

中国^{せんせい}陝西省富平地下ダム試験工事について

Test works of an underground dam at Fubing, Shanxi Province, China

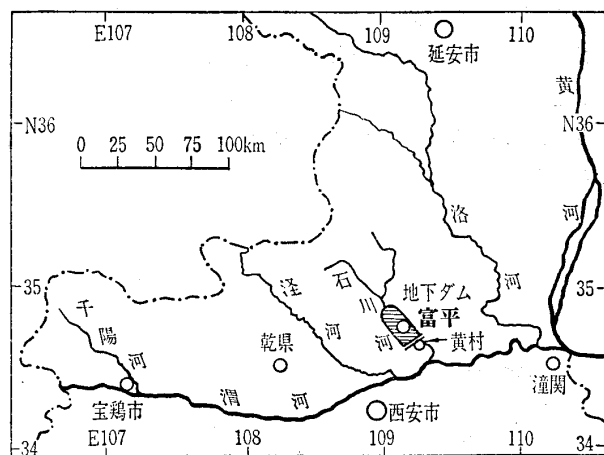
あか い こう いち
赤 井 浩 一*

1. 概 説

古来、渭水の名で著名な黄河の支川渭河は陝西省の省都西安市の北方約10kmを西から東へ流下するが、これより北方は渭北黄土高原とよばれ、平均年間降雨量584mmに過ぎない乾燥地帯である。全体の地勢は西北が高く、東南が低くなっており、この高原の東部で涪水が直接黄河へ注いでいる以外は、千陽河、涇河、石川河、洛河などの河川は、みないったん渭河に入ってから黄河へ流れている(図一1、口絵写真一1~4参照)。

渭北高原の中部は東北東に向かって緩やかに広がっており、北部は渭北黄土高原、南部は関中盆地の黄土台地である。黄土高原は標高800~1500mであり、表土層は第四紀の黄土で厚さ130~170m、その下部は中生代の碎屑岩であって、各所に深い地溝が発達している。一方、黄土台地は基底の断陥構造によって階段状となり、その上部は厚さ120m程度の黄土層、下部は第四紀の緩い堆積層である。一般にこの台地は平坦で広く、地溝も比較的少ない。

渭北高原の地下水は、おもに黄土など粗しょう(鬆)岩類の間隙水、碎屑岩類のクラックの間隙水および洞穴水などである。一般に、黄土の透水性は不飽和領域で1~3倍と鉛直方向が水平方向より大きいが飽和領域で0.5~2倍程度といわれている。黄土層の堆積年代によって間隙量と透水係数に大きい差があることが表一1から知られる。



図一1 富平地下ダム位置図

*京都大学教授 工学部土木工学科

この渭北高原を西北から東南に流れる石川河(渭河の左支川)に現在、富平地下ダム(延長3850m)の試験工事が実施されている。富平は西安の北方約60kmに位置する小村である。筆者は1981年11月京都日中科学技術交流協会地下水関係学術交流訪中団(団長 奥田東博士)の一員として、中国陝西省科学技術委員会の招聘により西安市ならびに地下ダム現地を訪問視察して学術調査を行った。

2. 富平地下ダム試験工事

富平地下ダム建設事業は、地質・水利・農業など各分野からの協力を得て実施されている試験工事であり、次のような内容を含んでいる。

2.1 地下ダムによる貯水地域とダムサイトの選定

地下ダムが建設される石川河は長さ36.5km、河谷の平均幅4.3km、流域面積156km²である。河谷の中流部では川幅が広く、帯水層も比較的厚い。一方、河谷の上・下流端では川幅が狭く、全体としては貯水に対して有利な紡錘状をしている。帯水層はおもに沖積砂礫層であって、粒径が大きい(透水係数 $k=2.4 \times 10^{-2}$ cm/s、有効間隙率 $\beta=0.2$)。帯水層厚は最大50m以上、平均約30mである(図一2参照)。

従来、この付近の地下水位は非常に高く、自噴している程であったが、十数年来農業用水・工業用水の需要が年々増大して地下水位が大幅に低下しており、その最大低下量は約30mにも達している。水収支計算からは、年間揚水量約7000万m³に対し、供給量は約5000万m³に過ぎない。既に水がなくなってしまった帯水層の中には約5億m³の貯水容量がある。したがって、地形および水文地質条件からみて、石川河の河谷は地下ダムにとって最適と考えられた。

2.2 注入水源に関する検討

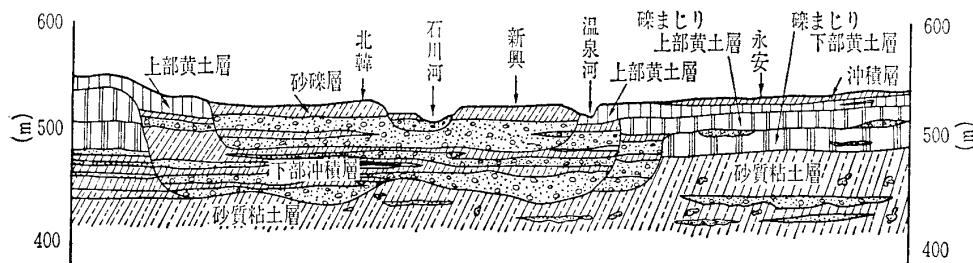
地下貯水池に注入する水源については、次の四つの案が考えられている。

- 1) 他の流域からの導水
- 2) 平水年における石川河の洪水流量2000万m³の利用
- 3) 河床の地下水流の遮水
- 4) 降水浸透による注水の増加

これらのうちで、1)および2)が主要な水源と考えられ

表—1 黄土層の間隙量と透水係数

地 層	地層下面までの深さ (m)	間隙密度 (個/cm ²)	最大間隙径 (mm)	割れ目の広 さ (mm)	空 洞 径 (mm)	透水係数 (m/d)	
						鉛直方向	水平方向
上 更 新 統	17	8-12	1-2	0.5-2 最大 10	5-10	0.31	0.23
中更新統上部	60	5-12	0.5-1	0.5	5-6	0.15	0.06
中更新統下部	120	0-3	<0.5	<0.1	稀少	0.001	0.01
下 更 新 統	160					0.0004	0.0004



図—2 石川河々谷地質断面図

ている。しかし、どのようにして短期間に表流水を地下に注入させて地下水の補給とするかは、今後十分検討すべき問題である。

2.3 貯水容量の算定

地下貯水池の容量の算定には、次の五つの条件が考慮された。

- 1) 生態環境を破壊しない範囲で最高水位を保つこと
- 2) 水源を確保しうること
- 3) 人工注水施設の作業効率
- 4) 地下ダムにおける遮水効率
- 5) 経済的条件

このようにして設計された貯水池の容量は7000万m³ないし1億m³であるが、将来水源が拡大しうる場合には貯水容量の増加も見込まれるとしている。

2.4 注水の技術的手法と工程管理

地下ダムへの人工注水については、下記の種々の方法が採用されている。

- 1) 地上の貯水池から注水する方法
- 2) 洪水を導いてかんがいや人工注水を行う方法
- 3) 河床やクリークなどを利用し、洪水の一部を滞水させて人工注水する方法
- 4) 井戸により注水する方法

これらのうちで1)と2)が主体となるが、ある種のものについてはかなりの注水効果があることが実証された。特定地点での注水実験については後述するが、目詰まりなどの問題は今後の研究課題である。

2.5 地下ダムの建設材料と施工法

地下ダム本体の施工は、現在まだ試験工事の段階であるが、石川河の河谷の下流端にある黄村地点で止水壁を建設することになる。地下ダムは石川河から温泉河(図—2参照)にかけて延長3850mに及び、このうち深さ20m未満の延長は約1200mであって、この中の一部分830mが粘

性土充てんにより試験的に施工された。また、深さ20～50mの部分の延長は約870m、深さ50～80mの部分の延長は1710mである。

止水壁に用いる材料や施工法については、次のように計画されている。すなわち、止水壁が浅い部分に対して露天掘りで粘性土を充てんし、中程度の深さの部分には狭い溝を機械掘削して泥質砂礫の充てんまたはモルタル注入、あるいは矢板打込みを行う。深さ30m以上の部分にはコンクリート壁または柱列杭が考

られている。

2.6 地下ダム建設後の水利用効果

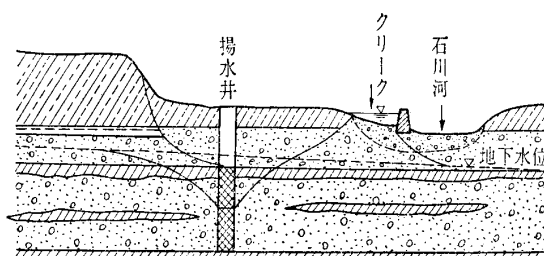
地下ダム建設後の水利用の効果に関しては、現存する1000本以上の井戸を活用して農地かんがいを行うだけでなく、現有の9箇所の揚水ステーションにより渭北黄土高原へ導水する。この結果、かんがい面積を飛躍的に拡大するとともに、陝西省地域の工業用水の問題をも解決することができるとしている。

3. 人工注水実験

3.1 クリークによる注水実験

石川河の河床の西側の川原を利用して自然地形に従ってクリークを造り、これに石川河の洪水を導入して地下への注水実験が行われた(図—3)。含砂量が比較的大きい水を用いた予備実験によると、クリークの貯水深さは1.2mであり、1週間で全部浸透が完了した。これより平均浸透率は6～10mm/hと計算された。

地形によりクリークの大きさが異なるのは当然であるが、1個の面積は約2万m²、深さは約2mである。現在までに20個のクリークが完成しており、今後154個が建設される予定である。その総面積420万m²、総貯水量400万m³であり、これにより1日約80万m³の地下水補給が見込まれている。



図—3 クリークによる注水模式図

3.2 地上の浸透池による注水実験

石川河階地の左岸に貯水容量 300 万 m^3 を有する街子ダムが建設されている。これは黄土の深い凹地に建設した地上浸透池であって、アースダムの高さは 13.5m である。池の底部と周囲はすべて黄土であるが、底面下 27m の深さに透水性が最も大きい砂礫層があって地下浸透が多く、貯水位を長く保つことができない。

そこで 3 年前からこの浸透池を利用して地下ダムへの人工注水が試みられたが、その効果は大変良好であった。すなわち、池の水深が 5～10m のときの浸透量は、日量約 4～7 万 m^3 であった。この浸透池から人工注水を行うための水源は、石川河の洪水および非かんがい期の流水である。

4. 富平地下ダムに対する技術的見解

筆者を含む地下水関係学術訪中団は、西安市科学技術委員会において富平地下ダム試験工事に関係する諸問題について中国の科学技術者と討議を行うとともに、率直な意見交換を行った。筆者はその際、まず地下水資源の評価において常に地下水の水収支を考慮すべきことを述べた。すなわち元来、地下水は非常に広い範囲にわたって貯留されているが、流速が極めて小さいので、いったんこれを取り出した後のかん養には長期間が必要であり、したがって地下水資源の評価は、河川や湖沼などの地表水の水利用との連携によって管理手法を考えることが重要となる。

次に、地下ダムの建設技術に関しては、富平ダム地点は地形的にみて極めて適当と考えられる。しかし、ダムの全長約 3.8 km の中で砂礫帯水層の深度が最も大きい 50m ないし 80m の部分の長さは約 1.7 km であり、この部分の止水壁の施工が最も困難が予想される。幸か不幸か、地下水位が非常に深い（地表面下 30m 以上）ことは、帯水層を被覆している黄土層の掘削を容易にすることにもなっている。露天掘りによる機械掘削を地下水面の位置まで行って、そのレベルから止水壁の施工にかかる方法が最適ではないかと思われる。帯水層内の止水壁としては連続地中壁がよく、露天掘りした黄土層の部分の遮水には粘土心壁が経済的であろう。また、このようにしてできる地下貯水池

へのかん養工法としては、富平地区のように広大な面積が確保できる場所では、浸透池によるかん養が極めて有効であり、前節で述べた街子ダムはこのことを実証しているものといえる。

更に、地下ダム建設工事のための土質調査および遮水効果の予測と確認が必要であり、そのためには物理探査を主とし、ボーリングを従として調査を進め、地下ダム築造前後の周辺の地下水位観測を正しく行うことが望まれる。

5. あとがき

中国陝西省の地下水関係技術者は地下水資源の確保と開発に重大な関心を有しており、この面で日本との学術交流を切望している。その一端として、陝西省科学技術委員会副主任楊文景氏を団長とする「地下水資源開発考察団」一行 6 名が 1982 年 6 月 18 日から 7 月 8 日までの 21 日間日本各地を訪問し、地下水分野の官学民関係方面と専門学術交流を行った。

筆者は富平地下ダムの現地を去るにあたって、次のような言葉を残してきたことを想起する。「日本は約 120 年前国家的な河川工事に着手するためにヨーロッパ——おもにオランダから専門家を招いて工事の計画・設計を依頼した。しかし、日本とオランダとの地理的条件は相当異なっていたので、必ずしもこの指導は成功であったとはいえない。これは、もちろん当時のオランダの土木技術が不良であったということではなく、むしろ外国の技術をそのまま採用しようとしたことに問題があったと考えられる。この反省の上にその後の日本の土木技術は発展し、国情に合った独得の河川工法が完成した。したがって、今回のわれわれ訪中団の意見が、風土の異なる中国の状況にそのまま適用されると考えるべきではないことに留意していただきたい。ただ、日本には現在優良な施工機械があるので、この分野では中国にも大いに供用されることが期待されよう。」

終わりに、1981 年秋の訪中時に陝西省科学技術委員会はじめ関係方面から受けた友誼に対して厚く感謝の意を表明する。

(原稿受理 1982.11.26)