

PS灰改良材の課題と環境負荷低減をめざした新たな適用技術について

望月美登志¹・藤岡 晃¹・斎藤悦郎²

¹正会員 工修 株式会社フジタ 建設本部 (〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷4-25-2)

²正会員 工博 株式会社フジタ 建設本部 (〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷4-25-2)

筆者らは、製紙業界においてその処分の問題が深刻化しつつある PS 灰を適切に処理することで従来のセメント系固化材料とは異なる新たな泥土改良材を開発した。本材料は、PS 灰の高吸水性に着目した物理的吸水原理の改良材であるため、改良時の養生期間が不要で化学的な問題もなく周辺環境にやさしいという特徴を有し、これまで数多くの施工実績をあげてきた。しかしながら、急激な需要の増加から適用工事対象の多様化が進み、種々の施工条件に合致した改良材および施工方法の開発が急務となってきている。

本論文では、PS 灰が有する環境浄化機能を生かした新しい活用方法（消臭、有害物溶出抑制、分別対応等）や改良機能を向上させて表層改良に適用させたケースなど新たな事例について報告するものである。

キーワード：PS灰, 建設発生土, 廃棄物, リサイクル, 地盤改良, 泥土, 環境浄化, 消臭, 分別

1. はじめに

製紙製造過程において廃棄物となる製紙スラッジ（PS）の焼却灰を加工処理することで、高吸水性を原理とする環境にやさしい泥土改良材とこれを用いた改良工法を開発した^{1)~15)}。既報⁶⁾においては、本工法の基本的改質機能を中心に報告したが、ここでは、特に配合設計、環境改善機能、新しい活用方法などについて紹介する。

2. 開発の背景

図-1 に示すとおり本開発業務において構築したシステムは、単一の産業内では解決の難しい産廃問題に対して、異なる産業界での協力体制を整備することで地球環境問題まで踏まえた産業間のゼロエミッション化を推し進めるものであり、環境負荷低減を目指した循環型社会構築への貢献度、社会的意義及び使命は非常に大きい。特に近年における社会的ニーズの特徴としては、生態親和性まで含めた周辺



図-1 リサイクルシステム

環境の改善が強く叫ばれている。

表-1 に全国の特定重要港湾、重要港湾における1990～2004年の15年間の浚渫土の発生状況を示す¹⁶⁾。同表を概観すると、近年浚渫土の発生量は減少し、その一方自然再生のための利用率は増加してきているものの浚渫土の発生量は、年間2,000万m³程度あ

り、自然再生利用率は 20%程度であることがわかる。「建設発生土は貴重な資源である」という理念とは裏腹に、浚渫泥土の有効利用は制限されており、都市圏を中心に浚渫土や建設発生土、建設汚泥の処理が最終処分場の逼迫と相まって、大きな問題となっている。それ故、浚渫された泥土を環境に配慮しながら安価で、第2種～第3種建設発生土に改質処理することができれば、その利用用途は大きく広がることになる。図-2 に PS 灰の有効利用用途としてセメント原料と土木材料の割合を示している¹⁷⁾。同図より近年、PS 灰の利用用途としてセメント原料に変わり、土木材料用途が急激に増加していることがわかる。こうした背景より、浚渫された底泥を安全かつ安価に改質処理して活用可能とする PS 灰を利用した泥土改良工法の社会的需要は、今後一層高まるものと考えている。ただし、図-3 に示すとおり、PS 焼却時に利用する廃棄物の割合¹⁷⁾も増えており、PS 灰利用時の灰の選定に際しては、十分な検討と管理体制が必要である。

3. 泥土改良材の配合設計

製紙製造工程から発生する廃棄物である PS 灰から改良材の原材料となりうるものを厳選し、対象 PS 灰
表-1 特定重要港湾、重要港湾及び開発保全航路の浚渫土発生量と自然再生のための利用量（単位：万 m³）

1990-2004年		処分量			
年	全体発生量	自然再生	(干潟・覆砂)	(養浜)	処分割合
1990	2238.0	241.7	19.7	222.0	0.11
1991	2670.4	253.9	11.9	242.0	0.10
1992	2280.2	248.7	24.7	224.0	0.11
1993	2460.2	220.1	149.1	71.0	0.09
1994	2049.2	286.4	224.2	62.2	0.14
1995	2760.5	91.9	69.9	22.0	0.03
1996	2595.4	240.8	123	117.8	0.09
1997	2346.8	248.2	180.1	68.1	0.11
1998	3976.9	299.4	227	72.4	0.08
1999	3280.4	415.8	382.5	33.3	0.13
2000	4191.7	174.6	169.8	4.8	0.04
2001	2925.3	159.6	145.3	14.3	0.05
2002	2665.7	325.6	289.5	36.1	0.12
2003	1974.9	440.7	377.6	63.1	0.22
2004	1994.5	350.9	311.7	39.2	0.18
合計	40410.1	3998.3	2706.0	1292.3	0.10
平均	2694.0				

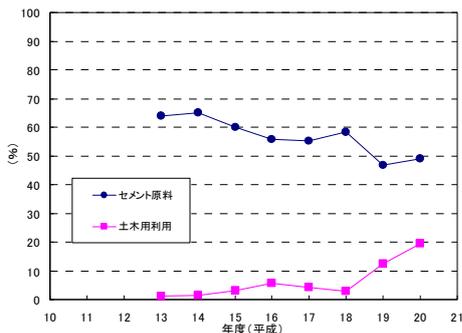
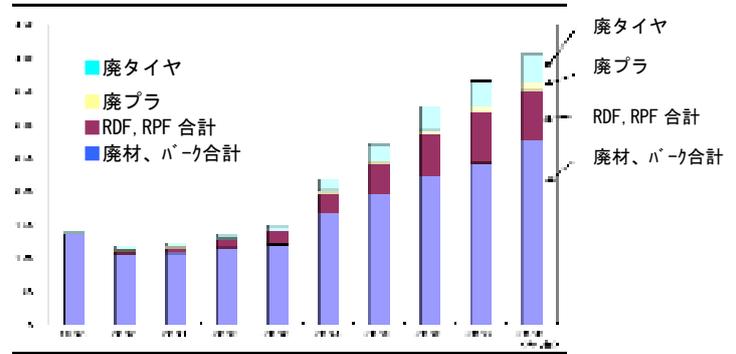


図-2 PS 灰の有効利用用途



1 図-3 他産業廃棄物の再資源化量及び燃料利用量の推移

の性状や排出状況を考慮して適切な加工処理と品質管理を行うことで土壌環境基準を満たし、安定した品質性能を保證できる泥土改良材にしたものがPS灰改良材である。製品化した泥土改良材は、細砂レベルの粒度分布で粒子内に存在する無数の微細孔から高吸水機能を發揮する。尚、PS灰改良材の基本的性能については、既報⁹⁾において詳細に記述しているので参照していただきたい。

建設工事で発生する土を利用する場合、コーン指数によって設定された発生土区分が改良基準となることから締固めた土のコーン貫入試験（JIS A 1228）によって改良材の配合試験を実施し、本材料の改良特性と配合設計方法について検討を行った。通常の泥土改良方法では、配合試験を行なう場合、1週間程度の養生期間が必要となるが、本材料では瞬時に改良ができるため、供試体作製直後にコーン貫入試験を行っている。本改良方法について合理的な配合設計を確立するため、現場より採取した188種類の泥土試料について実施した配合試験の結果を+に整理した。ここでは、泥土の余剰水を、液・固の限界を示す液性限界 w_L を上回る水分と考え、 $(w-w_L)$ と $qc=200\text{KN/m}^2$ の第4種発生土への改良に必要な添加率 η の関係で整理している。添加率 η は、 $\eta=M_m/M_s$ （ M_m ：改良材の添加量 M_s ：泥土の乾燥重量）で定義されている。尚、液性限界の求められないNP（non-plastic）の泥土については、 $w_L=0$ と仮定して含水比 w をそのまま余剰水分として使用している。これらの結果から所定改良強度 $qc=200\text{kPa}$ を満たすのに必要な添加率 η の推定式を（1）式で表現した。

$$\eta = a \{ (w-w_L) + 37.8 \log I_p - 33.5 \} \quad (1)$$

本改良においては、改良材の吸水性能分以上は余剰水を吸水できないため、底質のような高含水比の泥土に対しては、改良時の必要添加量も増加する。そのため、高含水泥土についても対応できるように吸水性能や改良効果を改善（定数 a の小さい吸水性能の高い製品の生産）したり、不十分な貧配合添加の処理土を改質後に圧密脱水させるといった方法³⁾な

ども検討している。図-5は、含水比200%の高含水泥土の場合の圧密による添加量削減効果をシュミレーションしたものである。圧密速度もPS灰改良材改良によって改善される。また、施工性を考慮して図-6に示すような真空脱水を利用した方法なども検討している。

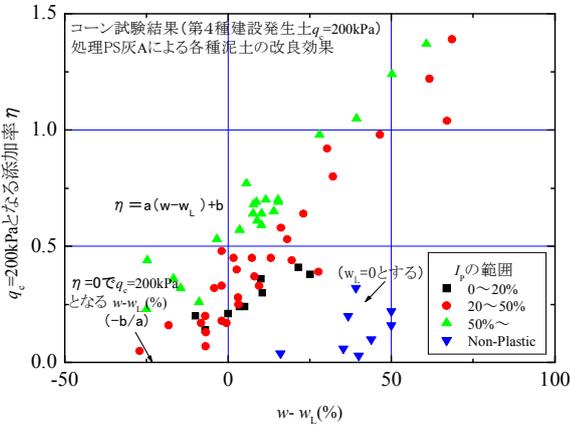


図-4 ($w - w_L$) と $q_c = 200\text{kPa}$ を満たす添加率 η の関係

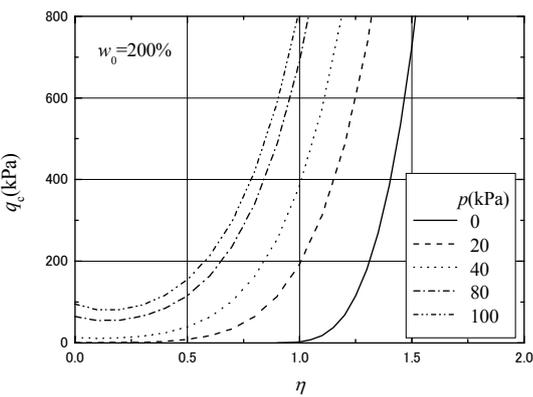


図-5 圧密の効果

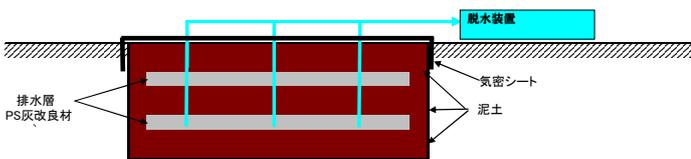


図-6 脱水工法のイメージ

4. 泥土改良材の改良効果と改良土の土構造への適用性

(1) PS灰改良材による改良効果

PS灰改良材による泥土改良の原理は、高含水泥土の余剰水分を吸水して含水比を低下させるものだが、吸水材であるPS灰改良材自体が細砂状であるため、粘土分の卓越する原泥の粒度を調整して堤防等の土構造物材料として使用しやすく改善できる点

も大きな特徴である。図-7に粘土分の卓越した河川浚渫泥土（A川下流）に対して改良を行った際の粒度分布改善状況を示している。まず高規格堤防材料では問題なく利用できる事、底泥の粒度が判明すれば、一般堤防の基準 ($F_c = 15 \sim 50\%$) に適合可能となる配合量は事前に計算可能となる事、またコーン強度指標から求めたPS灰改良材の配合だけでは基準を満足できない場合でも原泥の F_c （ここでは85%）が若干下がるか、別途わずかな粒度調整を行えば容易に基準に収めることができるレベルである事がわかる。含水比の高い泥土では、泥 1m^3 あたり同じ配合量でも土粒子の乾燥質量 M_s が小さくなり、添加率 η ($\eta = M_m / M_s$, M_m : 改良材の添加質量) が大きくなるので粒度改善効果は大きくなる。PS灰改良材による強度改善効果は、セメント系固化材や石灰系固化材のような化学的固化ではない。強度を持たず、締固めることもできない液性限界を大きく上回る超高含水比の泥土の余剰水分を吸水し、粒度調整することで改良土を締固められる状態にして強度が発揮できるようにするものである。三軸圧縮試験によって求めた種々の泥土に対する添加率 η と強度定数 c_{cu} , ϕ_{cu} の関係を図-8及び図-9に示す。PS灰改良材自身は、 ϕ の高い ϕ 材であるが、PS灰改良材の添加率 η を上げると強度定数 c_{cu} は増加し、 ϕ_{cu} はある範囲内に収まるという傾向が認められた。

PS灰改良材による強度改善効果を用いて河川堤防の築堤材にPS灰改良材によって改良した土を用いる場合の安定計算（ビショップ法）を行った¹¹⁾。図-10に築堤概要、表-2に盛土材ならび各層の強度定数、三軸試験結果から定式化した添加率 η と強度定数 c , ϕ の関係（添加率 η と強度定数 c , ϕ の関係： $c = 36.5 \eta$, ϕ : const）を用いて盛土の安定に必要な添加率 η を調べた結果を図-11に示す。本結果より強度定数 c に改善効果を有するPS灰改良材は、盛土の安定性について有効であることが確認できた。

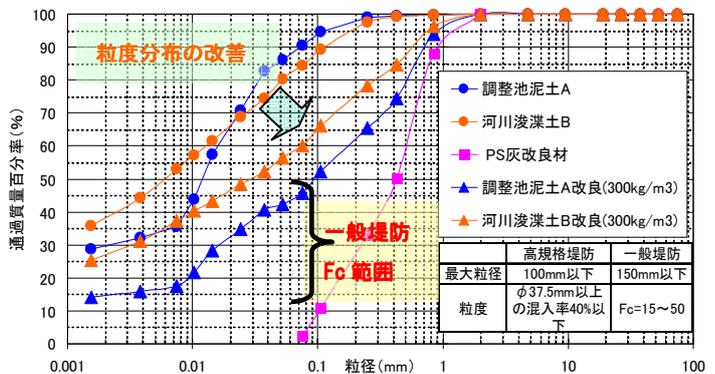


図-7 PS灰改良材処理における泥土の粒度調整効果

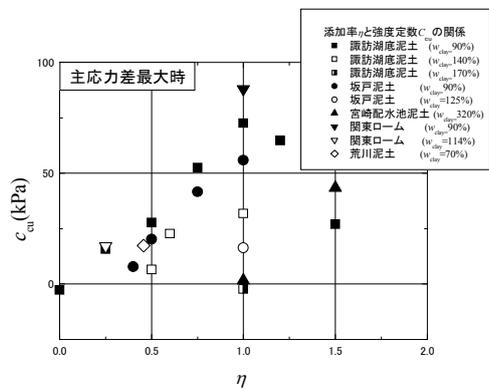


図-8 添加率ηと強度特性 c_{cu} の関係

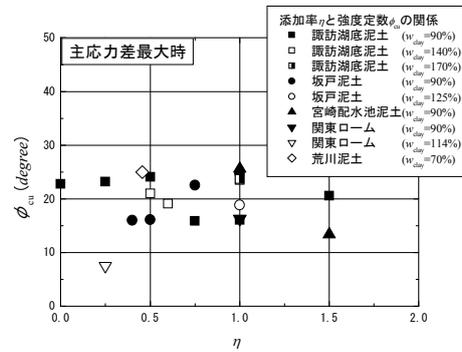


図-9 添加率ηと強度特性 ϕ_{cu} の関係

表-2 計算条件

Soil layer	Depth (m)	γ_{total} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	ϕ (degree)	c_u (kN/m ²)
T _s	0.0 ~ 6.5	16.82	16.98	25	17.3
T _c	-1.0 ~ 0.0	-	14.90	0	7.7
Y _{us}	-8.0 ~ -1.0	-	18.50	31	0
Ylc-1	-15.0 ~ -8.0	-	17.40	0	27.53
Ylc-2	-20.0 ~ -15.0	-	16.70	0	43.65

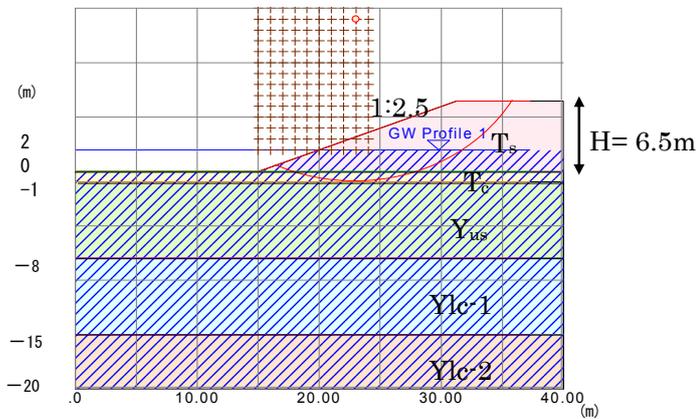


図-10 河川堤防の概要

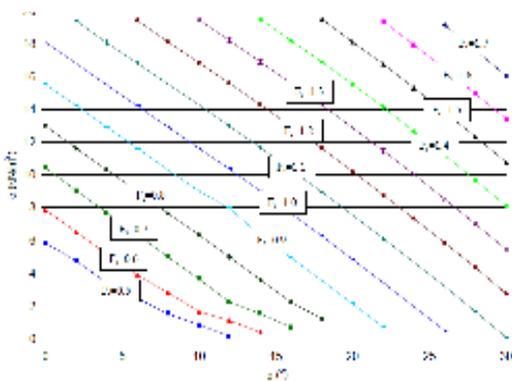


図-11 安定計算の結果

(2) 盛土の長期耐久について

PS灰改良材改質土で構築した盛土の長期安定性を確認するため、河川浚渫土の改質工事において構築した盛土の一部を長期耐久性確認用モニタリング盛土とし、施工後1年半後の盛土の調査を実施した。写真-1は、1年半後の盛土状況であり、堤内の植物が増えていることがわかる。図-12に示す箇所で現地コーンを実施した。またNO5地点では、盛土内部の状況も確認した。盛土は、 $q_c=800\text{KN/m}^2$ を基準に構築している。表-3、4の結果から現地のコーン強度は、管理基準値を下回っておらず、長期耐久性を有していることが確認された。



写真-1 1年半経過した盛土状況

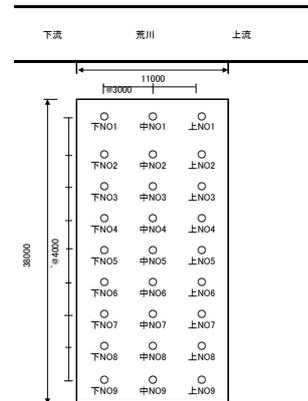


図-12 現地コーン試験実施場所

表-3 現地コーン試験結果

番号	コーン指数 (KN/m ²)		
	下流側	中	上流側
NO1	測定不能	測定不能	測定不能
NO2	測定不能	測定不能	測定不能
NO3	測定不能	測定不能	測定不能
NO4	測定不能	測定不能	1988
NO5	1668	測定不能	2321
NO6	測定不能	測定不能	測定不能
NO7	測定不能	1710	1765
NO8	測定不能	測定不能	測定不能
NO9	測定不能	測定不能	測定不能

表-4 盛土内部状況

測定項目	NO5 深度 (m)			
	-0.5	-1.0	-1.25	-1.5
コーン指数 (KN/m ²)	測定不能	測定不能	測定不能	-
ρ_t (t/m ³)	1.625	1.651	-	1.647
w (%)	42.8	44.8	-	45.6
ρ_d (t/m ³)	1.138	1.138	-	1.134

5. 環境改善効果について

PS灰改良材によって処理した土は、泥土自身が強アルカリでない限り中性域にあり、適度な吸水、吸着ならびに保水性を有するよう改善されることなどから種々の環境評価試験において環境改善効果が認められている^{5), 7), 8), 9), 10), 12), 14)}。ここでは特に有害物の不溶化、汚泥の消臭、植生基盤への適用についてその改良効果をまとめる。

(1) 有害物の不溶化

PS灰を製品化処理する際の溶出抑制技術を発展させ、現在は、フッ素、ヒ素、鉛など自然由来汚染土の改良などの展開¹²⁾も図っている。汚染の可能性の高い物質として鉛、カドミウム、ヒ素、水銀の4項目に塩化、ナトリウム、リンを加えた各種有害物質の模擬汚染水を準備して、改良材製品による汚染水からの有害物吸着抑制試験を実施した。試験方法の詳細は、参考文献⁵⁾を参照していただきたい。有害物質の吸着効果についてまとめた結果が表-5に示すとおりである。製品化した改良材は、活性炭と同様に模擬汚染水中の鉛、カドミウム、水銀を吸着除去する効果が確認された。また、模擬汚染水では改良効果の認められなかったヒ素についても、表-6に示す自然由来汚染土については、溶出抑制効果が確認されており(図-13)、さらに抑制機能を改善したタイプも開発して実施工においても適用している。

表-5 模擬汚染水での吸着試験結果

検体 項目	模擬汚染水 (添加前)	模擬汚染水 PS灰改良材 添加後	模擬汚染水 活性炭添加後	模擬汚染水 土壌添加後	定量下限値	
	pH	4.8	9.9	9.9	7.1	-
EC	17500	17500	17700	17300	-	μs/cm
鉛	0.069	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	mg/L
カドミウム	0.071	<0.001	<0.001	0.013	0.001	mg/L
ヒ素	0.092	0.10	0.13	0.072	0.001	mg/L
水銀	0.0047	<0.0005	<0.0005	0.0016	0.0005	mg/L
ナトリウム	3900	3700	3800	3800	1	mg/L
塩素	6200	6000	6200	6000	1	mg/L
リン	6.0	1.7	9.4	3.1	0.01	mg/L

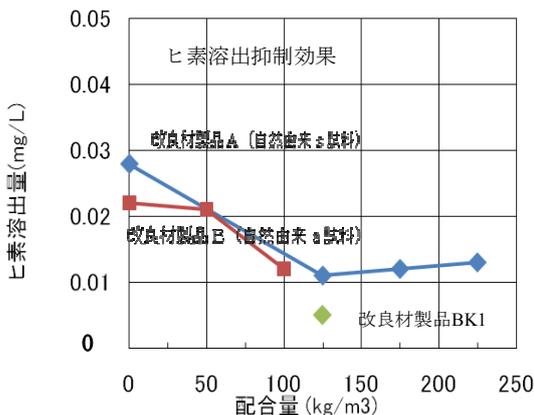


図-13 溶出抑制効果

表-6 自然由来汚染試料の性状

項目	測定結果	
	a試料	s試料
Cd	<0.001	<0.001
Pb	0.004	0.001
Cr	<0.005	<0.005
As	0.022	0.028
Se	0.002	<0.001
B	0.55	<0.1
F	1.09	<0.08
pH	8.39	5.28

(2) 消臭効果について

底質改良の際に課題となる環境問題として臭気対策が挙げられる。特に泥土自体の硫化水素臭やセメント、石灰系固化材で改良した際に発生するアンモニア臭が問題となる。消臭対策としてのPS灰改良材の利用法については、これまでも報告^{7), 10), 14)}しているが、適用実施物件も増えてきており、今回は、悪臭発生のメカニズムについてもまとめてみた。表-7は、臭気が問題となる3漁港の底泥に対して実施した三点比較式におい袋法の試験結果である。本結果より、A漁港底泥は、下水臭、B漁港底泥には強烈な腐敗臭、C漁港底泥は、わずかなアミン臭があること、PS灰改良材で改良することによってすべて臭気が改善されることが確認できた。特に強烈な腐敗臭を有するB漁港底泥では、臭気濃度は1/1000以下に減少した。泥土が有する臭気濃度が高いほどPS灰改良材の臭気抑制効果は、大きくなるようである。漁港底泥で実施した数々の臭気試験結果について、pHをパラメータにとって整理してみると図-14に示すようアンモニア濃度や硫化水素濃度はpHと強い相関性があることが判明した。対象泥土によって若干の数値の差は認められるが、他の泥土についても同様な傾向が得られている。当該底泥において臭気発生を抑える最適pHの範囲は、8.5~9.5にあり、中性領域での泥土改質が特徴であるPS灰改良材の消臭効果を裏付ける結果となった。また、このほかにも実施している臭気試験をまとめた結果、貧配合の添加条件(50~100kg/m³)でも十分な消臭効果が発揮されることが判明した。一般的にPS灰改良材は、力学的改良効果を主目的に用いられるが、臭気対策であれば、非常に安価な対応が図れる。尚、PS灰改良材の消臭効果に関する詳細検討事項については、参考文献^{7), 10), 14)}を参照してほしい。

表-7 三点比較式におい袋法による消臭効果

試料名	項目	原泥	改良土
漁港A底泥	臭質	下水臭	際立ったにおいなし
	臭気濃度	98	12
漁港B底泥	臭質	腐敗臭	アミン臭
	臭気濃度	55000	41
漁港C底泥	臭質	アミン臭	際立ったにおいなし
	臭気濃度	17	<15
漁港C底泥	臭気濃度	17	<15
	臭気指数	12	<12

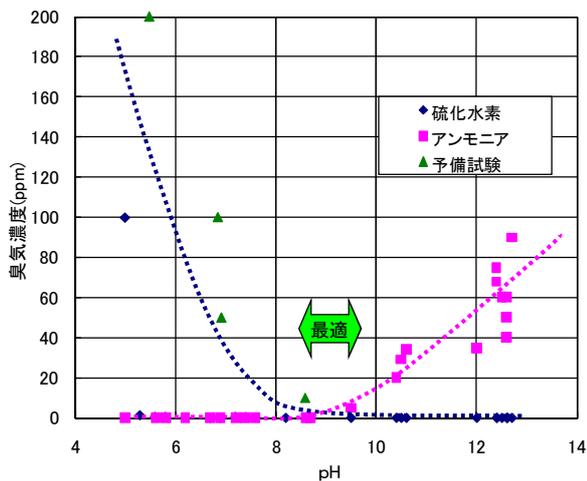


図-14 硫化水素、アンモニア濃度とpHの関係

(3) ヨシの植生基盤への適用

生態親和性といったような環境浄化機能を有する適用例としてヨシの植生基盤造成への利用があげられる。図-15にヨシの植生基盤のイメージ図を示す。図-16,表-8にヨシの植生基盤に利用するために実施した試験施工の概要を示す。本試験施工より

- ① 栄養塩の溶出を抑制できる。
 - ② ヨシの生育が川砂等を使用する在来工法と比較して促進される。
 - ③ 川砂等を使用する在来工法よりよく締まるため圧密沈下等の地形変化が起らない。
 - ④ 水質や水生生物への悪影響がない。
- という結果が得られた。

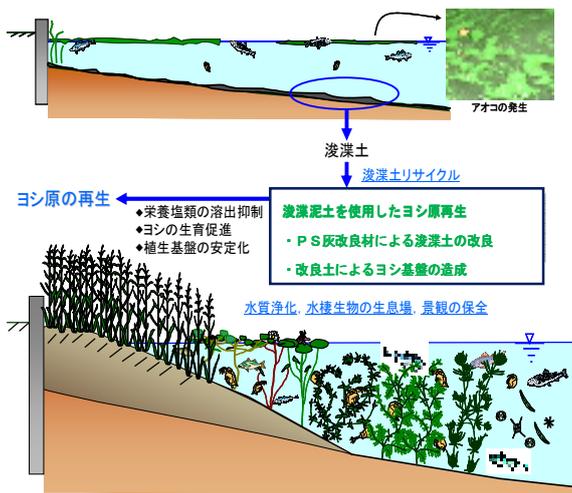


図-15 ヨシ植生造成基盤活用のイメージ

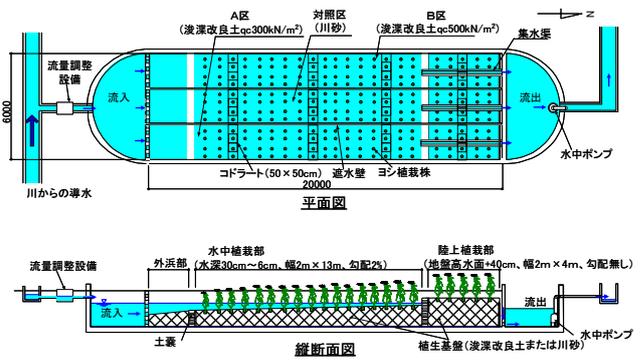


図-16 ヨシ植生試験施工概要

表-8 ヨシ植生試験施工概要

No	実験目的	主な調査項目	評価の考え方
1	改良土によるヨシ植生基盤が湖水に及ぼす影響の検証	溶出速度(室内カラム溶出試験、現場溶出試験)、土壌中の窒素・リン含有量の変化	ヨシ植生基盤からの溶出速度の比較
2	改良土によるヨシ植生基盤のヨシ生育に関する有効性の検証	ヨシの生育状況(草高、茎個体数密度、乾燥重量)	ヨシ地上部および地下部の生育状況、および植生基盤土壌等の環境因子に対する寄与率等を解析
3	改良土によるヨシ植生基盤の安定性の検証	地盤高の経時的な変化量	地形変化量の比較
4	ヨシ以外の生物に及ぼす影響の検証	動物プランクトン、メイオセントス、沈水植物、陸域の出現生物	在来工法と比較して、著しくヨシ以外の生物の生息に悪影響がないこと(種数、個体数密度等)

6. 適用実績と今後の展開

(1) 環境浄化を考慮した底泥改良事例

まず臭気の強い漁港底泥の臭気対策および改質泥土の有効活用事例としてA漁港でのPS灰改良材による底泥改質処理,および改質土の盛土活用の状況を写真-2に示す。植生基盤の実績として旧芝川の再生事業(写真-3)や蓮池の基盤(写真-4),稲作の耕土(写真-5)の適用事例を示す。稲作耕土に利用したケースでは,収穫した米の分析も実施し,食品として問題ないことを確認している。

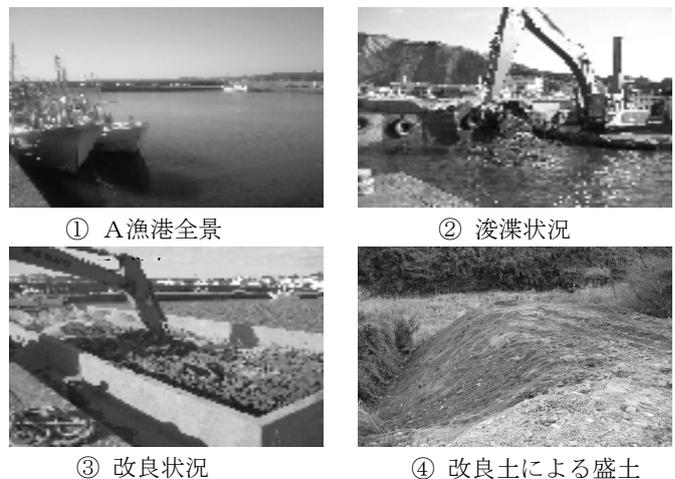


写真-2 漁港での改良工事の施工状況



写真-3 河川再生の適用例



写真-4 蓮池の基盤



写真-5 稲作耕土への適用

(2) 泥土改良以外の活用例

現在、開発材料の新たな利用展開先として①一般廃棄物処理場での再資源ごみの分別（写真-6）、②木質混合土（伐根・伐採時の表土）の選別などが検討されている（写真-7）。①は、水分を含んだ一般廃棄物土砂から再資源化ごみを分別し、一般廃棄物処理場の延命化を図るものであり、②は含水比の高い木質混入残土から木くずを分別し、土砂は法面緑化吹付材、木くずは有機肥料などに活用するもので①、②とも改良材が土砂の水分を吸収して分別を容易にする原理となっている。再利用時の状況を考慮すると化学的原理でない本改良材の適用は安全かつ有効な方法と考えられる。特に本適用分野は、東日本大震災の復旧対策として、消臭機能を有する瓦礫、木くずの分別に活用が図れる技術と考えている（図-17）。



写真-6 再資源ごみの分別



写真-7 木質混合土の選別

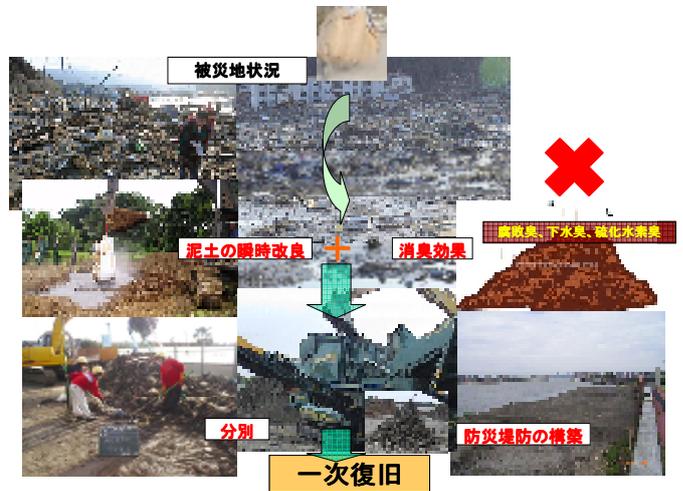


図-17 改良材の震災復旧への活用案

(3) 今後の利用展開

これまでのPS灰改良材の課題は、改良対象泥土が高含水比になると所定強度を得るための必要配合量が増えてコストが高くなる点であった。現在、吸水性能や改良効果を改善したタイプを開発し、高含水の泥土に対しても経済的コストで対応可能となるよう試行している。具体的な適用案件としては、処分場泥土の表層処理や改質した処分場泥土の高上げ盛土への

有効活用を検討している。写真-8は、海洋処分場内で実施した表層改良の試験施工状況である。図-18に示すとおり、PS灰改良材で改質した泥土の嵩上げ盛土への有効活用には、処分場の延命化が背景となっている。河川浚渫土の改良で得られた知見を元に効率的かつ経済的な盛土の構築が可能となるよう調査検討を行っているところである。



①スタビライザーによる混合



②改良状況

写真-8 海洋処分場での表層改良例

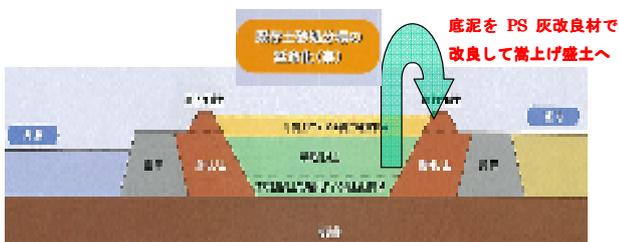


図-18 処分場での嵩上げ盛土活用

7. おわりに

本報告では、PS灰改良材の設計および改良土の活用方法、環境浄化機能を生かした新しい活用方法（消臭、有害物溶出抑制、分別対応等）など新たな事例について報告した。現在、震災復旧等の大規模工事にも対応できるよう新たに生産拠点を拡大したところであるが、需要状況を把握しながら貯蔵施設の拡大、輸送システムの充実についても検討を行っている。

参考文献

1) Y. Mochizuki et al, SOIL IMPROVEMENT DUE TO MIXING WITH PAPER SLUDGE ASH, 1st International Conference on Sustainable Construction Waste

Management, 2004

2) 望月・今井他：製紙スラッジ焼却灰を基材にした泥土改良工法の開発と適用事例 基礎工 Vol. 34 NO. 2 pp64-69 2006

3) 川口・斉藤・望月・吉野・谷：圧密を考慮したPS改良材を用いた高含水泥土の改良効果, 第41回地盤工学研究発表会, 2006

4) 山口・望月・谷・大向：PS灰改良材により改良された泥土の力学的特性の解明 第42回地盤工学研究発表会, 2007

5) 望月・斉藤・竹田・小方：再焼成PS灰による泥土の改質浄化機能, 第36回地盤工学会研究発表会, 2001

6) 吉野・斉藤・望月・石田・小野・小方：製紙スラッジ焼却灰を用いた泥土改良材の開発と適用 土木学会建設技術シンポジウム, 2004

7) 望月・斉藤・吉野・藤原・土開：PS灰を用いた泥土改良の課題とその検討 第42回地盤工学研究発表会, 2007

8) 望月・斉藤・吉野：PS灰を用いた泥土改良材によるヒ素の溶出抑制効果 第43回地盤工学研究発表会, 2008

9) 望月：ペーパースラッジ灰を基材としたリサイクル改良材による高含水泥土の改良雑誌 未来材料 Vol. 18. NO4, 2006

10) 望月・斉藤：環境負荷低減を目指した泥土改良法と処理土の活用 雑誌 HEDORO NO. 102 2008. 5

11) Kumara, Tani, Mochizuki : STABILITY OF EMBANKMENTS FILLED WITH DREDGED CLAY IMPROVED BY PAPER SLUDGE ASH The 11th International Summer Symposium September 11, 2009, Tokyo, Japan

12) 中村・谷・山内・望月：蛍光X線分析を用いたPS灰のAs吸着材としての適用性評価 第54回地盤工学会シンポジウム, 2009

13) 石崎・斉藤・望月・谷・大向：PS灰改良材により改良された複数の泥土に対する三軸圧縮試験. PS灰改良材により改良された複数の泥土に対する三軸圧縮試験

14) 望月・山内：PS灰改良材による環境に配慮した漁港内底泥の有効活用方法とその検討 第44回地盤工学研究発表会, 2010

15) 望月・斉藤：底質の土質改良について 雑誌 HEDORO NO. 110 2011. 1

16) (財)港湾空間高度化環境研究センター：平成18年度東京湾の水環境改善を目的とした浚渫土砂を有効利用した自然再生とその評価の効率的な遂行方策確立業務報告書, 2007年3月.

17) 日本製紙連合会：製紙連合会「環境に関する自主行動計画（廃棄物対策）」フォローアップ調査結果2008年度（集計データ）