

(30) 効果的な地下水压測定に関する考察

建設省土木研究所	正会員	中村 昭
建設省土木研究所	正会員	○山口 嘉一
建設省九州地方建設局		藤野 光明
日特建設株式会社		杉村 亮二

Considerations on effective measurement of groundwater pressure

Akira NAKAMURA, Public Works Research Institute, MOC
Yoshikazu YAMAGUCHI, Public Works Research Institute, MOC
Mitsuaki FUJINO, Kyushu Regional Construction Bureau, MOC
Ryoji SUGIMURA, Nitto Construction Co., LTD

Abstract

For accurate and rational measurement of complicated groundwater pressure distribution in rock masses, Multiple Groundwater Level Measuring System (hereinafter called MGL System), with which groundwater pressure at various depth in a single borehole can be measured, was developed. However, installation of many MGL Systems in wide area is very expensive.

If the relationship between groundwater pressures measured by MGL system and those by water level measuring method or packer method, can be grasped, effective layout of MGL System and effective use of groundwater pressure data obtained by other methods can be realized. In this paper, groundwater pressure measurement has been performed with the above-mentioned three methods in foundation composed of tuff breccia, and the relationship among observed groundwater pressure data has been considered.

1. はじめに

ダム、地すべり地等の斜面、石油などのエネルギー資源の地下備蓄といった主に地盤を対象とする工学分野では、地盤内の地下水压分布の経時的変化を正確に把握し、対象構造物の安全性の検討、周辺の地下水環境に与える影響の監視などを行う必要がある。そのためには、地盤内の地下水压分布は複雑であることが一般的であるため、地下水压測定点を三次元的に密に設ける必要がある。これを経済的に実施するためには、平面的に多くの地下水压観測孔を設けることを前提に、一孔の多深度地点で地下水压を測定する必要がある。このような必要性に答えるため、単孔多段式地下水压測定システム（以下、MGLシステム：Multiple Groundwater Level Measuring System）が開発された^{1)・2)}。

既に、MGLシステムは浸透流制御範囲の合理的決定や湛水時の漏水監視を目的にダムサイト^{3)～6)}で、また斜面の安定性評価を目的に地すべり地^{7)・8)}で設置され、その有用性が確認されている。しかし、MGLシステムでは一孔に設けることができる水压測定点数が最高5点であるため^{1)・2)}、深度方向に細かい地下水压分布が把握できない、あるいは、広域に多数のシステムを設置すると、経済的に問題があるといった課題を有している。

一般に、地下水压の測定は孔内水位法、あるいはパッカ法により測定される場合が多い。孔内水位法およびパッカ法による地下水压測定結果と、MGLシステムによるそれとの関係を把握できれば、MGLシステムの効果的な配置計画の立案やMGLシステム以外の方法で得られる地下水压測定結果のより有効な利用が可能となる。そこで、本論文では、孔内水位法、パッカ法およびMGLシステムにより測定した地下水压の関係を整理し、それぞれの測定結果の示している意味について考察する。

2. 既往の研究成果

(1) 孔内水位法

単に保孔用のストレーナ管を設置して孔内の水位を地下水位として測定する孔内水位法では、一概には正確な地下水压を測定しているとはいえない。つまり、複数の帯水層が存在したり、不連続性を特徴と

する岩盤では、孔内水位は孔内へ流入する地下水と孔外へ排出される水の平衡水位としての意味しかもたないからである。

図-1は、Yダム⁵⁾のMGLシステム設置孔における削孔時の孔内水位変動と地下水圧測定結果を示したものである。MGLシステムを設置した右岸尾根部の地質は、下位より新第三紀中新世の火山礫凝灰岩類(Lf)、新第三紀鮮新世の熔結凝灰岩類(Wt)およびこれらを不整合に覆う第四紀の泥流堆積物(mf)よりなる。熔結凝灰岩類は熔結度によって高、中、低熔結部に区分される。本サイトでは、多くの調査孔において図-1に示すような削孔中の孔内水位の急落現象が確認されたことから、泥流堆積物中にある高い地下水位を示す層と、熔結凝灰岩中にある低い地下水位を示す層の存在が推察されていた。

図-1の例では、掘進中の孔内水位はEL.185mおよび175m付近で一時的な安定現象が認められた後、最終的にはEL.165m付近で安定している。これらのうちEL.185mは泥流堆積物掘進中の水位であり、これ以外は熔結凝灰岩中の水位である。MGLシステム設置時には、これらの水位が測定できるように水圧計の位置を決定した。MGLシステムによる地下水圧測定の結果、No.115-1および115-2のポテンシャル水位(水圧を水頭に換算し、水圧計設置標高に加えた値)は最終安定孔内水位に概ね一致するEL.160m付近、No.115-3はEL.175m付近の値を示した。このことから、当初の推察どおり泥流堆積物と熔結凝灰岩中には水位の異なる独立した地下水層が存在し、熔結凝灰岩中でも相対的な低透水路を掘進中に認められたEL.175m付近の安定水位は泥流堆積物中からの流入水と深部で孔外へ排出される水との平衡水位であることが判明した。泥流堆積物中の水位が孔内水位法でEL.185m付近、MGLシステムでEL.175m付近という差は、降雨の影響を受けやすい最浅の地下水位が対象であること、および測定時期が数年異なるためと考える。

以上より、孔内水位が必ずしも地山全体の地下水圧分布を正確に反映していないことがわかる。しかし、本サイトではMGLシステムにより地下水の2層構造を把握できたため、一般の孔内水位観測孔の水位がどちらの地下水層の水圧を反映しているかを区分し、広域の地下水位分布を推察した。

(2) パッカ法

パッカ法とは、シングルパッカあるいはダブルパッカと水圧計を組み合わせた器具を用いて対象区間の地下水圧を測定する方法である。ここではMダム^{4)、5)}左岸尾根部のMGLシステム設置孔における削孔

時の孔内水位の変動状況およびシングルパッカ法による地下水圧測定結果と、これらを勘案して設置したMGLシステムの各水圧測定点での測定結果を図-2に

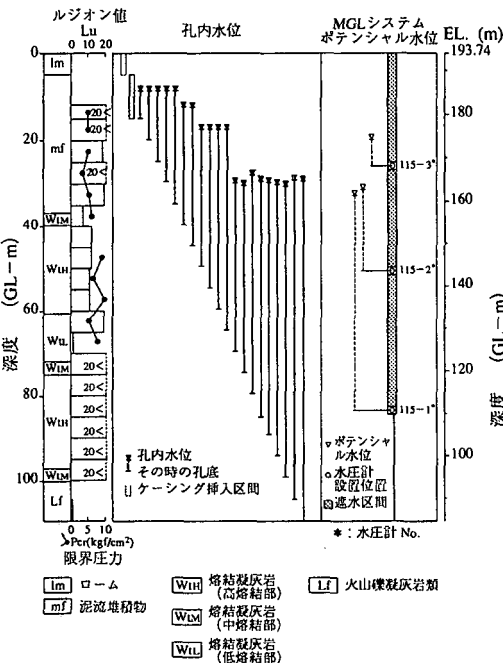


図-1 孔内水位法とMGL測定結果の関係 (Yダム)

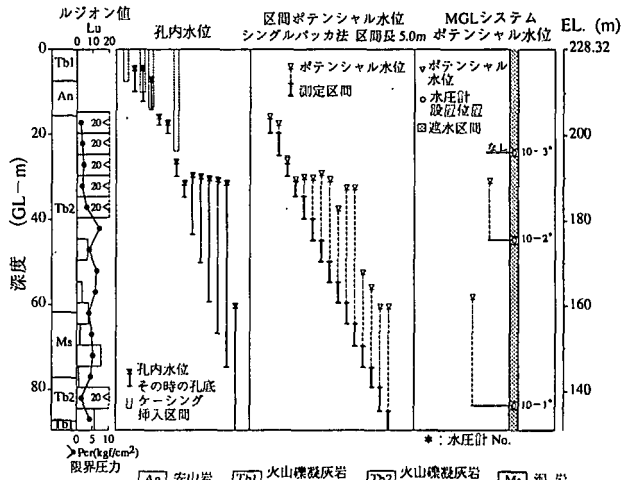


図-2 パッカ法とMGL測定結果の関係 (Mダム)

まとめて示す。試験サイトの地質は、新第三紀中新世の安山岩（An）、泥岩（Ms）、火山礫凝灰岩の塊状部（Tb1）および成層部（Tb2）よりなる。本サイトでは、MGLシステムにより2～3層の地下水層の存在が確認されている。

図-2の例では、バック法による区間ポテンシャル水位とMGLシステムによるポテンシャル水位とは概ね一致しており、バック法でも充分有用なデータが得られていることが確認できた。しかし、両者のデータを詳細に比較すると、MGLシステムのデータの方がやや小さい値を示している。その原因として、厳密には両者の測定時期が異なることもあるが、両者の遮水区間長の差が考えられる。つまり、MGLシステムでは測定区間以外はすべて遮水区間であるのに対し、ここで用いたバック法では70cm程度の遮水区間しか形成できない。このため、割れ目が発達していれば、区間ポテンシャル水位は、バック周辺の岩盤を通じて孔内水位の影響を受ける。一方、孔内水位は概ね孔底が存在する層の地下水圧を表していることがわかり、本サイトにおける孔内水位の有効利用の可能性が伺える。

以上、バック法は遮水区間長の点で若干問題が残るものの、バック法を用いて測定区間を形成する点で孔内水位法よりも優れている。ダム基礎の地質調査では、バックと水圧計とを組み合わせた器具を用いたルジオン試験⁹⁾が一般化しており、試験区間の地下水圧を試験前に測定しておく等、その利活用が望まれる。しかし、バック法では、ボーリング孔を裸孔の状態にしておく必要があるため、孔壁の維持の点から長期間の測定には適していない。

3. 試験サイトの地質・地形概要

試験サイトは、主に第四紀更新世の凝灰岩、凝灰亜角礫層から構成される（図-3 参照）。凝灰亜角礫層は中間に挟在する凝灰岩（Tf）を境界として上部層（Tb3）と下部層（Tb2）とに区分され、これらの下位に基盤岩である凝灰角礫岩（Tb1）が分布している。上部および下部凝灰亜角礫層は、基質によりさらに粗粒砂基質部（Tb3s, Tb2s）と火山灰基質部（Tb3a, Tb2a）とに区分される。これらは固結しているものの固結度は比較的低く、粗粒砂基質部でその傾向が強い。

試験サイトは、ほぼ南北に延びる尾根の傾斜20° 前後の東側斜面に位置する。観測孔は計6孔であり、尾根を横断する東西方向に配置した。

4. 地下水圧測定方法

各孔で孔内水位法による地下水圧の測定を実施した。さらに、D-5孔ではバック法を、D-7孔ではバック法とMGLシステムによる地下水圧の測定を実施した。バック法の測定方法は両孔で多少異なり、D-5孔では削孔終了後にダブルバック法により区間長2.5mごとの地下水圧を測定したのに対し、D-7孔ではGL-51mまでケーシングパイプ挿入直後に孔内水位が急上昇したため、GL-60m以深でルジオン試験前にシングルバック法により区間長5mごとに地下水圧を測定した。さらに、同孔では削孔終了後にシングルバック法により測定区間長を原則として5mづつ広げたときの地下水圧も測定した。

なお、D-7孔に設置したMGLシステムは一般的な埋め戻し法ではなく、多連バック法²⁾によるものである。また、同孔のMGLシステムによる水圧測定点は、既存地質調査資料および本孔の孔内水位法、バック法による地下水圧測定結果等から図-5に示す位置の計5点とした。

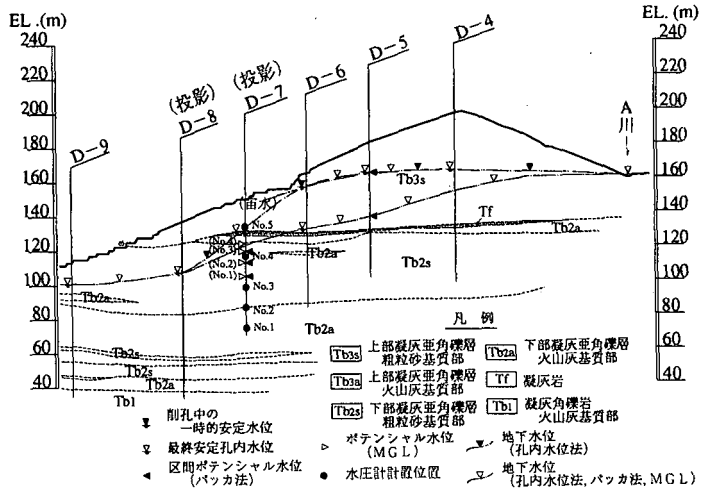


図-3 試験サイトの地質概要

(1) 孔内水位法による地下水压測定結果

(2) パッカ法による地下水圧測定結果

圖一4 地下水压測定結果 (D-5 孔)

Figure 1 is a graph showing the relationship between depth and pore water potential. The left y-axis represents depth in meters (0 to 80), and the right y-axis represents elevation in meters (183.12 to 180). The x-axis at the top shows pore water level (Lu) and pore water potential (EL. (m)). The graph is divided into two sections: "掘削終了後" (After excavation) on the left and "掘削中" (During excavation) on the right. The left section shows pore water level (Lu) and pore water potential (EL. (m)) data points. The right section shows pore water potential (EL. (m)) data points. The graph also includes a legend for "掘削終了後" (After excavation) and "掘削中" (During excavation) data points.

Figure 1 consists of three main panels and a legend. The left panel shows a vertical profile of soil water potential (ポテンシャル水位) and pore water pressure (区間ポテンシャル水位) versus depth (深度, 0-80 cm). The middle panel shows the same data over time (時間, 0-10 days). The right panel shows the same data over time (時間, 0-10 days). The bottom panel shows the same data over time (時間, 0-10 days). The legend indicates that the symbols represent pore water potential (ポテンシャル水位), pore water pressure (区間ポテンシャル水位), and pore water pressure (ポテンシャル水位).

圖一5 地下水压測定結果 (D-7 孔)

(3)MGLシステムによる地下水圧測定結果

-144-

図-6に本サイトと前述のMダムで得られたMGLシステムによる測定水圧と同等地点のバッカ法による測定水圧の関係を示す。

これらは概ね1:1の関係にあり、本サイトおよびMダムではバッカ法でもMGLシステムと同等の測定精度が得られており、バッカ法は地下水圧測定法として有効であることがわかる。

なお、MGLシステムによる本サイトの約2年間の経時測定の結果、これらのポテンシャル水位の変動幅は最大1m程度であった。

6. 地山の地下水位

図-3に「孔内水位から判断した地下水位」および「孔内水位、バッカ法およびMGLシステムから判断した地下水位」を示す。

孔内水位法のデータから地下水位を推定した場合、D-6孔とD-5

孔の間で地下水位が急激に変化する。これに対し、バッカ法およ

びMGLシステムのデータを加味した場合、地山本来の地下水位を有する地下水層とEL.170m付近に水位を有する宙水の2層モデルが構築され、急激な地下水位の変化はなくなる。また、D-4孔の孔内水位は地山の地下水位を示すものではなく、Tb3s層中に胚胎される宙水の水位を反映しており、本来の地下水位はより低い位置にあることが推察される。さらに、D-6孔の掘進中に認められた一時的な孔内水位の安定現象は、宙水の水位を反映しているものと推察される。ただし、D-7孔では宙水にあたるポテンシャル水位が観測されないため、この低標高部への連続性は乏しいと考える。

一方、MGLシステム測定結果を検討すると、ある測定点で測定されるポテンシャル水位は直上の測定点の設置標高を必ず上回っていることから、概ねEL.125m以深の地盤は地下水で飽和された状態にあると判断できる。よって、D-7孔での地下水位はEL.125m付近と見なして良いと考える。

以上、孔内水位法にバッカ法およびMGLシステムの測定結果を加味すれば、少なくとも本サイトでは各水位観測孔内の水位が示す意味を明確にでき、合理的な地下水位分布を推定できることがわかった。

7. まとめ

本論文では、孔内水位法、バッカ法、MGLシステムで得られる地下水圧データの示す意味について既存資料をもとに考察した。次に、試験サイトで行ったバッカ法およびMGLシステムの測定結果を加味すれば、他の観測孔に現われる孔内水位の示す意味を詳細に解釈でき、合理的に地下水位が推定できることを示した。

しかしながら、これらの測定法から得られるデータの対応関係は、サイトごとに変わることが予想され、さらなる事例研究の積み重ねが必要と考える。

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所、ほか(1990):ボーリング孔内の多段連水方法に関する共同研究報告書、建設省土木研究所共同研究報告書、第43号、206p.
- 2) 建設省土木研究所、ほか(1993):ボーリング孔内の多点水圧測定法の小型化に関する研究、建設省土木研究所共同研究報告書、第93号、134p.
- 3) 山口嘉一・松本徳久(1990):ダム基礎岩盤内の地下水圧分布測定、第22回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、土木学会、pp.81~85.
- 4) 大西崇夫・松本徳久・山口嘉一(1991):ダム基礎岩盤内の地下水圧分布測定(その2)、第23回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、土木学会、pp.197~201.
- 5) 山口嘉一・鈴木建作・太田直樹(1993):複数の地下水層を有するダムサイトでの止水処理と漏水監視、ダム工学、No.11、pp.35~44.
- 6) 中村昭、ほか(1993):森吉山ダムの孔内多点水圧測定について、ダム技術、No.79、pp.44~56.
- 7) 三輪賢志、ほか(1993):MGLシステムによる地すべり地での地下水圧観測、第32回地すべり学会講演集、pp.223~226.
- 8) 檜垣大助・丸山清輝(1993):地すべり地における間隙水圧変動、地下水技術、Vol.35、No.11、pp.1~13.
- 9) 播田一雄・豊田光雄(1980):水圧計を利用したルジオンテストにおける一考察、建設省土木研究所資料、第1570号、96p.

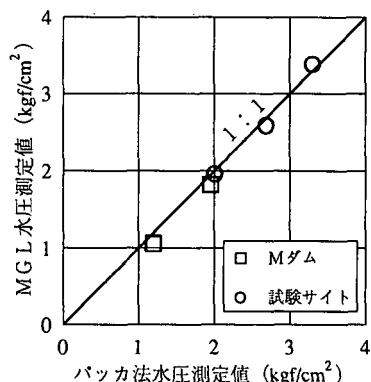


図-6 バッカ法とMGL測定値の関係