

# Photogeology による水力開発地点の調査

——黒部川上流地域を対象として——

正 員 吉 田 登

## 1. ま え が き

わが国では、河川の豊富な水量と急な河床勾配によって、水力は最も経済的なエネルギー資源として開発されてきた。

その当初においては、水力発電所を主体としたいわゆる水主火従の時代であって、水力発電所を常時化して使用したため、使用水量も小さく負荷率が非常に高いものであった。したがって開発規模が小さく、かつ最初から工事のしやすい良質な地点のみを選定することもできたので、建設工事を行なうに当たって専門的な地質学者の協力を得て地質調査を行なったことはきわめて少なく、もっぱら土木技術者の“かん”に頼っていたが、大して問題はなかったようである。

各種産業が年々驚異的な発展をとげ、工場の近代化が進みつつある現在においては、電力需要が大巾に伸長したため水力発電のみではとうていその需要を満たすことができなくなり、この急激な電力不足を補うために、大容量の新鋭火力の建設がさかんに始められるようになった。これら新鋭火力発電所は高負荷運転によってますます経済的な運転が可能となるので、ピークロードを水力発電所が負担し、ベースロードを火力発電所で分担させる水火併用の開発、運転方式が採用されるようになり、電力界は従来の水主火従から火主水従の時代へと移行した。これにともなって、水力の開発方式も従来の負荷率のよい流込み式から調整池式、さらに貯水池式と変化し、ピーク用の大貯水池ダム、長大トンネル、高落差大容量発電所の建設工事が順次行なわれてきた。

新鋭火力発電所の出現によって、水力発電計画では必ず新鋭火力との比較による経済性が検討されるようになったので、工事費の算定についても従来以上の精度が要望されることになり、多少の工事費の値上りでも直接その地点の開発の可能性に重大な影響を与えることになった。

他方最近では、土木技術の発達によって大ダム、長大、高圧の水路トンネルなどの施工技術が全くその面目を一新し、ますますその規模が大きくなりつつある。

これら大規模な水力発電工事が計画どおりに、かつ順調に進められるためには、各種の基礎調査が従来にも増して一層綿密に行なわれなければならないが、そのうち

で最も重要な関係をもつのは地質調査である。

## 2. Photogeology による調査のいきさつ

関西電力KKで目下工事中の黒部川第四発電所を建設するにさいして、黒部川は下方浸食が旺盛であることより考えて両岸に堅岩が露出したダムサイト、ならびに高圧に耐え得るとされる良好な水路トンネルのルートを選定し、かつその当時できるだけ綿密な調査を行なって着工したのであるが、大町トンネルでは予期しなかった大破砕帯にそう遇して数億円の工費と数カ月の日数とを浪費し、またダムサイトにおいても左右両岸に断層、破砕帯が相当数発見され、その基礎処理に懸命の努力が払われている。

従来の地質調査はまず現地踏査を行なって、計画地点全般の地形、地質の概要を把握し、その結果問題となるべき断層、軟弱地盤、あるいは崖錐部を摘出してこれらを重点的に調査する方法がとられてきた。しかし地質専門家による現地踏査にも限度があり、計画地点全域にわたることはとうてい不可能であり、また時間的、体力的な条件などで見落す可能性も十分考えられる。

特に黒部川流域は名に聞えた峻嶒の地であって、まだ前人未踏といわれる地域さえ所々にふくまれている。したがって水路経過地の全域を調査することは不可能であったのも当然と思われる。近年航空写真測量技術がいちじるしい発達をとげた結果、航空写真をただ地形図を作るのに用いるという本来の目的のほかに、判読用として用いる分野も次第に系統だてられ組織化されてきた。

確かに航空写真はレンズとフィルムの性能が許す範囲で写しとられた生のデータである。人工を全く加えない生のデータがいかに貴重なものであるかについては、いまさらいうまでもないが、これを専門的な知識の裏付けをもって観察すると、現地で直接眺めて気がつかないいろいろな現象や事実を航空写真から読み取ることができるのである。

実際地質学者が肉眼で判断できないとき顕微鏡を用いて詳細な検討を加えることと、航空写真を使って歩いて見ただけでは知ることのできない地質構造の全貌を知ろうとするのとは、micro と macro との違いはあるが科学的手段としては全く同じであるといつてよいわけである。Photogeology もこの写真判読の一分野として生れたもので、航空写真より地質構造を調査しようとする

\* 関西電力KK建設部長

ものである。もちろんすべての調査が航空写真だけでできるものとは考えないが、これによって部分的に、あるいは線状に行なった地上踏査の結果を確実に広範囲に拡大することができ、正確な地質構造をつかむことができるし、また特に詳細な調査を行なうべき地点をきわめて有効適切に選定して、1m 当り 1~2 万円もするボーリングの数を減じ、しかも貴重な資料を入手することができるのである。特に黒部川流域のような峻嶒な地域で地上踏査のきわめて困難な場合には、その価値がますます大きくなる。

しかし Photogeology に関するいままでの発展は、すべて岩盤の露出した、しかも地質構造の比較的単調な諸外国においてなされたものであるから、Photogeology をただちに日本のように地質の複雑なところで、そのまま適用することは無理である。これをさらに日本の地形、地質、植生などに適合するように修正して、新しい体系を造り上げなければならない。

筆者はこれらの観点から 2 年間にわたって、黒部川上流計画地点について広範囲な総合調査を行ない、Photogeology の可能性について検討を加えた。

### 3. 黒部川上流地域の概要

黒部川上流地域とは薬師岳 (2926m)、太郎山 (2373m)、北俣岳 (2661m)、黒部五郎岳 (2840m)、三俣蓮華岳 (2841m)、鶯羽岳 (2924m)、野口五郎岳 (2924m)、烏帽子岳 (2627m) の山々にかこまれた区域を指し、赤牛岳 (2864m) と水晶山 (2978m) を連ねる尾根と雲の平溶岩台地がその区域内にふくまれ、それらの間に東沢谷と岩苔小谷の各支流が画されている。

#### 3.1 地形

黒部川上流では二、三の遷移点を除くと、1/50 前後の急な河川勾配で、直角方向に向きを変えながら流下する。これに注ぐ支流もすべて本流に直交していることは、きわめて顕著な特徴である。

すなわち N 10~20°W の方

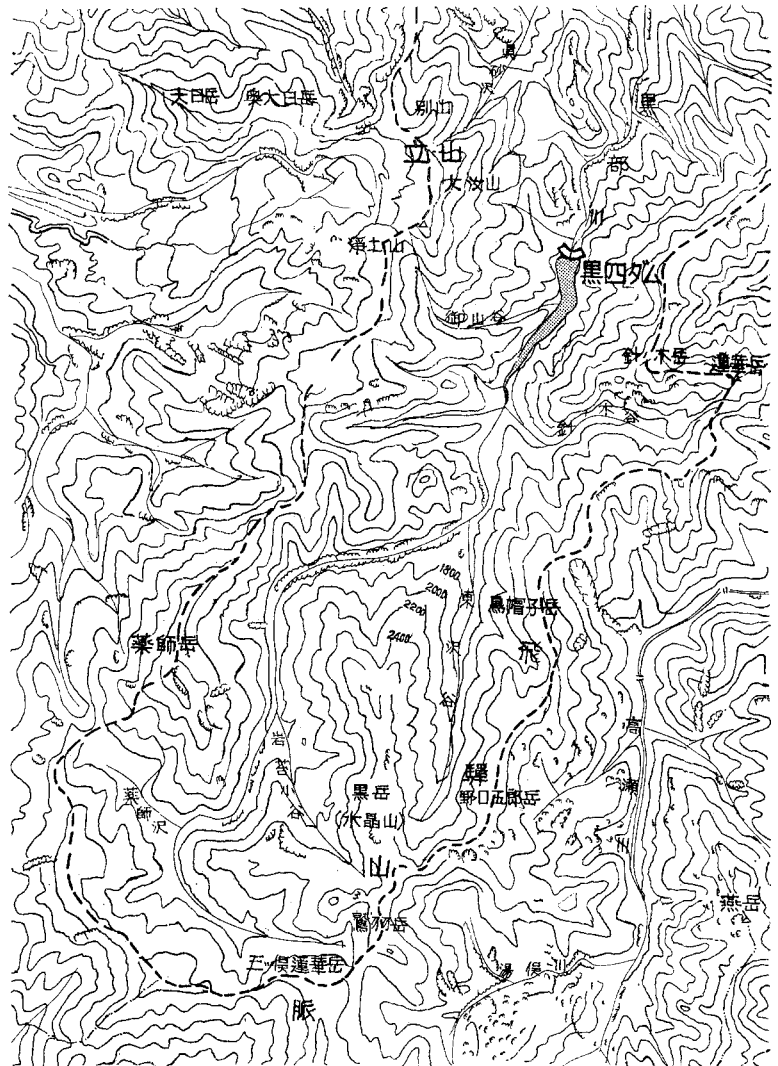
向に流れる東沢谷と口元ノタル沢が、上廊下で N 80°E の方向の本流と合し、上廊下下流では本流がこれら支流と同じ方向に向きを変える。

さらに上流では大きく西方に彎曲して雲の平溶岩台地を取りまくが、これは溶岩流によってもとの流路が変更されたもので、最上流では雲の平溶岩台地と三俣蓮華岳の間を上廊下とほぼ平行に流れている。しかしこれらの流路は断層線と密接な関係のある非常に発達した節理面、または断層線そのものに支配されているものと考えられる。

表一 勾配表

地 点	標 高	高低差	区間距離	平均勾配
五郎沢合流点	2049 m	139 m	3 680 m	1/26.5
薬師沢合流点	1910 m	176 m	4 950 m	1/28
岩苔小谷合流点	1734 m	277 m	10 550 m	1/28
東沢谷合流点	1457 m			

図一 黒部川上流地域一般図



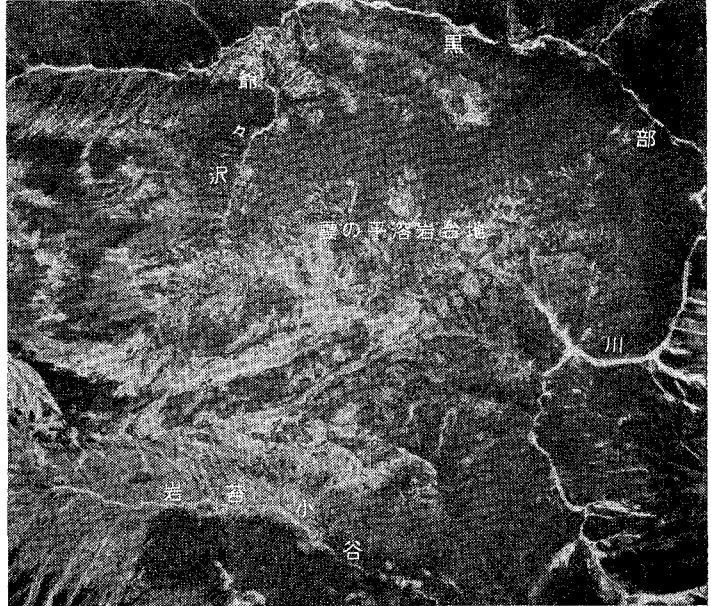
河床勾配は現在前記のように約1/30の急流で、一般に下方浸食が非常にさかんであるため、流路はほとんど直線状をなし側方浸食はほとんど行なわれていない。まして堆積による河成段丘は地殻運動による河川勾配の変化がない限り存在しないものである。

しかるに岩峯小谷合流点より上流の本流左右両岸には現河床上10~30mの位置に砂礫層から成る河成段丘がところどころに見受けられる。

また、薬師沢流域では標高2000mの高所に広大な河原が存在し、かつ大きい河成段丘が見られるばかりでなく、薬師沢だけが本流にくらべていちじるしく蛇行している。

航空写真観察によれば薬師沢の支流左俣川においては、下流部が同様高原をなしており、その縁端にある滝をさ

写真一4 雲の平溶岩台地の航空写真



写真一1 薬師沢下流の河成段丘に見られる砂礫層



写真一2 薬師沢中流部に見られる砂礫堆積層の互層状態



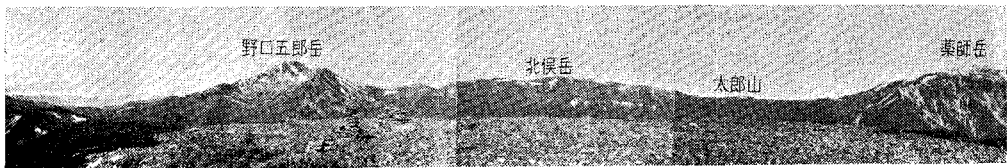
かのぼった上流部でもやはり蛇行性の河状を示している。

切峰面による西南側分水嶺の山の分布を検討してみると、太郎山を除いて標高2500m以上にふくまれ、しかも全体がゆるやかな等高線でおおわれる。事実標高3000mの高い山岳に、しかも尖った岩峰の多い日本北アルプスの中にあつて、北俣岳、太郎兵衛平、黒部五郎岳および薬師岳中腹には割合平坦な面が存在している。これらの特徴を総合して見ると、黒部川流域は過去において少なくとも一回の地形輪廻を経た後、再び隆起したものと考えてよい。

切峰面による地形図から明らかなように、黒部川上流地域はゆるやかな平原であったことが推定できるのであつて、地形学でいう隆起準平原ということが出来る。したがって北俣岳、太郎兵衛平、三俣蓮華岳などの平坦山頂は前輪廻の浸食によって形成された準平原の遺物と見るのが適當である。この中で薬師岳や黒部五郎岳は一段と高く残留したいわゆる残丘 (monadock) であると解するのが妥当であろう。

雲の平溶岩は、この準平原を流れたもので、雲の平溶岩の表面に見受けられる岩塊、すなわち自破砕溶岩の岩並みは、航空写真から明らかなように東西方向に延びている。その溶岩流は東より西方向に流動したと考える

写真一3 黒部川最上流分水嶺のなだらかな山形



写真一5 雲の平溶岩台地の東側斜面



写真一6 雲の平溶岩台地の西側斜面



写真一7 雲の平溶岩台地の自破碎岩塊



のが妥当であり、切峰面による等高線より検討しても溶岩流は東から西に準平原上を流れたことになっている。したがってこの溶岩流の基底には前輪廻の河成段丘の砂礫層が存在しているのが発見できる。

薬師沢流域の大きな段丘砂礫層は中生紀準平原時代に、薬師沢が手取統の砂岩、礫岩および手取統の基盤である石英閃緑岩の礫を流下堆積したもので、本流との合流点右岸の平原もこの段丘面であり、薬師沢に見られる山崩れの多くはこの段丘部に起きている。

航空写真を実体鏡を通して観察すると、黒部川上流地域の山々では左右が非対称な山稜が多く見られ、薬師岳もその山稜の東側斜面と西側斜面とを比較するといちじるしく非対称で、東側斜面が急であることがわかる。

これは第一に卓越西風により積雪が東斜面に多いこと、第二に日射量による雪の蒸発、融解状況の差があげ

写真一8 黒部川本流右岸において見られる手取層堆積岩、河成段丘の砂礫層、溶岩流の互層状態



られる。山稜に対して非対称であることは、いい換えれば浸食谷が非対称に発達していることを示すもので、河川の浸食状態にいちじるしい影響を与えている。

薬師岳南稜の大きい崩れは、単に地質だけによるものではなく、上述したように地形的、気象の要素も大いに関係しているものと思われる。

### 3.2 地質

黒部川上流地域を構成する岩層は大別して次の4種に分けられる。

基礎岩類	石英閃緑岩、斑粉岩
手取層類	礫岩、砂岩、泥板岩、頁岩
新期カコウ岩類	カコウ岩、カコウ閃緑岩
第四紀火山岩類	角閃安山岩、輝石、角閃岩、安山岩

基盤岩のうち石英閃緑岩、斑粉岩は黒部川源流の水晶山、鷲羽岳、三俣蓮華岳、黒部五郎岳、および薬師沢の中下流部、薬師沢合流点より上流の黒部川本流、雲の平溶岩台地の一部に存在している。

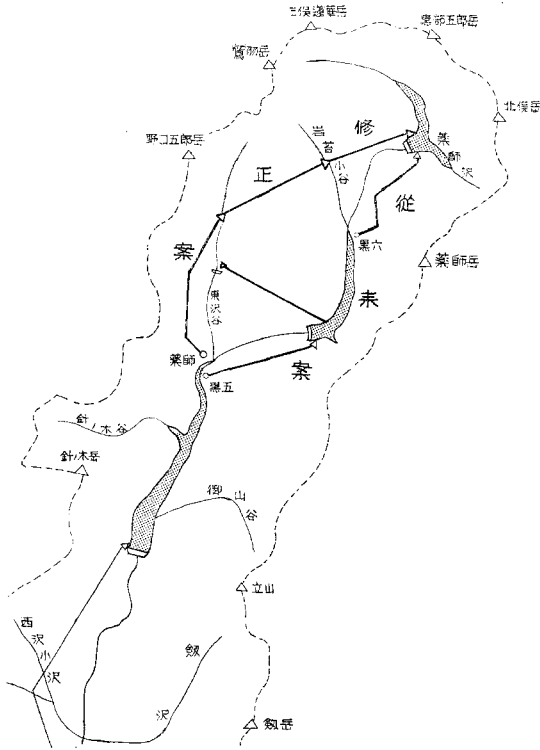
この岩石は斑粉岩から石英閃緑岩にわたる広い成分変化を示し、水晶山、三俣蓮華岳では斑粉岩～閃緑岩、薬師沢および薬師沢合流点下流約400m(ダム計画地点)までの本流沿いは石英閃緑岩である。

手取層群は礫岩、砂岩、頁岩などの層群で、黒部五郎岳カールの標高2700m、薬師沢の標高2075mに基盤(石英閃緑岩)をおおう基底礫岩があり、この基底礫岩の中の礫はカコウ岩やチャートの円礫をふくんでいて直

径 300 cmにおよぶものがある。

葉師沢ではこの礫岩層と河成段丘を形成している砂礫層が露頭で似て見えるが、礫岩層は岩石化しているのに対し、砂礫層は十分固結していない。

図-2 黒部川上流開発計画一覽図



ダム計画地点から本流沿い立石地点に至る左岸側に露頭している手取層群は、主として細粒砂岩、頁岩およびそれらの互層が多く、石英斑岩に貫かれている場合もある。また立石地点に至る右岸にも手取層が部分的に見られ、雲の平溶岩の基盤の一部を形成している。

立石地点から下流の本流沿いにはカコウ岩類が広く分布しており、ダム計画地点から立石地点に至る間の頁岩層はカコウ岩によってホルンフェルス化されているのが認められる。

手取層の層理方向は平均 N 8°W/32°W であるが、立石対岸の葉師岳南稜の高い標高部で大きく褶曲し、南稜は褶曲の向斜部分になっている。したがって本流沿いには露頭はないが、ダム計画地点の高い標高では手取層の走向は東西方向に近くなり、北側傾斜になっている見込みが強い。

新期カコウ岩類は黒雲母カコウ岩、閃緑岩質捕獲岩をもつカコウ岩～石英閃緑岩、およびカコウ斑岩などである。立石地点より下流の本流沿いには黒雲母カコウ岩が分布し、部分的に捕獲カコウ岩も交っている。黒雲母カコウ岩は上述したように手取層群に榎触熱変成作用を与えているもので、雲の平では溶岩におおわれているところがある。

赤牛岳の岩石は遠望すると赤い地ハダを示しているが、やはり黒雲母カコウ岩であって、本流沿いのものにくらべてカリ長石の結晶が多く、このカリ長石の着色によって地ハダが赤味を帯びて見える。

最後に第四紀安山岩の活動は、広く立山から南に延び、

図-3 地質図

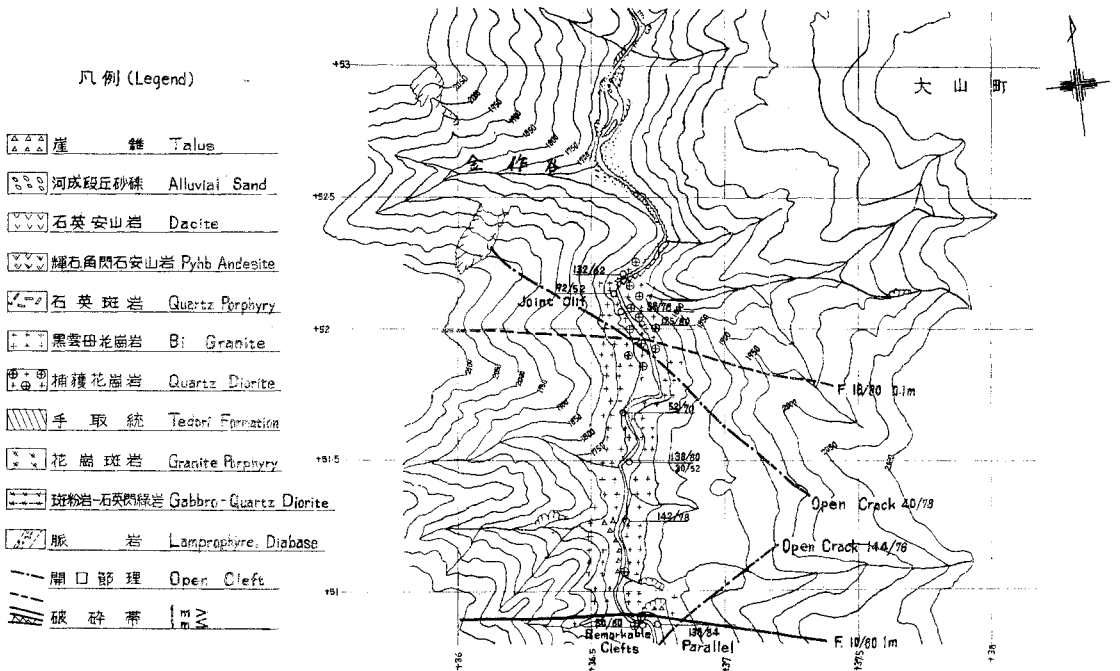




図-6 地質図

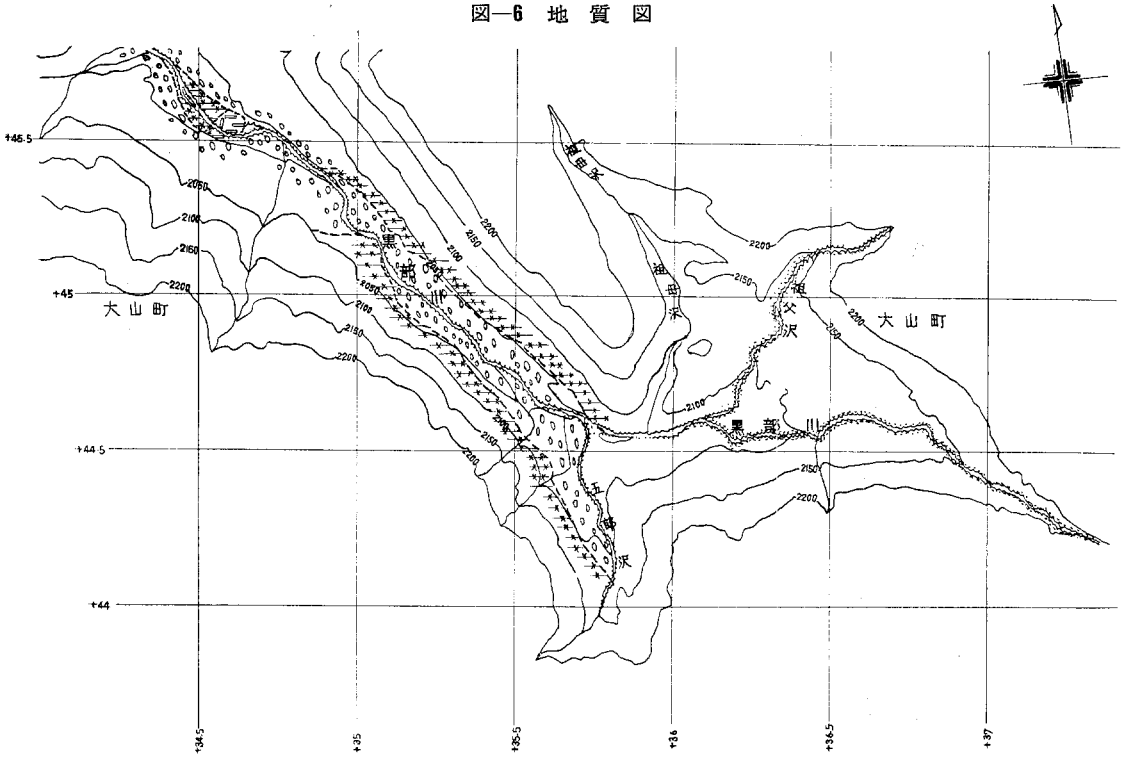
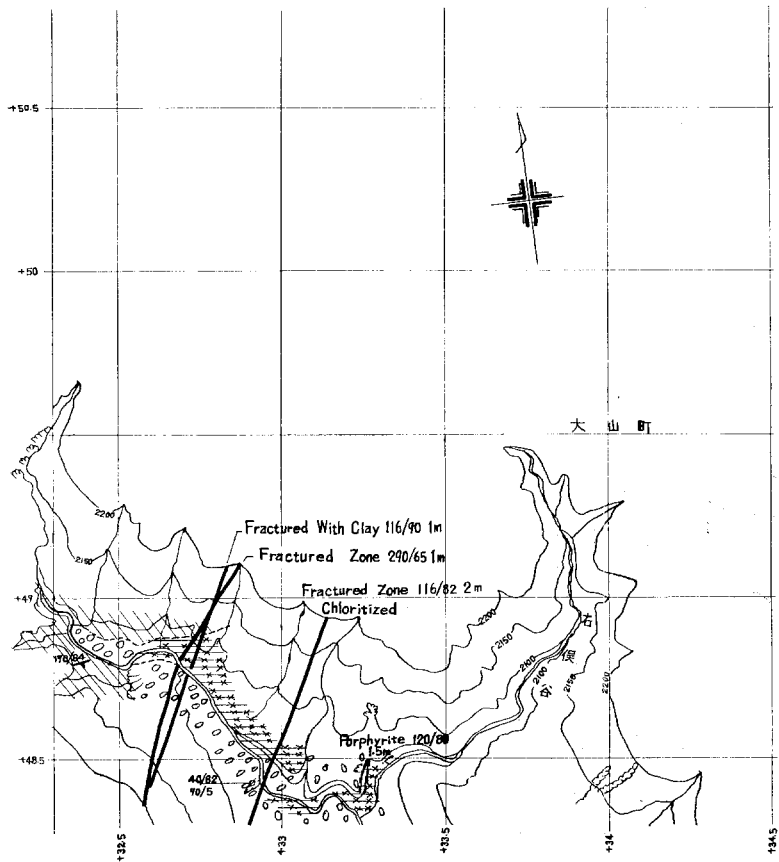


図-7 地質図



写真—9 薬師岳東南尾根における手取層の  
褶曲状態



スゴ小屋、鷲羽岳と続きほぼ南北の方向に貫いている。雲の平溶岩台地はこの溶岩原であって溶岩類は大別して二層確認され、上層は灰色の角閃安山岩および輝石安山岩で、下層は赤褐色の角閃安山岩である。

安山岩の基底境界は後述するように航空写真からほぼ追跡できるが、上流爺々岳では標高 2600m、薬師沢合流点では標高 1950m、ダム計画地点下流の本流の大彎曲部付近では標高 2100m、雲の平より岩苔小谷合流点

写真—10 黒部川大彎曲部付近雲の平  
溶岩流の末端



写真—11 雲の平より岩苔小谷合流点に至る尾根  
沿いに見られる角閃安山岩の柱状節理



に至る尾根沿いでは標高 2100m で、基底は平面に近いことが確認できる。

この溶岩流で注意すべきことは上述の二層の溶岩流の下位に、今一つの溶岩層が存在することである。この溶岩は本流右岸沿いに立石地点の上流 300m から、さらに上流 1000m に至る間露出しているのが見られ、溶岩流下層の大きい柱状節理の下の広大な崖錐の下部に灰色溶岩として現われ、その基礎は河成段丘の砂礫層を介して手取層群に接していることは前述したとおりである。

第三層の溶岩下部の標高は 1800~1900m で雲の平溶岩の基底部として下位の方であるが、露頭部は上述の二層のみであり、その標高を航空写真による追跡ができない。

溶岩の基底部に河床の砂礫が認められるのは、単にこの地点のみでなく薬師沢合流点から雲の平溶岩台地に登る登山道にも発見できるので、溶岩流は基盤が浸食によって平坦化し、河成段丘が形成されるようになった時期に、その表面に流れ出したと解釈できるのである。

### 3.3 節理破砕帯

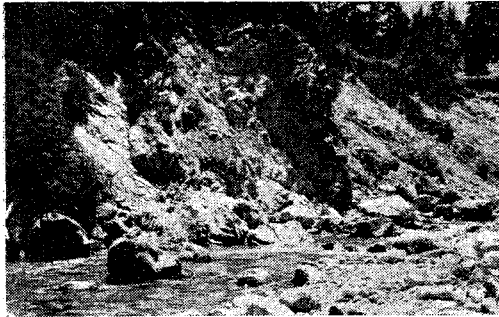
黒部川上流地域の岩体に認められる節理系は  $N 41^{\circ}E/79^{\circ}S$ 、および  $N 49^{\circ}W/74^{\circ}W$  で高い集中率を示している。すなわちこれら二つの節理系の交角は  $88^{\circ}$  であり、典型的なカコウ岩節理といって差し支えない。しかし踏査の範囲内では、断層破砕帯は特に集中性が認められないので、この範囲で破砕帯系を論ずることはできない。

河川の流路と節理系の関係はかなり明瞭であり、カコウ岩類地域の河川はほぼ節理方向にしたがっている。薬師沢は流れの方向が一見判然としないが、全体の方向は  $N 49^{\circ}W$  であり、右俣川、左俣川は  $N 41^{\circ}E$  の方向である。

薬師沢合流点から岩苔小谷合流点に至る本流の河川方向が、ほぼ南北方向を示して上述の二つの方向に合致しないのは、ダム計画地点から立石地点までの区間において、手取層の平均走向が  $N 8^{\circ}W/32^{\circ}W$  であることに注目すれば理解できる。断層破砕帯のうち取り上げるべき顕著なものは、ダム計画地点左岸の  $N 75^{\circ}W$ 、薬師沢合流点  $N 55^{\circ}E$ 、立石地点  $N 64^{\circ}E$  などである。



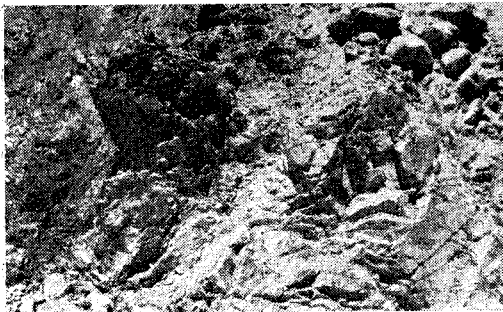
写真—12 薬師沢中流における基盤岩を貫く岩脈と礫層



写真—16 岩苔小谷合流点付近の本流右岸における節理状態



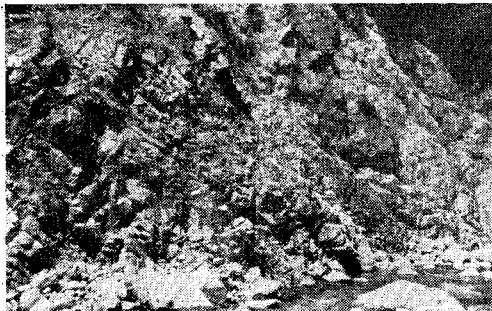
写真—13 薬師沢最下流で見られる断層の破碎状態



写真—17 岩苔小谷合流点下流の本流沿いに見られる破碎帯におけるカコウ岩



写真—14 薬師沢合流点付近の本流左岸における破碎部



写真—15 岩苔小谷合流点付近の本流右岸における節理状態



### 3.4 山崩れ

黒部川上流地域には薬師岳の大崩壊を初め、山崩れが多数見受けられるが、この山崩れは場所によってその性質に差が認められる。

すなわちこれを大別すれば次のようにわけられる。

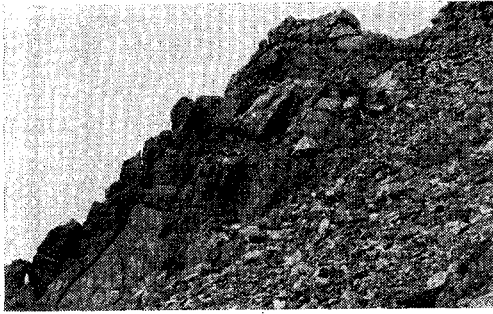
- (1) 古い段丘部の崩壊
- (2) 溶岩崖の崩壊
- (3) 非対称山稜東側斜面の崩壊
- (4) 氷河堆石の崩壊
- (5) 手取層の崩壊

古い河成段丘砂礫層の崩壊は、薬師沢流域に多く見られ、蛇行する河川の浸食側に発生している。溶岩崖の崩壊は、雲の平から岩苔小谷合流点に至る尾根沿い西側斜面の溶岩流末端、および三俣連華岳対岸の雲の平溶岩台地に見られる。

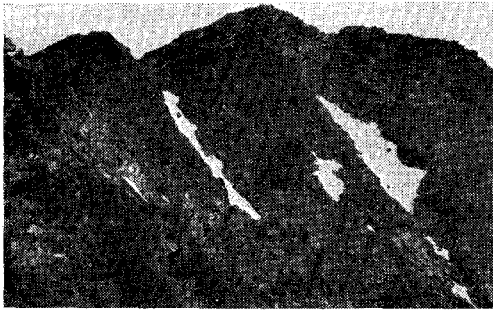
日本北アルプスの氷食、雪食による非対称性斜面は独特なもので、当地域の薬師岳別尾根東側斜面、薬師岳東側斜面、および水晶山東側斜面など非対称東側斜面に岩崩れが多発しているのは、東側斜面がほとんど例外なく急傾斜をなし、また谷頭は山稜まで達しているからである。水晶山西側斜面、赤牛岳西側斜面も崩壊模様の岩崩れを表わしているが、斜面の勾配、崖錐地帯の植生より観察すれば前者にくらべてはるかに安定しているといえる。

さらにこれらの斜面の袖に当る部分に準平原面が残存

写真—18 水晶山の山頂における閃緑岩  
ならびに片麻岩の崩壊状態



写真—19 水晶山より赤牛岳に至る西側  
斜面の崩壊状態



写真—20 薬師岳東側斜面における崩壊状態



写真—21 同 上



しているから、なおさら安定性を増している。カール地形の末端には氷河の残した堆石によるガレ場を造っており、このカールの下端が大きい崩れに続いている場合には、この岩崩れの供給源としてこの堆石が関係している場合が多いが、黒部川上流地域では金作谷を初めとして上述の状態が大部分である。

最後に黒部川上流地域の山崩れの型として指摘しなければならないのは、手取層群の崩壊である。手取層はかつての海底層が今日の標高まで隆起したもので、ある地域が部分的に隆起し、しかもその下位のカコウ岩の活動と隆起が密接な場合は、その表層の手取層堆積岩には引張応力によるきれつが非常に発達するものである。

薬師岳別尾根の手取層群の山崩れはこの原因によるきれつの発達がいちじるしく、このきれつによって岩体の結合力は弱められ、さらに非対称東側斜面の素因を重加したものと考えられる。

#### 4. 黒部川上流開発計画

黒部川の 流下土砂量は 年間  $500 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{km}^2$  に達し、このため既設黒部川第三、および第二発電所の調整池はほとんど埋没し、その総貯水量は建設当初にくらべて  $1/7$  に、また有効容量は  $1/4$  程度に減少している。

黒部川第四発電所は黒部川水系開発計画の根幹をなすもので、御前沢合流点上流に高さ  $186 \text{ m}$  のアーチダムを築造し、上流の広潤な谷間に湛水することによって総貯水量  $199 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、有効容量  $149 \times 10^6 \text{ m}^3$  の一大人造湖を造り、これに融雪期の豊富な河水を貯溜して使用水量  $54 \text{ m}^3/\text{sec}$  (最終計画  $72 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) によって最大出力  $25800 \text{ kW}$  (最終計画  $337000 \text{ kW}$ ) を発電するとともに、流量を調整流下して黒部川の流況を全面的に改善し、下流発電所の新設増設計画と相まって、冬期渇水期においても約  $900 \times 10^3 \text{ kW}$  の系統負荷発電を可能ならしめる一大貯水池式発電所である。したがってその貯水池の性能低下は下流発電所の運転にも大きい影響をおよぼすこととなり、その埋没防止について対策を講じる必要があることはいうまでもない。

黒部川上流開発計画は上記の目的を兼ねたもので、これには二案が考えられる。

すなわち従来案は二段式開発であって、薬師沢合流点下流約  $400 \text{ m}$  地点の本流に高さ  $125 \text{ m}$ 、総貯水量  $54 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、有効容量  $40 \times 10^6 \text{ m}^3$  のダムを築造し、水路トンネルは左岸沿いとして最大使用水量  $15 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、有効落差  $273 \text{ m}$  によって最大出力  $35000 \text{ kW}$  を発電する黒部川第六発電所と、上廊下の上流部に高さ  $160 \text{ m}$ 、総貯水量  $40 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、有効容量  $28 \times 10^6 \text{ m}^3$  のダムを築造し、東沢谷の溪流注入を行なって最大使用水量  $30 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、有効落差  $273 \text{ m}$  によって最大出力  $70000 \text{ kW}$  を発電する黒部川第五発電所とを建設する計画である。修正案は一段式開発

表一 黒部川筋堆砂状況一覽表

洪水開始	黒三 P/S 仙人谷ダム (C.A. 284.09 km <sup>2</sup> )						黒二 P/S 小屋平ダム (C.A. 404.80 km <sup>2</sup> )					
	洪水開始 昭 15 年 11 月			洪水開始 昭 11 年 9 月								
	総貯水量 682 000 m <sup>3</sup>		有効貯水量 246 000 m <sup>3</sup>		備 考		総貯水量 2 122 000 m <sup>3</sup>		有効貯水量 505 000 m <sup>3</sup>		備 考	
	堆砂量	比率	堆砂量	比率	最大洪水量	堆砂量	比率	堆砂量	比率	最大洪水量	堆砂量	比率
m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%	月 日 m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%	月 日 m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup>	%	
昭和 12							483 810	22.8	54 008	10.7	5. 21	657
13							965 815	45.5	145 002	28.7	6. 13	663
14							1 234 181	58.2	164 082	32.5	8. 6	631
15							1 457 570	68.7	238 000	47.2	7. 12	917
16	72 533	16.1	5 722	2.3	7. 10	785	1 659 319	78.2	178 958	35.2	7. 10	890
17	161 445	23.7	21 256	8.7	6. 14	370	1 696 640	80.0	280 955	55.6	6. 15	557
18	199 334	29.3	36 064	14.7	11. 9	600	1 771 354	83.5	283 411	56.1	11. 9	726
19	461 340	67.6	114 853	46.7	7. 20	1 150	1 948 874	91.8	361 263	71.5	7. 21	1 312
20	473 414	69.4	117 320	47.8	7. 15	951	1 708 069	80.5	242 337	48.0	7. 15	1 100
21	464 561	68.1	133 838	54.5	6. 17	554	1 575 721	74.3	280 102	55.5	6. 10	1 001
22	531 039	77.9	141 924	57.8	6. 28	494	1 855 599	87.5	356 702	70.6	6. 28	999
23	480 813	70.5	125 538	51.1	9. 21	146	1 765 433	83.2	309 634	61.3	6. 14	375
24	523 166	76.7	117 590	47.9	9. 1	650	1 860 723	87.7	302 087	59.8	9. 1	1 014
25	492 720	72.2	108 909	44.3	2. 9	700	1 891 021	89.1	332 589	65.8	2. 9	1 088
26	521 700	76.5	139 269	56.8	7. 13	285	1 799 643	84.6	250 958	49.7	4. 29	345
27	561 439	82.3	173 390	70.6	7. 1	1 243	1 891 776	89.2	284 233	56.3	7. 1	2 550
28	604 170	88.6	199 067	81.1	9. 13	505	1 939 589	91.4	408 036	80.8	7. 7	1 102
29	559 987	82.1	169 632	69.1	5. 14	375	1 956 900	92.2	405 333	80.3	5. 14	567
30	521 582	76.5	135 541	55.2	7. 6	436	1 964 830	92.6	374 245	74.1	6. 28	663
31	562 702	82.5	183 537	74.7	7. 17	430	1 925 613	90.7	350 944	69.5	4. 25	620
32	561 423	82.3	183 685	74.8	7. 8	886	1 927 498	90.8	340 253	67.4	7. 8	1 274
33	575 852	84.4	188 715	76.9	7. 26	740	1 949 886	91.9	356 323	70.6	7. 26	761
34	590 902	86.7	196 573	80.0	7. 11	1 270	1 813 305	85.2	315 284	62.4	7. 11	1 586

表一 上流開発計画比較表

	単 位	一 段 案		二 案	
		薬師発電所	黒部川第五発電所	黒部川第六発電所	
流域面積	km <sup>2</sup>	37.5	37.5	76.0	
	“	6.5			
	“	7.3			
取水位	m	E.L. 2 010.00	E.L. 2 010.00	E.L. 1 730.00	
放水位	m	1 448.00	1 730.00	1 448.00	
ダ ム	高さ	m	125.0	160.0	
	利用水深	“	50.0	50.0	
	総貯水量	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	54 000	40 000	
	有効容量	“	40 000	28 000	
最大使用水量	m <sup>3</sup> /sec	25.0	15.0	30.0	
有効落差	m	527.5	273.0	273.0	
発電力	kW	112 000	35 000	70 000	

であって、薬師沢合流点下流の黒部川本流に築造するダムは従来案と全く同じであるが、水路トンネルは右岸沿いとして途中岩苔小谷（取水面積 6.5 km<sup>2</sup>）、東沢谷（取水面積 7.3 km<sup>2</sup>）の二支流をもあわせ取水し、最大使用水量 25 m<sup>3</sup>/sec、有効落差 527 m によって最大出力 112 000 kW を発電する薬師発電所の計画である。

これによって黒部川流域最大の土砂流の補給源である薬師岳崩壊箇所からの流下土砂も防止することができる。

5. 現地調査と航空写真判読

本地域の調査は前述したように、黒部川第四発電所完成後の河川一貫開発計画の最上流案、すなわち薬師発電所計画（あるいは黒部川第六、第五発電所計画）に対して実施したものである。しかもこのダムならびにそれによる貯水池は、流下土砂によって黒部川第四発電所の貯水池が埋没しないよう、その防止を主目的として計画されなければならない。したがって上流域における山崩れの崩壊状況、ダム サイトならびに水路経過地を対象として、昭和 34、35 年の二回にわたって航空写真を併用した現地調査を実施した。

雲ノ 平の溶岩台地の溶岩は新しい地質時代、すなわち

第四紀のものであるので、その流れ出した状態が踏査または文献によっても明らかであるが、航空写真上からも溶岩の末端が追跡でき、しかもそれが数層の噴出時期を異にする溶岩流の累重から成っていることも判読できた。この点は周囲の山岳が急峻であるため、以前はほとんど人跡未踏に近い地域であったので、筆者の数度にわ

写真-22 雲の平面北部航空写真



たる踏査、研究によっても容易に明らかにすることができなかつたもので、航空写真利用の効果を今さらながら知らされたわけである。また溶岩台地の表面はほぼ平面状をしているが、それは浸食面であるか、あるいは平原面であるかの検討も航空写真から可能であった。

薬師沢合流点の下流ダム計画地点の左岸には、現地踏査によって  $N 75^{\circ}W/90^{\circ}$  の断層があることは確認されたが、これも航空写真によって地形的に追跡することができ、しかも上流方向への延長も容易に決定することができた。なお薬師沢沿いについては、航空写真上で観察することができる断層線と現地調査して確認したものと全く一致した。

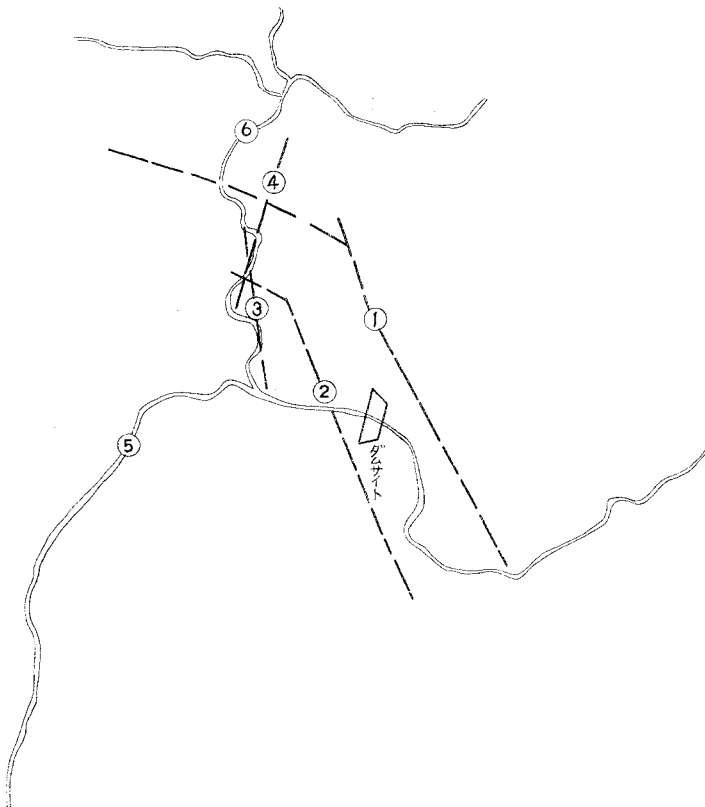
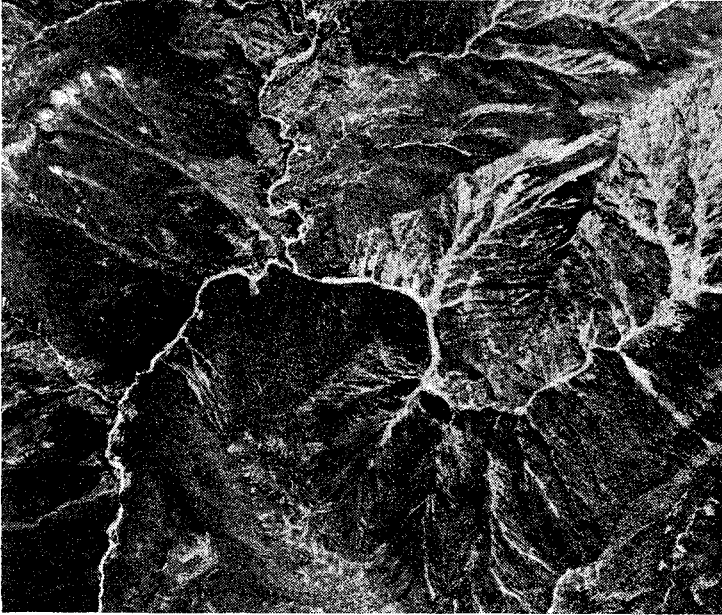
薬師岳東側斜面の崩壊状態は黒部川流域での流下土砂の最大の補給源であるが、東南斜面と東北斜面では崩壊状態がいちじるしく異なっている。これは航空写真を詳細に観察すると色調、水系の pattern, 崩壊塊の大きさなどから容易に判読できる。

また赤外線写真を使用すれば、これらの崩壊谷の下部には水流が見当

#### 【写真説明】

- ④ 雲の平溶岩台地：赤外線写真では水面は全く黒く写るが、雲の平溶岩台地の表面は水分が少ないため light-tone に写し出されている。  
これは表層が自破碎溶岩で空気が多いので、水が浸透して伏流となり水溜ができなく、したがって水系も発達していない。
- ③ 基盤岩：カコウ閃緑岩で、この上に前輪廻の河成段丘砂礫層が形成されている。
- ② 水系は自破碎溶岩層の下面から発達している。
- ① 河成段丘：この下流部は表層にカコウ岩が大きく露出して浸食に抵抗しているため急流になっている。その上流はせき止められて河原は広い。
- ①, ② 溶岩流末端：溶岩流崖を結んだもので、航空写真の立体観察によって追跡できる。
- ③ 黒部川本流
- ④ 薬師沢

写真—23 薬師沢分流点付近航空写真



- ① 断層線：N 75°W 方向でダム サイトに最も影響があると思われる。
- ②, ③, ④ 断層線
- ⑤ 黒部川本流
- ⑥ 薬師沢

らないことが判明したが、これは現地調査の結果、崩壊土砂の堆積層がきわめて厚いので、溪流はそこで伏流となって堆積層の下に浸透し、本流に注いでいる事実と全く合致する。

薬師沢は前述したように、準平原の名残りとして蛇行性の特徴を最も表わしている交流である。したがってその時代には側方浸食がきかんに行なわれたと思われる、しかも蛇行性を有することより兩岸の構成岩質の側方浸食に対する抵抗力が小さいものであったと想像することができるので、規模の大きな河成段丘が形成されなければならない。

航空写真で観察すると、その左右兩岸に河成段丘と思われる地形を発見することができるが、事実現地調査の結果これらの存在を確認した。

岩谷小谷と水晶山西側山麓の間には航空写真によって、かなり広い平坦地が認められ、地形的に見て水晶山の山崩れによる崖錐部であると判定できる。しかも樹木の繁茂状態より、その堆積層はかなりの深さであることが想像される。

### 6. 調査実施後の計画の検討

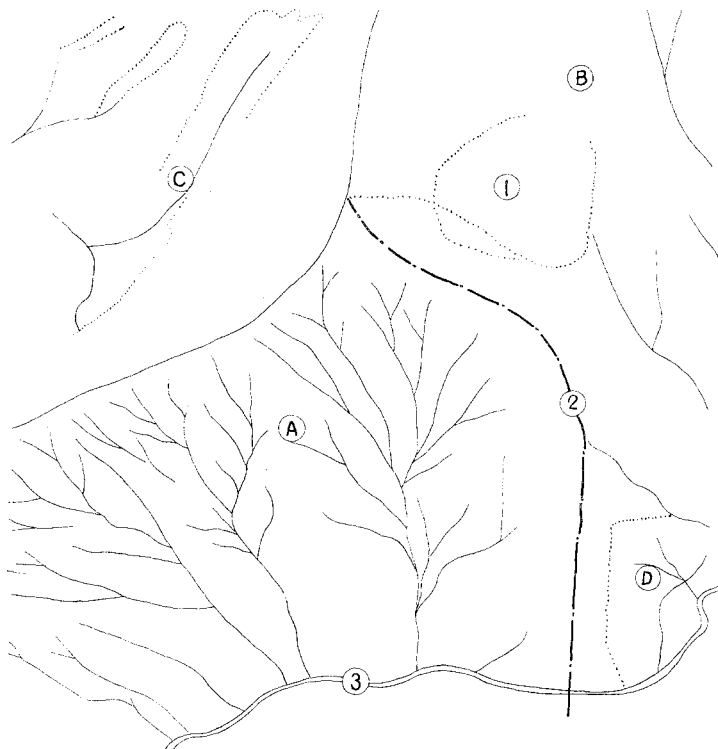
黒部川流域における土砂流の最大の補給源は航空写真判読でも明らかのように、堆積層が非常に厚いと思われる薬師岳の大崩壊であると推定される。この山崩の岩層の流下を防止するためには、洪水がその底部を侵さないようにするのが、最も効果的、経済的である。

すなわち下流に砂防用ダムを築造することも考えられるが(二段式開発)、人跡未踏に近い地域に二つの大規模なダムを築造することは技術的、経済的にほとんど不可能であるとともに、薬師岳の大崩壊箇所の雪崩や集中豪雨による土砂崩れを防止することをしなければ、ある期間経過すればその機能をそう失することは明白であり、雪崩や集中豪雨による土砂崩れを防止するにははく大な

工事費を要する。したがって上流にダムを築造し、いかなる洪水時においてもダムからの越水がないようにして、たとえ土砂崩れがあっても、これを下流まで押し流すことがないようにすれば一段式開発は経済的、技術的に最も有利であるといえる。

さて薬師発電所計画においては、ダム サイトは洪水

写真一24 薬師岳東側斜面航空写真



量を完全に貯溜して下流の薬師岳大崩壊箇所には、洪水を越流させないだけの有効容量がある貯水池が築造できる場所でなければならない。そのためには薬師沢流域の広瀬谷が利用できる場所ということになり、薬師沢合流点より下流に限定される。一方薬師岳東南側斜面には非常にきれつの発達した手取層の礫岩が存在し、しかもそれは年々崩壊の規模が大きくなり、ダム サイトとしては不適当と思われるので、ダム サイトにはその上流でカコウ岩類の露頭している場所に求めざるを得ない。すなわち上記二点を考慮すればダム サイトの候補地点は薬師沢合流点よりその下流約 2 km の間の本流沿いということになる。

現地調査ならびに航空写真判読によって、地質構造、および地形を勘案すると、原案のダム サイトは適当な場所であると判定しても差し支えない。原案の有効容量、ならびに

#### 【写真説明】

① この斜面は手取層群に属する堆積岩で節理がよく発達し、透水性に乏しいので水系も顕著で樹枝状を示している。

この手取層は後年カコウ岩の隆起によってきれつを生じ、岩体の結合力が弱められているので崩壊も節理面に沿って起こっている。

② この斜面はカコウ閃緑岩類におおわれており、節理は前者にくらべるとあまり顕著でないため水系は谷が深い数が少ない。これは岩屑が細く堆積層が厚いので水を浸透することからも推定できる。

また谷頭が山稜まで達しており、浸食が非常に激しいことも示している。

③ 西側斜面はカコウ閃緑岩で水系は発達せず、植生もあって上述した東側斜面とちがう非対称ななしている。

山崩れは雪食が大きい影響をもつものであることが航空写真より判読できる。すなわち残雪があるところには植生がなく、山崩れの可能性を一層助長しているようである。

④ 段丘：相当高い樹木があるので安定したものである。

① 岩屑：深く堆積している。

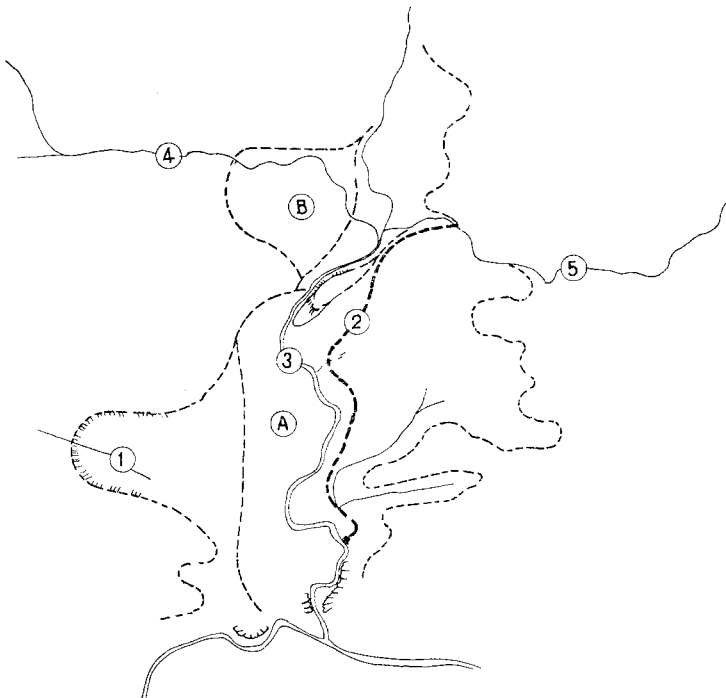
② 断層線：航空写真を観察して地形的に追跡できる。

③ 黒部川本流

最大使用水量は、いかなる洪水時においても、洪水のダム越流が起こらないだけの容量をもっている。

次に貯水池の満水面についてであるが、上述したように雲の平付近では溶岩と基盤岩の間には透水性の河成段丘の砂礫層が存在する可能性があるため、この拡がりの規模が完全に確認できない現在においては、満水位はそれ以下にしなければならない。航空写真判読を併用して実施した現地調査によって追跡した溶岩流末端より検討

写真-25 薬師沢流域航空写真



した結果、基盤岩の標高は大体 2000m 程度のところにあることがわかったので、原案の貯水池満水位で問題はないであろう。

最後に水路経過地については、左岸沿いにすれば上述したように、地殻運動によるきれつが発達した手取層礫岩を貫通しなければならないので右岸沿いの方が有利である。

右岸沿いにする場合、注意しなければならないことは水路トンネルが高圧トンネルになるため、透水性がある砂礫の堆積層を通らないようにすることである。砂礫層の厚さは本流沿いでは 5~6m 程度で薬師沢のような大がかりなものはないと断定できるので、原案のように標高 1950~1955m を通過する水路トンネルでは、このような心配は全くないといえる。

問題点は岩苔小谷横断箇所であり、上述したようになり深く崖錐堆積層におおわれていることが航空写真の判読で推定されるので、さらに慎重詳細な現地地質調査を実施して検討しなければならない。

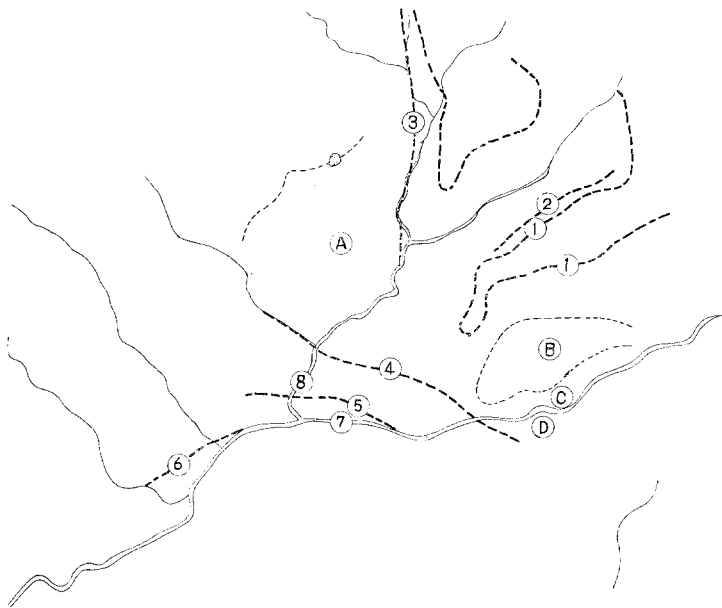
## 7. 結 語

航空写真による地質構造の判読はきわめて有効であって、これによって局部的に実施した地質調査の広範

### 【写真説明】

- ① 河成段丘：準平原時代に形成されたものでカコウ閃緑岩の礫が厚く堆積している。
- ② さらに後方の山崩れが相当大きい岩層をこの上に補給しており、骨材採集のソースとして十分利用できると思われる。
- ③ 上段の河成段丘：左俣川においては合流点より約 100m 上流地点に滝があり、そこから上流部に上段の河成段丘が認められて河道も蛇行している。
- ④ 水系がとだえて水流は堆積層の中に浸透している。
- ⑤ 古い時代の右俣川河道の跡
- ⑥ 薬師沢：黒部川本流、その他の支流はほとんど断層線や節理に沿った直線状の流路をとっているのに対して、薬師沢だけが蛇行しているのはきわめて特徴がある。
- ⑦ 左俣川
- ⑧ 右俣川

写真-26 岩苔小谷付近航空写真



困な地域への拡大が非常に科学的に合理となり、また特に不安である地点を選んで詳細な調査を勧告し、高価なボーリングや試掘横坑をきわめて有効適切に配置することができ、現地における見落しを防ぐことができるなど、いろいろな点で効果をあげることができたと信ずる。

したがって黒部川上流地域の総合調査によって、わが国における Photogeology の可能性についての見とおしを与えられたと確信するものである。

しかしながら今後さらに詳細な検討を要する多くの問

## 【写真説明】

④ 崖錐：堆積層が深く、透水性もまた大きい。

水晶山の西側斜面は東側斜面にくらべて植生が多く安定していることを示している。

ここに池が一つ見られるが概して水系が発達していないのは透水性が大きいためであろう。

③ 石英安山岩の風化礫堆積層

⑤ 河成段丘：河床と段丘面とは30m以上の比高があり、堆積層は相当厚いと考えられる。

① 岩屑：風化激しく節理面に沿ったはく離したカコウ岩の崩れ。

①, ② 溶岩流末端：風化浸食作用によりいぢるしく崩れている(柱状節理)。

③ 断層線：この断層線で爺々岳よりの溶岩流が終ってカコウ閃緑岩に変わっている。

④, ⑤, ⑥ 断層線

⑦ 黒部川本流

⑧ 岩苔小谷：爺々岳の噴出溶岩と水晶山、鷲羽岳に続くカコウ閃緑岩との接触線を通る断層線に沿った断層谷と思われ、本流に合流する付近では滝状を呈している。

これは本流の下方浸食が急激であるので、支流の浸食が追いつかないために生じたものである。

題点が残っているので、逐次これらが解明され、この新しい科学の一分野がますます発展して水力開発計画の有効適切な調査手段となることを祈ってやまない。

最後に、本論文を草するに当って、終始懇切な御指導と御援助を賜った東京大学生産技術研究所 丸安隆和教授に対し深甚な謝意を表するとともに、現地調査に際してあらゆる点で援助を賜った電力中央研究所 工学博士 田中治雄氏、アジア航空測量KK 西尾元充氏、関西電力建設部の諸氏に深く御礼の言葉を述べる次第である。

(原稿受付：1961. 4. 5)



## THE INVESTIGATION OF WATER POWER DEVELOPMENT SITE BY MEANS OF PHOTOGEOLOGY

—ON THE UPPER KURODE RIVER AREA—

*By Minoru Yoshida, C. E. Member*

With the progress of modern civil engineering, the scale of water power development project has become larger and larger, and the portion occupied by the construction works in hydroelectric power development increases conspicuously against the other installations.

However, construction works have many indeterminate factors comparing with electric installation works. So, we can foresee that we must change the plan partially or entirely give up at worst, if we start the work without thorough preliminary investigation.

For a water power development project, therefore, we have highly appreciated geological researches as a principal part of preliminary survey.

The photogeology has appeared as a branch of the geology, using the techniques called photointerpretation and its purpose is to research geological structures through aerial photographs. That is effective for such a steep area as that of the upper Kurobe River where we cannot explore the planned site thoroughly.

Traditionally, geological surveys were concentrated to disputable faults and weak beds found through the results from exploration on the spot by geologists. But, in this way, we can hardly expect that geologists can survey over the whole area of site without any leaving out and any overlooking in spite of the limitations of time and their stamina.

The adoption of photogeology permits us to pick up easily and effectively, on photos, such spots where it is necessary further to inspect in detail furthermore, scientifically without any anxiety mentioned above.

The photogeology was developed in foreign

countries having frequently stripped bed-rock and structure of comparatively high uniformity. Therefore, it is difficult to apply that without any modification to our lands whose structure is complicated. We have to modify the photogeology and establish another system to fit to the topography, geology and vegetation of Japan.

The Kurobe River issues from the Washibadake, flows northwards around the Kumonodaira-pedionite, changes the path almost at right angle near the Kamino-roka, heads toward the north once more after taking in with the water of Higashi-zawa valley and empties into the Kurobe No. 4 reservoir. The upper stream is so rapid since it has a grade of average 1/30 approximately and flown down changing the direction at right angle. It seems that tendency depends largely on grown joints with close relation to faultlines or faultlines themselves.

In such rapid stream, generally headward erosion is resulted strongly, but not lateral erosion. Though, a gravel deposit of fluvial terrace 10 m. to 30 m. high above the existing river bed appears on the right bank of trunk stream upper from the Iwagokekotani-confluence, and in the Yakushi-zawa valley a larger fluvial terrace exists and besides the water course meanders.

Comparatively flat terrain is on each mountain-side of the Kitamata-dake, the Tarobe-daira and the Yakushi-dake surrounded by many rocky peaks of this mountain range about 3,000 meter high.

As a result of the examination of these specific characters, it is regarded as appropriate to conclude that the Kurobe-river basin re-uplifted after one peneplanation at least in the past. Four types of rock formation

are distinguished in the structure of this area. They are bed rocks (quartz-diorite, gabbro), Tedori-formation (conglomerate, sandstone), tertiary granites (granite, granodiorite), and quaternary volcanic rock (andesite).

The upper stream project is also intended to control debris for the reservoir of No. 4 power plant, the stream of the Kurobe systematic development project. That is for controlling the debris by landslide from the Yakushi-dake. For that, two plans were set up. The first is one-step-system that a dam is built upstream the mountain and let no overflow down in all inundations, never to carry any debris. The second is two-step-system that another dam is set near the Kamino-roka down stream the mountain to bound the debris. According to air-photo-interpretation, it seems that landslide occurred in mountain is so large that it is impossible to keep back the debris swept down to the river bed by heavy rains or avalanches. Consequently, it is sure that debris should fill up any reservoir if set in the lower stream, in process of time.

We have found another difficulty technical and economical to construct two dam power plants in such upper stream area almost trackless. Then, the preliminary survey was carried out after one-step-plan to produce power of 112,000 kW with maximum discharge of 25 m<sup>3</sup>/s of water intook by a dam built at 400 m down from the confluence of the Yakushi-zawa and carried by a conduit tunnel along the right bank, gathering waters of the Iwagoke-valley and the Higashizawa-valley on the way.

Dam site should be set on the geological structure fitting to the construction and have enough capacity to hold the water without any overflow at the time of flood. It has been recognized through air-photo-interpretation and field survey that the planned dam site fulfills the requirements.

But, here is a problem, that is the gravelly sand deposit on the right bank as men-

tioned before. The deposit is 10 m—30 m high above river bed overburdened with lava flow from the Kumono-daira. In fearing an event of leakage of water through the deposit, the end of lava flow was followed up by means of air-photography. Consequently, it has become sure that there is no anxiety at the planned full-water-level, EL. 2,010 meter.

The conduit tunnel way was planned to set on the right bank for avoiding many cracks found on the left bank through survey. And, the tunnel may be conducted in keeping out of the gravelly sand deposit of fluvial terrace on the right bank, because the deposit seems to be only 5 m—6 m thick and almost flat.

But, another problem remains. That is a talus deposit at the crosscut of the Iwagokekotani. That appears having remarkable thickness after air photo. So, further prudent surveys on the spot, trial boring and tunneling etc. are required.

As mentioned above, the air-photo interpretation was very efficient to study the geological structures. That method enabled us to know reasonably on the whole required area from the results of geological survey on some spots in the area. Inversely, we could suggest special spots regarded as requiring detailed surveys after the photo-interpretation on the whole area. And, the method permitted to use most efficiently trial borings and tunnelings costing much and besides to keep us from any overlooking on the field.

I believe that we got a fair prospect of application of photogeology to our country through the synthetic investigation on the area of the upper Kurobe River. But, there are still many, problematical point yet remained for further study. I hope therefore that the new branch of science will be further developed after concluding the disputable problems and becomes more effective means of investigation for water power development project.