

講 座

UDC 627-82

コンクリート・ダム特論Ⅱ

ダムの施工計画及び施工設備(1)

正 員 有 坂 誠 喜*

1. 概 説

ダムの施工計画及びその設備を決定するには先づ必要な調査が完備し、詳細な設計図迄出来ていなければならない。従つて詳細な工事数量及び材料表の準備は当然である。以上の基本資料を準備した上、工事の着手時期及び工期を予定して始めて経済的の施工計画及びその設備を決定出来る。

ダムの施工計画は企業者に於て必ずこれを樹立しなければならないが、施工設備の設計はこれを請負者に一任しても差支えない。この際には請負者が為すべき施工設備の要領、能力等は企業者の施工計画に適合する様に仕様書に規定すべきである。

従来我国においては調査設計の完了しない内に部分的に工事に着手し、これと平行に詳細な調査設計を進める方法がよく採用された。この方法では工事着手してから多大の設計変更を来し、施工計画が根本から崩れる事があつて到底経済的な施工が出来ない。故に適確な施工計画を樹立して適切な施工設備を選定するには工事着手する前に出来る限り広範な調査と詳細な設計は不可欠のものである。

又施工計画及び設備は従来所謂仮設備と称せられ、その設計図は比較的粗略に取扱われ勝ちであつた。然し工事をすると設計図が完備していないと云う事は工事遂行上多大の不利を伴うから些細な設備迄詳細な設計図を用意すべきである。又同一現場の設備状態が数回変化する場合には予め各段階毎の設計図を準備すべきは云う迄もない。

ダムの工事に着手する迄にはダム本体の地形、地質、構築材料等の外に施工計画及び施工設備決定に要する地域の地形測量、試錐及び試坑、表土めぐり、現場への交通路の調査は甚だ重要である。

これらの調査及び計画には少くとも総工費の1~2%要する。特にダム地点の地質が複雑している場合にはその調査、決定には工費も期日も莫大に要する。斯

の場合調査費は3~4%に達する。

ダム工事は他の一般土木工事に較べて限られた狭い区域に大量の工事数量を施工し、しかもこれが立体的になつていたので機械力を充分活用しなければ到底経済的にスピードアップする事は出来ない。特に最も大量のコンクリートの施工に関しては全く機械がその作業の大部分をする事になる。故に工事施工方法の決定には現場の状況及び工期に依り先づ如何なる施工機械を使用するかを決める事が計画の根本となる。

ダムを施工するには先づ工事に従事する職員及び労務者の居住設備並びに現場事務所の設営と最寄の鉄道駅からの交通機関の整備から始めなければならない。上記の仕事が一部完成するに伴い現場における材料置場、倉庫及び工車用各種工場に着手すると共にダム工事の最初に行うべき重要な作業たる河川の付替及び締切に掛る。斯くして河川の一部又は全部の締切が完成し内部の排水が出来た所で始めて基礎の掘鑿が可能となり堤体コンクリート打込に進む事が出来るのである。勿論この締切及び排水は必ず洪水期を避けて行わなければならないのでダム工事の開始はこれが出る様に上記の準備期間を考慮に入れて遅くも夏季6又は8月には着手すべきである。勿論現場への交通機関、及び降雪等の気象条件を考慮に入れて九州、四国及び南近畿地方は若干遅くも可能であろうし中部の積雪多い山岳地帯並びに東北、北海道地方ではもう少し早目に着手する必要がある。勿論長大な排水隧道の掘鑿の必要な場合はより早目に着手しなければならない。

締切及び排水路は一段階の作業に少くとも一湯水期間を要するのでこの期間中にコンクリート骨架のための諸設備を完了する。コンクリート骨架用設備には骨材採取、運搬、破碎及び篩別設備、骨材貯蔵及び小運搬設備、セメント輸送及び貯蔵設備、混合設備、コンクリート運搬及び打込設備、給水、圧縮空気設備等が含まれる。ダム骨架に伴つて堤体の上流側において基礎岩盤にグラウトホールを鑿孔してグラウチングして止水しなければならない。高いダムにおいては完成前

* 株式会社間組

に湛水して、貯水池の使用を開始する事があるのでこの場合には堤体中に第2次、第3次或いは第4次の排水路を設置しなければならない。

以上述べたダム施工に要する設備を列記すれば

(1) 工事用居住設備 (2) 事務所、倉庫及び材料置場 (3) 交通、運搬施設 (4) 河川の水廻し即ち排水路、締切及び水替設備 (5) 表土はぎ及び掘鑿 (6) ボーリング及びグラウチング (7) 骨材採集運搬 (8) 骨材破碎及び篩別、洗滌 (9) 骨材貯藏 (10) セメント輸送及び貯藏 (11) 混合工場 (12) コンクリート運搬 (13) コンクリート打込 (14) 給水設備 (15) 圧縮空気設備 (16) 動力設備 (17) 修理工場設備 (18) 木工場設備

II. 施工計画及び設備決定に要する諸条件

ダム地点は流入量、利用落差、貯水量及び地形、地質等の主要条件に依つて大凡の計画地点は選定される。然しその正確な位置の決定並びに型式の選定には施工上の条件をも考慮に入れる必要がある。

ダムの正確な位置及び高さが決定した場合それを築造するに要する工費並びに工期に影響を及ぼす重要な要因を研究して見よう。こゝにはダム自体の工費に関するもので貯水池に関する水没物権たる用地補償、付替道路、鉄道、電力、通信線及び洗筏其他水利権に対する補償は含まないものとする。

(1) 地質及び堤体材料

ダムは保安上重要な構造物であるので基礎の地質は特に入念に調査しなければならない。此の為に単なる地表からの観察のみならず試掘及び試錐の記録は綿密に検討しなければならない。もし各種の地質、例えば土砂と岩石とかの材料に大幅の変動を生ずる可能性があれば、最も適切で且つ経済的な機械化の掘鑿設備を巧みに選定することは望み得ない。

一般にダムの設計に当つてはその現場近くに豊富に出る天然産の材料を出来るだけ使用すべきである。従つて基礎掘鑿の土砂及び岩石は利用出来る物は当然之を考慮すべきであるが、之の運搬及び貯藏が他の採取場よりのそれより高価となる場合には排除される事となる。

掘鑿土砂及び岩石を如何にして運ぶかを決定する前にその材料の集積場の性質と位置を予め知つて置く必要がある。掘鑿したズリをダムの骨材として用い得るかどうかアースダムを作るとすればその材料が砂質の物であるか、粘土質に富む物であるか、又如何にしてそれを運ぶかどんな種類の設備機械を使用すべきか更

に骨材を製造して使用する所では適当な採石場の位置をどうして選定するか、如何にしてこれを破碎するか、どれだけの大きさの設備が必要か、どんな地表土を運搬しなければならないかと云う様な事項は詳細な調査をしなければならない問題の一部に過ぎない。

コンクリートダムに於ても築造に要する主要材たる粗骨材及び細骨材は非常に大量となるので採集及び運搬に要する工費は堤体の単価に最も大きな影響を与える。即ち採集場としては先づダム地点に成可く所要量を充分に満足する事且つコンクリートの配合に近く過不足少く、細粗良く混合し、転石の混入の少い事、表土は薄く含有粘土量が少ない事等が好条件である。

従つて貯水池の湛水区域となる地域の採集場はダムの途中湛水又は築造に伴つて洪水時の水位上昇の為に工事半ばで移設するか或いは残工事分だけを貯藏しなければならない恐れが多分に有るから下流側にあるのに比較してこの点不利である。然し上記の全条項を満足する様な採集場は極めて稀にしか無いのでその選定には種々の比較研究を要する。

単一の採集場ではダムの全骨材としては不充分であり、又細粗骨材の混合が過不足甚しく2~3ヶ所の採集場を設けなければならない事は屢々ある。特に細骨材に対しては粗骨材と別々に採取しなければならない場合が多い。上記の諸条件中採取場とダム現場との距離即ち骨材の運搬距離は最も工費に影響が甚大で或る限度を超えて新たに運搬設備を設けては到底経済的にダムを築造する事は出来ない。従つて此の場合には現場近くに原石山を選定し得れば此処で採石、破碎して粗骨材及び細骨材を全部造るか或いは又粗骨材のみを原石より製造して細骨材としては天然産の砂を遠方より輸送する方法も選ばれる。

(2) 地形及び河床状況

現場の地形的条件としては工事用の仮設備及び仮建物を設置する余地がダムの貯水に支障の無い下流側に充分有る事が之等の施設に要する工費を少くするに相当価値が有る。然し最も重要な事は河床幅と洪水量との割合並びに河床水深及び堆積砂利層が薄く且つ河幅が洪水量に対して広く洪水時の水位上昇が少なければダム工事に最も困難で且つ危険の多い締切及び排水路の工事が安く早く施工出来る。これは工費と工期の二方面に多大の影響を及ぼす。この為に多少ダム容量が大きくても河幅の若干広い水深並びに河床堆積砂利層の浅い地点が選ばれる事が屢々ある。河床砂利層が深くなると締切は加速度的に困難を倍加するのみならず排水路を隧道にしたり或いは特殊の工法を採用したりしなければならないので著しく工費を増加することに

なる。故に現場の状況としては河床砂利層が浅く適当の河幅を持つ事を第一義的に考えるべきである。ダム地点の地形はその建設方式を決定する支配的要素の一つである。

峽谷状の場所では恐らくケーブルクレーンが必要となろうし、又比較的河幅の広い地点のダムでは打込用棧橋と此の上を走行する長弦のジブクレーンが必要となろう。之等と関連してコンクリート運搬線、混合工場、篩別工場、骨材及びセメント貯蔵所並びに各種運搬設備、工事用建物の配置等は地形状況で大いに左右される。此の事情は河幅の比較的開闊なダム地点では余り重要問題とならないが峽谷状のダム地点では第一の重要点となる。即ち工事を始めるには先づ工事用の建物、材料置場に必要地域の地均し、仮設構造物の築造及び締切、河床の掘鑿から工事に着手される。

(3) 気象条件

気象条件はコンクリートダムに於てもその工費に非常に大きい影響を持つ。気象条件の内特に気温と降雪が大きな要素である。比較的気候の寒冷な地方では冬期間の工事に技術上特別の考慮を要するが尙気温が零下 5° 以下となれば保温設備無しに仮設用コンクリート及び鉄筋コンクリートは勿論、更に気温が低下すれば堤体のマスコンクリートでも作業が出来ない。従つて寒冷地ではコンクリートの施工日数がそれだけ少くなり又工地上どうしても遂行しなければならない工事には上記の如く特別の考慮が必要となるので勢い工費は割高とならざるを得ない。多量の降雪はコンクリートの打込作業を不可能にするのみならず仮設備、掘鑿その他凡ゆる野外の工事を不可能にするか又は甚だしく割高にするので最も不利な条件となる。その上混合工場、篩別工場を始めその他総ての仮設構造物並びに仮建物、居住建物に至る迄積雪荷重を考慮に入れただけ強くしなければならない。又寒冷地に於ては工事従業員、労務者の暖房設備、燃料費の嵩む点も見逃し難い。更に又工事の施工日数の減少はそれだけ工期を長くし高い金利では特にその不利を増大する。

又冬期間作業の中断はその都度労務者の交替のために旅費其他の出費が嵩むのみならず熟練工を失う事は見えざる不利である。故に一年中連続的にコンクリート作業の出来る温暖地方は他の地方に比して非常に有利と云う事が出来る。此の事はダムの容積が大きく又工事期間が長い程著しい。特別の大ダムでは夏季炎熱の期間混合用水及び骨材の冷却或いはコンクリートの冷却等に余分の工費を要する事になるので余り気温の高いのも逆効果となる場合がある。

次に降雨も亦コンクリート作業を阻害する要因とな

るが之は小雨であれば差支え無く又晴れれば直ちにコンクリート作業が出来るので実際問題としては連続的の降雨のみが真の障害となる。故に我国の温暖地方においては降雨の為のコンクリート作業中断は連続的には5~6日以下、年間を通じて最大100日前後ではなかろうか。寧ろ台風による連続的強雨がコンクリートの施工設備及び運搬設備に及ぼす災害の為にコンクリート作業の中断を余儀なくさせる方がより障害となる。この点に関してはダム現場への資材輸送路其他施工設備に十分な注意を払う必要がある。

実際問題として年降水量1500~2000mm級の北九州温暖地方では年間を通じてコンクリート作業を阻害する日数は各月6~7日であるから毎月平均23~24日は打込可能である。従つて1ケ年を通じては270~280日を打込可能日数とする事が出来る。然るに此の地域の1mmを超える降水日数は106日であるからコンクリート作業を阻害する降水日数は1mmを超える降水日数の約8割と見てよい。されば我国における温暖地帯の最多雨たる年降水量4000mm級の尾鷲地区でも1mmを超える降水日数は127日程度であるから年間の打込日数は240日程度は見込む事が出来る。冬期気温が著しく低下するか又は多量の降雪を伴う北陸、中部以北の山岳地帯では冬期は60~90日は連続的にコンクリート作業が不可能となるから年間を通じての打込日数は190~220日となる事は珍らしくない。

(4) 地利的条件

ダム工事ではセメント、鉄筋、鋼材、機械、施工機械及び其の他建設資材を莫大に要する外、工事に従事する職員、労務者を相当多数出入或いは滞在させなければならない。之等の資材を輸送する為ダム現場迄は是非とも完全な輸送機関或いは交通施設を設置しなければならない。ダム工事は多くの場合山間僻地で現存の交通機関が現場迄通じていないか或いは不十分な場合が多いので新たに交通路又は輸送設備を設けるか或いは既存のものを大改良する必要がある。所で我国の大量の物資輸送の主体は鉄道であつてダム工事においては所要資材の大部分は最寄の鉄道駅から道路又は他の輸送施設に依つて運搬する事になる。故にダム工事では最寄の鉄道駅からの距離と此の間の地形及び既存道路の状況が工事費に甚大な影響を及ぼす。最寄鉄道駅からダム現場迄の交通、輸送施設は前記の距離及び地形の他にダムの規模即ち輸送物資の量によつて鉄道路路或いは索道又は之等の併用が経済と安全の両面から比較の上決定されなければならない。とにかく輸送距離と地形特に高低差は輸送費に大なる影響を与えるので工事計画上最も研究を要する所である。

Ⅰ. 締切及び工事中排水路計画

(1) 締切において考慮すべき条件

ダム工事において経済上最も重要な事は河水処理に最良の計画を樹てるにある。締切及び工事中排水路を計画するには次の各条を理論的に研究した結果によつて決定しなければならない。

a. 河川の特性 締切計画には河川流量の季節的变化の状況が根本である。従つて出来る限り既往に遡つて水文学的資料を蒐集しこれを細心の注意を以つて分析しなければならない。これには近来発達して来た統計学的確率論を応用すれば一層満足する結果が得られよう。日々又は月別の水位流量図を観察すれば季節はづれの洪水の歴史も明らかとなる。適当な水位流量の記録が無い場合には降雨及びその流出特性の分析により或いは類似の隣接河川についての研究によつて補う事が必要である。

b. 洪水に対する危険率 締切及び工事中排水路の計画に何程の洪水危険率を考慮に入れるかアースダムやロックフィルダムの如く工事中において絶対に溢流を許すわけに行かないダムでは工事期間中予想される最大洪水を安全に通水し得る様にするのが原則である。然しコンクリートダムでは洪水被害及び工事の遅延等による費用に対しての見積りと洪水防護のために大規模な締切及び工事中排水路に要する工費との比較によつて適当な通水量を決める。一般には夏季の洪水又は積雪の多い地域では春先の融雪時の洪水には締切を溢流させない様にしてその他の季節はづれの洪水を安全に通水せしめ得る程度に決めるのが普通である。締切及び工事中排水路の通水量の決定には月別の洪水頻度曲線を利用する。朝鮮鴨綠江の雲峰ダムでは計画最大洪水量は 20 000t/sec であるが第1回の半川締切では春季雪融の出水量 3 000t/sec (年平均流量 220t/sec) を通し得る締切堤の高さとした。

c. 締切及び工事中排水路の型式 工事期間中の河川を処理するために工事中排水路は如何なる型式が良いか又最後の湛水する際の締切工法は如何なるものが適当かは慎重な研究を要する。即ち季節的の流量状況、部分的に締切を行つて河川を狭めた時の水位上昇及び通水容量、河床砂利層の深さ及び地形等によつて次の3種の方法が計画される。

イ. 半川締切 ロ. 排水開渠 ハ. 排水隧道

イ. の半川締切とは河川を半分締切りその片半分に河川の全水流を通し、他の半分を水替して先づこの部分の堤体を築造すると同時にこの中に第2期の工事中排水路を設け、然る後河川を排水路中に切替え他の半

川を締切つて堤体を築造する方法である。此の方法は比較的川幅広く河川中に流れの方向に縦締切を行う余地があり又これに依つて余り水位上昇の著しくなく流水部の砂利層があまり厚くない場合に適用される。

朝鮮のダム地点は河川が相当大きく河幅もかなり広いので殆んど全部がこの工法に依つた。水豊は特に川幅も広く(低水時約 300m) 第1回の締切を兩岸から施工し第2回目には中央を締切つたがこれも半川締切の特例と見做してよく在来の河道を一部締切後の通水路に使用する主旨には変りない。

半川締切工法においては堤体中に設ける第2仮排水路の位置を低くして第2回目の締切の高さを可及的に低下する為に第1回目の締切は河川の深い方をやるのが定石である。然し工事の着手時期、地形或いはアプローチの関係上必ずしもさうは行かない場合も起るが此の場合には第2回目の締切費が著しく増加する事を予め考慮しておくべきである。又ダムの直下に発電所を接続せしめる場合或いは低ダムで排砂路及び取水口をダムに接続させる場合にはこれらの構造物のある側を第1回目に締切つてその施工の促進を計るのが定石である。

水豊では兩岸から第1次締切を行つたので勿論左岸側にある発電所も全部その中に入つていた。

川幅が狭く水深又は河床砂利層の深い峡谷状の河川ではハ. の排水隧道に依る河川の付替が適用される。この工法ではダムの基礎全体を一挙に掘鑿出来るので堤体の築造を能率増進出来る利点がある。大井川支流寸又川の湯山ダム及び大井川本流の千頭ダム及び耳川の塚原ダムでは河川の屈曲を利用して比較的排水隧道を短かくして巧みにこの工法が適用された。米国のボルダーダムは兩岸に直径 50 呎の大排水隧道各 2 本宛を設置した。本工法の最も大規模のものである。排水隧道は相当工費の掛るものであるが、これが後から余水路又は取水路として利用出来る場合には非常に有利となる。従つてアースダム・ロックフィルダムの如く非溢流型のダムの場合には都合がよい。

川幅が余り広くなく又極端に狭くない丁度前 2 者の中間で且つ何れかの河岸が比較的緩傾斜の場合にはここに前の排水隧道の代りに工費の安い排水開渠が築造される。而してこの排水開渠に全河水を廻して在来の河道部分にダムを築造すると共にこの堤体中の最低部に第2次排水路を設けて或る程度ダムが打上つた所でこれに河水を切替え次で第1次排水路の部分の堤体を築造する。この工法では第1次排水路を築造する場合ダムの堤体貫通部分の基礎を当初から造つておけば排水隧道工法と稍々近似的に一挙にダム全体を築造して

ゆけるわけであるが実際には必ずしもそう出来ない場合もかなりある。斯る場合には第2次排水路に切換えた後第1次排水路のコンクリートを打壊して再び掘鑿し、ダム基礎盤に達した後堤体の築造をしなければならぬ。排水開渠又は排水隧道を先に築造しておき河川を締切の場合には河川の流れの方向の締切、所謂縦締切がないので締切に対する水流の抵抗が弱く従つてこれを若干弱くする事が出来る。日本のダムは本工法に依るものが最も数多く庄川の小牧、天龍川の三浦木曾川の笠置、大井等枚挙に暇ない位である。

排水開渠による水廻し方法を採用する場合にはこれが堤体部分を貫通させるに2様の設計法がある。1つは排水路の通過する堤体でロックを基礎岩盤迄掘下げて堤体として築造し、この中に排水路を設置する。この方法では当初に相当多量の掘鑿をしなければならぬのと排水路コンクリート打込に先立つて堰堤コンクリート打の仮設備を完成する必要がある。これが為には排水路完成迄に充分な予備が無いと工程上採用し難い。木曾川の笠置ダムでは当初この計画で9月工事に着手したが、第1排水路の掘鑿が多くその年の締切が間に合わないで左岸寄に別の排水路を設けて年内水廻しを遂行した。この排水路は堤体貫通部分はダムとして基礎岩盤迄掘鑿していなかつたので、第1排水路の完成後翌年10月河水をこれに切換へ然る後その底並びに側壁を破壊して更に基礎を掘下げてこの部分の堤体を築造した。

第2の方法は上記笠置ダムの施工法であつて工期を急ぐ場合に採用される。この工法では水廻しが一番多くなるのみならず排水路のコンクリートを破壊する手間が多くなるが水廻し、締切の工期を相当短縮し得る。

d. 締切堤の型式と高さ 締切堤の最も経済的な型式と高さは如何？これには利用し得る材料、基礎の状態或いは締切堤の周囲及び下部の洗掘傾向、防水方法及び施工期間、排水方法、時間等を徹底的に研究する必要がある。b. 項に述べた様に最大洪水に於ても溢流しない程の高さに造る事は一般に経済的ではない。普通の場合には溢流してもよい様に設計すべきである換言すれば洪水時締切堤は溢流によつて障害を受けない様にその前に堤内を泄水する様な門扉又は他の設備をすることが必要である。又締切後は在来より狭い断面に水流を押し込む事になるので流速はそれだけ早くなる。故にその流速水頭を得る為には締切の上流側はそれに相当するだけ水位が上昇するから予め算定して締切堤の高さを決定する。然しこの水位上昇も出来るだけ少くする様排水開渠及び排水隧道の流入口はベルマウス状とし、半川締切でも縦横締切の接続箇所は丸みを附し、損失水頭を減少する様にする。雲峰の半川締切

の例では第1次コンクリート締切は上流側は下流側より2m高くこれを繋ぐ縦締切は両者の天端を結び下流に向つて次第に低下した。

e. 工事順序 比較的小規模の取水ダムでは川倉に依る1次締切を補強してこれだけで水を止めその内側のコンクリート締切を省略する事があるが相当期間を要する高堰堤ではコンクリートの本締切を行うのが普通である。これは通常次の順序によつて行われる。日本在来の工法で日本の如く比較的急流河川には最も安く有利な工法である。

即ち先づ締切ろうとする一方の岸から斜に川倉に依る水制を出しこれに筵、畳及び粗朶等の遮水材料を附与してその内側をデッドウォーターとする。次にこの内側に2列の続棒を入れてその中間は不滲透層迄川溝いして止水粘土を填充して締切区域を囲う。この完成と同時に内部の水替えを行い上記続棒締切の内側に充分強固な岩盤迄掘鑿してコンクリート締切を行う。排水隧道及び排水開渠の場合には水制用川倉を充分補強すると共にその前面に捨土して止水し続棒締切を省略する場合もある。半川締切の場合第1回目の堤体中に排水路が出来、ある程度迄打上げれば前記同様の工法を以て第2回目の締切を行つて堤体を接続する。ダムが高い場合には更に2段3段と堤体中に排水路を設け工事中に於ても逐次貯水を開始して行く必要のある場合も起る。

排水開渠排水隧道或いは堤体中の排水路にしるその通水量に制限があるので或る程度以上の洪水にはダムは溢流するのが普通である。然し溢流による工事の支障を可及的に少くする為には築造の各段階に於て洪水時溢流させる為には施工中の堤体に適当な余地を設けて置く必要がある。かくして大抵の場合コンクリートを打つ処があると云う具合にして……。

打込設備を連続的に能率的に働かせるために最も重要な事でダム工事の経済性に最も大きな影響をもつものは次の数式に表現できる。

設備費+運転費+河川処理費+雑費 が最小工事費とする。この方程式は最大の利益又は経済を得るために仕事が始まる前に正しく解かなければならぬ。新しい仕事に対して先づ最初に決定すべき事は設備にどれ位かけるかと云う事である。この方程式からみると設備費が比較的大であつてもそれに依つて運転費、河川処理費を低下しその他不慮の附随的事件を減少し得る場合には却つて良いと云う事が判る。之等の総合経費を最小ならしめる様設備費に充分費用を掛けるには適当な判断と勇気を要する。

(ダムの施工計画及び施工設備は著者の都合上非常に長くなりましたので IV. 堰堤工事用施工機械の要点は次号に繰越します。編集部)