

大深度地下空間での土木計測技術の課題と対策(その2)

大深度地下・現場計測・間隙水圧計

地域地盤環境研究所	正会員	水原勝由
東京電力(株)	正会員	佐藤 亘
エスコ(株)	正会員	小嶋啓市
五洋建設(株)	正会員	山口 英
銭高組	正会員	中筋智之

1. はじめに

大深度地下空間での地下構造物の設計、施工においては、作用荷重の考え方、止水方法ならびに周辺環境への影響など様々な問題があり、これらの問題を解決または把握する方法として土木計測技術の重要性が高まっている。その反面、これまでの土木計測技術は大深度地下での計測を特に意識したものではない。大深度地下では、これまで以上に高水圧下での計測が必要であり、大深度地下空間に安全な地下構造物を建設するための計測技術の開発が急務であると考え、本報では、間隙水圧計に着目し、現状の課題と大深度地下への適用に際しての対策について考察する。

2. 間隙水圧計の概要と課題

地盤内の間隙水圧を計測する技術は、水圧を検出するセンサ部と遠隔地で数値評価するための計測システムで構築される。水圧を検出する一般的な方法は、水圧によって生じたセンサ部のひずみ量を検出し、その検出値(電圧や光周波数等)を地上へケーブル伝送した後、ひずみ量から間隙水圧を逆算する方法である。ひずみ量の検出方法には様々な方式があるが、地盤内の間隙水圧を計測する上で共通する課題は、検出方式を除き設置技術と計測ケーブルに関するものが主であると考え、

3. 設置技術の課題

間隙水圧計の地盤内へ設置方法には、間隙水圧計をボーリング孔の所定の位置に投入した後、パッカーやベントナイトでシールする方法と間隙水圧計先端に取り付けた挿入エッジによってボーリング孔底から土中に圧入して設置する方法がある。前者は、シール材を孔内で水膨潤させ、所定位置の地盤内に間隙水圧計を水封し、設置深さの水圧を地盤の間隙水圧として計測するものである。複数の帯水層を貫いたボーリング孔を使用して地盤の間隙水圧を計測する場合、この方法ではシール材が確実に帯水層間を遮水できていることが前提となる。しかし、実際の施工現場では、設置直後に確実な遮水の是非を確認することが難しく、結果として遮水の不完全が生じ、計測データの信頼性が損なわれる場合が見られる。1つのボーリング孔に複数点の間隙水圧計を設置するような場合では、特に間隙水圧計個々における確実な遮水が重要となる。またシール材料によっても遮水性能が損なわれる場合がある。特に海水下でのシール材にベントナイトを使用した場合、シール材の膨潤不良やベントナイトの劣化が生じ易い。

一方、後者は圧入時に地盤に過剰間隙水圧を発生させることになる。特に粘性土地盤では、圧入によって生じた過剰間隙水圧の消散に長時間を要し、消散過程のどの時点を本来の間隙水圧と見極めるかといったことが課題になるケースがある。設置に伴う間隙水圧の変化と透水係数関係について室内実験を行った結果を図1に示す。試験はシリンダーに飽和した試験体(珪砂のみ、珪砂+5mm程度のベントナイト層で遮水)を作成し、シリンダー中の水頭を一時的に減少させ、試験体内圧の回復状況を間隙水圧計で計測したものである。試験結果では、試料土を珪砂とした場合には数秒間で水圧が元に戻るのに対し、珪砂表面に5mm程度のベントナイト層を置くことによって回復時間に数千秒要している。この現象からは、地盤の透水係数が小さいほど、相対密度が高いほど顕著になる事が推察され、設置によって生じた地盤内間隙水圧の変化が長期的に計測データに影響を及ぼす可能性を示唆するものである¹⁾。

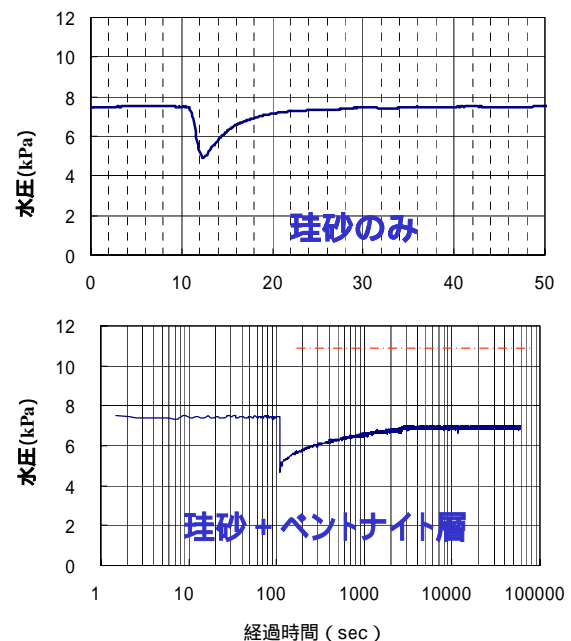


図1 間隙水圧の変化と透水係数関係

Subjects and countermeasures of the measurement for the structures in deep underground

Katsuyoshi Mizuhara(Geo Research Insitute) Wataru Sato(Tokyo Electric Power Co., Inc.) Keeichi Kojima(Esco Co.,Ltd.) Ei Yamaguchi (Penta-Ocean Construction Co.,Ltd) Tomoyuki Nakasuji (Zenitaka Corporation)

4. 計測ケーブルの課題

計測システムの信頼性に影響する要素は、計測ケーブルに依存するものが大きい。地盤内や構造物中のケーブルは、断面欠損、水みちの形成、放射性廃棄物の遮蔽効果の問題など、計測結果の信頼性を阻害する要因となる場合がある。先で述べたように、間隙水圧計の地盤への設置方法として、一本のボーリング孔に複数点の間隙水圧計を設置し、上下をシールする方法がある。この1孔多点の間隙水圧の設置は、計測費用の削減や施工日数の短縮などの効果が期待できる反面、複数のケーブルが接触する境界で水みち形成（遮水不良）の危険性が増加する。また、従来の長期計測において信頼性を阻害してきた最大の問題はケーブルの耐久性にある。これはケーブルシース素材の経年変化あるいは塑性変形、地盤の変形に追従したケーブル変形、接続部の劣化、不可抗力的な切断などによるものが原因として挙げられる。

5. 大深度地下への適用に向けての動向と課題

最新計測技術の中で、大深度地下への適用が期待できるものとしてはケーブルレス化技術がある。一般携帯電話回線やDOPA等のパケット通信を利用するデータ通信が一般的になり、計測装置の出力を無線伝送する計測システムの構築が可能となった。また汎用通信器機、特定省電力機器などの小型化が進み、個々のセンサ単体に通信機器を組み込み、ケーブルレス化（無線化）する計測システムが使用されるようになってきている。しかし、従来の高周波無線通信は空間の伝送に限られており、土中、水中での通信ができないため、ケーブルの問題点に関して一部の解決策に限られているのが実情である。一方、近年開発され、実用化が進みつつある低周波無線通信による地中通信システムは、従来無線の通信周波数帯（GHz）よりも低いオーディオ周波数帯（数千Hz）を使用することで、コイルを送受信アンテナとした通信方式が可能になった。伝送距離は高周波無線に劣るが、100～200mの土中・水中の無線通信が可能である。この無線伝送方式はケーブルレスによる施工性改善を評価され、海底盛土の沈下測定において実績を積んだ後、フィルダム堤体の間隙水圧測定でケーブルレスの効果を発揮しており、大深度地下への適用技術として期待できるものである。ただし、地中無線通信には、以下の課題がある。

伝送距離：通信媒体の電導度が高いほど通信可能距離が短い。自然界では海中が最も効率が悪く、空気（空間）中で最も効率が高い（図2参照）。海底盛土工事では盛土による沈下で距離が長くなるが、海水が土に置き換えられることによって伝送効率が増し、相対的には効率を落とさずに施工を進めることができた事例（図3）²⁾もある。

電源：必然的に電源を外部から取ることはできず、内蔵電池を如何に効率よく使うか計器の寿命を決めることになる。現状は1日12回測定して10年程度であり、更なる長寿命化が必要である。

小型化：開発当初 370mm高さ400mm程度、40kgであった地中通信装置は現在陸地用では50×500mm、2kgまで小型化が達成されているが、なお一層の小型化が必要である。

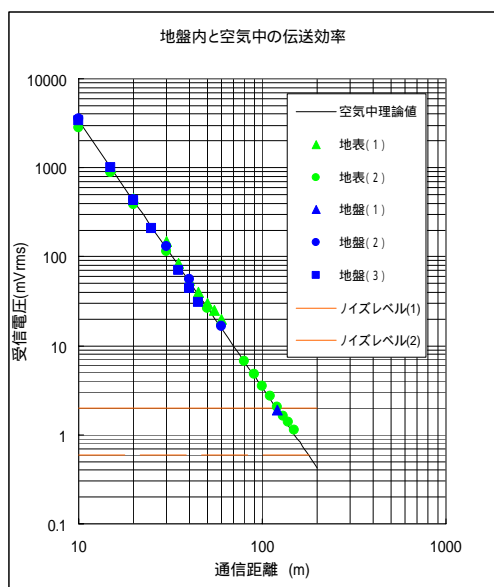


図2 空気中と地盤内の距離と受信電圧

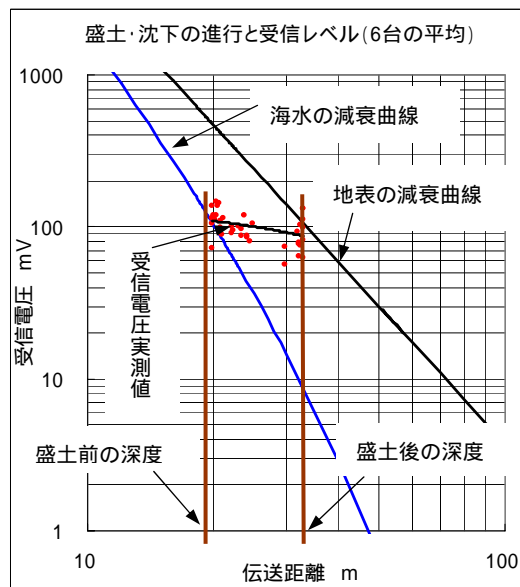


図3 海水が地盤と置換することによる伝送効率の向上

6. おわりに

本報では、大深度下で間隙水圧を計測する上での課題および計測技術に関する信頼性向上の課題と対策を記述した。課題として挙げたケーブルに関しては、大深度地下適用に向けての対策が具現化しつつある。しかし、設置技術に関しては、課題の克服に向けての技術の改良・開発がまだまだ進んでいないのが現状であり、早急に検討が必要な事項であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 海面下で測定した間隙水圧の評価に関する考察（その1）第59回年次学術講演会，土木学会，2004年9月
- 2) 田端，水上：大規模埋立地における磁気伝送水圧式沈下計による沈下測定，第28回海洋開発シンポジウム，土木学会，2003年7月