

海面埋立処分場における片押し工法の安定性評価の検討

福岡大学

学生会員

高野晶子

福岡大学

正会員

佐藤研一

藤川拓朗

古賀千佳嗣

宇部興産コンサルタント(株)

非会員

堀 敬史

田中 浩

1. はじめに 海面埋立処分場における埋立工法のひとつである片押し工法は、薄層埋立工法と比べるとガットバージ船の喫水確保の必要性がなく、廉価な工法という特徴を有している。しかし、片押し工法は法肩部から廃棄物を投下して埋立するため、処分場の一方向から十分に締固められていない軟弱な廃棄物層が形成されていくことになる。また、底部遮水層として用いられる海底軟弱粘土層への集中荷重が生じるため、十分な管理を行わないと底部粘土層が埋立された廃棄物の荷重によって底部滑りの発生と盛土崩壊の危険性が懸念されている。これまでに埋立ての段階において数度の滑り破壊が発生した事例もあり、軟弱な海底粘土層の集中荷重や滑り破壊への評価が必要といえる。そこで本研究ではまず埋立土の材料特性を把握し、さらに二次元土槽を用いた片押し工法のモデル実験を行った。これらの検討結果を用いて片押し工法による海面埋立処分場の埋立時における底部粘土層の安定性の評価の結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 表-1 に片押し工法のモデル実験に用いた試料を示す。今回の投入試料は、実際に海面埋立処分場で主に投棄されている無機性汚泥（以後、汚泥）を使用した。また、土槽の底部には、模擬海底地盤を、博多粘土及び東北珪砂により作製した。実験試料の物理特性と粒経加積曲線を表-2、図-1 に示す。

2-2 実験装置及び実験条件 図-2 にモデル投入実験に用いた土槽の概要を示す。土槽は幅 60cm、高さ 70cm、奥行 10cm の二次元水槽であり、この土槽内に底部に処分場を模擬して粘土層 11.6cm、砂層 2.8cm、粘土層 19.3cm となるように作製した。汚泥は自然含水比で、砂層は東北珪砂の 4, 6, 8 号を質比 1 : 1 : 1 で混合し、飽和させたものを使用した。汚泥の投入実験は表-3、4 に示す条件のもと、投入高さを 12cm とし、汚泥を水槽左上部から 500g ずつスコップで投入の押し出すことで、片押し工法を再現した。実験終了は、投入廃棄物が水槽の右端まで堆積するまで連続的に行った。実験中、投入汚泥による底部粘土層への影響を目視により観察し、さらに投入終了約 6 時間後に直径 D=4.92cm、高さ H=5.08cm の筒を用いてサンプリングを行い、汚泥の堆積状況の確認のため乾燥密度及び飽和単位体積重量を調べた。なおサンプリングは、深さ 1, 8, 18, 26cm、投入口を起点とし、右水平方向に 2, 15cm の部分から採取している。今回海面埋立処分場の片押し工法による汚泥堆積地盤の安定性の検討における解析では堆積汚泥の強度定数が必要となる。そこで、本検討では中型の一面せん断試験機を用いて汚泥の一面せん断試験を行った。実験条件を表-5 に示す。設定含水比等及び供試体密度等の設定は実際の海面埋立処分場のコアサンプリングのデータとモデル土槽実験のサンプリングのデータを参考に決定した。供試体はタンピング

表-1 実験試料

用途	模擬廃棄物層		模擬海底地盤	
試料	汚泥	博多粘土	東北珪砂	
写真				

表-2 試料の物理特性

	汚泥	博多粘土	東北珪砂
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.807	2.737	2.61
自然含水比 w (%)	68.3	-	0
強熱減量 I_g -loss (%)	21.7	9.79	-
最大粒径 (mm)	2.0	-	2.0
細粒分含有率 F_c (%)	89.2	86.9	-
液性限界 w_L (%)	75.5	79.65	-
塑性限界 w_P (%)	59.8	30.94	-
塑性指数 I_P	15.7	48.71	-

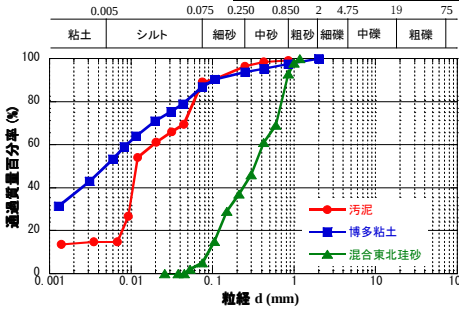


図-1 粒経加積曲線

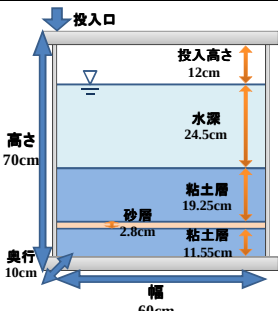


図-2 モデル土槽の概要

表-3 投入試料の設定

試料	総投入量 m_t (g)	投入回数 n (回)	1回の投入量	含水比 w (%)
汚泥	14,500	29	500	68.3

表-4 模擬海底地盤の設定

敷設粘土1		敷設砂		敷設粘土2	
層厚 h_c (cm)	含水比 w (%)	層厚 h_c (cm)	含水比 w (%)	層厚 h_c (cm)	含水比 w (%)
19.3	66.6	2.8	16.6	11.6	66.6

法を用いて所定の密度に作製した後、一時間水浸し、飽和させたものを用いた。載荷圧力 σ_v は 50, 100, 200kPa とし、せん断速度は 0.3mm/min にてせん断を行った。

3. 実験結果及び考察

3-1 汚泥の堆積特性 汚泥のモデル投入実験終了時の堆積状況を写真-1 に示す。堆積汚泥の法勾配は、ほぼ 1:1 となることが明らかとなった。表-6 に海面埋立処分場からコアサンプリングにより明らかになっている現場の廃棄物層の含水比と乾燥密度を示す。またモデル実験の堆積汚泥におけるサンプリングの水槽上部からの深さと乾燥密度の結果を図-3 に示す。サンプリング試料による堆積汚泥中の乾燥密度はサンプリング位置に関係なく深度方向にほぼ同じ値を示している。また水槽の水面を境に乾燥密度は表層部分と水浸部分共に低下しており、その傾向は水浸部分の場合の方が大きい。これは、水中落下を伴う堆積状態の違いと考えられる。次に、堆積汚泥中の飽和単位体積重量をコンター図によって示す(図-4)。堆積汚泥中央の層が数値が高いことが判断でき、早々に堆積汚泥層が形成されているところは含水比が高いことが伺える。

3-2 汚泥の一面せん断試験結果 コアサンプリングやモデル実験にてサンプリングした堆積汚泥と同程度の密度と含水比で行った中型一面せん断試験の結果を図-5 に示す。実験結果より、求められた強度定数は設定密度の影響を受けるものの $c=4.6\sim51.5$ (kN/m²), $\phi=32\sim34^\circ$ であることが明らかとなった。ここで豊浦砂を用いた本試験装置の予備結果から内部摩擦角の値が豊浦砂の持つ内部摩擦角¹⁾よりも 6~7° 程度高い事が分かっている。そのため今回の結果についても若干過大評価する傾向のあるものと考えられる。

3-3 海面埋立処分場の安定性の検討 今回海面埋立処分場における片押し工法の安定性の検討をするあたり、円弧すべりの解析ソフト (COSTANA) を用いて行った。計算に用いた土質係数を表-7 に示す。各定数は実際に滑り破壊を生じた処分場のコアサンプリングデータ及び今回のモデル土槽実験を参考に決定しており、含水比はコアサンプリングの平均値を用いている。さらに強度定数は、一面せん断試験の結果を反映させている。コアサンプリング、モデル土槽実験及び一面せん断試験の結果を用いている箇所は表-7 に色付きで示している。解析の結果を図-6 に示す。解析結果より最小安全率は 0.937 となり、地盤の安定性を確保するためには、何らかの対策工法が必要であることが明らかとなった。

4. まとめ 1) 片押し工法のモデル実験の結果は 堆積汚泥の法勾配は約 1:1 となり、堆積した汚泥地盤の密度と含水比は中央部において良い値を示した。2) 汚泥の強度定数は $c=4.6\sim51.5$ (kN/m²), $\phi=32\sim34^\circ$ であることが示された。3) 片押し工法による処分場の安定解析結果より最小安全率は 0.937 となり、廃棄物地盤の安定性を確保するためには、何らかの対策工法が必要であることが明らかとなった。

表-5 一面せん断試験の実験条件

試料	含水比 w (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	条件
汚泥	74	0.75	水浸 (1h)
		0.85	
		0.90	

表-6 処分場における表層からのコアサンプリングの結果

深さ cm	含水比 w (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)
40	75.3	0.871
50	71.2	0.905
60	75.7	0.825
80	75.1	0.834

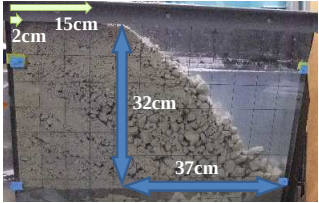


写真-1 汚泥の堆積状況

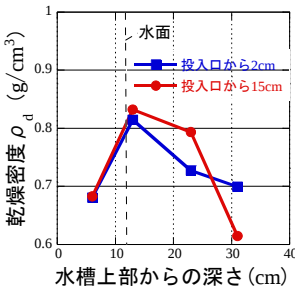


図-3 乾燥密度の深度分布

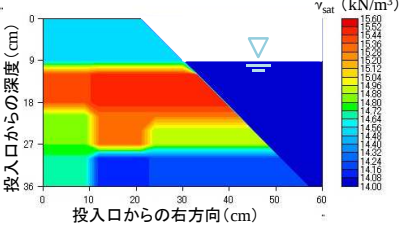


図-4 飽和単位体積重量のコンター図

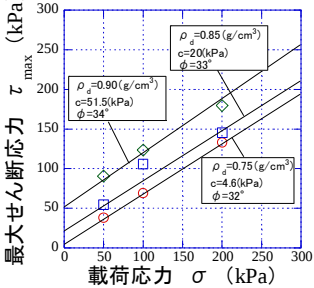


図-5 一面せん断試験結果

表-7 解析に使用した各土質係数

各層	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_t (kN/m ³)	γ_w (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (kN/m ²)
No.1	14.98	12.79	10.1	4.6	26
No.2	15.95	15.35	10.1	51.5	28
No.3	15.63	14.49	10.1	20.0	27
No.4	14.98	12.79	10.1	4.6	26
No.5	15.70	15.70	10.1	0.0	14
No.6	20.00	18.00	10.1	25.0	0
No.7	14.70	14.70	10.1	0.0	45
No.8	14.70	14.70	10.1	0.0	45

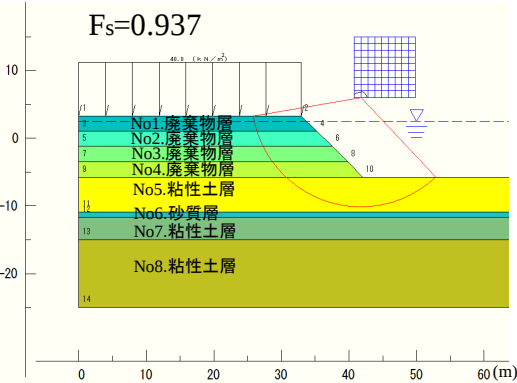


図-6 滑りの安定解析の結果

【参考文献】1) 地盤工学会:一面せん断試験, 土質試験の方法と解説, 第一回改訂版, pp564-600,2000.