

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 975 Dec. 2000

地盤環境モニタリングコーンの開発

織	田	幸	伸
渡	部	要	一
土	田		孝

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 装置の構成と測定方法	4
3. 現地性能確認実験	6
3.1 対象地盤	6
3.2 計測項目と計測結果の概要	7
4. 採水性能の比較	13
5. 結論	14
6. あとがき	14
参考文献	15

Development of a Geo-environmental Cone Penetrometer

Yukinobu ODA*
Yoichi WATABE**
Takashi TSUCHIDA***

Synopsis

As a provisional monitoring device for geo-environmental aspect, a new-type of geo-environmental cone penetrometer is designed in this research. It consists of electrical conductivity (EC) sensor, pH sensor, water absorber and conventional CPT equipment. EC is continuously measured with depth. The value of pH is measured by absorbing water into the device. And using the same mechanism of absorbing water, it is also possible to pump up the water around the cone to the ground level.

Because the water sampling port is set at the distance of 60cm above the CPT equipment, the ground water can be absorbed and collected efficiently with detecting the sandy permeable layer simultaneously.

Key Words: geo-environment, geotechnical survey, monitoring, cone penetration test, waste disposal area, groundwater sampling

* Corporation for Advanced Transport & Technology

** Senior Research Engineer, Soil Mechanics Laboratory, Geotechnical Engineering Division

*** Chief of Soil Mechanics Laboratory, Geotechnical Engineering Division

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-468-445021 Fax : +81-468-444577 e-mail : watabe@ipc.phri.go.jp

地盤環境モニタリングコーンの開発

織 田 幸 伸*
渡 部 要 一**
土 田 孝***

要 旨

環境問題に対する社会的関心の高まりとともに、廃棄物処分場の周辺や工場敷地等の地盤環境の保全・浄化技術に対する要請が強くなっている。このような技術を活用するには、まず現状地盤の環境情報を正しく取得する必要がある。地盤環境を計測する技術は、ボーリングにより土を採取して分析する方法、あるいは井戸等により土中水を採取して分析する方法が主なものである。しかしながら、これらの方法は全てボーリング作業を伴うため、計測には多くの時間と費用を要する。地盤内に汚染物質等が拡散している可能性がある場合、空間的な汚染物質の広がりを調査するためには、多くの計測点を必要とするため、これらの方法は現実的でない。

そこで本研究では、地盤環境を簡易に計測する装置として、地盤環境モニタリングコーンを開発した。本装置は、先端に三成分コーンを配し、電気伝導度およびpHの各センサーと、採水装置を組み合わせたコーンである。比抵抗は、貫入中の全ての深度で連続的に計測される。pHは、任意の深度で貫入を停止し、土中水をコーン内部に採水して計測する。また同じ採水機構により、地上まで土中水を吸い上げることが可能である。効率的に土中水を採水するには、事前調査により採水が可能な砂分の多い層を把握する必要があるが、本装置では、先端に設置した三成分コーンにより、砂分の多い層を確認しながら採水が可能のため、効率良く土中水を採水することが可能である。

キーワード：地盤環境，地盤調査，モニタリング，廃棄物処分場，コーン貫入試験，土中水サンプリング

* 運輸施設整備事業団派遣研究員

** 土質部主任研究官

*** 土質部土性研究室室長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 運輸省港湾技術研究所

電話：0468-44-5021 Fax：0468-44-4577 e-mail：watabe@ipc.phri.go.jp

1. まえがき

近年の環境問題に対する社会的関心の高まりとともに、廃棄物処分場の周辺や工場敷地等の地盤環境の保全・浄化技術に対する要請が強くなっている。これらの技術を有効に活用し、この様な社会要請に対処するためには、まず現状の地盤環境情報を正しく把握する必要がある。特に、廃棄物処分場建設用地の確保が難しい我が国では、止水性の高い護岸構造を採用した海面埋立型の処分場を建設せざるを得ない状況にあり、このような処分場ではもともと海水が存在しているために地下水位が高いため、溶出する可能性のある汚染物質の拡散をモニタリングする必要がある。

地盤環境情報を得るための技術としては、ボーリング調査により土を実際に採取してこれを分析する方法、あるいは井戸等を設置して土中水をモニタリングする方法、実際に土中水を採取してこれを分析する方法などが考えられる。しかしながら、これらの方法は全てボーリング作業を伴うため、地盤環境情報を得るまでに多くの時間と費用が必要となる。地盤内に汚染物質等が拡散している可能性がある場合には、その拡がり三次元的に把握する必要がある。また、現時点での汚染物質の分布を効率的に精度良く把握し、その将来の拡がり予測することも重要である。そのためには、多くの調査地点が必要となることから、時間・費用の両面から考えて、前出の方法は汚染物質の有無を判断する場合には適用できても、その拡がり調査する場合には実用的であるとは言い難い。地盤中の不透水性粘性土層、透水性の高い砂層等の分布についても地盤情報を得る必要がある。ボーリングを伴う従来の方法よりも経済的に、しかも効率的な地盤環境情報を得るための装置の開発が求められている。

土を連続的に採取する方法としては、オールコアボーリングが最も一般的である。これと併用して、あらかじめ真空状態にした採水管を孔底に貫入することによって土中水を採取するBATシステム(友清ら, 1998)が開発され、実用化されている。しかしながら、一般に浚渫土砂、建設廃材、焼却灰などを埋め立てた廃棄物処分場では、透水性が低い粘土層と透水性が高い砂層が複雑に堆積して互層となっていることが多い。したがって、BATシステムの採水管を貫入した場合に、たまたま採水口の位置が砂層内にあれば採水は容易にできそうであるが、たまたま粘土層になってしまった場合には採水不可能ということにならざるを得ない。透水性の高い層が広く厚く分布している場合では問題とはならないが、透水性の高い層と低い層が複雑に互層になっている場合には、採水可能か

どうかは偶然性に支配される。

本研究では、廃棄物処分場のように砂層と粘土層が入り交じったような複雑な地盤の土質調査を行って、地盤条件の三次元的な拡がり効率よく把握し、さらに透水性の高い層を探して土中水を採取する装置の開発を試みた。ボーリング調査に比べて比較的簡易に地盤情報を得る方法としてコーン貫入試験があり、欧米を中心に広く利用されている。通常行われるコーン貫入試験では、先端抵抗、間隙水圧、および周面摩擦の三成分が計測される。一方、コーンを用いた地盤環境の計測装置としては、電導コーン(比抵抗コーン)が既に開発・利用されている(福江ら, 1998)。比抵抗コーンでは、汚染物質が既知の場合には、電気伝導度と汚染の濃度を関連づけることにより、汚染の程度を知ることが可能であるが、汚染物質が未知の場合には、その汚染物質が何かを特定することはできない。廃棄物処分場において、汚染物質の種類

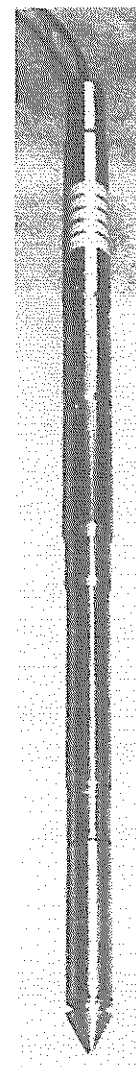


写真-1 地盤環境モニタリングコーン

を同定し、その濃度を詳細に調査するためには、土中水を採取することが理想的である。土中水を採取することが可能なコーン装置については、これまでもいくつかの開発、および適用事例の結果が報告されている (Brandl et al., 1997)。本研究で開発を試みた装置 (写真-1) は、地盤情報を得るための三成分コーンと、採水機能とを併用することにより、採水可能な透水性の高い砂層を探しながら効率的に土中水の採取ができるように工夫されている。

2. 装置の構成と測定方法

本研究で新たに開発した地盤環境モニタリングコーンのプローブを図-1に、計測可能項目を表-1に示す。本装置は基本的に二つの部分から構成されている。先端部分には、通常の土質調査で用いられている三成分コーンが取り付けられており、先端抵抗、間隙水圧、周面摩擦を計測することにより、地盤強度、ダイレイタンス特性、土質種類などの情報を得ることができる。これより上の部分は、地盤環境情報を得るための部分となっており、4つの電極により電気伝導度 (EC) の計測ができるようになっている。また、装置中央付近には採水口が配置されており、ここから土中水を採取することができる。コーン先端からECセンサーまでは900mm、採水口までは630mmそれぞれ離れている。プローブ内の採水経路にはpHセンサーと温度計が取り付けられており、温度補正を行ってpHの計測が可能である。コーン貫入中に、先端抵抗、間隙水圧、周面摩擦、電気伝導度の4成分の計測は可能であるが、土中水のpHは、貫入を停止し、土中水を採水口からコーン内部に吸引することによって可能となる。

コーン本体を制御し、データの記録ならびに採水操作を行うための地上システムを図-2に示す。コーン貫入試験では、計測のための各種ケーブルをロッド内に通すため、ケーブルは細く、フレキシブルでなければならないが、同時に防水性があり、かつ耐久性の高さが要求される。特に、本装置のように採水のためのチューブもロッド内に通さなければならない場合には、ケーブル数を減らす何らかの工夫が必要となってくる。本装置では、各種センサーからの電気信号は、コーンに内蔵のアンプにより周波数別に変換され、1本のケーブルで地上まで伝達されるようになっている。この電気信号は地上のコンピュータでモニターされ、自動記録される。

コーン本体の採水口のバルブは地上からチューブを介して送られる空気圧で遠隔制御される。本装置は現時点では開発段階にあるため、バルブ操作は全て手動制御で

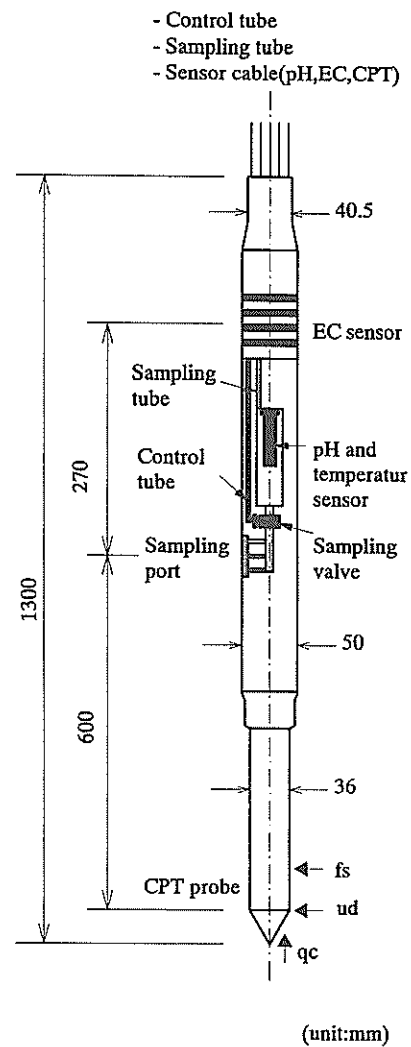


図-1 地盤環境モニタリングコーンの構成図

表-1 地盤環境モニタリングコーンの計測項目

三成分コーン	採水回路	EC 電極
先端抵抗qc 周面摩擦抵抗fs 間隙水圧ud	pH, 水温 地上への採水	電気伝導度

行われるが、これに関しては自動化の余地が多く残されている。土中水の採取は以下の手順で行う。

- ① 採水口のバルブを閉じた状態で、先端抵抗、間隙水圧、周面摩擦、電気伝導度の4成分を計測しながら、コーンを採水予定深度まで貫入する。
- ② 土中水採取を予定している深度近傍で、先端抵抗が大きく間隙水圧が小さな砂層を探し、その深度から630mmさらに貫入して採水口がちょうどその深度に達したところで貫入を停止し、バルブを開いて採水を開始する。採水

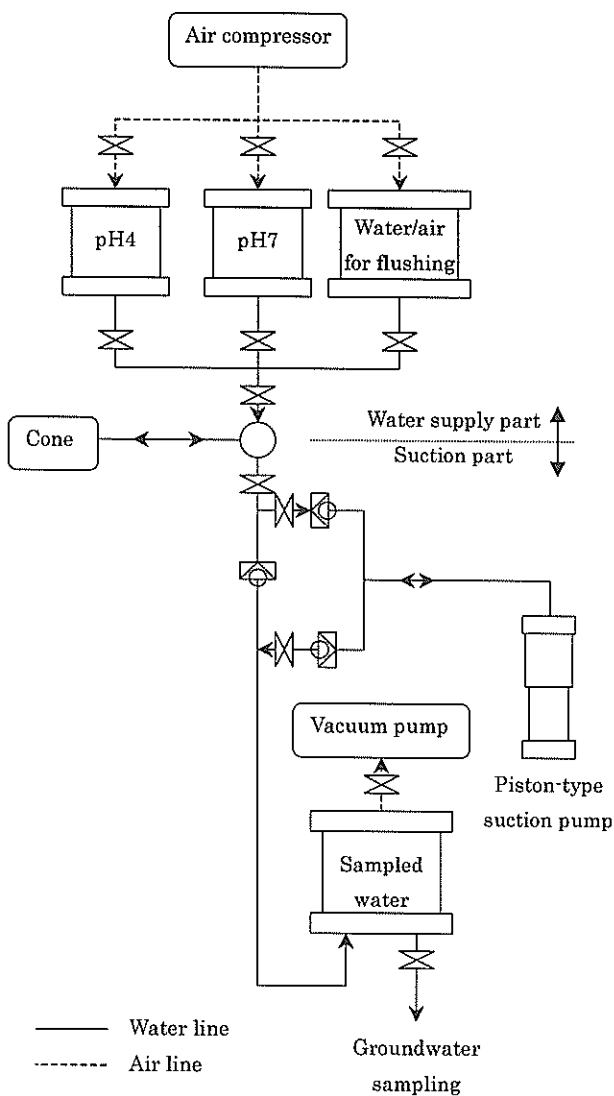


図-2 モニタリングコーンの地上部操作装置

は採水管の内部を減圧することによって行い、採取した水は地上に設けたタンクに貯蔵される。このとき、最初に採水した水はあらかじめコーン内部に溜まっていた水であるため、これを廃棄する。

- ③ 採水終了後、採水管から水あるいは圧縮空気を逆流させ、採水口フィルターの目詰まりを洗浄する。
- ④ 採水口のバルブを閉じ、次の採水予定深度まで、先端抵抗、間隙水圧等をモニターしながら貫入する。
- ⑤ ②～④の操作を繰り返す。

計測結果として、先端抵抗、周面摩擦、間隙水圧、電気伝導度の四成分が貫入方向の連続データとして得られる。また貫入を途中で停止し採水した深度毎に、pHの値が得られ、これと同時に、化学分析用に土中水を採取することができる。

3. 現地性能確認実験

本研究では、砂層、粘土層が複雑に互層となって埋め立てられている海面埋立廃棄物処分場において、地盤条件を調査し、かつ汚染物質の分析のための土中水の採取を効率よく行うための手段を開発することを目的としている。そこで、実際の海面に建設された廃棄物埋立処分場において性能確認実験を行った。当該廃棄物処分場の埋立は、数年前に終了している。性能試験は処分場内計3ヶ所(No.1～No.3)で行った。

廃棄物処分場の埋立は、粘性土や砂層が複雑に混ざり合う浚渫土砂、ガラが混入した建設残土、ゴミの焼却灰などが互層になった地盤であるため、性能試験を行うのに先駆け、事前にオールコアボーリング調査を行い、目視により土質性状を把握した。今回開発した地盤環境モニタリングコーンによる調査では、三成分コーンにより地盤性状を調べながら採水を行うため、事前のボーリング調査は本来必要ないが、未知の地盤に対する性能試験を効率よく行うために、事前にオールコアボーリングを行うことにした。なお、BATシステムでは、ボーリング孔底を利用して採水を行うため、事前調査として実施したオールコアボーリングと同時にBATシステムによる採水も併せて行った。

3.1 対象地盤

調査地点は河口に位置する。当地は、かつて水深0～10m程度の遠浅の海で、洲が発達していた。原地盤表層付近の地質は、表層が砂～シルト(洲を構成)、以深が堆積されたシルト～粘性土となっている。軟弱な沖積層は、TP-60m付近まであり、埋没河岸段丘ではTP-20m付近までとなっている。

当該廃棄物処分場は、締め切り工により埋め立て処分場内を管理型と安定型に分割している。今回調査を実施した計測点はそれぞれ、管理型処分場(No.1)、管理型に近接した安定型処分場(No.2)、海に面した護岸近傍の安定型処分場(No.3)に位置する。

当地周辺の埋立が計画されたのは明治41年であり、実際には大正2年から埋立が開始されている。調査地点は昭和40年までに概ね現在の形状となった。本調査では、3地点において機械ボーリングを延70m実施した。各点のボーリング調査数量は表-2の通りである。結果を以下に記す。

No.1

No.1は調査ヤード中北方に位置し、管理型処分場の中央付近である。

表-2 ボーリング調査数量

地点 No.	機械ボーリング (m)	地盤高TP (m)
1	15.0	+4.675
2	15.0	+3.913
3	40.0	+5.146
計	70.0	

ボーリング調査の結果によれば、表層は粘性土が主体で、これに廃棄物等が混入したものである。この下 (GL-1.1m~-1.5m) にコンクリート塊が表れ、以深は埋土層となる。埋土層は、GL-14.85m (TP-10.18m) まで続いている。埋土の材料は、砂、粘土に廃棄物、泥岩塊、焼却灰などが混入されたものである。GL-14.85m (TP-10.18m) 以深がシルトとなり、これが原地盤である。

No. 2

No. 2は、No. 1の南に位置する、管理型処分場との境界に近い安定型処分場内に位置する。

ボーリングの結果によれば、地表面よりGL-15.00m (TP-11.09m) までが埋土である。埋土材料は、No. 1と同様に砂、粘土に廃棄物、泥岩塊、焼却灰などが混入されたものである。GL-15.00m (TP-11.09m) 以深はシルト層となり、原地盤である。

No. 3

No. 3はNo. 2の東に位置し、安定型処分場の海よりに位置する。

ボーリング調査の結果によれば、GL-39.50m (TP-34.35m) までが埋土である。埋土の材料は、砂、粘土に廃棄物、泥岩塊などが混入されたものである。これ以深が原地盤のシルトである。

No. 1~No. 3において、埋土層厚が最も大きいのはNo. 3であり、約40mに達している。No. 1とNo. 2とは同程度となり、約15mである。材料は3地点ともほぼ同様で、砂、

粘性土に廃棄物、泥岩塊、焼却灰が混入したものである。ただしNo. 3においては焼却灰が確認されなかった。各々のボーリング位置では、埋土材料ごとに層分けを行ったが、これが水平方向に連続性のあるものとは考えられない。

3地点において、深度は異なるが、埋土層下に原地盤が表れている。原地盤は、粘性の強い、軟らかいシルトであり、有楽町層に相当するものと考えられる。

3.2 計測項目と計測結果の概要

実験は、各計測点で地盤環境モニタリングコーンによる計測を行い、比較対象としてBAT地下水モニターシステムによる採水、比抵抗コーンによる電気伝導度計測を行った。それぞれの調査数量を表-3に、計測結果の概要を以下に示す。

(1) 地盤環境モニタリングコーン

地盤環境モニタリングコーンの調査では、連続貫入試験と採水試験を実施した。貫入中の連続データとしてコーン先端抵抗 q_p 、周面摩擦力 f_s 、間隙水圧 u_p および電気伝導度ECを計測し、採水試験では間隙水圧 u_p 、水素イオン濃度pH、電気伝導度ECと温度Tempを時系列で計測した。各地点における調査結果を以下に示す。なお、採水試験結果の詳細については、別途BAT地下水モニターシステムの試験結果と比較し後述する。

No. 1

地点No. 1における地盤環境モニタリングコーン貫入試験はGL-18.0mまで、採水試験は5深度で実施した。

貫入試験においてはGL-9.0~-12.0mとGL-14.5~-16.5mまでは粘性土を示しており、貫入試験において間隙水圧 u_p が小さい個所で採水を実施した。採水試験はNo. 1-①~⑤ (表-4参照) の5ヵ所で行い、採水深度はGL-5.15、-7.15、-12.90、-14.30、-17.35m、採水量はそれぞれ1700cc、180cc、420cc、730cc、410ccであった。採水方

表-3 各計測項目の調査数量

地点 No.	地盤環境モニタリングコーン		比抵抗調査 (m)	BAT 地下水 採水点数 (個所)	備考
	連続貫入 (m)	採水点数 (個所)			
1	18.0	4	18.0	3	管理型区域
2	18.0	3	18.0	3	安定型区域 (内陸部)
3	25.0	6	25.0	5	安定型区域 (沿岸部)
計	61.0	12	61.0	10	—

法は地上からの真空方式で行った。

No. 2

地点No. 2における地盤環境モニタリングコーン貫入試験はGL-18.0mまで、採水試験は3深度で実施した。

貫入試験においてはGL-11.0mまで粘性土を示しており、それ以深では砂質土を示し、GL-15.0~17.5mまでは粘性土、GL-17.8m付近では砂質土を示す。採水試験はNo. 2-②~④の3ヶ所、採水深度GL-11.47、-13.35、-17.60mで実施し、採水量はそれぞれ650cc、900cc、80ccであった。採水方法は地上からの真空方式で行った。

No. 3

地点No. 3における地盤環境モニタリングコーン貫入試験はGL-25.0m付近まで、採水試験は6深度で実施した。

貫入試験において、GL-16.0mまでは砂質土と粘性土の互層を示し、それ以深では粘性土を示している。GL-23m付近では砂質土を示している。採水試験はNo. 3-①~⑥で、採水深度はGL-6.10、-7.20、-11.95、-13.90、-15.70、-22.70mで、採水量はそれぞれ1050cc、2800cc、400cc、770cc、940cc、1300ccであった。採水方法はNo. 3-①、②では吸引ポンプ方式、No. 3-③~⑥では真空方式で行った。

図-3に各計測点における土質柱状図、ならびに先端抵抗、過剰間隙水圧、周面摩擦、電気伝導度の深さ方向の変化を示す。ただし、図-1に示したように、ECセンサーとコーン先端は900mm離れているため、図-3の電気伝導度の計測結果は深度を補正している。No. 1, No. 2では、表層から2~3mまでは、コンクリート片などが混入しており、コーンの貫入が不可能と判断されたので、事前に深度3m付近までプレボーリングを行ってから貫入試験を行った。ボーリングを伴うBATシステムによる採水では、大きなガラが混入したような地盤であっても調査可能であるが、本研究で開発した地盤環境モニタリングコーンでは、このような場合には調査不能とならざるを得ず、事前に調査可能な深度までプレボーリングを実施しておくなどの工夫が必要となる。コーン先端抵抗が大きく、間隙水圧が小さくなっている深度と、土質柱状図の比較的砂分の多い層は対応しており、このとき、電気伝導度は小さくなっている。一般に、砂の間隙率は粘土の間隙率よりも小さいので、内部に含まれる水の成分が同じであれば、砂の方が比抵抗は大きく、その逆数である電気伝導度は小さくなると言われているが、計測結果はこれに対応していることが確認できる。

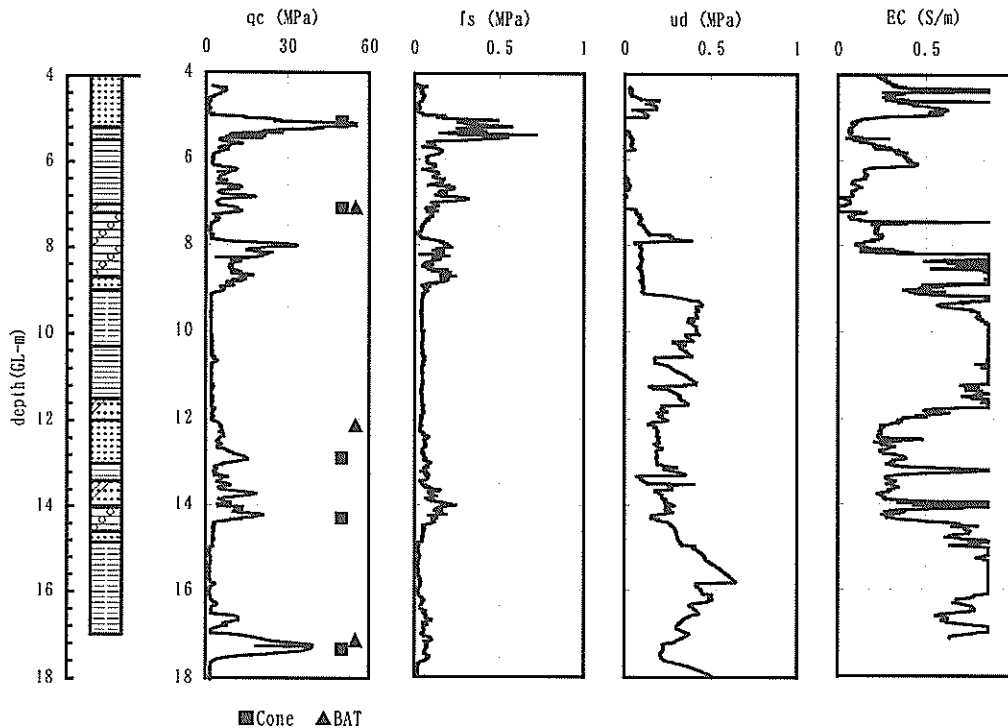


図-3 (1) 地盤環境モニタリングコーンの計測結果 (計測点No. 1)

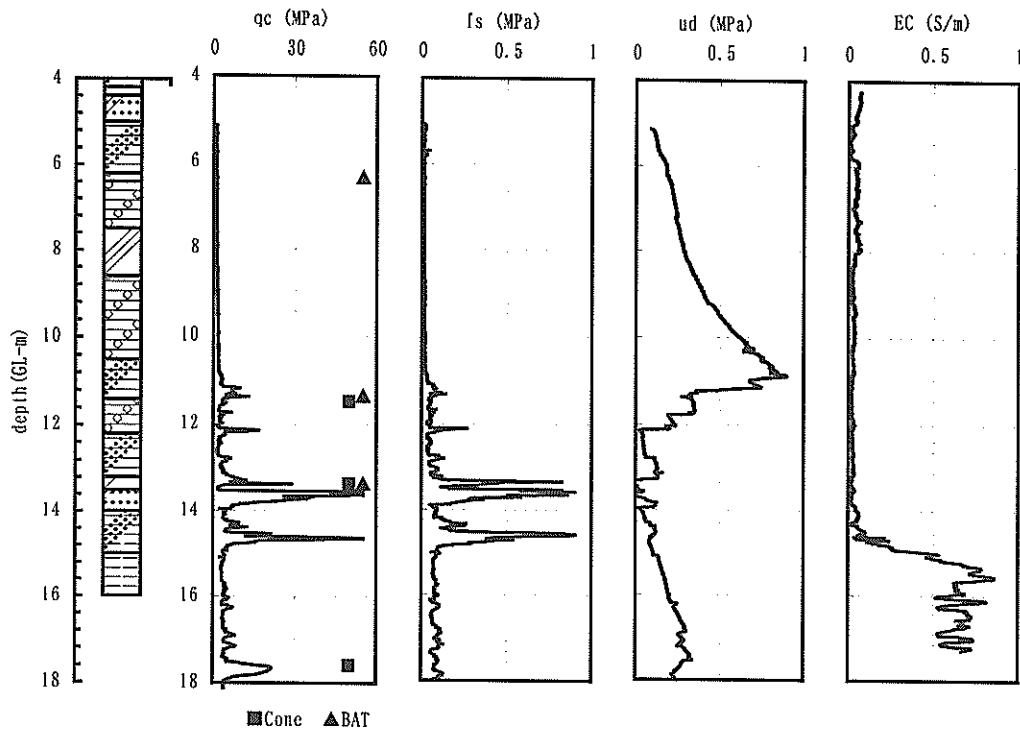


図-3 (2) 地盤環境モニタリングコーンの計測結果 (計測点No.2)

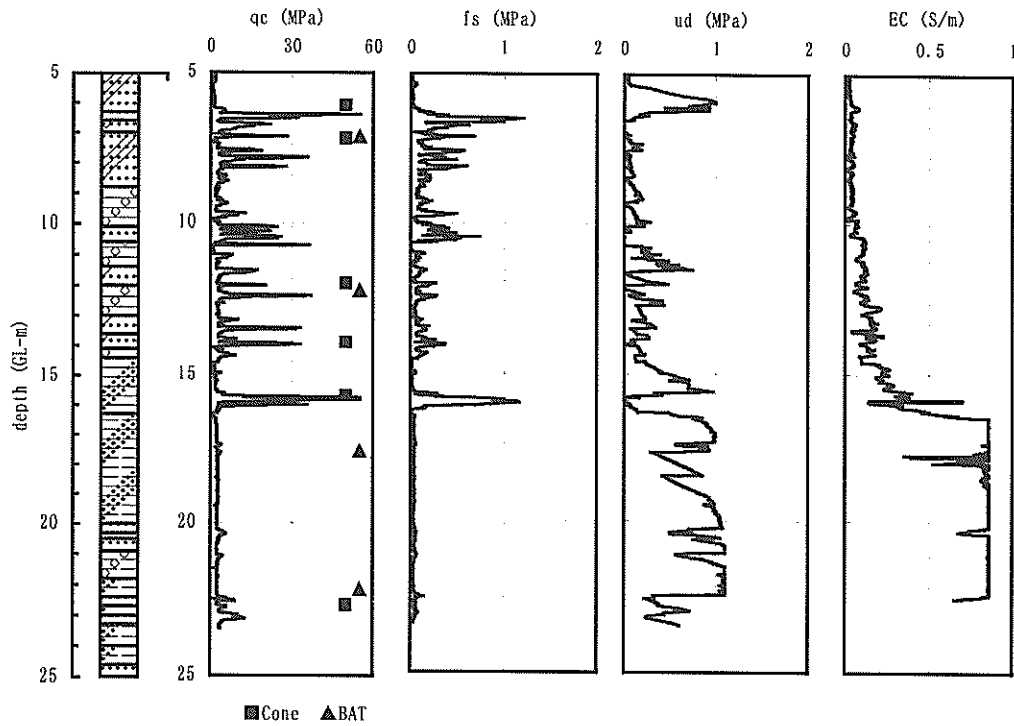


図-3 (3) 地盤環境モニタリングコーンの計測結果 (計測点No.3)

(2) 比抵抗コーン

比抵抗調査は、地盤中の含水変化やその土性状態をリアルタイムに測定するもので、一般的に電気コンダクティビティー試験（EC試験）と呼ばれる。

調査方法は、4極の電極を取り付けた電気比抵抗コーン（写真-2）を押し込み機により地盤中に圧入し、地盤の比抵抗をリアルタイムに測定するものである。電極間隔は1cmで、サンプリング間隔1cmで実施した。

比抵抗コーンによる調査結果と前述した地盤環境モニタリングコーンで測定した電気伝導度（EC）の逆数を比較したものを図-4に示す。測定は、表層部4.0m付近までコンクリート片や角礫等の混入によりコーン圧入が不可能であったため、ボーリングにより掘削しそれ以降の調査を実施した。各地点における調査結果を以下に示す。

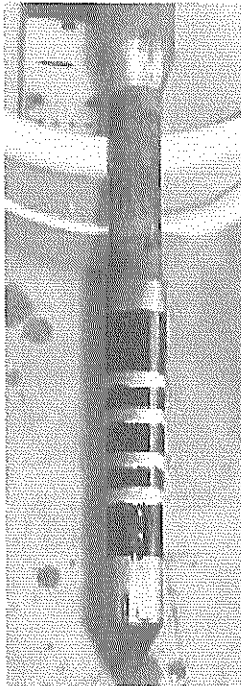


写真-2 比抵抗コーン

No. 1

地点No. 1は管理型区域で、比抵抗調査はGL-18.0mまで実施した。予備調査によるボーリング調査結果では、GL-4.0mまではコンクリート塊等を含み、それ以降降焼却灰を主体とする砂～礫混じり砂～粘性土で、GL-15.0m以深では均質なシルト層であった。比抵抗調査ではGL-5.0～-9.0mまでは概ね10.0～100Ω・mの値を示し、GL-9.0～-11.0mまでは4.0Ω・mと比較的小さな値を示す。また、GL-11.0～-15.0mまでは再び10.0～100.0Ω・mと高い値でバラツキがみられ、それ以深では5.0Ω・m、さらにGL-17.0m以深では2.0Ω・mと低い値を示す。

No. 2

地点No. 2は安定型区域の内陸部に位置し、比抵抗調査はGL-18.0mまで実施した。予備調査によるボーリング調

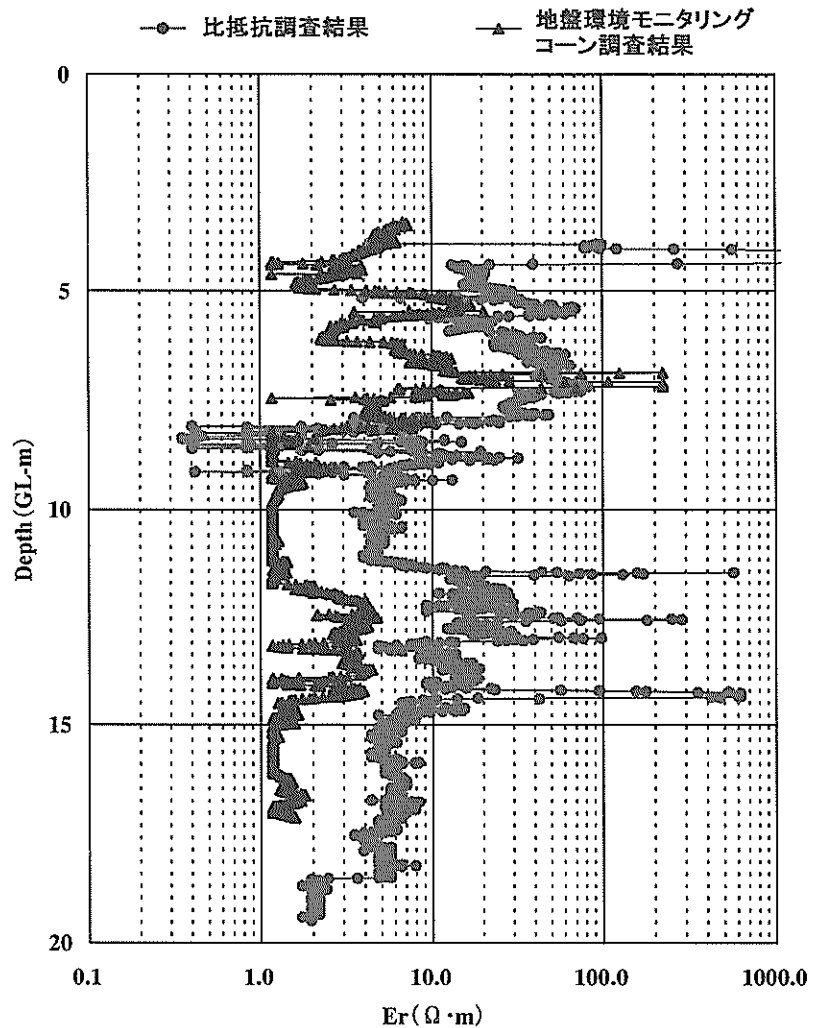


図-4 (1) 比抵抗計測結果（計測点 No.1）

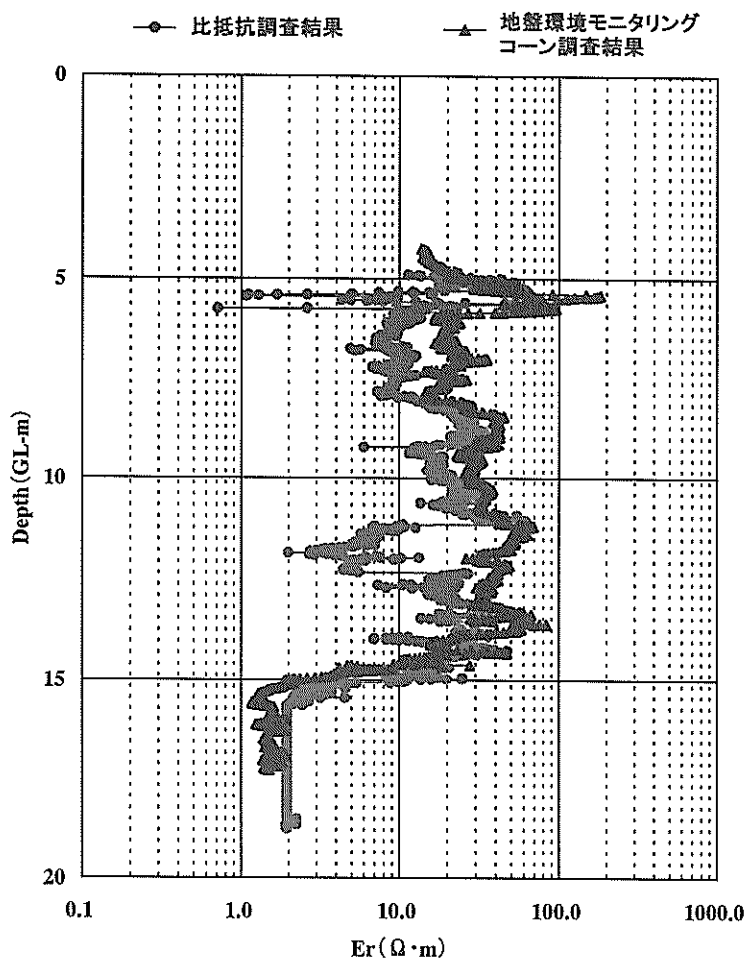


図-4 (2)比抵抗計測結果 (計測点 No.2)

査結果では、No.1同様GL-4.0m付近まで粘性土主体でコンクリート塊、礫等を多く含み、それ以降は粘性土と砂質土の互層で、GL-15.0m以深では均質なシルト層である。比抵抗調査では、GL-15.0mまでは所々 (GL-12.0m前後) で低い値を示すが、概ね10.0~100.0Ω・mの値を示し、それ以深では2.0Ω・m前後の一定な低い値を示す。

No. 3

地点No. 3は安定型区域の沿岸部に位置し、比抵抗調査はGL-25.0m付近まで実施した。予備調査によるボーリング調査結果では、GL-5.0m付近まで砂質土主体で礫を多く含み、それ以深度では所々に貝殻片や角礫、木片等を含むが粘土と砂の互層である。GL-16.0m付近から均質なシルト層である。比抵抗調査ではGL-16.0m付近までバラツキが大きく徐々に比抵抗が小さくなる傾向にある。それ以深では概ね2.0Ω・mと一定な値を示す。

比抵抗調査では、砂質土では50~1,000Ω・m以上の高い値を示すが、粘土、シルト層では10Ω・m以下の低い値を

示す。調査結果からGL-15.0m付近を境に比抵抗の値に違いが見られ、埋土と原地盤の境であると考えられる。

比抵抗コーンと地盤環境モニタリングコーンの計測結果を比較すると、計測点No.1で両者の値がシフトしているものの、その他の計測点では良く一致している。No.1でもその形状は良く一致しており、両者の計測結果がシフトしている理由として、モニタリングコーンのゼロ位置がずれていた可能性が考えられる。モニタリングコーンは全長が長く、電気伝導度のキャリブレーションを行う上で技術上の問題があり、この点は今後の改良課題である。

各計測点での計測結果から分かるように、土質が変わると電気伝導度も大きく変化する。一様な地盤と予め判断される場合には、比抵抗コーンを用いた電気伝導度の測定結果を基に、汚染物質の拡散範囲を明らかにすることも可能であり、実際に既に実用化されている。しかし、廃棄物処分場の埋立地盤では、粘土層と砂層が複雑な互

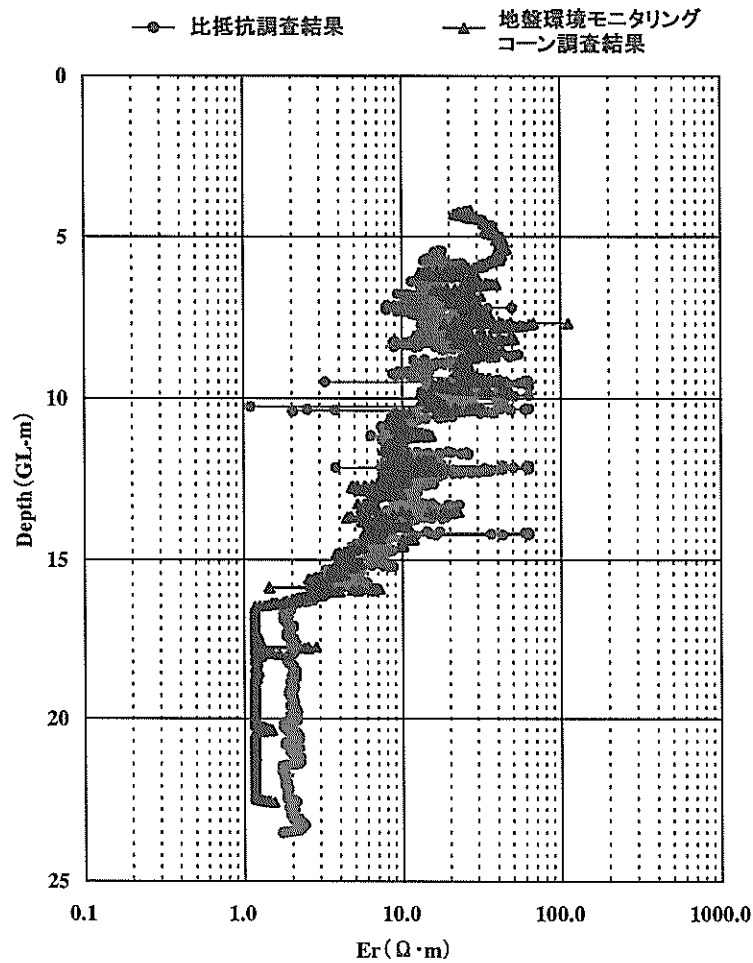


図-4 (3)比抵抗計測結果 (計測点 No.3)

層になっているため、このような場合には特に、電気伝導度の情報だけでは十分な地盤環境情報ということではできない。このような地盤では、実際に地下水を採取し、別途屋内試験により成分分析を行う必要がある。この場合、いかにして効率良く地下水を採取するかが重要となる。

(3) BAT地下水モニターシステム

BAT地下水モニターシステム(図-5)は、ボーリング孔を使用して所定深度の地下水を採取するものである。地下水採取方法は、ボーリングにより掘削された孔内にBATシステムを挿入し、先端のフィルターチップを介して装置上部に取付けてある採水容器を真空圧にすることにより地下水を採取するものである。

BAT地下水採取調査では、前述のボーリング孔を使用して、所定深度の地下水採取を実施した。採水深度、採水量、採水時間等を地盤環境モニタリングコーンの実験結果と比較して表-4に後述する。

なお、BAT地下水モニターシステムでは、装置内の圧力

の時間変化を計測することにより、原地盤の透水係数を求めることが出来る。そこで参考のため k_1 、 k_2 の2種類の透水係数を求めた。ここで、 k_1 は初期の圧力をもとに計算しているため、透水係数は時間とともにだだらかに変化するが、初期段階の乱れを含んでいる。 k_2 は隣り合う2つの圧力変化から計算され、すべての点で初期の乱れを含んでいない。

各地点の結果を以下に示す。

No.1

地点No.1では、3深度(GL-7.15、-12.15、-17.15m)について実施し、透水試験はGL-7.15、-17.15m深度で行った。なお、GL-7.15mでは、2回にわたり採水を実施した。

採水量はNo.1-②、No.1-③、No.1-⑤で、それぞれ220cc、490cc、10ccである。

BAT透水試験から得られた透水係数は、No.1-②では、概ね $k_1=3.0 \times 10^{-8}$ cm/s前後の一定な値を示すが、 k_2 の場合

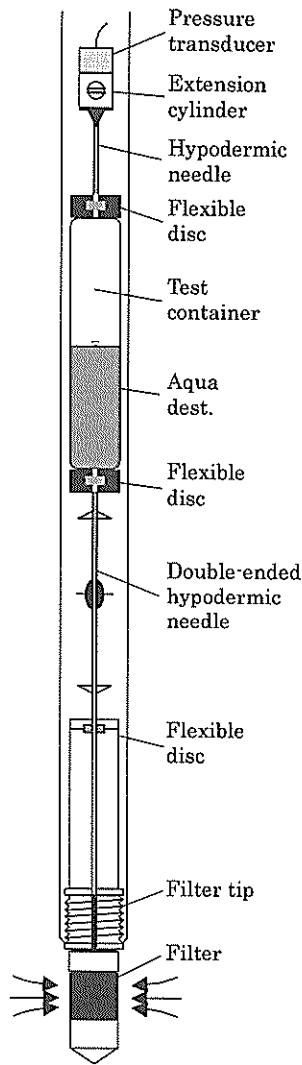


図-5 BAT地下水モニターシステム

は採水時間とともに値が小さくなる傾向にある。No. 1-⑤では、 k_1 、 k_2 ともに安定した透水係数を示す範囲は同じで、概ね 3.0×10^{-7} cm/s前後を示す。

No. 2

地点No. 2では、3深度（GL-6.35、-11.35、-13.35m）で実施し、透水試験はGL-6.35、-11.35mで行った。

採水量は、No. 2-①、No. 2-②、No. 2-③で、それぞれ90cc、325cc、350ccである。

BAT透水試験から得られた透水係数は、No. 1-①では、採水量も少なく、容器内の圧力が上昇しなかったため、透水係数を得ることは困難であった。No. 2-②では、 $k_1 = 5.0 \times 10^{-8}$ cm/s前後を示し、 $k_2 = 1 \sim 2 \times 10^{-7}$ cm/sの値を示している。

No. 3

地点No. 3では、5深度（GL-7.15、-12.20、-17.60、-22.20、-31.75m）で実施し、透水試験はGL-22.20、-31.75mで行

った。

採水量は、No. 3-①では採水出来なかったが、No. 3-③、⑤、⑥、⑦では、それぞれ65cc、220cc、530cc、520ccの採水量であった。

BAT透水試験から得られた透水係数は、No. 3-⑥では容器内圧力が急激に上昇したため、透水係数を求めることは困難であった。No. 3-⑦における透水係数は、 k_1 、 k_2 ともに同様な値を示し、概ね 1.6×10^{-7} cm/sの値を示す。

4. 採水性能の比較

本装置は、コーン貫入試験中に計測される先端抵抗、間隙水圧、周面摩擦、電気伝導度の計測により、砂層の存在を確認し、その深度において化学分析用に土中水を採取することができる。そこで、本装置の大きな特徴の1つである採水機能の性能試験結果について、BATシステムによる採水試験の結果と比較し、それぞれの採水方法の長所・短所、適用限界について考察する。

表-4に、地盤環境コーンの性能試験における採水深度と採水量を、BATシステムの結果と比較して取りまとめた。また前述の図-3には、地盤環境コーンによる採水深度、ならびにBATシステムによる採水位置も併せて示してある。なお、地盤環境コーンによる採水位置とBATシステムによる採水位置は水平方向に約1m離れている。BATシステムの採水装置は、ボーリング孔底にフィルターを設置し、そこに予め真空状態にしてある採水管を下ろして採水するため、採水深度は事前に決定してボーリングを行っておく必要がある。効率良く採水を行うためには、透水性の高い層で採水を行う必要があるが、廃棄物処分場では、粘性土層や砂混じり層がサンドイッチ状に不規則に存在しているため、あらかじめ砂層の位置を把握することは困難であり、砂分の多い層で採水できるかどうかは不確実である。これに対し、本装置では、採水口より630mm下の三成分コーンによってこの砂分の多い層を探りながら採水位置を決定することが出来る。今回の性能試験では、地盤環境コーンによる採水もBATシステムとほぼ同じ深度で行ったため、採水深度は必ずしも砂分の多い層と一致してはいない。しかし、例えばNo. 3深度7.2m付近では、わずか50mmの採水深度の違いで採水量が大きく異なっており、三成分コーンにより砂層を探しながら採水を行うことにより、効率の良い採水が可能であることがわかる。

表-4に示した性能試験結果から、ほぼ同一深度における地盤環境コーンとBATシステムによる採水量の関係、ならびに時間採水量の関係を図-6、図-7にそれぞれ示す。なお、地盤環境コーンでは、大きなタンクを使った場合、

表-4 地盤環境モニタリングコーンとBAT式の採水性能比較

計測点	地盤環境モニタリングコーン				BAT式				
	採水深度 (GL-m)	採水量 (cm ³)	採水時間	時間採水量 (cm ³ /h)	採水深度 (GL-m)	採水量 (cm ³)	採水時間	時間採水量 (cm ³ /h)	
No. 1	①	5.15	1700	14時間40分	116				
	②	7.15	180	5時間10分	35	7.15	220	16時間55分	13
	③	12.90	420	20時間20分	21	12.15	490	18時間48分	26
	④	14.30	730	42時間32分	17				
	⑤	17.35	410	25時間00分	16	17.15	10	18時間44分	1
No. 2	①					6.35	90	16時間34分	5
	②	11.47	650	47時間00分	14	11.35	325	18時間48分	17
	③	13.35	900	20時間20分	44	13.35	350	18時間47分	19
	④	17.60	80	24時間45分	3				
No. 3	①	6.10	1050	0時間30分	2100				
	②	7.20	2800	1時間25分	1976	7.15	0	16時間33分	0
	③	11.95	400	16時間15分	25	12.20	65	19時間10分	3
	④	13.90	770	2時間10分	355				
	⑤	15.70	940	21時間44分	43	17.60	220	18時間47分	12
	⑥	22.70	1300	16時間20分	80	22.20	530	22時間48分	23
	⑦					31.75	520	16時間31分	31

採水量に上限はないが、BATシステムでは容積約500cm³の採水管を用いたので、約500cm³が採水量の上限であるので注意が必要である。このことを考慮しても、地盤環境コーンの方がBATシステムによる採水よりも効率が良いことがわかる。これは、先にも述べたように砂層を確実に探しながら採水深度を決められるからであると考えられる。

なお、本研究は、運輸施設整備事業団の「運輸分野における基礎的研究推進制度」により行われた研究成果の一部である。

(2000年8月31日受付)

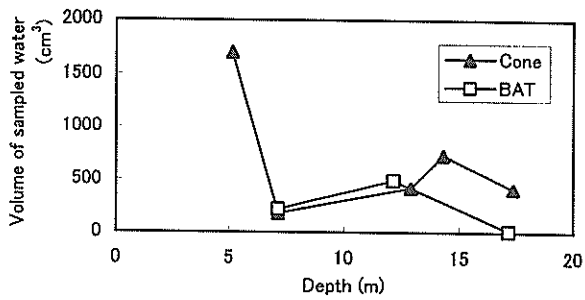
5. 結論

地盤の環境情報を簡易に計測するための装置として、地盤環境モニタリングコーンを開発した。本装置は、先端の三成分コーンにより透水性の高い層を探りながら採水位置を決定するため、効率の良い採水が可能である。

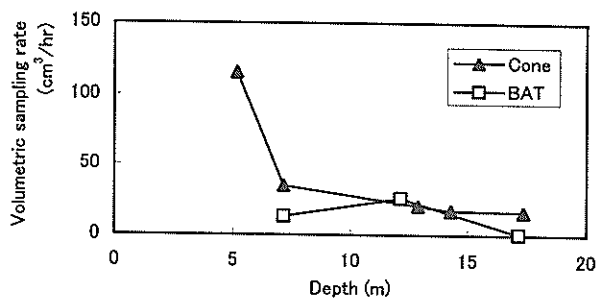
また、電気電導度は砂分の多い層で小さくなり、透水性の高い層を検知するのに有効であることが分かった。

6. あとがき

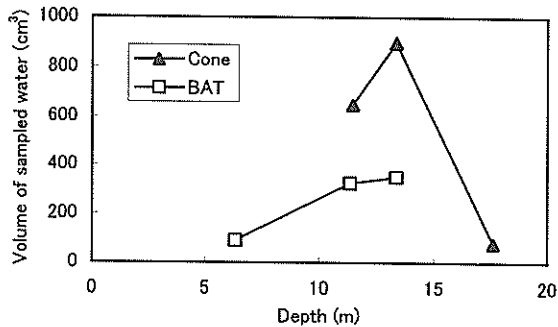
現在、現地性能実験により得られた結果をもとに改良を加えた試作機の2号機を製作中である。今後、本装置を用いた現地性能実験を実施し、広域の地盤環境を効率良く取得するための貫入位置や採水深度の配置等について検討する予定である。



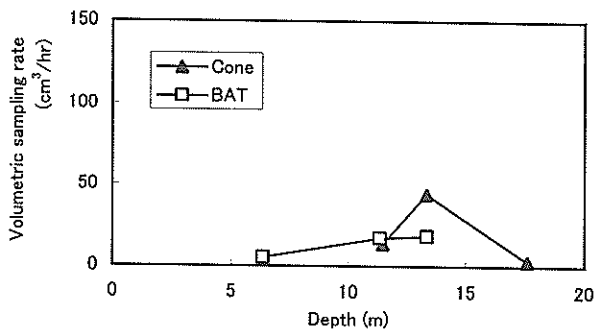
(a) No.1



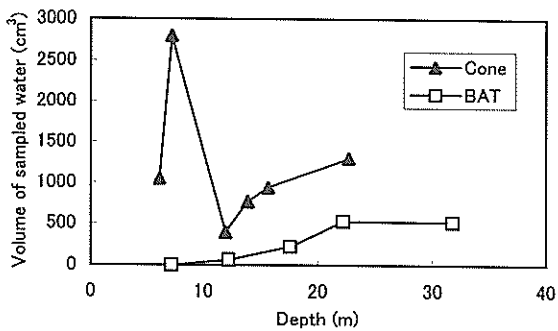
(a) No.1



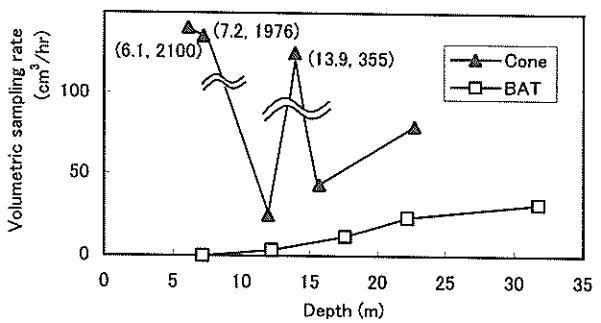
(b) No.2



(b) No.2



(c) No.3



(c) No.3

図-6 採水量の比較

図-7 時間採水量の比較

参考文献

友清 悟ら(1998): BATシステムによる簡易土中有毒ガス調査法の開発, 第33回地盤工学研究発表会, pp.315-316.
 福江正治ら(1998): 電導コーンの開発とその応用, 土木

学会論文集No.596/111-43, pp.283-293.

H.Brandl and P.K.Robertson (1997): Geo-environmental site investigation, specification and characterization, *Environmental Geotechnics*, pp.1345-1374.

港湾技研資料 No.975

2000.12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 阿部写真印刷株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan

Copyright ©(2000)by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。