

# 脱水ケーキの築堤材料としての有効活用

株式会社 山口建設コンサルタント 原中浩二

## 1. はじめに

岩石山を掘削した砕石から粗骨材や細骨材を水洗精製する過程で発生する副産物（砕石微粉末）は、水中に分散して泥水状となる。これを脱水プレスにかけて水分を搾り取った固形状の物は「脱水ケーキ」と呼ばれる。この脱水ケーキは今までは利用用途がなく、廃棄処分していた材料であるが、人工的な処理によって築堤材料として有効活用できないかと考えた。

今回、このような状況を背景として副産物を種々材料と配合することで、必要な供給量を確保しつつ安価でかつ良質な材料として、活用した事例を報告する。

## 2. 生成した材料

脱水ケーキは、高含水比で中塑性のシルトを主体としており、そのままではコーン指数も100kN/m<sup>2</sup>以下と建設発生土としては「泥土b」<sup>1)</sup>に該当し、非常に扱いにくい材料である。この脱水ケーキを原土として、種々の材料と混合することで、必要な所定の強度や透水係数等を満足できる材料<sup>2)</sup>をつくれぬか検討を行った。混合の主材料として検討に用いたマサ土は、粗粒分主体で細礫～中砂分が中心の材料である（写真-1）（表-1）。

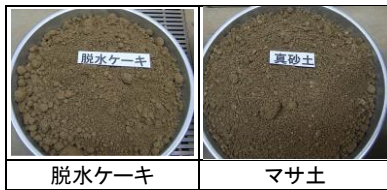


写真-1 使用した主材料

表-1 主材料の物性値

		脱水ケーキ		マサ土	
一般	土粒子の密度	$\rho_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2.665	2.629	
	自然含水比	Wn (%)	34.7	4.6	
粒度特性	礫分	G (%)	0.0	46.9	
	砂分	S (%)	4.2	40.9	
	シルト分	M (%)	59.3	7.1	
	粘土分	C (%)	36.5	5.1	
	最大粒径	(mm)	2.0	19.0	
コンシステンシー特性	液性限界	W <sub>L</sub> (%)	36.7	NP	
	塑性限界	W <sub>p</sub> (%)	27.4	NP	
	塑性指数	I <sub>p</sub>	9.3	NP	
分類	地盤材料の分類名		シルト	細粒分まじり砂質礫	
	分類記号		(ML)	(GS-F)	

## 3. 決定された配合比の物性値

種々の材料の配合比を変えて、要求性能を満足し、さらに経済性も考慮した材料を生成することを目標とした。本試験で用いた主材料と透水係数(室内 5.0E-08m/s 以下)を満足する生成材料(混合土)の粒度組成を示す(図-1)。この結果から分かるとおり、脱水ケーキと比較すると、各種材料と配合することで、マサ土に含まれる礫分や、砂分や生石灰による造粒作用もあり、粒度組成はいわゆる粒度のよい材料となる。また、土質試験結果からみても、せん断強度も問題ない値を示している(表-2)。

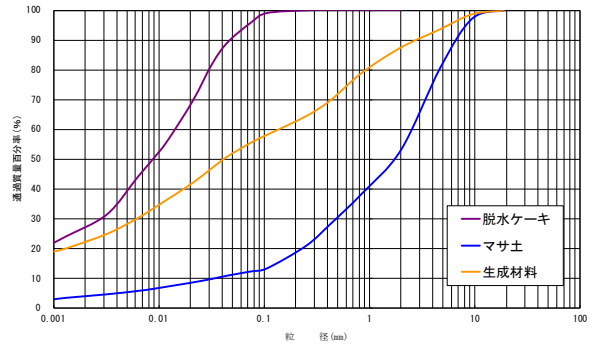


図-1 配合後材料の粒度分布

表-2 生成材料の物性値

			生成材料	
一般	土粒子の密度	$\rho_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2.640	
	自然含水比	Wn (%)	26.5	
粒度特性	礫分	G (%)	13.7	
	砂分	S (%)	17.6	
	シルト分	M (%)	44.9	
	粘土分	C (%)	23.8	
	最大粒径	(mm)	19.0	
コンシステンシー特性	液性限界	W <sub>L</sub> (%)	48.8	
	塑性限界	W <sub>p</sub> (%)	38.4	
	塑性指数	I <sub>p</sub>	10.4	
分類	地盤材料の分類名		礫まじり砂質シルト	
	分類記号		(MLS-G)	
突固め特性	最適含水比	Wopt (%)	22.2	
	最大乾燥密度	$\rho_{dmax}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.545	
透水	95%密度透水係数	K <sub>15</sub> (m/s)	1.1E-08	
三軸	全応力	粘着力	c (kN/m <sup>2</sup> )	41.1
		内部摩擦角	$\phi$ (度)	24.1
	有効応力	粘着力	c' (kN/m <sup>2</sup> )	40.3
		内部摩擦角	$\phi'$ (度)	28.9

## 4. 盛り立て試験における検証

実際に生成された材料を用いて、盛り立て試験(試験盛土)を実施した。

### (1) 材料の異方性

層状に土を締め固めて建設される土構造物の透水特性は異方性を示す。透水係数の異方性は堤体内の水の流れに影響を与え、設計解析段階においても重要な要素となる。

通常の現場透水試験は、水平方向 K<sub>x</sub>、鉛直方向 K<sub>y</sub> のいずれの要素も含むが、水平方向の影響が大きい。これに対して室内における透水試験で得られる透水係数は鉛直方向のみである。このことから、両者の比較により透水係数の異方性について検討することが可能と考えた。ただし、比較検討に用いた現場透水試験は試験装置を工夫(鉛直方向への透水を制限)することで、水平方向のみ卓越するようにした。したがって、盛土試験後に各機種、各転圧回数毎に不攪乱で試料を採取し、室内透水試験を鉛直方向の透水係数、試験盛土における現場透水試験結果を水平方向の透水係数として、機種毎の異方性について比較・検討した。

タンピングローラでは約5倍、振動ローラでは約20倍の異方性があるとされている<sup>3)</sup>が、今回の試験値からはそこまでの差はなく1~5倍程度の異方性が認められる結果となった(表-3)。

表-3 機種毎の透水係数の異方性

		タイローラ	振動ローラ	タンバ
透水係数 (m/s)	水平方向kx	2.86E-08	1.74E-07	1.95E-07
	鉛直方向ky	1.66E-08	4.18E-08	6.54E-08
異方性kx/ky		1.7	4.2	3.0

(2) 締めめ層境の透水性

生石灰を混合することで材料が固結し、締めめ面が平滑になると、材令の時間差からそのままではその上の層との間で不連続面ができ、層境において水平方向の透水性が高くなるなどの懸念が生じる。そこで、盛土施工後に鉛直方向の盛土状態を把握するために、縦方向にシンウォールにてサンプリングを行った。この結果から、ほぼ均質な状態で締めめられているものの、縦方向に割る段階で層毎に分離しやすいことが分かった(写真-2)。このため、上の層とのなじみをよくするよう、締めめ表面をかき起こす(レーキング)必要がある。したがって、透水性、安定性の観点から、施工時において層毎になじみをつけることが、従来の自然土材料を用いた施工以上に留意を要する材料と判断した。



写真-2 鉛直方向の盛土の状態  
(左側が抜き取り直後、右側が切開後の状態)

5. 施工時における生石灰の使用及びその検証

脱水ケーキは高含水比であることから、生石灰を混合することで含水比を低下させ、混合性能の向上、トラフィカビリティの向上が期待できると考えた。これは、短期的な吸水反応、中長期的なポズラン硬化反応及び混合による造粒効果であり、材料として扱いやすくなる効果が確認された。ただし、実際の施工においては、ため池内で貯水飽和された環境下で、経年変化により生石灰が溶脱し、強度低下を伴う懸念があった。また、生石灰の混合不足により、十分な反応が起こらず部分的に上述した効果が得られない可能性もある。したがって、生石灰を混合しない場合について透水性やせん断強度等の比較・検討を行った。その結果、生石灰を混入する前後の透水性やせん断強度において有意な差異は認められず、継続的に十分な安定した盛土を構築できる材料であると考えている(表-4)。

表-4 生石灰混合前後の物性値

			生成材料	生石灰除去後	
突固め特性	最適含水比	Wopt (%)	22.2	22.6	
	最大乾燥密度	$\rho_{dmax}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.545	1.521	
透水	透水係数	K <sub>15</sub> (m/s)	1.1E-08	7.4E-09	
三軸	全応力	粘着力	c (kN/m <sup>2</sup> )	41.1	38.7
		内部摩擦角	$\phi$ (度)	24.1	24.4
	有効応力	粘着力	c' (kN/m <sup>2</sup> )	40.3	49.2
		内部摩擦角	$\phi'$ (度)	28.9	29.7

6. 材料のバラツキや攪拌混合における継続的検証

当該材料は、製造が開始されて10年以上が経過している。当初の配合結果から、実際の配合においてどのよう

に経年変化が起こったのか検証を行った。この結果から、若干ばらつきはあるが、大きな変化は認められない(図-2)(表-5)。

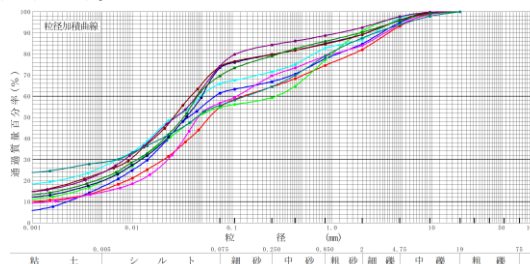


図-2 過去10年間の粒度分布

表-5 生成材料の試験値の変化

			過去10年間 結果平均値	過去10年間 試験結果の範囲	
一般	土粒子の密度	$\rho_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2.635	2.659 ~ 2.600	
	自然含水比	Wn (%)	23.1	28.3 ~ 17.7	
粒度特性	礫分	G (%)	12.1	18.0 ~ 7.5	
	砂分	S (%)	23.4	36.3 ~ 15.0	
	シルト分	M (%)	42.6	53.6 ~ 27.0	
	粘土分	C (%)	21.9	28.6 ~ 14.5	
	最大粒径	(mm)	19.0	19.0 ~ 19.0	
コンシステンシー特性	液性限界	WL (%)	41.1	46.6 ~ 36.7	
	塑性限界	WP (%)	27.0	36.4 ~ 24.1	
	塑性指数	IP	14.1	15.9 ~ 10.1	
分類	地盤材料の分類名		硬まじり砂質シルト	-	
	分類記号		(MLS-G)	-	
突固め特性	最適含水比	Wopt (%)	20.2	25 ~ 16.000	
	最大乾燥密度	$\rho_{dmax}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.560	1.643 ~ 1.463	
	築堤盛土95%密度	$\rho_{dmax} \times 95\%$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.474	1.561 ~ 1.390	
透水	95%密度透水係数	K <sub>15</sub> (m/s)	2.9E-08	4.8E-08 ~ 6.4E-09	
三軸	全応力	粘着力	c (kN/m <sup>2</sup> )	48.9	62.8 ~ 22.1
		内部摩擦角	$\phi$ (度)	27.9	31.6 ~ 24.6
	有効応力	粘着力	c' (kN/m <sup>2</sup> )	46.1	65.6 ~ 32.4
		内部摩擦角	$\phi'$ (度)	32.2	34.6 ~ 27.7

7. まとめ

材料の異方性及び層境の透水性について、現場において問題は生じていない。また、製造時における生石灰の使用については、脱水ケーキの含水比が低い場合は混合しない場合もある。すでに、本材料を用いて数十件のため池が構築されており、施工性もよく長期的にも安定的な材料であることが実証できている。

8. おわりに

副産物である脱水ケーキについて、有効利用を検討していくことは、循環型社会の構築に向け、環境への負荷を軽減し、ゼロエミッションへの取り組みにつながることから、非常に有意義であると考えられる。ただし、材料は常に変化していくものであり、今後も新たな利用・用途の提案も含めて継続した調査、研究を行っていきたいと考えている。

《引用・参考文献》

- 1) 独立行政法人土木研究所編(2013):建設発生土利用技術マニュアル第4版, p26.
- 2) 山口県農林水産部編(2007):ため池整備事業実施の手引, p16-13.
- 3) 農林水産省農村振興局編(2003):土地改良事業計画設計基準(設計「ダム」)技術書[フィルダム編], p. II-65.