

2. ダムコア材の乾燥, 曝気設備の開発と現場実績

真喜屋ダムにおけるコア材曝気設備について

株式会社熊谷組

○ 緒方 伸一郎
中川 安典
沼宮内 雅人

1. はじめに

真喜屋ダムは、沖縄県名護市羽地地区に位置する、沖縄総合事務局発注の農業用ダムである。その諸元は堤高 33.6m, 堤頂長 171.1m, 堤体積 $357,000\text{m}^3$ の中心遮水ゾーン型ロックフィルダムである。ダム施工中の航空写真を写真-1 に、堤体盛立の施工状況を写真-2 に示す。亜熱帯海洋性気候で特異な地域性での施工となり、ダムの工事期間は H9 年度から H18 年度であり、同年に試験湛水を完了した。長期間を要した工事である。これは 2 度に渡り、ダムの基礎岩盤となる左右岸のアバットメントが崩壊しダム軸の変更を余儀なくされたためである。これによりダムの堤頂長が長くなり堤体積が膨らんだ結果コア材の数量が当初の 2 倍必要となった。コア材はもともと高含水比であったが、更に高含水比のコア材も採取しなければ材料を確保できなくなった。コア材採取の増加は、コア材の含水比調整の時間が、コア材採取～ダム盛立までの工程に影響し、工程の遅延が予想された。

本論文はダム工学会（H20 年）に発表された論文から設備における検討を主にし再構築した。

2. コア盛立の概要と計画

従来からダム地点において、コア材が要求する品質持つ土質材料が単体で存在することは稀である。従って幾つかの材料を混ぜ合わせ、含水比を



写真-2 盛立の施工状況

調整して使用するダムが多い。一般的に材料の混合は、各材料を体積比率に換算し、厚さを変えて互層に撒き出し所定の高さまで盛り上げておく。これを堤体施工時にブルドーザ等によりスライスカット（斜切り）しながら混合する方法である。

含水比低下の方法としては、

- ① 自然曝気
- ② 室内における温風
- ③ 高盛土にしての圧密
- ④ 材料採取場にドレーンを入れ排水を促す等がある。

当ダムにおけるコア材は粗粒材（緑色岩類の強風化岩 Gs2s）と細粒材（国頭礫層の強風化帯 Kc）の体積比 1 : 1 に混合することになっている。当初、施工含水比は最適含水比 $W_{opt} \sim W_{opt} + 3\%$ に設定されていた。この時の混合材の W_{opt} は平均 16% であり、粗粒材 Gs2s の自然含水比は 17% 前後、細粒材 Kc 材の自然含水比は 30% を超えるものが多くボーリングの結果 35% 程度となっている。自然含水比の状態でも混合した時、混合材の含水比は約 26% となり目標値を $W_{opt} + 2\%$ とした時の含水比は 18% ($16 + 2 = 18$) となる。自然含水比の状態でも混合した時、約 8% の含水比を低下させる必要があった。

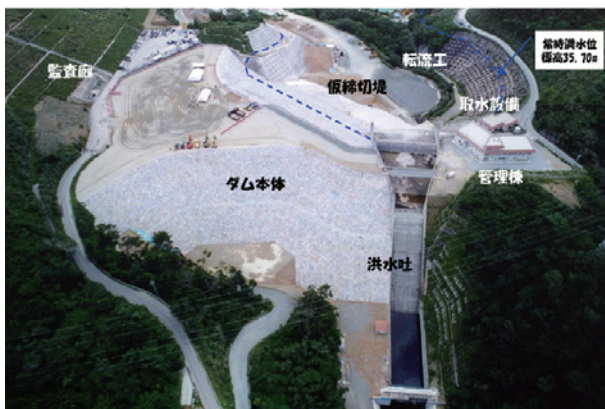


写真-1 真喜屋ダム（施工中の航空写真）

3. 曝気設備の導入の経緯

3.1 自然乾燥による曝気

H10 年度には盛立仕様を決定することになり、各材料を層別に撒き出し、これをバックホウで切り攪拌、かつ天日干しによる乾燥を繰り返した。日中乾燥させ夜間シート養生をする作業を繰り返すことにより含水比は低下するが、亜熱帯海洋性気候で突然のスコールがあり、シート養生が間に合わず、含水比は元に戻り再施工となった。500m³のコア材を造るため5ヶ月以上の日数を費やした。

3.2 曝気設備による自然乾燥

そこで昇降屋根付き曝気設備（写真-3）を考案した。この中に材料を入れバックホウで攪拌混合しながら自然乾燥させた。

この設備の特徴は、

- (1)台風・雨天時は屋根を地上高さまで降下できる。
- (2)太陽光を取り込める様、屋根部は透明のビニール張りとした。

短所は

- (1)一回当りの材料処理量が限られ 375 m³（15m×50m×0.5m）であり小さい。
- (2)攪拌用のバックホウを頻繁に稼働させなければならない。

この昇降屋根付き曝気設備で曝気試験を行った結果、混合材の自然含水比は23.2%で、最適含水比16%までの乾燥曝気には約2週間近くの日数を要した。また、放置すると吸水し含水比が再上昇する問題も起きた。



写真-3 昇降屋根付き曝気設備

3.3 強制曝気設備の必要性

コア材の堤体盛立数量が約 50,000 m³になり、締固めによる土量変化率やロス率を考慮し、約 70,000 m³のコア材を生産する。計画工程は盛立に合わせ 13 ヶ月、月当たりの稼働日数 14 日（コア盛立稼働日数 14 日）とした。また施工計画は日平均盛立量 385 m³、日最大盛立量 600 m³、月最大盛立量 8,500 m³とした。先の昇降屋根付き曝気設備では 1 サイクル 2 週間で 375 m³の生産能力のため、昇降屋根付き曝気設備を 10 基以上も必要となる。

ヤードの確保など現実的ではなく、このことから強制的に乾燥させる設備を考えることになった。

3.4 ベルトコンベヤ方式による実験

密封した箱の中に、ジェットヒータで熱風を送り込み、そこへ混合した材料をベルトコンベヤで搬送する（写真-4, 5）。ベルトコンベヤ（7m×3台）はインバータ制御にし、箱内での搬送時間（滞留時間）で含水比の調整を行った。実験の結果、室内の温度は 50～60℃になり混合材投入から約 10 分で含水比が 3%程度の低下となった。しかし固まりになった材料は表面部が乾いている程度で中までの含水比の低下は見られず、品質に均一性がなかった。さらに、高温状態でベルトが緩みだし、駆動部が空転する等の機械的な問題もあった。改良を加えても実現性に乏しいと言う結論に達した。



写真-4 ベルトコンベヤによる実験装置（外観）



写真-5 ベルトコンベヤによる実験装置（箱の内部）

3.5 キルン方式による実験

次にロータリーキルン方式によりコア材曝気設備を計画した。ロータリーキルンはアスファルトコンクリートの製造に用いられる骨材を熱アスファルトと加熱混合する装置であるが、コア材を乾燥させるに当り温風で、コア材の物性が変質しないようにしなければならない。さらにコア材は粘性があるため碎石などの骨材と違ってキルン内の羽根や胴鉄板への付着がないようにしなければならない。含水比低下の熱量計算や曝気能力の設

定などを検討し、独自にメーカーと共同で実験を行なうことにした。実験結果より、コア材の含水比の低下が瞬時に出来かつコア材の物性値が変化しないことが確かめられた。この結果より発注者と協議を重ね正式に採用されることになった。コア材の製造能力は、日最大盛立量 600 m^3 (昼夜体制にて製造) より時間当たり 50 トンとして設定した。このような経緯からコア材強制曝気設備を導入した。装置のフローを図-1 に示す。尚、混合の方法については施工の合理化、品質の安定性、コストの面から機械による混合(2 軸ミキサー)を採用した。

4. 強制曝気設備によるコア材生産

4.1 コア材供給装置と乾燥装置

平成15年8月から基礎工事の着手、10月から装置の組立てを開始し、11月末には装置が完成した(写真-6)。製造の工程は、まず粗粒材 Gs2s, 細粒材 Kc をバックホウで交互にホッパーへ投入する。

(バックホウ投入可・不可はミキサ下部のロードセルで感知し回転灯にて明示) 投入された材料は均一的な乾燥を行なう為、バッチ式2軸ミキサで1度攪拌する。次に供給ホッパーからフィーダーで送出し、投入ベルコンに送るが、この送出し速度を制御することによりコア材の製造量を調整することができる。投入ベルコンでコア材を高速搬送させ回転しているロータリーキルン(円筒型 $\phi 2.2\text{m}$, $L=8\text{m}$)へコア材を投入する(写真-7)。ロータリーキルン内はバーナーによる熱風方向とコア材の搬送方向を同方向とした。コア材はバーナーの温風によって熱し、温度はキルンからの排ガス温度(140°C)で管理し、バーナーへの燃料(A重油)供給量で制御した。キルン内でコア材を攪拌・搬送し乾燥させるにあたり、「コア材の物性が変質しない」が条件の為、工夫をしている。キルン内で、バーナーの“火炎”にさらされて、コア材を焼いてしまわないようにキルン内の掻き揚げフライトをバーナーから離れたところに設置し、バーナー付近の羽根は搬送用の形状にしている(写真-8)。



写真-6 強制曝気設備（全景）



写真-7 ロータリーキルン（外観）

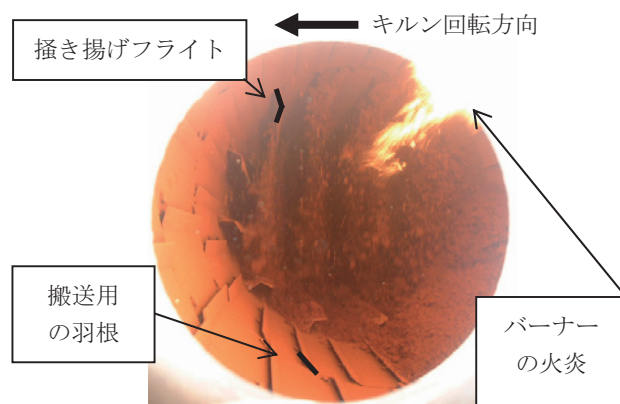


写真-8 ロータリーキルン（内部）

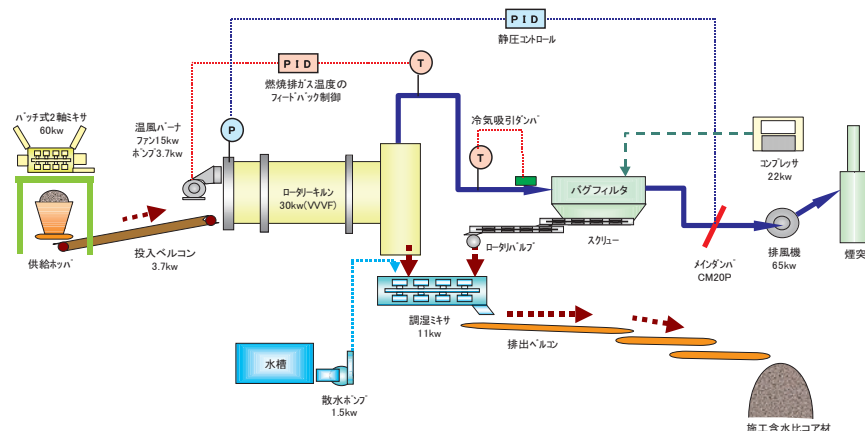


図-1 コア材強制曝気設備 製造フロー

4.2 コア材微粒分回収と調湿ミキサ

コア材はロータリーキルンを介し調湿ミキサへと移動する。コア材の微粒子はキルン内で乾燥しやすく一部の粒子は燃焼ガス・水蒸気とともにバグフィルタへ送られる。バグフィルタでコア材の微粒子を捕捉し調湿ミキサへと移動し、排気は大気に放出する。調湿ミキサ（2軸強制ミキサ）に集められたコア材を加水利再度攪拌をする。これは均一的な含水比調整を最終的にこなう為である。

5. 稼働の実績

5.1 コア材の含水比低下における製造実績

曝気後のコア材は製品ストックヤード（全面ビニールシート張り）に搬し3日～4日貯蔵する。曝気後のコア材は約70℃で常温まで自然冷却の際、含水比は1%程度低下する。ストックしたコア材は表面より乾燥が始まるので、含水比を維持させる為に噴霧設備を製品ストックヤードの天井部に設置し、必要に応じて使用した。また目標施工含水比21%（盛立て仕様の確認試験にて決定）まで低下させると盛立て現場で乾燥側になるため湿潤側に製造した。コアの盛立て量とコアの生産量を表-1に示す。また粗粒材Gs2sと細粒材Kcの混合後の自然含水比は平均27.6%、曝気後のコア材の含水比は平均22.6%となり平均5%の低下であった。

5.2 コア材製造における燃料使用量実績

当初燃料のA重油の使用を1トン当たり12リットルと計画した。実績は全A重油654,342リットルに対してコア材生産量は136,252トンであった。1トン当たり4.8リットルとなり計画の約40%程度の使用となった。これは調湿ミキサの攪拌による調整能力によりキルン出口での含水比を4%低減出来たことが燃料消費量を下げる結果になった。

5.3 従来工法とのコスト比較

経済比較の為、装置費及び運転費で比較する。従来工法を屋根付曝気ヤード14箇所、攪拌バックホウ7台、250m³曝気に14日と設定した場合、コストは6,300円/m³と算出した。これに対し、強制曝気設備による稼働実績は3,200円/m³であり低コストであった。

6. コア材強制曝気装置の今後の課題

強制曝気装置の利点としては

- (1)土の性状、天候に影響を受けずに含水比の低減が出来、しかも含水比の微調整が可能である。
- (2)全体的には曝気の低コスト化が可能である。
- (3)曝気の工期を短縮出来る。
- (4)施工サイクル及び工程に合わせて生産量を設定できる。
- (5)バッチ式2軸ミキサと調湿ミキサの攪拌によりコア材を混合し均一的にできる。



写真-9 バグフィルタ

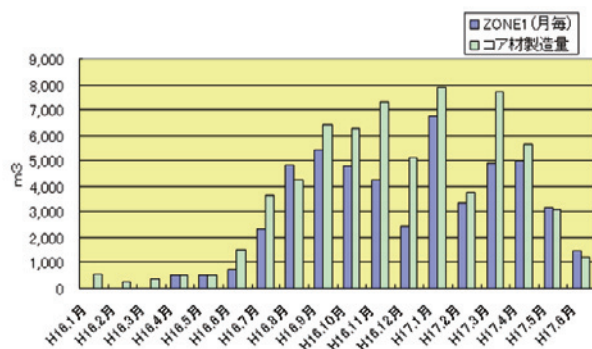


表-1 コア材の盛立量及び製造量

一方課題としては

- (1)エネルギー使用量が大きく必要性の理解が得られないと導入が難しい
- (2)同じ条件の現場があるとは限らずキルン等製作機械の転用が難しい

7. まとめ

コア材の含水比調整の為、工程の遅延が予想された。その対策として日本で初めてロックフィルダムのコア材の強制曝気設備を開発し導入した。盛立工程に合わせ、曝気設備は能力を十分に発揮し、昼夜体制で22時間/日の稼働を続けたが大きなトラブルは無かった。またコア材の品質管理においても良好な結果を得られた。

8. 謝辞

このような強制曝気装置を導入することに深く理解を示され、承諾を頂いた沖縄総合事務局土地改良課、羽地大川農業水利事業所、施工管理について御指導していただいた日技クラウン（株）様、また開発メーカーである日工株式会社様、設計から運転までアドバイスを頂いた株式会社セイア様、関係者皆様に心より感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 伊藤 隆・沼宮内 雅人他：ダムコア材曝気設備の開発と現場導入事例，ダム工学会，18巻・1号，pp.36～47，発行2008年