ボアホール蓄熱システムにおける地盤調査要素技術のFS研究

(株)ダイヤコンサルタント　正会員　○細野高康
川崎地質(株)　橋本直樹
(株)大林組　正会員　桑原 徹
(財)エンジニアリング振興協会　田中俊博

1 はじめに

近年、地球温暖化防止を目指した炭酸ガス排出抑制型社会への転換が世界的な課題となっており、自然エネルギー源の多様化・有効利用が求められている。自然エネルギー源の一つとして地下蓄熱がある。地下蓄熱技術は、北欧・中欧・北米において確立されつつある技術で、一般的には、夏季に発生する温排熱を貯蔵して冬季の暖房熱源に利用し、逆に冬季の冷熱を貯蔵して夏季の冷房熱源に利用しようとするもので、個建住宅から大型ビル、地域冷暖房用と幅広く導入が進められている。

地下蓄熱の中でもボアホール蓄熱は、地中に削孔されたボアホール中に熱交換パイプを挿入し、これを介して熱のやりとりを行うものである。欧米の大型ビルや地域冷暖房用としては、ボアホール（φ150㎜程度）の深度が50m～200m程度で、数十～数百本が削孔されている。本研究は、我が国におけるボアホール蓄熱技術の確立ために、欧米の均質な地盤と異なる日本の地盤特性を反映した調査要素技術に関して、フィージビリティスタディを行ったものである[1),2)]。

2 開発すべき要素技術の抽出

ボアホール蓄熱における地質条件としては、地盤中に蓄熱した熱が逸散しないという観点から、地下水流速が20m/年（約6.3 x 10^{-5} cm/sec）以下の不透水層～難透水層、および削孔コストの面から砂礫層を含まないような均質地盤、軟質地盤が望ましいとされている。また蓄熱に伴う地盤のモニタリング技術の開発が望まれている。ここでは以下の４項目を開発すべき要素技術とした。

(1)地下水の流向流速測定の高精度化
(2)原位置地盤の熱伝導率測定手法
(3)地盤・ボアホールの温度計測システム
(4)維持管理が容易な長期観測システム

なおここでは、事業用地を最大10,000m²、調査対象深度を最大150m、地盤の種類としては第四紀層地盤および第三紀層の軟岩を対象として、要素技術を検討した。

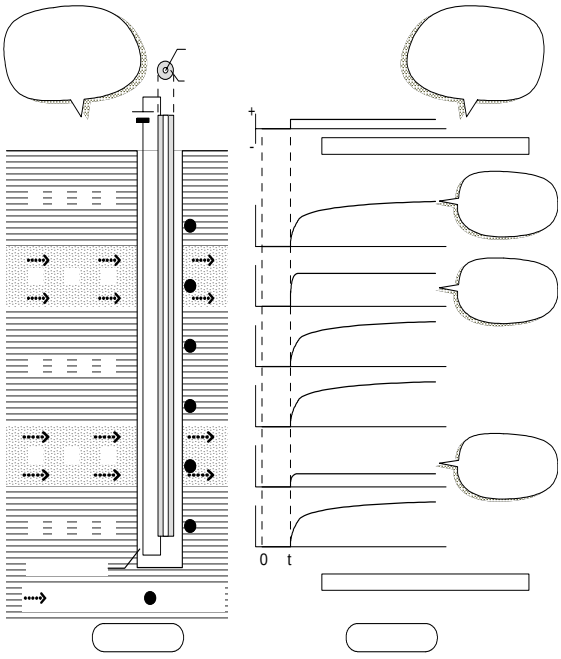
3 調査結果

3.1 地下水流向流速測定システム

10^{-5}cm/secオーダーの単孔式流向流速計はすでに開発されているが、ここでは精度向上・作業の高効率化を目指して光ファイバーセンサーを併用した自己発熱型多点流速測定システム（図－１）の検討を行った。これは流水中の自然温度とヒーターによる加熱後の平衡温度を光ファイバーセンサーを利用して連続的に計測し、深度毎の流速を求めるシステムである。ヒーターとしては温度測定用光ファイバーをステンレス被覆し、これに電流を流し加熱する。ヒーターの効率化を目指して各種タイプも検討した。

一方でやや広い範囲を対象にして、新型トレーサーによる適用性の拡大を検討した。分析手法（一般的/特殊, 安価/高価）、測定場所（現地/室内）、測定システム（自動/手動）、環境への影響（有/無）等の総合的な判断から、臭素イオントレーサーを抽出し、プローブ用電極の可能性を確認すると供に、基本的な機器構成を検討した。

地下水流向流速の調査は地盤蓄熱の評価上、重要な事項である。しかし調査範囲を考えると地下水位分布・動水勾配などから間接的ではあるが流向流速を把握し、必要に応じて流向流速検層・トレーサー試験により直接的に流向流速を評価するという２段階の調査手法が適切と考えられる。



図－１ 光ファイバーによる多点流速測定システム

キーワード：地球温暖化防止、地下蓄熱、ボアホール蓄熱、地盤調査、光ファイバー温度計測
〒330-8660 埼玉県大宮市吉野町2-272-3、(株)ﾀﾞｲﾔｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ ｼﾞｵﾃｸﾆｶﾙ事業、048-654-3128(TEL), -3178(FAX)

3.2　原位置地盤の熱伝導率測定システム

原位置の熱伝導率測定技術として、従来対象外であった深度数m～100m程度を対象とした計測システムを検討した。熱源の形態としては円筒熱源・線熱源・リング型熱源・点熱源が考えられるが、これらの中で図－２の線熱源方式（孔壁タイプ）と点熱源（孔底タイプ）について詳しく検討した。前者は削孔終了後連続的に測定可能であるが，孔壁状態が測定精度に大きな影響を与える。後者はセンサーと地盤の密着性や解析上有利であるが，測定毎に削孔が必要となる。前者での熱伝導非定常解析については，通常の熱線法を改良した「ボックスプローブ法」（QTM式プローブ）[3]により可能と結論した。

3.3　地盤・ボアホールの温度計測システム

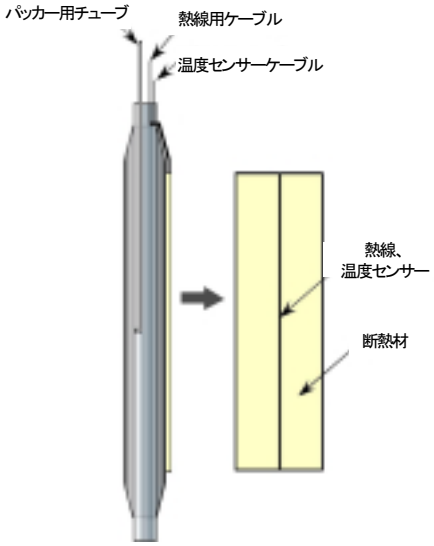
維持管理における熱の回収効果や拡散現象を把握するために、長期耐久性のある光ファイバー温度センサーを利用した地中地盤での３次元的な温度モニタリングシステムを検討した。またThermal Response Testとの組み合わせや熱交換パイプの挿入されたボアホールでの計測を考慮すると、充填材の違いにより要求精度が異なるが、現状でも測定可能であることを確認した。

表－１ 光ファイバー温度センサーによる測定仕様

	既往システム	要求仕様	
ﾎﾞｱﾎｰﾙ(熱交換ﾊﾟｲﾌﾟ)の充填		水	土壌・ｸﾞﾗｳﾄ材
温度分解能	0.1℃	0.1℃	0.5℃
距離分解能	25cm/8km 布設	測定対象のモデル次第	
ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞﾀｲﾑ	60 秒	＜１時間	１時間程度

3.4　長期耐用型地下水・地温観測システム

目詰まりのしにくい、インクラステーション（スケール・水あか等）の除去が可能、センサーの交換が可能といった維持管理が容易な長期耐用型の観測システムを検討した。ベースとしては、岩盤用のピエゾメーター方式によるパッカー内蔵型多段式間隙水圧測定装置を適用したが、第四紀層地盤への適用性とともに温度計測も併せて行うシステムも検討した。すなわち沖積・洪積地盤の場合、ボーリング孔の孔径が変化しパッカーによる遮水が困難になる場合も想定されるために、ピエゾの測定システムを生かしながら、遮水区間の遮水構造をセメントミルク・ベントナイト等の充填材で構築し、内部に光ファイバー温度センサーを挿入しながら、多区間の間隙水圧モニタリングを可能にするものである。



図－２ 原位置熱伝導率測定システム

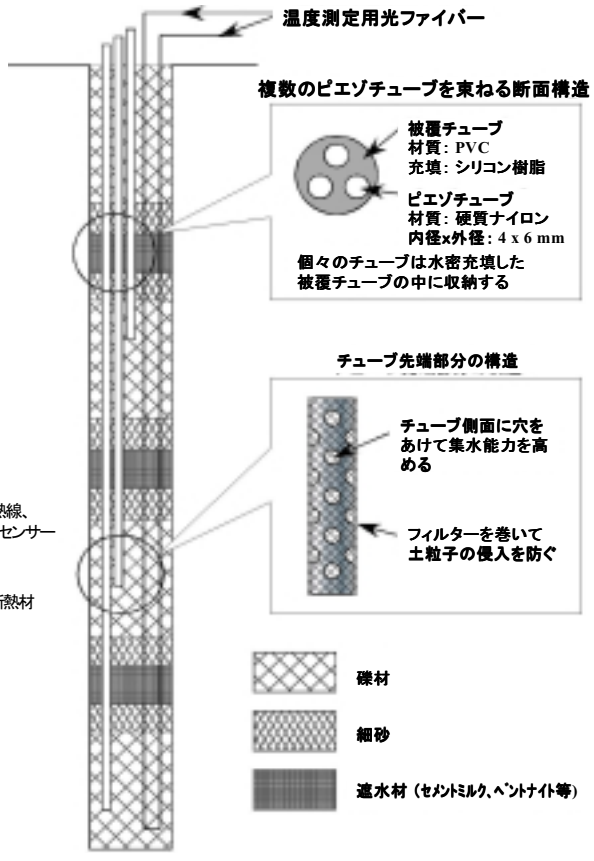
4　おわりに

以上の要素技術は、概念構築から開始したものから既往のシステムを改善展開したものまで各種あるが、今後の実施設計と原位置実験により、さらに課題の克服とシステムの検証を行う必要がある。蓄熱システムにおけるこれらの要素技術の位置づけは別の報告[4]に示すが、位置づけ自体も検討の進展に伴い変化してきたといえる。

なお、本研究は、通産省工業技術院ニューサンシャイン計画における「地中地盤蓄熱システム技術先導研究開発」（平成 11 ～ 12 年度）を、(財)エンジニアリング振興協会地下開発利用研究センターが受託し実施した研究の内の、ボアホール蓄熱技術における「地質特性把握のための要素技術の開発手法の検討」の一部である。発表の機会を与えて頂いた関係各位の方々に御礼申し上げます。

参考文献

1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構、(財)エンジニアリング振興協会：平成11年度依託業務成果報告書「地中地盤蓄熱システム技術先導研究開発」、pp.191 ～ 215，2000.
2) 同上：平成12年度依託業務成果報告書「地中地盤蓄熱システム技術先導研究開発」、2001.
3) 炭窯貞夫、荒川美明：迅速熱伝導率計、計測技術、Vol.4, no.4, pp.60-66, 1976.
4) 桑原、細野、橋本、田中：ボアホール蓄熱システムにおける地質・地盤調査体系のFS研究、土木学会第56回年次学術講演会講演集、第VII部門、2001.



図－３ 長期耐用型観測システム