

ダム堆砂掘削機の開発

三浦 均¹・楠見 正之²・堀部 基寛³

¹大成建設(株) 土木本部土木技術部ダム技術室 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1)

²正会員 大成建設(株) 土木本部土木技術部ダム技術室 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1)

³大成建設(株) 国際事業本部国際土木支店 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿 6-8-1)

ダム貯水池内に堆積する土砂は時間の経過とともにその量は増えていく。この貯水池内の土砂堆積を意味する言葉が堆砂である。堆砂はダムの貯水容量を減少させるだけでなく河床変動や海岸線の後退など、河川環境にさまざまな影響を与えている¹⁾。堆砂対策としては排砂ゲートや排砂バイパスなどの設備を有し利用しているダムを除けば、掘削または浚渫を行っているケースが多い²⁾。排砂ゲートや排砂バイパスなどの設備はダム管理者が計画する範疇であるが、掘削や浚渫は建設会社でも従来工法および新たな工法開発により、その処理計画を提案できる分野と考えられる。当社は、新たなダム堆砂掘削機を開発した。その開発経緯や特徴をここに紹介するものである。

キーワード：ダムの浚渫、浚渫装置、ダム堆砂掘削機、クリーンな浚渫、ダム堆砂処理

1. はじめに

完成後、40年以上経過したダムの半数近くが既に堆砂容量を失っている、または失いつつあると言う文献もあり、今後、多くのダムが堆砂問題に直面することになるものと予想される³⁾。

ダム堆砂の影響としては、貯水容量の減少の他、ダム上流側では河床の上昇、下流側では河床の低下や海岸線の後退などが指摘されている。

恒久的な堆砂対策として、貯砂ダム、排砂バイパスなどの流入抑制策や排砂ゲート等を利用したスルーシング、フラッシングなどの排出促進策などがある¹⁾。これらの対策実施には適切な設備が必要となるが、そのような設備を有するダムは、まだ数が少なく、よって実施例も少ない⁴⁾。

一方、一時的な堆砂対策として掘削や浚渫など機械力を用いる方法がある。掘削は、陸上掘削が主で貯水池上流に堆積した土砂を重機で採取し、ダンプ等で貯水池外へ移送する方法であり、多くのダムで実施されている。しかし、実施にあたっては、貯水池の水位を一定期間下げ、掘削範囲をある程度ドライな状態にする必要があるため、貯水池内の適用できる範囲は限られる⁵⁾。

浚渫は、陸上掘削のような水位の調整は必要ない、貯水池が結氷しない限り施工時期の制約は受けないという利点があるが、大規模な設備が要求される場合のコスト高や浚渫時の濁水発生など、費用や環境面での課題があることも指摘されている。しかしながら、陸上掘削範囲外の堆砂対策としては、現在のところ浚渫が最も有効な手段と考えられている²⁾。

当社は、堆砂の性状や現状などを検討し、濁水発生を抑制したクリーンで効率的なダム堆砂掘削機を開発した。以下、開発の動機、要求される基本性能と年間掘削量の設定、掘削方式の選定やフィールド試験などを概説する。

2. 新型掘削機開発の動機

図-1は、国土交通省が過去に全国の直轄ダムを中心に貯水池内ボーリング調査等の結果をまとめたものである⁶⁾。

調査結果は、貯水池を上流部・中流部・下流部の3区域に分け、それぞれの区域を礫・砂主体、砂主体、粘土・シルト主体に土質区分している。

堆砂性状のうち自然含水比を見ると上流部は礫・

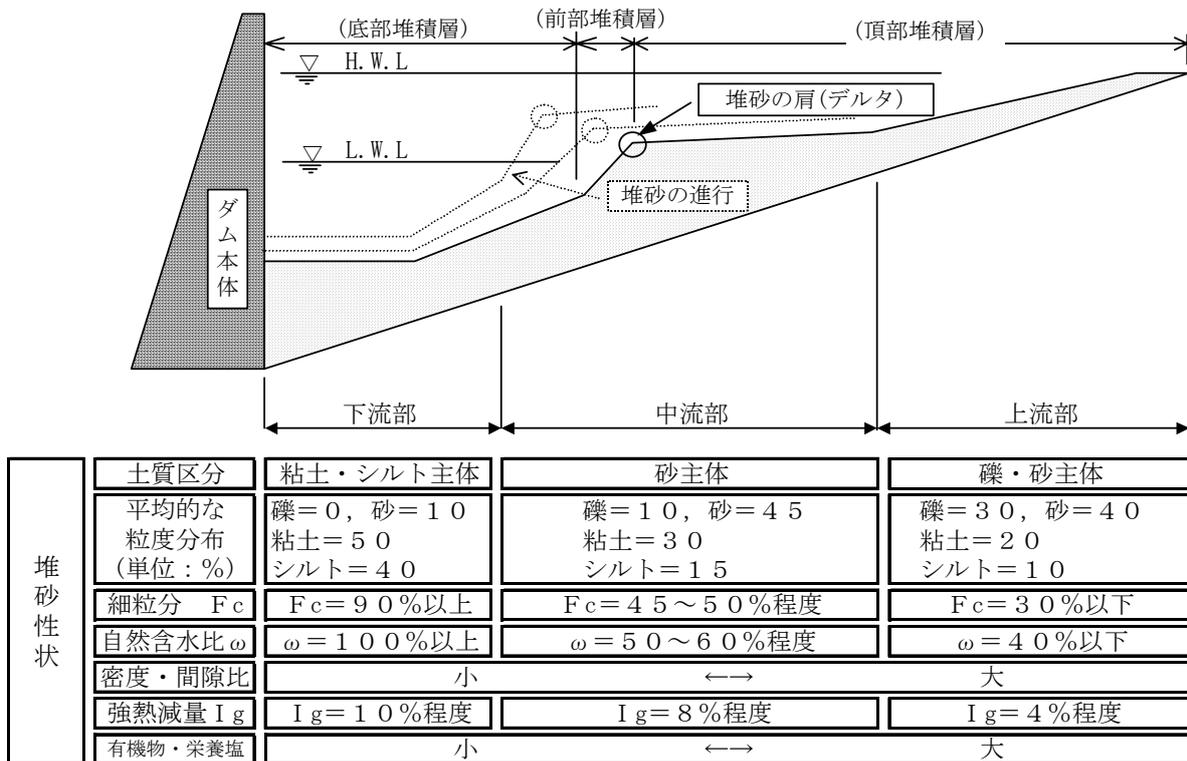


図-1 ダム堆砂の性状⁴⁾

砂主体であるため40%以下と低い値を示している。

次に中流部を見ると完全に水中に没しているにもかかわらず含水比が50%から60%と低く、比較的締まっている状態にあると言える。

一方、堆砂の進行形態は中流部の「堆砂の肩」が時間とともにダム本体側に前進し、それに合わせるように上流側に堆砂が遡上していきとされている¹⁾。このことから、他区域と比較して、中流部には砂主体の土砂が量的にも多く堆積しているものと判断した。以上より、土砂をほぐすために何らかの機械的な力が必要であると考えた。

そこで、中流部に存在する適度に締まった土砂を対象として、濁水発生を抑制したクリーンで効率的な水中掘削を可能とする装置を開発することは、堆砂対策に貢献すると考え、新型のダム堆砂掘削機を開発するため研究と検討を開始した。

3. 機械性能の基本条件設定

検討に先立ち堆砂掘削機として備えるべき性能についての基本条件を設定した。

- ① 掘削作業に伴う濁水発生が少ないこと。
- ② 締まった土砂でも掘削ができること。
- ③ 水深が50mでも連続掘削ができること。

④ 枝混入状態の土砂でも掘削ができること。

⑤ コンパクトで機動性のある設備であること。

以上の5つの条件をコンセプトとして掘削機開発の検討を進めた。

4. 年間掘削量の設定

堆砂掘削の年間当りの目標量も設定した。

年間数十万³mから百万³mも堆砂するダムは少なく、このようなダムでは土砂フラッシングや排砂パイパスなどの対策が基本となっているようである。大半のダムにおける年間堆砂量は10万³m以下である²⁾。そこで、一年を通して浚渫作業が行えるものと仮定した場合の掘削目標量を堆砂地山量で年間10万³mに設定した。

5. 掘削方式の選定

上流部の陸上掘削で採取した土砂は礫・砂主体で、細粒分が少なければコンクリート骨材や盛土材などに流用可能である。しかし、有効利用できない土砂は捨土となる可能性が高いが、掘削土量が多くなると用地の確保が難しい³⁾。

図-1を見ると、中流部は砂主体ではあるが、シルト・粘土も合わせて45%ある。有効利用するには多大な処理費用を要することが考えられるが、捨土処分するにも含水比を下げるなど最低限の処理は必要であり、かなりの費用を要する。一方、下流河川の環境を考えたとき、掘削した土砂を河道に必要量を還元する方法が選択の一つとしてある。将来、下流河道へ土砂還元する方策にも対応できるように以下のような仕様を選択した。

- ・ 排泥方法はポンプによる圧送方式を選択
- ・ ポンプは水中サンドポンプを選択
- ・ 年間処理量から口径 200 mmを選択

揚程や出力は現地の施工条件から決定することとした。

6. 掘削機の基本構造と施工方法

掘削機の基本構造や施工方法について以下に述べる。写真-1に掘削機外観を示す。これは高滝ダムでのフィールド試験で使用した2分の1モデルの掘削機であるが、サイズが2分の1であることを除けば標準機の構造と同じものである。

掘削機は、シールドマシンを二つ合わせたような形状で、先端に鋼製ビットを付けた油圧駆動の回転式面板を備えており、函体内部にはサンドポンプを装備している。

掘削機を昇降させる機械はクレーン等を使用する。掘削機を吊った状態で面板を回転しながら水中を降下させ、堆砂面に押し込んで掘削する。面板に取付けたビットにより堆砂地山をほぐし、ほぐした土砂を面板の開口スリットより函体内部のサンドポンプで吸込み所定の場所まで圧送する。

締まった状態の土砂を効率的に掘削する補助機構として函体外周にウォータージェットを配置した。ウォータージェットは堆砂地山をゆるめ掘削機の掘進速度を確保することを主目的としている。

堆砂には、木の枝が混入している場合が多く、掘削の障害となる。スリットを通過した枝を切断するカッター機構を内蔵することで、入ってきた枝を細かくしポンプ閉塞を回避した。

掘削機の昇降操作は、基本はクレーンであるが、大型のウィンチやホイストも考えている。

陸上からだけでなく、水上でも組立式台船に搭載して、浚渫作業を行い、ポンプ方式である利点を活かし輸送距離が短い場合は、そのまま函体内部のポンプのみで輸送するが距離が長い場合は、中継ポンプを必要台数設置してリレー形式で土砂

を輸送する。



写真-1 掘削機外観(2分の1モデル試験機)

7. フィールド試験の内容

基本構造案を元に試験機を設計・製作してフィールド試験を2回実施した。1回目は標準機の5分の1モデルの試験機を製作し、基本性能の確認試験を行った。2回目は、1回目の成果を元に2分の1モデルの試験機を設計・製作して実用機能の確認試験を実施した。2回の試験はいずれもダム貯水池の堆砂を実際に掘削して行った。図-2に開発手順のフロー図を示す。

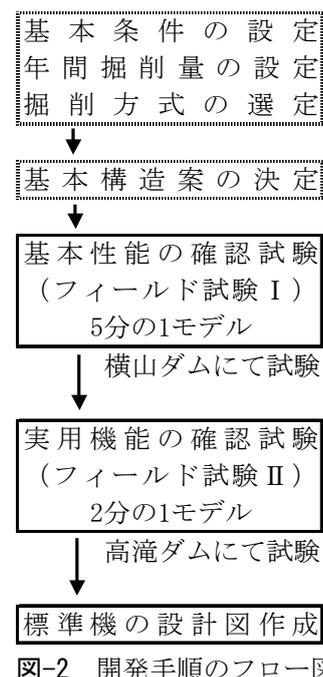


図-2 開発手順のフロー図

(1) 基本性能の確認試験（フィールド試験Ⅰ）

標準機の5分の1モデル試験機を製作して基本性能の確認試験を行った。使用したポンプの口径は50mmである。写真-2は試験状況、写真-3は面板の形状である。試験は木曾川水系揖斐川にある国土交通省・中部地方整備局所管の横山ダムで実施した。試験内容は、以下の固定項目と変更項目を組合せた12ケースで、実際に堆砂掘削を行い、排泥濃度、時間当たり掘削量、閉塞状況、各装置の動作状態、操作性などのデータ測定と観察を記録した。

固定項目

- ・ 排泥ポンプの周波数
- ・ 掘削機の掘進速度
- ・ 枝のカッター周波数

変更項目

- ・ 面板スリットの開口率
- ・ スリットの間隔
- ・ 面板の回転数
- ・ ウォータージェットの使用、未使用



写真-2 5分の1モデルでの試験状況



写真-3 5分の1モデルの面板

12ケースの試験結果から最も良好な掘削ができると思われる条件を整理、さらに6ケースの試験を実施した。そのときの固定項目と変更項目は次のとおりである。

固定項目

- ・ 排泥ポンプの周波数
- ・ 掘削機の掘進速度
- ・ 面板スリットの開口率と間隔
- ・ 面板の回転数

変更項目

- ・ ウォータージェットの使用、未使用
- ・ 掘削機内部への給水と未給水
- ・ 枝のカッター周波数

(2) 実用機能の確認試験（フィールド試験Ⅱ）

フィールド試験Ⅰから得られた知見と別途実施した工場での面板構造比較検討実験を元に、標準機の2分の1モデル試験機を設計・製作し、機能の確認試験を実施した。

使用したポンプは口径100mmである。

試験は養老川水系養老川にある千葉県所管の高滝ダムで行った。

この試験機は、サイズは2分の1ではあるが構造は標準機と同じである。

完全に水中掘削で行ったこの試験から得られる知見やデータは標準機の設計や施工に繋がる重要な試験と位置付けた。

以下、前回の試験機から変更した主要構造および追加機能の説明と、高滝ダムにおけるフィールド試験項目と結果について記述する。



写真-4 2分の1モデルの面板

a) 面板構造の変更

2分の1モデル試験機は面板構造を変更した。

写真-4 に変更後の面板構造を示す。

前回はビットおよびスリットを十字に直列配置としていたが、この配置ではスリットを通過しない礫等を面板外部に除けることができず、掘削に支障を与えることが判明した。工場で面板構造について、数種類の形状で実験を行った結果、ビットをらせん状に配置することにした。また、対象土質の性状により開口率を変更する必要があることが分り、効率的な掘削が行えるように取り外しができるスリット部を追加、開口率を変えられるようにした。

b) 排泥濃度の監視機能追加

横山ダムでのフィールド試験において掘削効率が良好な場合、高濃度の土砂によりポンプ閉塞を起こす現象が確認された。

対策として、掘削機内部に給水装置を追加設置して掘削土砂を適正濃度にする事、およびその濃度を監視する機能を追加した。その結果、ポンプ能力に適した土砂濃度の管理をすることで効率的な掘削ができるようになった。

c) 試験項目と結果

高滝ダムでのフィールド試験は、操作項目の組合せで約 80 ケースの試験を行った。すべて水中掘削である。以下に主要な確認事項と測定項目を記す。

- ・基本機能の動作状況確認
- ・構造変更点の機能確認
- ・追加機能の動作状況確認
- ・監視機能の動作状況確認
- ・単位時間の掘削量
- ・濁水の発生状況
- ・堆砂と旧地山の境界確認



写真-5 2分の1モデルの試験状況

試験結果から堆砂を効率的に掘削する条件や工夫、改良すべき課題など多くの知見が得られた。

その中の2つを以下に記述する。

- ① 2回のフィールド試験の掘削状況を見て、この構造仕様が他のダムにそのまま適応できるとは考えにくいことが分り、基本的な形状や装置の配置はそのまま、各部品や装備の仕様などは堆砂性状や現場条件から判断して決める手順が必要であることが分った。
- ② 高滝ダムは周囲が住宅地で、堆砂の中にビニール袋などの家庭ゴミが混入していた。それが原因でポンプが閉塞するため、解決すべき課題となった。

写真-5 に高滝ダムにおける試験状況で水中投入前のウォータージェット噴射状態を、写真-6 に周波数やトルクなどの掘削機の状態、排泥濃度、給排水量などをコンピューターで監視・操作状況を示す。



写真-6 掘削状態の監視状況

8. 標準機について

横山ダムと高滝ダムにおける2度のフィールド試験の結果を整理・検討し、標準機的设计図としてまとめた。

前項でも述べたが、個々のダムで堆砂性状が異なるため、標準機的设计図を元に掘削機を製造しても、そのダムに適した機械とはならない。堆砂性状や施工条件を検討した結果を元に掘削機の詳細設計を行う必要がある。

たとえば、掘削機の重量について言えば、フィールド試験を実施した2つのダムの堆砂性状を比較すると横山ダムは砂主体であるが高滝ダムはシルト主体であった。砂主体という条件で高滝ダムの掘削機を設計したが、高滝ダムの場合は掘削機の重量を減

らし、接地圧を小さくしても十分に掘削は可能であったと考えられる。全体のサイズを小さく軽量化できることは、施工設備全体をコンパクトにできるほか輸送費や組立・解体費のコストダウンにも貢献する。

他に土砂取込み部の開口率、面板やカッターなどの回転数、ビットの材質と形状、給・排水システム、その他の装備や部品についても実際に掘削機を設計・製造する段階の検討項目としている。

高滝ダムのフィールド試験は水中掘削であったが、濁水の発生は少なかった。また、油圧系統から油もれはなかったが、今後は環境に配慮し、油圧系統の作動油に合成エステル系の生分解性作動油を使用する予定としている。

写真-7に高滝ダムのフィールド試験において掘削土砂のタンク内への排砂状況を、写真-8に、その掘削土砂がタンク内に堆積した状況を示す。



写真-7 タンク内の排砂状況：高滝ダム



写真-8 タンク内の排出土砂：高滝ダム

9. おわりに

堆砂処理を「土砂掘削」と「土砂処理」に分けて考えた場合、今回、土砂掘削にかかる掘削機の開発について報告したが、掘削は堆砂処理の第1段階であり、第2段階として掘削した土砂の処理がある。

掘削した土砂の処理方法としては脱水処理、安定処理、固化処理、高度処理などがあるが、これらの処理は既存の技術でも対応可能と思われる。しかし、いずれの処理も、かなりの費用を要すること、処理後の土砂処分先を確保しなければならないこと、ダムが存在する限り処理を続けることなどを検討する必要があると考える。

そこで、量的利用や下流河川の環境改善などに対する要請もあり堆砂を河川供給材とする考えがある。堆砂を河川に還元する方法については関係機関で研究・検討がされており、種々の研究成果が専門誌等に発表されている。

今回、開発した掘削機も、将来、堆砂の河川還元も視野に入れたものである。

コンパクトで汎用的な施工システムにできるのでダム以外の湖沼や調整池などへの適用も考えている。特に土砂の拡散を抑制しながら掘削する必要がある場合などに有効である。

また、作業開始後に状況・条件が変更になる場合や故障等に素早く対応できるようにするため、市場から調達可能な装置・装備を使い、比較的単純な構造に仕上げている。

当社は掘削機開発に引き続き、堆砂処理および河川への土砂還元手法として、どのような方法があるのか検討を続けている。

最後に、フィールド試験実施にあたり、試験場所を提供していただいた国土交通省・中部地方整備局の横山ダム工事事務所ならびに千葉県・高滝ダム管理事務所に改めてお礼を申し上げたい。

参考文献

- 1) 大矢通弘, 角 哲也, 嘉門雅史: ダム堆砂の性状把握とその利用法, ダム工学 Vol. 12, No. 3. 2002
- 2) (社)日本大ダム会議, 技術委員会, 排砂対策分科会: ダム排砂対策の現状と課題, 大ダム No. 176. 2001. 7
- 3) 柏井条介: 堆砂対策によるダム貯水池の持続的利用, 土木技術資料 47-1. 2005
- 4) (財)ダム技術センター: 多目的ダムの建設, 第7巻, 管理編, 8. 貯水池土砂管理
- 5) 柏井条介: ダム土砂管理技術, シンポジウム, 貯水池土砂管理の現状と将来論文集