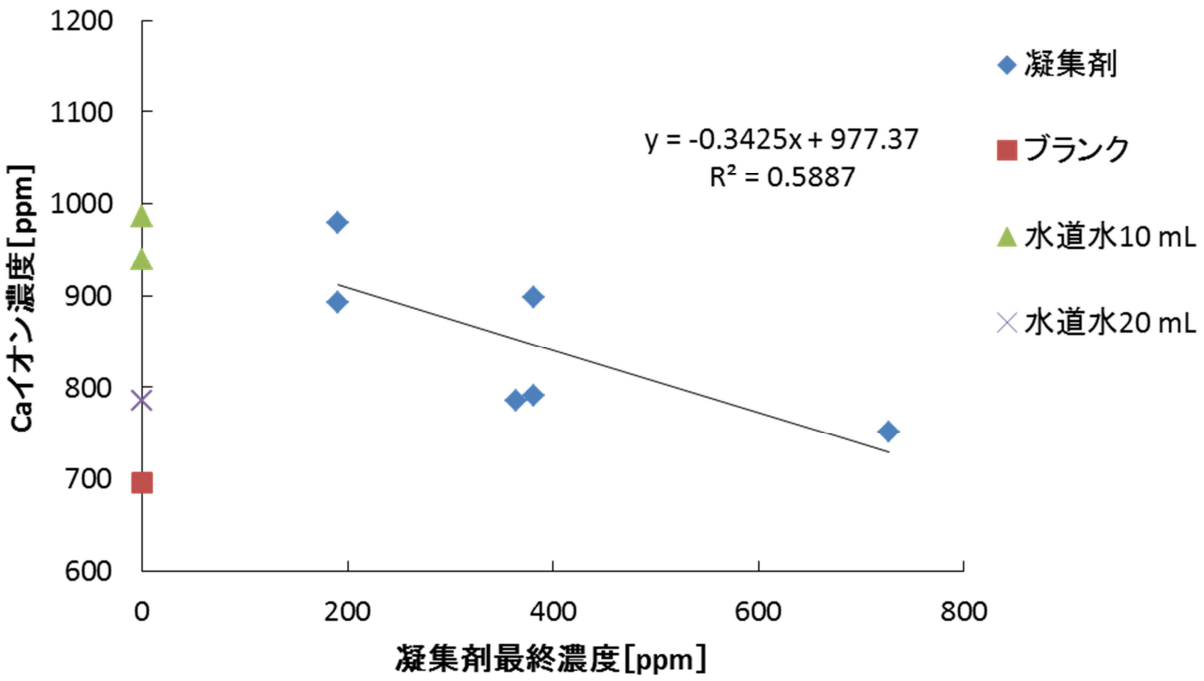



図15. 実スラッジ水におけるCaイオン濃度と凝集剤最終濃度との相関(2月8日)

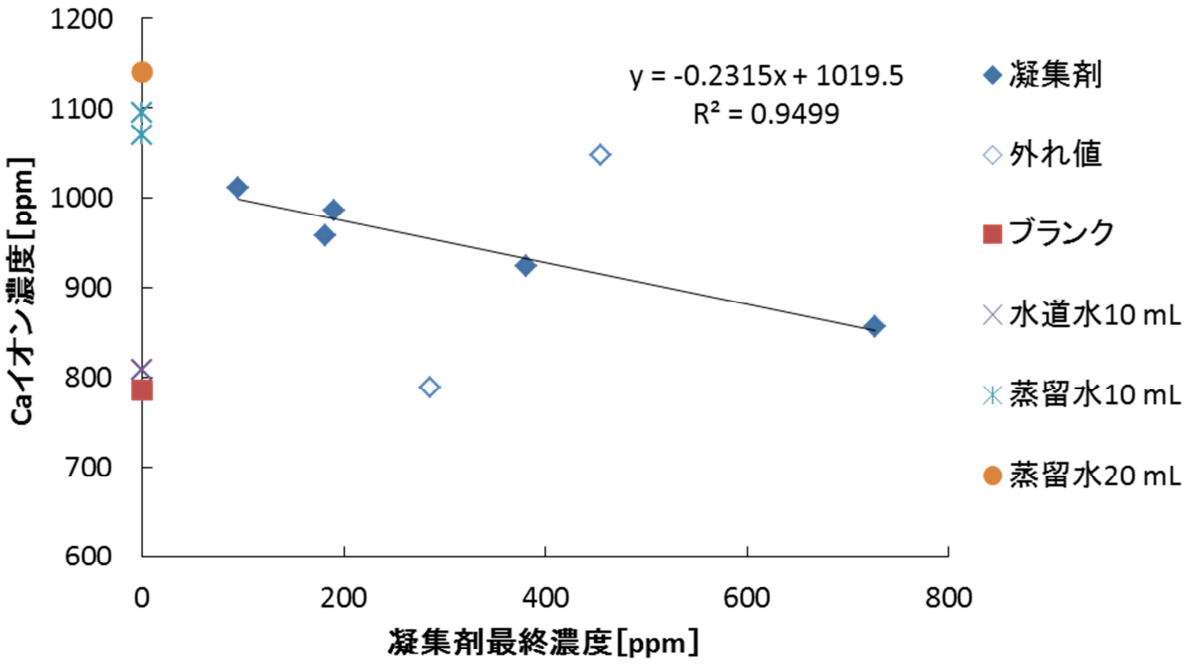



図16. 実スラッジ水におけるCaイオン濃度と凝集剤最終濃度との相関(2月9日)

表12. 実スラッジ水における凝集剤投入条件によるカルシウムイオン濃度への影響(実験規模拡大時)

| 密度[g/mL] | 凝集剤 | | | 30分後上澄みCa吸光度 | | | Ca濃度[ppm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 投入時濃度[%] | 投入量[L] | 最終濃度[ppm] | 1回目 | 2回目 | 3回目 | |
| 1.14 | 0 | 0 | 0.0 | 0.333 | 0.327 | 0.325 | 1318.6 |
| 1.13 | 0 | 3.5 | 0.0 | 0.335 | 0.334 | 0.330 | 1337.3 |
| 1.14 | 0.4 | 3.5 | 190.5 | 0.319 | 0.312 | 0.320 | 1272.0 |
| 1.11 | 0.8 | 3.5 | 381.0 | 0.312 | 0.304 | 0.304 | 1232.0 |
| 1.12 | 0.4 | 3.5 | 190.5 | 0.303 | 0.300 | 0.300 | 1208.8 |
| 1.14 | 0.8 | 3.5 | 381.0 | 0.243 | 0.243 | 0.239 | 969.3 |
| 1.12 | 0.4 | 7 | 363.6 | 0.262 | 0.263 | 0.273 | 1068.2 |
| 1.12 | 0.8 | 7 | 727.3 | 0.247 | 0.249 | 0.239 | 982.3 |

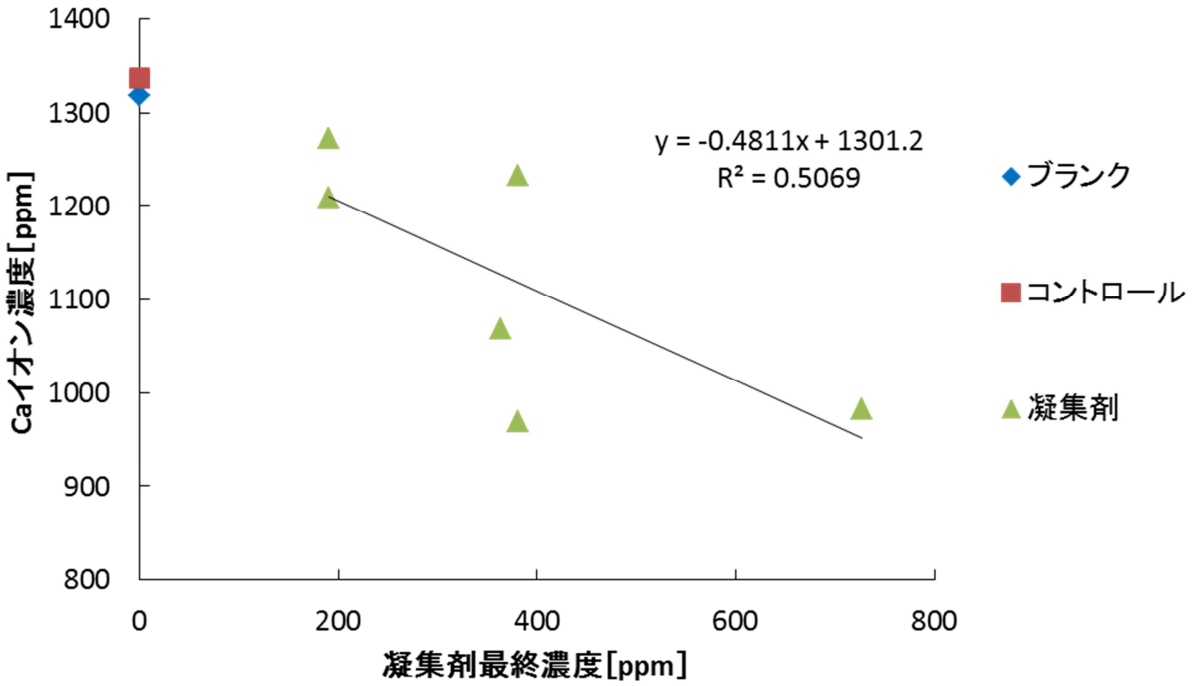



図17. $Ca^{2+}$濃度と凝集剤最終濃度との相関

＜条件＞
撹拌時間:1分
減容化率[%]:各静置時間における(ブランク沈澱高さ － 各サンプル沈殿高さ[mm]) / ブランク沈澱高さ[mm] × 100
実験日:3/14

表13. 擬似スラッジ水における凝集剤および炭酸アンモニウム投入条件による上澄みカルシウムイオン濃度への影響

| 実験日 | 凝集剤 | | | $(NH_4)_2CO_3$ | | 30分後上澄みCa吸光度 | | | Ca濃度[ppm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 投入時濃度[%] | 投入量[mL] | 最終濃度[ppm] | 投入時濃度[%] | 最終濃度[ppm] | 1回目 | 2回目 | 3回目 | |
| 6月7日 | 0 | 0 | 0.000 | 0.0 | 0.000 | 0.2738 | 0.2715 | 0.2752 | 952.106 |
| | 0 | 20 | 0.000 | 0.0 | 0.000 | 0.271 | 0.2798 | 0.2705 | 953.165 |
| | 0.4 | 20 | 363.636 | 0.4 | 363.636 | 0.2424 | 0.2415 | 0.2411 | 825.693 |
| | 0.4 | 20 | 363.636 | 0.4 | 363.636 | 0.2246 | 0.2249 | 0.2305 | 766.126 |
| | 0.4 | 20 | 363.636 | 0.4 | 363.636 | 0.2375 | 0.2376 | 0.2368 | 808.352 |
| | 0.4 | 20 | 363.636 | 1.2 | 1090.909 | 0.2267 | 0.2282 | 0.2308 | 773.671 |
| | 0.4 | 20 | 363.636 | 1.2 | 1090.909 | 0.2344 | 0.2364 | 0.2373 | 803.322 |
| | 0.4 | 20 | 363.636 | 1.2 | 1090.909 | 0.225 | 0.2268 | 0.2274 | 765.067 |
| | 0 | 20 | 0.000 | 0.0 | 0.000 | 0.2736 | 0.2726 | 0.2712 | 948.002 |
| | 0.8 | 20 | 727.273 | 0.4 | 363.636 | 0.2266 | 0.228 | 0.2344 | 778.039 |
| | 0.8 | 20 | 727.273 | 0.4 | 363.636 | 0.2303 | 0.2301 | 0.2319 | 782.408 |
| | 0.8 | 20 | 727.273 | 0.4 | 363.636 | 0.2204 | 0.2183 | 0.2182 | 735.549 |
| | 0.8 | 20 | 727.273 | 1.2 | 1090.909 | 0.2082 | 0.2078 | 0.2082 | 692.264 |
| | 0.8 | 20 | 727.273 | 1.2 | 1090.909 | 0.2016 | 0.2037 | 0.2013 | 668.966 |
| | 0.8 | 20 | 727.273 | 1.2 | 1090.909 | 0.1916 | 0.193 | 0.1946 | 632.697 |
| 6月22日 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.258 | 0.267 | 0.258 | 900.8 |
| | | 20 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.267 | 0.277 | 0.267 | 940.0 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.8 | 381.0 | 0.234 | 0.230 | 0.231 | 784.9 |
| | | 20 | 363.6 | 0.8 | 727.3 | 0.211 | 0.215 | 0.211 | 707.6 |
| | | 10 | 190.5 | 1.6 | 761.9 | 0.224 | 0.220 | 0.220 | 742.4 |
| | | 20 | 363.6 | 1.6 | 1454.5 | 0.201 | 0.202 | 0.204 | 668.1 |
| | | 30 | 521.7 | 1.6 | 2087.0 | 0.184 | 0.186 | 0.185 | 597.3 |
| | | 40 | 666.7 | 1.6 | 2666.7 | 0.189 | 0.189 | 0.187 | 609.5 |
| | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.270 | 0.268 | 0.270 | 935.9 |
| | | 20 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.263 | 0.264 | 0.261 | 909.9 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.8 | 381.0 | 0.237 | 0.239 | 0.240 | 811.4 |
| | | 20 | 363.6 | 0.8 | 727.3 | 0.211 | 0.208 | 0.211 | 696.7 |
| | | 10 | 190.5 | 1.6 | 761.9 | 0.226 | 0.221 | 0.228 | 758.6 |
| | | 20 | 363.6 | 1.6 | 1454.5 | 0.214 | 0.211 | 0.212 | 706.4 |
| | | 30 | 521.7 | 1.6 | 2087.0 | 0.187 | 0.188 | 0.190 | 611.4 |
| | | 40 | 666.7 | 1.6 | 2666.7 | 0.189 | 0.184 | 0.184 | 599.7 |
| 6月27日 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.240 | 0.242 | 0.244 | 826.1 |
| | | 20 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.238 | 0.238 | 0.242 | 814.9 |
| | 0.8 | 10 | 381.0 | 0.8 | 381.0 | 0.208 | 0.204 | 0.213 | 691.8 |
| | | 20 | 727.3 | 0.8 | 727.3 | 0.193 | 0.193 | 0.191 | 627.3 |
| | | 10 | 381.0 | 1.6 | 761.9 | 0.195 | 0.198 | 0.198 | 645.6 |
| | | 20 | 727.3 | 1.6 | 1454.5 | 0.175 | 0.178 | 0.179 | 565.1 |
| | | 10 | 381.0 | 2.4 | 1142.9 | 0.182 | 0.181 | 0.183 | 584.6 |
| | | 20 | 727.3 | 2.4 | 2181.8 | 0.170 | 0.165 | 0.165 | 522.1 |

表14. 擬似スラッジ水における凝集剤および炭酸アンモニウム投入条件による上澄みカルシウムイオン濃度への影響

| 実験日 | 凝集剤 | | | $(NH_4)_2CO_3$ | | 30分後上澄みCa吸光度 | | | Ca濃度[ppm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 投入時濃度[%] | 投入量[mL] | 最終濃度[ppm] | 投入時濃度[%] | 最終濃度[ppm] | 1回目 | 2回目 | 3回目 | |
| 6月27日 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.252 | 0.252 | 0.247 | 858.4 |
| | | 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.245 | 0.242 | 0.245 | 833.6 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.0 | 0.0 | 0.228 | 0.227 | 0.235 | 778.0 |
| | | 20 | 363.6 | 0.0 | 0.0 | 0.230 | 0.235 | 0.233 | 787.0 |
| | | 30 | 521.7 | 0.0 | 0.0 | 0.218 | 0.218 | 0.220 | 731.3 |
| | 0.8 | 10 | 381.0 | 0.0 | 0.0 | 0.228 | 0.230 | 0.227 | 770.5 |
| | | 20 | 727.3 | 0.0 | 0.0 | 0.207 | 0.207 | 0.206 | 683.5 |
| | | 30 | 1043.5 | 0.0 | 0.0 | 0.204 | 0.199 | 0.204 | 666.0 |
| 6月29日 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.300 | 0.308 | 0.307 | 1078.4 |
| | | 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.312 | 0.313 | 0.313 | 1109.6 |
| | | 10 | 0.0 | 0.8 | 381.0 | 0.282 | 0.284 | 0.286 | 994.2 |
| | | 20 | 0.0 | 0.8 | 727.3 | 0.268 | 0.270 | 0.271 | 936.8 |
| | | 10 | 0.0 | 1.6 | 761.9 | 0.265 | 0.267 | 0.267 | 924.6 |
| | | 20 | 0.0 | 1.6 | 1454.5 | 0.262 | 0.262 | 0.265 | 909.9 |
| | | 10 | 0.0 | 2.4 | 1142.9 | 0.263 | 0.266 | 0.263 | 915.3 |
| | | 20 | 0.0 | 2.4 | 2181.8 | 0.240 | 0.240 | 0.241 | 819.0 |
| 7月11日 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.283 | 0.282 | 0.285 | 993.3 |
| | | 15 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.292 | 0.294 | 0.291 | 1026.4 |
| | 0.8 | 5 | 195.1 | 1.6 | 390.2 | 0.258 | 0.254 | 0.252 | 876.8 |
| | | 15 | 558.1 | 1.6 | 1116.3 | 0.213 | 0.213 | 0.212 | 707.6 |
| | | 5 | 195.1 | 2.4 | 585.4 | 0.242 | 0.244 | 0.241 | 827.8 |
| | | 15 | 558.1 | 2.4 | 1674.4 | 0.205 | 0.204 | 0.207 | 678.2 |
| 7月12日 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.286 | 0.286 | 0.288 | 1004.7 |
| | | 5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.289 | 0.286 | 0.287 | 1009.2 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.4 | 190.5 | 0.252 | 0.254 | 0.256 | 873.9 |
| | | 30 | 521.7 | 0.4 | 521.7 | 0.227 | 0.226 | 0.224 | 761.2 |
| | | 40 | 666.7 | 0.4 | 666.7 | 0.215 | 0.222 | 0.221 | 734.3 |
| | | 10 | 190.5 | 1.2 | 571.4 | 0.206 | 0.205 | 0.204 | 677.2 |
| | | 30 | 521.7 | 1.2 | 1565.2 | 0.183 | 0.182 | 0.183 | 586.5 |
| | | 40 | 666.7 | 1.2 | 2000.0 | 0.179 | 0.177 | 0.177 | 567.5 |
| | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.244 | 0.243 | 0.244 | 832.7 |
| | | 5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.246 | 0.248 | 0.249 | 847.9 |
| | 0.8 | 5 | 195.1 | 0.4 | 97.6 | 0.231 | 0.230 | 0.232 | 781.1 |
| | | 10 | 381.0 | 0.4 | 190.5 | 0.215 | 0.216 | 0.219 | 723.8 |
| | | 15 | 558.1 | 0.4 | 279.1 | 0.214 | 0.212 | 0.214 | 709.2 |
| | | 5 | 195.1 | 1.2 | 292.7 | 0.222 | 0.218 | 0.218 | 735.3 |
| | | 10 | 381.0 | 1.2 | 571.4 | 0.195 | 0.197 | 0.196 | 642.7 |
| | | 15 | 558.1 | 1.2 | 837.2 | 0.193 | 0.193 | 0.195 | 631.3 |

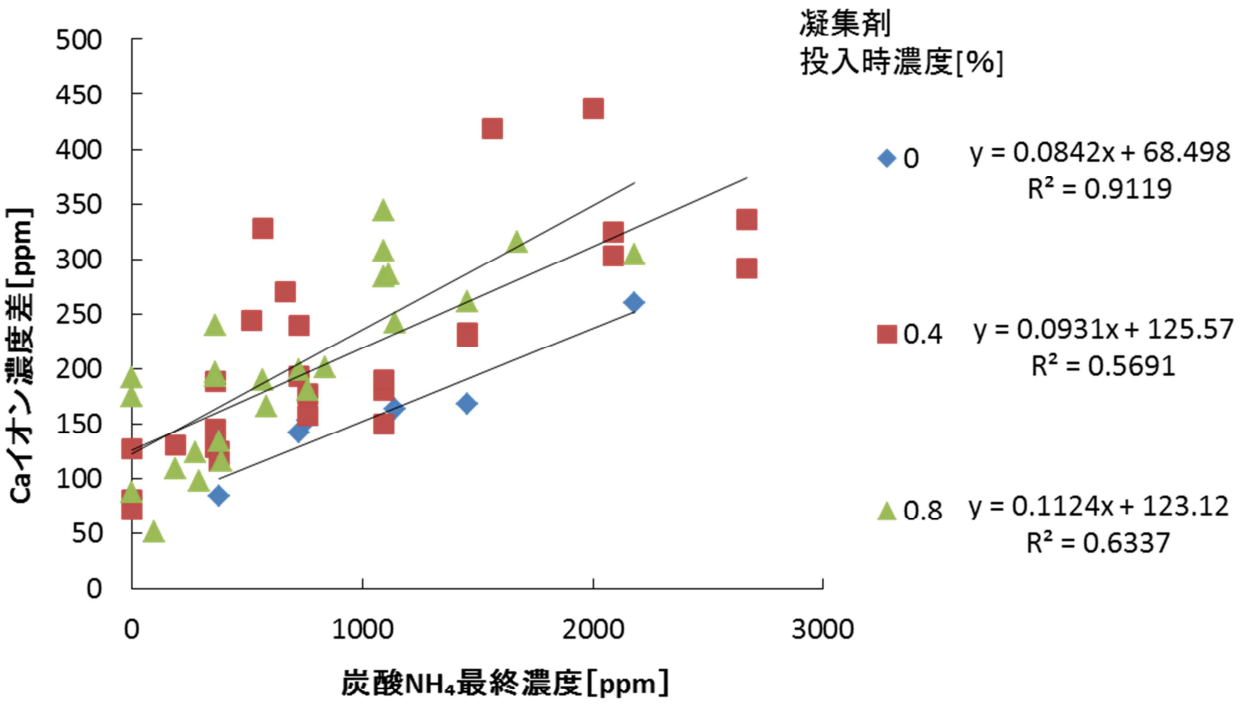



図18. 炭酸アンモニウム最終濃度がCaイオン濃度差へ与える影響
（擬似スラッジ水）

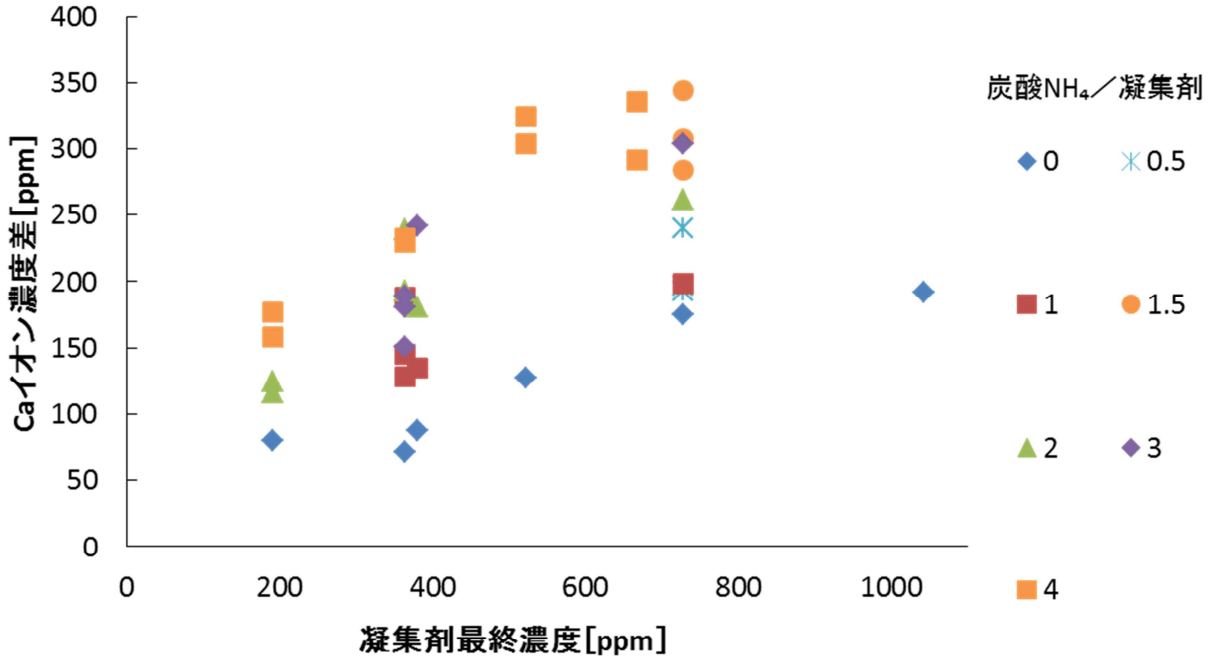



図19. 凝集剤と炭酸アンモニウム濃度比がCaイオン濃度差へ与える影響
（擬似スラッジ水）

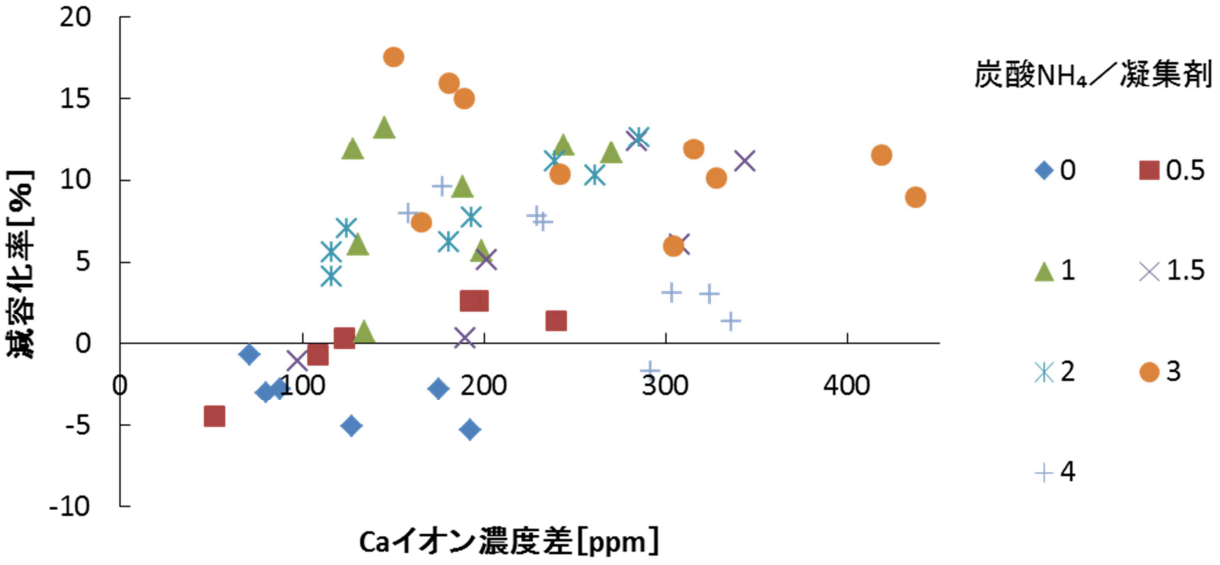



図20. 凝集剤と炭酸アンモニウム濃度比がカルシウム濃度差と減容化率へ与える影響（静置20分後）

＜条件＞
擬似スラッジ水密度：1.15 g/㎤
凝集剤投入時濃度：0.4%・0.8%
減容化率[%]：各静置時間における（ブランク沈澱高さ － 各サンプル沈殿高さ[㎜]） / ブランク沈澱高さ[㎜] × 100
Caイオン濃度差[ppm]：静置30分後におけるブランクCaイオン濃度 － 各サンプルCaイオン濃度
撹拌時間：5分
静置時間：0～30分

実験日：6/22～7/12

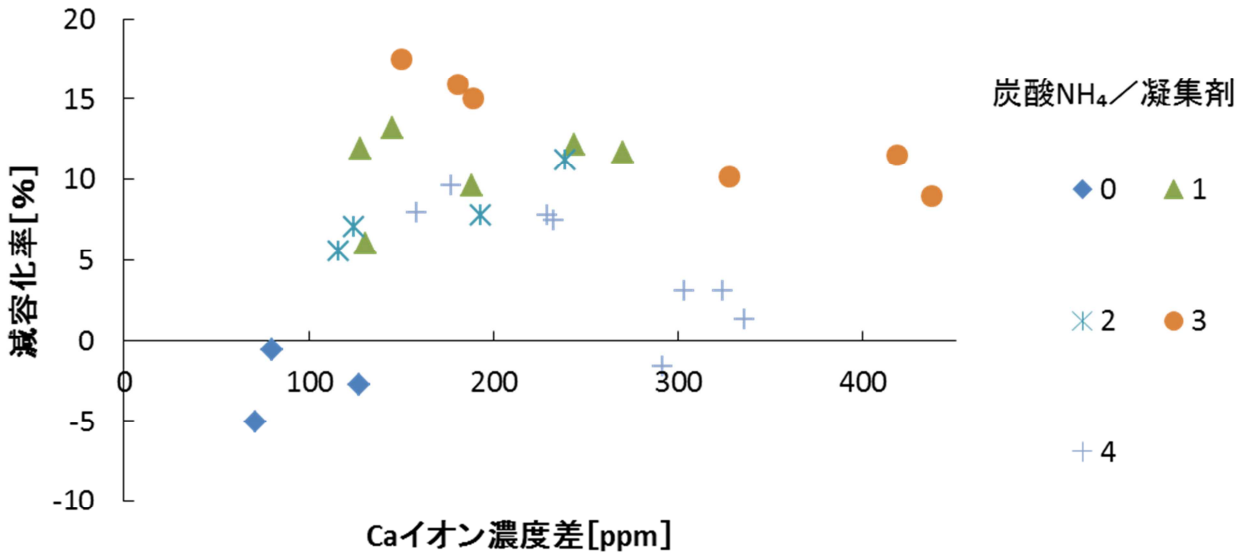



図21. 凝集剤と炭酸アンモニウム濃度比がカルシウム濃度差と減容化率へ与える影響（凝集剤投入時濃度0.4%・静置20分後）

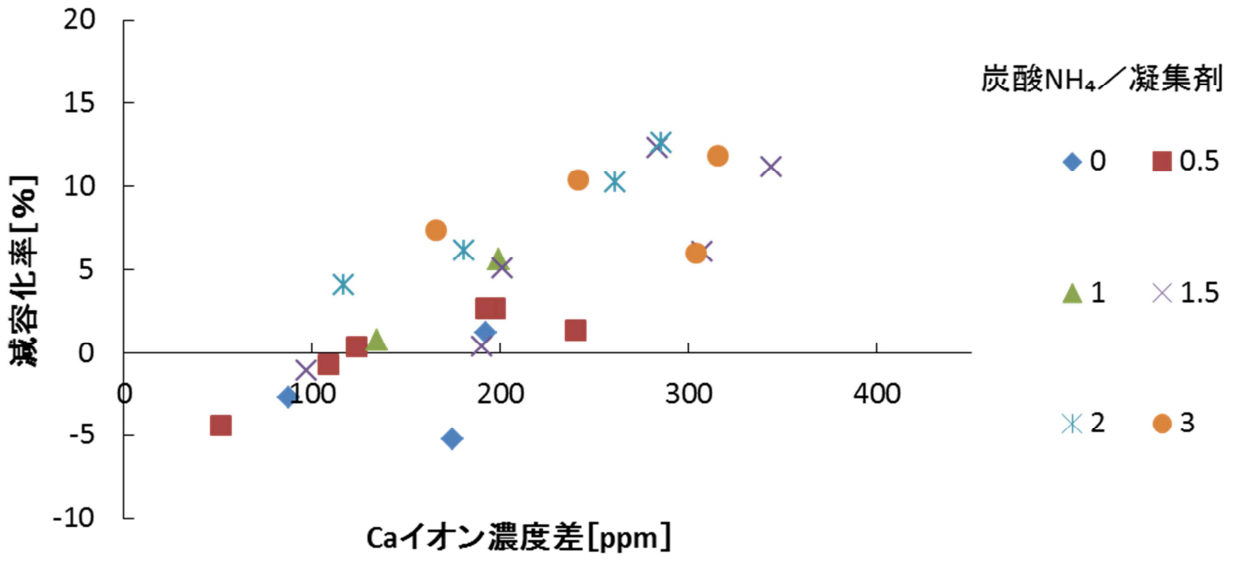



図22. 凝集剤と炭酸アンモニウム濃度比がカルシウム濃度差と減容化率へ与える影響（凝集剤投入時濃度0.8%・静置20分後）

表15. 実スラッジ水における凝集剤および炭酸アンモニウム投入条件による上澄みCaイオン濃度への影響

| RUN | 凝集剤 | | | $(NH_4)_2CO_3$ | | 30分後上澄みCa吸光度 | | | Ca濃度 [ppm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 投入時濃度[%] | 投入量 [mL] | 最終濃度 [ppm] | 投入時濃度[%] | 最終濃度 [ppm] | 1回目 | 2回目 | 3回目 | |
| 1 | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.444 | 0.435 | 0.447 | 1630.5 |
| | 0 | 10 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.438 | 0.439 | 0.437 | 1612.9 |
| | 0 | 20 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.350 | 0.342 | 0.340 | 1236.4 |
| | 0.4 | 20 | 363.6 | 0 | 0.0 | 0.492 | 0.469 | 0.467 | 1765.5 |
| | 0.8 | 20 | 727.3 | 0 | 0.0 | 0.442 | 0.427 | 0.427 | 1588.9 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 0.8 | 381.0 | 0.456 | 0.448 | 0.439 | 1651.1 |
| | 0.4 | 20 | 363.6 | 0.8 | 727.3 | 0.395 | 0.378 | 0.386 | 1405.5 |
| | 0.8 | 10 | 381.0 | 0.8 | 381.0 | 0.433 | 0.440 | 0.435 | 1604.7 |
| | 0.8 | 20 | 727.3 | 0.8 | 727.3 | 0.372 | 0.369 | 0.379 | 1352.7 |
| 2 | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.409 | 0.405 | 0.413 | 1495.9 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 1.6 | 761.9 | 0.354 | 0.353 | 0.352 | 1272.2 |
| | 0.4 | 10 | 190.5 | 1.6 | 761.9 | 0.377 | 0.378 | 0.379 | 1372.0 |
| | 0.4 | 20 | 363.6 | 1.6 | 1454.5 | 0.324 | 0.324 | 0.328 | 1159.4 |
| | 0.4 | 20 | 363.6 | 1.6 | 1454.5 | 0.314 | 0.313 | 0.305 | 1102.1 |
| | 0.8 | 10 | 381.0 | 1.6 | 761.9 | 0.311 | 0.312 | 0.307 | 1099.5 |
| | 0.8 | 10 | 381.0 | 1.6 | 761.9 | 0.303 | 0.306 | 0.304 | 1076.7 |
| | 0.8 | 20 | 727.3 | 1.6 | 1454.5 | 0.266 | 0.266 | 0.263 | 917.8 |
| | 0.8 | 20 | 727.3 | 1.6 | 1454.5 | 0.270 | 0.269 | 0.274 | 941.8 |
| 3 | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.307 | 0.315 | 0.312 | 1103.5 |
| | 0 | 10 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.298 | 0.300 | 0.297 | 1050.7 |
| | 0 | 20 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.296 | 0.292 | 0.294 | 1034.8 |
| | 0.4 | 5 | 97.6 | 1.6 | 390.2 | 0.314 | 0.315 | 0.315 | 1117.3 |
| | 0.4 | 30 | 521.7 | 1.6 | 2087.0 | 0.222 | 0.228 | 0.226 | 758.9 |
| | 0.4 | 40 | 666.7 | 1.6 | 2666.7 | 0.214 | 0.210 | 0.210 | 703.7 |
| | 0.8 | 10 | 381.0 | 2.4 | 1142.9 | 0.257 | 0.256 | 0.258 | 886.2 |
| | 0.8 | 20 | 727.3 | 2.4 | 2181.8 | 0.204 | 0.204 | 0.208 | 677.6 |
| | 0.8 | 30 | 1043.5 | 2.4 | 3130.4 | 0.191 | 0.194 | 0.193 | 627.8 |

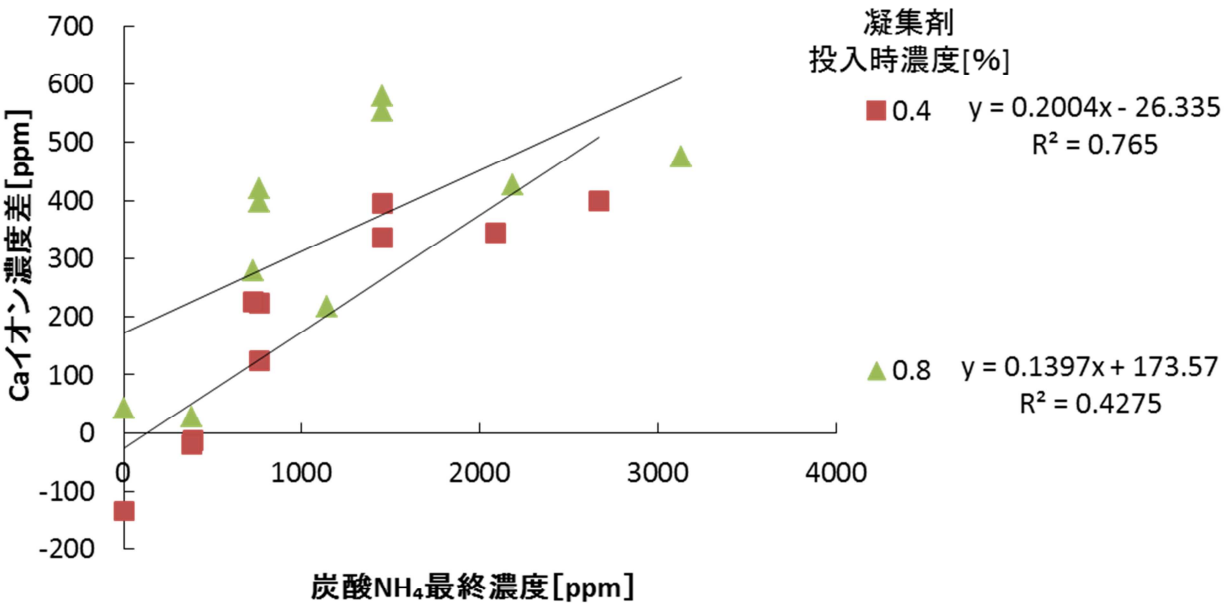



図23. 炭酸アンモニウム最終濃度がCaイオン濃度差へ与える影響（実スラッジ水）

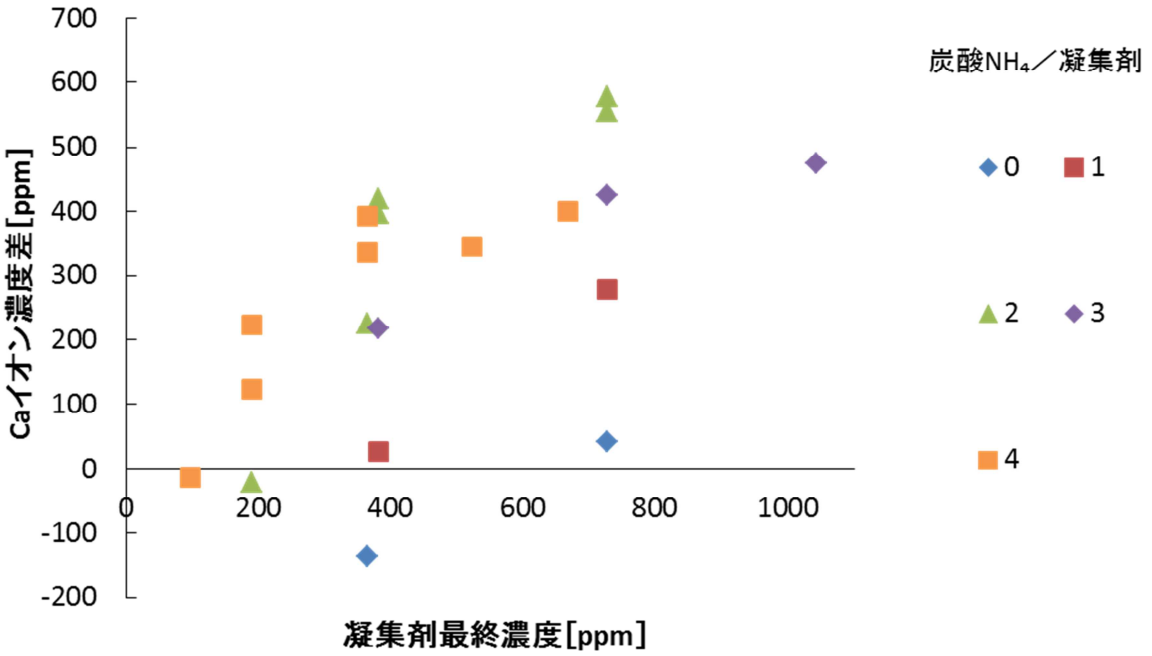



図24. 凝集剤と炭酸アンモニウム濃度比がCaイオン濃度差へ与える影響（実スラッジ水）

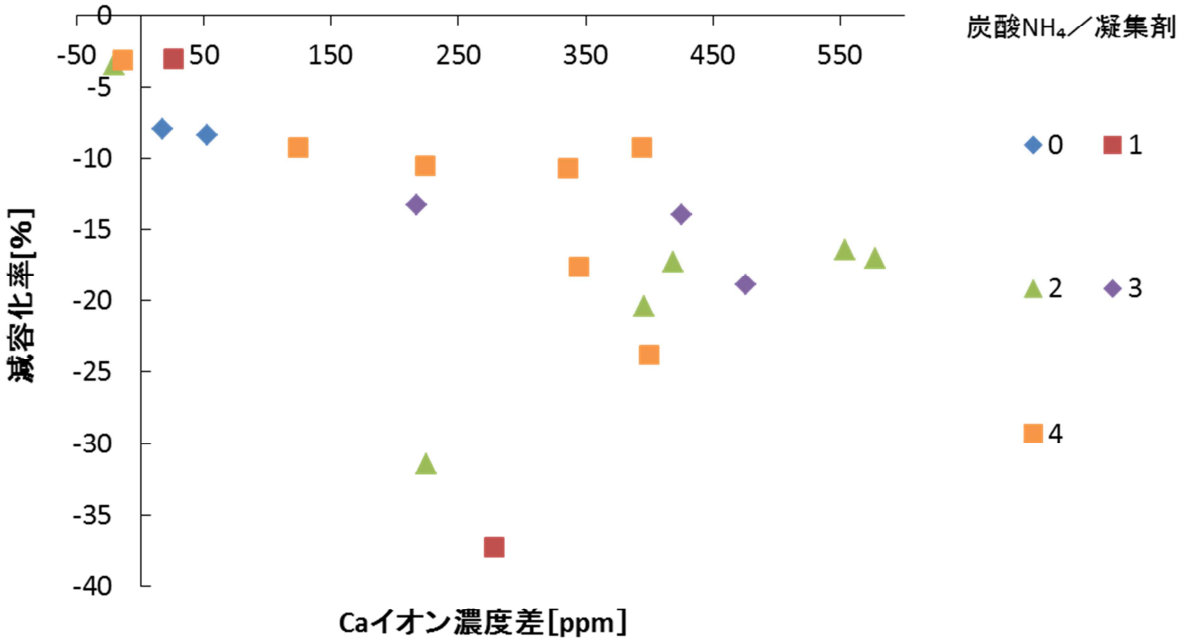
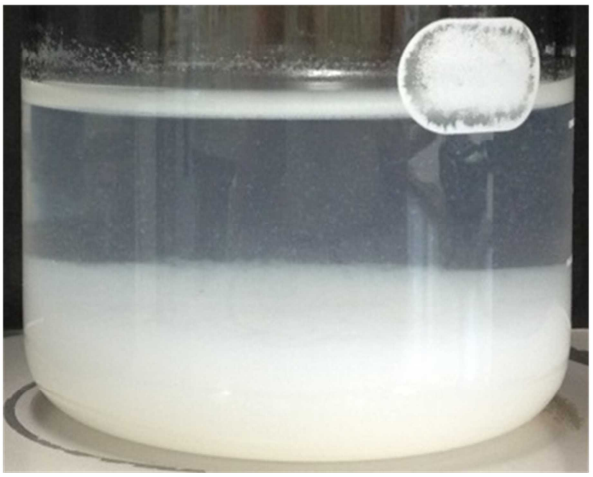



図25. 凝集剤と炭酸アンモニウム濃度比がCaイオン濃度差と減容化率へ与える影響（実スラッジ水）



図D. 凝集試験後の上澄みに炭酸アンモニウムを添加して生成された白色沈殿（擬似スラッジ水）