

ものをはかる

榎 利博¹

私はこれまで幸運にもたくさんのプロジェクトで様々な物理量を現場や室内で計測する機会を得た。例えば、大深度地下坑道周辺の地下水圧や含水量の分布、全長 10 m を超える大型コンクリート梁の破壊実験における荷重 - 変位、砂粒の粒度や形状など、その種類やスケールも多種多様である。純理工系の自分にとって、目の前で起きている物理現象を計測することは楽しいものである。そのような計測をする際、いつも「測ろうとしている物理量を本当に測れているのだろうか？ 測れていると思込んではいないだろうか？」という疑問を自分自身に問いかける。

計測を成功させるには様々な要因があるが、1) 計測対象の境界条件が想定している状況を再現できているか、2) 計測機器の性能・特性をよく知り正しく設置しているか、3) 現象の複雑さに見合った解像度で計測できているかなどは特に重要ではないかと思う。

例えば、地下に掘削したトンネル周辺の地下水圧分布を知りたいとする。トンネル壁面からボーリング孔を掘削し深度別に圧力計を設置する。トンネルを掘削することで、その壁面において地下水圧は大気に解放される。本来、その影響を計測したいのであるが、それを計測するために更に計測用のボーリング孔を掘削する。局所的に見るとボーリング孔壁面においても地下水圧は大気に解放されることになる。そのためこの計測孔の影響をどれだけ小さくできるかで本来計測したい地下水圧の分布を測れるか、あるいは計測孔自体の影響を大きく受けた水圧分布を計測することになるかを左右する。計測装置の設置には計測対象の攪乱はつきものであるが、その影響をいかに最小限にとどめ想定している境界条件を再現するかは重要な要因である。

土壌水分計やテンシオメータなどの計測装置（以下、センサーという）は、大抵の場合それらが設置されたごく近傍の物理量を計測するものである。センサーにはそれぞれ特有の測定レンジ（測ろうとする物理量の測定可能範囲）や影響領域（どれくらいの領域の物理量を測っているかを表す指標）というものがある。これをよく理解せずに室内実験や現位置計測を実施すると不可解なデータが採れ、後にその解釈に困ることがある。例えば、地表面の土壌水分が知りたいからと土壌水分計を深さ 5 mm 程度の箇所に設置しても、地表の空気の影響を拾ってしまう。

地盤中にセンサーを設置する話をすると不均質な地盤ではどうするのかと聞かれることがよくある。弾性波トモグラフィのような物理探査的手法は計測対象の内部を推定するものである。一方、土壌水分計のようなセンサーはあくまでその影響範囲内の物理量を計測するものである。不均質地盤に多数のセンサーを設置して得られたデータを補間しその分布を推定することは可能であると思うが、不均質の度合いとセンサーの密度、つまり「空間的解像度」は重要な要素であろう。空間的解像度を上げ過ぎてセンサー自身が計測対象を乱さないように注意は必要であるが、いずれにしても 2 つのセンサー間の物理量の分布をどう推定するかは計測というより推測手法の問題だと思うのである。最近では、センサーによる点計測データおよび物理探査やリモートセンシングによる面計測などのようなスケールの違うデータを融合する技術が注目され始めている。

計測頻度も場合によっては重要な要素となる。ある学会で聞いた話であるが、アメリカのある小さな川で魚が死ぬ現象が発生した。水中に溶存酸素濃度計などのセンサーを設置し、数ヶ月間毎日データを計測した結果、魚の生態に影響を及ぼす影響は見られなかった。しかし、1 時間おきにデータを取得するようにしたところ意外な事実が判明した。毎朝、日の出直前に一時的に溶存酸素の濃度が、魚が生きられないほどのレベルにまで低下していることがわかったのである。前記のように、計測の解像度をセンサーを密にして空間的に上げることも大事であるが、計測を頻繁に実施し「時間的解像度」を適正に設定することも大事な現象を見逃さないために重要なのである。

以上、いろいろ勝手なことを述べた。センサーの数や計測回数を増やしてより多くのデータを取得すればよいように聞こえたかも知れないが、どのような計測にも予算というものがある。地盤調査では計測技術そのものが発展途中であるものも多く、その調査・試験法も日々進化している。しかし、いかに予算内の費用で最大限の情報を取得する計測を実施するかは、常にそれを使う技術者の経験や勘に大きく頼らなければならないのが現状である。余談であるが、技術者の「勘」は、日本でのゼネコン時代には「エイヤー」と表現していたが、渡米してからは「engineering judgment」というようになった。個人的には日本語の響きの方が人間味があるように思う。

¹ Center for Experimental Study of Subsurface Environmental Processes (CESEP) and Geothermal Academy, Colorado School of Mines, USA