

三重津海軍所ドライドッグで使われた砂と粘土の産地特定と施工法

防衛大学校 正会員 正垣 孝晴

佐賀市教育委員会 中野 充

(株)興和 正会員 鈴木 直文

1. はじめに

三重津海軍所は、佐賀藩が 1859 年に設置した洋式海軍施設である。我が国で現存する最古のドライドッグがこの敷地内に地中保存され、2015 年に登録された世界遺産「明治日本の産業革命遺産」の構成資産の一つになっている。2013 年の発掘調査では、ドック東側に木組みによる 4 段の渠壁が出現した¹⁾。この木組み構造内は、粘性土と砂が互層状に締固められているが、これらの産地や施工法に関する資料は残されていない。本稿は、ドック構築に伴う土木工事の規模や設計思想等の解明のための検討²⁾の一環として、互層状に締固められた粘性土と砂の粒度分析試験 (JIS A 1204) と液・塑性限界試験 (JIS A 1205) から、これらの産地と施工法に関して考察する。

2. ドッグ木組み構造内で使用された粘性土と砂の指標的性質の分析

ドック木組み構造内で使用されている粘性土と砂の採取地を指標的観点から特定するため、粒度分析と液・塑性限界試験を行った。土粒子密度 ρ_s を含む各試料の試験結果を表-1 に示す。

表-1(b)に示す試料 No.15~18 の砂は、三重津海軍所から遠く離れた位置にある³⁾。早津江川のドック跡地は、干満潮の差が最大 6m ほどあり、干満に起因する有明海の浮泥が堆積する位置にある。粒径加積曲線と粘性土に対する塑性図を図-1 と 2 に示す。

表-2 は、図-1 と 2 に対する記号凡例であり、試料採取日も併せて示している。表-1 の試料 No.1 と 15 が木組み構造の第 2 トレンチ北壁の No.13 と 14 層(写真-1)で採取した粘性土と砂である。

粘性土に対する粒径加積曲線 (図-1) を要約すると以下のようである。

- 1)ドッグの木組みに使われた粘性土 (No.1) の粒径加積曲線は、早津江川右岸堤外地法面の試料 (No.2,4,6) と類似している。特に、ドッグに近い No.2 の粒度特性と同等である。
- 2)No.2 と 4 は、同じ地点であり、No.4 は No.2 の 34 日後に試料採取している。干満に起因して遡上する浮泥の粒度特性は、同じ地点であってもシルトと粘土分の割合が変化する。粘土分の割合が 15%から 34%に増すと、塑性指数 I_p も 24%から 47%に大きくなる。しかし、両者の砂の割合は、32%程度と同等である。

表-1(a) 土粒子密度・粒度・液塑性限界試験結果 (No.1~9)

試料No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
試料名	船渠2トレ北壁13層 (粘性土)	早津江川右岸堤外地法面-1a (粘性土)	船渠南壁表層 (粘性土)	早津江川右岸堤外地法面-1b (粘性土)	早津江川右岸堤外地法面-2 (粘性土)	早津江川右岸堤外地法面-3 (粘性土)	Ap (粘性土)	Bp (粘性土)	Cp (粘性土)
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.62	2.63	2.60	2.62	2.59	2.61	2.60	2.59	2.60
自然含水比 w_n (%)				105.3	152.0	128.0	188.3	185.0	164.7
粒度	礫分 (%)	0.8	2.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
	砂分 (%)	16.5	31.8	3.3	30.5	2.9	11.5	0.3	1.6
	シルト分 (%)	37.3	51.3	33.7	35.4	37.0	39.1	38.6	30.0
	粘土分 (%)	45.4	14.9	62.9	34.1	60.1	49.4	60.7	68.4
	最大粒径 (mm)	4.75	9.5	4.75	2	0.850	2	4.75	2
	均等係数 U_c	—※	—※	—※	—※	—※	—※	—※	—※
	曲率係数 U_c	—※	—※	—※	—※	—※	—※	—※	—※
液性限界 w_L (%)	63.0	56.6	72.3	85.7	136.1	112.2	147.8	141.9	147.2
塑性限界 w_p (%)	34.9	32.4	39.5	38.4	62.5	49.9	60.3	62.2	66.1
塑性指数 I_p (%)	28.1	24.2	32.8	47.3	73.6	62.3	87.5	79.7	81.1

※: 算出に必要な有効粒径が得られなかったもの

表-1(b) 土粒子密度・粒度・液塑性限界試験結果 (No.10~18)

試料No.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
試料名	Dp (粘性土)	SBu (粘性土)	SB (粘性土)	SBu (粘性土)	B-4 (粘性土)	船渠2トレ北壁14層 (砂)	石井樋下流部 (砂)	筑後川河口 (砂)	脊振山 (砂)
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.58	2.60	2.62	2.62	2.62	2.65	2.67	2.76	2.66
自然含水比 w_n (%)	165.2	124.2	85.7	101.1	132.3				
粒度	礫分 (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	1.8	0.1	42.9
	砂分 (%)	1.4	0.3	2.4	21.5	1.3	88.3	95.8	45.3
	シルト分 (%)	42.7	37.6	34.1	47.8	37.5			8.5
	粘土分 (%)	55.9	62.1	63.5	30.7	61.2	4.0	2.4	3.3
	最大粒径 (mm)	2	0.850	2	2	0.425	9.5	9.5	4.75
	均等係数 U_c	—※	—※	—※	—※	—※	2.4	2.28	2.08
	曲率係数 U_c	—※	—※	—※	—※	—※	0.99	1.12	1.27
液性限界 w_L (%)	144.1	128.1	106.8	113.9	134.9				
塑性限界 w_p (%)	63.8	57.3	49.7	52.9	59.8				
塑性指数 I_p (%)	80.3	70.8	57.1	61.0	75.1				

※: 算出に必要な有効粒径が得られなかったもの

3) No.3,5,7,8,9,10,11,12,14 の粒度特性は同等である。これを反映して I_p も (No.3 ($I_p=33\%$)) を除いて) 57~88% の範囲で高塑性の同様な値を示す。

4) 同一日に採取した No.4~14 の I_p に着目すると、早津江川の上流の No.5 と 6 は、下流側の No.1 のそれより値が大きく、御船屋の中は、更にこれらより値が大きく、このことは、より細粒の粒子が早津江川の上流に、そして、更に御船屋の中に侵入して堆積することを意味する。

5) 土囊 (No.12) とその上下 (No.11 と 13) の試料の I_p は 57~71% であり、早津江川右岸堤外地のそれら ($I_p=47\sim74\%$) の範囲内にある。

6) 表-1 に示す粘性土は、高塑性シルト (MH) に分類され、有明海の浮泥が阿蘇火山灰から構成されていることと符合する。事実、阿蘇の黒ボク、赤ボク、灰土の I_p と液性限界 w_L は、それぞれ (137,348) %, (74,175) %, (15,54) %⁴⁾ であり、同じ MH に分類される。この点で、我が国の海成粘性土の高塑性粘土 (CH) とは明らかに異なる性質を持つ。

一方、砂質土に関しては、

1) ドッグ 2 トレンチ北壁 14 層 (No.15) に最も近い粒径加積曲線の形状は、三重津海軍所跡の上流約 17km の距離に位置する石井樋 (No.16) である。

2) No.15 は 75 μ m 以下の河川堆積物とは異なる細粒分と礫分を、それぞれ 4% と 8% 含むことから山砂と推察される。

3. おわりに

ドック木組み構造内の締固め土として使用されている粘性土は、早津江川に遡上した有明海の浮泥であり、砂は脊振山系の山砂と推察された。脊振山は、佐賀藩の領地であり筑後川と早津江川の船運によって、ドック敷地内に運搬されたと推察される。早津江川に堆積する粘性土の自然含水比 w_n と I_p は、No.4,5,6 で 105~152% と 47~73%, 御船屋で 165~188% と 79~88% である。御船屋の値が大きいのは、上述したように細粒であることに起因しているが、これらの粘性土を締固め材料として用いる際は、締固め土工ができる含水比まで天目による (?) 乾燥が必要である。砂と粘性土層は相互混入の無い独立した単独層として施工されていることから、締固められた粘性土は、 I_p を少し上回る含水比 (No.1 であれば 28%) に調整された後に締固められたと推察される。 w_n と施工性の関係は今後の課題である。

参考文献 1) 中野充：三重津海軍所跡の発掘調査成果、鉄文化財に見る日本の独自技術の学際的研究フォーラムシンポジウム予稿集, pp.21-48, 2015. 2) 正垣孝晴・中野充：三重津海軍所ドライドック渠底部の地盤工学的解釈, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集, 2016. 3) 正垣孝晴：三重津海軍所ドライドック遺構の地盤工学的分析, 佐賀市に対する報告書, 2016. 4) 正垣孝晴：性能設計のための地盤工学—地盤調査・試験・設計・維持管理まで—, 鹿島出版会, pp.25-60, 2012.

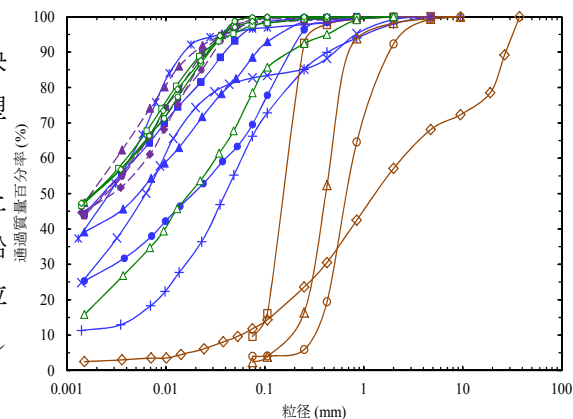


図-1 粒径加積曲線

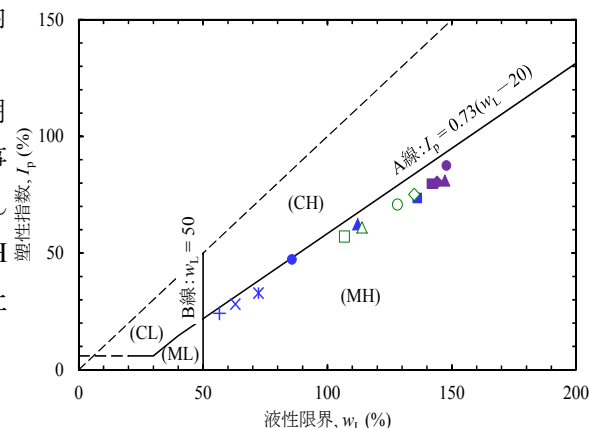


図-2 塑性図

表-2 図-1 と 2 の記号凡例

図-1の記号	図-2の記号	試料No.	試料名	試料採取年月日
×	×	1	船渠2トレンチ北壁13層(粘性土)	2012.2.1
+	+	2	早津江川右岸堤外地法面-1a(粘性土)	2016.2.3
*	*	3	船渠南壁表層(粘性土)	
●	●	4	早津江川右岸堤外地法面-1b(粘性土)	
■	■	5	早津江川右岸堤外地法面-2(粘性土)	
▲	▲	6	早津江川右岸堤外地法面-3(粘性土)	
●	●	7	Ap(粘性土)	2016.3.8
■	■	8	Bp(粘性土)	
▲	▲	9	Cp(粘性土)	
◆	◆	10	Dp(粘性土)	
○	○	11	SBu(粘性土)	
□	□	12	SB(粘性土)	
△	△	13	SBu(粘性土)	
◇	◇	14	B-4(粘性土)	
○	○	15	船渠2トレンチ北壁14層(砂)	2012.2.1
△	△	16	石井樋下流部(砂)	2016.2.3
□	□	17	筑後川河口(砂)	2016.2.23
◇	◇	18	脊振山(砂)	2016.2.21

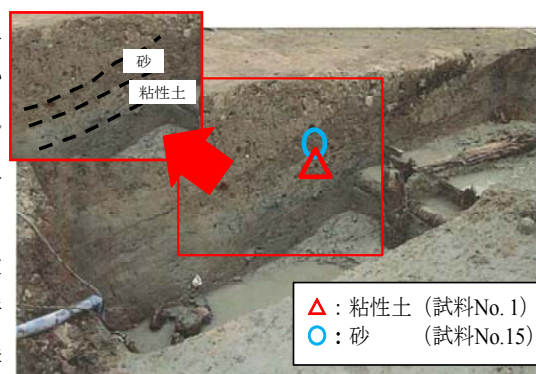


写真-1 第2 トレンチ北壁の No.13 と 14 層