

袋詰脱水処理工法による積み上げ泥土の脱水・沈下量の予測

—^{とよあけ}愛知県豊明市^{つるね}鶴根北池浚渫工事—

技術研究所	環境研グループ	杉本昌由
名古屋支店	土木営業部	川本幸広
名古屋支店	土木工事部	中村誠司
技術研究所	環境研グループ	佐伯博之

概要: 袋詰脱水処理工法はため池などに堆積している泥土をジオテキスタイル製の袋に充填し、脱水・減量化して盛土や埋土に有効利用する工法である。当社では施工システムとして環境対応型の SPAD システムを開発している。SPAD システムの特長は処理土の充填毎の処理含水比、充填量等の定量管理ができることにある。本文では SPAD システム用いて施工したため池内に盛土した袋詰土の脱水量と沈下量の予測・検討方法を報告する。

Key Words: 袋詰脱水処理工法, 脱水量, 沈下量

1. はじめに

袋詰脱水処理工法はジオテキスタイル製の袋に浚渫土などの建設発生土を充填し、脱水・減量化するとともに袋の張力を利用して盛土や埋土に再利用する工法であり、ため池等に堆積している高含水比粘性土を自然型護岸等の盛土材料に有効利用する方法として、土木研究所と民間各社により実用化されている。

当社においては環境対応型量産施工方法を提案し、SPAD システムを開発している。今回、本システムに袋充填毎に処理含水比、充填量の計測可能な泥土計測装置を追加した。それにより処理充填土砂の追跡調査が可能となったので、高含水比粘性土を盛土材とした時の脱水量と沈下量の予測値について検討した。

2. 工事概要

2.1 工事内容

工事名：総合流域防災事業洪水調節池改修工事
場 所：愛知県豊明市鶴根北池地先
発注者：愛知県豊明市
元 請：山旺建設(株)
数 量：浚渫土処理 739m³、脱水処理袋製作 739 袋



杉本昌由



川本幸広



中村誠治



佐伯博之

2.2 施工目的

施工場所のため池（写真－1）は長期使用によりため池内に高含水比粘性土が堆積するなど、貯水池としての機能の低下が著しい状況にあった。高含水比粘性土の一般的な処理方法としては、①浚渫+天日乾燥+固化処理、②浚渫+機械脱水、③浚渫+連続固化処理等が考えられる。しかしながら当地においては①捨土する場所がない、②大型の掘削機械の設置場所および搬入路が確保できない、③施工時排水処理が必要となるセメント改良土の適用がむずかしい、④掘削土の仮置きスペースの確保が難しいなどの制約があった。そのため、これを掘削除去し、周辺環境に影響が及ばない形態で処理する工法の選定が必要とされた。

上記の処理方法に袋詰脱水処理工法を加えて総合的な検討を行った結果、これらの問題点に対応できるとともに、経済性および環境に優しい工法と判断され、袋詰脱水処理工法の採用に至った。

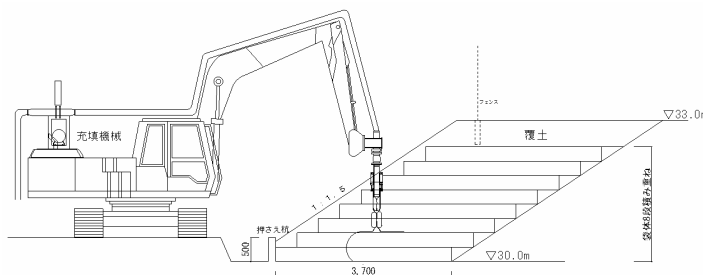


写真－1 ため池施工前状況

2.3 袋詰脱水処理工法施工条件

2.3.1 施工方法

施工方法は、ため池内を水抜き日干しした後、堆積している高含水比粘性土をため池場内にて SPAD システムを用い小型袋(1m³)に充填し、脱水・減量化させながらため池内の堤体盛土材として有効利用し、多自然型護岸を築堤した。



図－1 SPAD システムによる充填状況



写真－2 施工状況



写真－3 施工システム全景

2.3.2 処理土の性状

袋詰脱水処理するため池内の高含水比粘性土の地表面付近での土質性状を表-1に示す。処理土は浚渫土一般に見られる様な有機物を多く含んだシルトであり、ゴミ等の粗雑物を多く含んでいるため、事前処理が必要な状態であった。また、充填施工時まで天日乾燥が続いたため自然含水比は施工時には85.5%近くまで低下した。

施工においてはSPADシステム内の事前処理装置にて粗雑物除去後、ポンプ圧送におけるワーカビリティを得るため、目標含水比を液性限界値に近い100%に設定し、含水比の加水調整を行って施工した。

表-1 土質性状

一般	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.595
	自然含水比 W (%)	137.9
粒度	礫分 (%)	0
	砂分 (%)	0
	シルト分 (%)	54
	粘土分 (%)	46
	最大粒径 (mm)	0.850
コンシステンス特性	液性限界 W_L (%)	102.1
	塑性限界 W_P (%)	44
	塑性指数	58.1
分類	地盤材料の分類名	シルト (高液性限界)
	分類記号	(MH)
強熱減量		Li (%) 10.3

2.3.4 袋体の仕様

表-2に使用した袋体の基本性能を示す。材料の強度は袋の載荷段数と袋に発生する張力を満足した性能を持たなければならない。

形状・素材に関しては図-2のようなジオテキスタイル製（ポリエステル製織布）で小型袋（1m³充填用）幅1.5m、長さ2.3m、ポンプ充填用口φ100を持つ充填用袋を使用した。

表-2 袋材基本性能

項目	長さ方向	周方向
引張強さ [N/5cm]	3,000	3,000
伸び [%]	10	10
引裂強さ [N]	800	800

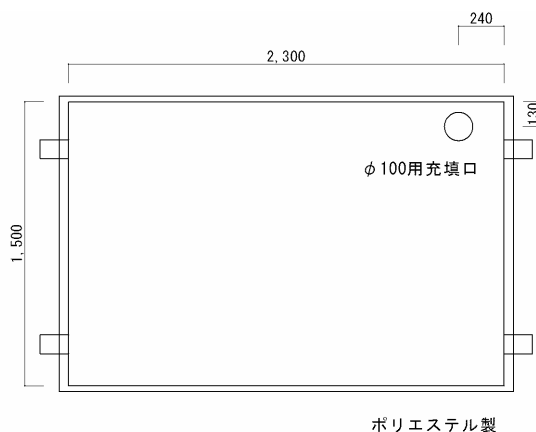


図-2 袋材基本形状

3. 設計・施工条件の検討

袋詰脱水処理工法を行う場合、多段積み施工時に袋体に発生する張力の安全性の問題および充填脱水後の袋上部への覆土施工が何時できるかが問題となる。それを解決するために積み上げ時の安全性の検討、脱水時間、脱水量、減量化率、盛土沈下量の予測を以下のように求めた。

3.1 積み上げ時の検討

1) 浚渫土の単位体積重量

浚渫土の単位体積重量は、次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{浚渫土の単位体積重量} &= \frac{(\rho_s + e)}{(1 + e)} \times \gamma_w \\ &= 14.4 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

ここに、 ρ_s = 土粒子の密度、飽和度 $S_r = 100$ 、 $\gamma_w = 1.0$

$$e = \rho_s \times \text{含水比 } w / \text{飽和度 } S_r$$

実際には浚渫時の土量変化により、単位体積重量はこの値よりも小さくなるが、ここでは安全側に考慮し、袋の設計はこの単位体積重量で行った。

3.2 袋材に必要な引張力

図-3のグラフより、周長1.5mの小型袋の場合、9kN/mの引張強度が必要であることがわかる。今回の使用した袋は表-2より引張強度60kN/m(3,000N/5cm)の袋材を選定している。

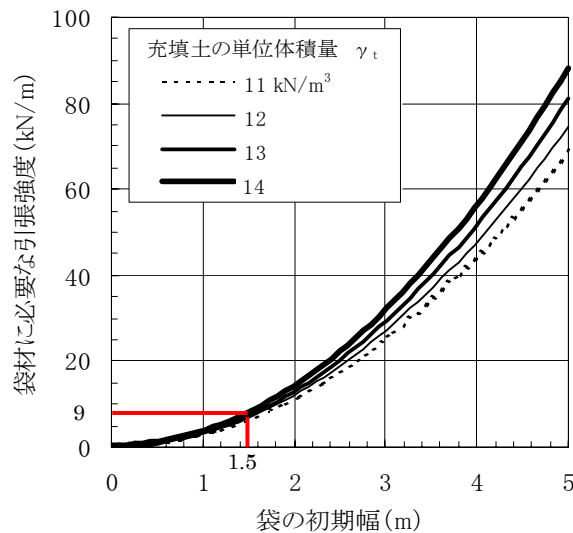


図-3 袋材に必要な引張力

3.3 積み重ね時袋に働く張力の算定

袋材を積み重ねて利用する場合、下段袋には上段袋が荷重として作用する。袋体を積み重ねる際の下段袋に発生する張力の算定には、図-4に示す解析モデルを利用する。上段袋の荷重を下段の袋詰め処理土の粘着力 c 、間隙水圧 u および袋材の張力 T の成分の和で受け持つと仮定したモデルで求める。

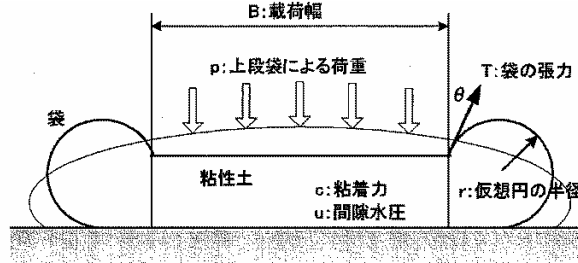


図-4 袋体に関する力の釣り合いモデル

・力の釣り合い条件

$$B \cdot P = B \cdot u + 2T \cdot \cos \theta + N_c \cdot c \cdot B \quad \dots (1)$$

・袋の張力と間隙水圧の関係

$$T = r \cdot u \quad \dots (2)$$

(1) と (2) 式より袋材に必要な張力 T は以下のようになる。

$$T = \frac{r \cdot B(p - N_c \cdot c)}{(B + 2r \cdot \cos \theta)}$$

表-3に、圧密による強度増加を考慮した場合の袋体の積み重ね段数毎に発生する張力の算出結果を示す。また表中に、袋材として $T=60\text{kN/m}$ の織布を利用した場合の安全率を示した。

表-3 袋の載荷段数と発生する張力

段数	高さ (m)	荷重P (kN/m ²)	粘着力C (kN/m ²)	引張力T (kN/m)	安全率
2	0.8	5.76			
3	1.2	11.52	2.0	0.22	267.3
4	1.6	17.28	2.0	1.27	47.4
5	2.0	23.04	2.0	2.31	26.0
6	2.4	28.80	2.0	3.35	17.9
7	2.8	34.56	2.0	4.39	13.7
8	3.2	40.32	2.0	5.44	11.0
計算条件	荷重Pは一段の高さ(0.4m)×袋詰浚渫土の単位体積重量(14.4kN/m ³)から算出 圧密による強度増加C=2kN/m ² を考慮 支持力係数N _c =5.14 仮想円の半径r=0.2m 載荷幅B=1.65m θ=30度 荷重10kN/m ² までは引張力は発生しない				

これらの結果より、2段目の袋を載荷した後圧密による強度増加を考慮した場合、3段目以降の袋を載荷しても積み重ね時の安全率は $F_s=5$ 以上となり、1段目の袋は安全であることがわかる。同様に、徐々に袋の段数を増加していても、載荷荷重による強度増加により下段の袋材は破断することは無いと思われる。

よって SPAD システムにより脱水処理場所にて盛土を伴う多段積み施工を行ったとしても袋の強度は確保されているため袋材 $T=60\text{kN/m}$ の織布を使用した場合、安全に施工できることが確認できた。

3.4 袋体の脱水量の予測

採取した浚渫土は事前実験結果から脱水により含水比は100%から50%へ低下すると予測した。

そこで、泥土の含水比と間隙比の関係式から脱水量および脱水後の袋体体積の減量化予測を行った。

$$\text{脱水量: } q = V_{adm} \left\{ (e_0 - e_f) / (1 + e_0) \right\}$$

表-4 脱水量の予測値

V_{adm}	袋への充填量	1.00	m ³
e_0	充填時の初期間隙比	2.60	($\rho_s \cdot W_0 / 100$)
e_f	脱水後の間隙比	1.30	($\rho_s \cdot W_f / 100$)
ρ_s	土粒子の密度	2.595	g/cm ³
W_0	充填時の初期含水比	100.0	%
W_f	脱水後の含水比	50.0	%
q	脱水量	0.36	m ³

$$\text{脱水後の袋体の体積: } V_f = \frac{(m_f - q) \times \left(\frac{1}{\rho_s} + \frac{w_f}{S_r} \right)}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{w_f}{100}}$$

表-5 脱水後の袋体の体積予測

m_f	充填時の袋の体積	1.00	m ³
q	脱水量	0.36	m ³
ρ_s	土粒子の密度	2.595	g/cm ³
W_f	脱水後の含水比	50.0	%
S_r	脱水後の飽和度	100	%
V_f	脱水後の袋の体積	0.64	m ³

3.5 減量化予測

袋詰脱水処理の浚渫土の施工時含水比は100%であり脱水後50%になると予測した。したがって浚渫土の減量化率の予測は以下のように行った。

浚渫土の初期含水比：100%

$$e_0 = \text{含水比 } w \times \text{土粒子密度 } \rho_s / \text{飽和度 } S_r \\ = 2.60$$

脱水処理後の予測平均含水比：50%

$$e_f = 1.30$$

$$\text{減量化率} = (1 + e_f) / (1 + e_0)$$

$$= 2.30 / 3.60 = 0.639$$

浚渫土量 739m³ のとき、脱水後の体積は、

$$739\text{m}^3 \times 0.639 = 472.2\text{m}^3 \approx 0.64\text{m}^3 \times 739 \text{袋} = 472.96\text{m}^3$$

と予測した。

3.6 沈下量の予測

図-4に示す施工区画 15.6m の盛土区間を沈下量計測追跡調査区間に定め、沈下量の予測値と実測値を施工終了後 90 日経過した時点で比較した。

施工区間には袋体を 8 段, 182 袋 (182m³), 積み上げている。



図-4 盛土調査区間

3.6.1 脱水速度の検討

泥土の初期脱水速度 (自重圧密) に関して以下の式で予測した。

$$t = \frac{(H_{adm}/2)^2 T_v}{\alpha C_v}$$

t : 脱水速度 (日)

H_{adm} : 袋の充填平均高 40cm

T_v : 80%圧密時で 0.567

α : 補正係数 1

C_v : 圧密係数 (40cm²/d, 土の段階载荷による圧密試験より)

初期脱水は 5.6 日 (約 1 週間) にて完了すると予測した。

3.6.2 沈下量の検討

脱水終了時の間隙比予測値をもとに沈下量の予測を行った。

$$S = \frac{e_0 - e_f}{1 + e_0} H$$

S : 沈下量

H : 初期高さ (182m³/(15.6m×3.7m)=3.15m)

$S = 1.14m$

予測沈下終了後盛土高 : 2.01m と求めた。

3.6.3 沈下計測値結果

脱水が終了したと思われる予測日(90日)の測定値と予測沈下量を図-5に比較する。

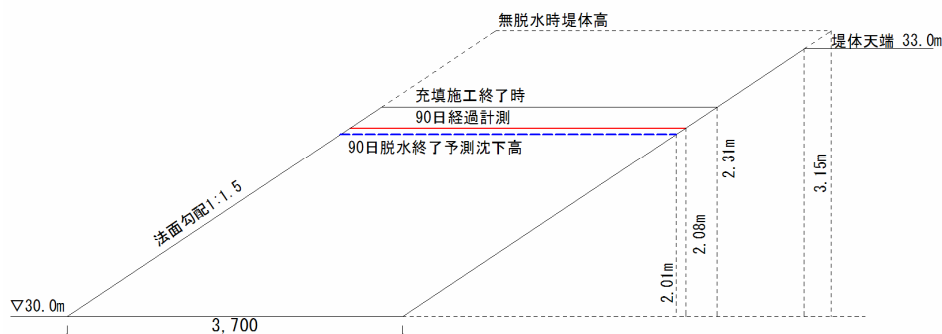


図-5 盛土の沈下量の予測値と実測値

沈下後の盛土高予測値 2.01m に対して計測値は平均で 2.08m であった。沈下量は予測値に沿った状態で推移しているので計算式が適用できると考えられる。

3.6.4 含水比と袋体体積変化測定結果

計測・予測した含水比と、袋体の体積変化のグラフを図-6, 7に示す。

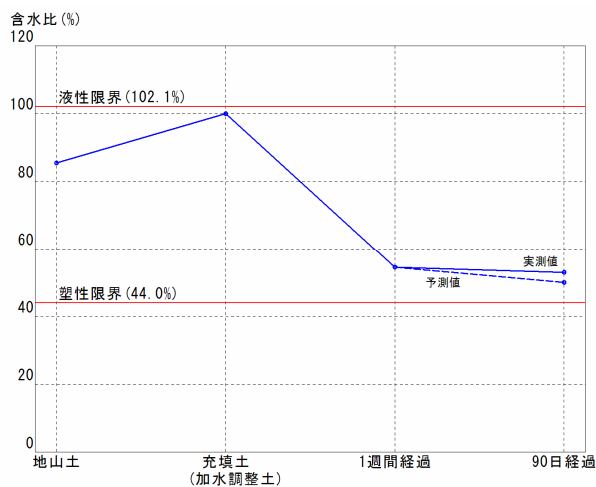


図-6 含水比の測定値と予測値

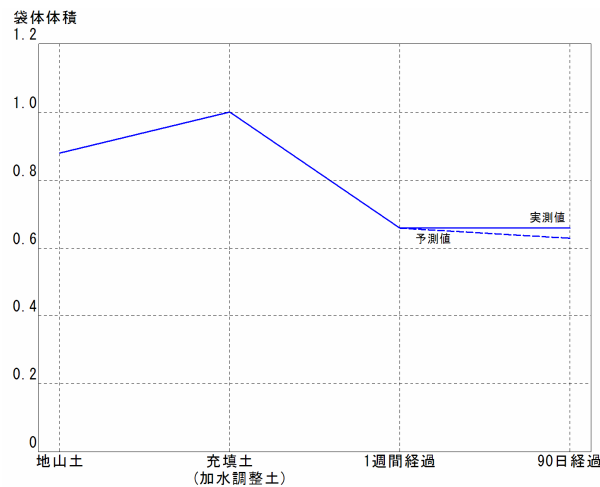


図-7 袋体の体積変化量

グラフより予測通り初期脱水は1週間程度で完了し、その後は目標予測とした含水比(脱水量)に沿って徐々に脱水および減量化していることがわかる。

測定時の採取泥土の含水比結果はサンプルによる誤差が確認されたため、平均化した値を用いている。これは、初期に採取した表面近くの土質の性状とため池下部の泥土では土質の粒度分布に違いがあることと、袋内部の脱水距離による脱水量の違いからくる誤差であると思われる。

脱水検討する場合の含水比の変化量を想定するためには、適切な採取箇所と適正なサンプル数の確保が必要であると思われる。

3.6.5 施工箇所経過状況

施工終了時および経過日数 90 日後の状態を示す。初期脱水は施工終了後 1 週間程度で終了しているため大幅な沈下量の変化は見られない。ただし土の材料強度の発現が少ないため载荷による圧密沈下にて袋内泥土の材料強度の増進を図る必要がある。



写真-4 施工完了直後



写真-5 90日経過後状況

4. まとめ

本システムは浚渫土処理における課題である処理泥土の均一化，処理量および含水比の計測管理ができることにより盛土施工時の脱水量および沈下量の予測を容易にした。本システムを利用することで小型袋の施工において即時多段積み施工が可能となり，従来のように仮置き脱水ヤードが必要なく施工できることを確認した。また，ため池に堆積した高含水比粘性土の処理方法として袋詰脱水処理工法を適用し，①圧密脱水の促進，②処理土の減量化，③排出水の濁度低減，④含水比低下および強度発現など本工法の効果が十分に認められた。今後は 1 週間後の初期脱水完了後すぐに覆土および上部構造物が施工可能なように袋内の土の強度の発現を促進させるドレン材や凝結・固化剤などを検討し，処理後の泥土が即時利用できる方法を検討していくつもりである。

現在施工箇所は，袋体上部に圧密沈下促進のため覆土を行っている。沈下終了後，袋材保護のために袋体前面にも覆土を施し，多自然型護岸として周辺環境に調和した構造体となる予定である。

謝辞

本システム開発にあたっては，共同開発者である大容基功工業（株），（株）シンテック，芦森工業（株）の多大なる協力のもとに開発されたものである。関係各位に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 袋詰脱水処理工法利用技術マニュアル，土木研究所資料，第 169 号，1997.3
- 2) 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），土木研究所資料，第 3902 号，2001.5
- 3) 佐伯ら：エコチューブにおける SPAD システム，ピーエス三菱，技報第 4 号
- 4) 杉本ら：袋詰脱水処理工法におけるポンプ充填方式の施工例（その 1～その 2）第 42 回地盤工学研究会 2007.7