

### 35 . 湖沼等の環境浄化処理技術の開発

担 当 機 関 農林水産省 独立行政法人 農業工学研究所 藤森新作

分野 水

研究期間 平成 12年度 ~ 平成 13年度

研究予算総額 69,176千円

#### 研究の背景と目的

湖沼、ため池、河川等に堆積する底泥は、水環境の改善や生物の生息環境の修復を図る上でその除去が急務となっているが、スラリー状を呈しているため浚渫も容易でない。また、底泥には重金属をはじめとする多くの有害物質が含まれており、埋め立て等に安易に再利用できない。さらに、固化材等を用いた処理についても、高含水率の底泥の処理は容易でなく、再資源化資材も有害物質の再溶出が懸念されることから利用が進んでいない。

そこで、提案機関において開発した非化学当量リン酸マグネシアセメント(化学当量が不均衡な重過リン酸マグネシウムの10分子重合体、以下「マグホワイト」という。)を主剤として、湖沼等の底泥の固化処理と重金属等有害物質の不溶化を効率的に行う技術、及び固化処理土の再利用手法を開発する。また、沖縄地方において赤土の降雨侵食に伴う濁水が海域に流出し、珊瑚の死滅等の問題が発生していることから、マグホワイトによる侵食防止技術を検討する。

ここで採用するマグホワイトは、取り扱いが容易で、国内の大部分の土を固めることができ、弱アルカリ性で生物の生育を妨げず、固化後において母材となった土の色を保存し、水浸しても崩壊することがなく、破砕すれば土に戻すことができるなど多くの利点を持つ。水田の畦畔・用水路、ため池堤防の固化成型やブロック、U字溝等の二次製品の製造、グラウト注入資材などとして、すでに実用化が図れている。本研究では、上記の諸特性に加えて、硬化過程で発生する脱水機能と重金属等の吸着機能に着目し、汚泥の脱水処理と安全化処理を効率よく行う技術として確立することを目的としている。

#### 研究の成果

従来、ソイルセメントや高硫酸塩セメント、ソイルライムは5%程度の添加量で土壌を固化できるため広く利用されてきたが、どのような土壌でも固化できるものではなく、固化が困難な土壌も数多く発見されている。あらゆる土壌が固化できる固化材が求められており、マグホワイトはこのような課題を解決するとともに、固化物のpHは10以下となる。

マグホワイトの硬化機構はセメントとは異なり、エトリンガイトによる水和反応で硬化するのではなく、水を含む水酸化マグネシウムゲルを発生し、これがリン酸等と反応してボピライト系及びニューベライト系化合物を生成して硬化する非化学量論的リン酸マグネシウムまたは塩基性炭酸マグネシウムを含む硬化物である。

このため、硬化するときには多くの水を結晶水として取り組むことから、セメントよりも混水量が多い。また、主原料の酸化マグネシウム( $MgO+H_2O \rightarrow Mg(OH)_2$ )のpHは10.5で、セメント( $CaO+H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$ )のpHである14.0と比較して水酸イオン濃度が1/35と低いため弱アルカリ性となる。

#### 1 . 底泥の固化

マグホワイトは高分子凝集剤と反応性があり、水に不溶でありながら凝集能を持って固化する性質から、高分子凝集剤を選択して併用することによって、ほとんどの底泥を離水させる(図1)。一方、高分子凝集剤のフロク

クは粘性があり、ろ過性がよくないという欠点があり、これを解消する方法として3～5%のマグホワイト添加で、ろ過時間を1/2に短縮することができる。さらに、0.1%の高分子凝集剤水溶液とマグホワイトの5%スラリーは、反応して水底に沈降する性質があり、底泥の舞い上がりを防止することが可能であることから、濁水にこれを混合すれば水の清澄化を行うことができるなど、様々な利用が可能である。

## 2. 重金属類の安定化

重金属類の安定化技術として、有機硫黄化合物がセメントと併用して使用されているが、セメントのアルカリによって分解し、不安定な挙動を示す傾向がある。また、水酸アパタイトは、重金属類とイオン交換能があり重金属を吸着するが、酸により解離する欠点がある。そこで、マグホワイト型(リン酸塩タイプ)を用いて、クエン酸可溶の燐酸肥料で燐酸キレートを形成させ、マグネシアとの反応によって固化する技術を確立した。この結果、環境基準値の10倍以上の汚染土壌であっても安定化が可能で特に困難とされている水銀、カドミに有効である(表1)。カドミについては、汚染農地で大豆栽培を行いその効果を検証した。

## 3. 脱水、固化機能を最大に発揮する処方確立

組成の異なる各種の高含水比底泥に対応して、適正な高分子凝集剤及びマグホワイトの添加量等について、脱水・固化機能を効果的に発揮する最適な条件を実験的に求め、処方の根拠と分離水の浄化検討を試みた。試験結果から、全タイプのマグホワイトについて、高分子凝集剤と反応性があり、水に不溶でありながら凝集能を持って固化する性質から、適正な高分子凝集剤を選択して併用することによって、ほとんどの底泥を離水させることが出来る。このため、含水比300%以下程度の底泥であれば、60%まで直接的に脱水固化が可能であることが実験的に確認された。この方法が実用化できれば、大がかりな機械的脱水処理を行うことなく第三種発生土として有効利用することが可能であり、従来の固化技術では含水比150%が限界であったことと比較して固化性能が高いといえる。

一方、高分子凝集剤のフロックは粘性があり、ろ過性が良くないという欠点があり、これを解消する方法として3～5%のマグホワイト添加で、ろ過時間を1/2に短縮することができる。さらに、0.1%の高分子凝集剤水溶液とマグホワイトの5%スラリーは、反応して水底に沈降する性質があり、底泥の舞い上がりを防止することが可能であることから、濁水とこれを混合することによって、水の清澄化を行うことができるなど、様々な利用が可能である(表2)。

## 4. 固化された処理土の物理特性の評価と化学安全性の確認

固化する過程で多量水を必要とする。

強度発現は対象土の性状による影響を大きく受ける。

固化処理土のpHは高炉セメントB種を用いた場合と比較して0.5～2.0低い。

固化処理土のpHは材齢28日で材齢7日と比較して0.8程度下がる。

固化処理土からの六価クロム溶出は土壤環境基準以下であった。

## 5. 現位置処理技術の確立

マグホワイトを用いた底泥の現位置処理の確立を目的として、全国から4箇所(宿の沢ダム(宮城県)、大谷ダム(熊本県)、大崎上島(広島県)、鍛冶池(香川県))を選択した。4箇所のサイトにおいて用いた攪拌方法はいずれも良好な現位置固化が可能であることを確認した(図2 写真1)。

1)宿の沢ダム(宮城県):バックホーによるミキシングパケット、2)大谷ダム(熊本県):ポンプ車を用いた管中混合、3)大崎上島(広島県):水平ロータリー式攪拌機、4)鍛冶池(香川県):水平ロータリー式攪拌機

鍛冶池において約100m<sup>3</sup>の実規模大の大量施工実験を行ったが、施工性に問題がないことを確認した。

宿の沢ダム底泥の現場固化強度は室内強度に対して50～80%であった。

宿の沢ダム及び大谷ダム底泥において、マグホワイトは高炉セメントB種やジオセットのような従来型セメント

より大きな強度が得られ、pH値は1オーダー低い値であった。

マグホワイトによる湖沼、ため池等に堆積する底泥の効率的な固化は、現状の施工技術で十分可能である。

#### 6．固化された処理土の有効利用技術の開発

植栽土壌としての検討及び植栽土壌評価分析を行った結果、以下のことを確認した。

全窒素、有効態リン酸、陽イオン交換容量(保肥力の指標)の各項目で植栽土壌として優～良に該当する。

飽和透水係数(水はけの指標)、有効水分(保水力の指標)、固相率(根の成長阻害の指標)、pHの各項目で植栽土壌として不良に該当する。(ただし、マグホワイト型のpHは7.3)

植栽土壌評価結果から、マグホワイトによって固化した底泥を粉砕すると共に、ピートモス等のpH調整材を添加することで植栽土壌とすることの可能性が得られた。

宿の沢ダムにおいて、マグホワイトを用いて固化した同ダムの底泥を粉砕した改良土で、ヒイラギ、ツゲ、アオキ、ツバキを2年間栽培しているがすべて順調に生育している。また、鍛冶池では大豆、夏キャベツ、及び各種樹木の植栽・栽培試験を継続しており、特にマグホワイト30%+ピートモス70%ブレンド区における生育が目立って順調である(写真2)。

#### 7．赤土の流出防止技術の確立

従来、沖縄地方における赤土の降雨浸食に対応したマルチング技術は確立されていなかったが、マグホワイト15%スラリーと糊料(CMC)0.4%を併用した液体を2~4ml/m<sup>2</sup>散布することによって、降雨量200mmにおいて濁度を80ppm以下とすることができ、スラリーにバガスなどのファイバー材を混入することによって、マルチング効果がさらに高まる(図3、写真3)。また、現地土の透水係数のオーダーを変化させるほどの透水性の減少は生じない。一方、重量比で現地土100に対してマグホワイトを10~15程度添加して5~10mmの顆粒状に成型したものを、地表面に20mm以上の厚さで敷き詰めることによって降雨浸食が防止される(図4)。なお、スラリーの一部成分が種子からの発芽を抑制する作用を持ち雑草の抑制に効果があるが、二葉以上に成長した植物に直接散布しても無害である。

#### 8．湖沼等の生態系に対する影響評価

淡水動植物では、メダカ、シジミ、タニシ、水生植物に対する試験を実施しているが、1年を経過した状態で死滅例はない。海域の水生生物に対して、マグホワイトとセメント系固化材について急性毒性試験を実施し、影響を検討した。なお、海水域における試験方法は十分に検討されていないことから、内海に多く分布するアサリ、スサビノリ、アマモを用いて、新たな判定方法を確立した。この試験方法により、全ての海産生物に対してマグホワイトがセメント系固化材よりもLC50の値が小さく、影響が少ないことが解った。

#### 研究のまとめ

マグホワイトと高分子凝集剤の併用によって、高含水底泥の直接固化処理及び、分離水中の濁度の大幅な除去が容易にできる。湖沼等の底泥の現位置処理は既存の施工技術で可能であり、また、固化した処理土に植栽が行える。赤土等の土壌侵食を液状及び顆粒状造粒物による地表面マルチングで抑制することができる。海産生物に対して、マグホワイトは従来のセメント系固化材と比較して1/15まで、へき死等の影響が低減されることなどが明らかとなった。

当初の研究目標は達成できたと考えている。本研究成果の活用によって、湖沼等の底泥処理や水質改善、土壌侵食の抑制及び環境保全に配慮した農業施設の整備等が図られ、国土整備と環境の調和に役立つべきである。

従来技術		提案技術	
原水	汚泥量 15~20%	原水	
pH調整	石灰処理 無機凝集剤	pH調整	
フロック生成	PAC、硫酸バンド、塩化第二鉄 硫酸第二鉄	フロック生成	
無機系フロック	高分子凝集剤	無機系フロック	高分子凝集剤
有機系フロック		高分子フロック	マグホワイト3~5%添加 水分20~30%分離
脱水・ろ過		収縮	
セメント系硬化剤	含水率80~120%	マグホワイト	重量当たり5~20%添加 含水率60%
汚泥硬化	高pH、六価クロムなどの問題	汚泥硬化	消臭、重金属安定化
汚泥ケーキの焼却 管理型埋め立てなど		再資源化	

図1 マグホワイトによる汚泥の固化処理技術

表1 重金属類含有関東ロームのマグホワイト処理試験結果の一例

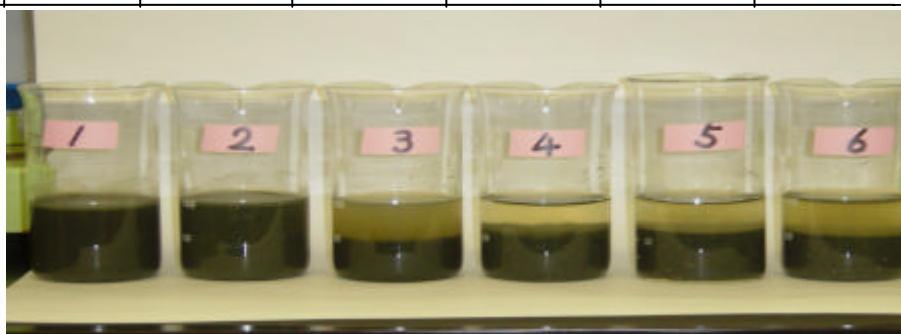
試料名	重金属10倍	重金属100倍	判定基準
計量項目	mg/l	mg/l	mg/l
水銀	0.002	0.003	0.005以下
カドミウム	0.010	0.040	0.1以下
鉛	0.040	0.070	0.1以下
六価クロム	0.040	0.070	0.5以下
ヒ素	0.060	0.080	0.1以下
銅	0.100	0.300	3.0以下

注 関東ロームに環境省46号試験基準値の10倍、100倍量の重金属類を添加し、マグホワイト型にポリリン酸ソーダ2.0重量部、ビート活性炭3.0重量部を粉体混合物35重量部を関東ローム100重量部と混合して、これに水65重量部を添加して5分間ボートミキサーで混合した。

表2 含水比が高い底泥に対する凝集剤とマグホワイトによる処理方法の検討

	No.1 原水	No.2 マグのみ	No.3 凝集剤のみ	No.4 マグ凝集剤	No.5 マグ凝集剤同時	No.6 凝集剤 マグ
凝集性		×				
清澄性		×				×
沈降性		×				
透視度cm		×	1.8	> 6	6	5.8
評価		×	×			

条件:含水比1500(水道水で希釈)  
薬剤:マグホワイト  
(粉末)・・・20%/DS  
添加  
凝集剤(アコフロックA  
125PWG-S)溶解  
液・・・10ppm添加



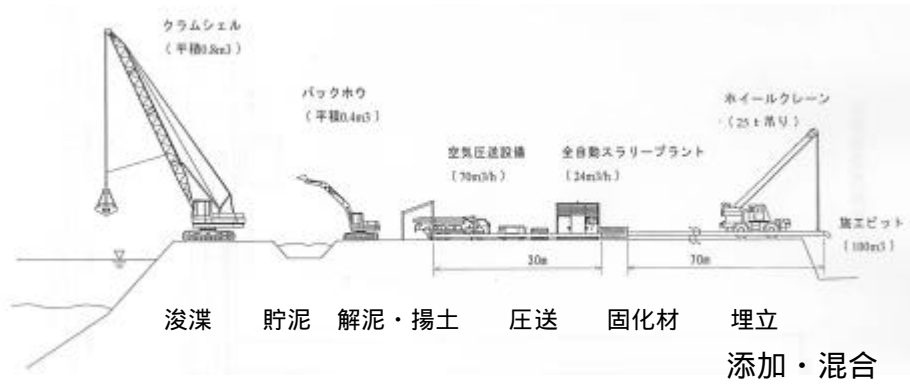


図 2 底泥の管中混合処理技術 (熊本県 :大谷ダム)



写真 1 水平ロータリー式攪拌機によるマグホワイト処理 写真 2 植栽試験 (香川県 鍛冶池底泥土)

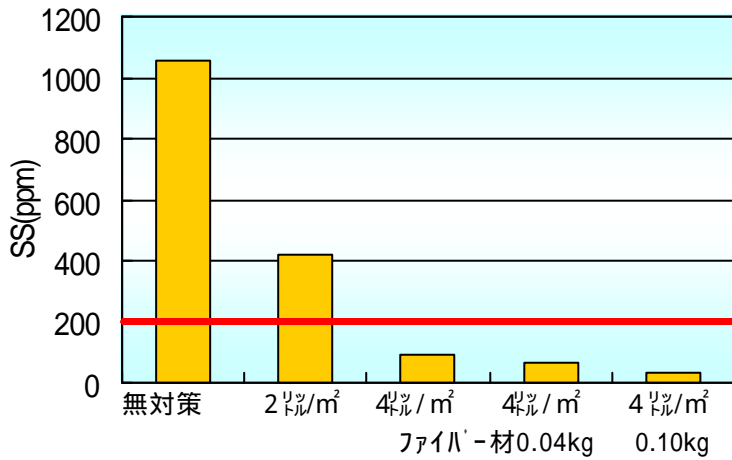


図 3 液状マルチングによる赤土流出防止試験

寸法 : 10m x 5m 計測期間 : H14.12 ~ H15.9  
計測項目 : SS (浮遊物質) 表面水流出量 降雨量



写真 3 赤土流出防止現地試験概要

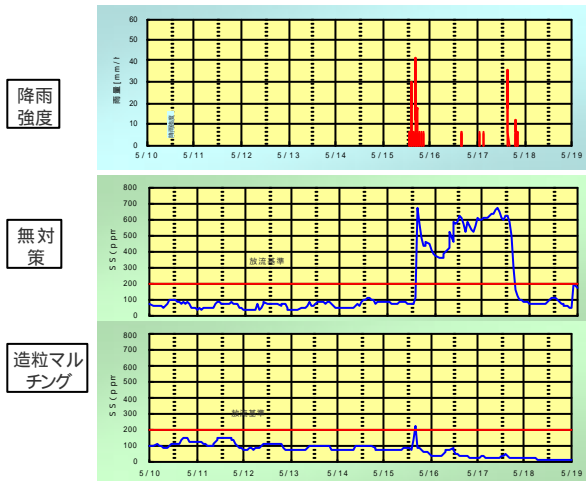


図 4 造粒マルチング処理区からの浮遊物質流出状況 (石垣島試験地)

研究発表

発表題名	掲載方法 / 学会等	発表年月	発表者
(誌上発表) ・新しい土壌硬化剤「マグホワイト」 ・マグネシア質で土や汚泥を固めて自然の保全を図る技術	農業技術56巻11号 技術交流inつくば2001	13.11 14.1	藤森 藤森
・環境に優しい土壌硬化剤マグホワイトによる資源循環技術	平成13年度農業土木技術研究会研修テキスト	14.2	藤森
・環境に優しい土壌硬化剤の開発	平成12年度農林水産技術会議研究成果選シリーズ	14.3	藤森
・湖沼等の環境浄化処理技術の開発	季刊環境研究129号	15.5	藤森、小堀、藤井
・軽焼マグネシア系土壌硬化剤による地表面マルチング技術 (口頭発表)	平成14年度農業工学関係研究成果情報	15.3	藤森、若杉、谷本、小堀
・マグネシア質を主成分とする環境に優しい土壌硬化剤の利用技術	農業土木学会関東支部講演会	13.11	藤森、若杉、谷本、小堀
・環境対応型固化材が海産生物に及ぼす影響についての検討	地盤改良シンポジウム(材料学会)	14.11	藤平、小西
・液状マルチングによる赤土流出防止効果	農業土木学会大会講演会	15.7	藤森、若杉、谷本、小堀 勝又、飯島、福田

工業所有権

特許等の名称	願書年月日	公告番号	公告期日	登録番号
・環境改善セメント組成物	14.2.25	特願2002-284-08		
・抑草マルチング組成物	14.11.21 14.11.25	特願2002-337759 PCT/JP02/12270 アメリカ・カナダ・オーストラリア・EU		
・底泥の土壌化処理方法	14.12.24	特願2002-371195		