ダム事業に関する地質調査のあり方

(土木地質調査一般のあり方として)

小 野 寺 透*

The Way of Engineering Geological Survey

By Tōru Onodera

Abstract

This paper consisted the general part of the legal consultation report for the case at issue concerning to dam construction in 1961 which contained the introductory, general and special parts to conclude the engineering geological opinion to the possibility and propriety to construct the proposed dams.

Extent of geological survey for civil engineering works naturally varies much according to the scale of the project. With the expanding scale of construction works, engineering geological survey should systematically programed intimately connected throughout to the stages of the work from preliminary survey, planning, design, execution and through maintenance.

This paper summarizes how the engineering geological survey should be for large scale dam project by reviewing the transitional ways of geological survey with the expansion of dam scale. A few such transitional case histories of geological survey for arch dams are also summarized.

It is hoped that this way of geological survey will be followed as the basic principle of engineering geological survey will be followed as the basic principle of engineering geological survey not only for dams but for large scale civil Engineering works in general.

ま え が き

この報文は、その頃係争中であった筑後川上流大山川筋の松原・下笠地点に、建設省の計画するダムを築造することが可能か、また妥当なものか否かを、土木地質学的立場から検討した鑑定書の一般論の部分である。

この鑑定書は「筑後川上流に治水ダムを建設することに対する土木地質学的所見」と題し、昭和36年12月に東京地方裁判所民事部に提出されたもので、緒言、緒論に次いで主部となる一般論と各論とからなり、これを総括して結論をのべている。

最近、あるダム事業に関連して、生活基礎としての環境整備を、地域全体として総括的に、社会工学的な立場で検討する計画に参画し、ダム関連事業の土木地質調査のあり方について、基本的に考える必要性を感じ、関係者と意見を交換しているうちに、この報文に述べられている内容を普及することが要望されていることがわかってきた。

この鑑定書の一般論に盛られている内容は、もとより松原・下笠に個有の問題のためではなく、一般にあてはまる原則論と実態とをのべたものであり、ダム事業だけでなく、広く土木事業 (civil engineering すなわち文化工学) 全般に関する地質調査のあり方も、この原則に準拠すべきであると考えられる。

ここに挙げてある事例や統計資料は、現在からみると、古いものになってしまったが、あえて手を加えず、そのままここに発表することにした。

1. 地質学と土木地質学

社会的地位の高い土木技術者の中に、「土木事業は一つの総合技術であって、必ずしも科学には立脚しない」という人がある程に、土木事業は個々の純粋科学とは直接に結びつき難い。地質学は大きな幅を持つ自然科学ではあるが、あくまでも科学であって、その目的とする所は当然ながら本質的に、技術が目的とする所とは異なる。

純粋地質学は土木地質学の基礎の半ばを提供するが、一つの土木事業を行なおうとする地点 (または地域) の

* 埼玉大学理工学部

地質状態が、純粋地質学的（地質時代、岩石の生成過程等）に、十分に解明し尽されていないからといって、これが土木地質学的結論に決定的な影響を与えるものではない。また、純粋地質学的に十分に解明されていようと、それが土木事業との関連においてなされていなければ、事業には役立ち得ない。

従って¹⁾、土木地質調査は、事業の段階にしたがってその内容、程度、精度を異にする。

土木事業を遂行するために必要な地質上の問題を解明し、計画・設計・施工に必要な資料を提供するのは地質工学あるいは土木地質学と呼ばれる。地質工学と土木地質学とを同義語に使う人もあり、むしろその方が多いが、区別して使う人は、土木地質学を地質工学と純粋地質学との中間に置いている。ここでは土木地質学という語を前者の意味²⁾に使う。いずれにせよ、土木地質学は土木事業の前提になっているから、ある問題の土木地質学的取扱いの中には、工期・工費などが常に考慮されなければならない。この点、純粋地質学とは本質的に性格を異にするものである。

このように、土木地質学と純粋地質などは目的を異にするものであるから、一つの岩石を取り扱う場合に、前者では岩石の強度・比重・吸水・きれつ・耐久性などの物理的・工学的性質に着目し、後者では岩石の成因・生成過程などの解明に役立つ事項に注意する。したがって、純粋地質学という地質図は、地層・岩石の歴史（地史的区分（層相区分）、その相互関係位置に注意してつくられ、それらの分布位置の正確さは、それ程重大でない。

これに対して、土木地質学という地質図では、地層や岩石の名前よりも、それらの物理的・力学的性質を、より良く表現し、また分布位置も正確であることが必要とされる。土木地質学という地質図は、純粋地質学の言葉というならば、岩相図と呼ぶ方が正しい。これらを説明すれば、地質図の中に一つの区分に分けられている（すなわち、一つの名称がつけられている）地層・岩石でも、異なった岩相（物理的・力学的性質を異にする）に分けられる（むしろ分けなければ土木事業のためには有用でない）。また逆に、純粋地質学的には、別々に区分される二つ（以上）の地層・岩石に、物理的・力学的性質のほとんど等しい岩相が存在することもある。しかし、土木地質学の現今の段階では、すべての地層・岩石を通

じての岩相図を作るまでに至っていないので、一般には層相区分をした上に岩相区分をする方法がとられている。国土調査法（昭和26年法律第180号）に基づく表層地質調査もこれによっている。しかし、事業目的が具体化、細分化される（取り扱う範囲が狭くなり、細部の土木構造物に関する地質状態の解明が必要とされる）に従って、層相区分は不要になり、詳しい岩相区分のみが必要になる。ここでは、特に必要でない限り、土木地質学の慣例に従って、岩相図をも地質図と呼ぶことにする。

2. ダムの地質調査の変遷と現況

(1) 一般事項

ダムは、目的（治水・発電・灌漑等）、型（重力・アーチ・ホロー等）、材料（コンクリート・土・ロックフィル等）、規模、地理的・社会的環境が多様多様であり、それぞれの場合場合で、地質状態を改良する³⁾ために投じ得る妥当な工費も異なるのは当然である。したがって、ある地点における地質上の問題の占める軽重の差はあっても、そこにダムを作ることが適するか不適かということは、地質だけから決定できる問題ではない。これによって、同一地点が、たとえば高度の灌漑用水を要望されている地域にあるときは、灌漑用ダムの適地とはなり得るが、治水ダムとしては不適地ともなり得る訳である。

したがって、ある水系にダム建設が計画される場合に、地質をも含めて、水理その他総ての調査・設計・施工・さらには管理に至る事業のやりかたは、当然事業体毎に違う。しかし、一般事項においては、ダムの目的（事業体）毎に少差はあっても大差はないから、ダム事業の各段階において行なわれるべき地質調査の順序は、概要次の様であることが望ましい。また、北上川・利根川・淀川・熊野川など、大きな河川について一貫した計画の下に事業が行なわれるときは、実際にそのような順序が踏まれている。

1. 一つの水系にダム建設計画がたてられる時は、先ず地形上幾つかの候補地点が選ばれる。

2. これらの地点における地質上の優劣を調べるために、第一次段階の予備地質調査を行なう。

この時は、おもに地形調査・地質調査（共に予察調査と現地踏査からなる）を行ない、補助的にボーリング・表土掘削・調査坑などの機械的調査や物理探査を併用することもある。調査は、ダムの位置だけでなく、貯水池域とその周縁部も含める。

3. この頃行なわれる水理その他の調査結果と相まっ

脚注 3) ダムおよびその関連工事が、地質上無処理で行なわれる場合は絶無である。

脚注 1) 土木地質調査は、土木事業との関連においてなされるものであるからという意味。

脚注 2) 筆者は、平素は土木地質学と地質工学とを区別しているが、ここではこの区別をしないで一般的に土木地質学としておく。

て、幾つかの候補地点の中から優位のダム地点が選ばれる。この時に、優位のものを選び難いときは、幾つかの予備地点についても、次の段階へ調査を進めてから選定する。

4. 3. の結果選ばれた予定地点で、第二次の段階の地質調査を行なう。この時の調査は、地質踏査・機械的調査によって行ない、必要ならば物理探査を行ない、ダムの高さを再検討し、ダム・工事用施設の位置の地質状態の概要を知り、骨材地点の予定を立てるために必要な地質を知る。

ここにいう地質とは純粋地質学的意味における地質構造のほか、土木地質学的性質をも含めることが必要である。

3. で予備として残した地点について、一般にはこの段階で取捨が決められる。

5. この頃までに、ダムの型式・設計の案が出来るから、その決定、中心線の決定、ダムの位置・工事用施設の位置・骨材地点・余水吐き地点等の地質状態の細部を把握するために、第三次の段階の地質調査（おもに岩盤調査）を行なう。この調査以降では、すでに把握された純粋地質学的意味における地質構造にもとづき、土木地質学的事項（主として工学的性質）を調査して、具体的設計資料を提供することを目的とする。そのため、調査は機械的調査を主とし、地質踏査・支持力試験・細部弾性波探査および各種の室内試験をあわせ行なう。

この段階の調査と、ダムの水理・構造実験などによって、ダムの設計・施工の全体系が決定される。

6. 施工中にも必要に応じて地質調査を続け、細部の地質状態に即応する設計の訂正・岩盤局部処理などに関する調査を続ける。

7. 竣工後も、設置された計器、および踏査によって、透水・変形の調査を続ける。

このように、ダムに関する地質調査は、事業の各段階に応じて連続して行なわれるものであって、地質調査を終了して後に着工するものではない。これは諸外国においてもそうであるし、また事業体やダムの目的如何にかかわらず、総てに共通するものである。

一つの一貫した事業であるダム工事でも、国の事業であるときは、予算その他行政上の体系に従って、事業の段階に幾つかの区切りをつけなければならない。この区切りは、その事業を組立てている個々の要素の立場から、純粋に学術的または技術的に考える時には、不自然または不満足といえる場合が、むしろ多い。これは土木事業は、技術の総合事業であって、個々の要素だけでは全体の事業の進捗を支配し得ないことを示すものである。

土木事業における調査費と工事費の区切りもその一つで、上に述べたダムに関する地質調査の順序の中で、地質学という視野で純粋に学術的に考える時は、5. の調査が終わってから施工計画が具体化されるべきと考えられるが、実際には、4. の段階で調査費による作業は打ち切られるのが普通である。

最近⁴⁾ 竣工した大規模のダムについて、工事の各段階における地質調査と工事の連繋の概要を後にのべるが、これらは上述の実例であると共に、近時のダム技術に伴い、ダム地点の地質は工事進捗と共に調査が進められ、施工にとり入れられていくことの実例でもある。

(2) ダムの地質調査の変遷

ダム建設のための地質調査の方法は、当然ダムの目的、型式、規模などによって異なる。ダムの規模は、社会的事情と施工技術との進歩によって表—1 のように近年著しく大きくなった。わが国で近代的ダムの建設が盛んになった昭和初期から昭和 20 年頃までに建設されたダムは、それ以後に造られているものに比べると、比較的規模が小さく、高さ 50 m を越えるものは少数である。これらの主なものは、ほとんど総て直線重力式コンクリート型で、概して地質の良い地点に建設されている。したがって、これらの地点の地質調査では、先に述べたような調査の順序は踏まれず、ダム地点の極く局部の短時間の踏査、少数の試掘坑、少数の河床ボーリングなどが行なわれた程度で、工事が進められ、施工中は地質上の問題の生じた場合に随時、調査を行ない、対処していくことが長く採用されていた一般方針である。この様な地質調査の方針で、わが国のダムの初期の多くのものが完

表—1 昭和 22 年前後のダム規模一覧表

ダム 高さ (m)	昭和 22 年まで ¹⁾		昭和 23 年から ²⁾ 昭和 32 年まで	
	数	%	数	%
30~50	34(3)	71	37	38
50~70	10	21	36(4)	37
70~90	4	8	13(2)	16
90~	—	—	9	9
計	48(3)	100	97(6)	100

註 1) 高田昭、本邦における既設高堰堤の基礎岩盤の種類とその分布概況、内務省土木試験所概報第 13 号、昭和 22 年 3 月。

2) 国土開発調査会、多目的ダム全集。数のうち () 内は安山岩など新しい火山岩を基礎とするもの。表中には、多目的、治水、灌漑用、発電用の各ダムを含む。

脚注 4) まえがきに書いた通り、昭和 36 年当時のまま。

成されたことは、この方法が当時、経験的に正しい、最も能率的な調査方法であったからである。

わが国における昭和20年頃以降のダムは、計画中⁴⁾のものも含め、高さ50~100mのものが最も多く、100mを越えるものも少なくない程に、以前のものに比べ、ダムの高さが非常に高く、また型式もアーチ、ホローなどが採用されてきている。これらの型式のダムは、重力型ダムに比べ、岩盤へ加わる応力が複雑である上に、低いダムでは工事に関係しなかった谷壁の上の方の風化部分や表土の厚い部分までが、施工に直接関係するようになってきた。また、地質も以前のように優れた地点を選べるとは限らなくなってきた。ダムの型式規模が急速に変わってきた上に、建設されるダムの数も、戦後という社会的必要度に対処するために、急激に増加した。

一方、これらのための地質調査も、機械的方法の進歩と、ダムの水理・構造に関する実験の方法の発達と相まって、急速に進んで来たが、このことと戦後の大規模の、新しい型のダムが完成してきたことにより昭和30~35年は、前述の初期における古いダムの地質調査方針と、近時ダムが大規模になってからの新しい調査方法との過渡期にあたる。今後も、古い調査方針は、早急には切り変わらないであろう。各事業体とも、それぞれの目的に応じた調査基準と呼ぶべきものを持って、調査の基準化を図っているようであるが、建設省では昭和32~33年度に河川・砂防技術基準が設けられ、諸調査も原則として、これによるようになっているが、幾つかのダムは、それらが計画された当初から、それが具体化する期間がちょうどこの基準が作成される過渡期に当たっている。筑後川上流の計画もそれである。

(3) 最近⁴⁾竣工したダムの工事の段階と地質調査

建設省関係の最近⁴⁾のアーチダムについて、それらの事業当初の地質調査と、竣工するまでの工事中の地質調査と施工との関係を見るために、二瀬ダム(直轄事業)、綾北ダム(補助事業)、室牧ダム(補助事業)を例にあげる。

一つのダム事業を着工すべきかどうかを決めるための諸調査をどこまで行なうかは、事業の緊急度など社会情勢と、事業体の技術判断とによる。後者のうち地質について、ここにあげた規模のアーチダムの場合は、ここに述べる調査の段階で着工されているのが通例の実状である。これは、行政上予算的に工事費が当てられた時を着工としているので、民間事業体では必ずしもこの時期を着工とは見ないかも知れない。いずれにしても、大規模なダム、特にアーチダムのように、岩盤に加わる応力が複雑で、高い施工技術を必要とする工事にあっては、事

業の計画段階の調査において、地質上の最終結論を出すことは不可能というべきであって、このようなダムが竣工するまでには、最後まで地質調査に伴う設計の具体化を必要としている。

したがって、官庁である地方公共団体であるとまたは公社であるとの、事業体の特性により区々ではあるが、調査のある程度の段階において、事業実施へ移るのは一般的に認められる事項である。

二瀬ダムの場合(建設省直轄)

1. 二瀬ダムは、当初埼玉県が計画し、昭和23年頃地質調査を行なった。昭和27年頃一時、調査は農林省に移ったが、後再び埼玉県に引きつがれた。その後昭和27年頃建設省が県から引きついだ。

当時までの地形図の精度が悪く、地質図としての詳細な記載はないが、その頃までに、秩父科学博物館によって1/500地質図が作られ、ボーリング5本(のべ125m)、調査用横坑16本(のべ503m)、弾性波探査(測線延長1,200m)および供試体による岩質調査が行なわれていた。

2. 昭和28年に事業化してから後、土木研究所によって、簡単な横坑展開図、断層・きれつ図が作成された。

3. 昭和28~31年に調査用横坑の掘削や延長が行なわれ、31年には坑数34、延長1,500mに達した。横坑掘削と共に、坑内で、オイルジャッキによる静的弾性試験、弾性波による動的弾性試験が行なわれた。

4. ダムは、最初直線重力式として計画され、工費が高額になることが予想されたので、他の型式との比較が論議されたが、地質状態の具体的調査事項の取扱い方、アーチダムに対する経験不足などから、これに対する結論を出すことは、当初は、はかどらなかった。

5. 昭和29~30年当初のダム予定軸線左岸に大きな空洞があって、ここの取付け部掘削が予想外に大きくなることがわかり、ダム予定軸線は幾分上流側に変えられ、この部分に調査横坑が掘られた。その頃から、予定されたダム位置の附近の種々な位置で、種々の型式のダムの比較検討が行なわれたが、建設省最初のアーチ、鳴子ダムに対する経験から、アーチ案が有力になってきた。

6. 前項5.の予定軸線左岸の取付け部について、昭和30年度後半に調査を集中し、調査横坑が多く掘られ、その進展にともなって、昭和31年度にはさらに上流側にまで横坑を掘って岩盤調査を行ない、ここに現在位置が決められ、昭和31年11月に、この位置に厚肉アーチダムをつくることに決定された。

7. 昭和31年11月~32年夏にも、地質調査の進捗にともなって、取付け部の掘削を浅くするように、ダムの形は少しずつ変えられた。また、堤体模型実験による内

部応力の見地から、ダムの厚さも薄くなっていった。

8. 昭和 32 年、工事の入札後も、模型実験の結果から、厚さも僅かに変わり、また堤体掘削の進むにつれて、最初の掘削予定が変わった。

室牧ダムの場合（富山県）

1. 当初から、高さ 75 m のアーチダムが考えられていた。

2. 昭和 28～31 年、当初案の位置で、河床部・右岸の上部に主力をおいたボーリング・試掘による調査が行なわれた。左岸は、岩盤の露出が良いので、あまり調査は行なわれなかった。

3. 昭和 32、33 年に富山大学に依頼して、ダムサイト附近の 1/500 地質平面図、断面図を作り、節理の方向性の調査も行なわれた。

4. 昭和 32 年度に工事費がついで、アーチダム工事のための調査にはいり、地質調査と平行して、地形再測量、ダムの設計が行なわれ、ダムの高さが 80 m に変えられた。この当時の地質調査は、地質の精査、右岸の安山岩火山礫岩の境界面の追跡を主とし、右岸に 13 本、河床に 2 本、左岸に 1 本（延長計 712 m）のボーリングと、左岸に 4 本、右岸に 8 本の調査横坑掘削、右岸で電気探査が行なわれた。

5. 地質調査の結果、昭和 33 年春から、右岸上部の安山岩の深さの関係から、ダム位置を約 50 m 下流側にした場合の地質調査として、右岸に 5 本、左岸に 3 本の調査横坑掘削と、動・静的弾性係数測定が行なわれた。

6. 当初の地点と 5. の地点の地質調査の結果、これらおよびその中間の 2 地点（この部分の地質概要は、両者の資料から十分推定された）について、地質上の工事難が比較された。

7. 昭和 33 年 10 月、ダム位置は 6. の中間 2 地点のうちの上流案に決定され、ここで工事の細部決定のための地質調査として、試掘坑 6 本、ボーリング 3 本と、みぞ掘りが行なわれた。この調査の結果、緑色凝灰岩およびシルト質岩石のシームの夾在が知られた。局部的岩盤処理、グラウト工、およびサドルの厚さなどの設計に若干の修正を加え、これに具体的に対処した。

綾北ダムの場合（宮崎県）

1. このダムは綾南ダム（昭和 28～32 年）と共に綾川開発事業として一貫して計画され、ダムの型式は 2、3 項の頃は直線重力式であった。

2. 昭和 27 年頃、県から宮崎大学に依頼して、一部の地質調査が行なわれ、調査横坑の簡単な展開図が作られた。

3. 昭和 30 年以前に、深さ 30 m 程度のボーリング 3

本、弾性波探査および若干の調査横坑による地質調査が行なわれた。

4. 昭和 30 年 6 月に、ダム地点の簡略な地質調査が行なわれ、応用地質のコンサルタントに依頼して、2 項以後に掘られた横坑の簡単な展開図が作られ、コンクリート骨材の原石採取予定地の地質調査を行ない 1/5,000 地質図が作られた。

5. 工費比較と、2～4 項の結果から、県側は薄肉アーチ案を持つようになった。4～5 項の頃は県（工事者側）と建設省（認可者側）とは薄肉アーチについては、まだ完全には同意していなかった。

6. 昭和 31 年 5 月頃までに、調査用みぞ掘り、調査横坑追加掘削が行なわれ、地質調査の精度はあげられ、5 月にはダム地点の 1/500 地質図、数本の地質断面図が作られた。骨材原石採取予定地でも、2 本程度の調査横坑が掘削され、1/1,000 地質平面図、断面図が作られた。

7. 昭和 32 年 7 月、横坑内でオイルジャッキによる静的弾性試験が行なわれ、付替え道路の切り取り面によって露出が増えたので、これにもとづいて、地質図の補足調査が行なわれた。

8. 昭和 32 年に、横坑を利用して、動的弾性試験が土木研究所によって行なわれ、同年秋に、この方法によって、テストグラウトの効果判定試験も行なわれた。

9. 前 8 項の調査終了後、建設省も現地視察の結果、アーチに決定した。県原案のアーチ取付け位置は、右岸はほぼ現在位置、左岸は最終決定位置より上流であった。

10. その後、堤体掘削が始められた時期に、ダムの最終位置は左岸側で約 15 m、右岸側は僅か下流側に変えられた。

11. 昭和 33 年夏、堤体掘削終了後に、地質図の最終的補足調査が行なわれた。

12. 堰体掘削が進んで、左岸取付けの岩盤が予想より悪かったので、昭和 33 年秋、動的弾性試験によって、左岸岩盤に対するグラウト効果判定試験が行なわれた。

13. 掘削、ケーブルクレーンの位置などの関係で、ダム位置は変えられないので、前 12 項の試験結果により、この部分を 4～5 m 掘り込み、サドルを厚くすることになった。

あとがき

原鑑定書の一般論には、上記のつぎに「4) いわゆる火山地質におけるダムの例」がのべられ、当時における、ダムの 24 例を表—2 としてあげてあるが、本回の主題と関係がないので別の機会にゆずることにした。