

黄河三門峡ダムの設計概要

1. まえがき

1954年、中華人民共和国は黄河総合利用計画技術経済報告を発表した。これは黄河貴徳～河口間全長 3750 km のうち、下流区間を 46 地区に分けて水利開発を計画したものである。貴徳以下の全落差 2537 m のうち 2110 m を開発し、2300 万 kW の発電を見込んでいるが、下流における第 1 期工事として三門峡ダムの建設を計画した。本工事は本年 4 月 13 日正式着工し、1962 年末に竣工の予定である。

2. 黄河の総合開発と三門峡ダム

三門峡は河口を去る 950 km の地点にあり、ここにダムを建設することによって、黄河の総合利用が可能となり、下流一帯の人口稠密な地区（陝西、山西、河南、山東各省）における治水、かんがい、電力、航運等の問題を総合的に解決するものと期待される。

3. 治水効果

三門峡ダムは黄河下流で、上述の総合利用問題を解決するにたる貯水容量を持つ唯一の地点である。流域計画のうち他の開発地点は貯水容量が多年調節に適しないばかりか季節調節すら不可能である。地質の面からも、貴徳以下では三門峡ダムが最良である。延長 790 km にわたる黄河下流区間は砂質黄土沈積層から構成されており、本来、幾十世紀来の沖積三角洲である。黄河のこの区間の両岸は堤防が築造されており、同時に大部分の河床は両岸の地点よりも高い。したがって河道はしばしば変遷し、堤防は欠潰して両岸にはらんし、住民にははかり知れない損失を与えてきた。総貯水容量 650 億 m^3 の三門峡ダムを建設すれば、年間流量を調節し、洪水を貯溜し、洪水流量を 35000 m^3/s (1000 年に一度の洪水) から 6000 m^3/s に軽減し、下流堤防の負担しうる安全流量にすることができる。これと同時に三門峡ダム以下の支流（沁河、伊河）にも年間流量調節の貯水池を建設すれば、下流の洪水被害をまぬかれることができるであろう。

4. かんがい効果

下流平野部の気候条件と土壌条件は農業の発展に明るい希望を感じさせるが、四季の降水が不均衡で、春は水不足のため作物の収穫がいちじるしく低下する。農業かんがいの経験によれば、かんがいを行つた場合の農作物の生産量は、かんがいを行わない場合の 2 倍近いことが明らかである。三門峡ダムにより年間流量を調節し、かんがい期の最小流量を 360 m^3/s から 950 m^3/s に上げ、約 270 万 ha に対する用水補給を拡大することが

保証される。

5. 発電効果

三門峡水利センターには出力 110 万 kW、年発電量 60 億 kWh の大型水力発電所 1 カ所が含まれる。これを中心として、中国中部地区に水火合計約 190 万 kW の大電力網が出現し、西安、大原、鄭州、開封、洛陽等の諸都市を持つ広大な地域——陝西、山西、河北各省の豊富な天然資源の開発と、大工業基地のアルミニウム工業、マグネシウム工業、製鋼工業等の発展に、大いに寄与することとなる。

6. 航運

三門峡貯水池によつて、冬季の最小流量を 280 m^3/s から 700 m^3/s に増大することができ、下流の水深を 1.0 m 以上に維持し、河口までの全長 980 km にわたる下流部の航運を整備することができる。

7. 三門峡地区の水文条件

黄河流域は降水がはなはだしく不均衡で、冬季は乾燥寒冷、夏季は湿潤酷熱である。毎年 5～10 月の降水は年降水量の 75% を占める。三門峡地区の年平均気温は 15°C、最低気温は -16°C、最高は 48°C に達したことがある。夏季の降水は豪雨型で、その強度は 5 mm/min に達する。ダムサイトにおける数年間の平均流量は 1340 m^3/s で年間流出量 422 億 m^3 に相当する。1000 年に一度の確率高水流量は 35000 m^3/s で、観測された最小流量は 160 m^3/s である。黄河は大量の泥砂を流下し、流出土砂量では世界最多の河川である。最大土砂含有量は 590 kg/ m^3 、三門峡における通過泥砂は年間平均 13.6 億 m^3 に達する。河道内のこのような大量の泥砂は黄河中流部の黄土高原の深刻な浸食に基因するものである。

8. ダムサイトの地質

ダムサイトの地盤はいちじるしく堅固であるが、キレツのある火成岩——閃長玢岩で最大圧縮強度は 1000～1800 kg/ cm^2 である。岩盤の上下には比較的軟弱な石炭質岩層がある。これは砂岩、粘土質および炭質頁岩で構成されていて、閃長玢岩は下流に向つてわずかに傾斜している。ダムサイトとその周辺は山腹および山頂はきわめて厚い黄土堆積層でおおわれている。また、この地点は地震地区内に位置し、地震強度は 8 級である。

9. 三門峡ダムの規模

ダムサイトにおける三門峡峡谷の河床幅は 120 m、高水数の幅は 300 m である。ダムの天端長は 650 m におよぶ。ダムサイトの両岸は急峻で深さ 200 m に達し、

兩岸はほとんど垂直の谷になつているので、工事現場の設営や道路の修築にはきわめて不利である。

三門峡貯水池の規模は、総貯水容量 650 億 m^3 、無効貯水容量 100 億 m^3 、湛水面積 3500 km^2 であり、これによる水没農地約 21.7 万 ha、鉄道 150 km、移転民家 2076 戸、移民 87.1 万人（主として開拓地へ転出）である。洪水を下流堤防の負担しうる安全流量まで調節するため、水利計算によつて洪水防御に必要な貯水容量を 100 億 m^3 と定めた。この貯水容量は他の目的と競合しない。この他の貯水容量は毎月の需要水量曲線の必要とするかんがい水量を完全に満たすだけでなく、下流水深を維持し航運を保証する。計算によれば上述のかんがいと航運の需要を満たし、なおかつ水力発電所は出力 52.5 万 kW、年発電量 60 億 kWh をうることができる。

10. 泥砂問題

貯水池の泥砂の堆積については、この問題の重要性和複雑性を考え、慎重な注意を払つた。類似の貯水池について研究を加えた結果、微細な泥砂を含む河道では若干

の新しい現象を発見した。いわゆる異重流がそれである。もし貯水池に微細な泥砂を含む河水が流入すれば、貯水池底（通常旧河床）に沿つて一筋の比重のきわめて大きな底流となり、比較的大きな流速（0.7~1.0 m/s）で流れ、貯水池内の清水とはまじわらない。この底流は排水孔を経て、一部分は下流に流過するだろう。

このため、設計に際し次のように貯水池堆砂対策を定めた。粒径 0.01 mm 以上の泥砂は貯水池の上流部に堆積する。粒径 0.01 mm 以下の微細な泥砂は底流によつてダムまで運ばれたのち、一部は貯水池内に堆積し、一部はオリフィスと発電所の水路を経て下流に流過する。貯水池に流入する全泥砂量のうち 80% は貯水池内に堆積し、20% は下流に流過する。

現在黄河流域の広大な面積にわたつて進行中の大規模な水土保持工事は、必ず将来貯水池に流入する泥砂量をいちじるしく減ずるだろう。そこで設計では、ダムを 50 年運用したのち、貯水池に流入する泥砂量は現在の 1/2 に減少するものと仮定する。この仮定にもとづけば堆砂

図-1 ダム発電所平面図

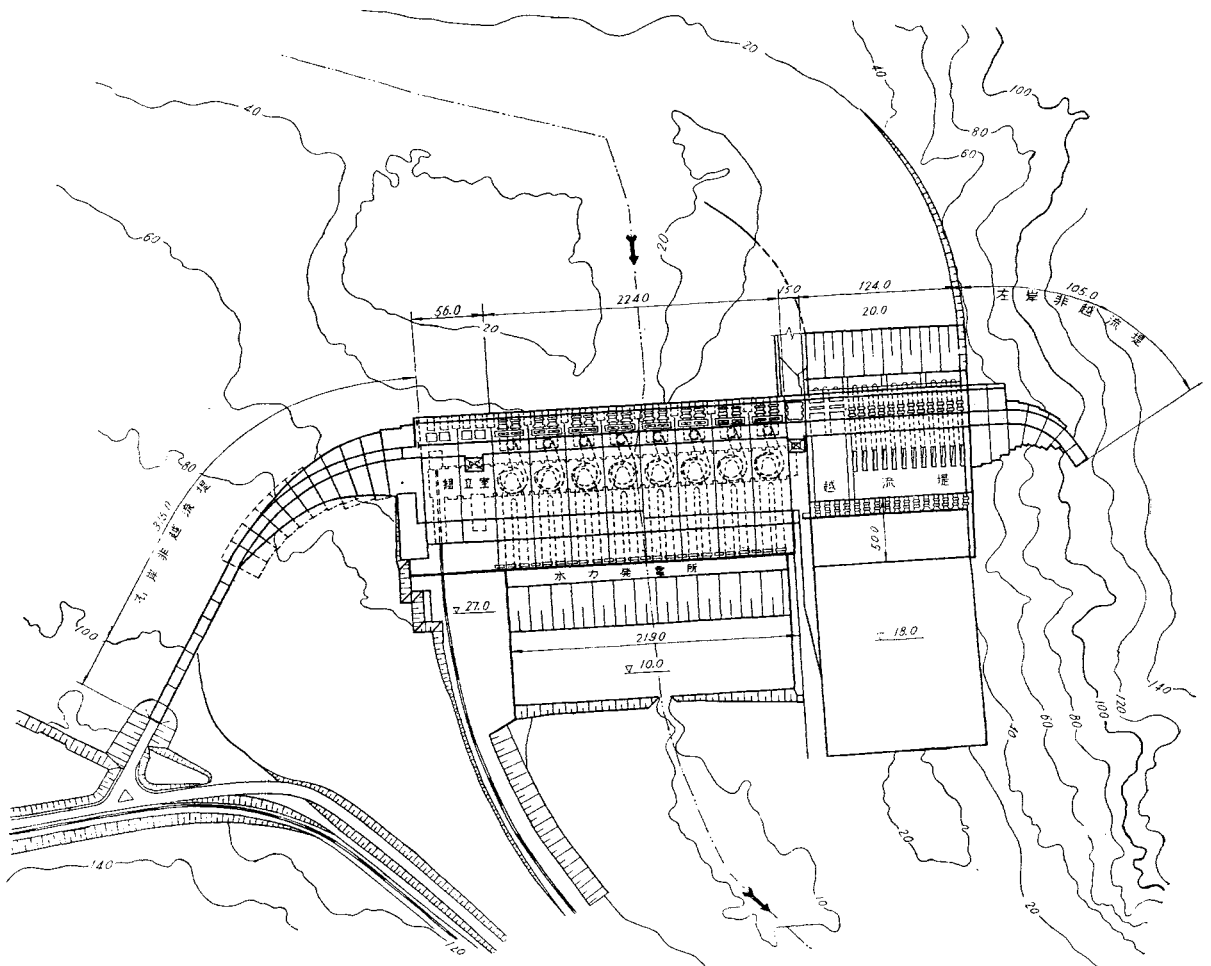
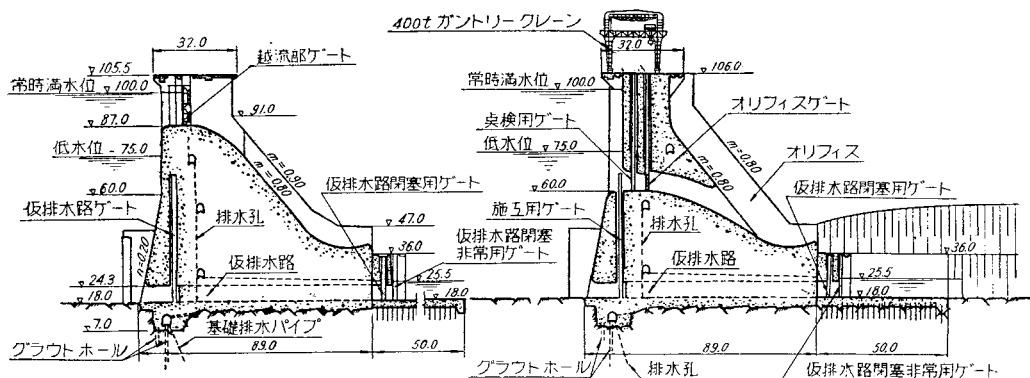


図-2 ダム横断面図



量は 50 年後に 340 億 m^3 に達する。

11. ダムの設計

ダムの主要施設は、発電所、越流堤および兩岸と連結する2つの非越流堤(図-1)である。現在この地点より上流への舟航はないので、ダムには船舶航行用の施設を設計しなかつた。また魚道を設けず、その代りに貯水池内に魚類繁殖所を付設した養魚場を建設する計画である。設計にあたっては、種々のタイプのダムを比較検討したが、具体的条件にもとづいて、コンクリート重力ダムを最も合理的な案と認めた。また発電所については堤内式と堤後式との案を詳細に比較し、前者を主案とすることとした。

越流堤には12コのオリフィスと2コのクレストゲート(図-2)を設けるが、これによる放流量は4500 m^3/s で、他に発電所からの排水量が1500 m^3/s がある。オリフィスは下流に泥砂を流し、クレストゲートは上流の塵埃と浮游物を清掃するに用いる。堤頂からの越流水はデフレクターによつて堤体から60~100mの距離へ噴射される。クレストのローラーゲートは起重量400tのガントリークレーンで開閉される。

12. ダムの応力計算

設計に当たつてまず最大の困難はダムの静力計算と合理的な堤体断面の選択であつた。これらの困難は地震力と大量の泥砂を含む水の圧力を考慮しなければならないためであつた。

ダムの規模を決定するために、2つの計算方法を採用した。第一の計算方法はダムの最初の運用期に対応するもので、この計算方法では、ダムに近接する粒径0.01mm以下の泥砂をともなる異重流によつて生ずる圧力を加算した。第二の計算方法はその後の運用期に対応するもので、この計算方法では、ダムの前面に作用する泥圧を考慮した。両計算方法とも、地震力については、ソ連現行の地震力計算基準にもとづいた。

ダムの断面は、上流面に引張応力を生じないことと、滑動に対する安定性を満たすことの2条件に合致し、か

つ最小の堤体積を持つよう合理的に定めた。この条件を満たす最良の堤体断面として、上流面をやや傾斜させた断面を採用した。泥砂圧力と地震力により、水平力は40~50%増加するが、ダムの全コンクリート量は15%増加するにすぎない。

13. 発電施設

堤内式水力発電所は、堤体内に機械室、水圧管、吸出管を設けた重力ダムである(図-3)。応力集中を減ずるため、機械室の外観はダ円形とする。1基の容量は13.75万kWで、懸垂式発電機1台と直径6mの軸流式タービン1台を含む。発電所の最大水頭は81m、計画水頭は60mである。水圧管の入口に操作用のゲートスクリーンおよび修理点検用ゲートを設ける。操作ゲートは起重機により開閉し、スクリーンと修理点検ゲートは、クレストのクレーンと同じガントリークレーンで操作する。

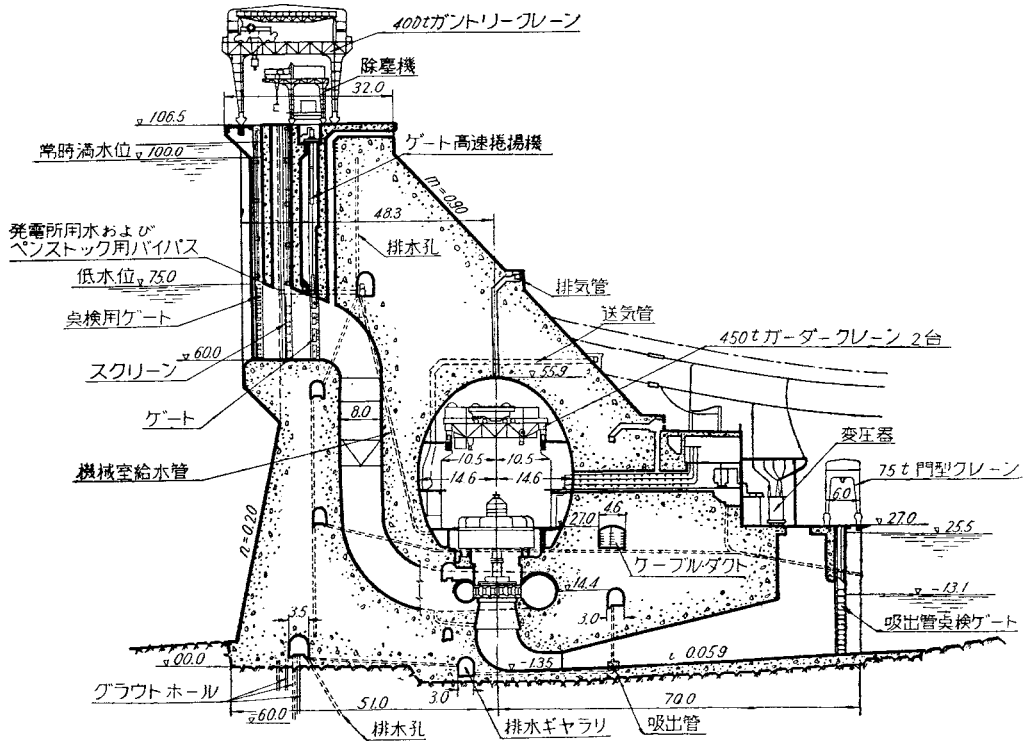
設計に当たつては、発電所断面の応力計算に留意した。応力状態については、堤体内にダ円形の発電所を持つことを考慮した弾性理論を用いて計算した。応力テストの結果、ダム運用期間内に上流面とオリフィス辺縁には引張応力を生じないことがわかつた。下流面の最大圧縮応力は30 kg/cm^2 である。施工中の発電機室の引張応力は上部で10 kg/cm^2 、下部で15 kg/cm^2 に達し、また最大圧縮応力は30 kg/cm^2 である。タイヤゴム(滾輪膠)で作つたダム模型が外力と自重を受けた場合の実験結果は計算結果に非常に近かつた。

主変圧器と自動変圧器は発電所下流面の吸出管の頂部に装置し、22万V、11万Vの屋外配電設備を右岸に設ける。送電線は22Vの高圧線6本と11万Vの高圧線5本である。

発電所は高度に自動化され、従業員の監視を必要とせずに正常運転が可能であるが、三門峽水力発電所が電力網中で占める重要性にかんがみ、発電所の管理部門に常勤者を置くよう規定することにした。

14. ダムの施工計画

図—3 堤内式水力発電所横断面図



ダムは2期に分けて行う。まず、河道の左岸に仮締切を設け、越流堤をかこんだのち、基礎岩盤を掘削し、その後越流堤のブロックを築造する。これと同時に、渇水期に発電所と越流堤間の隔壁を築造して、第2期施工の縦方向の仮締切とする。第1期における河水は河床に沿って流下する。第2期締切工事によつて河床をしゃ断したのち、第2期の締切堤内に発電所を建設する。この際河水は越流堤ブロックを通つて流下する。

第1号発電機は1961年10月運転を開始し、その他は2ヵ月ごとに運転を始める。

15. 工 事 量

臨時的のものを含めて、全施設のコンクリートおよび鉄筋コンクリート作業量は合計295万 m^3 、永久施設の全土工量は、軟土掘削129万 m^3 、岩石掘削207万 m^3 、埋戻し123万 m^3 で、臨時施設の土工量(専用鉄道を除く)は掘削1200万 m^3 、埋戻し488万 m^3 に達し、機械設備と動力装置を含む全装置の使用鋼材は46000tである。

16. 三門峽ダムの有利性

設計に際し、三門峽ダムの技術経済指数を定め、これをソ連および世界各国の同種ダムの指数と比較した。この指数は、発電機容量1kW、発電量1000kWh、貯水容量100万 m^3 に対する堤体コンクリート量で表わしたものであるが、三門峽ダムにおいては、それぞれ2.67

m^3 、0.49 m^3 、0.046 m^3 となる。これらの数値を他のダムと比較してみると、三門峽ダムの各技術指数は、わずかに米国のボールダーダム、ソ連のブラックダムにおとるのみである。

したがつて、三門峽ダムは非常に経済的な水利工事であつて、これは中国の目の下の洪水防御、かんがいの発展、電力増強、黄河水運の整備等、国民経済部門のさし迫つた要求を有効に解決するものである。

(付 記)

本文は“中国水利1957年第3期”に登載された王化云氏の論文を、昨年10月谷口三郎氏を団長とする中国視察団に同行された石村太助氏(全建事務局)が翻訳されたものである。

原文はソ連水力発電設計院レンングラード分院作製の初期設計資料の一部で、A.A.コロリュエフ氏(ソ連技術科学博士補、設計技師長)がその責任者となつている。

ロシア文から、中国文、さらに邦文へと、三段階をへて訳されてあるため、表現上の多少のくい違い、および原文が初期設計の資料にもとづいているため、将来若干の問題について計画の変更があるかもしれないことを付記するとともに、本文発表にあたりいろいろと御配慮いただいた中国水利学会の各位に、深い謝意を表する次第である。

【編 集 部】