

新たな固化剤を用いた沈砂池堆積土砂の再利用技術の開発について（3）

○富坂峰人、下村幸男、城野裕介、藤澤久子、今村史子、森原百合（日本工営（株））

1. はじめに

南西島嶼域では、降雨時の地表流による地表面の侵食が著しく、農地・荒廃地から微細土粒子を多量に含む濁水が流出して河川・沿岸域を汚染している。この現象は赤土等流出問題と呼ばれ、沿岸生態系の破壊および漁業・観光資源の損失をもたらしており、地球温暖化に伴う気象変化による激化も危惧されるなど深刻な環境問題となっている。赤土等の主要な発生源は、開発工事、農地、米軍基地等とされているが、近年、特に農地における対策の更なる進展が必要であるとの認識が高まっている。

農地における対策については、これまでに、沈砂池や土砂溜等の対策施設が農業農村整備事業において整備されてきている¹⁾。しかし、特に沈砂池については、堆積土砂の定期的な浚渫・排土による機能回復が対策効果を維持する上で不可欠であるにも関わらず、浚渫した土砂の処理コスト・労力の地元負担等が課題となり、現在のところ、十分な維持管理が行われているとは言い難い現状にある。

他方、営農の観点から見ると、圃場の耕土は農家が施肥や砕土等の作業など手間とコストをかけて作り上げた資産であり、圃場から流出した場合は新たに補填しなければならない。したがって、営農の観点から見ても耕土は流出しないにこしたことはなく、また、耕土が元々農家の資産であることを考えると、流出した土（沈砂池に堆積した土）は、本来、圃場に戻すべきものである²⁾。

このような認識の下、我々は、低コストであると共に、圃場に還元することで赤土等の流出防止にも役立つ沈砂池堆積土の再利用技術の開発に取り組んできている。昨年度までに新たな固化剤の開発状況や工法案等について紹介したが^{3) 4)}、本年度はより汎用性を高めるため、バックホウを用いた試験施工を実施したので、その概要について紹介する。

2. 沈砂池及び堆積土砂に係る基本認識

(1) 沈砂池の役割と課題

農地における赤土対策では、発生源対策と沈砂池等の流下抑制対策が連携しており、沈砂池は河川・海域に流出する直前の最終的な対策として整備区域の流末に設置されている。赤土等は微細粒子を多く含むため、沈砂池だけで全て抑えることは困難であり、一方、発生源対策も現メニューだけでは全ての営農期間を通して徹底出来ないため、各々が連携し、総合的に対応する必要がある（図 1）。なお、沈砂池は発生源対策の限界を超える豪雨時における最後の砦としての役割も担っている。

沈砂池は、上記のとおり流末に位置する最終的な対策であることから、その不備・不調が公共用水域への赤土の流出に直結する。したがって、継続的な維持管理による対策効果の維持や、豪雨時への備えとして平常時にいかに沈砂池の断面、空き容量を確保しておくか等が重要な課題になっている。

しかし、堆積した泥土をそのまま処分しようとするると産業廃棄物（建設汚泥）扱いになり、高額な処分コストがかかる。現在は近隣工事において埋め戻し材として活用する等により細々と実施している状況であるが、平成 22 年度に報告したとおり、市町村の行政関係者に聞くと活用できる場所も少なくなっており、沈砂池の浚渫は今後更に難しくなってくる見通しである。

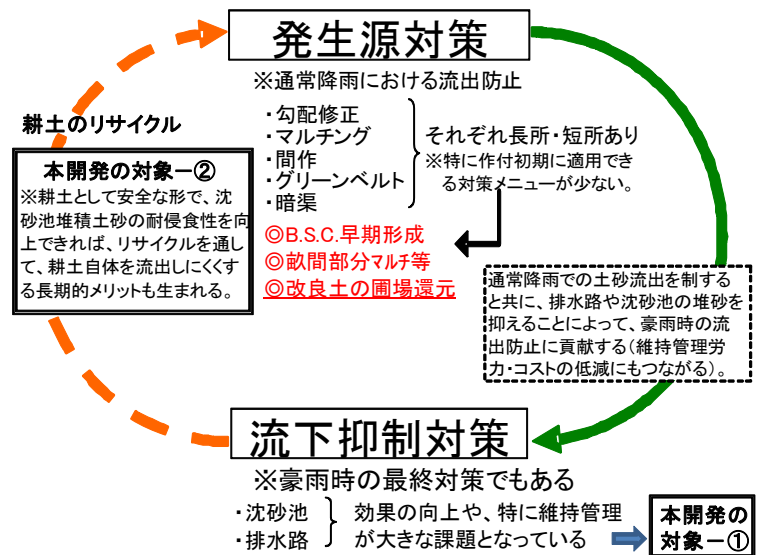


図 1 農地での赤土対策工の関連と本研究開発の位置づけ

3. 研究開発の概要

(1) 対策の基本方針

本開発では、沈砂池に堆積した泥土を有用材として改良することにより、沈砂池の維持管理、ひいては耕土の保全・土づくりにつなげようと考えている。

堆積泥土は元々耕土であるにも関わらず、現在は図1-①のように、農家がコストをかけて作った土を、コストをかけて処分し、流亡した耕土の補填に農家が更にコストをかけている状況にある。これに対し、図1-②のように、耕土を農地内で循環すれば、先ず農家の耕土補填のコスト低減を図ることができ、運搬距離や土砂採取のための新たな開発も低減できる。

堆積泥土が耕土であるとの前提に立てば、ここでの技術的課題は、①排土を運搬しやすくする方法（運搬時等に液状化しない）、②圃場に還元しても侵食（濁水化）されにくくする方法になる。

なお、営農地における対策に関しては、これまでも色々な事例があるが、実用に至っていないものが多いことを勘案し、本開発におけるポイントを以下のとおりとしている。

- ① 沈砂池からの排土（泥土）を、改良により侵食しにくくすること
- ② 改良した泥土が耕土として安全であること
- ③ 引き取り手となる農家にとって、営農上のメリットがあること（土づくりに役立つ等）
- ④ 改良工事は地元業者で実施できること（特別な機械を使わず簡易に実施→地元振興）
- ⑤ 低コストであること（少なくとも、産廃処分よりは安くなること）

(3) 新たに開発した固化剤の特徴

上記のポイントを達成するためには、中性で従来よりも投入量の少ない固化剤が必要と考え、開発に取り組んでいる。開発した新たな固化剤は無機成分とデンプンが主成分である（名称：イーファアップ）。安全性については、改良剤自体に含まれる有害物質（土壌環境基準項目）がすべて環境基準以下であり、更に堆積土砂1tに対する改良剤の投入量が0.3~0.5%と少量なため、有害物質等による問題はないと考えている。表1に、平成23年度の試験施工時の改良土の分析結果を示すが、環境基準を十分に満足している。

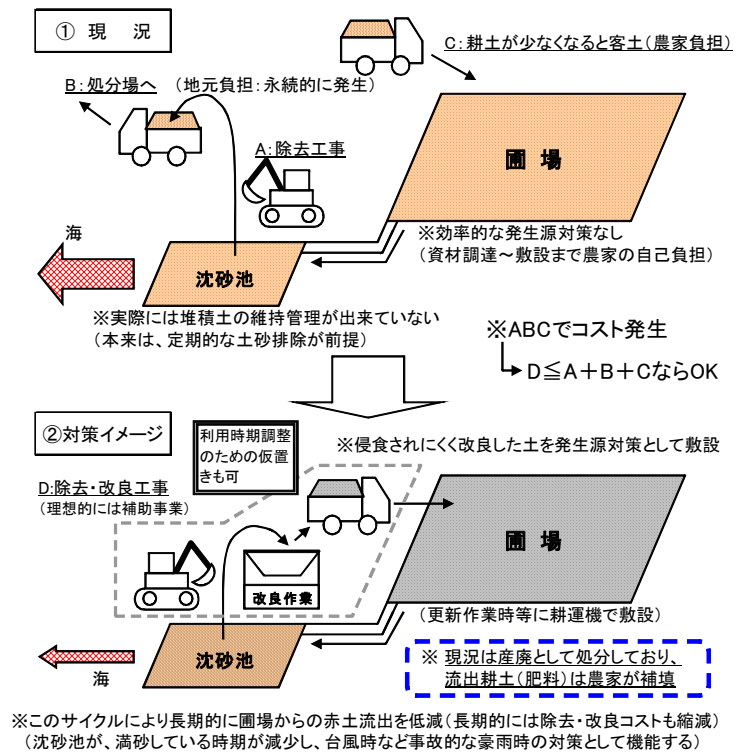


図2 当開発の基本的考え方

表1 改良土の分析結果（土壌環境基準項目）

項目	単位	土壌環境基準		改良土分析結果
		基準値	測定下限値	
カドミウム	mg/L	0.01	0.001	ND
全シアン	mg/L	不検出	0.1	ND
有機りん	mg/L	不検出	0.1	ND
鉛	mg/L	0.01	0.004	ND
六価クロム	mg/L	0.05	0.005	ND
砒素	mg/L	0.01	0.001	0.001
総水銀	mg/L	0.0005	0.0005	ND
アルキル水銀	mg/L	不検出	0.0005	ND
PCB	mg/L	不検出	0.0005	ND
ジクロロメタン	mg/L	0.02	0.002	ND
四塩化炭素	mg/L	0.002	0.0002	ND
1,2-ジクロロエタン	mg/L	0.004	0.0004	ND
1,1-ジクロロエチレン	mg/L	0.02	0.002	ND
シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	0.04	0.004	ND
1,1,1-トリクロロエタン	mg/L	1	0.1	ND
1,1,2-トリクロロエタン	mg/L	0.006	0.0006	ND
トリクロロエチレン	mg/L	0.01	0.003	ND
テトラクロロエチレン	mg/L	0.01	0.001	ND
1,3-ジクロロプロペン	mg/L	0.002	0.0002	ND
ベンゼン	mg/L	0.01	0.001	ND
チオラム	mg/L	0.006	0.0006	ND
シマジン	mg/L	0.003	0.0003	ND
チオベンカルブ	mg/L	0.02	0.002	ND
セレン	mg/L	0.01	0.001	ND
ふっ素	mg/L	0.8	0.08	ND
ほう素	mg/L	1	0.1	ND

ND:測定下限値未満

4. 平成 23 年度試験施工の状況

(1) 昨年度試験施工における確認事項等⁴⁾

昨年度の試験施工は平成 23 年 8 月に宜野座村の沈砂池で実施した。なお、工事自体が攪拌用の機器に泥土と改良剤を入れるだけで単純なので、具体的な工程・方法等については、対象とする沈砂池や機械の構造・規模、スペース等の条件により、現場ごとに工夫の余地がある。

土砂と固化剤の混合・攪拌については、地元業者が容易に調達でき、攪拌力が強く 1 回当たりの改良土量を多く出来るコンクリートミキサーを採用した(試験時は 1 回約 130kg を改良→1.3 t/時/台)。

攪拌時間については、簡易強度試験の結果、およそ 4 分程度が適していると考えられた。

また、改良土について、濁水の浸出がなく赤土対策等が不要で仮置き出来ること、ダンプに積込が可能であること、現場から離れた場所に運搬しても振動等で液状化しないこと等が確認出来た。

なお、本試験施工は、地元の土木建築業者に委託して実施したが、実施者の感想としても「このような簡単な工事であれば自分達でも問題なく出来る」とのことであった。また、作業員として参加した兼業農家(サトウキビ)に聞いたところ、「元のドロドロの状態のものは嫌だが、このように改良されたものであれば入れても良い」とのことであった。



図 3 試験施工の実施状況

(2) 改良土の還元・利用について

コマツナの栽培試験において、試験施工による改良土を用いた場合の生育が最も良好な傾向になったことを平成 23 年度に報告したが、山東菜とラディッシュについても実施したところ、図 4 に示すとおり改良土と畑土を 1:1 混合したものが最も生育が良かった。このことは改良土が実際に圃場土を入れ替えるほど発生するものではないことを考えると圃場に還元する上で有利な結果と考えられる。

また、改良土を宜野座村の緑化苗の栽培施設で苗床の土として試験利用して頂いたが(サンザンカ、フクギ)、担当の方のお話では、図 5 に示すように、他の培養土に比べて特に遜色なく、むしろ初期生育は良いとのことであった。

ただし、昨年度も報告したとおり、改良直後については、固化剤に含まれる有機物等を食べて作物の生育(根)に悪影響を及ぼす土壌菌が一時的に増殖する可能性も考えられることから、実際に圃場等に還元する際には、緑肥(未分解の有機物)の施用時と同様に 1 カ月程度以上を目安に、仮置きしてから還元する又は養生してから作付することが望ましい。

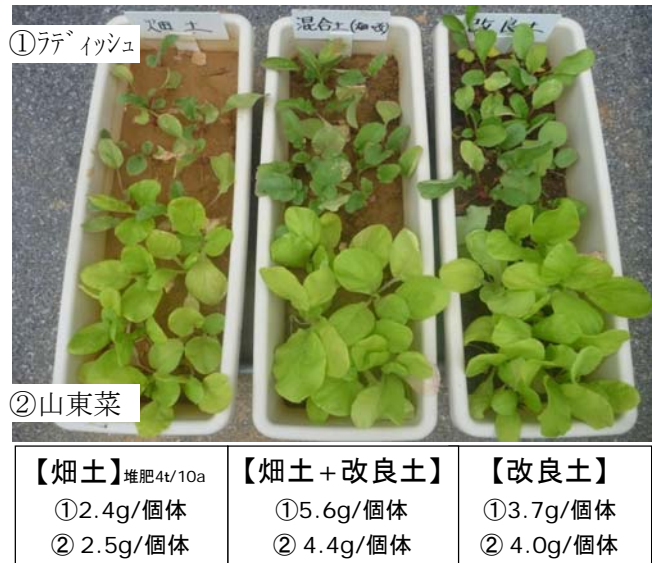


図 4 簡易栽培試験状況(平成 23 年 10 月)



図 5 緑化苗床としての利用状況(枠内)

注：培養土として、他の土と同条件で調整後に利用。

5. 平成 24 年度試験施工の状況

(1) バックホウ攪拌に係る試験施工

前項に示したとおり、平成 23 年度は改良剤と泥土の混合・攪拌にコンクリートミキサーを用いた。これは、少量 (0.5%) の改良剤を大量の泥土に効率よく混ぜること、また、攪拌中に泥土が改良されて強度が増してくるため、攪拌能力が高い機器を利用する必要があると考えたためである。その結果は前項に示したとおり、良好な改良結果が得られたが、一方で、改良する土量が 0.13m³/回と少量であることから、特に中規模以上の工事に適用しようとする場合、工事の効率性に課題が残った。

したがって、平成 24 年度に汎用機械であるバックホウによる攪拌の可能性について、試験施工を実施した。試験施工は、本部町の土捨場に攪拌用のピットを設け、そこに隣接する沈砂池の浚渫土を投入し、小型バックホウ (バケット幅 60 cm) を用いて実施した。なお、含水比は簡易測定法で推定した。

試験条件は、表 2 に示す 3 通りとし、バケットとピットの幅などを変えて実施した。その結果、改良時間はコンクリートミキサーよりも長く 15 分程度を要したものの、いずれの場合も運搬等に十分な強度 (昨年度の 0.02kN・cm² 以上) を得られることが確認出来た。

改良剤の攪拌効率はバケットとピットの幅の比率 (b/B) が大きい方が良く当初予想していたが、実際はピットが狭いとバケットの操作が難しく、混ざりきらなかった改良剤 (ダマ) が多く見られた。したがって、後述する実際の工事実績時の状況も踏まえると、現時点では b/B≒0.54 (b 1.0m/B1.85m) 程度が妥当と考えている。また、改良剤は時間をかけて投入した方が、ダマが少なくなると考えられた。

これらの結果を基に、バックホウ攪拌による改良の目安を図 7 に示す通り作成した (3.0m³/回)。なお、ピットの設置方法は、現場状況に合わせ、沈砂池脇に掘り込む、既製枠を沈砂池内に設置するなど工夫の余地がある。

改良剤の投入方法は、現時点では人力としているが、簡易な専用投入機器の利用により、ダマを少なくできる可能性が試験 3 のケースで確認出来たため、今後、開発予定である。

なお、今年度 7 月に、対象土 8m³ 弱の少量ではあるが、公共工事においてバックホウ攪拌の利用実績が得られている (本島中部)。この時は、降雨により現場 (沈砂池改修箇所) で発生・滞留して工事の障害になる泥土 (含水比 72%) をピットに排除し、法面成形用の幅の広いバケット (140 cm) を用いてピット容量を増し、約 4m³/回での改良がなされた。現場におけるこのような工夫により、1 回当たりの処理量を増やすなど更なる効率化を図ることが期待される。

表 2 平成 24 年度試験施工概要 (バックホウ攪拌)

試験内容	使用ピット	対象土量 (m ³)	含水比 (簡易測定)	改良時間	ベーンせん断試験 (kN・cm ²) ※平均		簡易スランプ試験 (cm) ※H13cm		備考
					改良前	改良後	改良前	改良後	
試験1	A	0.71	50%	13分 (投入3分)	0.068	0.489	-9.5	0.0	ダマが多い
試験2	B	0.93	50%	15分 (投入10分)	0.078	0.486	-9.3	0.0	ダマ少ない
試験3	A	0.20	55%	14分 (投入5分)	計測不能	0.330	-11.0	-0.5	ダマはほとんどない

注1: ピットの大きさ (B:ピットの幅、L:ピットの長さ、b:バケット幅(60cm))

A B=90cm、L=250cm (b/B=0.67)
B B=130cm、L=250cm (b/B=0.46)

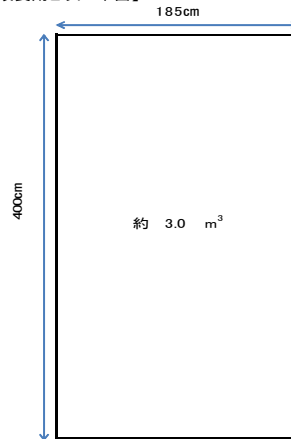
注2: 含水比は、現地用に新たに開発した簡易フロー試験(下記)にて、推定した。
※泥土200mlをビニールシートに垂らした際の広がり、含水比を測定する手法(新規開発中)。

注3: 試験3の改良剤投入は、試作した専用の投入装置(開発途中)にて実施した。

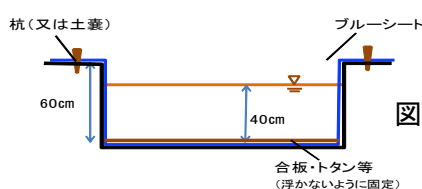


図 6 平成 24 年度試験施工状況 (H24. 8. 8)

【改良用ピット：平面】



【改良用ピット：断面】



使用機械
バックホウ(山積0.8)
※バケット幅100cm

改良剤投入
作業員1名(専属)

改良土量=3.0m³/回

改良時間=30分/回

投入 = 10分

攪拌 = 15分

搬出 = 05分

日作業時間 = 7時間

日改良土量 = 42 m³

改良剤投入量は、含水比を考慮し乾燥重量の 0.5% とする。

図 7 堆積泥土の標準的改良方法 (案)

6. 改良工事に係るコスト

以上の内容を踏まえて、改良工事費について再検討した。検討条件・設定は過年度の報告と同様とし、宜野座村の沈砂池をモデルに建設汚泥として処分する場合のコストとの比較を行った。なお、試験施工の結果から攪拌方法は汎用のバックホウ（バケット）による混合に変更した。処分する場合のコストはこれまでと同様とし、安全側の比較とするために、最も近い処分場（5km）で、処分費は沖縄本島北部内で最も安い受け入れ費用（11,111円/t）を想定した。更に運搬（含水比低減）のため沈砂池脇で仮置することにより処分対象となる土砂量が30%減容すると仮定して行った。

その結果は表3に示すとおりであり、改良コストは最も安く産廃処分できる場合を仮定したケースより十分安く、平成23年度の報告よりも10,300円/m³下がって約14,600円/m³となった。

平成22年度に報告したとおり、処分場の受け入れ費用だけで調査事例平均32,300円/tもしていることや、浚渫時の赤土対策等の工事上の制限等も関係すること、更に汎用重機での改良が可能であることを考えると、実際の比較でも、産廃処分するよりも本改良工の方が有利になるケースがかなり多くなると想定される。

なお、玉城らは仮想市場法（CVM）によりコスト評価した結果、農地からの赤土等流出防止量1t当たりの景観・環境保全効果が249,000円/t/年にもなることを報告しており⁵⁾、浚渫による沈砂池の機能回復に加えて、耕土保全や土づくり、長期的な赤土等の流出防止効果などのメリット等が期待できることを勘案すると、本工法の有用性は十分高いと考えられる。

表3 改良コストと処分費の比較例

単位:円(税抜き)

項目	①イーファップによる改良工(堆積土1m ³ の改良に必要な固化剤4.5kg ^{注1)})	産廃処分場での処分工(処分費:11,111円/t)	
		②ダンプで運搬	③バキューム車で運搬
直接工事費(350m ³ 想定)	3,208,158	5,212,620	8,680,000
濁水対策費(直工費の5%)	-	260,631	-
諸経費(60%)	1,924,895	3,283,951	5,208,000
工事費	5,133,053	8,757,202	13,888,000
改め	5,130,000	8,750,000	13,880,000
1m ³ 当たり	14,600	25,000	39,600
備考	改良土からの浸出水は透明なので、赤土対策済み扱いになる(別途対策工不要)。	仮置きで245m ³ (含水比40%)に減容と仮定。仮置き時には濁水対策必要。	濁水ごと吸引・運搬するので、基本的には濁水対策不要。

注1:泥中の土0.9t/m³(含水比80%)、改良剤投入5kg/t(土)とし、0.9×5=4.5kg/m³とした。

注2:攪拌用のピットは、対象沈砂池の横に掘り込みで設置するものとした。

注3:各費用は、適用箇所、対象土の性状や社会経済環境の状況により変動する。

6. おわりに

沈砂池の管理が、今後の農地における赤土等流出防止のための大きな課題の一つであるとの観点に基づき、沈砂池堆積土砂の圃場還元を念頭に、農地全体の赤土流出防止と土づくりにも貢献できる堆積土砂の改良方法について研究開発を実施してきた。

本年度は、過年度の成果を更に進展させ、汎用バックホウで改良可能なこと、それにより更なる低コスト化が可能であることを確認した。本改良工については、これまでに試験施工に関わった地元工事業者や農家からも好感触を得ており、小規模ながら公共工事での利用実績も得られていることから、地域での実用化の段階までできたのではと考えている。今後は、より効率的な沈砂池維持管理工の普及に向け、簡易含水比測定方法や改良剤散布方法の開発等を実施して行きたいと考えている。

最後に、本開発に関して、関連情報の提供や試験施工等にご協力を頂いた関係者のみなさまに深く感謝申し上げます。

(参考文献)

- 伊良波直人・富坂峰人・野原博豪：現地観測に基づく赤土等流出防止対策効果の検証、農業農村工学会誌、第76巻5号、p54-55、2008
- 渡嘉敷義治：沖縄島北部における造成圃場の土壌化学性と人工土壌による改良対策、圃場と土壌、No. 33(7)、p22-26、2001
- 富坂峰人・下村幸男・野原博豪・今村史子・森原百合・藤田康卿：新たな固化剤を用いた沈砂池堆積土砂の再利用技術の開発について、平成22年度赤土等流出防止交流集会事例集、沖縄県環境生活部、2010
- 富坂峰人・下村幸男・野原博豪・城野裕介・今村史子・森原百合：新たな固化剤を用いた沈砂池堆積土砂の再利用技術の開発について(2)、平成23年度赤土等流出防止交流集会事例集、沖縄県環境生活部、2011
- 玉城達也・崎山春樹・安藤嘉章・村田基次・俵正国：赤土等流出防止対策の景観・環境保全効果について、第89回農業農村工学会九州支部講演会講概集、p252-255、2008