

ダム建設とその地質調査について（その1）

桐 谷 文 雄

I は じ め に

終戦後日本においては、その戦火の跡から立上るために、いろんな経済復興のための施策がおこなわれて、その効果は着々としてあがり、遂に今日見られるような繁栄をきたすようになって、もはや戦後ではないとさえいわれておることは御承知のとおりである。これら数々の施策の中でも特に戦前には見られなかった急速な各種大規模土木工事が沢山に実施されている。例えば貯水池式大ダムの建設、水力あるいは火力の大発電所の建設、各種高速道路の建設、各種大規模工場や各種コンビナートの建設等々である。又一方戦前にはあまり顧みられなかった各種の自然災害に対しても防災あるいは災害予知のための積極的な調査、研究、対策が打出されるようになってきている。即ち地盤防止法の制定、大都市の地盤沈下を伴う地下水過剰汲揚の規制、地震予知の積極的研究、防災科学技術センターの開設等、自然災害に対しても、真剣に取りくんで災害の予知、防止、軽減に夫々の関係機関が日夜努力を傾けつつあるのが現状である。

このような状況で必然的要請として土木工学と地質学とのつながりは以前にも増してはるかに密接となり、大規模土木工事前堤として必ずその基礎地盤や基礎岩盤の詳細な地質調査が実施されるし、又地震、地沈み、山崩れ等の災害防止や軽減のための各種施策に対しても、地質資料が基礎的資料として極めて重要且つ有効であることが関係各方面で認識されてきている。従って今日では地質技術者の活動できる領域も戦前に比してはるかに広がりを持つようになった。

このような領域での地質学 (Geology) を我々は岩石、鉱物、古生物、地層、地質構造、地史、鉱床等の研究分野である純地質学 (Pure Geology) に対して今日応用地質学 (Applied Geology) と呼んでいる。昔は応用地質学といえば鉱床学 (Economic Geology 又は Geology of Ore Deposits) のことであった時代があったが、今日我々のいう応用地質学は地下資源関係の調査研究分野を除いたすべての地質学の応用面を含むもので、人によっては土木地質学 (~~Civil~~ engineering geology ^{or Engineering} ~~ing~~ geology or geology) ^{Civil} と呼んでいる。

応用地質学の調査研究の対象となるものは、各種ダムサイト、各種発電所、隧道（道路、鉄道、水路等の）橋脚基礎、各種道路等の建設基礎地質、地盤沈下の問題、軟弱地盤の問題、地下水、温泉、地熱開発の問題、地沈み、山崩れ等の所謂災害地質の問題等多種多様である。これらの問題の大部分において純地質学と根本的に異るところは対象となる基礎の地質を鉱物、岩石、地層として取扱うの

ではなく、それらが一体となった岩盤あるいは地盤として取扱うのであり、更にそれらの岩盤、地盤が何等かの形で力が加わる状態において考えるという点である。例えば構造物の基礎として岩盤、地盤を見ると、構造物が岩盤、地盤に力を加える場合（ダムその他の一般地上重構造物）と岩盤、地盤が逆に構造物に力を加える場合（地下構造物、隧道等）とがある。

このような点を常に考慮しながら基礎の地質を調査し研究し考えるのが近代的応用地質学である。従って近代的応用地質学では岩盤と力との関係解明のためにも岩盤の諸性質の定性的な取扱いばかりでなく定量的な取扱いが当然必要となってくる。均質でもなく等方性でもない岩盤の定量的な取扱いは非常に難しいことであるが現在応用地質に携る各方面の地質技術者は土木技術者と協力して、日夜このために努力を傾けつつあるとあって良い。

以上述べたように応用地質学で取扱う問題は地質学の中でも、我々の社会生活に最も身近な問題であり、社会の進歩発展に直結した問題が多いということを銘記しておいて頂きたい。又応用地質学の夫々の対象によって地質調査や研究の目的、方法も夫々に異っており、深く研究するには夫々に専門化された地質技術者となることが必要なのはいうまでもない。

以上のような沢山の問題の中で、ここでは筆者自身が永年取扱ってきたダムの地質の問題を主にして地質技術者がどんな調査や研究を行なっているのかについて御紹介して見たい。

II ダムの建設について

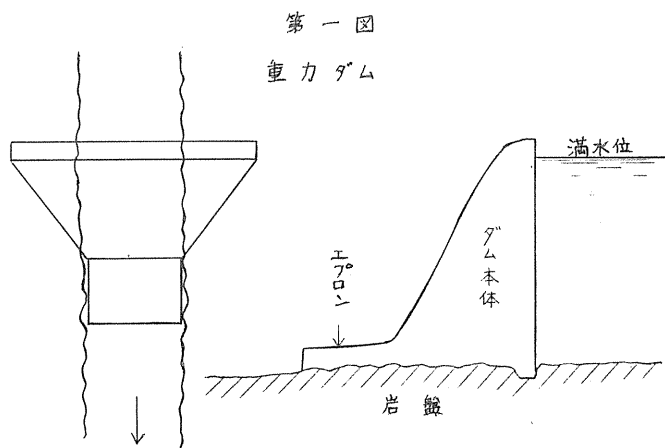
ダムにはその型式や規模にいろんな種類のものがある。最も普通なのは重力式ダム（Gravity dam）でこれはダム自体の重さによって水圧を支えるものであるが、大きなものになるとコンクリートの量が莫大なものとなる。佐久間ダムはその好例で高さ＝155.5 m 天頂長＝294 m、コンクリート量は112万 m^3 である。

コンクリート量を減少せしめ経済的効

果をあげると共に強度増加をはかった型式が中空重力式ダム（Hollow gravity dam）で大井川の井川ダムや四国吉野川最上流の大森川ダムなどがそれである。

同じ高さ、同じ川巾である場合、中空重力式ではコンクリート量を重力式の場合の20～30%を節約することができるといわれている。

中空重力式ダムというのは堤体の内部をいくつか仕切って中空にしたもので、外観は重力式ダムとそれ程かわっていない。



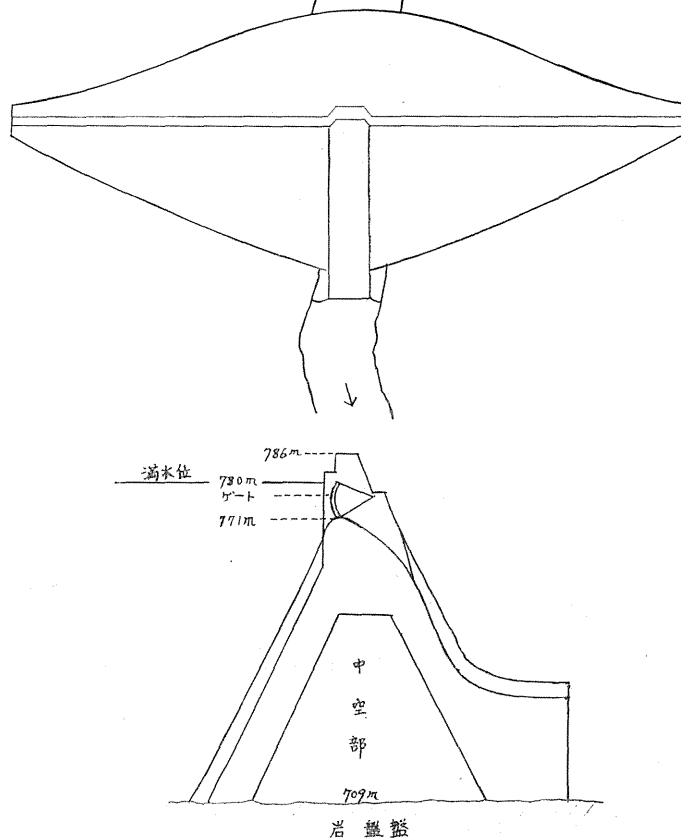
アーチダム (Arch dam) は上流面に向って、アーチを突出したかたちのもので、水圧を両翼の岩盤に導いて支えているもので、両翼の岩盤が特に良好でなければつくりえない。

この型式ではコンクリート量をはるかに少なくすることが可能である。

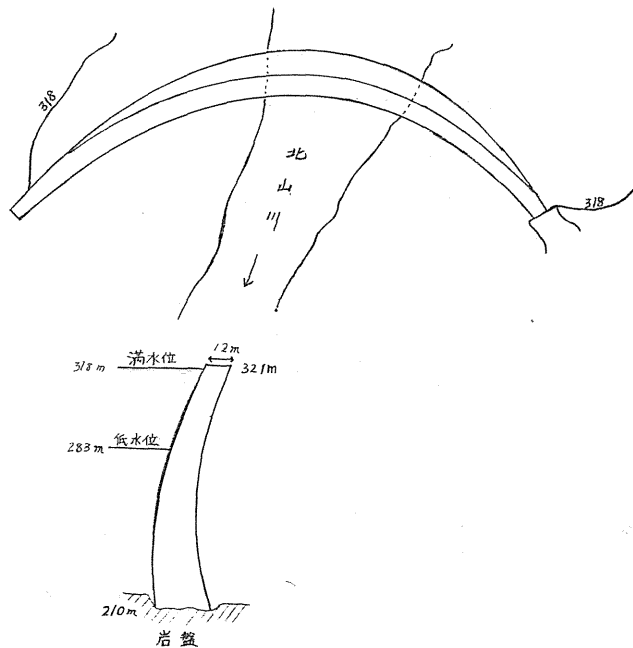
この例としては、最近観光地として有名になった黒部川第四ダムがある。通称黒四ダムといっているが、堤高 186 m、天頂長 494.9 m、コンクリート量 136 万 m³ で日本最高のアーチダムである。このダムは規模が大きいのでコンクリート量も大きいですが、一般にはコンクリート量は、アーチ式、中空重力式、重力式の順に増大する。

多々規模が異なるが、類似した堤高、天頂長のダムについてコンクリート量を比較してみると、下表のようになる。

第二図
大森川ホローダム



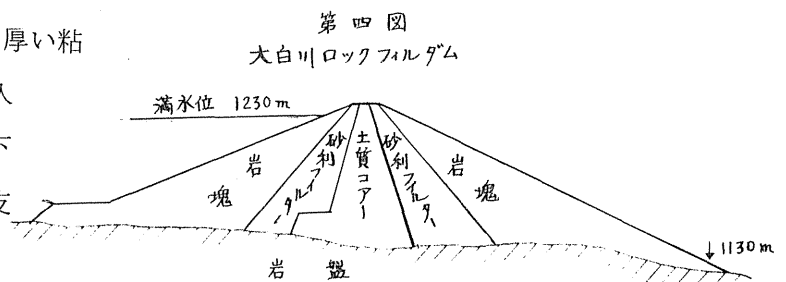
第三図
池原アーチ式ダム



型式	名称	堤高 (m)	天頂長 (m)	コンクリート量 (m ³)
アーチ式	阪本ダム (熊野川水系)	103	252.5	170,000
中空重力式	井川ダム (大井川水系)	103	243.0	430,000
重力式	鳳凰ダム (熊野川水系)	101	329.5	592,000
アーチ式	二津野ダム (熊野川水系)	73	210.6	106,000
中空重力式	大森川ダム (吉野川水系)	72	190.0	141,700
重力式	松原ダム (筑後川水系)	83	195.0	363,000

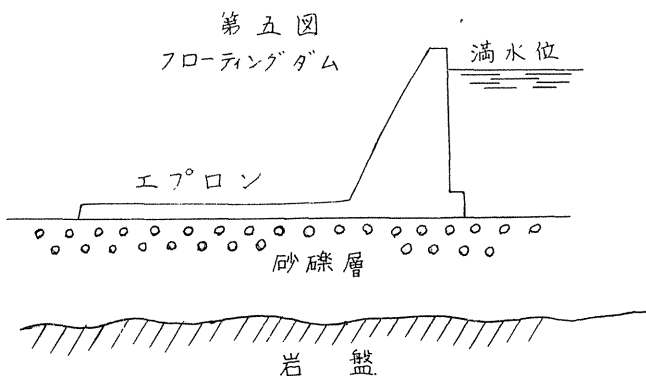
(日本大ダム会議 Dams in Japan 1960 による)

更にロックフィルダム (Rock fill dam) がある。これはダムのセンターラインに沿って厚い粘土のコア (土質遮水壁又は心壁) を入れて漏水を防止しその両側 (上流側と下流側) を砂礫及岩塊をもって積上げて支えとしたものである。



ダム地点の岩盤が良くないところではこの型式が選ばれる。コンクリートダムでは若し岩盤に不等沈下がおこると、ダムに Crack が入り、堤体から漏水したり、甚しいときにはそのためにダム崩壊の原因となることがあるがロックフィルダムでは岩盤に多少の不等沈下があってもダムにはそれ程の影響がない。

次にフローティングダム (Floating dam) は河床砂礫層が厚く堆積しており、この砂礫層を全部掘削除去することができないようなところにつくられるダムである。



原則としてダムは新鮮堅硬な岩盤に取付けるのであるが、この場合には堤体を砂礫層の上に乗せることになる。

このような場合にはダム直下流のエプロン (水叩き部分) をある程度下流へ長くにとって、エプロン直下流での砂礫層中の伏流水の流速が水圧によって増加しないようにしなければならない。

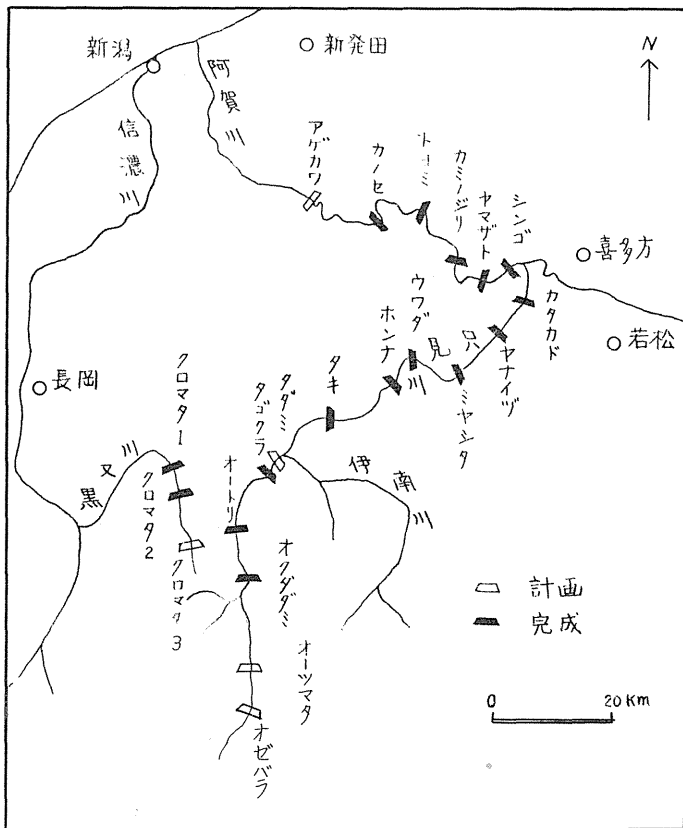
エプロンが短いとダムに貯水したときに、その水圧のために前記の流速が増加し、砂礫層中の伏流水の定常流が乱されてパイピング現象（Piping action貫孔作用）をひきおこして、エプロン直下流の漏水が増加し砂礫が流失し、そのためにエプロンが下流側から漸次崩壊し、遂にはダム自体の崩壊をひきおこすことになることがある。

最後にアースダム（Earth dam）であるが、これは所謂農業用水の溜池の大部分がこの型式であるが、日本では堤高40 mを越すものはない。

このようなダムの型式と規模については、その目的に応じて又、基礎地質を十二分に考慮して夫々設計、施工されるのであるが、最近では河川流域一帯の総合開発、地域開発等の一環として計画的にダムの建設が行なわれることが多い。一つの河川に上流から下流へ階段式にいくつかのダムを建設し河川を人造湖の連続として、その落差を最大限に利用して発電（Power generation）すると共に洪水の調節（Flood control）各種用水（農業用水、工業用水、水道用水等）の確保（~~Water~~ Water supply）等を目的とした所謂多目的ダム（Multi-purpose dam）として建設されることが多い。このために河川の各支流を含めて、あるいは隣接河川をも含めて一貫した水資源の開発計画が立てられるのが最近では普通である。

殆んど完全に落差を利用している只見川のダムを図示すれば次図の如くである。

第六図
只見川水系のダム



ダムや水力発電所の建設地点は一般には山間へき地であり、その大工事のためには莫大な資材、巨大な重機械と多数の要員とを必要とするのはいうまでもない。このために先ず第一に運搬用の専用道路（時には田子倉ダム建設の場合の如く、専用鉄道を敷設することもある）の完備が必要である。

又ダムの上流側の水没地域内では河岸に沿った既設道路の付替が必要であり、前記の工事用道路と共に、このようなすべての道路はダム工事の着工前に完成していなければならない。このような専用道路はダム完成の暁には公供施設として国あるいは、県などに移管されるのが普通である。田子倉ダムへの専用鉄道は国鉄へ移管されたし、奥只見ダムへの10数kmの殆んどトンネルのみの専用道路は県へ移管され、観光用道路となるであろう。

このようにしてダムの完成後には従来全くの未開発地域としてとり残されていた奥地が道路の完備によって、その森林資源や鉱産資源の開発上の利便、又一般住民の受ける便益は極

めて大きいものとなる。

四国高知県の奈半利川につくられた魚梁瀬ダム（堤高115 m、ロックフィル型式）は河口の奈半利町から30数Kmの奥地で従来は森林軌道が唯一の交通機関であり、1日1往復6時間を要したところであるが現在工事用道路が県へ移管され森林軌道はとり払われ、奈半利町からバスが1日数回往復するようになり、1時間半で魚梁瀬部落へ達することができるようになっている。このようなことは枚挙にいとまない程である。この様に最近のダムの建設は発電に、防災に又各種用水の確保などを目的としているものではあるが、河川流域一帯の地域開発、総合開発と密接に連なるものであるといえる。

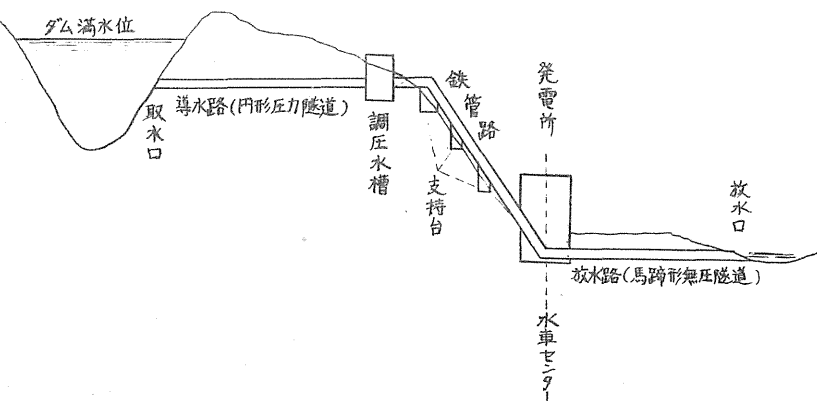
しかし乍らダム建設に伴う水没地域ではこのような利便とは逆に時には一部住民が故郷を捨てての移住というぎせいのあることも忘れてはならないことである。

Ⅲ ダム地点のえらび方について

ダム建設地点の地形と地質とはダムが永久的重構造物である関係上当然最も重要な撰定の要素であることは勿論であるが、実際にはダム地点そのものの撰定は単に地形、地質上のみから決定されるのではなく、水資源の最も有効な利用ということと、そのための土木工事全般の経済性とが重要な撰定の要素として入ってくる。このようなダム地点の撰定に際しての地質以外の種々の要素の調査、研究は主としてダムの設計、施工の立場にある土木技術者の行なう分野であって、従って以上のような総合的見地から最終的に決定されるダム地点は必ずしも地質的に理想的なあるいは良好なダム地点とならないことが多く、地質精査の結果如何によっては何等かの岩盤補強のための処理を必要とすることが屢々起ってくる。又地質調査の結果によっては比較地点（近接した別な地点を撰んで調査を行ないどちらが経済性があるかを比較するための地点）や代案地点（本来計画された地点が調査の結果不相当であることが判明し、その代りとして撰ぶ地点）を撰ばなければならないこともある。一般にダム地点は地形的に河川のせまいところで岩盤の良く露出しているようなところに撰ばれるのが普通であるが、これは掘削量が少なく且つ使用コンクリート量も少なくして、ダム建設の経済性を高くしようという考慮が払われるからである。ダムの建設地点として地質状況以外のいろんな原則的な条件は次の通りである。

1. ダム、導水路、調圧水槽、鉄管路、発電所、放水路等の一連の構造物が全体として水の有効な利用のできる地点であること。
2. 河川の落差を最大限に利用できる地点であること。
3. ダムに使用するコンクリート量がなるべく少なくすむ地点であること。換言すれば河川がせまい

第七図
ダム関係の構造物概念図



ことと、河床堆積物の少ない地点であること。

4. ダム地点上流の流域面積、河川流量、洪水量、洪水のあり方等に関する慎重な考慮を必要とすること。
5. 流域一帯の気象条件、すなわち年間降雨量、降雪量、蒸発量、滲透量等に関する慎重な考慮を必要とすること。
6. ダム—発電所間の導水路が一般にはなるべく短くてすむ地点であること。
7. ダム地点上流に貯水池となるべきポケット地帯のあること。
8. ダム地点上流に水没補償物件のなるべく少ないこと。上流河川沿いに又下流導水路沿いに鉦区等のなるべくないことが望ましいこと。
9. ダム地点下流にダム建設に伴なう自然流量の変化による影響の少ない地点であること。
10. ダムコンクリート用骨材の質的、量的の採取地が近くに存在すること。
11. ぼう大な仮設備用敷地が近くに容易に得られる地点であること。
12. 以上の諸条件及び地質条件を総合して、ダム建設が経済ベースにのる地点であること。などである。

以上のような複雑な要素に基づいてダム、導水路、発電所など一連の重構造物の位置、型式、規模が最終的に決定されるのである。

ダムの建設は先ず調査から始まって、計画→設計→実施設計→施工→保守の各段階に分けられるが、調査は最初に行なわれるだけでなく、上記の各段階に夫々必要な調査が伴うのは当然であり、特にその重要な部分を占める地質調査は初期の概査の段階から精査の段階へ、更にダムの重要部分のこくめいな精密調査（後述）へと移って行くのである。

地質関係^{以外}の既述の各種の要素の調査研究と検討は、最初5万分の1地形図を基本として、次で1万分の1乃至5千分の1の航測地形図によって、主として設計、施工の立場にある土木技術者により河川に関する各種資料を考慮しつつ行なわれるが、その際必要とする概略的な地質条件については地質技術者から助言が提出され、必要によっては初歩的な現地踏査が両者共同で実施されることになる。

このようにして、ある河川に関する一連の開発計画がつくられるが、一般にダム地点、導水路、発電所等の位置については、いくつかの比較地点が撰ばれて、それら各案について調査が行なわれ、地質の良否工事の難易、経済性などが慎重に比較検討される。つづいて具体的な地質調査の段階に入るのであるが、これは比較各案について同時に平行して実施されたり、ある一案のみ先ず調査が行なわれたりする。実際に建設されるダムのセンターの位置や発電所水車のセンターの位置などは最も重要であるので、ある程度これらに関する地質調査が進行してから、決定されることになっている。

〈次号につづく〉（静岡大学理学部）