

潜行吸引式排砂管の設計手法に関する一検討

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 ○石神孝之、岩田幸治、宮川仁、櫻井寿之

1. はじめに

土木研究所では、ダム貯水池における水位差エネルギーを活用したフレキシブル管を用いた排砂手法(通称：潜行吸引式排砂管(以下、排砂管))の開発を行っており、砂礫(巨礫や塵芥をほとんど含まない条件)は小規模落差でも吸引して下流へ供給可能であることを確認している¹⁾。そこで本研究では、排砂管の現地での適用に向けて、既往研究で得られた知見を基に検討を行い排砂管の設計手法を提案し、実際のダムの条件での事例研究を行った。

2. 排砂管設計手法

排砂管の設計フローを図-1に提案する。まず対象となるダムにおいて、ダム諸元等の基本条件および排砂条件から排砂管形式(堤体内放流形式またはサイフォン形式)を決定する。このときサイフォン形式の場合堤体を跨げる高さを貯水位から7~8.5mを目安とする。形式を決定後、排砂管諸元を設定する。次に土砂濃度を仮定し、送泥時の管路摩擦係数 f' を清水時の管路摩擦係数 f の α 倍とし、長谷川ら²⁾が提案した以下の式で決定する。

$$f' = \alpha \times f \quad (1)$$

$$\alpha = 1 + \beta(\gamma - 1) \quad (2)$$

ここに、 α ：送泥時の管路摩擦係数の増加割合、 β ：材料係数(表-1)、 γ ：泥水密度、 f ：清水時の管路摩擦係数を表す。

さらに設定した管路延長および送泥時の管路摩擦係数、形状損失係数を用いて次式により管内流速を算出する。このとき各形状損失係数は吸引部では別途実験により得た値、取水口の入口損失や曲がり損失等の送泥時の形状損失では清水時の値を用いることとした。

$$v = \sqrt{\frac{2gH}{1+f'l_D+f_i+f_s+f_b+f_v}} \quad (3)$$

ここに、 H ：水位差、 f' ：送泥時の管路摩擦係数、 f_i ：取水口の入口損失係数、 f_s ：吸引部の損失係数、 f_b ：曲がり損失係数、 f_v ：バルブの損失係数を表す。

このとき管内流速は、管内閉塞の恐れから管底に堆積を開始する流速である堆積限界流速より大きく、また吸引部やダム堤体を超す際に垂直輸送となるため、沈降速度³⁾より大きくなるように設計する必要がある、条件を満たさなければ排砂管の諸元を再度検討する。ここで代表的なものとして Durand の堆積限界流速⁴⁾を次式に示す。

$$V_L = F_L \sqrt{2gD(S-1)} \quad (4)$$

ここに、 V_L ：堆積限界流速、 F_L ：粒径と濃度から決まる定数(図-2)、 D ：管径、 S ：土粒子比重を表す。

管路には外圧および内圧がかかるため、管路を長くすると内外圧力差が大きくなり、膨張や収縮が生じるため、管内外圧力差は区間ごとに計算し、管の許容圧力範囲内であることを確認する。管路延長が長く流速が大きいとき、管路の一部に負

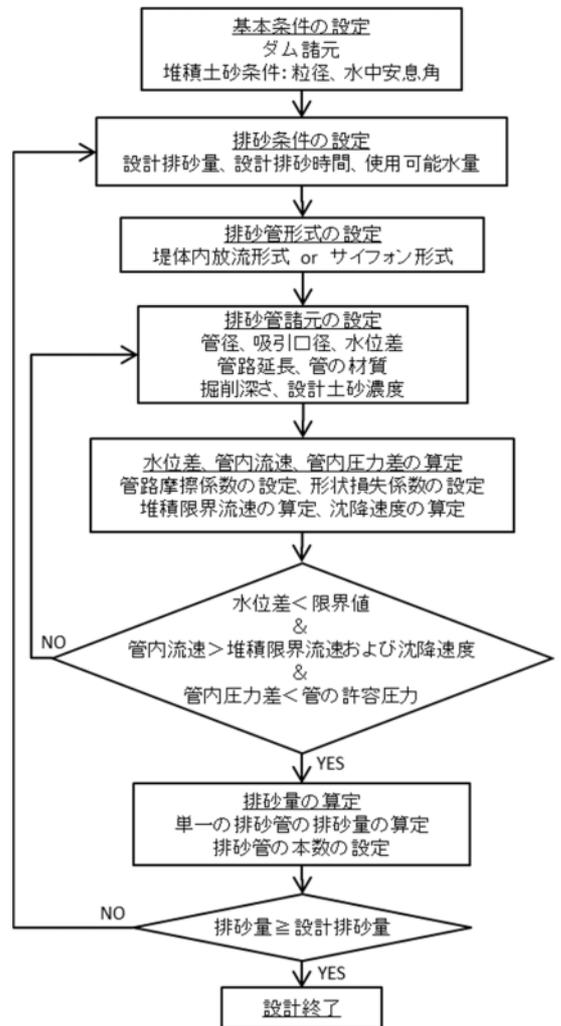


図-1 排砂管の設計フロー

表-1 材料係数²⁾

材料	β
粘土・シルト	2
細砂	3
砂・礫交じり砂	4
礫	5

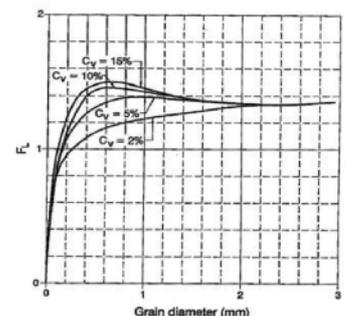


図-2 F_L と粒径の関係⁴⁾

圧が発生するため、負圧にも耐える管の材質や構造を選定する。

サイフォン形式の場合は、管の一部が動水こう配線より高い区間が存在するとき、圧力水頭が負になる。したがって、負圧の限度は水中に溶けた空気の気化などによる圧力低下のため、-7~-8.5m となる⁹⁾。このとき水位差やサイフォン頂部高さが制限内であるかを確認し、サイフォン形式が適用可能かを検討する。

以上により単一の排砂管の排砂量が求められ、設計排砂量、排砂時間等に合わせて排砂管本数を設定する。

3. 事例研究 (実際のダムへの適用例)

実際のダムでの適用を考え、ダムAを例に提案した排砂管設計手法を用いて設計検討を行った。ダムの諸元は、堤高57.5m、堤頂長171.0m、天端高 EL331.5m、常時満水位 EL326.4m である。

排砂管設計の概略を図-3 および表-2 に示す。排砂管はサイフォン形式で配置、管径 300mm (吸引口径 150mm) の吸引部を取水口付近に置き、管路はダム堤体を越え、下流の点検設備付近に吐口を設置し、水位差は 5.0m、全長は約 92m となる。対象土砂は細砂で、代表粒径 0.15mm、最大粒径 0.25mm と設定する。設計排砂深さは 8.0m とし、1608m³ の土砂を排出することを目標とする。土砂濃度 5% と想定し、管路摩擦係数は別途実験で得られた清水時の値を用いて式(1)(2)より求め、管内流速は式(3)より清水時で 3.39m/s、土砂濃度 5% で 3.12 m/s となった。また設計手法でのサイフォン頂部高さ、水位差の限界値はサイフォン許容圧力を-8.5m で計算し、それぞれ設計値は限界値以内であることを確認した。管内流速は堆積限界流速(代表粒径)および沈降速度(最大粒径)を上回っており、管内の閉塞は起こらないと考えられる。管内外圧力差は-0.08~0.00MPa となり、管の許容圧力範囲内であることを確認した。

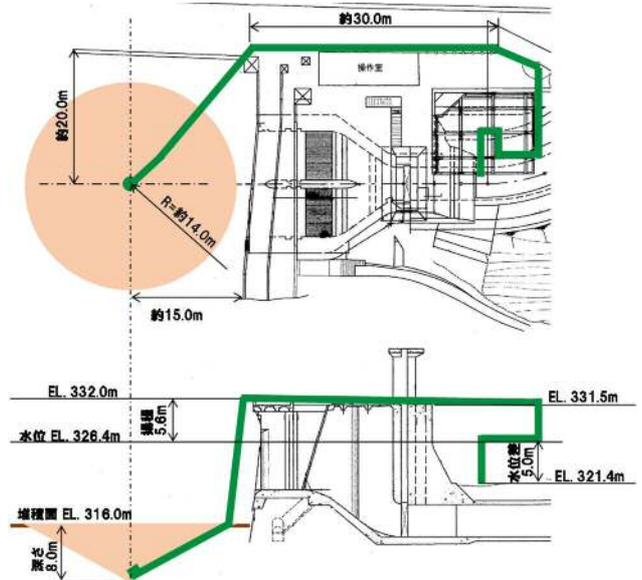


図-3 ダム A における排砂管の設計概略図

表-2 ダム A における排砂管の設計概略事例

項目		設計手法による検討	
排砂管形式	サイフォン式		
堆積土砂条件	代表粒径	0.15mm	
	最大粒径	0.25mm	
	水中安息角	30°	
	掘削深さ	8.0m	
設計土砂濃度		5%	
排砂管諸元および境界条件	管径	300mm	
	吸引口径	150mm	
	水位差	現場条件	5.0m
		(サイフォンの限界値)	5.3m
	揚程	現場条件	5.6m
		(サイフォンの限界値)	5.8m
	取水口の入口損失係数	0.5	
	吸引部の損失係数(清水/送泥)	1.0/1.2	
	バルブ(全開)の損失係数	0	
	管路摩擦係数	0.035/0.043	
	サクションホース(清水/送泥)	0.016/0.020	
		土砂計測装置(清水/送泥)	0.023/0.029
	管路延長	約92m	
管内流速	清水時	3.39m/s	
	送泥時	3.12m/s	
	(堆積限界流速(代表粒径))	3.07m/s	
	(沈降速度(最大粒径))	0.04m/s	
管内外圧力差	計算値	-0.08~0.00MPa	
	(サクションホース許容値)	-0.1~0.2MPa	
設計排砂土砂量(空隙率0.4と仮定)		1608m ³	
		66.2m ³ /h	

以上の設計から排出量(空隙率=0.4と仮定)は66.2m³/hとなり、設計排出量1608m³を約1日で排出可能と考えられる。

4. まとめと今後の課題

排砂管の現地での適用に向けて、既往研究で得た知見を基に排砂管の設計手法を提案し、実際のダムへの適用として、サイフォン形式にて設計排出量1608m³を約1日で排砂可能とする設計例を示した。今後の課題として、土砂輸送時のエネルギー損失の推定の精度を向上させるために、泥水流下時の曲がり等の損失係数の検討や実証試験などによるエネルギー損失の検証等を行っていくことが必要と考えられる。

参考文献

- 1) 宮川仁、宮脇千晴、櫻井寿之、石神孝之、箱石憲昭：潜行吸引式排砂管の現地排砂実験による実用化に向けた検討、河川技術論文集、Vol.21、pp.189~194、2015。
- 2) 長谷川源太郎、八木得次、徳永省三：運輸技術研究所別冊 浚渫ポンプの性格とその使用法、三角舎、p.11、1958。
- 3) 社団法人土木学会：水理公式集、p.387、丸善出版、1999
- 4) Durand R.: "Basic Relationships of the Transportation of Solids in Pipes-Experimental Research", IAHR 5th Congress, Minneapolis, pp.89-103, 1953.
- 5) 社団法人土木学会：土木工学ハンドブック第四版 I、p.491、技報堂出版、1989.11