

以上承継タムの計画及施工上の重要要素について申上げました。ダム建設にあつては、その外に用地買収、発電機、付属道路橋梁、事務管理、人事管理などの重要なファクターが数多く存在し、その重要性はいくら強調しても足りない位であります。本日は主として我前面のみの御説明に止めまして私のお話を終らせて頂きます。

（以 上）

（特 別 講 演）

欧 米 の ア ー チ タ ム に つ い て

九州電力株式会社土木部長 田 代 信 雄

Ⅰ 欧米のアーチタムの概観

今回は欧米の水力筋にアーチダムを約3ヶ月にわたり視察した。欧州では戦後に築造せられたダムは大半がアーチダムであるのに一驚した次第である。前記の順に各国の施設の概況を説明する。

イタリアは戦後多くの水力を開発しているが、なかでアーチダムと中空ダム及び地下発電所に特徴が認められる。アーチダムの設計に關しては広

力解析には特に目新しい方法はないがモデルテストでは欧州の一は威である。近年築造のアーチダムは新しい形で非常に異く谷の形を討探し、アバット周辺に接手を設けている。この設計には一部に反対もあるが一応成功しているように思う。

スイスは水力が唯一の資源であるので小国にかかわらず水力の大規模な開発を行っている。現在高さ237mのアーチダムを築造している。応力解析はStucky氏の発展させた *Trial Load Method* を主として用いている。特に基礎岩盤の弾性変形に対する調査では他国に先んじ応力計算にこれを考慮している。またダムと基礎の変形を長年にわたり測定しダムと基礎的研究に寄与している。

フランスの水力ではその設計に独創的な臭がましい。アーチダムの設計に関する限り特に他国を凌駕していると思う。この設計は主としてCoigne氏の指導によつてゐる。応力解析には *Effective Arch* 及び *Diving Arch* 法が主に用いられている。また一方モデルテストによりアーチダムの新分野を開拓しつつある。このほかに既設アーチダムの応力及び変形を奥測して理論の進展及び安全率の低下に寄与している。アーチの設計では新しい大胆な試みがあるが、洪水吐では発電所の壘上にスキャンプ式余水路を試みている。コンクリートについては近年骨材の配合にVallée氏の発明になる不連続配合を用い250mmの骨材を使用しセメントの節約を計つてゐる。ブロックの接手グラウトは両注入グラウト方式を用い人工冷却の費用を削減している。

米国のアーチダムの歴史は古いようであるがボールダーダム以来は理論及び施工の上では新しい進展は認められない。内務省開拓局で *Trial Load Method* 論を完成したが応力解析については必ずしも同法を用いてゐない。ダム技術については戦後我国に広く紹介せられてゐるので割愛する。

以上ひととおりアーチダムに関する各国の状況を御伝えしたが、一方我国ではアーチダムは往來耐震性に対する不安及び重力ダムに比し応力解析の複雑な点、あるいは地形地質や洪水処理の困難さから敬遠せられたきらいがある。以下これらの問題につき欧米の最近の傾向を説明したい。

2. アーチダムの応力解析と安全率

アーチダムの応力解析は各国各称であるのは意外であつた。いずれもこれまでのモデルテストや実測の結果からみて理論的あるいは実用上に多少の欠点があるのも一因と思う。以下主な方法につき概説する。

Trial Load method はドイツの *Ritter* 教授が始め、米国の南拓局が完成した理論である。水平アーチ及びカンチレバーの荷重分担及び基礎地盤の変形を考慮している点で理論的には最も進んでいる。しかしながら実測では垂直荷重はカンチレバーで支えられているというより垂直面のアーチ作用により支えられているという結果や、基礎地盤の弾性係数が実測困難のためには普通はコンクリートのそれと同一と仮定しているのであるがこのような仮定は無理があるほかには実用上は多大の人と時間を要し、しかも誤りの発見が困難であつたり、基礎地盤の結果当然起りうる設計変更に対しても容易に応力の換算ができかねるなど欠点もある。以上の理由からフランスではこの方法は歓迎されない。しかしながら実用上にはスイスのようにクラウンカンチレバーのみで荷重分割をなし、半径方向の調整のみとすれば以上の欠点を多少除き、しかも好結果が得られるように思う。今後は基礎の弾性係数の調査はなるべく実測して決定するのが望ましい。

Effective Arch 法はフランスで多く用いられている。カンチレバーの作用も基礎の変形も考慮しない水平アーチとして取扱つ。しかもアーチの張筋力を除いた内部アーチを考える法で理論的には欠点もあるが、薄いアーチでは実用上支障のない結果をあたえたとせられている。またアーチが破壊する際にはこの結果に近い状態で起るといふ。

Sliding Arch 法はフランスの *Coyne* 氏の発明で、*Trial Load Method* の矛盾である主応力がアバット附近では基礎に直角に近いという結果から出発した方法で、厚いアーチでは実用上支障のない結果をあたえたとせられている。

アーチダムの安全率 アーチダムは欧州では安全率の非常に高い構造物と考えられている。イタリアのルミエグムのモデルテストでは安全率7の設計であるのに破壊試験の結果は安全率1.2をあたえたと報告せられている。一方重力ダムに対しては転倒に初する安全率を考えるとある意味では1であるといわれている。両者を比較してみると重力ダムは断に高い場合は安全率が不平均であるに対し、アーチダムは全体に平均しているといふと思う。

3. アーチダムの設計

アーチダムの谷の形については巾と高さの比が小さいほど有利と考えられてきた。近年は次第に巾の広い谷にもアーチダムが築造せられていてこの比が7のものもある。アーチの形については谷の形に応じ定半径型、定角型、あるいはその中間の型が普通に採用せられている。このほか谷の形

としては対称的で勾配のほぼ一定な地盤が理想的であるが、近年は各種の工夫により比較的不規則な谷に対しても適当な解決法が見出されている。例えば河底の狭谷部は栓として取扱ひ以上を規則的な谷としてアーチを設計するとか、兩岸の地形の不規則な部分に重力ダムあるいはスラストブロックを置きアーチに適する谷として取扱つている。なお近年イタリアでアーチを対称的にすることを理想として谷の地形を屈鑿により大体対称形にすると同時に、アバット周辺に接手を設けてアーチを対称形に築造している。

アーチダムの基礎 地質は時に良質岩盤が要求せられてきたが、過去の経験を通じ次第に最上とは云えぬ基礎に対しても、かなり高いアーチダムが築造せられてつづめる。弾性係数で云えばコンクリートの $1/10 \sim 1/5$ 程度では何等支障はない。フランスの例では二つの異なつた岩質の間にアーチダムを築造している例もあるが、両者の接触部でスロットジョイントを設け、自重による変形を完了した後に、これを填充している。また局部的に悪い地盤はコンクリートで置き換えこれを克服している。このように我が国で在来考えられていたよりかなり悪い基礎に対しても、アーチダムの築造は可能のようである。基礎のグラウトは各国とも時に入念に行つてゐるがその効果についてはイタリアの *Oberlin* 氏の実験では弾性係数を50%増加した例もある。

アーチダムの設計 アーチダムの設計の際に特に問題となるオーバーハング、アバットの形及び洪水吐につきひととおり解説する。オーバーハングと云ふのはアーチの縦断面の一部が底辺より外に出づける状態であるがV字谷で定角型のアーチでは一部に起る。

アーチのアバットの形状は各国で多少考え方が違つてゐる。(1)フランスや米国でみる不等厚アーチでアバットで厚くする型、(2)スイスで多く用いるアーチのアバット附近で小さいフレットをつけて拡げる型、(3)イタリアで近年用いてゐる周辺接手の型等である。アバットは普通は半径方向に切るが、高い重力ダムで *Shear Friction Factor* に問題があるのに、薄いアーチダムにこれがない理由でもある。一般に兩岸の基礎は大体河底に平行であるから、半径方向のアバットは上流端を良質岩に深く切り込むことになり施工上からはできるだけ少なくしたい点でもある。米国開拓局がアバットの下流半分を半径方向に切り上流半分に角度をつけてゐるのは能力上と施工上からみて適切な設計と思う。特にアーチダムの底部は *Shear Friction Factor* を考慮しそのアバットの方角を決定するがよい。日本の在来のダム地盤の基礎岩盤の状況からすれば普通はスイスのごとく

フイットもはけるのが煩雑のようである。

止水用として用いられる重カラムに比べ完成後も施工中にも多少困難がある。アーチダムで普通採用せられる止水工は兩岸基礎に設けるトンネル式止水壁、底床中に設ける排水管及び、重カラムと併用されたものはこれを灌流式とした方がある。このほかに多少趣向の違う方式に堤頂よりの自由落下あるいはスキージャンプ方式がある。これらにつき簡単に説明する。

(省 略)

② 止水のシミュレーション及び実験 (省 略)

③ アーチダムの施工

重カラムと本質的な違いはないが、基礎の調査は特に入念にされるべきである。すなわち良質岩盤線の決定及び断層、シームの位置性質を十分に把握して工事中に設計が重大な変更を受けることのないようにすべきである。アーチダムの基礎は半径方向に切りぬけられぬので特に底部においてはアーチアバウトの下流端の位置の変更が上流端にいろいろしく影響して壩壁段取にまで影響を及ぼせることがある。またシームの処理も重カラムに比し入念になされるべきである。基礎の状態は原則的には良質であるべきではあるが場合によってはコンソリデーションを要することもある。その注入圧力が低い場合にはその効果は補助的なもので、より以上に期待すべきではない。止水グラウトは重カラムと違い断面も薄く監査廊を設けないので特に入念にすべきである。ダムのコンクリートに關しても重カラムと本質的な相違はない。最大骨材は断力の状態より重カラムより小さくとるべきことを主張する人もあるが、欧州の実例では連続配合では150mm、不連続配合では250mmを使用した例もある。

ダムブロックの寸法は15～12mでスロットジョイントあるいはクラウトジョイントが使用されている。最近では後者が多い。これは人工冷却法の牽連及び接手の再注入グラウト方式の採用にともない後者が施工上有利となつたことによると思う。コンクリートのリフト高は欧州では3～0.5mが使用せられている。自然冷却のみを頼るときは1.5m以下が普通であるが、人工冷却の際は1m以上を用いている。いずれにしてもコンクリートの温度調節と施工能力にかかるとして両者を総合判断の上決定すべきである。

マスコンクリートの温度の調節は米国では人工冷却を行う場合が多いが、欧州では普通は自然冷却に俟っている。アーチダムでは設計上は温水前にブロックの温度を平均気温まで下げるのが普通であるが、自然冷却のみで

はこのような状態まで温度を下げることは不可能であるから、近年は通常のグラウトシステムのほか、再注入によるグラウトシステムを併用している。この方法によつて温水放熱後に完全冷却を待ち、さらにグラウトをすることになる。再注入方式のグラウトボックスは人造ゴムの蓋を閉じ逆流困難のやうになっている。米国式人工冷却は割愛する。欧州式の再注入方式は米国式に比し理論的に多少疑問があるが、経済的であるので今後我国にも応用されることと思う。接手の注入圧は米国が 8 kg/cm^2 程度であるに比し欧州では、 10 kg/cm^2 で一般に基礎の注入圧力も欧州の方が多少は高い。

アーチダムは施工機械及び施工法は重力ダムと同様である。欧州では小規模のダムではタワークレーン及びデリックがコンクリート打設に用いられている。フランスのポールトでは多少目新しい工法が使用されている。アーチダムの幕板の位置の決定は両岸に設けた2基準点より各ブロック及び各リフトごとの位置を計算上より求め、これを現地に移すのが普通でこの点は多少重力ダムより複雑である。

6. 結論

以上欧米のアーチダム視察の結果を取りまとめ報告したが、欧州では戦後は主としてダムはアーチダムを築造していて、その設計は米国より一歩前進しているように思えた。また米国はアーチダムの歴史は古いがボールダーダム以来時に新しい進展は見られないようである。しかしダム施工の面ではその施工機械及び工法とも参考になる点が多々ある。

また各国とも独創を築き新しい技術を生むことに努力している点は敬服に値すると思う。