

土 木 研 究 所 資 料

袋詰脱水処理工法による
高含水比ダイオキシン類汚染底質・土壌
封じ込めマニュアル (案)

平成 15 年 7 月

独立行政法人土木研究所
材料地盤研究グループ (土質)

Copyright©(2003) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I

この報告書は、土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

袋詰脱水処理工法による 高含水比ダイオキシン類汚染底質・土壌 封じ込めマニュアル（案）

材料地盤研究グループ（土質）上席研究員 恒岡 伸幸
研究員 森 啓年

要 旨

本マニュアル(案)は、建設工事においてダイオキシン類汚染底質や土壌に遭遇した場合、袋詰脱水処理工法の適用によりそれらを袋内に封じ込め、汚染の拡大を防止する際の参考となるようとりまとめたものである。マニュアル(案)は調査、設計、施工から構成され、各段階の基本的な方針と留意すべき点について記述している。

キーワード：袋詰脱水処理工法、底質、土壌、汚染、ダイオキシン類

まえがき

国民の健康の保護を図ることを目的に「ダイオキシン類対策特別措置法」が平成 11 年 7 月 16 日に告示され、平成 12 年 1 月 15 日から施行されました。それと同時に環境庁からの告示において、大気・水質・土壌のダイオキシン類に関する環境基準が設定され、平成 14 年 7 月には底質の環境基準が設定されました。

ダイオキシン類は微量でも毒性が強いため、高濃度の汚染が発見された場合、社会的に大きな関心を呼びやすく、これまでの香川県豊島における産業廃棄物の不法投棄に由来する汚染や大阪府能勢町・和歌山県橋本市における清掃工場に起因する汚染は、新聞・テレビなどの報道により注目を集めたのは周知のところでは。

そのようなダイオキシン類汚染に対応するため、ダイオキシン類に汚染された高含水比の底質や土壌を封じ込めながら、脱水・減量化する「袋詰脱水処理工法」について土木研究所では研究を行ってきました。袋詰脱水処理工法は、建設発生土の再利用を目的に開発された技術で、ジオテキスタイル製の袋材に高含水比の底質や土壌を充填し、ジオテキスタイル等のろ過効果により土粒子を袋内に留めたまま、脱水させる工法です。本マニュアルは袋詰脱水処理工法をダイオキシン類に汚染された底質や土壌にも適用可能とするため、研究開発を行ってきた成果をとりまとめたものです。

最後に、本マニュアルの編纂にあたり、数多くのご協力を賜った関係者の方々の御支援、御協力に深く感謝するとともに、今後とも本分野の研究がますます進展することを期待します。

土木研究所 材料地盤研究グループ(土質)

上席研究員 恒岡伸幸

研究員 森 啓年

目 次

まえがき

第1章 総 論

1-1 工法概要と特長

1-1-1 目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1-1

1-1-2 袋詰脱水処理工法の概要・・・・・・・・・・・・1-2

1-1-3 袋詰脱水処理工法による封じ込め技術の概要・・・・・・・・1-3

1-1-4 袋詰脱水処理工法による封じ込め技術の特長・・・・・・・・1-4

1-2 適 用

1-2-1 適用対象および適用範囲・・・・・・・・・・・・1-6

1-2-2 袋詰脱水処理土の利用および保管方法・・・・・・・・1-7

1-3 工法適用上の留意点

1-3-1 関連法規・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1-8

1-3-2 その他・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1-9

1-4 用語の定義および解説・・・・・・・・・・・・・・1-10

第2章 調 査

2-1 概 要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2-1

2-2 土質調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2-2

2-3 現地調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2-3

第3章 設 計

3-1 概 要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-1

3-2 準備工・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-2

3-3 掘削工

3-3-1 浚渫工・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-4

3-3-2 陸上掘削工・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-6

3-4 充填工

3-4-1 袋材の選定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-7

3-4-2 袋の大きさの検討・・・・・・・・・・・・・・・・3-10

3-4-3 袋の作製方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-11

3-4-4 凝集剤の選定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-13

3-4-5 袋への充填量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-16

3-4-6 土質特性および土量収支の変化・・・・・・・・3-18

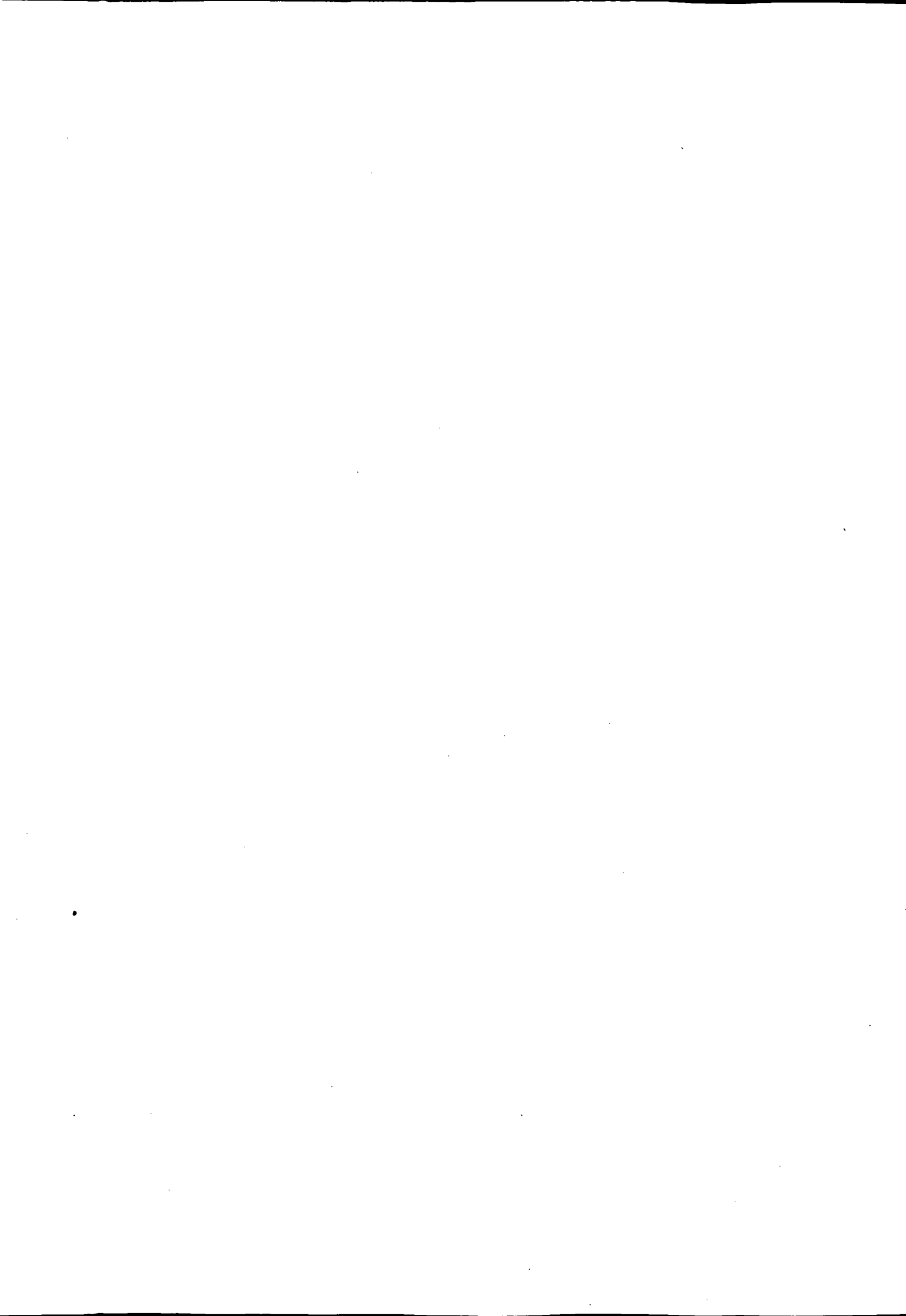
3-4-7	袋に働く引張力の算定	3-20
3-5	排水処理工	3-24
3-6	保管工	3-25

第4章 施 工

4-1	概要	4-1
4-2	準備工	
4-2-1	準備工および汚染拡大防止対策の概要	4-3
4-2-2	地表面処理	4-5
4-3	掘削工	
4-3-1	浚渫工	4-6
4-3-2	陸上掘削工	4-8
4-4	充填工	
4-4-1	ポンプ充填方式	4-9
4-4-2	バックホウ充填方式	4-13
4-4-3	品質管理・出来形管理	4-16
4-5	排水処理工	4-18
4-6	保管工	4-19

参考文献

参考資料	土木研究所式加圧ろ過試験方法(案)	参考1
------	-------------------	-----



第1章 総論

1-1 工法概要と特長

1-1-1 目的

本マニュアル(案)は、建設工事においてダイオキシン類汚染底質や土壌に遭遇した場合、袋詰脱水処理工法の適用によりそれらを袋内に封じ込め、汚染の拡大を防止する際の参考となるようとりまとめたものである。

【解説】

国民の健康の保護を図ることを目的に「ダイオキシン類対策特別措置法(以下、特措法)」が平成 11 年 7 月 16 日に告示され、平成 12 年 1 月 15 日から施行された。それと同時に旧環境庁(現環境省)からの告示において、大気・水質・土壌のダイオキシン類に関する環境基準が設定された。さらに、底質の環境基準についても平成 14 年 9 月 1 日に設定された。

ダイオキシン類は微量でも毒性が強いとされ、高濃度の汚染が発見された場合、社会的に関心を呼びやすく、廃棄物の不法投棄や清掃工場に起因する汚染は、新聞・テレビなどの報道により注目を集めた。

また、建設現場においても、ダイオキシン類汚染問題が顕在化している現場が存在する。さらに、全国数カ所で底質の汚染が発見され、今後ダイオキシン類に汚染された底質への対策が必要となる現場が出てくることが予想される。

本マニュアル(案)は、河川や湖沼などの水域に堆積しているダイオキシン類に汚染された底質などを封じ込める技術として、袋詰脱水処理工法を適用する際の調査、設計、施工手法について取りまとめたものである。なお、1,000pg-TEQ/g を超える濃度のダイオキシン類に汚染された土壌や底質に関しては、袋詰脱水処理工法と他の汚染拡大防止措置と併用するものとする。

また、建設工事において工事の発注者や施工業者が事業用地内でダイオキシン類に汚染された底質や土壌に遭遇した場合の技術的な対応方法の全体像や併用する他の汚染拡大防止措置については、「建設工事で遭遇するダイオキシン類汚染対策マニュアル(案)」に示したのでそちらを参照されたい。

1-1-2 袋詰脱水処理工法の概要

袋詰脱水処理工法は、透水性を有する袋（ジオテキスタイル製）に高含水の底質や土壌を充填し、脱水・減量化した後、積み重ねて保管および利用する工法である。

【解 説】

袋詰脱水処理工法は、透水性の袋（ジオテキスタイル製）に高含水の粘性土や河川・湖沼などに堆積している軟弱な土を詰めて脱水を促進するとともに、袋の張力を利用して積み重ねて有効利用する工法である。袋詰脱水処理工法の特長としては以下が挙げられる。

- ① 砂質土から粘性土まで広範囲な土質に適用できる。特に泥土状あるいは泥水状を呈する高含水の底質や土壌の脱水・減量化のための工法として有効である。
- ② 袋体の布材によるろ過効果により排出水の浮遊物質質量(SS)は、短時間で非常に小さくなる。
- ③ 袋詰脱水処理土はジオテキスタイルに覆われているため、風雨や流水による飛散や流れ出しはない。
- ④ 高含水の土砂の袋への土砂充填作業には大型の建設機械は不要であり、軟弱地盤上や搬入路のない場所での施工に適している。
- ⑤ 袋は利用目的、利用用途および施工期間に応じて任意の大きさに製作でき、自重圧密時間および乾燥の期間を調整できる。
- ⑥ 大容量袋の使用により、大規模工事への対応が可能である。一方、仮設が簡便なことから、小規模工事へも経済的対応できる。
- ⑦ 袋体を積み重ねて利用することで、ジオテキスタイルによる補強効果が期待できる。
- ⑧ 充填した土壌が脱水して減量化したら、袋の所定容量まで何度でも再充填できる。
- ⑨ 小型の袋材は、発生場所から離れている利用場所もしくは保管場所への袋詰脱水処理土の運搬用土木資材としての機能を有する。

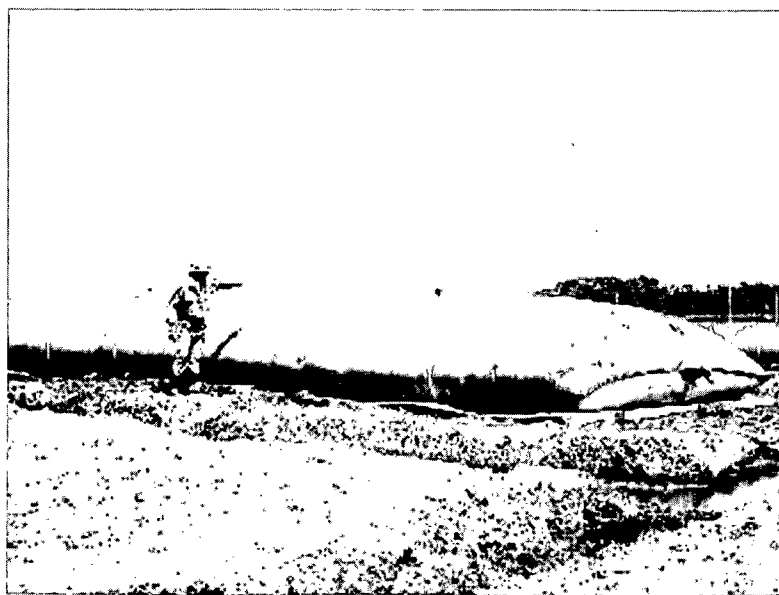


写真-1 袋詰脱水処理工法の施工事例（大型袋）

1-1-3 袋詰脱水処理工法による封じ込め技術の概要

本技術は、透水性を有する袋にダイオキシン類に汚染された高含水の底質や土壌を充填・封じ込め、脱水・減量化して、積み重ねて保管または利用する工法である。

【解説】

本技術は透水性の袋にダイオキシン類に汚染された高含水の底質や土壌を充填し袋内に封じ込め保管するとともに、自重による排水を促進させて脱水・減量化して土質性状を改良する工法（高機能型袋詰脱水処理工法）である。

本技術の基本的な考え方は、「1-1-2 袋詰脱水処理工法の概要」で述べた通りであるが、ダイオキシン類による汚染拡大防止を目的に袋詰脱水処理工法を適用する際の留意点を以下に示す。

- ① 底質の環境基準(150pg-TEQ/g)を超えるものは、河川や湖沼の平水位における水際線より堤内側の地点において保管および利用を行う（図-1 参照）。またその中でも、土壌の環境基準(1,000pg-TEQ/g)を超えるダイオキシン類汚染底質や土壌は、袋詰脱水処理工法と他の汚染拡大防止措置と併用することとした。

※平水位：1年のうちで185日はこれを下まわらない水位。

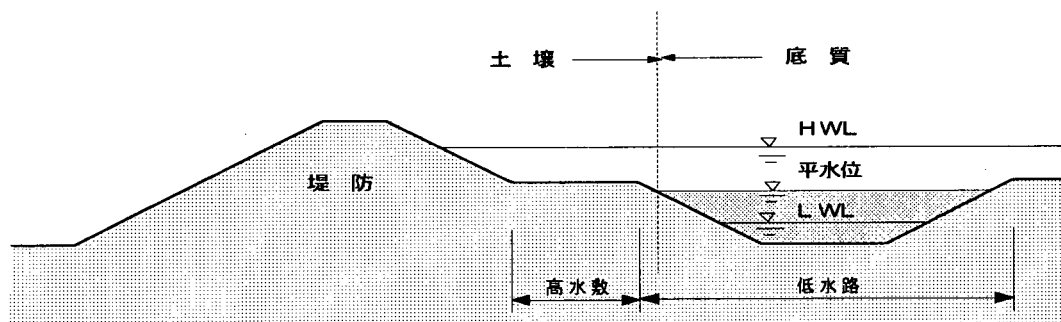


図-1 土壌と底質の区分

- ② 袋への直接の植生は袋材に穴などを生じさせ、汚染の拡大を招くため行わない。
- ③ 施工時および保管時には、汚染の拡大防止を考慮した適切な対策を行う。
- ④ 作業時の安全性を確保する。

1-1-4 袋詰脱水処理工法による封じ込め技術の特長

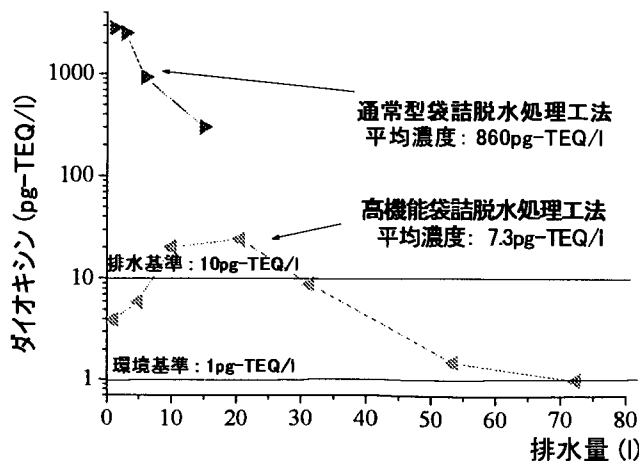
本技術をダイオキシン類汚染底質や土壌の封じ込め工法として適用した場合、以下のことが期待できる。

- ① 汚染底質や土壌を比較的短期間に脱水・減量化し、封じ込めることができる。
- ② 排出水中のダイオキシン類濃度は短時間で低下し、充填する底質や土壌のダイオキシン類含有量によっては排水基準以下を満足する。
- ③ 袋詰脱水処理土からのダイオキシン類の拡散はほとんど見られない。
- ④ 保管場所に積み重ねて効率よく管理することができる。

【解説】

ダイオキシン類は親油性物質であり、土壌に対する吸着性が強く、水にほとんど溶解しないため、土壌中での移動性はきわめて小さいと考えられている。本技術は、袋を構成する透水性の布材（ジオテキスタイル）のろ過機能により、土粒子や浮遊物質に吸着して存在するダイオキシン類を袋体に封じ込めるとともに、土壌中の水分を排出させダイオキシン類が吸着した土壌を脱水・減量化する工法である。また、これまで行われた実験により、数千から数万 pg-TEQ/g という比較的高濃度のダイオキシン類汚染土壌を充填した場合の排水中のダイオキシン類濃度は原水の濃度より大きく低下するものの排水基準以上に留まるが、数百 pg-TEQ/g という比較的低濃度のダイオキシン類汚染底質の場合は排水基準以下になることが確認されている。このことからダイオキシン類の濃度が高い場合には、対象となる土壌試料を用いて充填実験を行い、排水処理が必要かどうか判断する必要がある。

なお、土壌中のダイオキシン類は、光化学的分解や微生物分解などにより自然分解されることが知られている。光化学的分解はダイオキシン類汚染土壌表層数mmの部分に効果があるといわれ、微生物分解については、好気的および嫌気的条件下で各種の実験データが報告されており、自然状態のダイオキシン類分解の大半は微生物分解であると考えられている。このことから、本工法においても、微生物によるダイオキシン類分解と併用して用いることも有効と考えられる。



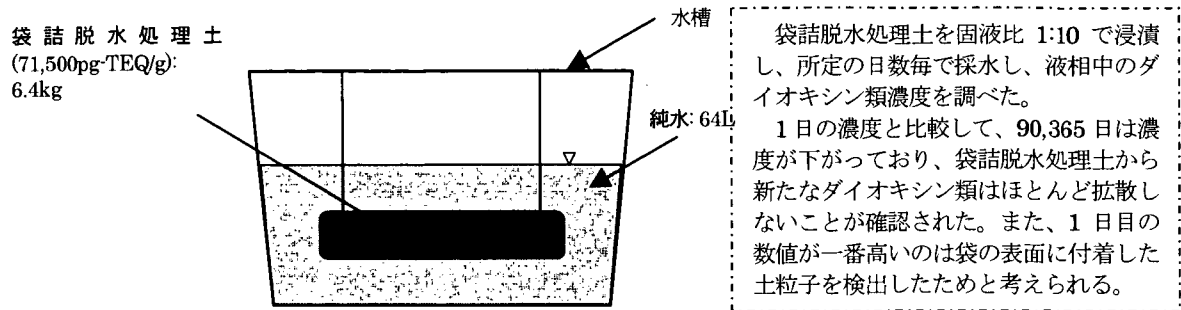
無汚染の建設発生土を対象とした袋詰脱水処理工法を通常型とし、ダイオキシン類汚染底質や土壌を対象とした袋詰脱水処理工法を高機能型と記す。

実験は含水比 600%に加水調整したダイオキシン類汚染土 (790 pg-TEQ/g) を袋（通常型：20L，高機能型：200L）に充填し、袋からの排水を採水してダイオキシン類濃度を調べた。

図-2 排水量と排水中ダイオキシン類濃度の関係

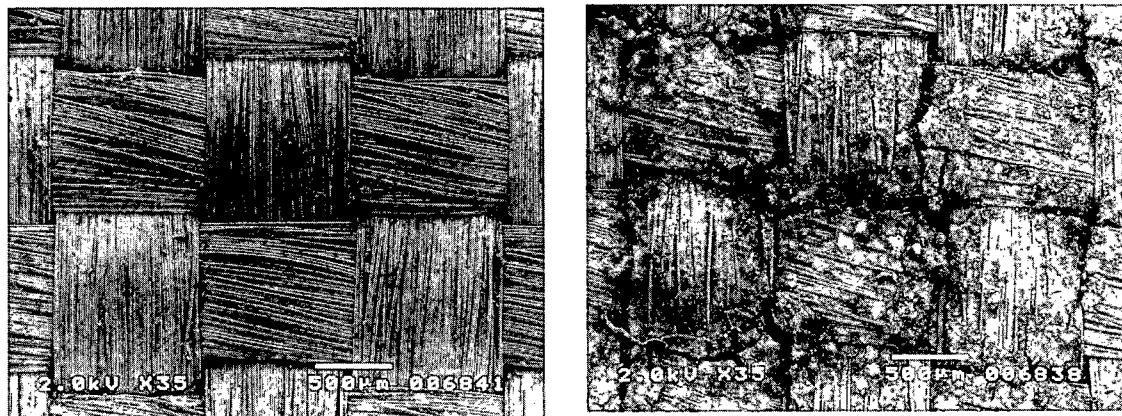
表-1 ダイオキシン類の封じ込め率

	封じ込め率	平均濃度
通常型袋詰脱水処理工法	99.5%	860 pg-TEQ/l
高機能型袋詰脱水処理工法	99.9%	7.3 pg-TEQ/l



	1 日	90 日	365 日
ダイオキシン類 (pg-TEQ/l)	4.4	3.6	0.35

図-3 タンクリーチング試験の概要と液相中のダイオキシン類濃度



左側が初期状態のジオテキスタイルで、右側が充填終了後のジオテキスタイルとなっている。充填された底質によりジオテキスタイル表面に泥膜が形成されているのが観察できる。ジオテキスタイルの持つろ過効果とともに、この泥膜のろ過効果により、土粒子を効率的に袋内に封じ込めることが可能となる。

図-4 ジオテキスタイル製袋材のフィルター機能
(SEM 写真 [左：初期状態, 右：充填終了後])

1-2 適 用

1-2-1 適用対象および適用範囲

本技術は、主にダイオキシン類に汚染された底質のうち、陸上へ浚渫されたものを対象とする。ただし、1,000pg-TEQ/gを超える濃度のダイオキシン類に汚染された土壌や底質に関しては、袋詰脱水処理工法と他の汚染拡大防止措置と併用するものとする。

【解 説】

底質や土壌に定められているダイオキシン類の環境基準は、水域の底質が 150pg-TEQ/g、陸域の土壌が 1,000pg-TEQ/g となっている。

このうち、本技術は主にダイオキシン類含有量が 150pg-TEQ/g を超え、かつ 1,000pg-TEQ/g 以下の浚渫された底質を対象としている。ダイオキシン類含有量が 1,000pg-TEQ/g を超える汚染底質や土壌に対しては、脱水・減量化のための手法もしくは仮置・運搬のための拡散防止や安全管理のための補助工法として使用し、必ず排水処理を併用することとする。

なお、ダイオキシン類含有量が 1,000pg-TEQ/g を超える汚染底質や土壌の処理方法としては以下のものがある。

- ① 汚染拡大防止措置(敷土・覆土工法、遮水壁工法、固化工法など)
- ② 熱処理などの浄化処理
- ③ 掘削搬出処分(最終処分場への運搬(受け入れ先や地方自治体の環境部局との協議が必要))
①～③については「建設工事で遭遇するダイオキシン類汚染対策マニュアル(素案)」を参考
- ④ その他法規に準拠した処理

表-2 ダイオキシン類濃度と袋詰脱水処理工法の適用

ダイオキシン類濃度	底 質	土 壌
1,000pg-TEQ/g 超過	他の汚染拡大防止措置併用(脱水・減量化のための手法もしくは仮置・運搬のためのパッケージとして利用)	封じ込め技術として適用
1,000pg-TEQ/g 以下		
150pg-TEQ/g 超過	封じ込め技術として適用	対策不要
150pg-TEQ/g 以下		

1-2-2 袋詰脱水処理土の利用および保管方法

ダイオキシン類を含有する袋詰脱水処理土の保管および利用方法は、その汚染レベルによって以下の方法とする。

- ① ダイオキシン類含有量が $1,000\text{pg-TEQ/g}$ を超える袋詰脱水処理土は原則として土工材料として使用せず、「建設工事で遭遇するダイオキシン類汚染対策マニュアル(素案)」を参考に適切な処理を行う。
- ② ダイオキシン類含有量が 150pg-TEQ/g を超え、かつ $1,000\text{pg-TEQ/g}$ 以下の底質は、脱水処理後将来ともに管理可能な場所（公有地を原則とする）での保管および利用を図る。
- ③ ダイオキシン類含有量が 150pg-TEQ/g 以下の底質や $1,000\text{pg-TEQ/g}$ 以下の土壌は環境基準以下であり、脱水処理後一般の建設発生土と同様の取扱いで利用を図る。

【解 説】

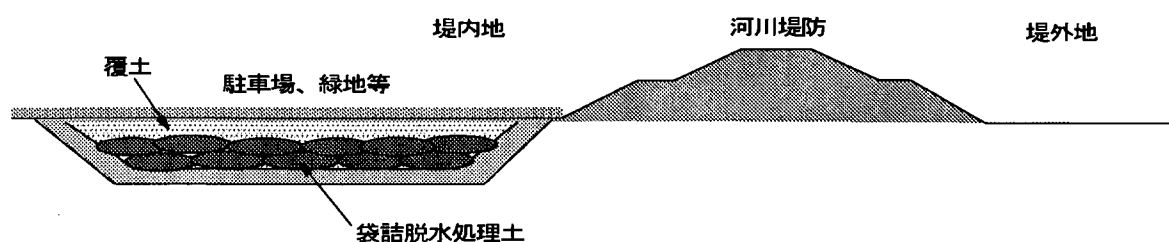
ダイオキシン類含有量が 150pg-TEQ/g を超え、かつ $1,000\text{pg-TEQ/g}$ 以下の底質は、脱水・減量化処理後に管理可能な場所で保管もしくは利用することを基本とする。

その一例を以下に示す。

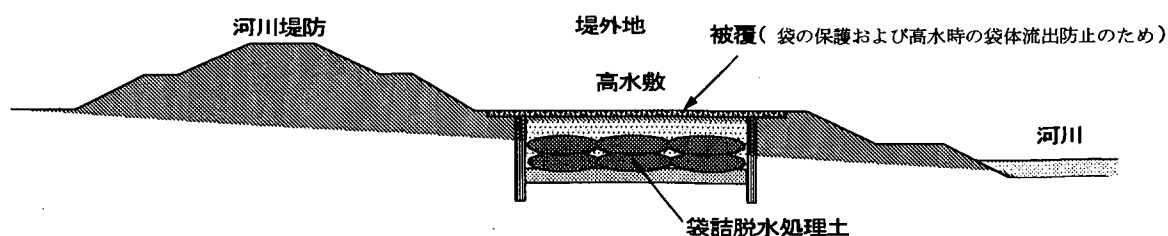
- ① 堤内地側に限定した河川堤防腹付け盛土材として利用



- ② 堤内地の緑地・駐車場等の盛土材や飛行場の緑地帯下等の盛土材として利用



- ③ 堤外地（高水敷）に保管



1-3 工法適用上の留意点

1-3-1 関連法規

ダイオキシン類汚染底質や土壌の取扱いの際には、関連する法規や指針等に留意する。

【解 説】

ダイオキシン類に汚染された底質や土壌に遭遇した場合には、速やかに自治体、関係機関との調整を図るとともに、必要に応じて調査、対策・処理の各段階において適切な情報の開示や協議を行うなど、地域住民や周辺環境に対して十分な配慮が必要である。

ダイオキシン類に汚染された底質や土壌を取り扱う際に関わる主な法令等としては以下のものがある。なお、ダイオキシン類に汚染された底質および土壌の取扱いは、廃棄物に分類された場合大きく異なってくるため、対策を行う際には、まず地方自治体の環境部局との協議を行い、特措法の対象となる底質もしくは土壌であるか、廃棄物の処理および清掃に関する法律の対象となる廃棄物であるかを確定するのがよい。

表-3 関連する主な法令等

区分	法律・政令・省令・告示・通知名	
法律	○ダイオキシン類対策特別措置法	平成 11 年 法律第 105 号
	○廃棄物の処理及び清掃に関する法律	昭和 45 年 法律第 137 号
	○特定化学物質の環境への排出量の把握及び管理の改善の促進に関する法律 (PRTR 法)	平成 11 年 法律第 86 号
	○海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律	昭和 45 年 法律第 136 号
	○大気汚染防止法	昭和 43 年 法律第 97 号
政令	○ダイオキシン類対策特別措置法施行令	平成 11 年 政令第 433 号
	○廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令	昭和 46 年 政令第 300 号
	○海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行令	昭和 46 年 政令第 201 号
	○大気汚染防止法施行令	昭和 43 年 政令第 329 号
省令	○ダイオキシン類対策特別措置法施行規則	昭和 11 年 総理府令第 67 号
	○ダイオキシン類対策特別措置法に基づく廃棄物の最終処分場の維持管理の基準を定める省令	昭和 12 年 総理府・厚生省令第 2 号
	○廃棄物焼却炉に係るばいじん等に含まれるダイオキシン類の量の基準及び測定の方法に関する省令	平成 12 年 厚生省令第 1 号
	○廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行規則	昭和 46 年 厚生省令第 35 号
	○大気汚染防止法施行規則	昭和 46 年 厚生省令第 1 号
	○海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行規則	昭和 46 年 運輸省令第 38 号
	○余水吐きから流出する海水の水質についての基準を定める省令	昭和 52 年 総理府令第 38 号
	○海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行令第 5 条第一項に規定する埋立場所等に排出しようとする金属等を含む廃棄物に係る判定基準を定める省令	昭和 48 年 総理府令第 6 号
告示	○ダイオキシン類による大気の大気汚染、水質の汚濁(水底の底質の汚染を含む。)及び土壌の汚染に係る環境基準について	平成 11 年 環境庁告示第 68 号
	○ダイオキシン類の濃度の算出方法	平成 10 年 厚生省告示第 221 号
	○ダイオキシン類の濃度の算出方法	平成 12 年 厚生省告示第 7 号
	○廃棄物焼却炉に係るばいじん等に含まれるダイオキシン類の量の基準及び測定の方法に関する省令第 1 条第 2 項及び第 2 条の規定に基づき厚生大臣が定める方法	平成 12 年 厚生省告示第 3 号
	○最終処分場に係るダイオキシン類の水質検査の方法を定める件	平成 12 年 環境庁・厚生省告示第 1 号
通知	○底質の処理・処分等に関する指針について	平成 14 年 環境省水環境課通知第 211 号

1-3-2 その他

本技術の実施に当たっては、ダイオキシン類汚染が拡大しないよう、準備および対策を行うとともに、ダイオキシン類を取り扱っていることに留意しながら作業を行う。また、脱水養生中あるいは保管中の袋詰脱水処理土については、適切に管理するとともに、周辺環境への影響を監視する。

【解 説】

本技術の設計・施工に際しては、作業員や周辺環境に悪影響が及ばないように安全な施工を行う。具体的には、対策の施工が汚染を拡散させる原因とならないよう、①周辺への汚染拡散の防止、②作業員への暴露の防止、③袋詰脱水処理土の保管、④その他の対策を行う。

① 周辺への汚染拡散の防止

ダイオキシン類の拡散の原因は主として、露出面からの直接摂取、風による飛散や雨・排水による流出が考えられ、それらの防止対策として、防護壁の設置や仮設テント内での作業、集水・排水処理施設の設置を検討する。また、運搬・施工機械の洗浄施設などを設置する。

② 作業員への暴露の防止

飛散物の吸引や皮膚への接触を避けるために、作業員へのダイオキシン類の暴露防止策を実施する。また、作業員へのダイオキシン類に関する教育を事前に行うことで、適切なダイオキシン類汚染土壌および底質の取扱い方を周知徹底させる。

③ 袋詰脱水処理土の保管

袋の保存状態などを目視などにより管理するとともに、定期的に地下水などをモニタリングし周辺環境への影響を監視する。

④ その他の対策

周辺住民が不用意に対策現場に入らないよう、柵やフェンスの設置など適切な措置を行う。

1-4 用語の定義および解説

- (1) **袋詰脱水処理工法** 透水性を有する袋材（ジオテキスタイル製）に高含水の土壌や、河川・湖沼などに堆積している底質を充填し、脱水を促進するとともに、袋の張力を利用して盛土や埋土に積み重ねて有効利用する工法をいう。
（＝通常型袋詰脱水処理工法）
- (2) **高機能型袋詰脱水処理工法** 袋詰脱水処理工法のうち、特にダイオキシン類に汚染された底質や土壌を袋内に封じ込め保管するため、袋材や凝集剤を改良した工法を指す。
- (3) **袋詰脱水処理土** 袋詰脱水処理工法を用いて、脱水減量化した高含水の土壌や底質で袋に覆われているものを指す。
- (4) **ダイオキシン類** 特措法におけるポリ塩化ジベンゾ-p-ジオキシン(PCDD)7種類、およびポリ塩化ジベンゾフラン(PCDF)10種類の異性体に加え、コプラナーPCB 12種類の総称。
- (5) **ダイオキシン類汚染土壌** ダイオキシン類を環境基準値以上に含有する土壌をいう。
- (6) **毒性等量 (TEQ)** ダイオキシン類の異性体の中で最も毒性が高いとされる 2,3,7,8-四塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン(2,3,7,8-TCDD)の毒性を1として、各異性体の毒性を計算した「毒性等価係数(TEF)」により換算して得られるダイオキシン類の毒性を示す値。
- (7) **汚染拡大防止措置** ダイオキシン類などの有害物質に汚染された土壌や底質を封じ込めることにより、汚染の拡大を防止するとともに、人への暴露経路を遮断し健康被害を防止する対策を指す。
- (8) **小型袋・大型袋** 袋詰脱水処理土を充填場所から保管設置場所に移設する（二次運搬）ために、土砂を充填した袋体を比較的小型のクレーンで吊り上げることのできる重さとした容量の小さな袋を小型袋という。また、最終保管場所で充填し、移設を考慮しない場合に効率よく脱水処理するために用いる容量の大きな袋を大型袋という。一般に充填量 1m³ 程度以下のものを小型袋、数 m³～数百 m³ のものを大型袋という。
- (9) **ポンプ充填方式** 処理対象土をスラリーポンプやコンクリートポンプなどを使用して袋体に充填する方式をいう。処理対象土が流動化している場合は効率的な方法で、一般に大型袋への充填に用いる。
- (10) **バックホウ充填方式** 処理対象土をバックホウなどを使用して袋体に充填する方式をいう。小型袋への充填や、処理対象土が比較的低含水の粘性土や砂質土などそのままでは容易にポンプ圧送ができない場合などに用いる。
- (11) **脱水養生** 高含水の底質や土壌を袋に充填し、脱水が完了するまでのことをいい、その日数を養生期間という。
- (12) **仮置き** 脱水養生後、汚染拡大防止措置などによる保管を行うまでのことをいい、その日数を仮置き期間という。
- (13) **保 管** 脱水処理、仮置き後のダイオキシン類汚染土壌を、浄化処理をするまでの間、汚染拡大防止措置などを施して暫定的に貯留すること。
- (14) **一次運搬・二次運搬** 浚渫された底質を袋へ充填を行う場所まで運搬することを一次運搬といい、充填が終了した袋詰脱水処理土を保管場所まで運搬することを二次運搬という。

第2章 調査

2-1 概要

本技術をダイオキシン類に汚染された底質や土壌の封じ込め工法として適用するにあたって、以下の調査を行う。

- (1) 土質調査
袋および凝集剤の選定、脱水養生期間などの設定等に必要な情報を得ることを目的に行う。
- (2) 現地調査
設計・施工を合理的、経済的に行うための基礎資料を得ることを目的に行う。

【解説】

ダイオキシン類に汚染された底質や土壌の封じ込め工法として袋詰脱水処理工法を適用する場合の調査のフローを図-1に示す。

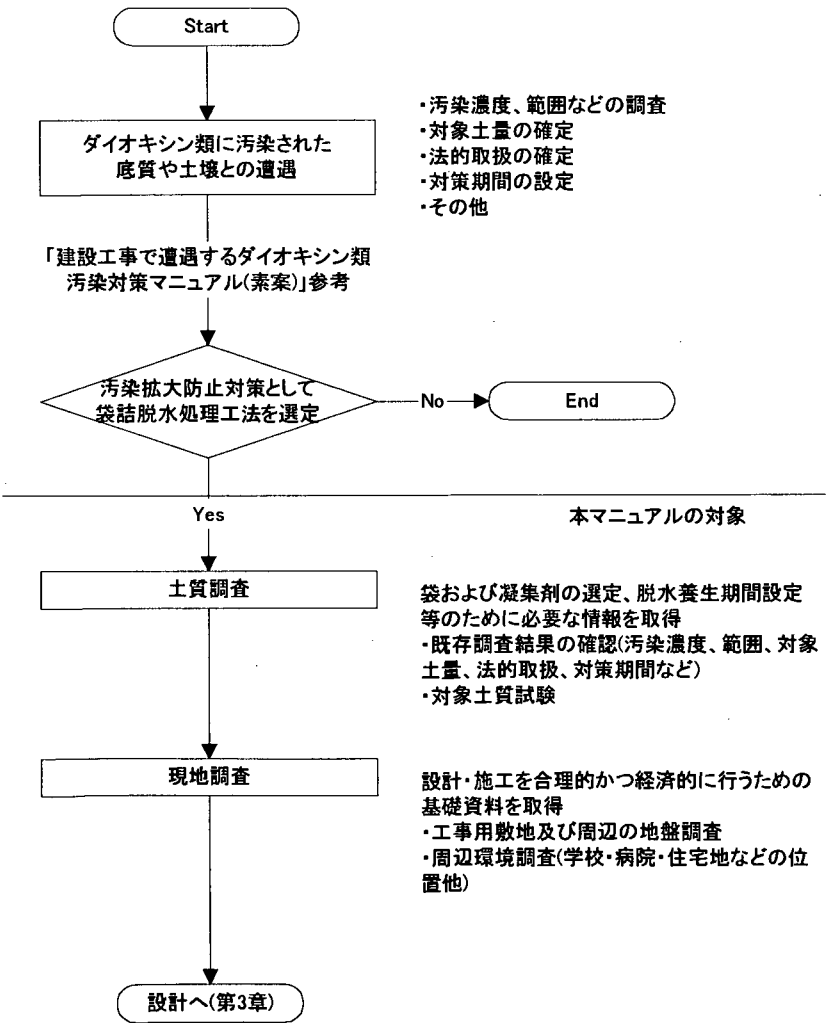


図-1 調査フロー

2-2 土質調査

土質調査では既存調査結果の確認および対象土の土質試験を行う。

【解 説】

(1) 既存調査結果の確認

ダイオキシン類に汚染された底質や土壌を対象とするため、汚染濃度や範囲、対策が必要な土量を現在までの調査結果をもとに把握する。ダイオキシン類に汚染された土壌の調査方法については「建設工事で遭遇するダイオキシン類汚染対策マニュアル(素案)」とともに、「ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル」(H12.1 環境庁水質保全局土壌農薬課)、「ダイオキシン類に係る底質調査測定マニュアル」(H12.3 環境庁水質保全局水質管理課)などを参考にする。

(2) 土質試験

土質試験結果は、袋や凝集剤を選定する際に有用なデータとなるとともに、脱水養生期間設定のためにも有用である。またこれらの試験とともに、目視にて袋への影響が懸念される夾雑物の有無等の確認を行っておく必要がある。

下記の①～⑤の試験については、設計の際の基礎的なデータとなるので必要な試験について実施することとする。

- ① 土の湿潤密度試験 (JGS 0191)
- ② 土粒子の密度試験 (JIS A 1202)
- ③ 土の含水比試験 (JIS A 1203)
- ④ 土の粒度試験 (JIS A 1203)
- ⑤ 土の強熱減量試験 (JGS 0221)

また、袋からの排水速度、排水中のダイオキシン類濃度を推定するために以下の試験を必ず行うこと。

- ⑥ 土木研究所式加圧ろ過試験 (参考資料参照)

さらに、適用性などを判断するために、袋に実際にダイオキシン類に汚染された底質や土壌の注入を行うことも検討すること。

- ⑦ 注入実験

2-3 現地調査

現地調査として、工事用敷地および周辺の地盤調査、周辺環境調査などを行う。

【解 説】

(1) 工事用敷地および周辺の地盤調査

地盤調査は資料収集、現地踏査において施工機械の搬入・稼働、袋詰脱水処理土の保管のために必要と判断された場合に行う。さらに、必要に応じて室内土質試験を行う。

(2) 周辺環境調査

現地において施工や保管を行う敷地（ヤード）周辺の状況や気象条件を文献資料や現地踏査により把握する。周辺に学校や病院、住宅地など、保全の対象となるような場所や多数の人が集まるような場所がある場合、可能な限り施工や保管の影響が及ばない場所を候補地とする。影響が考えられる場合については、施工方法の変更や対策等を検討する。

第3章 設計

3-1 概要

設計は主として準備工、掘削工、充填工、排水処理工、保管工について行う。設計に際しては、本技術の得失と目的を考慮すると同時に、対象土の土質性状、汚染濃度や土量、対策期間、その他の調査結果を十分に考慮し、ダイオキシン類の汚染拡大防止を図ることが重要である。

【解説】

本技術はジオテキスタイル製の袋体を使用して、ダイオキシン類の汚染拡大を防止しつつ保管するものであり、設計に当たっては本技術の得失を十分に把握して設計しなければならない。また、本技術の実施が、新たなダイオキシン類の汚染を引き起こさないよう十分な検討を行うことが重要である。以下に設計の手順を示す。

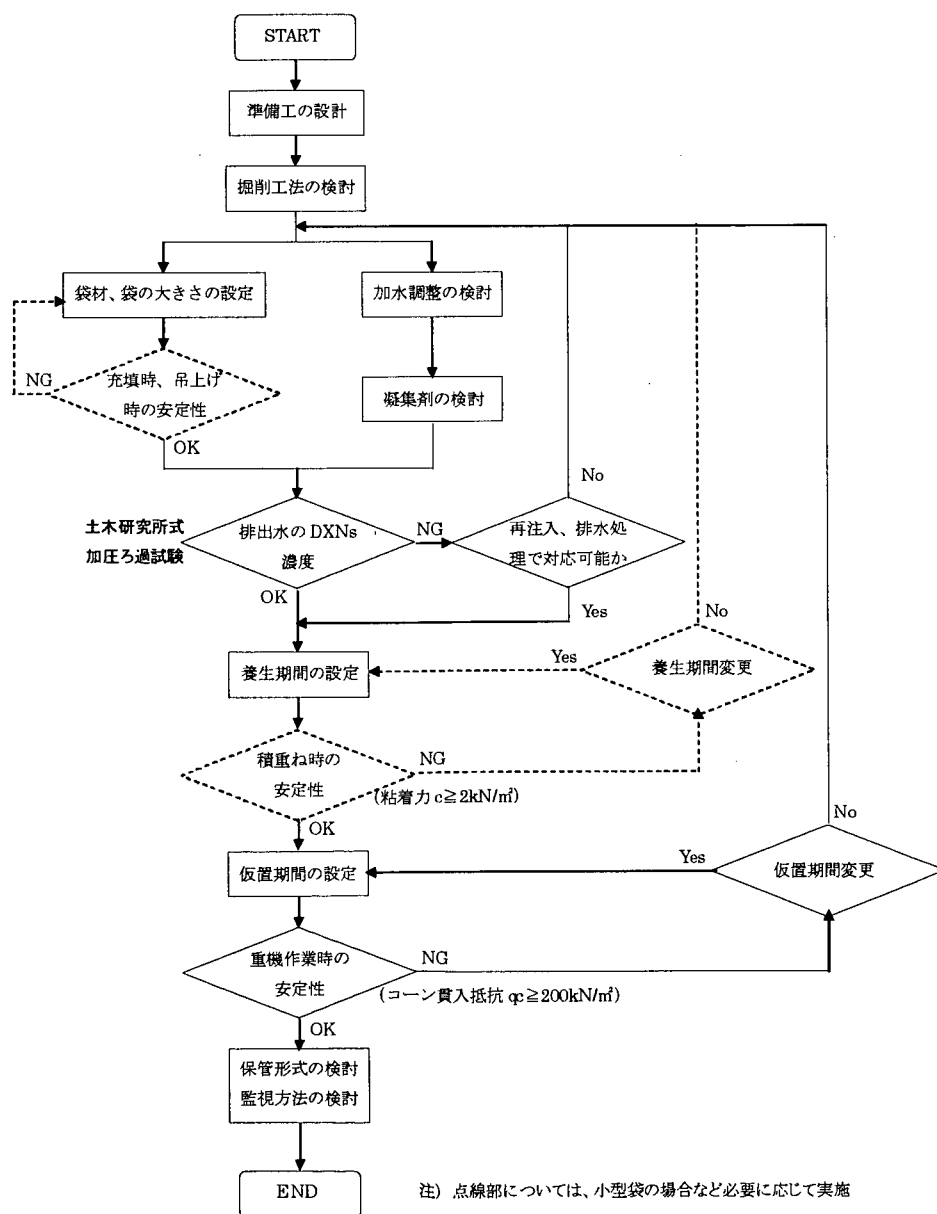


図-1 設計フロー

3-2 準備工

対象となる底質や土壌の土質性状、汚染濃度や土量、対策期間、その他の調査結果を活用し、作業の安全性等を十分考慮した施工および保管ヤードを設計し、周辺へのダイオキシン類の汚染拡大の防止に努めなければならない。

【解説】

本技術の適用にあたっては、対象となる底質や土壌の土質性状、汚染濃度や土量、対策期間、施工ヤードの広さ・地形、工期、日当たり施工量、重要施設や第三者の立ち入る可能性など周辺環境との離隔、他広範な見地から汚染拡散防止のための綿密な準備工計画を立案する必要がある。

施工に当たっては、効率的かつ安全な作業および、周辺環境への影響を最小限に抑えるために必要な敷地・施設として、下記のことを備えておかなければならない。施工に必要な敷地（ヤード）を以下に示す。

<施工ヤード>

・ 貯泥ポンド

浚渫船などから送泥されてきた泥土を一旦貯留するための貯泥池。ポンプ充填方式の場合、浚渫船などから直接袋体に充填する場合を除き、泥土を一旦貯泥池に投入して、貯泥池を介して袋体に充填する。一般には1日分の充填量を貯留できる容量の貯泥ポンドを二つ確保することがのぞましい。

【掘下げ式】

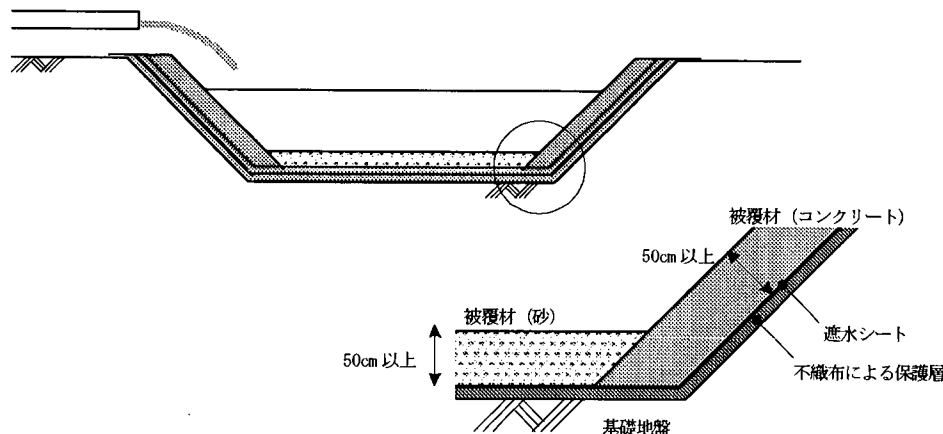


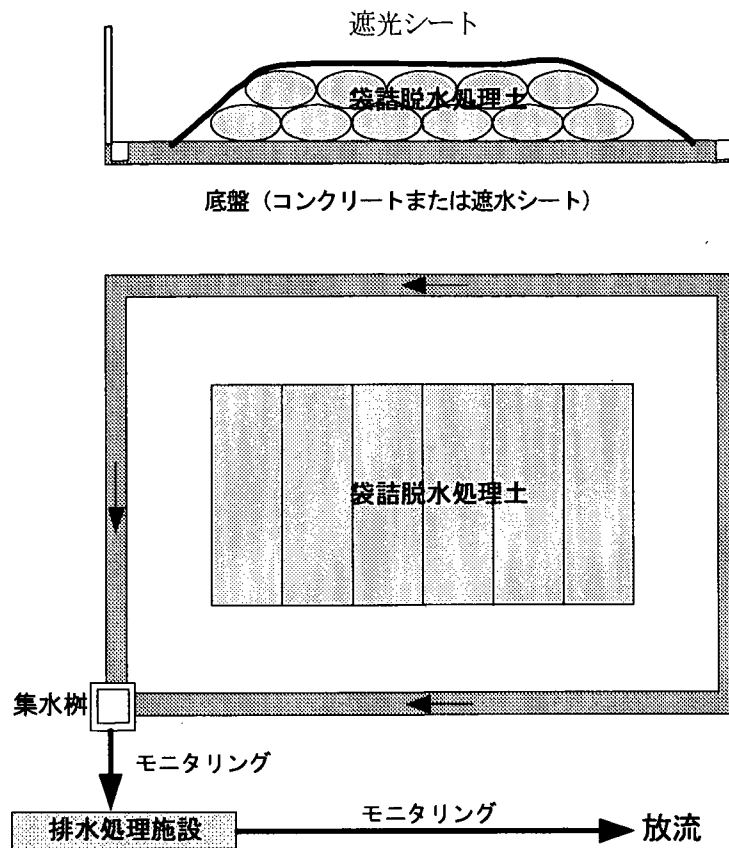
図-2 貯泥ポンドの構造例

・ 充填ヤード

対象土を袋体に充填する作業を行う敷地、あるいは充填するために必要な機械設備を設置するための敷地である。

・ 脱水処理ヤード（大型袋の時は充填ヤードと同一）

泥土が充填された袋体を所定の含水比まで脱水養生するための敷地である。一般にポンプ充填方式の場合は大型袋を使用する施工となり、袋詰脱水処理土の移動が難しいため、脱水処理ヤードが保管ヤードとなる。



図・3 脱水処理ヤードの構造例

- ・ 排水処理施設（「3-5 排水処理工」参照）

<保管ヤード>

- ・ 保管ヤード（「3-6 保管工」参照）

大型袋の場合は袋詰脱水処理土の二次運搬を行わないため、充填ヤードと同一となる。

3-3 掘削工

3-3-1 浚渫工

ダイオキシン類に汚染された底質の浚渫に際しては以下の条件を満たすことが必要である。

- ・ 周辺環境へのダイオキシン類の汚染拡大を防止するため、浚渫時の汚濁発生が少ないこと
- ・ 排水処理量を少なくするため、高濃度で浚渫できること
- ・ ダイオキシン類による底質汚染は表層に限定される場合が多いことから、薄層にも適用可能であること

また二次汚染拡散防止の観点から、施工ヤードまでの積み替え回数をなるべく少なくすることが必要である。

【解 説】

(1) 浚渫工法の分類

我が国で使用されている浚渫工法は、図-4 に示すように除去方法によってポンプ浚渫系とグラブ浚渫系に分類される。

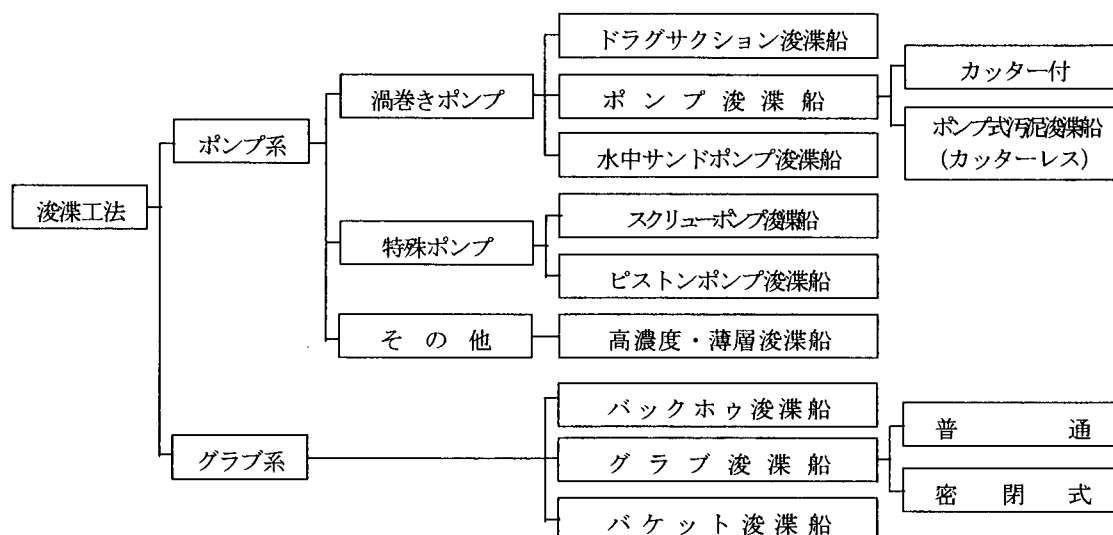


図-4 浚渫工法の分類

(2) 浚渫工法の選定

浚渫工法の選定にあたっては、表-1に示す技術的要因に対し本技術への適用性を評価する必要がある。

本技術に利用する際の浚渫工法としては、まず袋内に多くの土砂を封入し、排水処理量を極力抑えるために、含泥率が高い底質を対象とする浚渫工法が有利である。また、底質中に含まれるダイオキシン類の鉛直方向の分布は、流れや波浪等により乱されていない状態では表層付近に大部分が含まれると考えられており、対象となる層のみが除去可能な薄層浚渫工法が有利である。さらに、ダイオキシン類は水に溶解しにくい性質を有するため、ダイオキシン類の工事区域からの流出は主に浚渫時の発生汚濁（SS）の拡散によると考えられ、工事区域外への流出防止には、汚濁の発生量が少ない浚渫工法を選定しなければならない。

以上のような技術的、環境的観点からダイオキシン類汚染底質の袋詰脱水処理工法に適用可能な浚渫工法として、下記の工法・組合せが考えられる。なお、参考として、過去に実施された有害物質を含む底質の浚渫工事の浚渫工法を表-2に示す。

- ①高濃度薄層浚渫船 +汚濁防止膜
- ②密閉グラブ浚渫船 +汚濁防止枠+汚濁防止膜
- ③ポンプ式汚泥浚渫船+汚濁防止膜

表-1 浚渫工法選定のための技術的要因

要 因	内 容
施工能力	当該工事の施工土量に対する適用性
汎用性	現有船舶数が多く、工事への対応性
適応土質	掘削可能な土質
浚渫深度	浚渫が可能な深度
障 害 物	障害物、ゴミ等の混入に対する適用性
揚土場規模	含泥率（体積比）による余水処理の有無、埋立地の大小
水域への適用性	浚渫船の規模、可搬性による適用性
汚濁発生	浚渫時の汚濁発生量の大小

表-2 過去の有害物質を含む底質の浚渫工事

	実 施 例	対 策 工 法
①	水俣湾水銀汚染底質浚渫	ポンプ式汚泥浚渫船（カッターレスポンス浚渫船） +汚濁防止膜
②	高砂西港PCB汚染底質浚渫	
③	四日市港水銀・油分汚染底質浚渫	
④	高松杣川地区PCB汚染底質浚渫	密閉グラブ浚渫船+汚濁防止枠 +汚濁防止膜
⑤	田子の浦港PCB汚染底質浚渫	普通グラブ浚渫船+汚濁防止枠 +汚濁防止膜

（3）運搬工法

浚渫船により浚渫された底質は、施工ヤードまで運搬しなければならないが、浚渫土の運搬方法は、浚渫方法、浚渫土の性状、運搬距離、処理条件等により異なる。運搬方法は基本的には浚渫工法により付随的に決まるのが通常であり、浚渫方法と組み合わせて検討することが必要である。

袋詰脱水処理工法においては、袋への充填能力よりも浚渫能力が高いため浚渫土を貯泥ポンドで保管することが必要である。この場合、貯泥ポンドまで直接運搬できるパイプ輸送方式が有効である。

3-3-2 陸上掘削工

ダイオキシン類に汚染された地盤の掘削技術は以下の条件を満たすことが必要である。

- ・周辺環境へのダイオキシン類の汚染拡大を防止するため、掘削時の粉塵発生が少ないこと
 - ・ダイオキシン類による土壌汚染は表層に限定される場合が多く、薄層にも適用可能であること
- また二次汚染拡散防止の観点から、施工ヤードまでの積み替え回数をなるべく少なくすることが必要である。

【解 説】

本工法を、ゴミ焼却灰や産業廃棄物埋め立て跡地、閉鎖工場の跡地など陸上部におけるダイオキシン類汚染土壌封じ込めに適用する場合、作業の安全、二次汚染拡散防止の観点から以下の事項が要求される。

(1) 汚染範囲と汚染原因の把握

陸上部におけるダイオキシン類汚染は、その汚染原因によって汚染範囲が広面積や深度が深かったり、汚染部位によって汚染濃度が異なったりする。したがって、事前に汚染範囲と汚染原因を調査して汚染状況を把握することが重要であり、その上で掘削機械や充填方法の選定、および作業員などに対する保護装備を選定しなければならない。

(2) 風雨などによる汚染拡散防止

屋外で掘削・充填をする場合、施工時期によっては晴天が続き、作業ヤードに土埃りが舞うことがある。また、雨天時は地表面水による汚染拡散も懸念される。それらの防止対策として、防護壁の設置や仮設テント内での作業、集水・排水処理施設の設置を検討する。

3-4 充填工

3-4-1 袋材の選定

本技術に用いる袋材は、施工時や保管時に破損して汚染物質を拡散することのないよう、化学的安定性が高く、脱水時の湿潤状態において強度低下や充填時の張力による目開きを起こしにくい高強度の合成繊維製の織布を使用する。

袋材の選定にあたっては、ダイオキシン類汚染土壌を効率よく袋体内に封じ込め、袋体からの排出水の懸濁物質濃度(SS)を抑制するために、袋材の透水係数、開口径(通気度)、カバーファクターに留意するとともに、袋の大きさに応じて袋材の強度を勘案して決定しなければならない。

【解 説】

袋詰脱水処理工法での袋材としては、乾燥時・湿潤時のいずれにおいても強伸度変化がほとんどなく、化学的に安定なポリエステル繊維もしくはポリプロピレン繊維製のマルチフィラメント織布が用いられる。その材料特性を以下に示す。

(1) 素材

ポリエステル ; モノマーの結合部分が主としてエステル結合($\text{-CO}\cdot\text{O-}$)である長鎖状合成高分子よりなる繊維

ポリプロピレン ; プロピレン単位($\text{-CH}_2\cdot\text{CH}_2\cdot$)を主成分として形成された長鎖状合成高分子よりなる繊維

表-3 ポリエステルとポリプロピレンの特徴

項目	単位	ポリエステル	ポリプロピレン
引張強さ(乾燥)	cN/dtex	5.6~8.1	4.5~8.1
(湿潤)		5.6~8.1	4.5~8.1
伸び率(乾燥)	%	7~17	15~25
(湿潤)		7~17	15~25
比重		1.38	0.91
軟化点	℃	238~240	140~160
融点	℃	255~260	165~173
耐光性(サンシャインウエザーマーター) 1,000hr 照射後強力保持率	%	65~75	脆化
耐アルカリ性(40%NaOH, 20℃, 10hr) 強力保持率	%	100	100
耐酸性(10%H ₂ SO ₄ , 20℃, 10hr) 強力保持率	%	100	100

中村; 繊維工学, Vol.25, No.12, P805(1972)

(2) 耐光性

ポリエステル、ポリプロピレンなどの織布は、化学的安定性が高く、酸、アルカリ、水などによる劣化は極めて少ない。しかし紫外線に対しては、ポリプロピレンは特に劣化が著しく、紫外線に対して比較的安定なポリエステル繊維であっても夏期の直射日光に暴露された場合には6ヶ月程度で強度が5割程度になることがある。したがって、覆土等の遮光措置を十分に行うことが重要である。また、耐久性を延ばすため、単繊維径を太くする、繊維に顔料を混合する、布帛に遮光のための樹脂加工をするなどの対策をとることが必要となる。

以下に試験施工（茨城県霞ヶ浦）における約 4, 8, 16 ヶ月放置後にポリエステル織布サンプル(引張強さ 200kgf/3cm 巾当り)を採取して引張強さ測定を行った結果を示す。

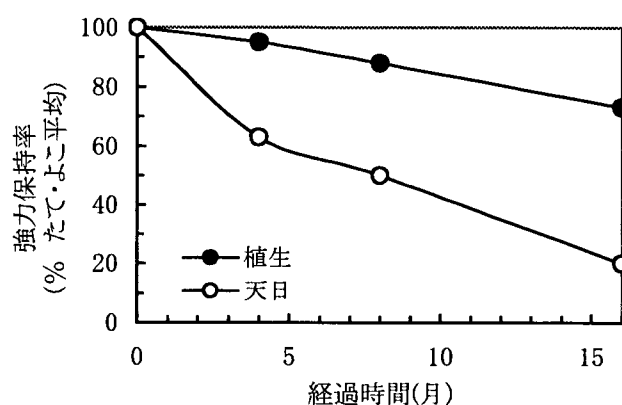


図-5 ポリエステル織布の日光による強度劣化(例)

(3) 袋材の諸元

土粒子やその他の懸濁物質の捕捉効果(フィルター機能)は袋材の透水係数、開口径などに左右される。ダイオキシン類に汚染された底質や土壌に本工法を適用する場合は、排出水の懸濁物質濃度(SS)の抑制が重要でありことから、表に示すような高密度に織られた織物を使用することを基本とする。

表-4 袋材の諸元(案)

諸元	
素材	ポリエステルなど
構造	マルチフィラメント高密度織物
必要引張り強さ	ポンプ充填：充填圧、バックホウ充填：吊り張力 ※引張強さだけでなく、引裂強さにも留意する
透水係数	1.0×10^{-3} cm/s 以下
開口径(通気度で代用)	1.5 cc/cm ² /sec 以下
カバーファクター*	2,000 以上

*カバーファクター； 織物を構成する糸が、単位面積の内どの程度の面積を覆っているかを示す尺度
(大きいほど高密度の織物である事を示す)

$$\sqrt{(De_{12}) \times \text{織密度}_{12}} + \sqrt{(De_{32}) \times \text{織密度}_{32}}$$

繊維度(De)； 繊維の太さを示す単位

$$De = Dtex \times 0.9$$

Dtex 糸 10,000m あたりの質量

織密度； 織物 1in.(2.54cm)巾当りの打込み糸本数

3-4-2 袋の大きさの検討

袋の大きさは、保管方法や保管ヤードの条件、施工ヤードと場所と保管場所との距離、充填する底質や土壌の土質などから決定する。

【解 説】

本工法に用いる袋体は、充填容量 1m^3 程度以下の小型袋と、充填容量について自由に調整できる数十 m^3 以上の大型袋があり、それぞれ以下の特徴がある。

(1) 小型袋

- ① 軽量で運搬可能なことから、施工ヤードと保管ヤードが離れていて二次運搬が必要な現場での施工や、本技術以外の汚染拡大防止措置を行う場合の脱水・減量化および運搬用の土木資材としても使用可能である。
- ② 小規模工事に適する。
- ③ バックホウを用いて充填可能であるため、対象土がポンプ圧送の難しい砂質土や低含水の土砂にも適用可能である。

(2) 大型袋（充填量は p3-16 に掲載の式から算出可能）

- ① 二次運搬が不要で、保管ヤードで施工が行える場合に適している。
- ② 大規模工事に適する。
- ③ ポンプを用いて充填するため、高含水の浚渫土などポンプ圧送可能な土砂に適する。

3-4-3 袋の作製方法

本技術に用いる袋材は、ジオテキスタイルを縫製することにより作製し、必要に応じて任意の形状、大きさに加工する。縫製部(ミシン目)は袋の弱部となるため、破損等による汚染底質や土壌の漏れ防止対策をとらなければならない

【解 説】

(1) 破損・漏洩対策(縫製部構造)

袋は、図に示すように、織物を筒状、あるいはフレキシブルコンテナ形状に、多重にミシン縫製して作製する。また水膨潤性のシール材料などを縫付け、ミシン目からの細粒分の漏れを防止する。

(2) 充填口の設置部位

大型袋の場合、充填口は長さ 10m 前後に 1ヶ所程度の割合で設置することが望ましい。

(3) 充填口の逆流防止構造

充填口から注入した高含水土壌の逆流を防止するために、逆流防止構造を設置することが望ましい。

(4) 充填口の閉鎖方法

ダイオキシン類に汚染された底質や土壌の注入後、充填口からの漏洩を防止するために、充填口を針金や紐で縛るなどの対策を実施する。

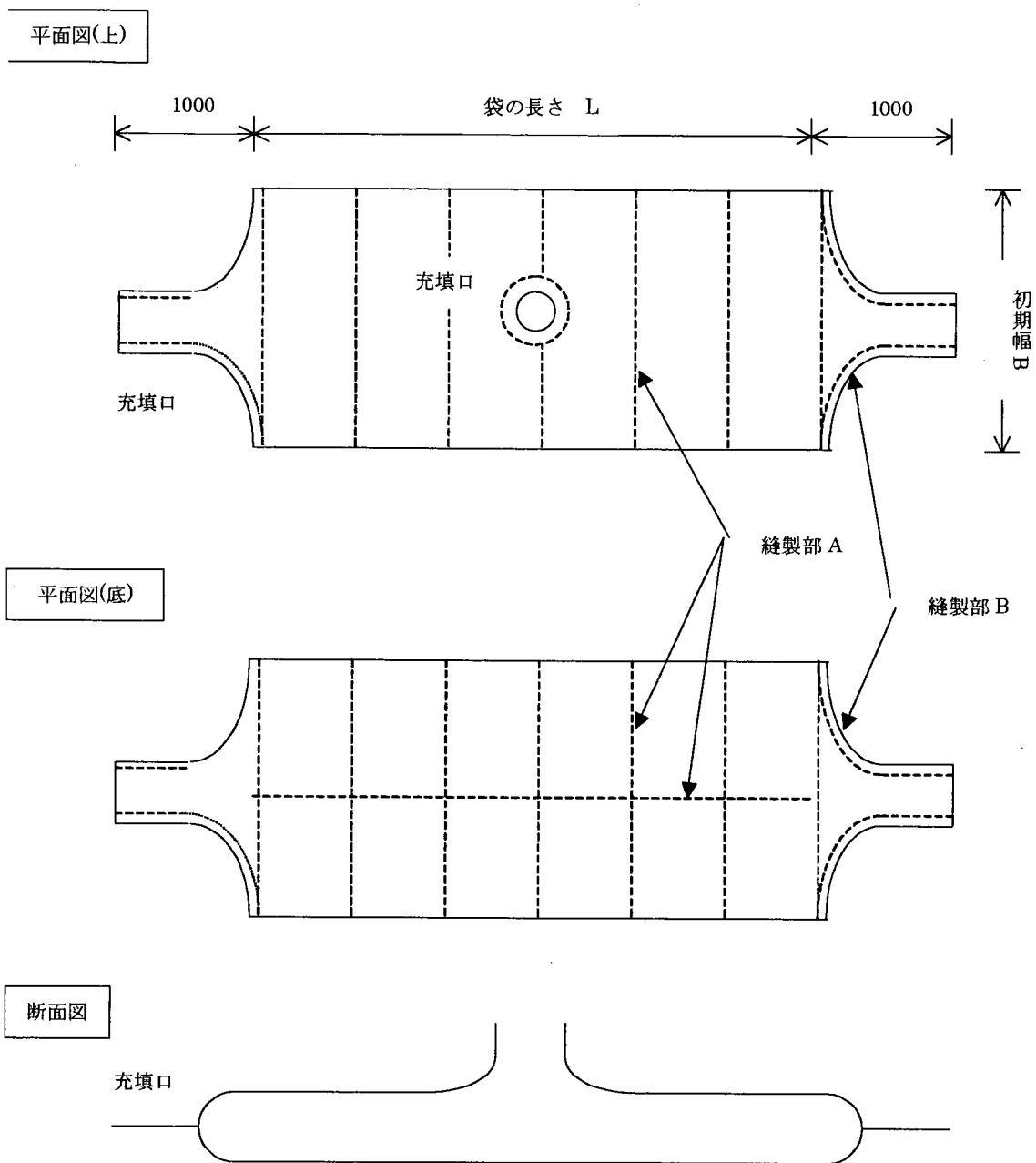


図-6 大型袋の作成例

3-4-4 凝集剤の選定

袋体からの排水中のダイオキシン類濃度をさらに低減し、かつ、脱水養生期間を短縮するため、袋体への充填に先んじて凝集剤を添加混合することを前提とする。凝集剤の配合は、対象土質、排水処理施設の処理能力、脱水処理ヤードの面積、工期などを勘案の上、土木研究所式加圧ろ過試験により決定しなければならない。

【解 説】

一般的に凝集剤には以下のような種類があり、目的に応じて使い分けられている。本技術において袋からの排水の濁質濃度を低下させるには、大きいフロックを形成する通常の凝集沈澱とは異なり、袋材の開口に適度に目詰まりしてフィルター効果を発揮し、泥膜を速やかに生成する脱水作用のある凝集剤が適している。

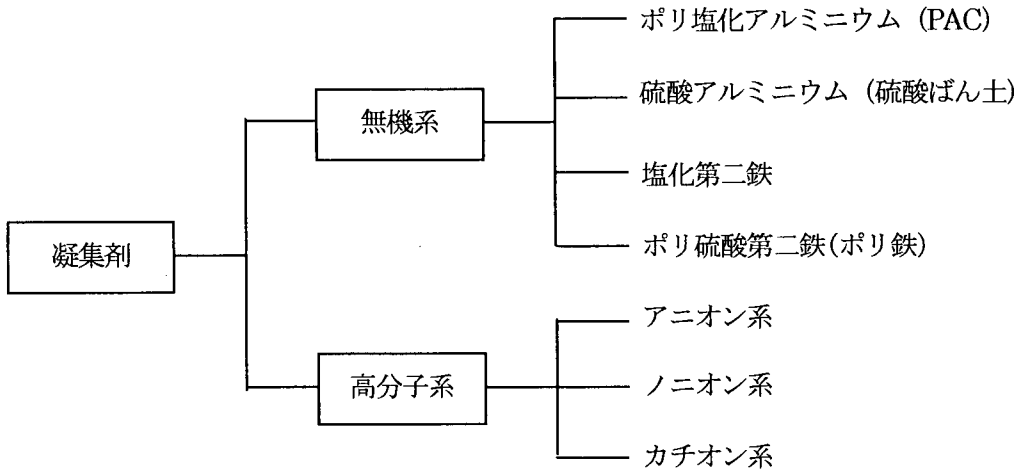


図-7 凝集剤の種類

本技術の適用に際して、高分子系凝集剤を使用した場合、高分子系凝集剤のもつ架橋効果および泥膜による袋材のフィルター効果により以下の効果が得られる。

(1) 排水中の濁度およびダイオキシン類濃度の低下

本技術では、袋からの排水に含まれるダイオキシン類を排水基準値以下に処理するため排水処理施設を設置する場合があるが、排水処理施設への負担を軽減するために、浮遊微粒子を凝集させ袋体内に留めることで袋からの排水のダイオキシン類濃度を低下させておくことが望ましい。

(2) 脱水速度の向上

凝集剤の凝集作用により初期圧密が促進されることで脱水速度が向上する。

(3) コーン貫入抵抗の増加 (図-8 参照)

脱水速度の向上に伴うコーン貫入抵抗の増加は、本工法の適用に際し、次のような利点をもたらす。

- 1) 小型袋を用いた場合には、早期の積上げ、二次運搬、保管が可能となり、脱水処理ヤードのコンパクト化、工期短縮を図ることができる。
- 2) 大型袋を用いた場合には、早期に覆土のための重機作業が可能となり、工期短縮、メンテナンスの省略を図ることができる。

一方、排水処理方法として例えば限外ろ過膜などの膜ろ過を採用する場合には、袋から浸出した過剰な高分子系凝集剤が膜に吸着することによって、ろ過効率が低下することが知られている。したがって、施工ヤードの面積や工期、排水処理施設などの諸条件に応じて最適な凝集剤を選定しなければならない。

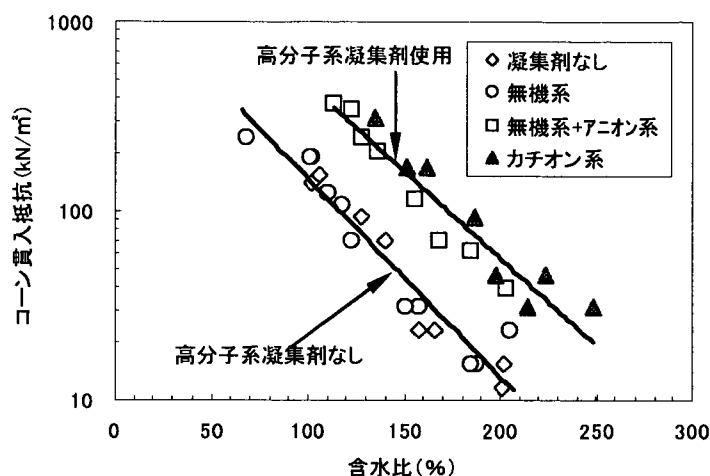


図-8 含水比とコーン貫入抵抗の関係
(霞ヶ浦浚渫土を用いた室内注入実験の例)

これらの条件を満足する凝集剤の種類および添加量を選定するために、事前に凝集剤のジャーテストなどのピーカー試験および土木研究所式加圧ろ過試験（図-9 参照）を行う必要がある。使用する袋材の種類や大きさによっては、ジャーテストにおける最適添加量と加圧ろ過試験における最適添加量（排水量および濁度）は必ずしも一致しないため、ジャーテストにより凝集効果の高い数種類の添加量を選定し、これらについて加圧ろ過試験を実施しなければならない。以上の実験結果や過去の実績から設計者が技術的に判断して凝集剤の配合を決定することとする。

【備考】

高分子系凝集剤の主成分であるポリアクリルアミド合成の際に原料となるモノマー（アクリルアミドモノマー）は強い毒性を有することが知られている。本技術で使用する高分子系凝集剤の添加量は1,000mg/L以下であり、製品中のモノマー含有量、土への吸着、排水処理による濃度低下などを考慮すると、公共水域への排水中に含まれるモノマーは微量であると考えられるが、高分子系凝集剤を使用するにあたっては生態系への影響を含めた十分な検討が必要である。

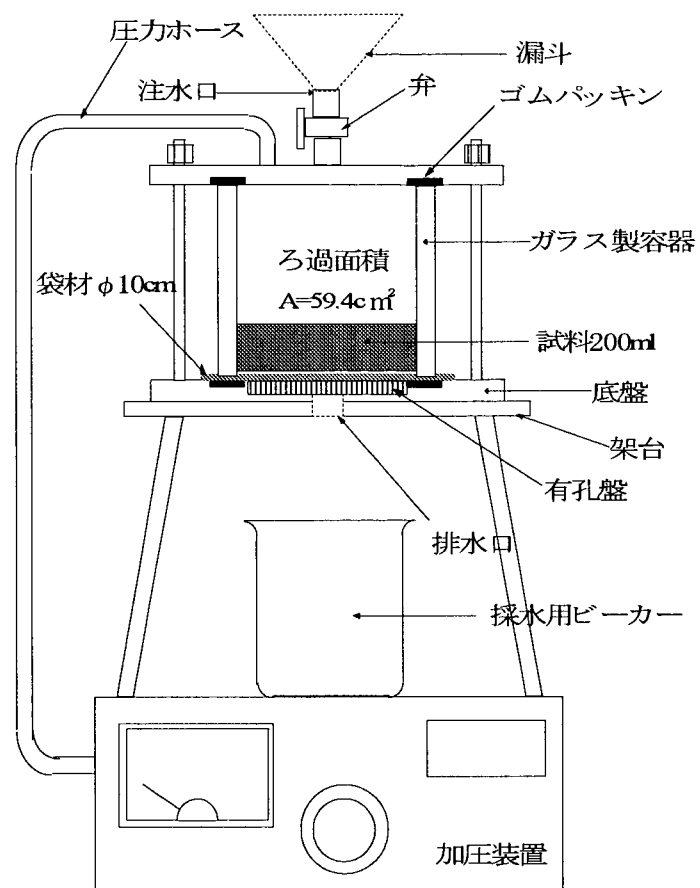


図-9 土木研究所式加圧ろ過試験装置

3-4-5 袋への充填量

ポンプ充填方式は、泥状の高含水土を対象とする。充填時にはポンプの注入圧力が袋材に作用することのないよう充填管理をしなければならない。なお、脱水により減量化した場合は袋が完全に充填されるまで再充填を繰り返すことができる。

バックホウ充填方式は小型袋への充填に用いられる。小型袋は一般に仮置きヤードで脱水処理した後保管場所に二次運搬する場合に用いられるため、充填量や袋の大きさ・形状は運搬や保管地での積上げ方法などを考慮して決定する。

【解 説】

(1) ポンプ充填方式の充填量

本方式が対象とする土質は泥状の高含水土であり、充填途中および充填終了後の脱水による体積減少を考慮しなければならない。ただし、脱水されて体積が減少すると、袋が満杯になるまで数回の再充填が可能である。

1) 充填時の管理高さ

泥状の高含水土を袋へ充填する場合には、その充填量は袋の高さによって管理する。この管理高さは袋にポンプの注入圧力が作用しない範囲での最大高さ（袋材に充填土の自重による引張力のみが働いている状態）、すなわち、限界充填高さ（ H_{lim} ）を安全率（ F_s ）で除したものである。管理高さ（ H_{adm} ）は、袋の「満杯」に関する提案式*)から次式で表される。

$$\begin{aligned} H_{adm} &= H_{lim} / F_s \\ &= (2B_0 / 5.25) / F_s \end{aligned}$$

ここに、 H_{lim} ；充填時のポンプ注入圧力が袋材に直接作用しない最大高さ

H_{adm} ；施工時の安全性を考慮した高さ

B_0 ；袋の初期幅（図・10 参照）

F_s ；安全率（=1.2）

2) 袋への充填量

大型袋を使用した場合、通常 10～50m 程度の長さで用いるが、必要によりそれ以上の長さで用いることもできる。袋への管理充填量（ V_{adm} ）は、充填時の袋の形状を楕円体の下部が切断された形状と仮定して次式で表される*)（図・10 参照）。

$$\begin{aligned} V_{adm} &= 0.87 V_{lim} \\ &= 0.87 (0.247 B_0^2 L_0) \end{aligned}$$

ここに、 V_{lim} ；充填時のポンプ圧力が袋材に直接作用しない最大充填量

V_{lim} ；限界充填高さ（ H_{lim} ）時の充填量（管理充填量）

L_0 ；袋の初期長さ（図・10 参照）

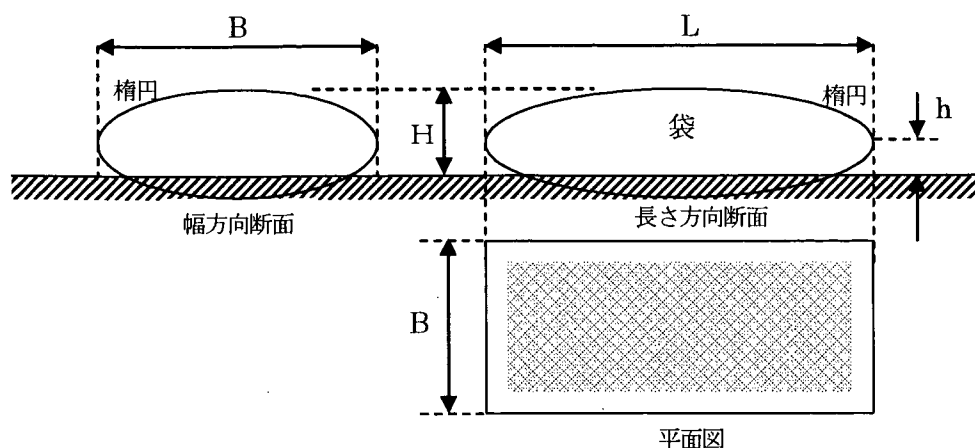


図-10 断面形状の仮定

図-11 に、袋の初期幅が 1～5m の場合の、袋の高さと充填量の関係を示す。袋内の高含水土が脱水して容積を減じると、図-11 によりこの容積に相当する分の粘性土の再充填ができ、より多くの土を充填することが可能である。

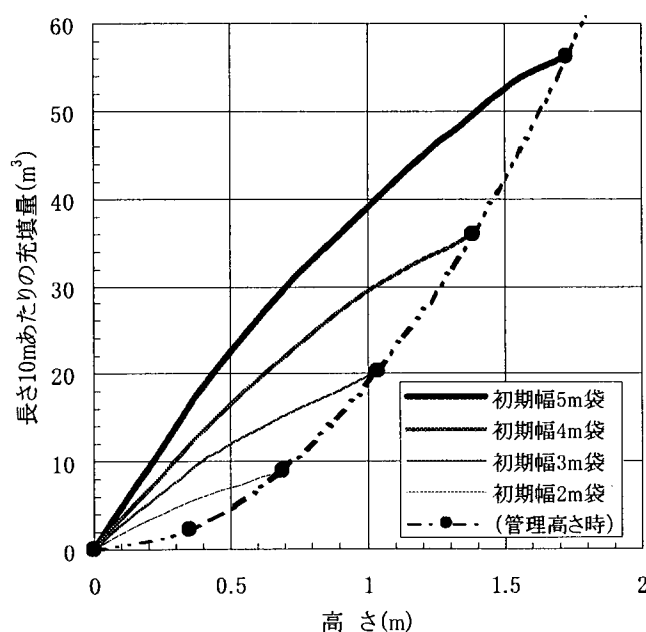


図-11 袋の高さと充填量の関係

(2) バックホウ充填方式の充填量

バックホウ充填方式による充填は、ホッパーなどの計量による容積管理、あるいは、ロードセルなどの計測による重量管理によって行う。重量管理を実施する場合は、事前に袋に充填した締固め状態を想定した湿潤密度試験を行い、所定の容積に相当する重量を求めておく必要がある。いずれの方法を用いる場合でも、過大な充填により袋材の吊り上げ、運搬時に袋材の破損が生じないように留意しなければならない。

なお、バックホウ充填方式の対象となる土質は比較的含水比が低くポンプによる圧送ができない粘性土や砂質土であるが、脱水後の容量は対象土の土質性状によって異なるため事前の土質試験によって予測しておくことが望ましい。

3-4-6 土質特性および土量収支の変化

袋に充填した底質や土壌に含まれる水は、自重圧密により排水される。自重圧密が終了した後も袋表面からの蒸発により含水比が低下する。また、積上げ保管や二次運搬を伴う場合、再充填・圧密などにより体積・重量の変化が生じるので、あらかじめ変化量を設計の際に考慮しておく必要がある。

【解 説】

(1) 含水比の変化

袋に充填した底質や土壌に含まれる水は、自重圧密により排水される。自重圧密が終了した後も袋表面からの蒸発により含水比が低下する。これらの脱水期間における底質や土壌の性質の経時変化は、土質、袋の大きさ、脱水養生期間中の天候などによって異なってくる。

容積 200 リットルの袋材に含水比 600%に調整した霞ヶ浦の底質を充填して室内に放置した時の含水比の変化を図に示す。袋体に充填後 30 日経過時点で含水比は約 200%まで低下し、貯泥池を模擬した合板製土槽(900mm×1,800mm)における自然状態で同じ含水比まで低下に要した日数の 30%程度の日数で脱水が進んだ。

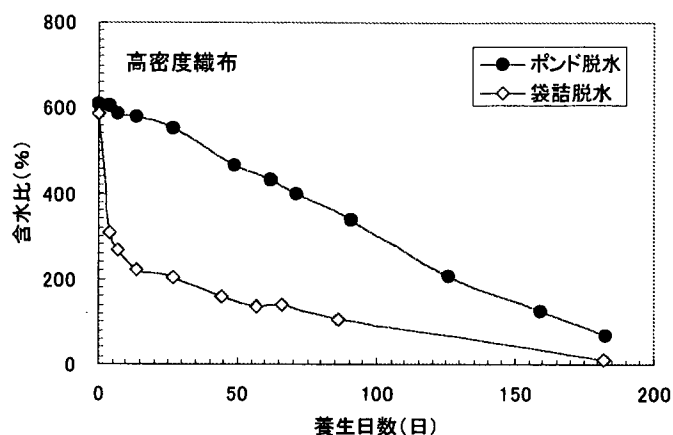


図-12 含水比の経時変化

(2) コーン貫入抵抗の変化

含水比の低下に伴ってコーン貫入抵抗の増加がみられる。

容積 200 リットルの袋材に含水比 600%に調整した霞ヶ浦の底質を充填して室内で養生した時のコーン貫入抵抗の変化を示す。凝集剤を使用したケースでは袋体に充填後 50 日経過時点でコーン貫入抵抗は約 50kN/m²を示したが、土槽における自然状態(ポンド脱水)では脱水が進んでいないためコーン貫入抵抗の測定が不可能であった。

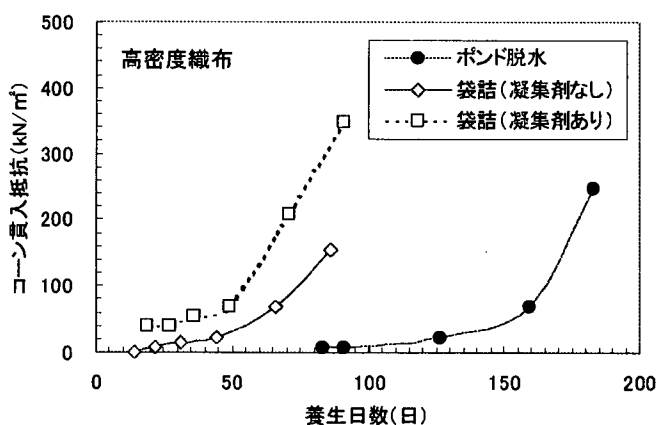


図-13 コーン貫入抵抗の経時変化

(3) 重量の変化

袋に充填した底質や土壌の脱水量 q (m³)は、目標とする含水比を設定することにより、次式で求めることができる。

$$q = V_{\text{adm}} \{ (e_o - e_f) / (1 + e_o) \}$$

ここに、 V_{adm} ：袋への充填量 (m³)

e_o ：充填時の初期間隙比($= \rho_s \cdot W_o / 100$)

e_f ：脱水後の間隙比($= \rho_s \cdot W_f / 100$)

ρ_s ：土粒子の密度

W_o ：充填時の初期含水比

W_f ：脱水後の含水比

脱水量 q の体積は重量減少分に等しいので、この式から重量の変化を求めることができる。なお、初期含水比に関しては、流動性を持たせるために対象土に加水することがあり、この場合は加水後の含水比となる。また脱水後の含水比は、処理土を数ヶ月放置する場合は天日乾燥後の含水比となる。

(4) 体積の変化

脱水後の処理土の体積は目標とする含水比を設定することにより、次式で求めることができる。

$$V_f = \frac{(m_f - q) \times \left(\frac{1}{\rho_s} + \frac{w_f}{S_r} \right)}{1 + w_f / 100}$$

ここに、 V_f ：脱水後の袋の体積 (m³)

m_f ：充填時の袋の体積 (m³)

q ：脱水量 (m³)

ρ_s ：土粒子の密度

W_f ：脱水後の含水比

S_r ：脱水後の飽和度

ただし、飽和度が100%を下回る場合はこの式は適用できないので、収縮限界試験より推定する。

3-4-7 袋に働く引張力の算定

袋に底質や土壌を充填する際に袋材に引張力が発生する。過大な引張力は袋材の破損につながるため、袋に働く引張力については事前に検討を行い、限度を越えた引張力が袋材に働かないように、袋への充填量など決定する必要がある。

【解 説】

本技術で用いられる袋には大別して大型袋と小型袋の2種類あるが、袋の大きさによって引張力の考え方がやや異なるので、それぞれの引張力については異なる方法で検討を行う。

(1) 大型袋の場合

底質や土壌を充填した大型袋を積み重ねて、盛土状に保管する場合、以下に示す作業工程で袋材に引張力が発生する。

○ 充填時に袋材に作用する引張力

袋に底質や土壌を充填すると、その自重により袋材に引張力が発生する。この袋体に発生する引張力を膜モデルのFEM解析により求めた。図-14は、単位体積重量が $11\sim 14\text{kN/m}^3$ の粘性土を袋に充填した際の袋の大きさと袋材に必要な引張強度との関係を示している。ただし、安全率は袋材の異方性、縫製部の強度低下、クリープの影響などを考慮して $F_s=5$ としている。この図を参考に袋材を選定する。

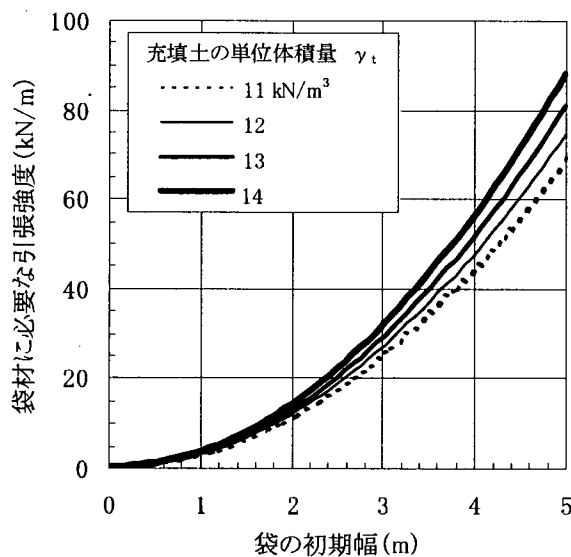


図-14 袋材に必要な引張強度

(2) 小型袋の場合

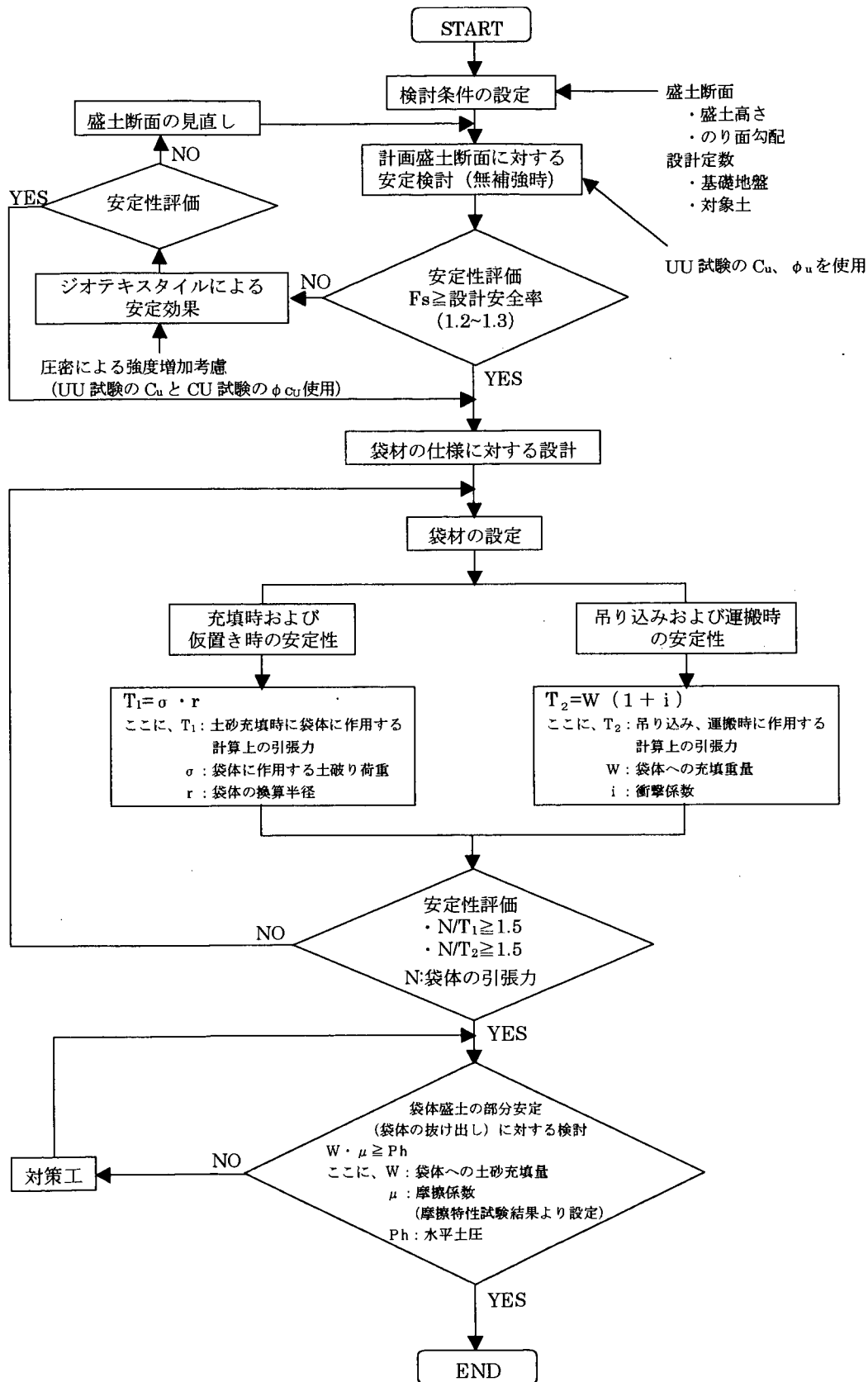


図-15 袋体積み重ね設計フロー（小型袋）

1) 充填時および仮置き時

袋体への充填時および仮置き時には、充填土の重量（自重）により袋材には円周方向に引張力 T_1 が作用する。

袋材に作用する引張力は、袋材に均一な内圧（袋体下端部での土被り荷重）が作用する円筒シェルと仮定して、下式より算定する。

$$T_1 = \sigma_v \cdot r$$

$$= \gamma_t \cdot H \cdot r$$

ここに、 T_1 ：袋材に作用する引張力

σ_v ：袋体下端での土被り荷重

γ_t ：充填土砂の単位体積重量

H ：袋への充填高さ

r ：袋体の換算半径

2) 袋体の運搬・吊り込み時

袋詰脱水処理土を運搬し、所定の場所に吊り込んだり、あるいは所定の盛土形状に積み重ねる場合には、図-16に示すように、充填土の自重により袋材には鉛直方向（重力方向）に引張力 T_2 が作用する。

袋材に作用する引張力は、袋体の運搬、吊込み作業時に吊り込み部分が片利きとなることや、また運搬時の衝撃などを考慮して設定する。

$$T_2 = W \cdot (1+i) / L$$

$$= \gamma_t \cdot V \cdot (1+i) / L$$

ここに、 T_2 ：袋材に作用する鉛直（重力）方向の引張力

W ：袋に充填する対象土の重量（脱水後）

γ_t ：対象土の単位体積重量

V ：袋への充填土量

i ：衝撃係数（=0.3）

L ：袋体吊込み部分の長さ・運搬・吊り込み作業時の袋体の安定性（バランス）を考え、荷重が吊り込み部分の片側のみに作用するものとして、袋体吊り込み部分の長さの $1/2$ とする。

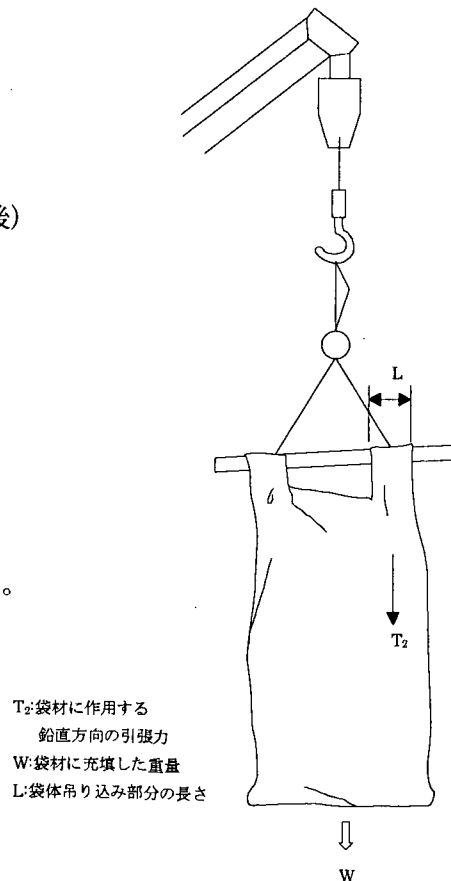


図-16 運搬・積込み時に発生する袋体の引張力

3) 袋体盛土の部分的安定検討

袋体を所定の盛土形状（完成形）に積み重ねた場合には、積み重ねた袋体が背面の押し出し力（水平土圧）に対して抜け出すかどうかの部分的な安定検討を行う。

$$W \cdot \mu \geq P_h$$

ここに、 W ：抜け出しを検討する袋体上部の重量

P_h ：抜け出しを検討する袋体に作用する押し出し力（水平土圧）

μ ：袋体間の摩擦係数（＝0.35～0.45）※

なお、計画盛土断面や袋材の引張強度を考慮した補強盛土工（ジオテキスタイル補強土盛土）としての安定検討については、「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 改訂版（平成12年2月（財）土木研究センター）」※を参考にされたい。

3-5 排水処理工

袋からの排水や作業用水などについてはダイオキシン類を含む可能性があるため、適切な排水処理を行い、設定された基準以下になったことを確認して放流する。

【解 説】

袋体からの排水、作業用水等にはダイオキシン類が含まれるため、それを処理するため排水処理施設を設ける必要がある。

一般的にダイオキシン類を含む排水の処理手法としては、「凝集剤などによる凝集沈殿」、「砂などによるろ過」、「活性炭などによる吸着」、「紫外線などによる化学分解」などが存在する。排水処理施設の計画に当たっては、下記の事項に留意し処理手法の選択及び設計を行う必要がある。設計した排水処理施設が有効であるかどうか、処理試験を行い確認することが望ましい。

- 1) 排水量： 袋からの排出量とともに洗浄水などの作業用水量
- 2) 排水成分： ダイオキシン濃度、油分、SS、pH など
- 3) 放流濃度： 水質汚濁防止法その他の排水基準とともに、必要な場合は地方自治体の環境部局との協議を行って放流水濃度を設定

ダイオキシン類は環境省の定める方法で測定すると一ヶ月程度の期間が必要であることから、施工現場において迅速に測定結果が必要な場合は、簡易分析法や代替指標などを利用することにより、処理水が放流水濃度を超過しないことを確認する必要がある。

さらに、安定した泥膜が形成されていない初期の段階では、袋体からの排水中に含まれるダイオキシン類が大きくなりがちである。このような場合、初期の排水を再度貯泥ポンドに戻し、袋体に再注入することで排水のダイオキシン類濃度を低下させることが可能であることが確認されている。

3-6 保管工

袋詰脱水処理土は、そのダイオキシン類含有量に応じた保管手法を行い、汚染の拡大を防止するとともに適切な保管場所を選定して保管する。

【解 説】

袋に充填された底質や土壌のダイオキシン類含有量に応じて、保管手法を選定する。

(1) 150pg-TEQ/g 以下

環境基準を満たすため、特に留意点なし。

(2) 150pg-TEQ/g 超過、1,000 pg-TEQ/g 以下

保管するにあたり、平水位以上に保管するとともに、①紫外線による袋材の劣化、②外力による袋の破損が生じないように覆土やセパレートシート（ビニールシートなど）により保護する措置を行う。なお、覆土については上記の機能が確保される厚さ以上とする。

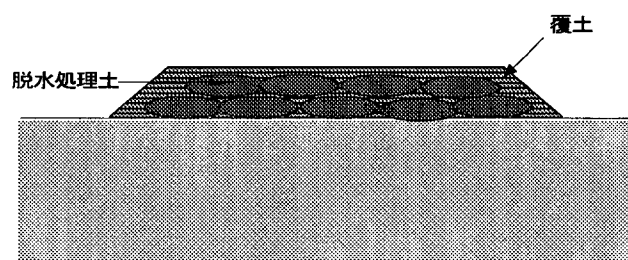


図-17 覆土による袋材劣化防止措置

(3) 1,000 pg-TEQ/g 超過

「建設工事で遭遇するダイオキシン類汚染対策マニュアル(案)」を参考に併用する汚染拡大防止措置の選定を行う。

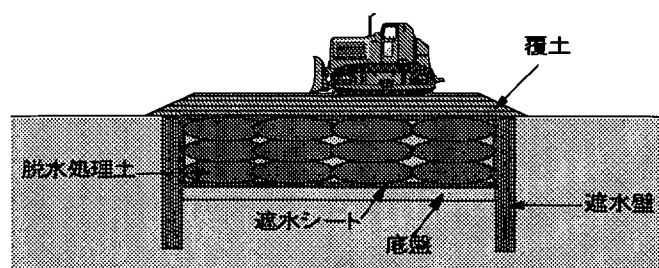


図-18 汚染拡大防止措置の一例

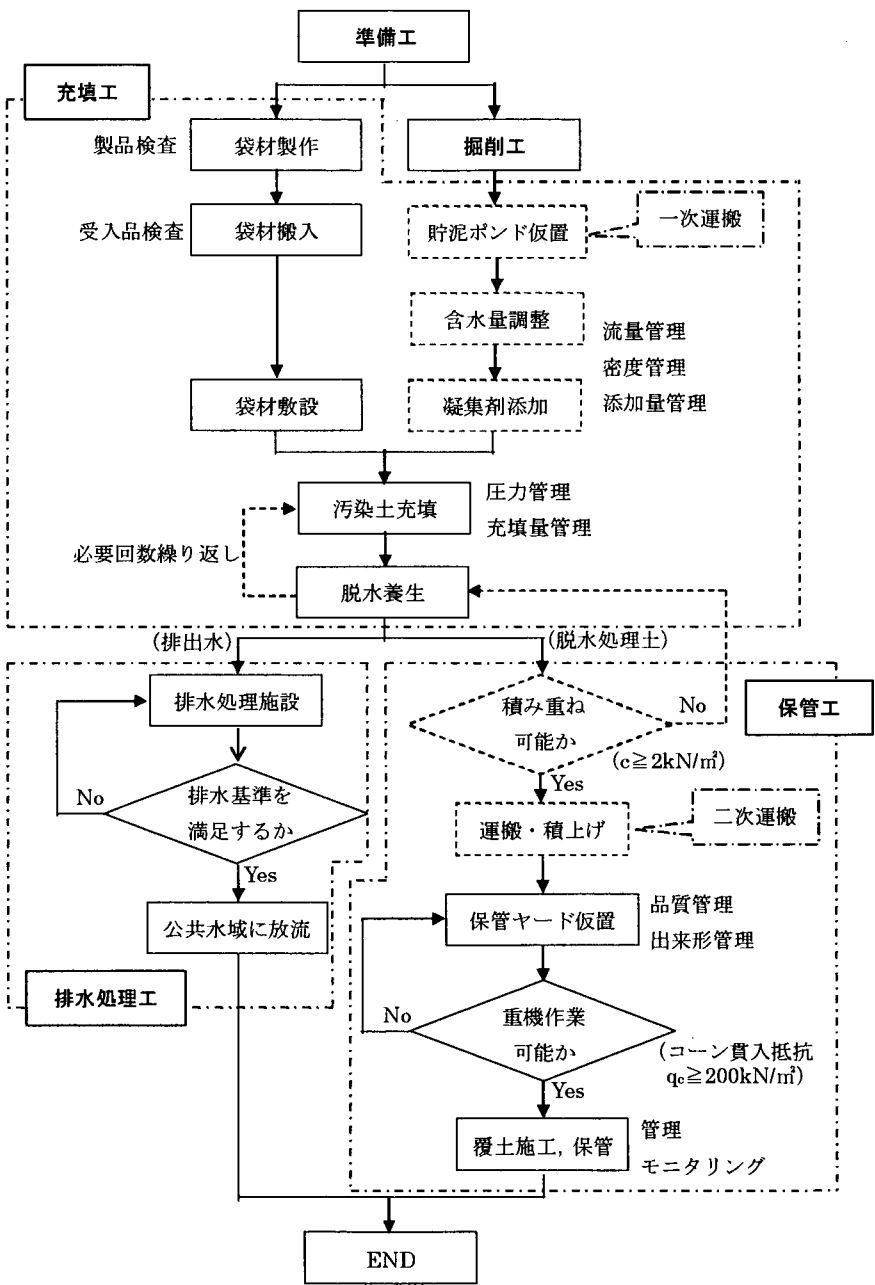
第4章 施工

4-1 概要

施工は主として準備工、掘削工、充填工、排水処理工、保管工について行う。なお施工にあたっては、それぞれの工程におけるダイオキシン類汚染の拡大防止に努めなければならない。

【解説】

(1) 袋詰脱水処理工法によるダイオキシン類汚染土壌封じ込め処理フロー
袋詰脱水処理工法の標準的な施工フローを図-1に示す。



注) 点線部については、必要に応じて実施

図-1 袋詰脱水処理工法の施工フロー

(2) 掘削工

汚染土の掘削工は、ポンプなどによる浚渫工(底質)とバックホウなどによる陸上掘削工(土壌)に分類できる。

(3) 充填工

袋詰脱水処理工法の施工法は、ポンプ充填方式とバックホウ充填方式の2種類に大別できる。

a. ポンプ充填方式

対象土がポンプ圧送できる場合は、サンドポンプやスラリーポンプなどで充填する。小型および大型両方の袋に適用可能であるが、大型袋を使用した方が効率的である。

b. バックホウ充填方式

対象土の含水比が比較的低く、ポンプ圧送ができない場合には、バックホウなどで袋に充填する。この場合、運搬や積上げなどの作業性から、1袋当たりの容量が1m³程度の小型袋が対象となる。

(4) 排水処理工

袋詰脱水における排水処理工は、袋からの排出水を1箇所を集めるための集水施設と濁水の処理施設とに分類できる。

(5) 保管工

雨水処理対策および袋の破損などによるダイオキシン類汚染土壌の暴露を防止するため、袋に充填された底質や土壌のダイオキシン類含有量に応じて、保管工を施工する。

4-2 準備工

4-2-1 準備工および汚染拡大防止対策の概要

ダイオキシン類に汚染された底質及び土壌の袋詰脱水処理工法の施工にあたり、準備工は特に汚染の拡散防止、作業員の安全確保に配慮したものとしなければならない。

【解 説】

袋詰脱水処理を行う場合の準備工の留意点を以下に示す。

① 工事準備測量

施工方法や適用場所によって充填ヤード、仮置きヤード、送泥・充填設備ヤード、施工ヤードなどの用地が必要になる。このため、工事準備測量を行って設計図書と現地の地形や広さなどとの関係を把握したうえで、施工計画を立案しなければならない。

② 工事用道路

工事用道路は、工事を実施するために必要とされる機械、資材、および処理土を搬送するために必要な道路であり、工事の成否を左右する。ポンプ圧送による充填方式や小規模で運搬土量が少ない場合は問題となることは少ないが、処理土を大量に運搬する工事では特に注意しなければならない。表層が軟弱で工事用車両の移動が困難な場合には、鉄板の敷設や砕石等の敷均し、あるいは安定処理などの対策を行う。

上記の留意点に加えて、ダイオキシン類に汚染された底質および土壌を対象とした袋詰脱水処理工法の施工に当たっては、周辺への汚染拡大防止、作業員の安全確保と共に、近隣住民への不安感の解消・低減のための配慮が必要である。

(1) 周辺環境への汚染拡大防止

① 排水の作業ヤード外への汚染拡大防止措置

脱水処理に伴う排水や作業用水、降雨による排水が漏出しないように作業ヤード周囲に排水溝を整備する。また、排水溝は万一の袋体や充填管の破断に対応できる機能を有することが必要である。排水溝によって集水された排水は、排水処理施設によって処理もしくは原泥槽に還流する。一方、土の粉塵対策として散水などを行う。

② 仮囲い

工事現場内への第三者の立ち入り防止、工事範囲の明確化などへの配慮のため、工事現場の仮囲いが必要である。仮囲いは、泥水や排水の飛散防止のための適切な高さを設定する。

(2) 工事用車両等による汚染拡散防止

工事現場に出入りする車両のタイヤや建設機械の車体などによって汚染土壌が場外に拡散することがないように、工事現場出入り口付近に洗車装置を設けなければならない。

(3) 作業員の安全確保

作業員へのダイオキシン類の暴露防止策を検討し、必要な場合は労働基準監督署と協議する。

① 安全衛生教育

作業を行うにあたっては、保護具の使用、粉塵の飛散防止措置等についての知識、経験を有する者を配置して、作業員の指揮にあたらせるほか、作業開始前にダイオキシン類の危険性、保護具の使用法および作業方法について教育を行う。

② 保護具

作業に当たっては、防塵マスク、防護メガネ、手袋、靴等の保護具および長袖作業服等を装着させなければならない。作業服および保護具の脱着は所定の更衣場所にて行い、使用した作業服・保護具は更衣場所から汚染された状態で持ち出してはならない。

(4) 浚渫工

浚渫作業は、事前に濁りの拡散低減効果のある汚濁防止膜などを施工区域に設置する。また、作業中は監視人を配置し、飛散や逸泥事故防止対策を講じる。

(5) 機材の安全確保

ポンプ充填の場合などで送泥管の継手から汚染土が流出することがないように、継手部は確実に連結しなければならない。

(6) 充填工

計画された充填量を超えて充填して汚染土壌が袋から溢れ出たり、袋が破断しないように注意しなければならない。また、充填が終了した袋体の充填口は、内部の汚染土壌が流出しないように確実に止めなければならない。また、作業場所周囲には逸泥事故対策として排水溝や逸泥防止壁などを設けることが必要である。

(7) 排水処理

排水施設に集水された水は、排水等に定められた基準値以下にして排出する必要がある。

(8) 袋材の破損・劣化防止

袋材は化学的に安定した合成繊維であるが、紫外線により強度が劣化するため、所定の保管場所に保管されるまで長期間紫外線に暴露することが懸念される場合は、シート等によって紫外線遮蔽措置を講ずることが望ましい。また、施工中に袋が破損した場合の対応については「4-4-1

1 ポンプ充填方式(4) 作業上の留意事項」を参照のこと。

4-2-2 地表面処理

施工場所の地表面は、汚染土を充填した袋が破損及び移動・荷崩れしないように段差や勾配および突起物のない平坦な状態にするとともに、周辺地盤へのダイオキシン類による汚染拡大の防止のため排水処理を講じなければならない。

【解 説】

(1) 表土処理

袋は織布を素材とするものであり、地表に突起物や異物があると破損して充填土が流れ出す恐れがある。このため、草木、切株、尖った礫などの突起物やガラス片、空き缶など袋体を傷つける恐れのあるもの除去が必要である。また、汚染拡散防止の観点から、原地盤上に遮水シートなどの遮水措置や袋破損による逸泥事故に備えた防護壁などを施すことが望ましい。

(2) 段差・勾配処理

流動性を呈するような高含水比土が充填されている袋体は、地盤に段差や勾配があると安定が損なわれて移動したり、局所的な応力集中による袋材の破断が懸念される。このため、袋体の設置場所は段差や勾配のないよう平坦にすることが望ましい。

4-3 掘削工

4-3-1 浚渫工

袋詰脱水処理をする土量、施工場所、仮置きヤードおよび貯泥ポンドの有無等、現地の条件に対して適切な浚渫工を実施する。

【解説】

(1) 充填工の条件

①貯泥ポンドの有無

浚渫土の貯泥ポンドが確保できない場合は、袋への充填能力と同等の施工能力の浚渫船を採用する必要がある。その場合、浚渫船内での浚渫土の含水比低下が見込めないため、高濃度浚渫を採用することが望ましい。また、貯泥ポンドの機能をかね、1日の浚渫土量分のバージ船を2隻用意し、浚渫用と袋詰用で交互に利用できることが望ましい。

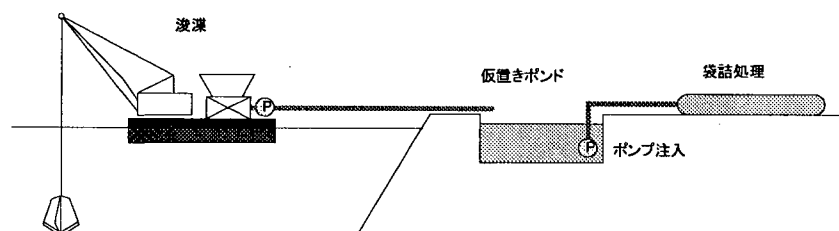
②施工ヤード

施工ヤードの場所によっては、土砂をバージ船などで輸送できない場合がある。

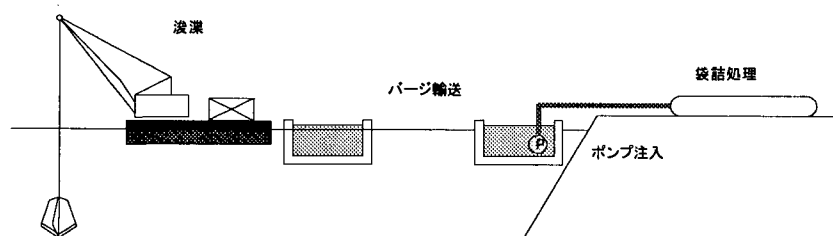
(2) 施工方法

底質の浚渫から、充填までの工程には以下の3ケースが考えられる。

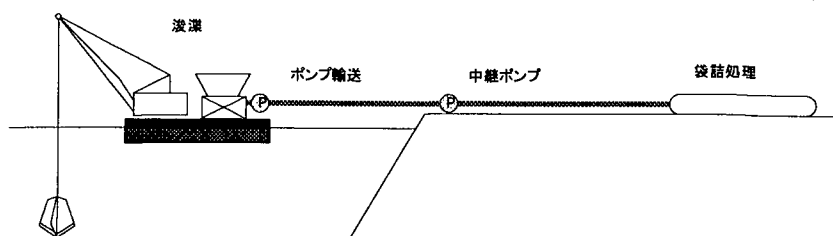
①浚渫→仮置きポンド→ポンプ輸送→袋詰



②浚渫→バージ輸送→ポンプ輸送→袋詰



③浚渫→ポンプ輸送→袋詰



(3) 施工上の注意

浚渫対象土の中にはビン、カン等の異物が混入していることがある。これらが混入していると充填工において袋や圧送ポンプを破損する原因となるため、スクリーン、振動ふるいなどを使用して事前に排除しておく必要がある。この場合のふるい等の目の寸法であるが、泥水ポンプの場合はポンプエンペラの寸法から、コンクリートポンプはピストンシリンダ寸法から決まるポンプ圧送可能な異物の大きさを考慮して決定する。なお、ポンプを通過した異物が袋を破損したケースはこれまでに報告されていない。

4-3-2 陸上掘削工

陸上部においてダイオキシン類に汚染された地盤を掘削除去する作業に際しては、作業の安全および周辺環境への汚染の拡大防止のための適切な措置を講じなければならない。

【解 説】

(1) 汚染状況の確認

一般焼却灰や産業廃棄物の埋立て跡地や閉鎖工場跡地などの陸上部におけるダイオキシン類汚染の可能性のある場所は、汚染深度が深かったり、場所によって汚染濃度が異なったりする。さらにダイオキシン類以外の汚染物質をも含む場合もある。したがって、事前に汚染範囲や濃度、汚染物質等の状況を十分調査して対策の必要な範囲を把握しておくことが重要である。

(2) 掘削土の前処理

陸上掘削の対象となる埋立て跡地などには、袋材を破損する恐れのあるガラス片、金属片、コンクリートガラ、先の尖った木片などが混入していることがあり、そのような場合にはスクリーンや振動ふるいあるいは磁選機などにより充填前に夾雑物を除外しておく必要がある。

(3) 作業の安全および周辺環境への汚染の拡大防止

陸上における掘削・袋詰脱水作業は、第三者の立ち入り防止、建設機械による汚染の拡散防止および作業員の安全確保に関して適切な措置を講じなければならない（「4-2 準備工」参照）。また、陸上における本工法の対象となるダイオキシン類汚染土壌は、一般に湿地や地下水位以下等の高含水土壌であり、作業に伴ってダイオキシン類を含む排出水が予想されるため、適切な排水処理設備を設置して処理した後に放流しなければならない。さらに、対象土の汚染濃度によっては必要に応じて掘削範囲に覆いを設けるなどして風雨による汚染拡散防止を図らなければならない。

(4) 掘削後の確認

ダイオキシン類汚染土壌を掘削した後、対策必要範囲を完全に掘削除去したことを確認する必要がある。

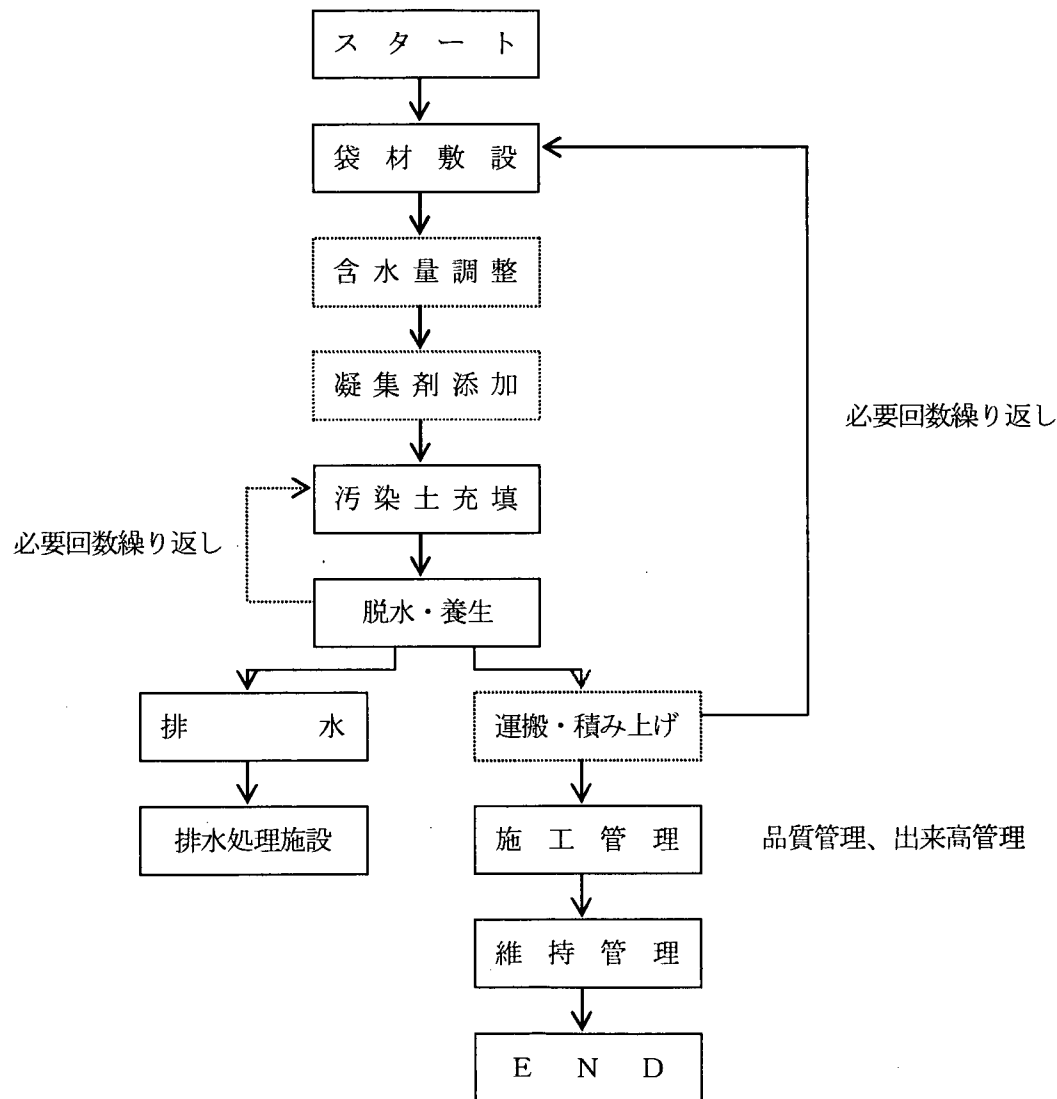
4-4 充填工

4-4-1 ポンプ充填方式

対象土が高含水の場合、ポンプ圧送によって袋体に充填することができる。ポンプ充填方式の場合、1袋 1m³程度の小型袋から1袋百数十 m³ 充填可能な大型袋まで適用できる。充填に当たっては「3-4-5 袋への充填量」を参考にして充填量の管理を行う。

【解説】

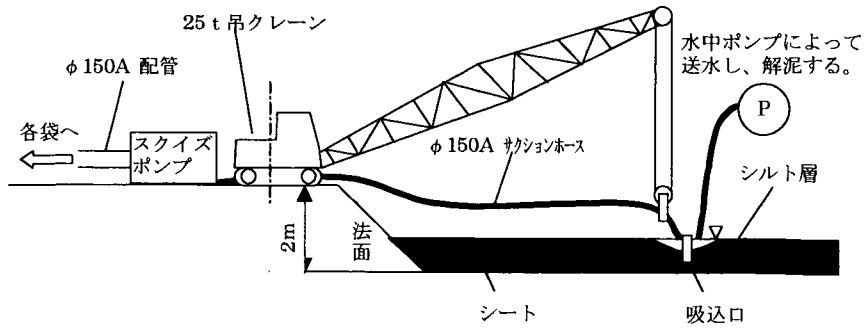
(1) ポンプ充填方式の作業フロー



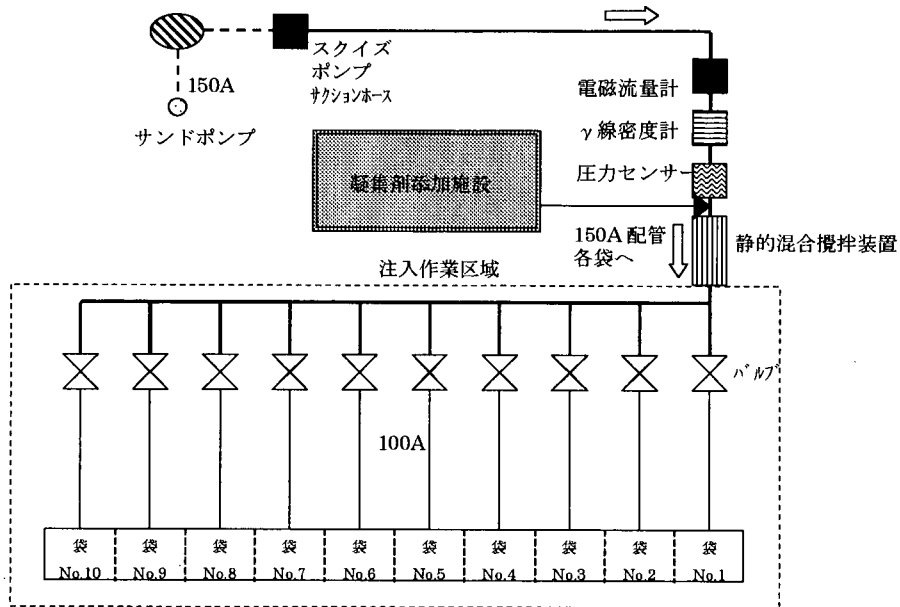
注) 点線部については、必要に応じて実施

図-2 ポンプ充填方式の施工フロー

(2)大型袋への充填作業例



設備側面図



設備平面図

図-3 設備配置図

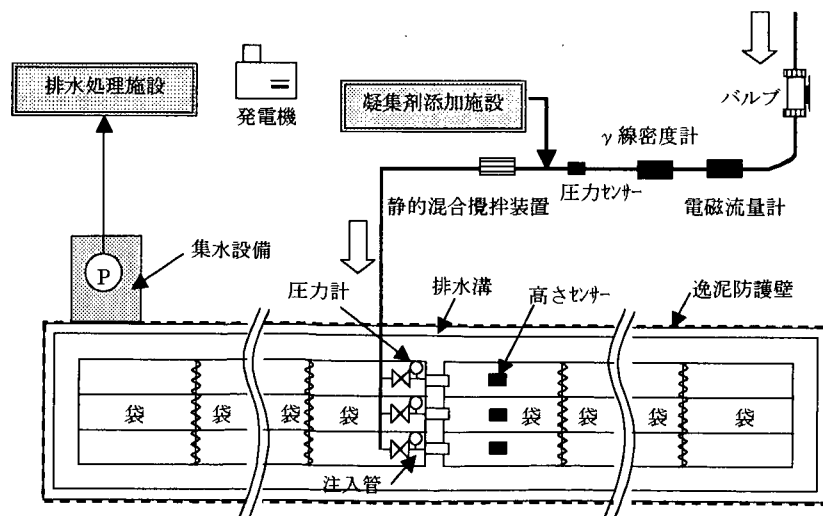


図-4 充填設備例

(3) 都市河川における充填・脱水処理例

都市部の河川等、脱水処理ヤードが確保できない地域での脱水処理は、河川敷内に作業構台を設置して作業床とすることなどが考えられる。このような場合は、作業中のトラブル等によって袋体から漏出した汚染土や排出水が河川に流入することのないように、コンクリートなどによる逸泥防止壁および作業床には遮水シートなどを施す等の汚染拡散防止対策を講じなければならない。その例を以下に示す。

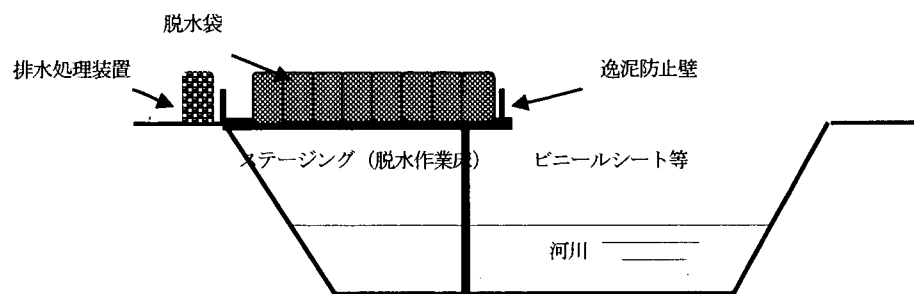


図-5 都市河川における充填・脱水処理例

(4) 作業上の留意事項

1) 対象土の前処理

浚渫土を対象土とする場合、礫やビン、カン、木材その他の夾雑物が混入していることがある。これらが混入していると、充填時に袋やポンプの破損および積上げ時に袋を破損させることがあるので、電動スクリーンや振動ふるいあるいは磁選機などを使用して事前にこれら夾雑物を排除する必要がある。

2) 袋材の補修

袋体の取扱いに際しては破損防止に十分留意しなくてはならない。万一破損箇所が発生した場合、直ちにポンプを止めて、破損が小規模なうちに水膨張性のシール等を使用した補修材などで補修を行う。

3) 使用ポンプ

ダイオキシン類に汚染された高含水の粘性土を対象とする場合、袋体からの排水中の濁質(SS)の排出をおさえることが重要となる。ポンプ充填方式の場合、袋体からの濁質の排出は主としてポンプ圧送による袋体内の泥土の動き、乱流、袋体の振動や衝撃などによって発生する。従って、ダイオキシン類に汚染された泥土を充填する場合は、極力注入時の脈動の少ない形式のポンプを使用することが望ましい。

4) 凝集剤の添加

凝集剤の効果は、施工時の攪拌条件により大きく異なる。特に、泥土の輸送管の中に直接凝集剤を添加し管内で混合する方法においては、攪拌を良好に実施するための十分な管路長が必要である。また管路長が十分に確保できない場合は、管内に静的混合攪拌装置を設置するなど、攪拌を効果的に行うための工夫が必要である。

いずれにしても、管内での凝集剤の攪拌状況については室内試験では把握することが困難であるた

め、施工にあたっては、所定のフロックを得るための凝集剤の最適添加量と添加位置、流速、管径などを、現地で有効に機能するか確認しておく必要がある。

5) 充填量の管理

充填量の管理において、限界充填高さ (H_{lim}) を越えて充填するとポンプの圧送圧力が直接袋材への張力となって作用し、袋が破断するおそれがある。したがって、袋への充填量の管理は慎重に行なわなければならない。(「3-3-4 袋への充填量」参照) また、配管経路上に電磁流量計、 γ 線密度計等を設けて注入量の把握を行うとともに、圧力センサーを取付けて過剰な内圧が袋に作用しないように制御することが望ましい。

6) 再充填の実施

脱水に伴って減量化した後に、袋が完全に充填されるまで何度でも再充填可能である。その際、初回の充填時と同様に行う。

7) 積上げ時期

袋体の積上げ時期は、袋体に作用する上載荷重や抜け出しなどに対する安定性を考慮して決定する。袋体の積上げに際しては、袋体を構成しているジオテキスタイルによる補強効果も期待できるが、この補強メカニズムに関しては現在研究段階であり、明確なことは不明である。しかし、これまでに袋体を積上げた実績では、対象土のコーン貫入抵抗はいずれも 100 kN/m^2 (1 kg f/cm^2) 程度であり、それで特に袋体の破損などの問題は生じていない。

4-4-2 バックホウ充填方式

対象土がポンプ圧送できない場合は、バックホウなどを使用して充填する。バックホウ充填方式の場合は、主として1袋1m³程度の小型袋を適用するが、充填に当たっては「3・3・4袋への充填量」を参考にして充填量の管理をしなければならない。また、周辺へのダイオキシン類の拡大がないように、施工を行う必要がある。

【解 説】

(1) バックホウ充填方式の作業フロー

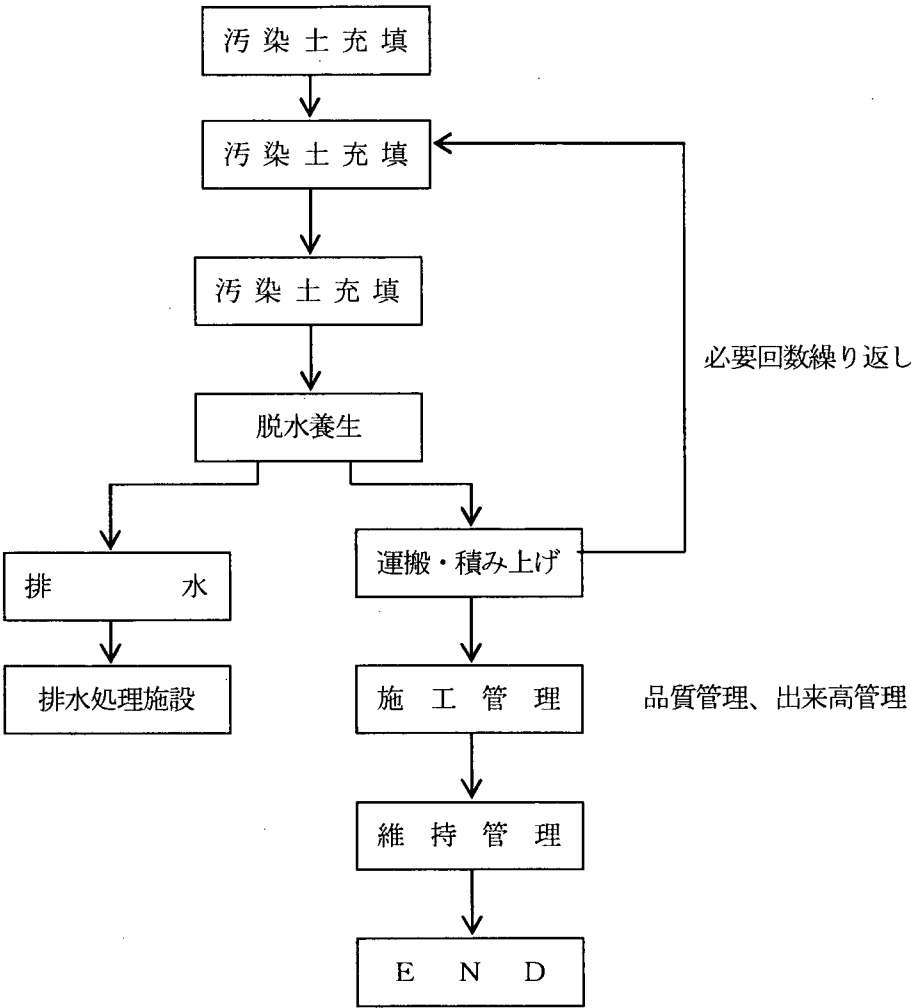
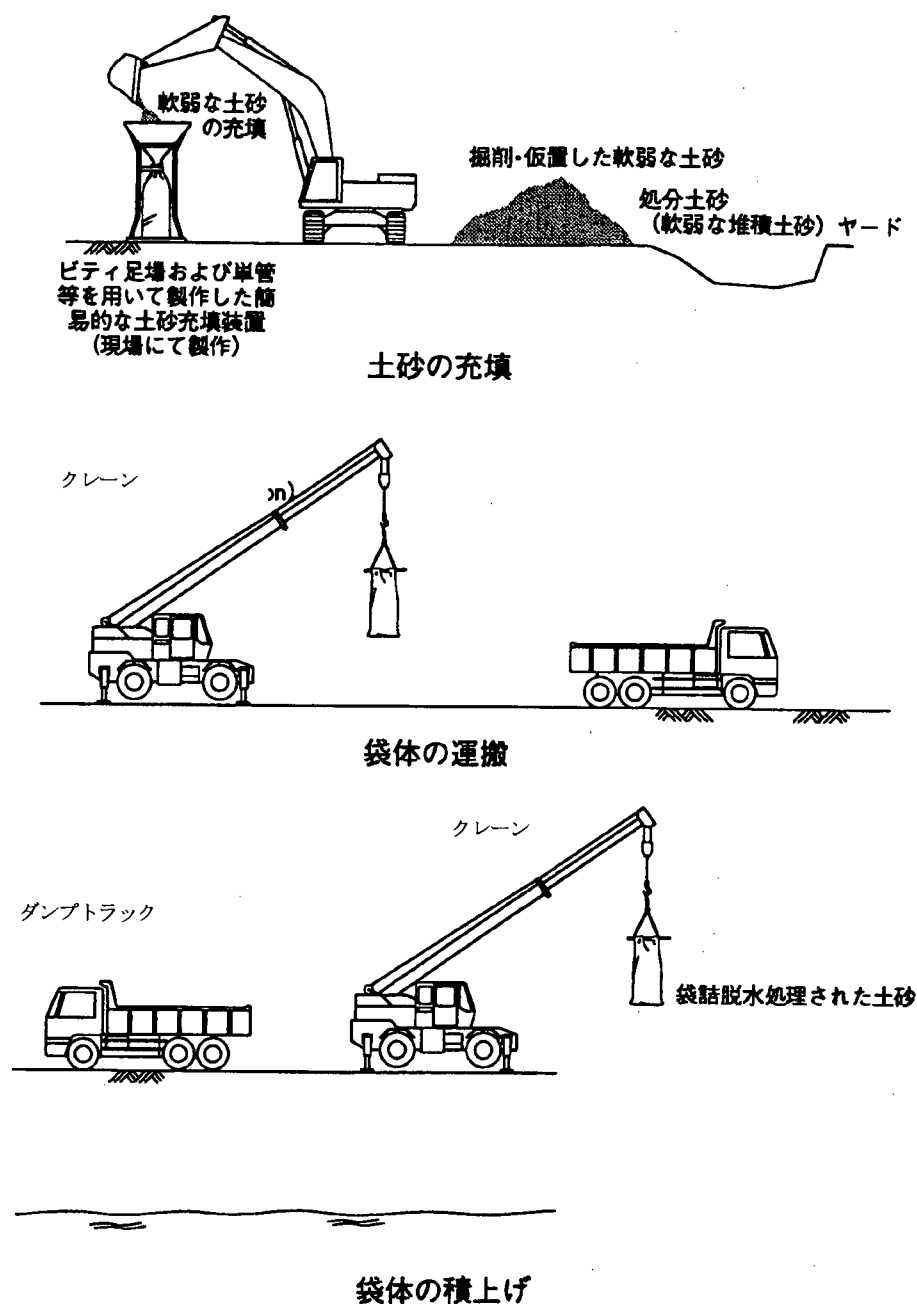


図-6 バックホウ充填式の施工フロー

(2) 袋への充填

袋への充填は、一般に土砂ホッパーやコンクリートホッパー等を用いてバックホウなどにより行う。



図・7 陸上掘削の場合の施工機械・設備の配置

(3) 脱水処理

充填土は、レッカーあるいはクレーンなどにより脱水ヤードに運搬する。運搬の際に、土粒子の飛散およびダイオキシン類を含む排出水により汚染が拡大しないよう留意する必要がある。

(4) 二次運搬

脱水ヤードと保管ヤードの場所が異なる場合は二次運搬の必要があるが、その場合は以下の点に注意が必要である。また、二次運搬の時期については、「(5) 施工上の留意点 4) 積み上げ時期」を参照。

- ① 運搬は専用車を使用する。
- ② ダイオキシン類汚染濃度が $150\text{pg}\cdot\text{TEQ/g}$ を超過、 $1,000\text{pg}\cdot\text{TEQ/g}$ 以下の場合は土壤の環境基準以下ではあるが、飛散防止のためのシートで覆うなどの処置の後、クレーンあるいはダンプトラックに積み込んで保管場所に運搬する。
- ③ ダイオキシン類汚染濃度が $1,000\text{pg}\cdot\text{TEQ/g}$ を超過する場合は土壤の環境基準以上であるため、飛散防止のためのシートで覆うとともにパレットやコンテナ等で保管地もしくは最終処分地へ輸送することが望ましい。なお、運搬にあたっては周辺自治体への連絡・通知を行い、自治体の環境部局の指示に従うものとする。

(5) 施工上の留意点

1) 袋への充填量

計画土量以上の充填量とならないように充填量管理を行う必要がある。計画土量以上の土量を充填した場合、袋材には設計値以上の引張力が作用するため、袋体の安全性が懸念される。このため、ロードセルなどを使用した重量管理やホッパなどを利用した土量管理をするなどして、充填管理を行う。また、充填時に、荷重の偏心等で吊り込み部分の一部に応力が集中すると、袋体の破損の原因となるため、十分に注意する。

2) 仮置き・脱水

脱水期間は利用用途によって異なるが、用地の制限などにより段積みにして仮置き脱水する場合には、上載荷重（段積みした袋体）により下段の袋体に引張力が作用するので、事前検討が必要である。

3) 運搬・吊上げ作業

運搬・吊上げ作業は、できるだけ袋体への衝撃を小さくすることが望ましい。吊上げ作業中に衝撃を与えると、袋体や袋体吊り部分に必要以上の荷重が作用して、破損することがある。またクレーンなどで斜めに吊上げると、袋体に引裂き力が作用して破損することがある。

4) 積み上げ時期

袋体の積み上げ時期は、袋体に作用する上載荷重や抜け出しなどに対する安全性を考慮して決定する。積み上げに際しては、袋体を構成しているジオテキスタイルによる補強効果も期待できるが、この補強メカニズムに関しては現在研究の途上であり、明確なことは不明である。なお、これまでに袋体を積上げた事例では、対象土のコーン貫入抵抗はいずれも 100kN/m^2 (1kgf/cm^2) 程度であり、それで特に問題は生じていない。

5) 据付け作業

据付作業は、クレーンなどによって行い、袋体の積み方は一般に谷積み形式とする。また、袋体の大きさや形状にばらつきがみられる場合には、砂等で適宜水平調整層（レベリング層）を設けることが望ましい。

4-4-3 品質管理・出来形管理

袋への充填時および保管時における袋の破損を防止するため以下の管理を行う。

1) 品質管理

品質管理は、ダイオキシン類汚染土壌封じ込め機能の要求性能に対する効果及び袋材に要求される品質を確認することを主目的として実施する。

2) 出来形管理

出来形管理は、過大な張力や荷重等が袋体に作用し、袋を破損しないよう袋詰脱水処理土の形状・寸法が満足しているかを確認するために実施する。

【解 説】

(1) 袋材の製品検査

品質管理は、袋材に要求される品質を確認することを主目的として実施する。以下にその主な項目と留意点を示す。

1) 主な受け入れ時の検査項目

- ① 引張強さ (JIS L 1908、1096) : 縫製部と原反について各々実施する。
- ② 引裂試験 (JIS L 1096)
- ③ 単位面積重量 (JIS L 1908、1096)
- ④ 厚さ (JIS L 1908、1096)
- ⑤ 透水係数 (JIS A 1218 準拠)
- ⑥ 伸び特性 (JIS L 1096)
- ⑦ その他

以上の項目についてはミルシート等で確認を行う。また、施工前に下記を目視検査を全数について実施する。

- ① 形状・寸法
- ② 布地の傷、縫製部のほつれ等
- ③ 吊りベルトの傷、縫製部のほつれ等
- ④ その他

2) 袋の保管

袋詰脱水処理工法に使用される袋材（ポリエステル、ポリプロピレン等）は、紫外線に対する長期耐光性を持たないため、長期使用する予定のない袋は遮光措置を施した後、屋内に保管するなどの配慮が必要である。

(2)出来形管理

出来形管理は、過大な張力や荷重等が袋体に作用し、袋を破損しないよう袋詰脱水処理土の形状・寸法が満足しているかを確認するために実施する。以下の方法で出来形管理を行うことが可能である。

表-1 出来形管理方法

出来形管理項目	管理方法	
	ポンプ充填方式	バックホウ充填方式
充填土量	流量計による管理	ホッパ、ロードセルによる管理
袋材数量	袋材の面積・個数管理	袋材の個数管理
袋詰脱水処理土の性状	コーン貫入試験	コーン貫入試験
袋詰脱水処理土の形状・寸法	目視およびメジャーによる計測	目視およびメジャーによる計測

4-5 排水処理工

袋からの排水水や作業用水などについてはダイオキシン類を含む可能性があるため、適切な排水処理を行い、設定された基準以下になったことを確認して放流する。

【解 説】

(1) 集水施設

袋詰脱水処理工法によりダイオキシン類汚染土壌を封じ込める場合、処理土からの排水による周辺区域の汚染を防止するために、処理ヤードに集水施設を設ける必要がある。集水ヤードは、図-8に示すよう、排水水が地下に浸透しないようコンクリート製あるいは遮水シートを敷設することとし、排水を一箇所に集められる構造とする。

(2) 排水処理施設

排水処理に際しては水質汚濁防止法その他の排水基準を遵守するとともに、地方自治体の環境部局との協議を行って適切な方法で処理をし、排水水中のダイオキシン類濃度を确认后、周辺公共用水域に放流しなければならない。ダイオキシン類は環境省の定める方法で測定すると一ヶ月程度の期間が必要であることから、施工現場において迅速に測定結果が必要な場合は、簡易分析法や代替指標などを利用することにより、処理水が放流水濃度を超過しないことを確認する必要がある。

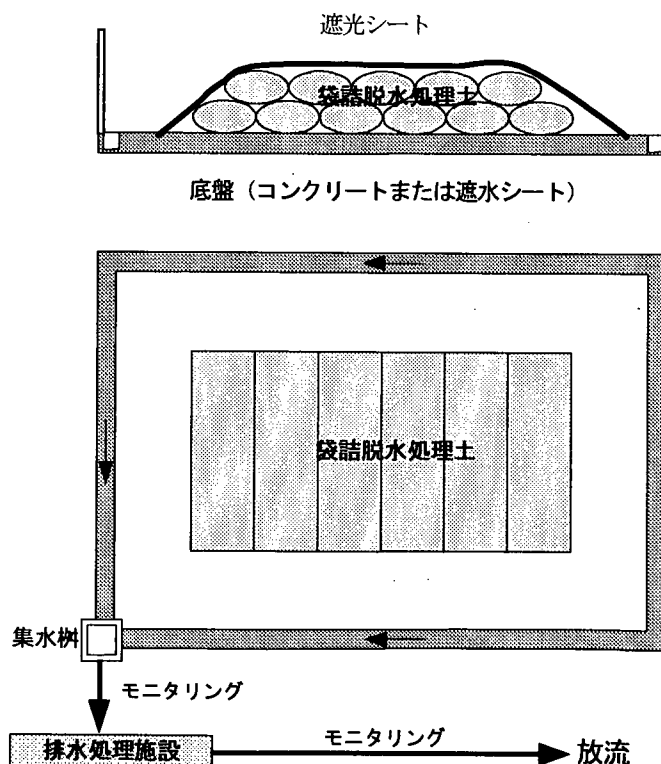


図-8 脱水処理ヤードの構造例

4-6 保管工

保管時には、周辺環境への影響をモニタリングにより監視・管理するものとする。モニタリングは、対象土のダイオキシン類濃度および保管の方法に適応した方法で実施する。

【解 説】

保管時には、事前に袋詰脱水処理土表面を水洗いし、セパレートシートと覆土を併用した直接摂取防止措置を実施することがのぞましい。

セパレートシートはダイオキシン類を封じ込めた袋詰脱水処理土と清浄な覆土材料を区分するためのもので、遮水性能は要求されない。脱水養生時の遮光シートを流用してもよいが、小型袋を二次運搬したのち再度シートを敷設する場合は、遮光シートのダイオキシン類の付着した面を覆土側に設けないよう留意する必要がある。

覆土材料としては、セパレートシート防護の観点から、レキなどの混入がない良質土を用いることがのぞましい。①紫外線による袋材の劣化、②外力による袋の破損が生じないように覆土の厚さを設定するとともに、締固め管理は要求されないため施工時に重機械の荷重や履帯の回転によるせん断力が袋詰脱水処理土に直接作用しないよう、厚層撤出しにて覆土工を行うとよい。

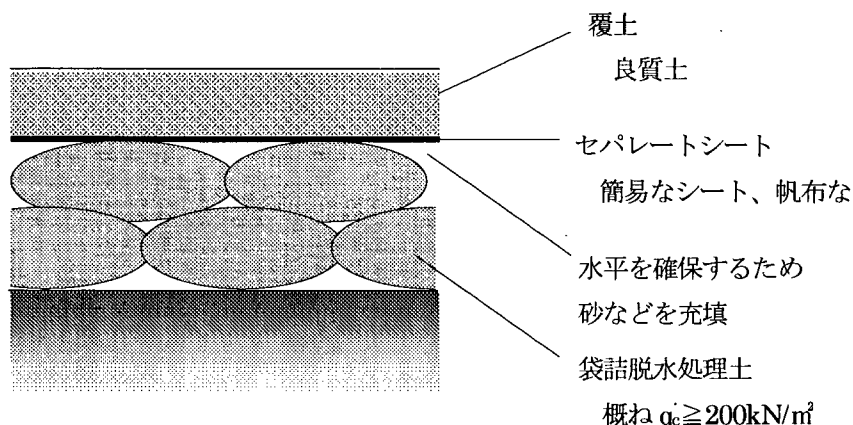


図-9 保管工における上部直接摂取防止例

保管期間中においては、モニタリングにて対策の効果を確認するとともに、ダイオキシン類が飛散・拡散・移動などにより周辺環境に影響を及ぼしていないかをモニタリングにて監視・管理を行う。なお、モニタリングにて周辺環境への影響がみられた場合は、速やかに原因および影響状況を把握し、保管工の見直しを図るものとする。

モニタリング手法としては、保管手法と同様に袋に充填された底質や土壌のダイオキシン類含有量に応じたものを選定する。

(1) 150pg-TEQ/g 以下

環境基準を満たすため、特にモニタリングは必要なし。

(2) 150pg-TEQ/g 超過、1,000 pg-TEQ/g 以下

定期的に目視などにより袋詰脱水処理土の変形および破損がないか確認する。

(3) 1,000 pg-TEQ/g 超過

併用する汚染拡大防止措置に応じたモニタリングを行う。詳細については「建設工事で遭遇するダイオキシン類汚染対策マニュアル(案)」を参考にすること。

参考文献

- 1) 建設省大臣官房技術調査室監修、建設発生土利用促進検討委員会編集「発生土利用促進のための改良工法マニュアル」1997.12、(財) 土木研究センター、
- 2) 土木研究所共同研究報告書第 169 号「混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書—袋詰脱水処理工法利用技術マニュアル—」1997.3、建設省土木研究所
- 3) 森、三木、小橋「袋詰脱水処理工法を用いた汚染土壌封じ込めに関する実験」2000.12、第 7 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集、pp.173-174
- 4) 森、三木、恒岡、小橋「袋詰脱水処理工法による汚染土壌封じ込めの適用性に関する一考察」2001.10、土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ・B32
- 5) 森、恒岡、三木「袋詰脱水処理工法による汚染底質封じ込め」2002.5、土木技術資料 Vol.44, No.5、(財) 土木研究センター、pp.50-55
- 6) 柴田、森、恒岡「ダイオキシン類の土壌中の移動特性に関する実験」2003.6、第 9 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会、pp.412-415
- 7) 森、恒岡、柴田「ジオテキスタイル製袋を用いた高含水比汚染底質・土壌の封じ込め実験」2003.7、第 38 回地盤工学研究発表会、pp.2359-2360
- 8) 柴田、恒岡、森「袋詰脱水処理工法に関する加圧ろ過実験」2003.7、第 38 回地盤工学研究発表会、pp.2357-2368
- 9) 柴田、恒岡、森、土橋「袋詰脱水処理土の土質性状における凝集剤添加効果」2003.9、土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集、投稿中
- 10) H.Mori, H.Miki, N.Tsuneoka, "The geo-tube method for dioxin-contaminated soil", 2002, Geotextile and Geomembranes, Elsevier Science Ltd., No.20, pp.281-288
- 11) H.Mori, H.Miki & N.Tsuneoka, "The use of geo-tube method to retard the migration of contaminants in dredged soil", 2002.9, Seventh International Conference on Geosynthetics, CD-ROM



土木研究所式加圧ろ過試験方法(案)

1. 総 則

1.1 試験の目的

この試験は、加圧ろ過試験装置を用いて排出水の量および濁度を測定し、ダイオキシン類封じ込め技術としての袋詰脱水処理工法における袋材の選定、凝集剤の選定および添加量の設定を行うことを目的とする。

1.2 適用範囲

泥水状あるいは泥土状を呈する粒径約 2mm 以下の土を対象とする。

1.3 用語の定義

濁度とは、不溶性物質の存在による液体の透明性の減少をいう。

1.4 必要関連基準

この試験で行う濁度の測定は、次の基準によって行う。

JIS K 0400-9-10 「水質－濁度の測定」

【付帯条項】

1. 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合には、その内容を報告事項に明記しなければならない。
- 1.1 袋材と凝集剤の組合せを変えた数種類の試験を行い、最適な袋材および凝集剤の種類を選定した上で、凝集剤添加量を変えた数種類の試験により、凝集剤添加量を決定する。
- 1.2 試料の含水比は、掘削および輸送方法の選定により、施工時に予想される含水比に調整する。また、土の含水比が比較的低く、施工性が悪い場合には、加水調整を検討する。その場合、試料の含水比を変えた数種類の試験により、試料の含水比を定める。

2. 試験用具

2.1 加圧式ろ過試験装置

試料からの排出水の量および濁度を求めるための加圧式ろ過試験装置は、ガラス製試料容器、底盤、上蓋、支持装置、加圧装置から構成され、次に示す条件を満足するものとする。

- (1) ガラス製試料容器、底盤、上蓋は空気圧に対し、十分な耐荷能力と負荷能力を有すること。
- (2) 加圧装置は、小型袋による自重圧密を再現するため 1kPa の精度で加圧可能であること。
- (3) 底盤および上蓋のガラス製試料容器接触部には、ゴムパッキンなどを装備し、試料および空気の漏出がない構造とすること。

2.2 その他の用具

(1) 濁度測定装置

JIS K 0400-9-10 に規定する方法で測定できる装置とする。

(2) 試料作製容器(10L)

(3) ビーカー(500ml, 3L)

(4) メスシリンダー (200ml)

(5) 漏斗

(6) スプーン

(7) 電子天秤

(8) 袋材

半径 10cm の円形に切断したものを用意する。

【付帯条項】

2.1 加圧ろ過試験装置の一例を図-1 に示す。

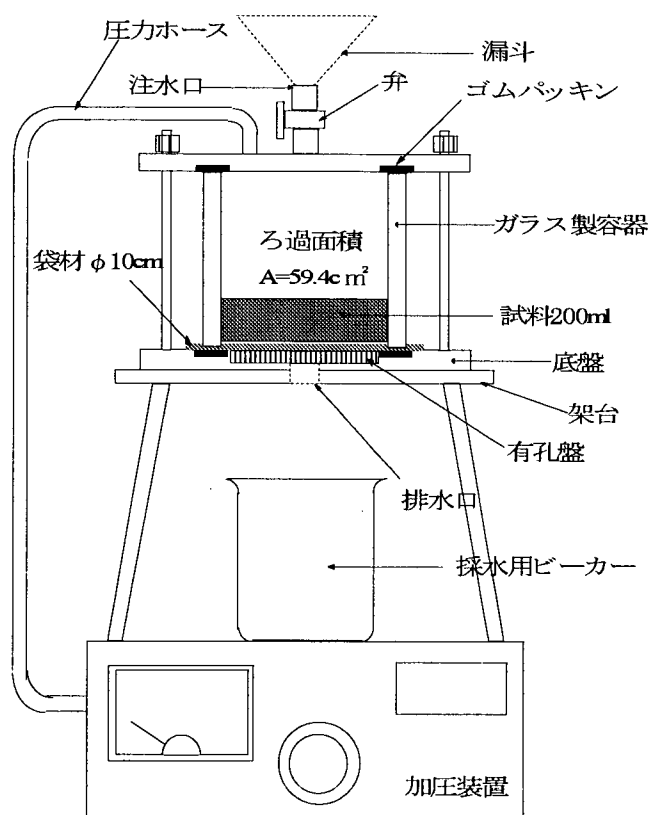


図-1 加圧ろ過試験装置

2.2 本試験における濁度測定は、光学濁度計を用いる定量的方法が一般的である。光学濁度計を用いる定量的方法には、散乱光の測定による方法と減衰光測定による方法があり、前者は低濁度の水、後者は高濁度の水に適している。

3. 試料

- (1) 自然含水比状態の土を JGS 0101「土質試験のための乱した土の試料調整方法」の 4.1 非乾燥法によって調整したのち、所定の含水比となるよう加水・攪拌し、30 分以上経過したのち、所定量の凝集剤を添加・混合したものを試料とする。
- (2) 試料の体積は 200cm³とする。

【付帯条項】

2. 水域から採取した対象となる底質、または、陸域から採取した対象となる土壌を、充填時の状態を想定して試料を調整する。
 - (1) 充填時の含水比は、掘削および輸送方法により大きく変化すると予想される。ここでは、袋に充填する際の底質または土壌の含水比を推定し、調整する。凝集剤については候補となる凝集剤を数種類選定し、添加量を凝集試験法(ジャーテスト)などにより設定する。本試験の最適添加量とジャーテストの最適添加量は必ずしも一致しないため、ジャーテストは本試験の予備試験と位置付け、ジャーテストで得られた最適添加量を中央値とする 3 水準程度の添加量を選定し、本試験を実施するとよい。
 - (2) 初期濁りの発生を測定する場合は 200cm³ でよいが、加圧開始後 20～30 分で試験終了となるため、さらに長時間にわたる排水速度を測定する場合には、試料の体積を増して試験を行うとよい。

4. 試験方法

- (1) 試験の温度条件は常温とし、気温、試料の温度を測定する。
- (2) 加圧式ろ過試験装置を水平に据付ける。
- (3) あらかじめ水に濡らせた袋材を底盤に設置する。
- (4) ガラス製試料容器を設置し、上蓋を取り付けボルトで固定する。
- (5) 排水口下部に採水用のビーカーを設置する。
- (6) 試料をビーカーで作製し、比重、粘性、含水比を測定した後、メスシリンダーで 200ml を計り取る。
- (7) ガラス棒で 10 秒間均一に攪拌し、その後攪拌開始より 1 分間静置する。
- (8) 試料を試料容器内に漏斗を用いて注入口より流し込む。
- (9) 2 分経過後上蓋の弁を閉じ、加圧する。圧力は使用する袋の周長に応じてレギュレーターにより調整する。
- (10) 加圧開始後 30 秒、1 分、3 分、5 分、10 分で採水用ビーカーを入れ替え、30 分で加圧終了する。
- (11) ビーカーに採取されたそれぞれの排出水の質量を電子天秤で測定し、濁度を測定する。
- (12) 加圧終了後の試料を採取し、含水比を測定する。

【付帯条項】

- (6) 試料の粘性は、凝集剤を添加した場合、添加量によって変化し、凝集剤の効果を間接的に評

価することになる。粘性の評価は、ファンネル粘度計の他、ビスコメーターなど各種粘度計による。試料が泥土状で粘性の測定ができない場合には、JHS A 313-1922「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」1. コンシステンシー試験方法、1.2 シリンダー法、JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」などによりコンシステンシーを評価するとよい。

- (9) 袋詰脱水処理工法において袋に作用する圧力は、袋内の土の自重による圧力と等しい。充填時の袋の断面形状を楕円形の下部が切断された形状と仮定した限界高さ(充填時のポンプ注入圧力が袋材に直接作用しない最大高さ)から自重圧力を算定する。

表-1 袋の周長と設定圧力

袋の周長(m)	設定圧力(kPa)
2.4	5
4.8	10
19	40

- (10) 加圧開始後 20 分以降では、強制圧密が進行し、試料の飽和度が低下することにより、形成された泥膜に亀裂が生じ、濁度の高い間隙水が排出されることがある。したがって試料の状態を観察し、適宜加圧を終了することとする。

5. 試験結果の整理

- (1) 時刻 t_1 から t_2 までの平均的な排水時間 t を以下の式で表す。

$$t = t_1 + \frac{(t_2 - t_1)}{2}$$

- (2) 算術目盛のグラフ用紙を用い、横軸に時間 t 、縦軸に濁度 T をプロットする。

- (3) 時刻 t_1 から t_2 までの平均的な排水速度 v を以下の式で算出する。

$$v = \frac{Q}{A(t_2 - t_1)}$$

ここに、 Q : 時刻 t_1 から t_2 までの排水量 (cm^3)

A : ろ過面積 (cm^2)

- (4) 両対数目盛のグラフ用紙を用い、横軸に時間 t 、縦軸に排水速度 v をプロットする。

- (5) 両対数目盛のグラフ用紙を用い、横軸に排水速度 v 、縦軸に濁度 T をプロットする。

- (6) 調整後試料の含水比 w_0 と累積排水量(脱水量) ΣQ から試料の飽和度 S_r を 100% として、以下の式により時間 t における試料の含水比 w_t を算出する。

$$w_t = \frac{\frac{w_0/100}{1 + w_0/100} \frac{\rho_s}{\rho_s} V - \Sigma Q}{\frac{\rho_s}{1 + w_0/100} V} \times 100$$

ここに、 V ：調整後試料の体積(cm^3)

ρ_s ：JIS A 1202 によって求めた土粒子の密度(g/cm^3)

(7) 算術目盛のグラフ用紙を用い、横軸に時間 t 、縦軸に含水比 w_n をプロットする。

6. 報告事項

試験結果について次の事項を報告する。

- (1) 現地で採取した試料の土粒子の密度、粒度特性、pH および含水比
- (2) 加水調整後の試料の含水比
- (3) 試験に用いた袋材
- (4) 試験に用いた凝集剤の種類および添加量
- (5) 調整した試料の比重、粘性および含水比
- (6) 加圧開始後時間ごとの排水量および濁度
- (7) 時間・濁度関係
- (8) 時間・排水速度関係
- (9) 排水速度・濁度関係
- (10) 加圧終了後の試料の含水比
- (11) 気温および試料の温度
- (12) 選定した袋材、凝集剤の種類および添加量
- (13) 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合には、その内容
- (14) その他特記すべき事項

【付帯条項】

(1) 各試験項目は以下の方法で行う。

- ・ 土粒子の密度：JIS A 1202「土粒子の密度試験方法」
- ・ 粒度特性：JIS A 1204「土の粒度試験方法」
- ・ pH：JGS 0211「土懸濁液の pH 試験方法」
- ・ 含水比：JIS A 1203「土の含水比試験」

(3) 袋材の調査項目としては、材質、織布か不織布か、厚さ、単位重量、引張強さ、透水係数、布の開口径などを記録するとよい。表-2 に袋材のデータシートの一例を示す。

表-2 袋材のデータシートの一例

種類			
糸	経		
	緯		
密度	本/in.		
織組織			
目付け	g/m^2		
厚さ	mm		
引張強さ	N/5cm		
伸び率	%		
引裂き強さ	N		
規格			
カバーファクター			
単繊度	dtex		
通気度	$\text{cc}/\text{cm}^2/\text{s}$		
透水係数	cm/sec		

(12) 各試験結果を比較して、最適な袋材と凝集剤の種類および添加量を選定する。1 分までの排水を初期排水、10 分から 30 分までの排水を終期排水、その中間を中期排水とすると、初期排水の濁度は袋材の開口径などのパラメーターが、終期排水の濁度は試料の含水比や凝集剤添加効果の影響が大きくなる傾向がある。

あらかじめ作成した濁度とダイオキシン類濃度の関係から試験における濁度基準値を定め、排水初期に発生する濁度が基準値を超えているかどうか確認する。いずれの時間においても基準値を超えない場合には、排水処理施設は不要となり、一部基準値を超えている場合は、再注入で対応する。ほとんどの場合で基準値を超える場合には、排水処理施設を検討する。

【備考】

土木研究所式加圧ろ過試験で得られる濁度は、図-2に示すように実際の袋に注入した場合に比べて低い数値となる傾向がある。これは、加圧ろ過試験では大きな圧力を与えても袋材には応力が作用しないのに対し、袋への注入では充填量の増加とともに発生する内圧により張力が作用し、袋材に目開きが生じたのち、充填試料による膜が形成される過程を辿るが、袋の上面では重力によりろ過される下面に比べて膜のろ過機能が十分形成されないためと考えられる。したがって、ダイオキシン類封じ込め設計時には、その点を勘案し、5～10 の安全率を見込むことがのぞましい。

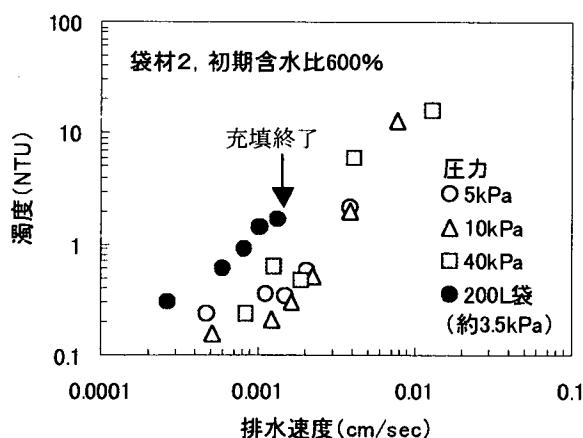


図-2 排水速度と濁度の関係の一例

