

9. ダムコンクリートにおける砕砂の表面水率安定処理

大成・佐藤・ハザマ共同企業体：小林 昭
大成建設(株)：市原 正一
(株)北川鉄工所：*永久 利夫

1. まえがき

四万川ダムは、群馬県四万川の上流に建設される堤長 330m、堤高89.5mの、洪水調節、流水の正常な機能の維持と水道用水及び発電用水の供給を目的とした多目的ダムである。

四万川ダム堤体工事では、均質なダムコンクリートを製造する上で最大の懸案とされている細骨材（砕砂：以降、砂と呼ぶ）の表面水率安定化に取り組み、新たに安定化処理設備を導入、平成6年3月から稼働を開始した。本稿では、この砂の表面水率安定化処理設備の概要と、その効果について報告する。

2. 表面水率安定化処理の必要性

(1) DM工法の採用

四万川ダム堤体工事に於けるコンクリート練混ぜ方式は、着工時点ではシングルミキシングであったが、仮設備完了時点からダブルミキシング（以降、DM工法と呼ぶ）に変更された。

当ダム堤体工事では、外部コンクリートとして従来コンクリートを用い、内部コンクリートにはRCD用コンクリートを用いている。

表-1にコンクリートの示方配合を示す。なお、コンクリートの総打設量は約50万 m^3 である。

この表に示すように、DM工法でRCD用コンクリートを製造する場合の一次水(W1)は44kg、W1/Cは37.0%である。この場合、砂の表面水率を6%以下になるように管理しなければ、W1/Cの値が確保されずDM工法は成り立たなくなる。

表-1. コンクリートの示方配合表

配合種類	記号	Gmax (mm)	スランブ (cm) VC値 (秒)	air (%)	s/a (%)	W/ (C+F) (%)	W1/ (C+F) (%)	F/ (C+F) (%)	単 位 量 (kg/m ³)									
									W		C+F	S	G				混和剤	
									W1	W2			150 80 mm	80 40 mm	40 20 mm	20 05 mm	ポリアリス No. 8	ポリアリス No. 202
外部用	A	150	3±1	3±1	24	49.1	30.2	30	108		220	511	1652				0.55	14A
									66	42			413	413	413	413		
RCD用	B1	80	20±10	1.5±1	32	83.3	37.0	30	100		120	732	1584				0.30	-
									44	56			-	538	523	523		

(2) 処理前の砂の物理的性質と問題点

表-2に処理前の砂の物理的性質を示す。

湿式ロッドミルで破碎し、分級機で砂と水を分級したのち振動ふるいでふるい分けと脱水をした砂の表面水率は、この表および表-3、表-4に示すように20%前後でバラツキている。

この砂をコルゲート貯蔵槽に入れ、水切り期間をおいた後にゲートから引出して測定した表面水率の

表-2. 処理前の砂の物理的性質

岩質	石英閃緑岩
粗粒率	FM=2.6±0.2
微粒分量	0.15mm以下が1.2%前後
比重	2.65
吸水率	1.7%
単位容積重量	1.6T/m ³
表面水率	2.0%前後

経日変化を図-1に示す。

この図に示すように3日経過後の表面水率は7%前後、6日後においても6%前後であり、前述したDM工法の制約条件となる6%以下の表面水率を確保することがコンクリート打設の工程上無理となった。

一方、砂の引出し時において、コルゲート貯蔵槽のゲート付近でアーチング現象による閉塞が生じ、コンクリートプラントへの砂の供給が停止するなどの問題も発生した。

(3) 予備試験と実用設備の導入

当ダム堤体工事JVでは、砂に加わる遠心力が50Gである連続処理式のタイプ（以降、SA機と呼ぶ）と、遠心力が200Gであるバッチ処理式のタイプ（以降、サンドスタビライザと呼ぶ）の二つの遠心式の脱水機を使用して、多量な水を含む製造直後の砂の表面水率を安定化させるための予備試験を実施した。なお、サンドスタビライザはSS-05型（1バッチ当りの処理量0.5m³）を使用した。

SA機およびサンドスタビライザを使用した予備試験の結果を表-3および表-4に示す。

SA機の場合には、表-3に示すように処理後の表面水率は7.8%となり、また、微粒分量は処理前に比べ4.2%減少している。

一方、サンドスタビライザを使用した場合の処理後の表面水率は5.9%になり、微粒分量についてもほとんど変化は無く初期の目的を達成している。なお、より詳しい微粒分の変化をみるために、ふるい分け試験に代えて、処理中にサンドスタビライザから排出される濁水量とそのSS濃度から微粒分の流出量を求める方法を試みた。なお、その結果については、4項（表-6）に詳細に記述する。これらの予備試験結果から実用砂処理設備としてサンドスタビライザを導入することとした。

表-3. SA機の試験結果

処理条件 遠心効果 回転数	処理前			SA機通過後		
	粗粒率	表面水率	微粒分	粗粒率	表面水率	微粒分
50-G 375	2.30	23.1	14.8	2.26	9.9	12.5
50-G 375	2.41	21.6	11.9	2.84	6.7	6.3
50-G 375	2.41	23.1	12.6	2.96	7.0	4.9
50-G 375	2.42	21.6	13.4	2.57	8.7	10.2
50-G 375	2.49	20.7	12.7	2.87	7.2	8.1
50-G 375	2.65	21.1	10.0	2.81	7.4	7.0
50-G 375	2.77	21.1	9.3	2.92	7.8	6.3
平均値	2.49	21.8	12.1	2.75	7.8	7.9

表-4. サンドスタビライザの試験結果

処理条件 遠心効果 回転数	処理前			サンドスタビライザ通過後		
	粗粒率	表面水率	微粒分	粗粒率	表面水率	微粒分
200-G 545	2.57	19.3	13.1	2.59	6.2	13.2
200-G 545	2.37	21.6	13.0	2.44	6.6	13.8
200-G 545	2.79	17.5	11.5		5.5	
200-G 545	2.50	18.8	12.9		5.0	
200-G 545	2.65	18.8	13.1		5.6	
200-G 545	2.47	21.1	14.0		6.6	
平均値	2.56	19.5	12.9	2.52	5.9	13.5

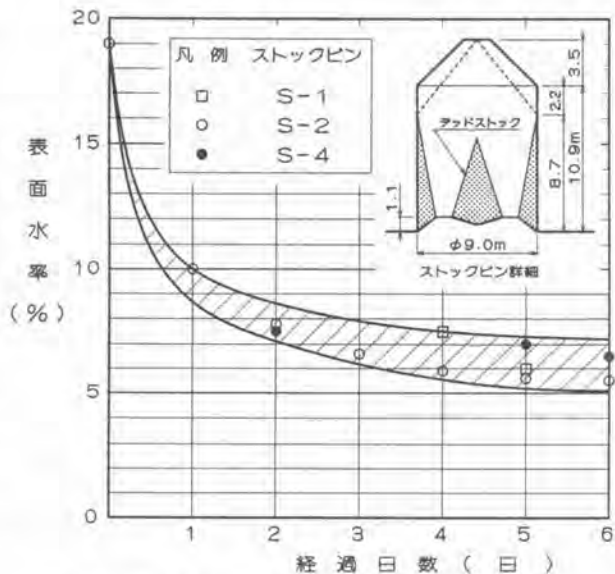


図-1. 自然水切りに於ける表面水率の経日変化

3. 表面水率安定化処理設備の概要

(1) 概要および特長

予備試験後導入した砂の表面水率安定化処理設備（以降、砂処理設備という）は、既存の製砂プラントの製造能力63T/Hが確保できる処理能力とし、製砂工程、搬送、安定化処理工程、貯蔵および供給が一連のライン上を流れるよう配置した。砂処理設備のフローを図-2に示す。

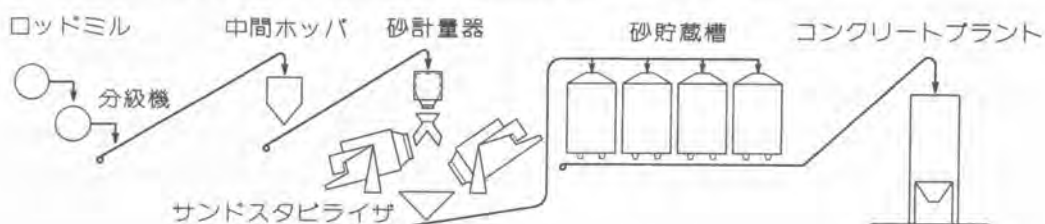


図-2. 砂処理設備のフロー図

砂処理設備は、サンドスタビライザと呼ばれる遠心脱水機、1バッチ当りの処理量を設定する砂計量器、処理前後の砂を搬送するベルトコンベアおよびこれらの機器を自動運転するための制御盤等で構成されている。

写真-1に砂処理設備の外観を示す。砂脱水設備の看板のある建物の中にサンドスタビライザSS-12型が2基設置されている。

湿式ロッドミルで製造された砕砂は、写真左手前のコンベアから中間ホッパを中継して搬送され、このサンドスタビライザで遠心脱水されて低表面水率の安定した砂になる。

この砂処理設備の特徴は以下のとおりである。

- ①ダム施工機械設備設計指針による「貯蔵後少なくとも24時間経過させるなど水切りのサイクルを考慮する。」という必要がなくなる。
- ②砂の余剰な表面水を脱水し、6%以下に、しかも均一な表面水率安定化処理ができるため、コンクリート中の単位水量が一定する。
- ③処理中に於ける微粒分の流出が少なく、砂の物理的性質も変化しない。
- ④処理後の表面水率が、長時間にわたりほとんど変動しない。



写-1. 砂処理設備の外観

(2) サンドスタビライザの仕様

サンドスタビライザの構造およびドラム断面を図-3に示す。

本機の動作方法は、低速回転中のドラム内に砂を投入して内壁に一様に付着させた後、ドラム回転速

度を上昇させて遠心力を増大（最大200G）させ、砂表面の水分を遠心脱水するものである。

ドラム回転速度と、脱水時間を適切に設定することにより、所定の表面水率の安定化を行なうことができる。表-5にサンドスタビライザの仕様を、図-4に表面水率安定化の運転モードを示す。

予備試験の結果から脱水時間を40秒としたため、1バッチ当りのサイクルタイムが135秒となっている。

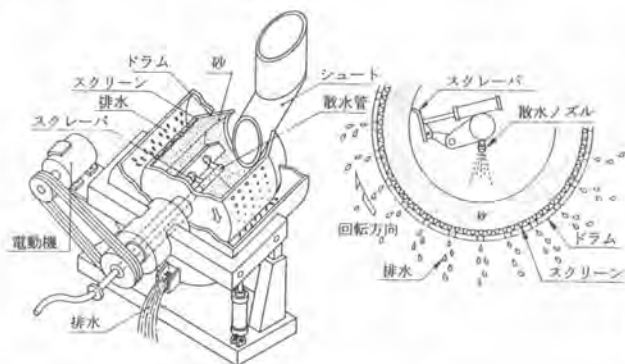


図-3. サンドスタビライザの構造図

表-5. サンドスタビライザの仕様

型式	SS-12
動力	110kw (直流モータ、サイリスタ制御)
ドラム容量	1.2m ³
回転数	0~485rpm
遠心効果	0~200G
スクリーン	ウェッジスクリーン スリット巾 0.25mm

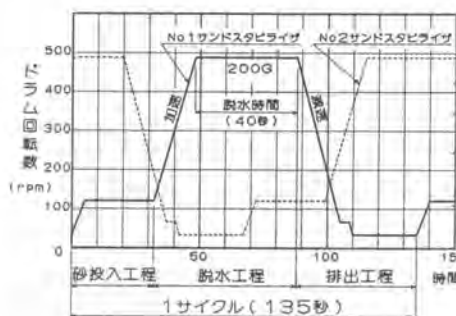


図-4. サンドスタビライザの運転モード

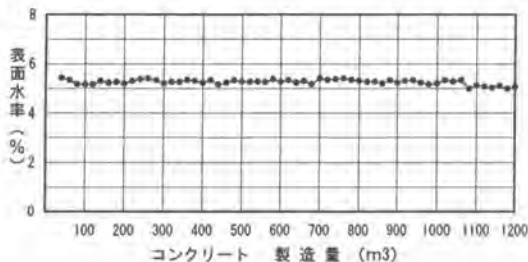


図-5. 砂の表面水率の品質管理状況

4. 表面水率安定化処理後の砂の品質

(1) 表面水率

図-5には砂処理設備導入後に実施した1200m³のコンクリート連続製造時の砂の表面水率の品質管理状況を示す。

この図は、表面水率安定化処理した砂を一旦コルゲート貯蔵槽に貯蔵したのち、翌日コンベアで搬送し、コンクリートの製造直前にコンクリートプラントの計量ゲートから採取して測定した砂の表面水率である。連続1200m³のコンクリート製造完了までの間、5%~5.5%の範囲で表面水率の安定した砂が供給できたことを示している。

(2) 微粒分の流出率

表-6に予備試験における0.15mm以下の微粒分の流出結果を示す。

この表に示すように平均流出率は、処理前の砂重量（絶乾重量）に対して、0.11%である。

これは、処理中にサンドスタビライザから排出された濁水量とそのSS濃度から微粒分の流出量を求めたのち、次式により流出率を算出した。

$$\text{流出率} = \frac{\text{微粒分の流出量}}{\text{処理前の砂重量（絶乾重量）}} \times 100 (\%)$$

この値から、処理砂の微粒分の残存率を求めると、

$$\begin{aligned} \text{残存率} &= \frac{\text{処理前の微粒分率} - \text{流出率}}{\text{処理前の微粒分率}} \times 100 (\%) \\ &= \frac{12.9 - 0.11}{12.9} \times 100 = 99.1\% \end{aligned}$$

ここに、表-4より処理前の微粒分率=12.9%

これは、処理前に含まれていた0.15mm以下の全微粒分量のうち0.9%が流出したことを意味するもので、砂の物理的性質に影響を与えるほどのものでないことが判る。

5. サンドスタビライザの消費電力

図-6にサンドスタビライザ運転中に記録したモータの負荷状況を示す。脱水工程において、ドラムの加速中に最大の電力を消費しており、ドラムが最高回転数に達すると電力をほとんど消費していない。次に排出工程に入り、ドラムが減速し始めると電力線図はマイナスに振れている。これは、ドラムの回転力を制動する際にモータが発電作用を起こすことによるもので、その値は加速中の消費電力の約70%となっている。このような現象を伴うサンドスタビライザの、運転中の電力収支を検証するために、サンドスタビライザの一次側電源に積算電力計を設置し、1日当りの電力消費量と稼働時間及び処理バッチ数を調査した。その結果を次に示す。

- 1日の電力消費量 : 117.5 Kwh
- 1日の処理バッチ数 : 223 バッチ
- 1日の稼働時間 : 8.7 H
- 1バッチ当りの砂処理量 : 1.2 m³

この調査結果より

1時間当りの消費電力は、

$$\frac{117.5 \text{ Kwh}}{8.7 \text{ H}} = 13.5 \text{ Kwh/H}$$

となり、サンドスタビライザの稼働中の消費電力

量は、モータ定格出力110KWの13%と非常に小さいことが判る。

表-6. 処理後の微粒分の流出量

No.	SS濃度 (mg/l)	濁水量 (l)	微粒分の流出量 (g)	流出率 (%)
1	9,320	96	895	0.14
2	8,050	92	740	0.12
3	6,440	94	605	0.10
4	6,440	82	530	0.08
5	10,300	80	820	0.13
平均	8,110	89	718	0.11

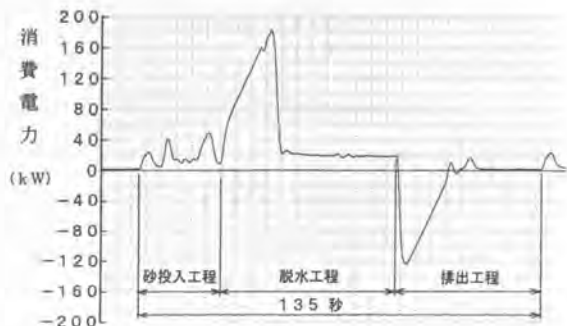


図-6. サンドスタビライザの負荷状況

参考までに砂 1 m³を処理するに必要な消費電力量をもとめると次のようになる。

$$\frac{117.5 \text{ Kwh}}{228 \text{ B} \times 1.2 \text{ m}^3/\text{B}} = 0.44 \text{ Kwh/m}^3$$

6. 砂のクーリングシステムへの応用

(1) 砂のクーリングシステムへの応用と概要

当ダム堤体工事JVでは、コンクリートのプレクーリング用として既に粗骨材の真空冷却システムを採用しているが、このサンドスタビライザを使用すれば砂のクーリングシステムへの応用が可能である。

本システムは、ダムコンクリート等マスコンクリートの打設時に於けるコンクリート温度の上昇による温度ひび割れを防止するためのプレクーリング工法として、サンドスタビライザによって砂を冷却しようとするものである。

図-7にクーリングシステムのフローを示す。

図-3に示したように、サンドスタビライザのドラムの内壁に一様に付着した砂に、チラー（冷却機）で造られた冷水を散水して砂を冷却しながら、ドラム回転速度を上昇させて冷水を遠心脱水し、表面水率の一定した冷砂を造るシステムである。

(2) クーリング後の砂の温度

図-8にサンドスタビライザによる砂の冷却

効果（研報88-1より抜粋）を示す。3℃の冷水を砂重量の40%散水することによって、30℃の砂を8℃に冷却可能である。

既に、1990年の明石海峡大橋の3P主塔基礎工事に採用され、良好な結果が得られたことが報告（平成2年度 同シンポジウム）されている。

7. おわりに

四万川ダム堤体工事では、上下2段ミキサ式のDM対応型コンクリートプラントを導入していたため、DM工法への変更に対しても混乱なく対応できた。更に、平成6年3月からサンドスタビライザによる砂の表面水率安定化処理を実施しており、コンクリートの品質に良好な結果が得られると共にDM工法によるダムコンクリートの打設が順調に推移している。今後も、コンクリートダムの合理化施工の開発と耐久性向上に向け努力を惜しまない所存である。

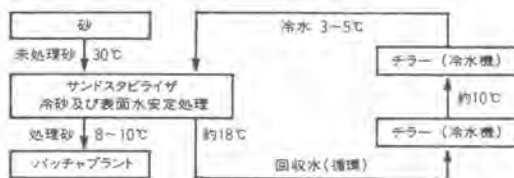


図-7. 砂のクーリングフロー

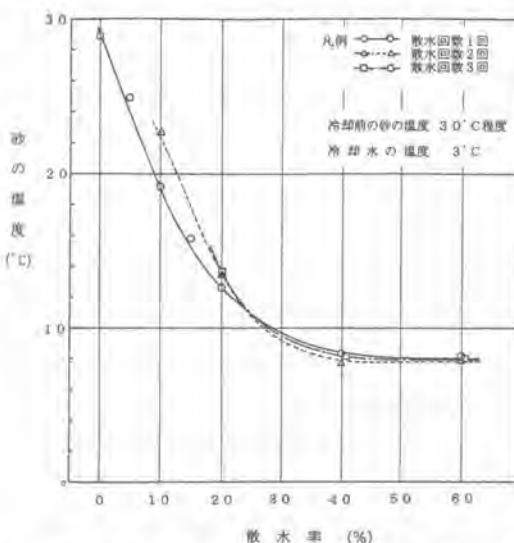


図-8. サンドスタビライザによる砂の冷却効果