

(17) ダム基礎岩盤内の地下水圧分布測定

建設省土木研究所 正会員 ○ 山口嘉一
同 同 松本健久

Measurement of Groundwater Pressure Distribution in Rock Foundations for Dams

Yoshikazu YAMAGUCHI, Public Works Research Institute, MOC
Norihiisa MATSUMOTO, Public Works Research Institute, MOC

Abstract

Dams are usually constructed on rock foundations. Distribution of groundwater pressure is very complicated in rock foundations because of their discontinuity. Ordinary method to investigate the distribution of groundwater level at dam sites is that to measure the water levels in untreated boreholes. However, it is very difficult to grasp the accurate distribution of groundwater pressure by using this method. If we wish to survey it accurately, we have to adopt the method to measure groundwater pressures at multi-point in a borehole (MGL System). We have developed our MGL System by aid of private companies.

We tried to investigate the accurate distribution of groundwater pressure by using of MGL System at M Dam site which is now under construction by Ministry of Construction. We reported the outline of MGL System and the observed results. Furthermore, We proposed rational and economic planning method for grouting which is most popular foundation treatment method for dams.

1. はじめに

岩盤工学の分野のうちでも、ダム、斜面、放射性あるいは有毒産業廃棄物処分、石油の地下備蓄といった分野においては、岩盤内の複雑な地下水圧の分布やその経時的变化を正確に知ることが極めて重要である。特にダムの分野においては、基礎岩盤内の地下水圧の分布や経時的变化を把握することにより、地下水の流動形態を知ることができ、合理的なグラウチングの範囲の決定やダム湛水後の漏水経路の認定も可能となる。しかし、現在、ダムサイトにおいて一般的に行われている地下水圧測定は、ダム高相当のボーリング完了後、孔壁保護の目的でストレーナ管を孔内に挿入し、その後長期かつ定期的に孔内水位を測定するというものである。そのため、複雑な水圧分布を示す岩盤内の測定では水位観測孔の孔内水位面より上部から孔内への水の流入が認められたり、ボーリング時の孔内水位変動が激しいなど、測定結果の解釈が容易でないことが多く、とても地下水圧を正確に測定しているとは言い難い。さらに、多大な費用をかけて掘った1本の孔からたった1つの水圧データしか得られないというのも不経済である。よって、このような岩盤内の水圧分布を合理的かつ経済的に把握するためには、単一孔の多深度地点で水圧を測定することが必要になってくる（以下、単孔内多点水圧測定と呼ぶ）。こうした水圧測定方法については既に研究、開発がなされ、商業ベースに乗っているシステムもいくつかある^{1)~5)}。しかし、これらのシステムは必ずしも手軽に使用できるものとは言い難い点もあり、かつ水圧測定地点間の孔内遮水用のシール材の材質について詳しく議論されているものは少ないように思われる。そこで現在、建設省土木研究所においては、民間5社との共同研究（昭和63～平成元年度の2箇年）を実施し、シール材物性も考慮した独自の水圧測定システムの開発を目指していると

ころである。今回は、本システムの概要と開発途中段階でダムサイトにおいて実施した実証試験結果について報告する。また、得られた地下水圧分布データのグラウチングへの反映のしかたについても考察した。

2. 試験サイトの地質概要

今回、我々が開発した単孔内多点水圧測定の実証試験を実施したのは、建設省東北地方建設局が建設を進めているMダムサイトの左岸地山においてである。本ダムサイトは、主に新第三紀中新生の火山砕屑岩類により構成されている。左岸ダム軸（現在のところあくまで案である）の地質縦断面図を図-1に示す。この図からもわかる通り、左岸地山は火山礫凝灰岩の塊状部（Tb₁）と成層部（Tb₂）が主体をなし、地表付近には安山岩、

地中やや深部には泥岩が分布している。既往の調査により、地表から20～30m程度の深度までの部分は高透水路となっており、40～50mの深部においても急傾斜の割れ目や小断層が原因と思われる高透水路が存在することが判明している。一方、地下水位の分布状況を説明するために地山の一番奥深い部分にある既設孔BL-3の掘進時の孔内水位の変動を図-2に示す。この図より、孔掘進に伴い孔内水位が低下する傾向にあるが、安定した地下水層が3層（EL.164, 200, 217m）存在することが読み取れる。なお、BS-3孔については全体が高透水路を貫いたこともあってEL.163mに1枚の安定地下水層があるのみであったが、BS-1孔においてはEL.160m, 197mの2枚の地下水位層が存在することが読み取れた。

リム部のグラウチング範囲を決定する根拠となる地下水位は、上記の最終安定孔内水位EL.165m程度とみなされる。Mダム貯水池のサーチャージ水位がEL.177.3mであることを考えると、リム部のグラウチングは現在調査しているよりもさらに地山深くまで施工しなければならないことになる。⁶⁾しかし、詳細な調査により、上位地下水層が安定した状態で存在することの確認と詳細な水圧分布の把握ができれば、かなり合理的なグラウチング範囲の決定が可能になるのではないかと考える。

3. 単孔内多点水圧測定方法の概要

既往の調査から複雑な様相を呈するMダム左岸地山の地下水圧分布を正確に把握する目的で、単孔内多点水圧測定を新設の3本のボーリング孔BL-8, 9, 10内で実施した（図-1参照）。基本的な手順は図-3に示すように、φ66mmの調査ボーリング終了後、φ116mmに拡孔し、孔内に測点数（今回は各孔3）の水圧計が所定

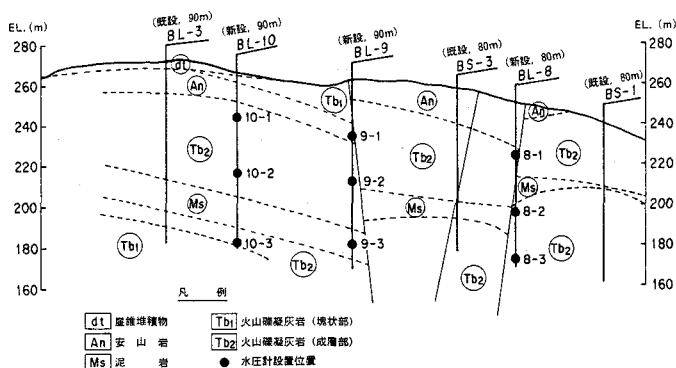


図-1 左岸ダム軸の地質縦断面図

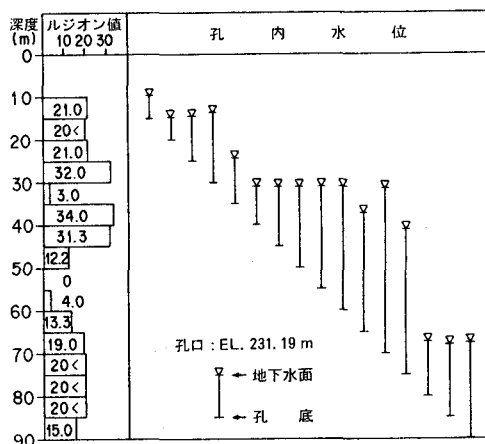


図-2 孔内水位の変動状況 (BL-3)

の位置に内蔵されたパイプを挿入し、水圧計周辺には目詰り防止用のフィルタ材をその他の部分には遮水材を設置するというものである。なお、間隙水圧計の設置位置は図-1に示しているが、これは後述する調査ボーリング時の孔内水位の変化を参照して決定した。

この水圧測定方法は、建設省土木研究所と民間5社が共同研究開発したもので、シール材、フィルタ材およびそれらの設置方法により3つの組み合わせがある(表-1参照)。これら3つの方法をそれぞれ3本のボーリング孔中の1本において実施した。なお、エポキシ系およびセメント系のシール材は孔内に直接注入する方式を採用したが、ウレタン系のシール材については強度不足の点もあり、布パッカを挿入するパイプに事前に取り付けておき、その中にシール材を注入していく方法を採用した。なお、シール材の物性、設置方法等の測定システムの詳細については別の機会に紹介することにした。

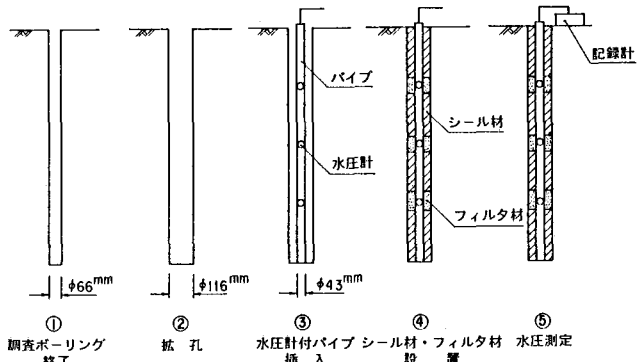


図-3 単孔内多点水圧測定の手順

表-1 シール材とフィルタ材の組み合わせ

試験孔	シール材	フィルタ材
BL-8	ウレタン系	ジオテキ
BL-9	エポキシ系	砂
BL-10	セメント系	砂

4. 測定結果

新設孔の調査ボーリング時に得られた透水試験(ルジオンテスト)の結果と孔掘進に伴う孔内水位の変化を図-4に示す。新設孔の孔内水位を見る限りでも本サイトには複数の地下水位層があることがわかる。また、この孔内水位の変動状況を参照して複数の地下水位層をより正確に知るために設置された水圧計で求めた水圧値を水圧計設置標高に加えて求めた地下水位と、掘進時の安定孔内水位(既設孔の値も含む)とを図-5に併記する。これらの図から以下のことがいえる。

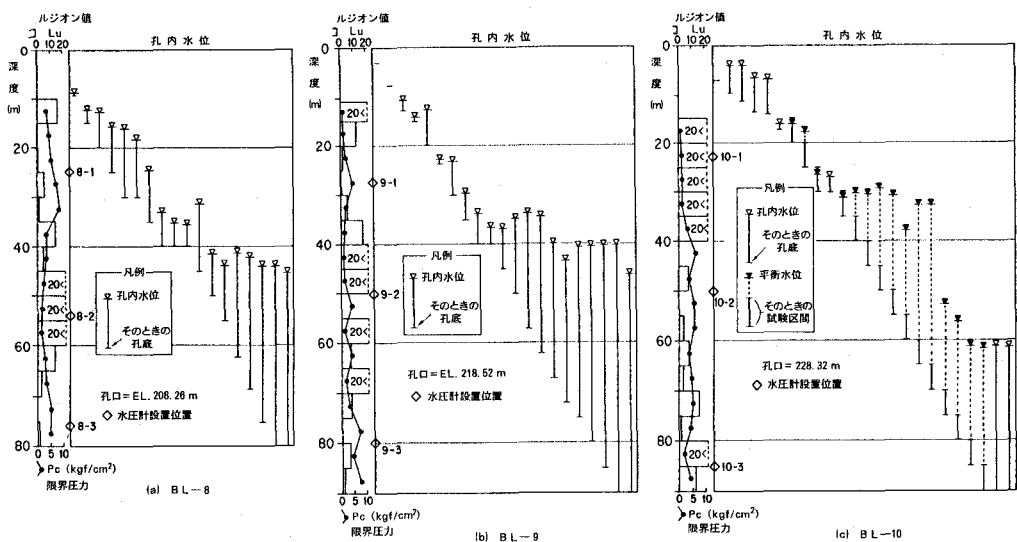
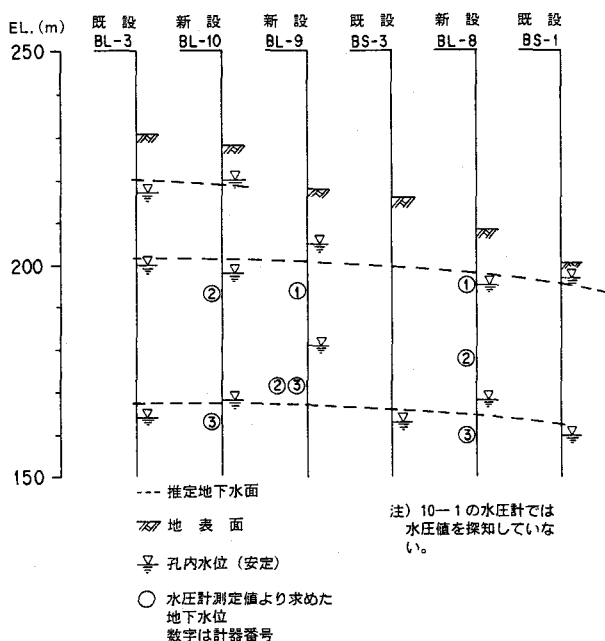


図-4 調査ボーリング結果

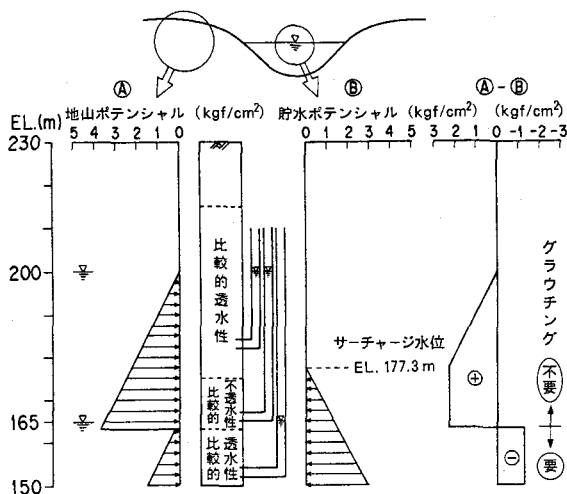
- ① 安定した地下水面はEL.165 $\square$, 200 $\square$, 220 $\square$ 付近に合計3枚存在する。ただし、EL.220 $\square$ 付近の地下水面を10-1の水圧計で探知することはできなかった。よって、この標高付近の地下水の供給量は非常に少なく1本のボーリング孔の貫通によりその水位を失う程度のものであると推定できる。
- ② 孔内水位が地下水位と平衡状態に達していると考えて求まる地下水面と水圧計の読み値から算定した地下水面はほぼ一致しているように思われる。よって、当ダムサイトでの調査に限れば、孔掘進時に孔内水位の丹念な調査を実施しておけば十分な精度で複数の地下水位層を知ることができよう。



5. 測定結果の止水処理計画への利用

孔掘進時の孔内水位測定および単孔内多点水圧測定の結果からMダム左岸地山にはEL.165, 200, 220 $\square$ 程度の3枚の地下水位層があることが判明した。うちEL.220 $\square$ を除く2枚は非常に安定した状態で存在している。しかし、従来の一本の孔の最終地下水位をもとにリムグラウティング範囲を決定する方法によれば最も低いEL.165 $\square$ 付近の地下水位を基準にリムグラウティングの範囲を決定することになろう。しかし、Mダムの計画サーチャージ水位はEL.177.30 $\square$ であり、この標高に上記の地下水位が一致するところまでリムグラウティングを実施するということになるとその施工量は非常に膨大なものになる。

Mダム左岸地山の地形は上下流方向に非常に複雑であるため平面的にもう少し多くの調査を行い三次元的な地下水位分布の把握が必要と思われるが、今回のダム軸断面での結果に限れば、EL.165 $\square$ の次のEL.200 $\square$ 付近の地下水面も安定した状態で存在することがわかった。さらに、ボーリング孔がある透水性の低い層を貫き孔内水位がEL.200 $\square$ 付近からEL.165 $\square$ 付近に低下した時点でも孔内の水位が低透水位層以下に落ちることはないうえ、透水性の低い地盤は本来保水性もよいこともありEL.200 $\square$ 付近以深の地盤は全て飽和しているものと考えられる。ただし、地盤の飽



和状態については今後検討すべき項目ではある。

今回明らかになった地下水位分布を貯水位（サーチャージ水位）も含めてポンチ絵で示したものが図-6である。本来、地山のポテンシャルが貯水ポテンシャルよりも大きい領域にはグラウチングを施工する必要はなく、今後の調査で三次元的な地下水位分布を把握してからでないと断定的なことはいえないが、従来のリムグラウチングの考え方に加えて、以下の3案も検討の余地があるように思われる。

- ① 下段グラウチングトンネルを調査により得られた最も低い地下水位（EL.165m）よりも少し高い標高に設けて、トンネルよりも下位標高の岩盤だけにグラウチングを施工する。
- ② グ라우チング用のボーリングは上段グラウチングトンネルより実施するが、地山ポテンシャルが貯水ポテンシャルよりも大きい範囲にはグラウチングを施工しない。
- ③ あるいはグラウチングは念のために実施するが、改良項目は設定しない。

6. おわりに

本論文をまとめると以下の通りである。

- ① 岩盤を対象とした構造物の安定性を議論する際に、岩盤内の複雑な水圧分布を知ることの重要性を鑑みて開発した単孔内多点水圧測定システムを簡単に紹介した。
- ② ボーリング孔の掘進に伴い孔内水位の低下が見られるものの安定した2~3枚の地下水位層が存在すると考えられたダムサイトにおいて上記システムを適用した。
- ③ 孔掘進時の安定孔内水位に対応する地下水圧が上記システムによって確認できた。
- ④ ③の結果を受けて、数枚の地下水位が存在する場合のダムの止水処理、つまりグラウチング範囲について考慮した。

今回、Mダムサイトにおいて実施した水圧測定点はグラウチング計画を立案できるまでの数ではなく、かつサイトの地形の複雑さを考慮すると、今後上記水圧測定システムを含むさらに多くの調査が必要になってくるものと思われる。

最後に、本試験実施にあたって、建設省東北地方建設局の関係各位には多大な御協力を賜った。記して感謝の意を表します。

また、上記測定システム開発の共同研究に参加しているのは、建設省土木研究所ダム部フィルダム研究室、砂防部地すべり研究室、戸田建設（株）、日本国土開発（株）、（株）建設技術研究所、大阪セメント（株）、日特建設（株）である。

参考文献

- 1) Dunnicliff, J. and Green, G. E. : Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, John Wiley & Sons, pp.117~164, 1988.
- 2) Kovari, K. and Koeppl, J. : Head Distribution Monitoring with the Sliding Piezometer System "Piezodex", Field Measurements in Geomechanics, 2nd International Symposium, pp.3~15, 1987.
- 3) Westbay Instruments Ltd.: The MP System.
- 4) AGE Development : Groundwater Monitoring Equipment.
- 5) 岩崎好規ら：間引き水圧計単孔多点埋設方法について、第14回土質工学研究発表会講演集、pp.61~64, 1979年6月。
- 6) 建設省河川局開発課監修：グラウチング技術指針・同解説、（財）国土開発技術研究センター、pp.51~53, 1983年11月。