

10~11月には論文集第77号(36年11月発行)登載論文5編を紹介し、今月は3編紹介し、次の2論文は11月号で紹介し、

岡元北海: The Solution of the Skewed Plate.
村田二郎: コンクリートの水密性の研究

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——

吉 田 登

近代土木技術の進歩とともに、水力開発の規模も大きくなり、電源開発における土木設備の占める割合が他のものにくらべていちじるしく増大した。

しかるに土木工事における不確定要素は、電気工事などにくらべて非常に多いので、基礎調査を十分に行なわないで建設工事を実施すれば、計画の変更を余儀なくされ、最悪の場合には工事の放棄という事態が起こりうることも十分予測される。

したがって水力発電計画における基礎調査、ことにその中心をなす地質調査のもつ重要性が強く認識されてきた。Photogeology は写真判読の技術を応用して生れたもので、航空写真によって地質構造を調査しようとするものであって、黒部川上流地域のように峻険で計画地点全般を踏査できない区域においては特に有効である。

さて従来の地質調査は、まず地質専門家が現地踏査を行なって、計画地点全域の地形、地質の概要を把握し、その結果問題となるべき断層、軟弱地盤などを抽出して、これらを重点的に調査する方法がとられてきたのであるが、地質専門家による現地調査にも限度があって、全域にわたることはとうてい不可能なことで、その上時間的、体力的な条件で見落す可能性も十分考えられる。

Photogeology を適用するという科学的な手段によれば、かかる不安は全くなく、写真上からさらに詳細な調査を必要とする場所を、きわめて容易に、しかも効果的に選定することができる。

しかし Photogeology はすべて基盤の露出した、しかも地質構造の比較的単調な諸外国において発展したものであるから、Photogeology をただちに日本のような地質構造が複雑に変化したところにそのまま適用することは無理である。

これを日本の地形、地質、植生などに適合するように修正して新しい体系を作り上げなければならない。

黒部川は、その源を鷲羽岳に発し、雲の平溶岩台地をとり巻いて北流し、上廊下付近でほぼ直角に向きを変え、さらに東沢谷を合流した後、再び北流して黒四貯水池に注いでいる。上流部の河川勾配は、平均 1/30 前後の急流で、直角方向に向きを変えながら流下するが、これは断層線と密接な関係に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と考えられる。

かかる急流では、一般に下方浸食が非常にさかんであって、側方浸食は行なわれぬが、岩苔小谷合流点より上流の本流右岸には、現河床上 10~30 m の高位に河成段丘の砂礫層がみら

れ、薬師沢ではさらに大規模な河成段丘が存在するばかりでなく、流路がいちじるしく蛇行している。

また周囲の山々が尖った岩峰の多い 3 000 m 級の北アルプスの中にあって、北岳岳、太郎兵衛平、薬師岳中腹には割合平坦な地形が存在している。

これらの特異性を検討してみると、黒部川流域が過去において少なくとも一回の地形的輪廻を経たのち、再び隆起したものと考えるのが最も妥当である。

本地域を構成する岩層は大別して基盤岩類(石英閃緑岩、斑粉岩)、手取層部(礫岩、砂岩)、新期カコウ岩類(カコウ岩、カコウ閃緑岩)、第四紀火山岩類(安山岩)の四種類にわけられる。

黒部川上流計画は、黒部川水系一貫開発の根幹をなす黒部川第四発電所の貯水池の埋没防止も兼ねたものであるので、いかにして薬師岳の山崩れによる崩壊土砂が流下しないようにするか、その方法としては、薬師岳の山崩れの土流にダムを築造し、いかなる洪水期においても越流をなくして崩壊土砂が流下するのを防ぐ案(一段式開発案)と、砂防用として薬師岳の山崩れの土流すなわち上廊下付近に今一つのダムを築造してこれに貯溜する案(二段式開発案)の二案が考えられた。

航空写真判読の結果、この崩壊は大規模なもので、これが集中豪雨、あるいは雪崩によって河床まで押し出されるのを防止することは不可能である。

したがって、下流に相当量の容量を有する貯水池を造っても、年月が経過すれば全く埋没してその用をなさなくなることは確実と思われる。

以上の理由のほか、かかる人跡未踏に近い最上流に二つのダム発電所を建設することは技術上、経済的にも困難であるとの結論に達したので、調査も一段式開発案(ダムを薬師沢合流点 400 m 地点に築造し、水路トンネルは右岸沿いとして、途中岩苔小谷、東沢谷の各支流も取水し、最大使用水量 25 m³/sec によって 112 000 kW を発電する)を対象として実施した。

ダム地点は地質のほか、洪水時においてもダムよりの越流がないだけの貯水容量を持つことが要求されるが、地質はカコウ岩で現地調査ならびに航空写真によっても断層線をさけており、貯水容量も薬師沢の広潤な谷を利用しているので十分である。

しかし右岸には現河床より 10~30 m の高位に河成段丘の砂礫層が存在し、その上に雲の平の溶岩が流れ出している。したがってダムの満水位がそれ以上になった場合ろう水の恐れがあるので、この砂礫層の標高の確認が必要となってくるが、航空写真によって雲の平の溶岩流の末端が追跡され、その結果計画の満水位標高 2 010 m であればその心配はないことが確認できた。

水路経過地は右岸沿いとなっているが、これも左岸が調査の結果クラックの多い手取層群であることを考えれば当然のことである。しかし右岸側には河成段丘の砂礫層が存在するので水路がこれを貫ぬくとき問題が起こるが厚さ 5~6 m 程度で薬師沢にくらべて小規模であると断定でき、これらはほとんど平面状で起伏が少ないと思われるので計画の水路トンネルでは問題がない。

問題点は岩苔小谷横断箇所、航空写真によりかなり深く崖堆積層におおわれていると思われるので、今後現地でのボーリングまたは試掘横坑などの慎重な調査が必要である。

以上のように、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行なった地質調査を広域に拡大することが非常に合理的となり、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験掘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が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検討を要する多くの問題点も残しているため、順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。

【筆者：正員 関西電力KK建設部長】

ダムの基礎岩盤グラウト施工基準 の定め方に関する一提案

吉田 勝 英

近來ダム建設技術の進歩にともない、ダムの高さが 100 m を越えるものが多く、さらにアーチ型などの不静定構造物が多く採用されるとともに、開発資源の固渇によりダム基礎岩盤として地質的に欠点を多く有するため従来採用されないような地点の開発を行なわねばならないような情勢に立ち至った結果、基礎岩盤改良に関する問題が大いにクローズアップされてきたのである。

欠点のあるダム基礎岩盤を適当に処理する最も実用的な方法の一つとして、現在多くのダム建設工事に用いられているものは基礎岩盤に対するグラウトである。しかしながら岩盤内に圧入されるセメントの状態や、このセメントが圧送される経路、すなわち岩盤内の間げきの諸性質は千差万別であって、直接目で確認することはできないし、これを推定する方法は現在までのところ見当らないのである。したがってグラウト工事はすべて目で直接確認することのできない地表面下を対象とするため実際に施工を試みなければわからないという考え方がグラウト工事を支配する一般的概念であり、この結果施工基準も現場ごとにそれぞれ異なっていて定説としてみなし得るものはほとんどなく、先例の模倣とか、自己の経験などにより適当に基準を定め、これを採用しているに過ぎないのである。

筆者はこのような現況に対して、施工基準の定め方の基準を基礎岩盤への透水量の大きさに求め、主として田子倉ダムの基礎グラウト資料を解析して、距視的に透水量の有する意義を推論し、これらより施工基準のうち特に問題となる注入圧力および注入セメント量の推定、グラウトの完了ならびにグラウトの効果の判定などはすべて透水量に基準をおくことにより解決し得るものであり、透水量こそ基礎グラウトを施工する場合その根拠をなす一つの基準であることを提案するものである。

解析の結果は次の各項に述べるとおりである。

(1) 透水テスト圧と透水量の関係

グラウト孔に対して透水テスト圧を変化させ、それぞれの圧力に応ずる透水量を求めると、ある圧力を越えると急激に透水量が増加してくる。コンソリデーショングラウトのような浅孔においてはこの圧力は岩盤破損圧と見なされ、このことよりカーテングラウトのごとき深孔においても直接目で確認できないが、岩盤間げきを人為的に破損する圧力と推論される。

(2) テスト透水量と注入セメント量および注入 ミルク量の関係

田子倉ダムの基礎グラウトにおいて求めたテスト透水量と注

入セメント量の関係は次式のごとくなる。

① テスト透水圧とセメント注入圧の等しい場合

$$\log C/W = 0.980 - 0.692 \log W \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{すなわち } C = 10^{0.980} \times W^{0.308}$$

$$\log M/W = 3.448 - 0.600 \log W \dots\dots\dots(1')$$

$$\text{すなわち } M = 10^{3.448} \times W^{0.400}$$

② テスト透水圧一定 (20 kg/cm²) とし注入セメント圧を変化させた場合

$$\log C/W = 0.428 - 0.655 \log W + P(0.0313 - 0.00623 \log W) \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{すなわち } C = 10^{(0.428 + 0.0313 P)} \times W^{(0.945 - 0.00623 P)}$$

$$\log M/W = 2.727 - 0.573 \log W + P(0.0392 - 0.00777 \log W) \dots\dots\dots(2')$$

$$\text{すなわち } M = 10^{(2.727 + 0.0392 P)} \times W^{(0.427 - 0.00777 P)}$$

ただし C：注入セメント量 (袋)

W：テスト透水量 (l/min)

P：セメント注入圧 (kg/cm²)

M：ミルク量 (kg)

式(1)より透水テスト圧とセメント注入圧が等しい場合には、透水量を知らば注入セメント量を推定でき、使用圧力をいかに変化させても透水量が等しい場合には、圧力に関係なく注入セメント量は等しい傾向にある。また式(2)より透水テスト圧を一定とした場合には透水量とセメント注入圧を知ることにより注入セメント量を推定でき、ある大いさの透水量を有するグラウト孔にセメント注入圧を変えてグラウトを行なうと、この場合は注入セメント量は圧力に応じてその量を変化する傾向にある。

(3) セメント注入圧決定に関する考え方

式(1)および式(2)より注入圧力の変化による注入セメント量と透水量の関係を示すと次のごとくなる。

透水テスト圧 20 kg/cm² の場合に透水量 4 l/min のグラウト孔に対して、注入圧を 20 kg/cm², 30 kg/cm², 40 kg/cm² としセメントを注入すると、セメント注入量は式(2)より 780 kg, 1450 kg, 2700 kg となり、20 kg/cm² の場合を 1 とすると比率は 1.85 倍、3.5 倍となる。次に注入セメント量 780 kg, 1450 kg, 2700 kg の場合における、透水圧とセメント注入圧が等しい場合の透水量を式(1)より求めると圧力 20 kg/cm², 30 kg/cm², 40 kg/cm² の場合に 4.8 l/min, 36 l/min, 250 l/min となり、圧力 20 kg/cm² のときを 1 とすると、その比率は 7.5 倍、52 倍となる。すなわち、注入圧を変化させた場合にセメント注入量の増加する割合に比し透水量の増加する割合は非常にはなはだしい。したがって(1)に述べた透水テスト圧と透水量の関係およびダムに作用する静水圧の大きさなどを加味して注入圧を考えるならば、その地点において採用すべき最大グラウト圧の大きさはおのずと決定されるものと考えられる。

(4) グラウト影響範囲の推定

田子倉ダム・カーテングラウトにおいてダム上流面フレットより実施した資料より求めた透水量と注入セメント量の関係は式(1)であり、ダム内部ギャラリーより求めたものは式(3)である。グラウトの順序は外部を完了して内部を施工し、いずれも透水テスト圧とセメント注入圧と等しい場合である。

$$\log C/W = 0.986 - 0.877 \log W \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{すなわち } C = 10^{0.986} \times W^{0.123}$$

$$\log M/W = 3.466 - 0.784 \log W \dots\dots\dots(3')$$

$$\text{すなわち } M = 10^{3.466} \times W^{0.210}$$

ただし C：注入セメント量 (袋)

M: 注入ミルク量 (kg)

W: 透水量 (l/min)

式 (1), 式 (3) より外部カーテン グラウトの内部カーテングラウトに対する影響を求めると表-1のごとくなるので, この影響率を用い, グラウト孔よりある距離をおいた箇所セメント到達範囲の推定を行なうことができると考える。

表-1

カーテン グラウト区分	透水量 (l/min)				
	5	10	20	30	40
外部の注入セメント量 (kg)	780	980	1 200	1 400	1 500
内部の " (〃)	590	640	700	740	770
内部 / 外部 (%)	76	65	58	53	51
影響率 (〃)	24	35	42	47	49

(5) 平均テスト透水量と弾性波速度の関係

コンソリデーション グラウト工事において, セメント注入を実施する前に, この施工範囲に対して弾性波テストを行ない, 弾性波速度による等速度区域別平面図を作成する。次にこの区域内の平均透水量を求めると, この場合透水テスト 圧はすべて同一とする。おのおのの区域内の平均透水量が求まったならばこれらの透水量と弾性波速度の関係は次のごとくである。

$$\log S/W = 0.887 - 1.312 \log W \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{すなわち } S = 10^{0.887} / W^{0.312}$$

ただし S: 弾性波速度 (km/sec)

W: 区域内平均透水量 (l/min)

ただし上式は 田子倉ダムにおけるもので, 岩質は石英粗面岩であり, 透水圧は 5 kg/cm² である。以上の結果より岩盤内を伝播する弾性波速度の値は岩盤内間げきへ浸入する平均透水量を知ることにより推定できるのである。

(6) コンソリデーション グラウト工事完了および効果判定の規準

式 (4) より基礎岩盤を伝播する弾性波速度は, 岩盤内の平均透水量を知れば推定できることがわかったのであるが, 基礎岩盤に対してグラウトをいかに施工してもその岩盤母岩の有する固有弾性係数以上に上昇させることはあり得ないので, グラウトによる基礎岩盤の弾性波速度の上昇には限界があり, 母岩の固有速度より式 (4) を用いて平均透水量を求めれば, この値をコンソリデーション グラウトの完了を判定する基準とすることができるのである。すなわち, コンソリデーション グラウトを一応施工し, この施工区域内に適当にテスト ホールを数箇所設け, これらの平均透水量を求め, この値が前述の岩盤固有速度より求めた平均透水量に等しいか, あるいは小さければ, この範囲内のグラウトは完了したものと見なし得るのである。またセメント ミルクを注入する前の平均透水量とセメント ミルク注入後の平均透水量の差より動弾性係数をそれぞれ求め, これらを比較することによりコンソリデーション グラウトの効果も推定できるものとする。

(7) 田子倉ダム以外の基礎岩盤におけるテスト透水量と注入セメント量の関係

表-2

ダム別	岩 質	方 程 式
滝	玄武岩	$\log C/W = 2.621 - 0.737 \log W$ $C = 10^{2.621} \times W^{0.263}$
御母衣	石英斑岩	$\log C = 1.238 + 0.786 \log W$ $C = 10^{1.238} \times W^{0.786}$
風 屋	砂岩・一部に粘板岩を含む	$\log C = 1.993 + 0.682 \log W$ $C = 10^{1.993} \times W^{0.682}$

滝, 御母衣, 風屋などの各ダムにおいて行なったグラウト工事において, 透水テスト圧とセメント注入圧の等しい場合について, テスト透水量と注入セメント量の関係を求めると表-2のごとくなる。

すなわち, 岩質の異なる基礎岩盤に対するテスト透水量と注入セメント量の傾向は田子倉ダムの基礎岩盤より求めた傾向と等しいことが明らかとなったのである。

【筆者: 正員 電源開発KK田子倉建設所土木課長】

軌道に生ずる高周波振動とその考察

佐藤吉彦

鉄道における輸送量の増加と速度の増大にともない, これを支える軌道についても, その巾を支配する法則を一層明確にすることが必要とされている。このことに関連した現象のひとつとして衝撃の問題がある。衝撃の問題は, これを定常振動理論の立場からみれば, 振動数に対する振巾および位相成分の分布の問題に変換される。軌道においては従来主として数 100 cps までの振動数の範囲について研究されてきているが, 上記のような背景のもとに, この振動数を越え 1 000 cps 以上の高周波振動の領域まで, 振動の様相を知ることが重要になってきている。

軌道でこのような高周波振動の研究を進めるにあたり, まず第 1 に重要なことは, この振動を測定できる測定装置を得ることである。そのためのオシロ グラフは, 現在のところブラウン管オシロ グラフしかないが, これを用いる場合には, この中に内蔵する増巾器を用いても信号電圧として 0.1 V 程度を必要とするので, 振動のピックアップに 従来わが国で広く知られている抵抗線ひずみ計を用いる場合には, ブリッジ電圧を 20 V にしても 10⁻² 程度のひずみしか測定できないことになる。そこでこのピックアップとしてチタン酸バリウムひずみ計を採用し, 新たな測定系を構成した結果, 10⁻⁶ までのひずみの測定が可能とされたのである。

この論文は, この測定系を用いて行なった, 営業軌道と, 実験室内の実験軌道と, 野外に設けられた実物軌道で行なった実測および実験によって, 軌道に生ずる高周波振動の特性を示し, これに対して軌道各部が果たしている役割を理論的・実験的に追求し, 高周波振動の発生原因を考察することによって, 軌道に生ずる高周波振動の性格を一般的に明らかにすることを試みたものである。

営業軌道における測定は, 国鉄・東海道本線(大船一辻堂)と帝都高速交通営団・銀座線(三越前一神田)で行ない, 種々の測点について, 異なる速度で走行する列車のもので, レールひずみとまくら木加速度を測定し, 列車の走行によって軌道の中に現実には発生している高周波振動の状態を明らかにしたものである。一方, 実験室内の実験軌道における実験では, 実物と同じ構造をもち長さだけが短い軌道を実験室内に設け, レール踏面上に落下衝撃試験用の重錘を落下させてこれを衝撃加振し, 異なった条件のもとでレールひずみとレールとまくら木の間に動くまくら木反力を測定して, 軌道各部が高周波振動に対して果たしている役割と, 軌道に生ずる高周波振動の一般的性質を求めている。これらに対し, 野外に設けられた実物軌道では, 輪軸落下実験を行ない, 軌道に高周波振動が発生する原因を追求したのである。

この論文で述べていることを総括的にいえば, 次のごとくである。

1. 営業軌道に発生する高周波振動

1.1 軌道には、レールの固有振動などによる種々の高周波振動が発生し得るが、現実には列車の走行によって1800 cpsを中心とし1500~2000 cpsの振動が発生し卓越している。

1.2 この振動はレール腹部の垂直方向ひずみとして存在し、まくら木直上よりもまくら木中間で卓越する。

1.3 この振動はレール断面における腹部の曲げ振動である。

1.4 この振動はレール断面に関して頭部および底部が剛体として働き、腹部がこれらを結合するはりとして働く系の固有振動として説明される。

1.5 この振動は列車速度に対して反応し、列車速度とともに増大する。

1.6 測定された最大のひずみ率は $16 \times 10^{-6} / 10^3$ km/hrである。

2. 高周波振動に対するレール支持系の役割

2.1 レールに発生する高周波振動は、レールとまくら木の間で働くまくら木反力を通じてレール支持系に浸透する。

2.2 レールに発生する高周波振動に対しては、レール支持系のうちレール締結装置の役割が特に重要である。

2.3 高周波振動に関してレール締結装置の特性を検討する場

合には、まくら木は不動であると考えてよい。

3. 軌道に生ずる高周波振動の発生原因としては次のものが考えられる

3.1 車両側に原因があつてこれが輪軸を通じて軌道に伝わる場合。

3.2 輪軸と軌道の相互作用による場合。

4. 結 論

4.1 さきに述べたような測定系を用いれば、軌道に生ずる高周波振動についてさらに個別的な検討を行なうことができる。

4.2 このような高周波振動を考慮すれば、列車通過時のレールひずみは、従来いわれていたように静的なものではなく動的な現象である。

4.3 軌道の振動はいずれにしろ、輪軸をふくめて軌道系の固有振動に関係して卓越するものなので、速度の上昇など従来と異なる条件が生ずる場合には、各部の応力・加速度など十分検討の必要がある。

4.4 軌道を振動に関して検討する場合には、これをレールとレール支持系に2分して考察することが問題を単純化する上で有効である。

【筆者：正員 東大工博 国鉄鉄道技術研究所】



橋梁、鉄骨、鉄塔、鉄構物

松尾橋梁株式会社

本社 大阪市太正区鶴町3丁目110番地 電話泉尾(55)1243~6番

支店 東京都江東区南砂町4丁目624番地 電話深川(644)4131~8番

出張所 札幌市北二条西2丁目仲通り26番地 電話札幌(2)0831番

