

◆ 報 文 ◆

造成アバットメント工によるダムの新しい端部処理

川崎秀明* 平山大輔** 吉岡英貴***

1. はじめに

地形地質的に恵まれないダムサイトが多い昨今、端部の切土法面が大規模となりがちだが、端部の長大な切土法面は、掘削量・堤体積・残土処分量の増大、法面保護工の設置・維持管理等において多大なコスト増を招き、景観・環境対策上の問題も多いことから、端部の切土法面の縮小は、至急に解決すべき課題である。

今回紹介する造成アバットメント工は、重力式コンクリートダムの端部処理に関して、切土法面を大幅にかつ安全に縮小する手法としてダム技術センターで近年開発され、国総研で設計法としての整理と体系化を行ったものであるが、有効性が高いことから採用例が急増している(表-1)。

表-1 造成アバットメント工の設計・施工実績

ダム名	所管	事業進捗状況	躯体諸元		
			岸	高さ m	体積 m ³
〈標準型 造成アバットメント工〉					
我喜屋	沖縄県	堤体完	左	6.8	1,200
大和	鹿児島県	施工中	左	9.0	1,500
			右	5.0	190
栴川	香川県	設計中	左	2.5	180
			右	6.5	600
内海	香川県	設計中	左	6.5	700
石井	兵庫県	施工中	左	6.2	581
			右	7.2	509
北河内	石川県	設計済	左	6.0	650
			右	3.0	150
舟川	富山県	設計済	左	12.8	2,400
琴川	山梨県	施工中	右	6.0	400
長井	東北地整	施工済	右	16.5	5,300
〈傾斜型 造成アバットメント工〉					
西の谷	鹿児島県	設計済	左	14.0	3,400
			右	14.0	3,400
稲葉	大分県	掘削中	左	37.5	13,800
			右	38.0	13,500
遠野第2	岩手県	設計済	左	23.1	3,500

当工の基本概念は、端部にコンクリート躯体による人工岩盤を設置することで地山の掘削法面を減じるものであるが、躯体高約 10～15m 以下の比較的小規模の端部処理である標準型とより大規模となる傾斜型の 2 タイプがある。

2. 標準型造成アバットメント工

端部の地山に風化等で固結度の低い地層が厚く分布する場合(表-1 では花崗岩地域が多い)、従来の手法では堤体基礎として堅岩線まで掘削せねばならないことから、多大な掘削量と広大な切土法面が生じることになる。しかし、このような場合の表層風化部や低固結層の大半は緩みの少ない耐変形性を有する地盤であることから、これらの地層を残すことができれば、切土法面と本体掘削量を大幅に削減することが可能となる。

そこで開発されたのが、図-1 にイメージを示す標準型造成アバットメント工であり、当工は堅岩の高まりが期待できないような端部において、コンクリート躯体による人工岩盤を設置することで、切土法面と本体掘削量を大幅に削減する。また、当工の天端は、狭隘なダムサイトにおける貴重な施工・管理用のヤードともなる。

なお以前は、グラウチングが困難な地層は基礎として不適切とされ低固結層を掘削除去し、端部も含めて堅岩に載せることが多かったが、近年は連続地中壁等の止水技術の発展によって止水処理できない地盤が大幅に減っている。また、新改定のグラウチング技術指針では低固結層であっても

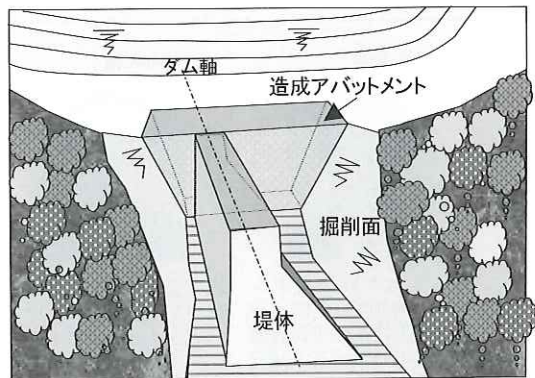


図-1 標準型造成アバットメント工のイメージ

New Edge Treatment Method of Dam by the Construction Abutment.

透水性の低い場合は残置することも選択肢として、いるように最近の基礎処理の考え方の変化もあり、今後は低固結層を検討もなく掘削除去とするのは厳に慎むべきである。

図-2は尾根部での標準型当工適用例を示すが、法面軽減効果が非常に大きいことがわかる。

2.1 標準型造成アバットメント工の設計

標準型造成アバットメント工の設計上の検討フロー（位置決め～躯体設計）を図-3に示す。造成アバットメント工自体は、堤体に先立って造成される人工の岩盤であるが、堤体基礎となることから、重力式コンクリートダム設計法を準用することにより、堤体と同等以上に安全性の高い設計としている。

以下に、造成アバットメント工の位置決め（座取り）上の留意事項を示す。

- ①造成アバットメント躯体敷は所要の強度を有する堅岩に上座しなければならない。
- ②平面的には、尾根部で堅岩線が最も張り出した位置がダム軸端部として優れていることが多い。ただし、過度のやせ尾根では上下流方向に躯体敷を確保することができない。
- ③端部の堅岩線が浅い場合や急傾斜である場合は、法面軽減効果は少なく、堅岩線まで掘削し堤体

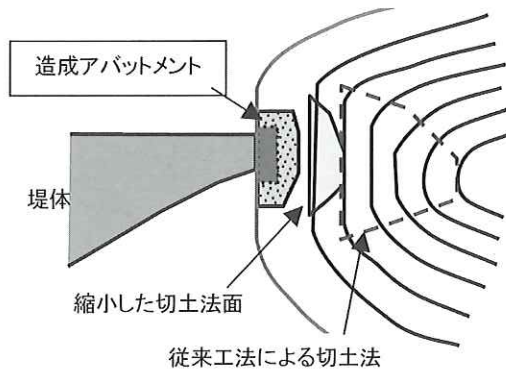


図-2 造成アバットメントによる端部処理

を設置する従来の手法でも切土法面積を十分小さくすることができる。

- ④躯体高が高くなると必要躯体敷長が長くなるため、躯体積が大きく増える。経済的には躯体高を必要最小限とすることが重要である。
- ⑤天端標高に広い平場が形成されるので、端部の用地確保（作業ヤード、道路敷等）の効用についても検討する。
- ⑥造成アバットメント設置が終わっても隣接する堤体ブロックが打ち上がるまでタイムラグ（中

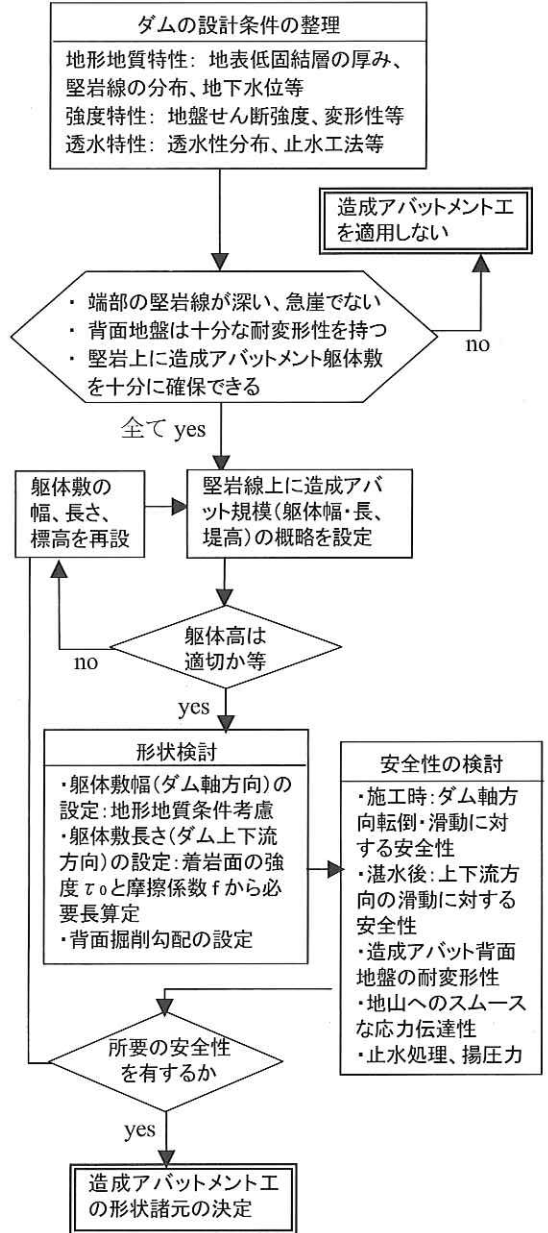


図-3 造成アバットメント工の検討フロー図

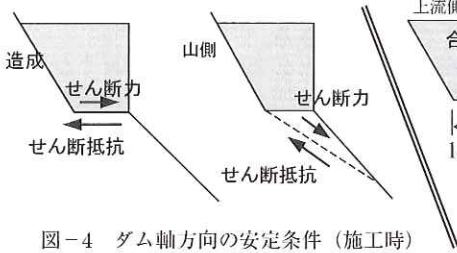


図-4 ダム軸方向の安定条件 (施工時)

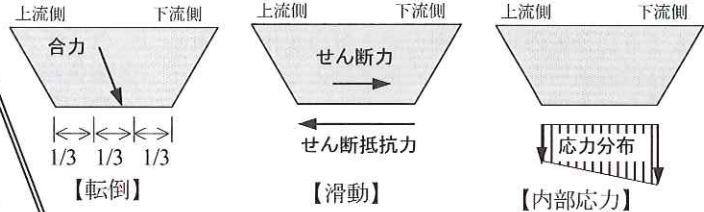


図-5 上下流方向の安定条件 (湛水後)

規模ダムで2～4年)があるため、地山のゆるみの進行等も考慮した対応(掘削上の余裕の確保)を検討しておくこととする。
標準型造成アバットメント工の設計上の留意事項を下記に示す。

- ①施工時(ダム本体が未接合で造成アバットメント単独時)については、ダム軸方向へ転倒と滑動をチェックする。地盤強度や敷幅に余裕がない場合は、底面地盤内の低角度押し抜きせん断に対する安全性も確認する(図-4)。
- ②湛水後(ダム本体が完成して造成アバットメントと接合後)については、重力式コンクリートダムと同様に、上下流方向の転倒、滑動、発生応力を確認する(図-5、表-2)。
- ③特に滑動に対する安定性確保が造成アバットメント工の断面決定に関係する。せん断抵抗として必要な断面は躯体敷面積から決定され、その手順は、地形や地質条件から適切な躯体敷幅と躯体敷長を設定して、着岩面の強度 τ_0 と摩擦係数 f からせん断抵抗を算定する。
- ④完成後の荷重条件を図-6に示すが、重力式コンクリートダムと同様である(図-6の揚圧力は基礎排水孔を設けない場合の荷重分布)。
- ⑤造成アバットメント背面地山の変形に対し、非堅岩部が十分な支持力を有しているかを変形係数、N値などにより確認する(堤高と地質によるが、変形係数50Mpa以上またはN値20以上が目安)。
- ⑥地山へのスムーズな応力伝達を図るため、堤体から上下流に45度程度の角度で応力が伝わるものと考え、最低限その範囲までは造成アバットメント工を設置する。

造成アバットメント工の止水性は堤体と同様に確保することとし、グラウチング技術指針によるものとする。下記に止水上の留意事項を示す。

- ①躯体敷と背面斜面の地山部のダム軸方向には、止水の連続性に配慮した上で必要に応じて止水ライン(カーテングラウチングまたは連続地中壁など)を設ける。また、堤体との接続部である横継目には止水板を設置する。
- ②造成アバットメント工躯体と背面地山との間は、躯体のコンクリート収縮後に必要に応じてコン

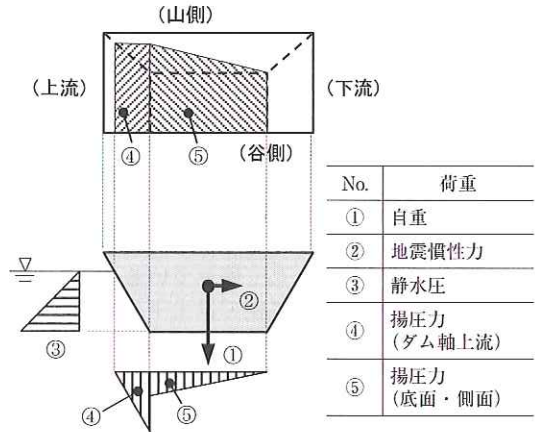


図-6 躯体に作用する荷重 (湛水後、上下流方向)

表-2 上下流方向の安定性設計条件 (湛水後)

水位	荷重	安定条件
常時満水位	(水平成分) ・静水圧 ・地震慣性力 k (鉛直成分) ・自重 ・揚圧力	【転倒】 合力の作用点が着岩部の中央 $1/3$ に入ること。(ミドルサードの条件)
サーチャージ水位	(水平成分) ・静水圧 ・地震慣性力 $0.5k$ (鉛直成分) ・自重 ・揚圧力	【滑動】 Hennyの滑動安全率4を満足すること。
設計洪水位	(水平成分) ・静水圧 (鉛直成分) ・自重 ・揚圧力	【内部応力】 造成アバットメント内部に発生する応力に対し、十分な強度を有する材料を用いること。

タクトグラウチング等で充填する。

2.2 標準型の設計・施工事例

標準型造成アバットメント工の設計事例を図-7に示す。この中で、左岸端部は出尾根部であることから、切土法面、掘削量、堤体積の大幅な減となり、より効果大きい。一方、右岸端部は谷部であり、ダム軸での法面軽減は大きいものの、上下流部では法面軽減効果は少なくなっている。

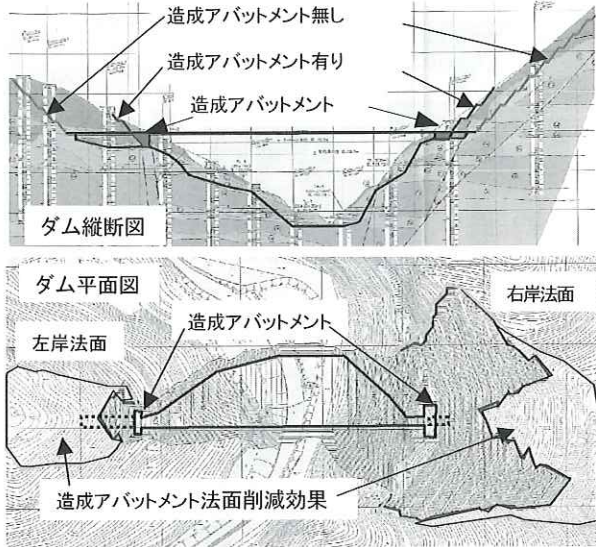


図-7 Kダム造成アバットメントの法面削減効果

つまり、端部が尾根地形であるほど切土法面削減効果も大きくなるのがわかる。

写真-1、2に標準型造成アバットメントの施工事例を示すが、造成アバットメント躯体は掘削初期に設置され、本体打設が打ち上がってくるのを待って堤体と接合される。

3. 傾斜型造成アバットメント工

地質地形条件によっては、さらに大規模かつ効果を高めた特殊な工法として、傾斜型造成アバットメント工がある。当工は、図-8に示すように耐変形性を有する背面地盤上に上下流方向に長くかつ厚みのある大規模コンクリート板による人工岩盤を形成するものである。また、躯体規模は標準型造成アバットメントよりも大きくなるが、本体掘削量と堤体打設量が大きく低減されることで、コスト縮減効果は非常に大きい。その安定性は、躯体敷のせん断抵抗によるとともに傾斜型の上に乗る堤体の所要の安定性を十分に確保するように設計しなければならない。

事例として、表-1に示すように遠野第2ダム(岩手県)、稲葉ダム(大分県)、西之谷ダム(鹿児島県)などがあるが、稲葉ダムは本体掘削中で、他2ダムは実施設計がほぼ終了した段階にある。

3.1 傾斜型造成アバットメント工の設計

図-9に、傾斜型造成アバットメント工の安定計算フローを示す。傾斜型の設計は、ダム堤体と同様の安全度を保つように、標準型造成アバットメント工と同様に躯体敷部において上下流方向とダム軸方向について所要の安定性を確認するが、傾斜型は、背面地山の耐変形性と底面基礎となる堅岩部の強度に十分な余裕がある場合に採用し得

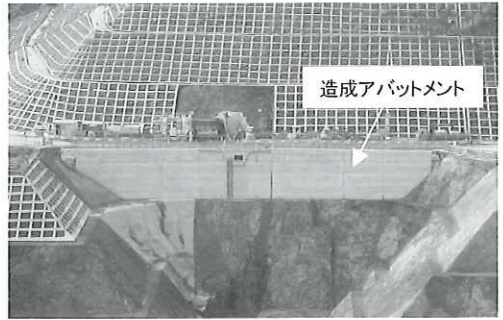


写真-1 我喜屋ダム(沖縄県)における標準型造成アバットメントの施工(前後は道路擁壁工と兼用)

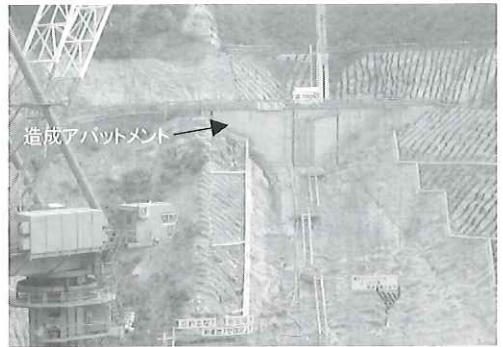


写真-2 石井ダム(兵庫県)における標準型造成アバットメントの施工

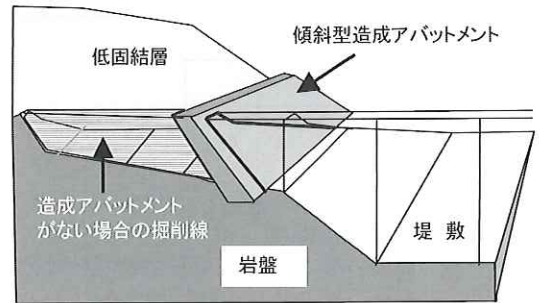


図-8 傾斜型造成アバットメントによる端部処理

るものである。

なお、傾斜型はコンクリート板の上に堤体がかかるため、板厚が薄いと造成アバットメント工自体が変形し背面の地山に適切に応力が伝達されず、滑動、内部応力に対する安全性を確保することができなくなる。よって、傾斜型を適用する際には、造成アバットメント工に適切な厚みを持たせるとともに、基本的に有限要素法によって発生応力と変形性を確認する必要がある。

また、傾斜型は規模が大きくなるため掘削法面

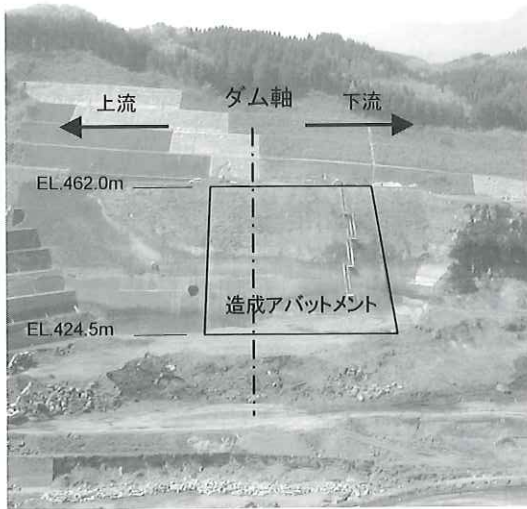


写真-3 稲葉ダム造成アバットメント工

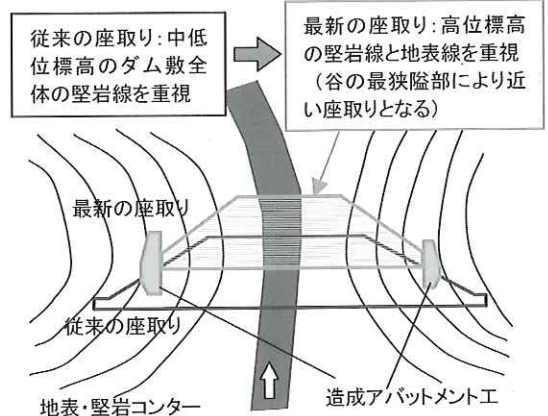


図-11 造成アバットメント工と座取りの関係

地形地質条件として、「①取り付けるべき地山の厚みがある、②底面基盤が十分なせん断強度を有する、③背面斜面が十分な耐変形性を有する」等があるが、調査、設計、施工において十分な検討を行い、ダムとしての安全性を損なうことがないよう、適切な設計を徹底することが望まれる。

また、当工に有利な地形地質条件として、「①尾根が発達している、②端部の地山において堅岩線が深い、③地形が余り急峻でない」等があるが、これらの条件は、図-11に示すように座取り等の堤体設計に大きな影響を与えるものである。

つまり、当工採用によって最新の座取りは「ダム天端に近い高標高部の堅岩および地表コンターをより重視する」ようになり、この結果、座取りの最適位置も最短ダム軸の位置に近くなり、従来のように若干上流側に移した座取りは少なくなる

と予想される。特に、今後は「谷部にダム軸を設定する、尾根部を深く切り込む」という従来多い座取りは見直すべきと考えられる。また、ダム軸低標高部に重点を置く従来の地質調査も高標高部をより重視するようになると予想される。

いずれにせよ、今後も設計と施工の実績蓄積を踏まえ、より合理的な設計方法、効率的な施工方法について、調査・検討を進めていく予定である。

謝辞

最後に、貴重な資料のご提供をいただいた造成アバットメント工実施現場の関係各位のご協力に対しまして深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 川崎秀明、平山大輔：造成アバットメント工の特徴および設計手法，ダム技術，203号，pp.54-63，平成15年8月

川崎秀明*



財団法人ダム技術センター企画部長（前国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部ダム研究室室長），工博
Dr. Hiideaki KAWASAKI

平山大輔**



国土交通省北陸地方整備局河川計画課（前国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部ダム研究室主任研究官）
Daisuke HIRAYAMA

吉岡英貴***



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部ダム研究室研究員
Hidetaka YOSHIOKA