



地下水調査用の移動式支援システムの開発

小笠原正裕 豊嶋 賢治 和久田孝雄
中野 勝志

東濃地科学センター

資料番号：1-7

Development of JNC Mobile System for Geoscientific Characterization

Masahiro OGASAWARA Kenji TESHIMA Takao WAKUDA
Katushi NAKANO
Tono Geoscience Center

地層科学研究においては、地下深部の岩盤の水理特性及び地下水の地球化学特性を調査することが重要となっている。このため、その調査機器として深度1,000mまで調査できる地下水調査機器の開発を進めてきた。この調査機器は、水理試験装置と採水装置で構成される。今回、それらの機器による現場調査を効率的に行うことができるよう、地下水調査用移動式支援システムを開発した。本システムについては、その機能を確認するために、岐阜県上岐市に掘削された試錐孔を利用して、地下水調査機器と組み合わせた現場適用試験を実施した。その結果、本システムの各ユニットが設計仕様どおりに作動することを確認するとともに、昇降速度の高速化等、運用面の改善につながる多くの有用な情報を得た。

As instrument for geoscientific characterization of deep groundwater was developed to obtain in-situ hydrogeological and geochemical properties. The main components of the instrument are the hydrogeological testing unit and groundwater sampling unit.

Field tests of this system were performed using boreholes. From these tests, it was confirmed that each unit of the system achieved its design performance when combined with hydrogeological testing or the groundwater sampling unit. Much useful information for future improvements to the system was also obtained.

キーワード

地下水、水理試験装置、採水装置、移動式システム、地下水調査

Groundwater, Hydrogeological Testing Unit, Groundwater Sampling Unit, Mobile System, Geoscientific Characterization

1. はじめに

地層科学研究においては、地表から地下深部までの岩盤や地下水の状態、及びそこで起こる現象を理解するために、地質構造、地下水の流れと性質及び岩盤の力学特性等に関する品質の優れたデータが求められている。このため、東濃地科学センターでは、地下深部を調査するための機器開発の一環として、深度1,000mまでの地下水の流れや性質を精度良くかつ迅速に測定できる地下水調査機器を開発した。この調査機器は、岩盤の透水性を調べるための水理試験装置及び地下水を地上へ採取するための採水装置で構成されている。この機器開発では、先に紹介した地下水調査機器の

開発に加え、それらの機器を用いた現場調査を効率的に実施するための支援機器の開発を併せて行っている。そのなかで、平成8年度に調査機器の試錐孔への挿入・回収及び落雷や降雨等から保護するために地下水調査用の移動式支援システム（以下、調査支援システムとする）を製作した。

また、本システムの設計上の機能を確認するため、水理試験装置と組み合わせた現場適用試験を1997年（平成9）2月と3月に¹⁾、採水装置と組み合わせた現場適用試験を同年11月にそれぞれ実施した。その結果、本システムの各ユニットが設計どおりに作動することを確認するとともに、昇降速度の高速化等、運用面の改善につながる多く

の有用な情報を得た。

本稿では、開発した調査支援システムの概要と現場適用試験の結果について報告する。

2. 開発の基本課題

調査支援システムの開発には、試錐機、やぐら及び機器を収納するための空間や設備が存在しない場合でも地下水調査を迅速かつ効率的に進めるための機能の確保を念頭においた。この機能とそれまでの機器開発や現場調査の経験及び技術情報の収集結果をもとに、解決すべき課題として以下を設定した。

(1) 地下水調査のための準備期間の短縮

現有の地下水調査機器自体には、現場で試錐孔内に挿入・回収する機能がないため調査を実施する際は、試錐掘削用の試錐機ややぐら等の昇降設備を別途用意する必要がある。しかしながら、試錐孔内に昇降する試錐機ややぐら及び調査機器を収納する空間や設備が常に現場に確保されているとは限らず、これらを準備するために、一週間以上の期間を別途設ける必要があった。前述した設備が存在しない場合でも準備期間の短縮を図るため、試錐孔内に挿入・回収できる機能及び調査機器を収納するための設備を本システムに備える。

(2) 調査機器挿入・回収作業の効率化

従来の地下水調査機器による調査では、前述のように試錐孔内への挿入・回収に試錐機を用いてきた。しかしながら、ここで用いられる試錐機は調査機器専用の昇降装置ではなく、昇降速度を機器の構造や調査手順を考慮して微調整することができないため、容易に機器を連結できず時間を要していた。このことを踏まえ、昇降速度を微調整でき、調査機器の挿入・回収作業を効率的に行えるようにする。

(3) 抑留した調査機器の回収

前述のように試錐機は調査機器専用の昇降装置ではないため、機器が試錐孔内で抑留した場合に地上へ回収する術がない。万一抑留した場合でも機器を確実に回収できる機能を備える。

(4) 現場での点検・整備環境の確保

地下水調査機器は、試錐孔内に挿入した孔内作動部を地上部の制御装置から電気信号により遠隔操作するという新しい概念を取り入れている。この調査機器の孔内作動部は中央演算処理ユニット(CPU)や電源基板、各種センサー及び電動・電磁バルブ等の特殊機器で構成されているため、適切な点検・整備を行うためには温度・湿度が安定し、機器の水平レベルが保持できる等の作業環境

が必要である。

(5) 調査機器の保護

地下水調査機器は、前述のように精密な特殊機器で構成されているため、外部環境の影響を受けやすい。このことを踏まえ、制御装置やケーブルドラムを落雷、風雨、多湿、凍結等から保護できるようにする。

(6) 24時間の調査体制に向けた作業環境の確保とデータの収集

地下水調査機器を用いた現場調査は、1本の試錐孔で2～6カ月程度の期間を要する。また、調査機器の孔内部が試錐孔内に挿入された後は、昼夜を問わず調査が進められるため、24時間体制での調査機器の監視及びデータ収集できる環境が必要である。このことを踏まえ、現場スタッフが数カ月連続して調査に従事し、24時間体制で調査機器の監視及びデータ収集できるための作業環境を備える。

3. 調査支援システムの概要

前述した課題を解決するために開発したシステムは、図1に示すように以下の5ユニットで構成されている。

- ① 計測・管理ユニット(1号車)
- ② メンテナンスユニット(2号車)
- ③ 昇降ユニット(3号車)
- ④ ケーブルドラム搭載ユニットタイプⅠ(4号車)
- ⑤ ケーブルドラム搭載ユニットタイプⅡ(5号車)

調査支援システムは、前章で示した課題を解決するため、以下の機能を備えている。

(1) 地下水調査のための準備期間の短縮

調査機器を試錐孔内に挿入・回収できる専用の昇降装置を昇降ユニットに、制御装置を計測・管理ユニットに、調査機器孔内部をメンテナンスユニットに、ケーブルドラムをケーブルドラム搭載ユニットタイプⅠ及びⅡに搭載し、一般公道を自走できる構造とした。また、発電機を昇降ユニットに搭載し、全システムの駆動電力を賄えるようにした。

(2) 調査機器挿入・回収作業の効率化

昇降ユニットに搭載した昇降装置は油圧モータを使用し、0.1～5.0m/minの間で昇降速度を制御できるようにした。

(3) 抑留した調査機器の回収

異常時昇降装置を昇降ユニットに搭載した。この装置は下端に調査機器を接続したロッド、またはケーシングをクランプした状態で昇降動作と回

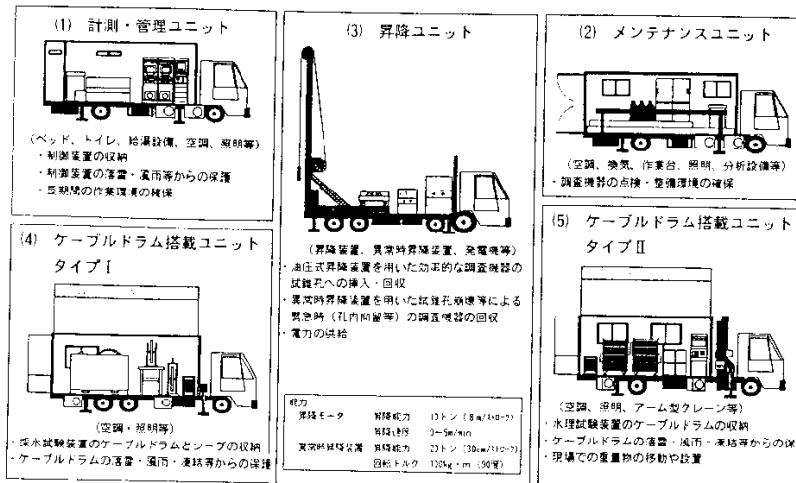


図1 地下水調査用移動式支援システムの構成

転動作を同時に行える。クランプ力20トン、引き上げ力10トン、回転トルク50kg・mの能力を有する。

(4) 現場での点検・整備環境の確保

調査機器の点検・整備を迅速に行える作業空間をメンテナンスユニットに確保した。このユニットは、温度・湿度を安定するための空調設備及び機器の水平レベルを保持するための作業台等を有している。また、ケーブルドラム搭載ユニットタイプⅡと背面結合することにより約10mまで作業スペースを拡張できる。

(5) 調査機器の保護

制御装置を計測・管理ユニット、調査機器孔内部をメンテナンスユニット、ケーブルドラムをケーブルドラム搭載ユニットタイプⅠ及びⅡに収納した。収納した調査機器を落雷及び風雨から保護するため、ユニットは外板材で全面外装し、また多湿及び凍結から保護するため、ユニット内部には空調設備を設置した。

(6) 24時間の調査体制に向けた作業環境の確保とデータの収集

現場スタッフが数カ月連続して調査に従事し、24時間体制で調査機器を監視できるように計測・管理ユニットにベッド、トイレ、給湯設備等の簡便な居住設備を搭載した。また、ユニット内部には調査機器の制御装置を収納し、長時間連続してデータを収集できるようにした。ユニットは外板材で全面外装し、その内部には空調設備を設置しているため、制御装置を落雷、風雨、多湿、凍結から保護できる。

4. 現場適用試験

(1) 試験目的

製作した調査支援システムと水理試験装置または採水装置を組合わせ、実際の調査を模擬した試験を現場環境で実施することにより、システムの各ユニットが備える機能の実用性の確認及びその試験結果等をもとに、今後の改善点を抽出することを主題とした。

具体的な機能確認項目は以下の4項目である。

- ① 試錐やぐらは用いず、昇降装置により調査機器を効率的に試錐孔へ挿入・回収できること
- ② 地盤から受ける電氣的ノイズ、落雷等による異常電圧及び湿潤環境が計測機器へ及ぼす影響等を排除し、現場調査が効率的かつ確実に行えること
- ③ 現場設置、騒音、排気ガスが現場の周囲に与える影響の程度を把握すること
- ④ 昇降装置と試錐やぐらを併用して、調査機器を試錐孔へ挿入・回収できること

(2) 試験環境

この試験では、実際に調査支援システムが用いられると考えられる2つの現場環境を想定して試験を進めた。一つは現場に試錐やぐら及び調査設備が設置されている場合、もう一つは設置されていない場合である。よって、目的の機能確認項目が異なり前者では確認項目の④、後者では①、②及び③を対象とした。

(3) 試験内容

現場適用試験は計3回実施した。

第1回は水理試験装置用ロッド、第2回は水理

試験装置、第3回は採水装置を調査支援システムと組み合わせて試験を行った。表1に現場適用試験の詳細を示す。なお、第3回試験では、第1回及び第2回の使用地は他の試験により使用されていたため、試験場所を変更した。

(4) 試験現場レイアウト

3回の現場適用試験は、それぞれ現場環境と調

表1 現場適用試験の詳細

	第1回試験	第2回試験	第3回試験
1)実施内容	試験やぐらを使用して水理試験装置用ロッド5本の挿入・回収作業のみを行う。	試験やぐらが無い状態で水理試験装置用ロッド37本(185m分)と水理試験装置を深度200m付近まで挿入して実際にデータを収集後、回収する。	試験やぐらが無い状態で採水装置用ケーシングパイプ105本(313m分)と採水装置を深度330m付近まで挿入して実際に地下水を採取後、回収する。
2)試験期間	平成9年2月12日～2月14日	平成9年3月3日～3月14日	平成9年11月14日～11月28日
3)試験場所	岐阜県土岐市泉町 定林寺若人の丘 入口東側200m DH-1号孔	岐阜県土岐市泉町 定林寺若人の丘 入口東側200m DH-1号孔	岐阜県土岐市泉町 定林寺 動態事業団 土岐分 室前 DH-5号孔
4)使用機器	移動調査システム 昇降ユニット(3号車) ケーブルドラム搭載ユニットタイプII(5号車)	移動調査システム 計測・管理ユニット(1号車) メンテナンスユニット(2号車) 昇降ユニット(3号車) ケーブルドラム搭載ユニットタイプII(5号車)	移動調査システム 計測・管理ユニット(1号車) メンテナンスユニット(2号車) 昇降ユニット(3号車) ケーブルドラム搭載ユニットタイプI(4号車) ケーブルドラム搭載ユニットタイプII(5号車)
	水理試験装置用ロッド5本	水理試験装置用ロッド37本	採水装置用ケーシングパイプ105本

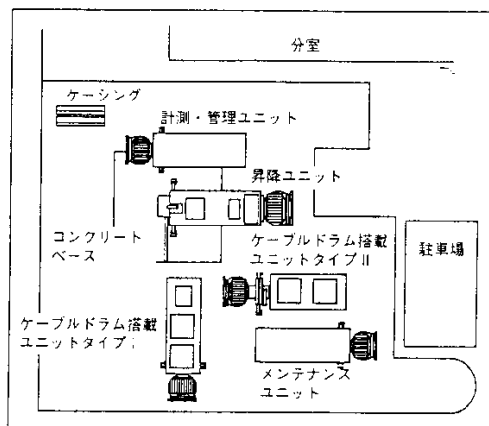


図4 第3回試験の現場レイアウト

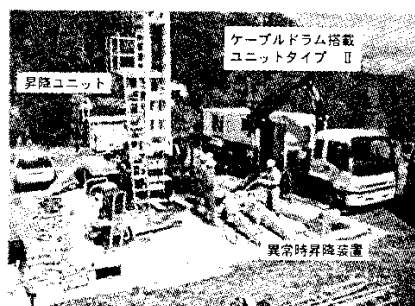


写真1 第2回試験の現場状況

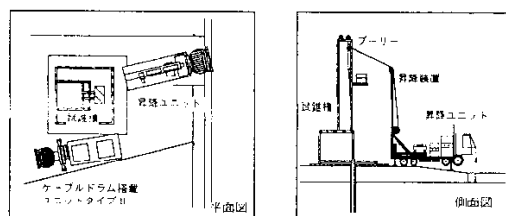


図2 第1回試験の現場レイアウト

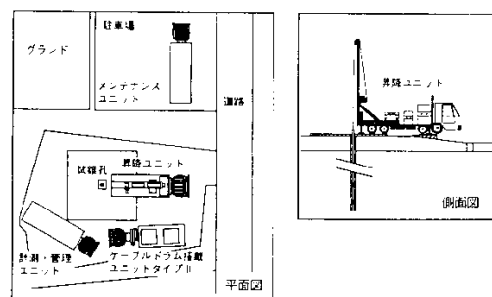


図3 第2回試験の現場レイアウト



写真2 第3回試験の現場状況

査支援システムの使用ユニット数及び配置が異なる。図2に第1回、図3に第2回、図4に第3回試験の現場レイアウトを示す。また、写真1に第2回、写真2に第3回試験の現場状況を示す。

5. 試験結果

前述の試験目的に示した4つの機能確認項目内

でさらに詳細な機能確認項目28項目を試験実施前に設定した。その中から主要な項目とその試験結果を以下に示す。

(1) 調査機器挿入作業の効率と安全性

1) 試験内容

昇降装置を用いて、調査機器のロッドまたはケーシングを効率的に試錐孔へ挿入できることを確認する。また、設計時に定めた、調査を安全に進めるために必要な8.0m以上の作業空間が確保されているとともに、昇降装置にセットされた高所作業足場でのロッドまたはケーシングの芯だし作業が安全かつ確実に実施できることを確認する。

2) 試験結果

昇降装置に油圧モータを使用したため、昇降の速度変化が大変スムーズであった。特に、最低速度は最適であり、効率的にロッドまたはケーシングの連結作業ができた。つり下げ空間は約8.6mを確保でき、高所作業足場からロッドまたはケーシングまでの距離も50cm以下で安全に作業できた。写真3に第2回試験での昇降装置の周囲状況を示す。

(2) 調査機器挿入作業の作業性

1) 試験内容

孔内部を試錐孔に挿入する際は、つり下げ荷重に関わらず昇降速度を、安全に作業を進めるために設計時に定めた0.1~5.0m/minの範囲で制御できることを確認する。



写真3 第2回試験での昇降装置の周囲状況

2) 試験結果

最大荷重(約750kg)にて最低速度(0.1m/min)と最高速度(5.0m/min)で運転したが、いずれも問題はなくスムーズに昇降作業を行うことができた。

(3) 調査機器の回収

1) 試験内容

設置した異常時昇降装置を用いて、下端に調査機器を接続したロッドまたはケーシングの回収が実際にできることを確認する。

2) 試験結果

実際に抑留した状況は作れないので、下端に調査機器を接続したロッドまたはケーシングを異常時昇降装置を用いて回転後35cm引き上げるとい動作を2回実施した。これにより回転トルクと引き上げ力を制御しながら調査機器を回収する動作の確認ができた。写真4に第3回試験での異常時昇降装置の試験状況を示す。

(4) 安定した電源の供給

1) 試験内容

昇降ユニットに搭載した発電機から各ユニットに安定した駆動電力の供給、及び各ユニットに搭載した機器が正常に作動する電力の供給が行われることを確認する。

2) 試験結果

昇降ユニットに搭載した発電機から各ユニットに給電し現場調査を実施したが、発電機によるノイズあるいは供給した電力の使用による搭載機器

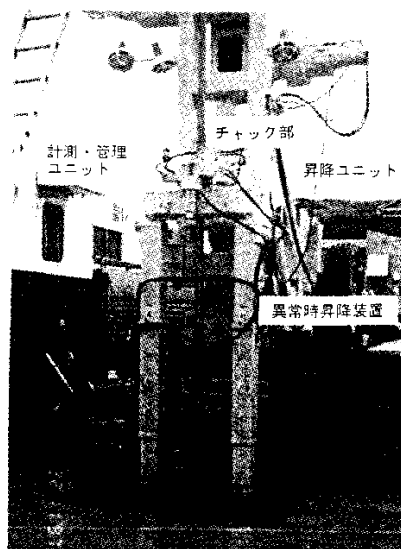


写真4 第3回試験での異常時昇降装置の試験状況

の異常は認められなかった。

(5) 調査機器の保護

1) 試験内容

搭載された調査機器が風雨等の外部環境から確実に保護されることを確認する。

2) 試験結果

第2回試験では2日、第3回試験では5日小雨が降ったが、調査機器及び各ユニットに風雨等の影響は見られなかった。

(6) 搭載設備によるノイズの発生

1) 試験内容

発電機及び各ユニットに搭載した設備（空調機、燃焼トイレ、照明等）の作動により、調査機器のデータや制御にノイズ信号が発生しないことを確認する。

2) 試験結果

昇降ユニットの昇降装置及びその他ユニットの空調機、照明を同時に運転し、最も負荷のかかる状態で調査を実施したが、調査機器のデータや制御にノイズ信号や異常は確認されなかった。

図5に調査機器データの1例として、水理試験装置挿入過程の水圧観測結果を示す。絶対圧力計は、挿入深度によって変化する試験区間の静的圧力を測定し、2つの差圧計は、水理試験の実施によって変化する微小な圧力を高精度に測定するものである。

採水試験でも調査機器の異常は発生せず、採水装置の機能確認に最低必要と判断した数値（連続採水1時間で5ℓ、パッチ式採水1回で0.5ℓ程度）以上の地下水を採取した。

(7) ユニットの機動性

1) 試験内容

各ユニットの切り返し運転を行い、予定された設置位置に正確に配置できることを確認する。

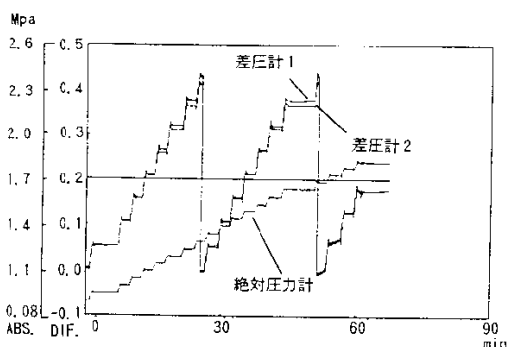


図5 水理試験装置挿入過程の水圧観測結果

2) 試験結果

数回の切り返し運転で、予定された設置位置にユニットを配置できた。ただし、昇降ユニット後部の位置決め治具を試錐孔の口元直上へ正確に配置しなければならないため、昇降ユニット位置の決定に15分程度の時間を要した。

(8) 騒音及び排気ガスによる環境への影響

1) 試験内容

発電機と各ユニットのエンジンを作動させ現場の騒音及び排気ガスを測定し、環境への影響の程度を確認する。

2) 試験結果

騒音は、騒音規制法の「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準（境界線85dB以下）」以下であった。

排気ガスは、大気中に窒素酸化物濃度を計測したが、国が定める環境基準値である「1時間値の1日平均値が0.04ppmから0.06ppmのゾーン内または、それ以下であること」の範囲内に収まっていることを確認した。

(9) 試錐やぐらへの昇降装置ワイヤー掛け

1) 試験内容

設置されている試錐やぐらのブーリーに昇降装置のワイヤー掛けをできることを確認する。

2) 試験結果

地上約12mの試錐やぐらブーリーに昇降装置ワイヤーを掛けることはできた。写真5に試錐やぐらを用いた試験状況を示す。

(10) 試錐やぐらを用いた挿入・回収作業

1) 試験内容

昇降装置と試錐やぐらを組み合わせて、ロッドを試錐孔に挿入・回収できることを確認する。

2) 試験結果

ロッドの挿入・回収はできたが、昇降装置がユニットに固定されているため昇降装置と試錐やぐらブーリー中心の位置合わせが困難であった。



写真5 試錐やぐらを用いた試験状況

6. 評価

3回の適用試験における機能確認項目に関する評価は以下のとおりである。

(1) 昇降装置だけの調査機器の挿入・回収

試錐やぐらは用いず、昇降装置により調査機器を効率的に試錐孔へ挿入・回収できることについては、当初の目的を達し、実際の現場で十分に能力を発揮することを確認した。特に、油圧モータによる微低速昇降（0.1m/min）の安全性は非常に優れたものであり、試錐機を使用した場合に比べ、より安全に調査機器の孔内部等を試錐孔へ挿入・回収できた。また、孔口周り及び高所作業足場には十分な作業空間があり、安全に作業できることを確認した。

ただし、作業効率の向上を考えると、高速昇降の速度を安全上問題のない、現在の約2倍に引き上げることが望まれる。

(2) 現場調査の効率性・確実性

地盤から受ける電氣的ノイズ、落雷等による異常電圧及び湿潤環境が計測機器へ及ぼす影響等を排除し、現場調査が効率的かつ確実にできることについては、第1回試験では2日、第2回試験では5日雨が降っただけで、落雷等の過酷な自然現象は発生しなかったが、地盤そのものや発電機等による電氣的ノイズ、あるいは電力の供給による影響は認められなかった。これらにより、調査支援システムを用いた水理試験装置及び採水装置の作動については、従来の商用電源による試験と同等の信頼性があると判断できる。

(3) 環境影響の把握

現場設営、騒音、排気ガスが現場の周囲に与える影響の程度を把握することについては、現場設営に関し、試験前に予定したレイアウトどおりに配置できた。ただし、設営時間の短縮を考えると、昇降ユニットの位置決め作業の簡素化が今後望ま

れる。

騒音及び排気ガスに関しては、基準値内に収まっていたが、今後も様々な立地条件下で調査支援システムを運用させることを想定し、現場ごとに法規・条例に基づいた計測方法で収集したデータを基準値と比較検討していく必要がある。

(4) 昇降装置と試錐やぐら併用での調査

昇降装置と試錐やぐらを併用して、調査機器を試錐孔へ挿入・回収できることについては、現場に試錐やぐらが存在する場合でも、調査支援システムを用いて現場調査が行えることを確認できた。ただし、本来の設計では考慮されていない使用方法であるので、試錐やぐらブーリーの高さやサイズ等の使用条件について詳細な検討が必要である。また、「昇降装置と試錐やぐらブーリー中心の位置合わせが困難」等の課題も抽出されており、今後の改善が必要である。

7. おわりに

当初の仕様を満たす調査支援システムの製作を完了した。また、第1回試験では水理試験装置用ロッド、第2回試験では水理試験装置、第3回試験では採水装置を用いて調査支援システムの実用性を確認できた。

今後は、今回の試験結果を加味して本システムの性能の吟味及び改善を進めて行く。ただし、この開発期間中も地下水調査機器を用いた調査は進められており、同システムが必要となった場合は適用試験を兼ねて随時調査に使用していく予定である。

参考文献

- 1) 豊嶋賢治、小笠原正裕 他：「移動調査システムの第1回現場適用試験」, PNC TN7410-98-001, (1998)。