

ダム建設とその地質調査について：その2

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-12-10 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 桐谷, 文雄 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00026142

ダム建設とその地質調査について（その2）

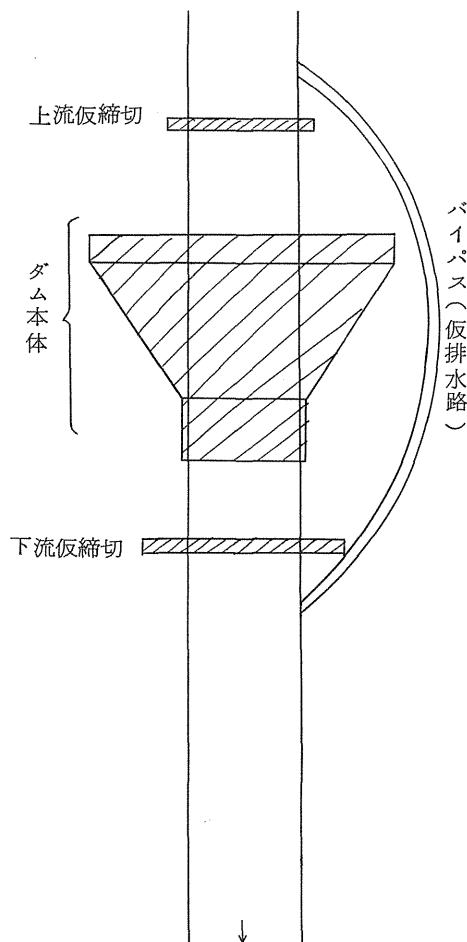
桐 谷 文 雄

Ⅳ ダム地点の地質調査について

(1) 調査の対象について

ダムをある地点に建設しようという場合には既に述べたように単にダムだけを築造するのみではなく、いろんな附属構造物もつくらなければならない。ダムの目的によってはダムの型式や高さ、大きさが異なるばかりでなく、ダムに附属する種々の構造物もそれぞれ異ってくるのは当然のことである。

第8図 ダムとバイパスとの関係



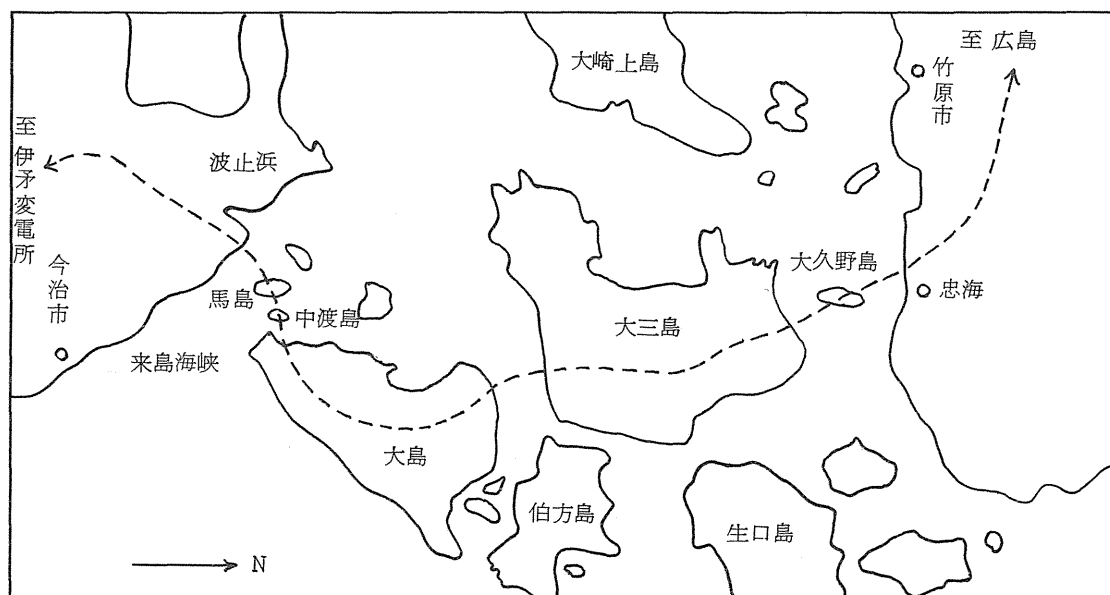
一般のハイダムは多くの場合発電を兼ねることになるので地質技術者の地質調査の対象はダム建設地点そのものは勿論のこと、取水口、導水路（圧力隧道が多い）、調圧水槽、鉄管路、発電所、放水路（無圧隧道）、放水口およびダムの仮締切地点（ダムを建設するためにダム地点の上流側と下流側に小規模のダムをつくって本ダム地点の排水、掘削ダムコンクリート打設などを行なう。）、仮排水路（ダムが完成するまで本流の河水を仮締切地点からトンネルによって下流へ流すためのもの。）などの一連の構造物の基礎調査を行なわなければならない。

さらにこれらの各構造物に使用されるコンクリート用骨材として河床あるいは段丘砂礫層の質的、量的の調査も必要である。最近では天然骨材としての砂礫層がダムの建設地点附近に大量に存在しないとき、または存在してもそれが質的に不適當であることが判明したときには附近の山から適当な岩石（硬質で塊状な割れ方をするもの、扁平に割れるものは不適當である）を採掘し現場に碎石プラントを設置して粗骨材（礫）、細骨材（砂）を製造して使用する。（このような骨材を採掘する山を原石山という。）必要とする骨材の量はダムの型式、規模、附属構造物の型式、規模によって異なるのは勿論であるが、一般に

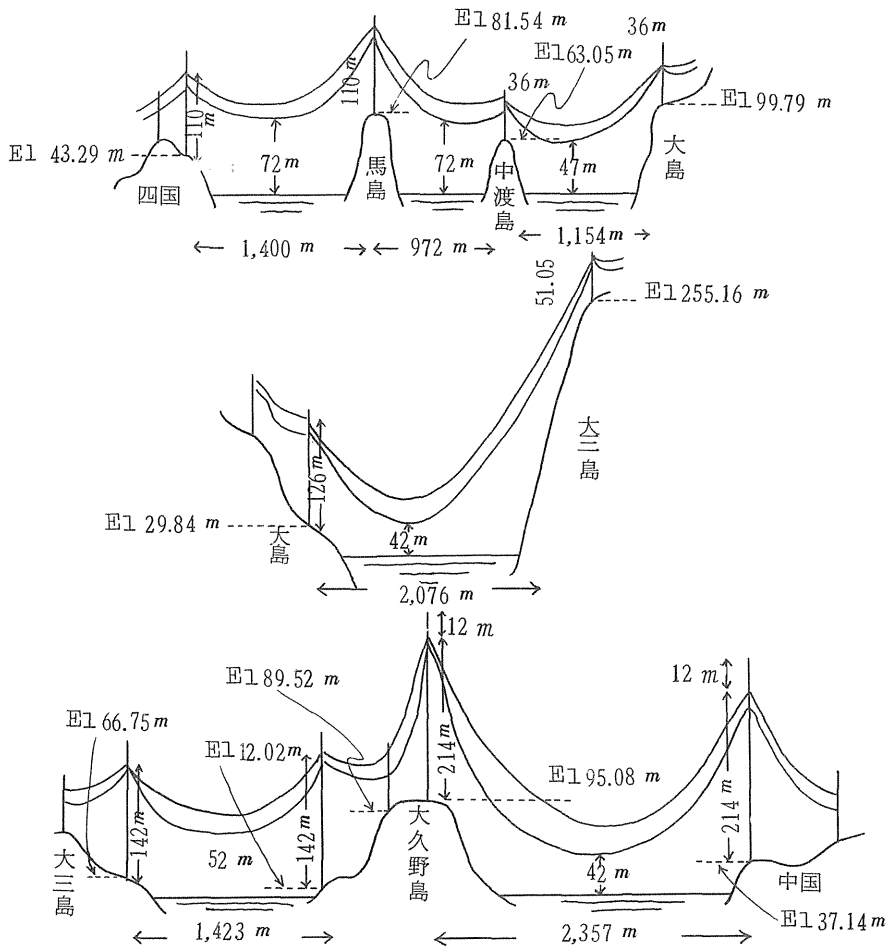
数万 m^3 から数 10 万 m^3 、時には 100 万 m^3 以上に達することもある。採掘上、製造上のロスを考慮にいと採掘する岩石の埋蔵量は所要量の少くとも 2 倍以上なければいけない。しかも可採埋蔵量が所謂地並以上であることがのぞましい。すなわちダム の骨材採取のための原石山はダム建設地点に近いこと、被りが浅く露天掘が可能であること、できればダム の満水位より高い位置にあることなどがその条件となる。原石山についてはその岩石の質と量との調査が第一でさらに進んでは具体的に一定量のサンプリングを行なって、これから礫や砂を実際に製造し粒形、粒度試験、材質試験などを実施するのはもちろんのこと、実際にコンクリートとしてその強度試験を行ない、果して使用可能かどうかを決定しなければならない。このような実験室的な各種の土木試験は日本工業規格 (J I S) に従って地質技術者と土木技術者との協力の下に行なわれる。ロックフィルダム の場合にはダム の心壁 (遮水壁) としていれる大量の土質材料とダム 本体を構成する大量の大塊の岩石材料が必要で、これもダム 地点附近に求めなければならない。この土質材料のことを一般には粘土と呼んでいるが文字通りの粘土ではない。或程度砂礫の混入したもので適当な含水比を持つことが必要である。文字通りの粘土や含水比の高いものでは転圧工事 (種々の巨大なローラーを使用して圧密する工事) の際べたついでローラに巻付くので工事が不可能になることがある。最も良いのは花崗岩や花崗斑岩などの風化したマサ状粘土である。

御母衣ロックフィルダム (庄川上流、堤高=131 m、堤頂長=405 m、堤体積 800 万 m^3 、発電所は地下式で最大出力=215,000 KW) の土質材料は 164 万 m^3 でダム 上流 1.5 Km の右岸の花崗斑岩の風化によるマサ状粘土を使用、岩石材料は 551 万 m^3 でダム 上流 500 m 内外の左岸の花崗閃緑岩を大発破によって採掘使用した。又フィルター材として砂利を 80 万 m^3 使用している。

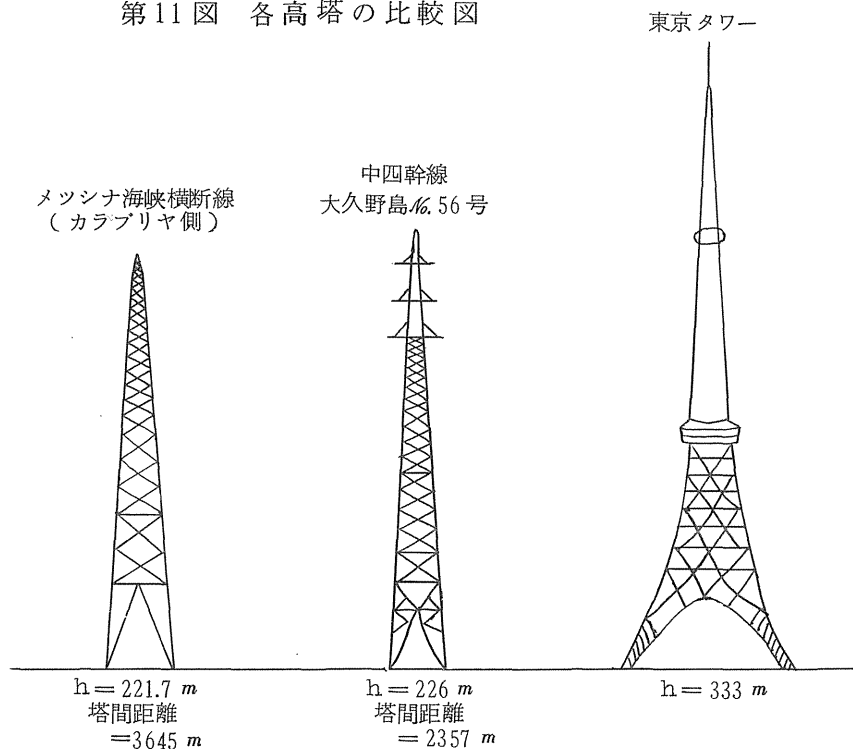
第 9 図 中四高圧送電幹線ルート



第10図 中四高圧送電幹線海峡横断部分



第11図 各高塔の比較図



一般にダムに使用する骨材や土質材料は数カ所から採掘するということは設備が重複するので厳密な経済性と質的均一性が要求されているダム工事では不可能で1カ所で大量に均質なものが採掘されるようなところを調査し発見しなければならない。

さらに送電線の鉄塔の基礎調査や変電所の基礎調査も必要である。例えば四国の今治市から中国の広島市へ連なる高圧(22万ボルト)送電線で中四幹線と呼ばれているものは西南日本内帯に広く分布する花崗岩類から成るいくつかの島づたいに建設されたものであるが最大の鉄塔は高さ226mで東京タワーの333mの $\frac{2}{3}$ に等しい。

東京タワーは下部にビルディングをつけ、これが一種のおもりの役をしているが送電線のタワーではこんなことは到底できない。しかもマサ状風化の激しい小島上につくるのであるからその基礎調査は十二分に行なわなければならない。尚世界での海峡横断送電線鉄塔で高いものは伊太利のメツシナ海峡を横断するものでCalabria側の鉄塔が221mである。

又変電所の冷却用水源井の事前調査も地質技術者に課せられる地質調査の一つである。

特殊なものとしてダム建設に伴う補償関係の地質調査がある。例えば貯水池周辺の湛水の影響を受ける鉱山、鉱区、導水路に沿う鉱区などの補償問題に関連して鉱山、鉱床の調査およびその評価を行なうことも多い。このような補償問題での最終結論は公平な第三者に双方から委託して行なわれるが、事前にダム建設者側としての意見は出しておかなければならない。

さらにダムの建設前に工事用道路や付替道路などの路線の調査（トンネル、橋の基礎、道路切取など）があるのはいうまでもないことである。

このようにダムの建設に関連して地質技術者の行なわなければならない地質調査の対象となるものは多種多様である。

(2) 土木地質的調査の本質と目的

ダムに関係するいろいろな地質調査（後述）があるが、その調査結果は直ちに土木設計や土木工事に密接に関係してくるので我々は一般の純地質学的調査や地下資源調査と区別して土木地質的調査と呼んでいる。

ダムに関連する地質調査はダム地点そのものに関しては勿論のこと、既述のようなダムに関係する一切の附属重構造物の基礎地質の調査が主体であることはいうまでもない。従って地域的にはダムを築造しようとする河川の流路沿いにダム上流の貯水池の上端（所謂背水—Back water—地点）附近からダム下流の発電所又は発電所からの放水路の末端に及ぶ相当広範な調査が必要である。

時には貯水池に流入する土砂（即ち堆砂）の問題があるのでダムの背水地点から水源地点に至る地域の調査が必要となることもある。

堆砂の問題はダムの寿命に関係してくるのでダムに関する重要な問題の一つである。時には分水案（隣接河川の水をダムに流入させる案）などがあって隣接河川の流域や分水路線の地質調査も行なわれることがある。しかし一般の地質調査と異なることは構造物の建設地点附近に関しては各種の地質調査方法を総動員して詳細な具体的調査が行なわれるということである。

すなわち、土木地質的調査というものは極めて現実的、実際的な問題を対象として行なわれるものであり、その結果に基づいて直ちに構造物の設計が行なわれたり、その土木工事が実際に行なわれたりするのである。だから土木地質技術者は責任をもって慎重に調査を実施することが必要である。

ダムに関連する一連の土木地質調査の目的は構造物の基礎となる岩盤の状態を鮮明にすることが主となるので、地下発電所や水路隧道などの場合をのぞけば鉱山地質調査のように地下深部に至る調査は必要としない。せいぜい地表下100mくらいまでの部分の調査となるのが普通で、この部分の岩盤の実状を綿密に調査し明らかにすること、およびその岩盤を基礎とした所定の構造物が安全であるかどうかを判定することにある。土木地質的調査の目的は次のように要約することができる。

a 夫々の土木工事の実施される場所や構造物を直接のせる部分の一般地質、地質構造、岩盤の諸性質を明らかにすること。

b 夫々の土木工事やそれによってでき上る構造物の設計上注意しなければならない土木地質的問題の有無、夫々の土木工事の進行途上において工事の障害となるような地質的問題があるかどうか。

あるとすればその程度はどうか。工事の進行または構造物の安全性に対し致命的なものであるかどうか。岩盤補強あるいは岩盤改善によって克服することが可能かどうかなどを明らかにすること。

c 工事の進行途上または構造物の完成後に発生した事故に地質的原因があるかどうか。

あるとすればその原因の究明と土木技術者との協力による克服方法の検討。

d 工事に必要とする天然資材が現場附近で質的，量的に容易に入手し得るかどうかを明らかにすることなどである。

ダムおよびダムに関連する一連の各種構造物の基礎は原則として新鮮堅硬な岩盤にとりつける必要がある，このために土木地質的調査では常に新鮮堅硬な良好岩盤面—即ち構造物の基礎岩盤面といわれるものの確認ということに重点がおかれる。

土木地質でいう基礎岩盤面とは一般の地質調査でいう表土や砂利層などをとりのぞいた岩盤面のことではなく，重構造物の基礎となり得る岩盤面のことで，表土や砂利層は勿論のことその下位の風化岩盤をとりのぞいた新鮮堅硬な岩盤面のことである。ただしフローティングダムなどの場合には支持力さへ充分であれば河床砂利層そのものが構造物の基礎岩盤面となる。

このような岩盤面は原則として新鮮堅硬で断層，破碎帯，クラック，褶曲擾乱帯などのない支持力の充分なものでなければならない。

従ってダムの土木地質的調査では次のものを厳格に区別することが必要となる。

a 構造物の基礎となり得ず工事の際に掘削除去しなければならない部分。

b 掘削除去しなくてもよいが何等かの方法で補強工事，岩盤改善を必要とする部分。

c 自然のままに充分構造物の基礎となり得る部分。

例えば a に入るものは表土，崖錐，河床砂礫層，段丘砂礫層，風化甚だしい岩盤，断層破碎帯，褶曲擾乱帯などで掘削除去のためにその Volume 計算も必要である。b は稍風化した岩盤，断層，クラック，破碎帯などはあるが甚だしくないもので，c は全く風化の及んでいない新鮮堅硬な岩盤である。もちろん b に入るものについては構造物の型式，規模によって多少標準を異にするので慎重に判断しなければならない。

このように土木地質的調査は地質調査の一つの方法ではあるが一般の地質調査とはその目的も異っておりまた対象物の取扱い方が大分異っておる。すなわち一般の地質調査が対象物を岩石，鉱物，地層，古生物，地質時代，地史などに関係して取扱うのが普通であるが土木地質調査では対象物を一括した岩盤として取扱う点が大いに前者と異っている。

(3) 調査方法と調査結果の整理

以上に述べたような地下の地質状態を詳細に解明するために土木地質的調査ではあらゆる可能な手段方法を用いて具体的にまたこくめいに調査を実施する。これらの各方法はおよそ次のように要約することができる。すなわち，

a 地表地質調査（航空写真地質調査を含む） c 具体的地下地質調査

b 物理的地下探査 d 岩盤としての諸性質の調査，試験，研究

などである。

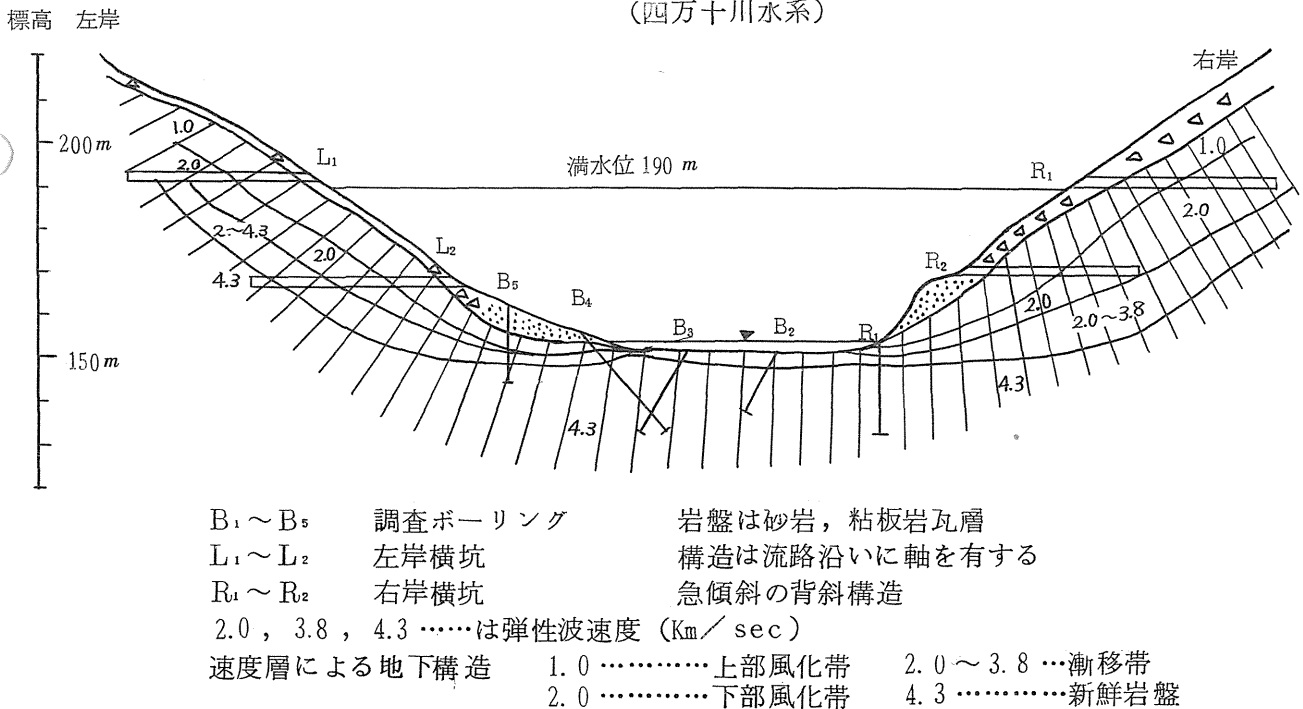
a 調査の初期の段階から精査に至る各段階に応じて先づ5万分の1地形図による踏査，次いで航測による1万～5千分の1地形図による踏査，概査更に進んではダム地点附近および附属構造物附近のみの1千分の1，500分の1，200分の1などの実測地形図による精査段階へと地表地質調査を進行させてゆく。これらの調査に少しずつおくらせてb，c，dの各種調査を進行させて地表精査の最終段階に近づく頃には物探，試錐，試掘横坑などの具体的地下地質調査が或程度進行しているようにする。

このような地下状態の資料を充分考慮の上で精細な地質図や各種地質断面図がつくられる。

航空写真による地質図の作製はようやく最近になって発展してきたもので実際には各航空写真測量会社などでやっているが未だ地表地質調査の補助手段の域を出ていない。しかし地表踏査では不可能な場所でも航空写真では観察できる利便があるので航空写真を土木地質技術者が充分観察することは有益であり，今後この方法の発展が期待される。

b 物理的地下探査法の中で土木地質的調査に主として用いられるのは電気探査法（所謂電探）と弾性波探査法（所謂人工地震探査法）とである。これらの方法はいずれもダム関係以外の各種の土木地質的調査にもここ10数年来盛んに使用されている。その理論や方法は夫々の専門家により，又夫々の専門書に詳細に説明されているのでここに繰返す必要はない。しかしこれを利用する立場の土木地質技術者は次のようなことに充分注意することが肝要である。例えば弾性波探査によってとかく地下の地質構造そのものが直ちにとらえられるかの如き印象を一般にあたえ勝ちであるが，弾性波探査では実際には地下岩盤の各部分の物理的性質の差に基づく弾性波の速度層（この言葉が適当かどうか問題があるが）として岩盤を区別しているのので地質学上の地質構造と速度層として区別された地下構造とは本質的に異なるものであるということである。（第12図参照）

第12図 打井川ダムサイト弾性波探査結果
(四万十川水系)



故に弾性波探査を野外で実施することや、その得られたデータの所謂解析 (Analysis) は物探技術者が当然行なうべきものであるが、その結果得られた岩盤内の物理的性質の差によって物探技術者が表現した速度層の地質学的解釈 (Geological interpretation) を行なうことが必ず必要であり、これは土木地質技術者の責任において行なわなければならない。

このような意味で或地点で弾性波探査を実施する場合には、その地点の地質調査を実際に担当した地質技術者が必ずその計画に参加し測線の位置、方向、長さ、数、測点間隔、発破点の位置等を指示すると共に全野外作業を指導監督することが絶対必要である。更に前述の物探技術者の解析結果の地質学的解釈もまた必ずその調査担当の地質技術者が行なうべきである。

その結果、構造物の基礎としての岩盤の重要部分や地質的異常の推定される部分には必ずチェックボーリング (Check boring) あるいはチェックトンネル (Check tunnel) を実施して確認しておくことが必要である。電探の実施やその結果についても全く同様であるのはいうまでもない。

c 具体的地下地質の調査というのは前述の各種の調査の結果を考慮に入れた上で実施する地下地質状態の調査であって、段切り、表土剥ぎ、溝掘り (トレンチング)、試掘横坑、立坑、斜坑、試錐などの地下地質状態の具体的な確認のための調査方法で各種調査の中で最も経費を要するものである。これらの調査を実施するに際しても、その位置、数量、方向、長さ、深度などは地質技術者が責任をもって決定しなければならない。

d 岩盤の諸性質に関する調査、研究には色々あるがダムサイトの場合に最も大切なものはその岩盤の透水試験 (Permeability test) と岩盤の支持力試験 (Bearing test) とである。

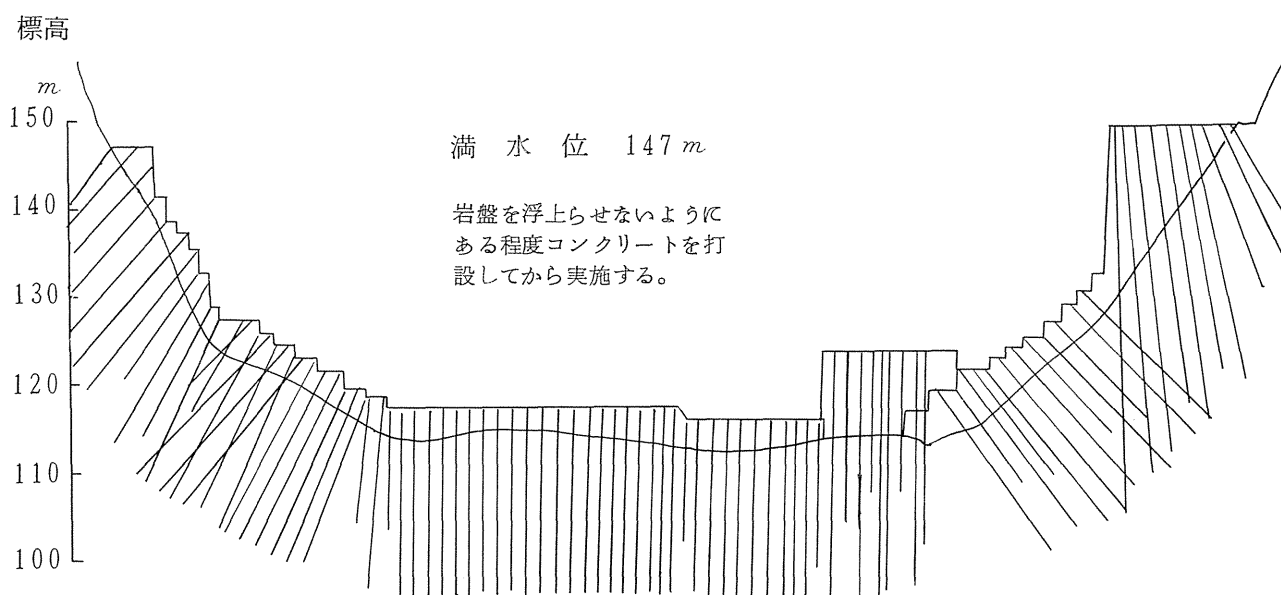
ダムというものは河川をせき止めて貯水するのが目的であるから貯水したときにダムの基礎岩盤を通して漏水が起っては何にもならないことになる。ダムそのものから漏水が起ることはダムに何等かの原因 (施工の不完全とか岩盤の不等沈下など) によるクラックなどの発生しない限りあり得ない。故にダム貯水後の漏水は主として岩盤を通して起ることが多い。そのために事前に岩盤の透水性の有無、透水の程度を十二分に調査しておくことは極めて重要なことである。

この試験は主として試錐孔を利用して水を圧入することによって行なわれる。ダムの基礎岩盤の各所に必要深度の試錐を行ない、その試錐孔にその場所に加わる満水時の水圧を加えて水を圧入する。

その時に毎分どの程度に水が岩盤の中へ圧入されるかを調べるので毎分/lで漏水を表示する。このような試験に基づいて岩盤に何も手を加えなければダムが完成して満水すればどの程度の漏水が岩盤を通して起るかが判明する。ダムの基礎岩盤を通しての漏水ということは基礎岩盤の一部 (時には全部) が常に水を含んでいることになり、このことはダムに揚圧力 (Uplift というダムを浮き上げる力) が働くことになり最終的にはダムの決潰を引きおこすことになる。故に漏水は絶対に防がなければならない。そのためにダムの基礎岩盤に対してはグラウティング (Grouting セメントミルクを沢山の試錐孔を利用して岩盤に圧入して岩盤を固めると共に漏水を防止する方法) が必ず実施される。

ダムのグラウティングにはカーテングラウティング (Curtain grouting) とコンソリデーショ

第 13 図 四国奈半利川平鍋ダムセンターにおける
カーテングラウト孔の分布



ングラウティング (Consolidation grouting) とがあるが前者はダムセンター沿いにグラウトカーテン (Grout curtain) をつくって主として漏水を防止し、後者はダムおよびエプロンの基礎岩盤をより強固にするためのものである。

岩盤の性質の調査の段階ではグラウティングのためのグラウト試験 (Grout test) も実施する。

これは前述のグラウティングのための資料—セメントミルクが岩盤内に如何なる条件の下でどの程度圧入されたかの記録—を得るためである。セメントミルクが実際に岩盤内にどのように圧入され岩盤を固めているかは圧入孔の周囲にテスト孔を掘り岩心を採取して調査する。

次にダムは自重と水圧とに堪えて岩盤によって支えられているので岩盤がこの巨大な圧力に堪えられるかどうかのテストが支持力試験 (Bearing test) である。このテストは横坑の坑内でオイルジャッキ (Oil jack) を用いて岩盤に必要限度 (夫々のダムにより一定している) の圧力を加えそれによって起る岩盤の歪みの値を測定し、その値から岩盤の弾性係数を計算する。これを岩盤の静弾性係数 (Static Young's modulus) という。

最近では弾性波探査と同じ方法で岩盤の各部分の弾性波の速度を測定し、これから計算によって弾性係数を算出する方法が盛んに用いられている。このようにして算出した弾性係数を動弾性係数 (Dynamic Young's modulus) といっているが多くの場合両者の測定を行なって比較検討している。

このような岩盤の諸性質の調査研究は岩盤を構成する岩石、鉱物、地層などを対象にしたものではなく、それらを一括した不均質等方性のない岩盤としての主として物理地質的諸性質の探求であり等方性のない岩盤の調査研究に土木地質技術者はいつも懸命に心をかたむけているのである。

以上で分るようにダム地点に関連した土木地質的調査は究極においては等方性のない不均質な岩盤

の透水性と支持力の探求に連るものと考えて差支えない。

試錐の結果については地質柱状図，岩心採取率，孔内の湧水，漏水の量と位置，掘進時間，ビット給圧等を一目瞭然たらしめた50～100分の1程度の試錐実績図を各孔毎に作製して整理しておく。ここで注意すべきことは最近の試錐機は非常に進歩しており，現在では岩心採取装置で大低の場合岩心採取が可能となっていることである。昔はダムサイトの岩心採取率で岩盤の良否を判定したこともあったが現在ではそうはいかない。

柱状図には岩心の岩質の記載のみでなく，岩心の硬さの程度，クラックの多少，および岩心のとれ方，すなわち岩心が棒状にとれているか，細片状になっているか，又はスライムとなっているかなどの記載を忘れてはならない。採取した岩心は一定のコア一箱に順序良く収納し，一定のやり方で写真撮影を行ない前記実績図と共に一定年限保管しなければならない。溝掘，横坑，立坑，斜坑などの地質記録も50～100分の1の展開図として保管することは勿論のことである。

以上述べた色々な調査資料，すなわち地表調査地質図，弾性波探査解析図，試錐実績図，横坑地質展開図等を充分比較検討した上で各方向の500～200分の1の地質断面図をつくり上げ，更に地下岩盤の状況を検討する。その上で尚岩盤の状況に疑問の点や不明の点があったならば地質技術者として納得のゆくまで追加の各種調査を行なうことが必要である。

このようないろんな調査の結果を地質技術者はとりまとめて種々の図面として表現しなければならないが，できる限り設計，施工の立場にある土木技術者の必要とするような図面にすることが大切である。設計，施工の立場から要求される図面は地質平面図よりむしろ種々の断面図で特に構造物と基礎の地質との関係を明確に示した断面図である。

例えばダム地点ではダムセンター地質断面図（アーチダムではアーチに沿った展開地質断面図）ダムセンターに平行な上流側，下流側のいくつかの地質断面図，ダムセンターに直角に交わるいくつかの地質断面図，5～10m毎の水平地質断面図などである。

この他に断層や破碎帯などに関係した細かい断面図が無数に必要となる。要するに土木技術者にとって必要なのはどのような性質の岩盤の上に構造物の基底の各部分が取付けられることになるか。断層やその破碎帯が地下で垂直に又水平にどんな位置にあり，どんな程度に変化しているか，又構造物の基底とどんな関係にあるのか。どの程度表土や河床砂礫層又は風化岩盤をとり除けば構造物の基礎として不安のない岩盤となるかなどを知ることのできる図面である。故に土木地質技術者は地質平面図には推定基礎岩盤面のコンターを記入し，断面図では推定基礎岩盤の断面（推定基礎掘削線という）を記入することが必要となる。

設計施工の立場にある土木技術者はこのような土木地質技術者から提出される各種地質資料によって表土，砂利層，風化岩盤などの基礎掘削量を計算したり，断層処理の方法を考えたり，その他設計，施工の諸問題を検討決定するのである。このとき土木地質技術者は土木技術者に種々の土木地質的問題についてアドバイスを行なうことは当然である。

土木地質技術者は調査の初期の段階から常に設計，施工の立場にある土木技術者と緊密に連絡を保

って地質調査を実施すべきであって地質学的な自己の興味本位の独善的な調査に陥入ってはならない。

＜次号につづく＞ （静岡大学理学部）

前回掲載分にミスプリントが目立ったので下記の様に訂正する。

正 誤 表

		誤	正
1 頁	7 行目	即ち地上防止法の	即ち地中防止法の
	11 行目	このような状勢で必然的……	このような状勢での必然的……
	19 行目	Deposito) ……	Deposits) ……
	20～21	(Cire engineievng gec	ing geology or Geobogy) (Ciril engineering Geology)
3 頁	15 行目	多力規模が……	多少規模が……
	第二図	岩 盤盤	岩 盤
4 頁	6 行目	鳳凰ダム (熊野川水系)	風屋ダム (熊野川水系)
	14 行目	…Dams in japan…	Dams in J ap an
	15 行目	(Rock fiel dam)	(Rock fill dam)
	22 行目	ダムに Crack が入り	ダムに crack が入り
5 頁	11 行目	(Wester ……	(Water ……
6 頁	8 行目	ダム建説に伴なう	ダム建設に伴なう
	第七図	調圧水槽の上端をダム満水位より稍高くする	
7 頁	21 行目	地質関係は外の	地質関係以外の