

地下水調査のための観測孔の 仕上げ方マニュアル(案)

Ver. 2015. 8 月

地温調査研究会

「地下水調査のための観測孔の仕上げ方」検討委員会

はじめに

地下水が関与している地盤災害・地下水汚染などの諸現象を的確に解明するためには、まず、できる限り精度の高い地下水情報(水位・水質・地下水の流動層・流向流速)を収集する必要がある。この地下水情報を得るためにはボーリングによる地下水観測孔の設置が必要であり、観測孔の仕上がりの良し悪しによって、地下水情報の結果に大きく影響を与えることとなる。

しかるに、地下水調査のための観測孔仕上げの現状はどうなっているか?現地調査を行っている際に経験した事例を、以下に示す。

■事例その1

ある砂質地盤のトンネル調査で多点温度検層を実施したときのこと。掘削深度は80mというので、100m用センサーを持参してボーリング孔内に挿入した。すると50mまでしか入らない。しかも、間詰は行ってないようで、保孔管がグラグラしている。聞くとところによると、保孔管にはフィルターを巻いていないようで、保孔管を振るとザラザラと音を立てて地盤を構成している砂が孔内を降下している。「50mしかセンサーが入らないと、初期の目的を達成することができないのでは?どうしましょう?」と言うと、「これでいいですから取りあえず測定して下さい」と言われた。どうも、保孔管にフィルターを巻いたり、間詰の材料や、それを投入したりすることに関わる費用をボーリング施工業者に支払っていないため、彼らはボーリングの孔を決められたとおりに掘削すると、80m分保孔管を挿入して引き上げてしまったようだ。

このようにトンネル調査でありながら、トンネルの対象となる深度で調査が実施できない状態である。調査の目的を把握しているのであろうか?これでは調査を実施している意味がない。地下水調査を行うのであれば、調査の目的、観測孔仕上げ方法、間詰の方法に、もっと神経を使うべきではないか?これでいいのか?という疑念を抱かざるを得ない。

■事例その2

先日ある産業廃棄物処分地で多点温度検層と流向流速測定を実施したときのこと。ボーリング孔は保孔管開口率が10%あり、間詰もしっかり行われていた。このボーリング孔を使って、地下水流動層を流れる水の分析を行うため、環境計量士の資格を持った方が地下水を採水し始めた。「地下水が濁っていると、分析結果に大きな影響が出てしまうので、細心の注意をしながら採水しています」という話であった。そこで、「どのようにボーリング孔の掘削方法を要望されたのですか?」とお聞きすると、「そのようなことは言っていません」というご返事!この現場は玉石混じりの地層であるので、もしかすると掘削流体にベントナイト泥水を使用しているかもしれない。保孔管の開口率はこちらの要望通り10%で、間詰は3~4mmの豆砂利が投入されている。洗浄は行ってあるので、というが何処まで行っているのか?何しろ調査前日の夕方に掘削が終わったばかりなので、良好な洗浄が行われたというにはかなりの疑問符が残る。

このように環境計量士でありながら、地下水採水のための、ボーリングの掘削方法や洗浄方法に関しては殆ど関心を持っていない状態である。採水に関しては神経質すぎるほどの気配りをして行っていたが、そのベースとなるものについては、全くと言っていいほど無関心である。地下水水質試験を行うのであれば、ボーリング掘削方法、使用する掘削流体の成分などに、もっと神経を使うべきではないか?これでいいのか?という疑念を抱かざるを得ない。

これらの事例に見られるような状況で、実施された地下水位観測あるいは地下水水質分析結果が、

どの程度現状を正しく把握されているかに対して、大きな疑念を抱くのは、われわればかりではないと思う。

このような事象が生じる原因を探ったところ、以下のようなことが推察される。

- ・発注者の理解不足で、地下水観測孔の仕上げ方が仕様書に記載されていない。
- ・ボーリングによる地下水観測孔の仕上げ方に関するマニュアルがない。
- ・依頼する側に地下水調査用の地下水観測孔の仕上げ方に関する認識が非常に薄いか、全くない。
- ・地下水調査のためのボーリングによる地下水観測孔の仕上げに関する経費が計上されていない。

では、実際にボーリングによる地下水観測孔は、どのような方法で掘削され、どのような保孔管(材料・ストレーナー加工の種類・開口率)が使用され、どのようなフィルター材が用いられ、どのような間詰材が使用され、どのような洗浄(方法・時間)が行われているのか?

2000年の地すべり学会の前に、地温調査研究会では、ボーリングによる地下水観測孔の仕上げ方についてアンケートを実施したことがある。その結果は、表-1に示すような各種の方法でボーリングによる地下水観測孔の仕上げが行われていることが示された。

表-A 地下水観測孔の仕上げ方についてのアンケート結果一覧表

項	目	件数
ボーリング孔掘削径	φ66mm	18件
	φ86mm	13件
	φ86mm以上	5件
保孔管の内径	40mm	8件
	50mm	15件
保孔管材料	塩ビ管	33件
	アルミ管	13件
ストレーナー加工の種類	丸穴	29件
	スリット	7件
開口率	3%以下	15件
	3~5%	6件
	10~15%	4件
フィルター材	不織布	15件
	防虫網	13件
	巻かない	9件
間詰材	なし	7件
	豆砂利	21件
	砂	6件
	セメントミルク	4件
洗浄	しない	1件
	ベラー	15件
	送水	21件
	送気	14件
	洗浄指示しない	16件
洗浄時間	30分以内	10件
	30分~1時間	11件
	3時間程度	7件
	それ以上	4件

このように多種多様な方法で仕上げられた地下水観測孔で実施された結果を、一律に比較検討してよいものか大きな疑義を抱くと共に、このような観測孔で実施して得られた諸数値を用いて行われたシミュレーションの結果にどのような評価をすればよいのか大きな疑問を持たざるを得ないと思った。

そこで、地温調査研究会では「地下水調査のための観測孔仕上げ方委員会」を設けて、地下水調査を目的としたボーリング孔の掘削方法、観測孔の仕上げ方法、それに伴う経費について各種の検証・検討を行い、『地下水調査のための観測孔の仕上げ方マニュアル(案)』としてまとめた。

※地温調査研究会とは、温度測定による地下水調査法を正しく普及させることを目的として 1991 年に設立された研究会で、現在の会員数は 85 名におよぶ。この会の特徴は、所属違いや立場の上下に関わらず、全員がお互いに個々の人間として、また技術者として議論しあえることにある。

目 次

はじめに

第 1 章 目的に合わせた観測孔仕上げの必要性	1
第 2 章 観測孔仕上げのための諸条件	2
2-1. ボーリング掘削径	2
2-2. 保孔管	3
2-3. 間詰材	8
2-4. 孔内洗浄	10
第 3 章 観測孔仕上げに必要となる費用(歩掛り)	12

おわりに

参考資料

1. 層別地下水の考え方について
2. 室内実験結果図集
3. 現場実験結果図集

第1章 目的に合わせた観測孔仕上げの必要性

・観測孔仕上げでは、調査目的に合わせた孔の仕上げ方法を適切に選択する必要がある。

- ① 水位観測のみを実施する場合
- ② 水質モニタリングのための採水を実施する場合
- ③ 地下水流動層検層を実施する場合
 - ・温度測定による方法(多点温度検層)
 - ・電気抵抗測定による方法(地下水検層)

- ④ 流向・流速測定を実施する場合

いずれも、掘削したボーリング孔の孔壁をできるかぎり自然に近い状態に仕上げることが必要である。

<解説>

観測孔仕上げでは、調査目的(①～④)に合わせて、掘削径・掘削流体・保孔管の内径・保孔管の材料や加工方法(ストレーナー加工の種類・開口率・フィルター材)・間詰材・洗浄(方法・時間)を選択する必要がある。各項目の詳細については、次章以降で述べる。

いずれの調査目的の場合においても、自然の地下水の流れに近い状態にまで洗浄することを目指すことが基本である。特に、③地下水流動層検層と④流向・流速測定を実施する場合には、薄い流動層や微弱な流動層を把握するためにも、より丁寧な観測孔仕上げを行う必要がある。これに関しては第2章で詳述する。

また、①～④の計測を実施する場合には、層別地下水の考え方(参考資料参照)を十分に理解した上で、観測孔の設置深度および各種計測深度を決定することにより、問題解決に適した地下水に関する情報を得ることができる。

第2章 観測孔仕上げのための諸条件

2-1. ボーリング掘削径

- ・ 挿入する保孔管が VP40 (外径≒48mm) の場合は、 $\phi 66\text{mm}$ 以上の掘削径が必要となる。
- ・ 挿入する保孔管が VP50 (外径≒60mm) の場合は、 $\phi 86\text{mm}$ 以上の掘削径が必要となる。

<解説>

ボーリング孔の掘削径については、挿入する保孔管の径はもとより、実務的にはボーリング調査に伴い実施する試験・サンプリングおよび孔の深度等にも制約されることになる。本マニュアル(案)では地下水の挙動を把握するために行われる各種の試験(例えば、地下水流動層検層、流向・流速測定等)を実施することを想定して、間詰材を充填することを前提とした観測孔仕上げを行う場合の推奨掘削径を示した。

※地下水流動層検層とは、単一のボーリング孔を利用して地盤内の地下水流動層を検出する方法で、孔内にトレーサーを投入し、孔内水の電気抵抗あるいは温度を変化させた後、孔内水の電気抵抗あるいは温度の経時変化を測定し、地下水流動層を検出する方法である。

観測孔仕上げの際に充填すべき間詰材の条件については「2-3. 間詰材」で詳述するが、もとの地盤材料よりも粗な粒度特性の材料を用いることが望ましい。多くの場合粗粒砂($\phi 2\text{mm}$)～砂利($\phi 2\sim 10\text{mm}$)程度の材料が間詰材として選定されることとなる。これら、充填される間詰材の粒径を考慮した上で、保孔管と裸孔やケーシングの孔壁との間にある程度のクリアランス(両側 10mm 程度以上)を確保するために上記の掘削径を推奨している(図 2-1.1 参照)。

また、ケーシングによる孔壁の崩壊防止が必要となる場合は、VP40 を挿入する場合は $\phi 86\text{mm}$ 以上、VP50 を挿入する場合は $\phi 101\text{mm}$ 以上の掘削径を採用するなど、状況に応じて挿入管と孔壁とのクリアランスを考慮する必要がある。

なお、単孔式加熱型流向流速測定を実施する場合は、VP50 の保孔管が必要である。

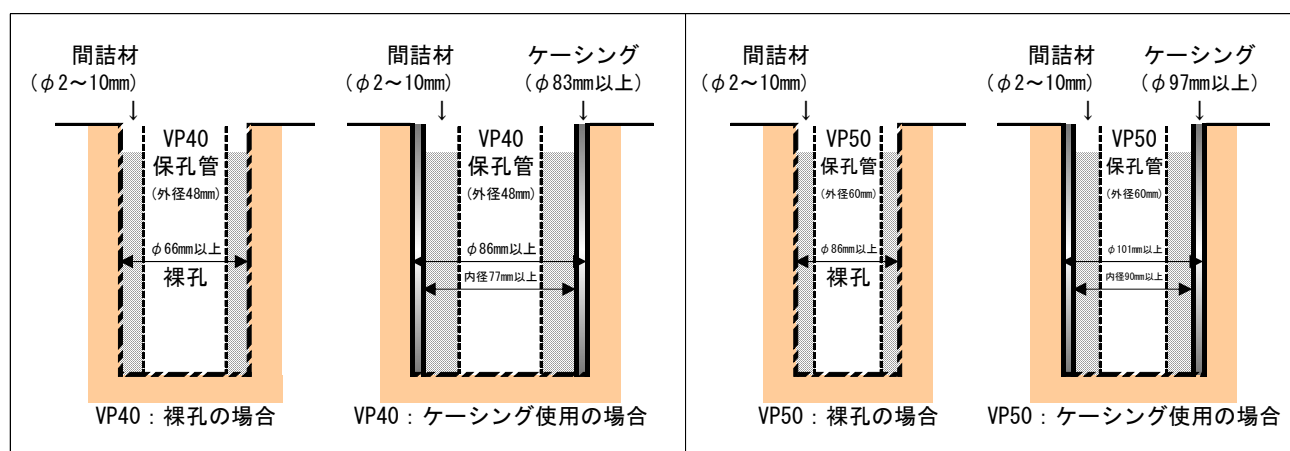


図 2-1.1 ボーリング掘削径と観測孔仕上げの例

2-2. 保孔管

- (1) 実地盤の挙動により近い現象を観測孔内で捉えるには、ストレーナー加工の開口率 $\geq 10\%$ 程度は必要である。
- (2) ストレーナー加工の目詰まり防止用フィルター材を用いる場合は、不織布よりもネットのほうが効果的である。
- (3) 開口率が同じ場合、スリット加工よりも丸穴加工のほうが良好な結果が得られる可能性が高い。この傾向は、地下水の流動速度が大きいほど顕著である。
- (4) 丸穴加工の場合、同一の開口率では、穴の径を大きくするよりも穴の数を多くするほうが効果的である可能性が高い。

<解説>

本委員会では、観測孔保孔管のストレーナー加工形状や開口率、孔壁と保孔管の隙間に充填する間詰材、ストレーナーの目詰まり防止を目的としたフィルター材などの観測孔を構成する要因に着目し、それらの要因が観測孔としての良否に与える影響を、単孔式加熱型流向流速計を用いた室内水槽実験により検討した。実験装置の外観を写真 2-2.1 に示す。

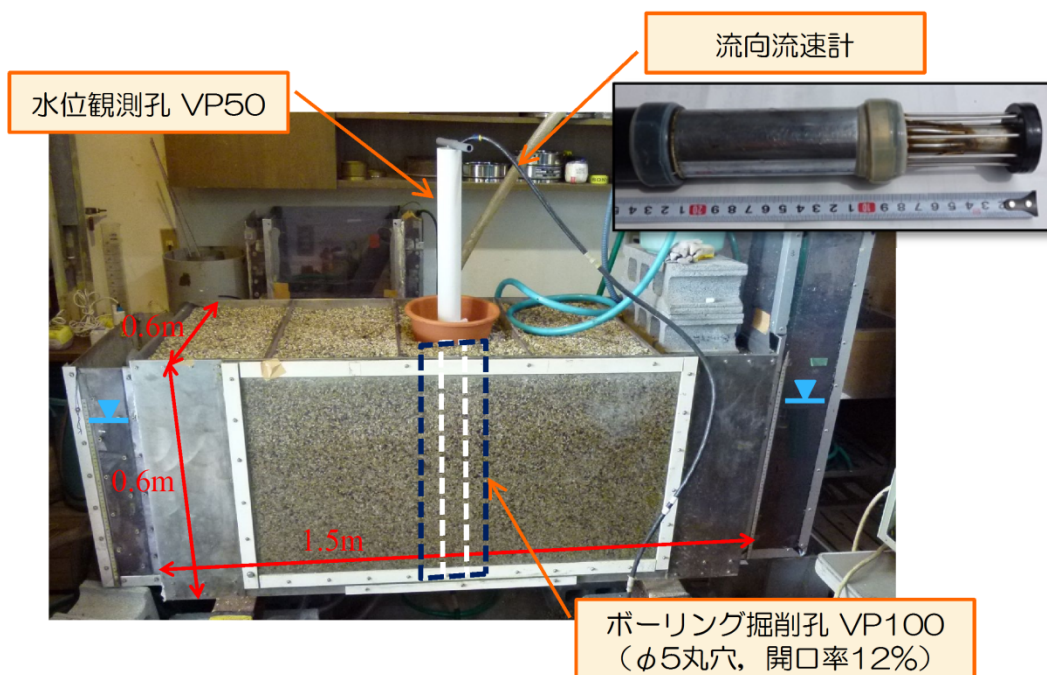


写真 2-2.1 水槽実験装置の外観

実験では、保孔管として塩ビパイプ VP50 を選定し、前述したストレーナー加工形状やフィルター材等の観測孔要因を種々に組み合わせ、水槽内に敷設した地盤材料中にセットして地下水流を与え、保孔管内の経時的な温度変化を単孔式加熱型流向流速計で調べることで観測孔の良否を判断した。主な実験結果として、図 2-2.1 に流向流速計を構成する 8 本の温度センサーの温度上昇量平均値の経時変化を示す。各図とも、横軸が経過時間(秒)、縦軸が実験開始直前からの温度上昇量(°C)である。

また、温度グラフ中の凡例の意味は以下に示すとおりである。

1-b	丸穴加工，開口率 1%，ネット巻(PE ネット #25)
1-f	丸穴加工，開口率 1%，不織布巻
10-b	丸穴加工，開口率 10%，ネット巻(PE ネット #25)
10-f	丸穴加工，開口率 10%，不織布巻
13-b	丸穴加工，開口率 13%，ネット巻(PE ネット #25)
s5	横スリット加工，開口率 5%
s10	横スリット加工，開口率 10%
NP	観測孔を設置しない

ここで、今回の実験ではストレーナー加工を施した VP100(開口率 12%)をボーリング掘削孔に見立て、その中に種々の仕様で保孔管を設置している。上記凡例で、NP は観測孔を設置しない裸孔に相当する状況で温度変化を測定した結果である。この時の温度変化は、地下水の状態を把握する上で地下水観測孔といった抵抗物の影響がない状態での温度変化であることから、この温度変化に近い観測孔の仕様ほど実地盤の状態をより正確に表し得ると考えられる。

以下に、上述した観点に立脚した実験結果の評価を基に、冒頭の 4 項目に対する解説を加える。

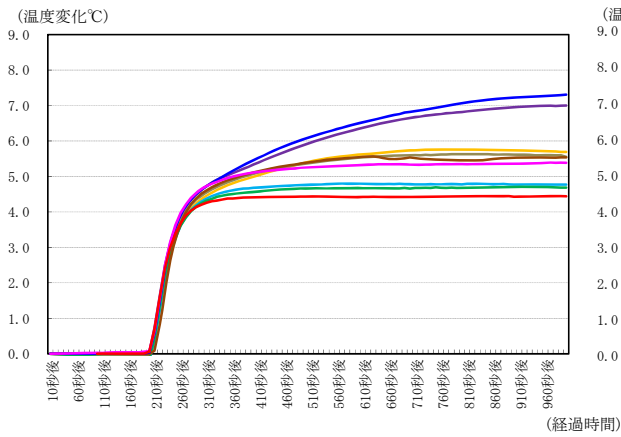
- (1) 地盤中の地下水流動状況を正確に把握するには、保孔管のストレーナー加工の開口率をどの程度にすべきか、ということが問題の一つとして挙げられる。図 2-2.1 のケース 1 およびケース 2 は、砂利地盤中に孔壁と保孔管の隙間充填材として砂利を用いた場合で、前者が地盤中の流速として 10^{-4}m/s オーダーを与えた場合、後者が 10^{-5}m/s オーダーの流速を与えた場合である。ケース 1 の「1-b」の観測孔仕様を除き、両ケースとも丸穴ストレーナー加工(凡例の 1-○, 10-○, 13-○)およびスリット加工(凡例の s ○)共に開口率 10%が「NP」の状態の温度変化に近接していることがわかる。

また同図のケース 3 およびケース 4 は、砂利地盤中に孔壁と保孔管の隙間充填材として砂利を用いた場合で、前者が地盤中の流速として 10^{-4}m/s オーダーを与えた場合、後者が 10^{-5}m/s オーダーの流速を与えた場合である。丸穴ストレーナー加工(凡例の 1-b, 10-b, 13-b)に着目した場合、両ケースとも開口率 10%以上が「NP」の状態の温度変化により近接している。

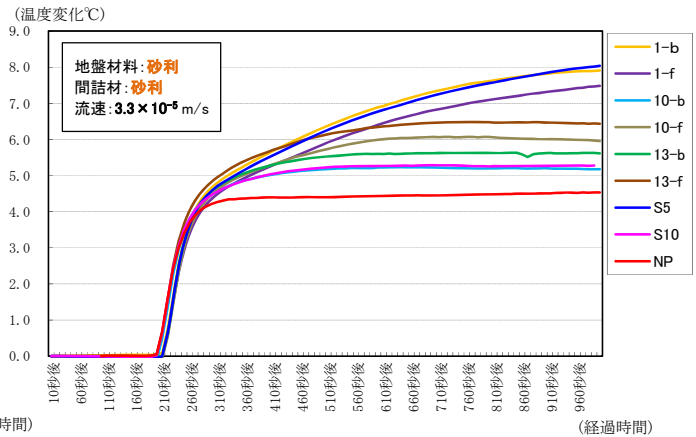
こうしたことから、良質な観測孔とするには、保孔管ストレーナー加工の開口率は 10%以上とすべきである。

- (2) ストレーナーの目詰まり防止を目的としたフィルター材には、一般にネット(防虫網など)や不織布が用いられているようである。地すべり観測では、孔内傾斜計ガイドパイプを水位観測孔として併用する場合、不織布が用いられるケースが多く見受けられる。図 2-2.1 のケース 1 およびケース 2 において、丸穴ストレーナー加工に着目した場合、開口率 1%を除くと何れの保孔管仕様ともネット(凡例の ○-b)を用いたほうが「NP」の状態の温度変化により近接した結果が得られている。

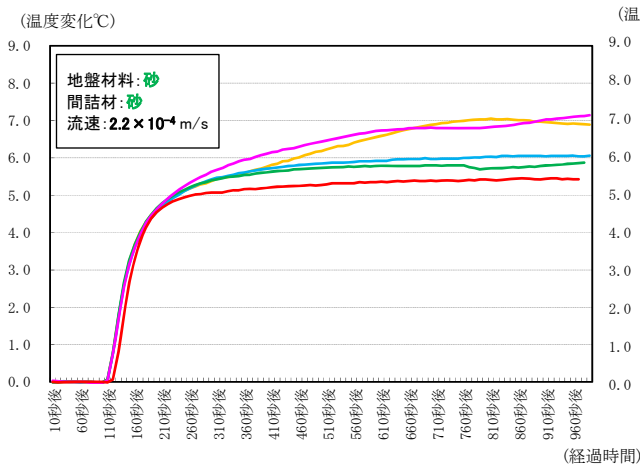
こうした結果より、ストレーナー加工の目詰まり防止用フィルター材を用いる場合は、不織布よりもネットのほうが効果的であることがわかる。参考までに、今回試験で用いたフィルター材を写真 2-2.2 に示す。



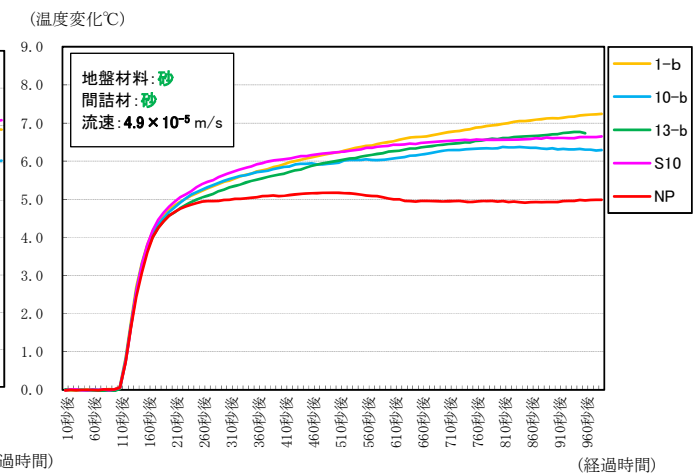
(a) ケース 1



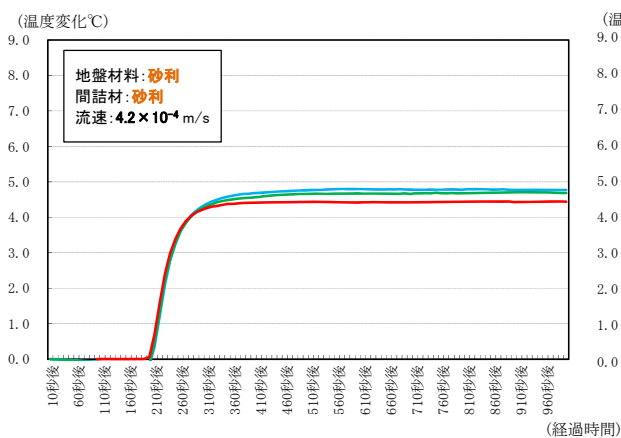
(b) ケース 2



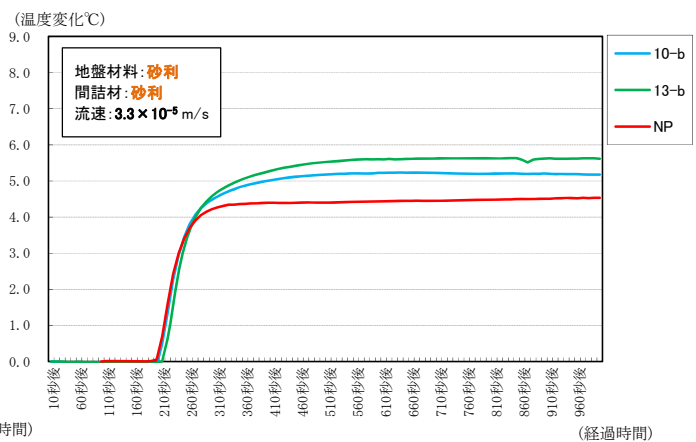
(c) ケース 3



(d) ケース 4



(e) ケース 5



(f) ケース 6

図 2-2.1 温度上昇量平均値の時間推移

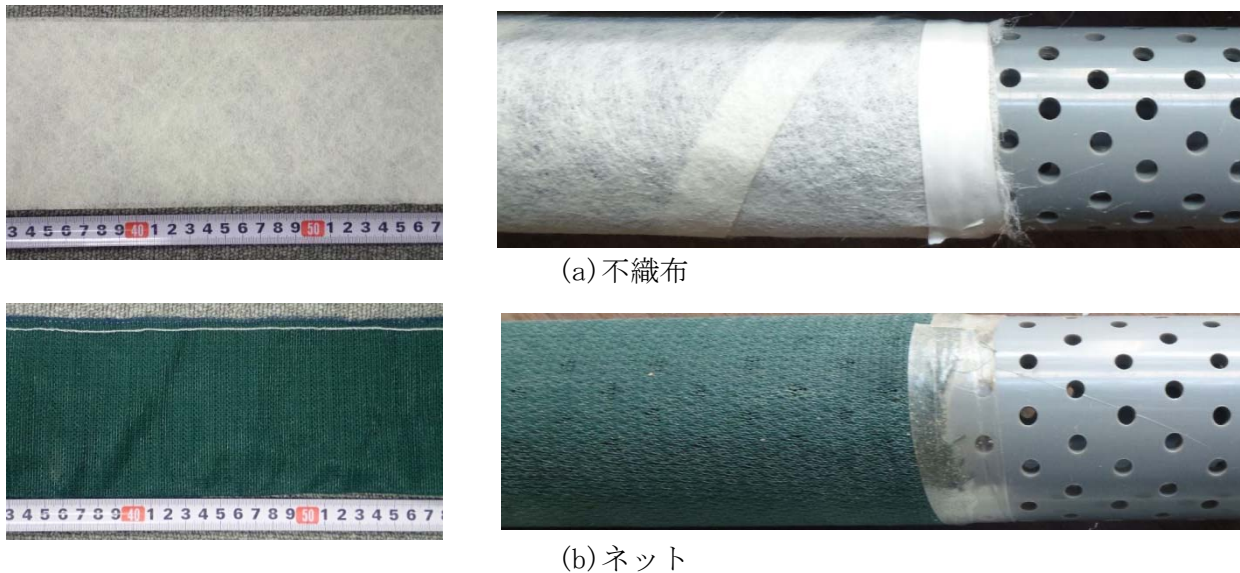


写真 2-2.2 試験に供したフィルター材(左：材料, 右：加工状態)

(3) 近年、土壌汚染関連の調査などにおいて、横スリットタイプのストレーナー加工を施した観測孔が一般的に用いられるようになった。室内実験においても、横スリットタイプのストレーナー加工保孔管を用いている。同じ開口率 10%の丸穴ストレーナー加工保孔管と比較した場合(凡例の 10-b と s 10 の対比)、図 2-2.1 のケース 2 およびケース 4 に示すように同程度の温度変化特性を示す場合もあるが、ケース 1 およびケース 3 に示すように地下水流速が速くなると、丸穴ストレーナー加工保孔管よりも横スリットタイプの保孔管が温度の上昇量が大きくなり、観測孔としての抵抗が増す場合もある。

これより、開口率が同じ場合、ストレーナー加工としてスリット加工よりも丸穴加工のほうが観測孔としての抵抗が低く、良質な観測孔になる可能性が高いといえる。

(4) 室内実験では、各保孔管のストレーナー加工として以下の仕様を設定した。ストレーナー加工状況を写真 2-2.3 に示す。

丸穴加工	
開口率 1%	: 穴径 ϕ 5mm, 穴数 4 個/列, 20 列/m
開口率 10%	: 穴径 ϕ 5mm, 穴数 13 個/列, 80 列/m
開口率 13%	: 穴径 ϕ 6mm, 穴数 11 個/列, 80 列/m
スリット加工	
開口率 5%	: スリット幅 0.15mm
開口率 10%	: スリット幅 0.5mm

実験結果の内、図 2-2.1 のケース 3～ケース 6 中の 10-b と 13-b を比較した場合、地盤中の流速として 10^{-4} m/s オーダーを与えたケース(ケース 3, ケース 5)では、開口率 10%と 13%で同程度の温度変化特性を示すことがわかる。これに対し、 10^{-5} m/s オーダーの流速を与えたケース(ケース 4, ケース 6)では、開口率 13%が同 10%よりも温度の上昇量が大きくなり、観測孔としての抵抗が増す傾向にある。このように、開口率が大きいにもかかわらず観測孔としての抵抗が増えた原因として以下が考えられる。

すなわち、開口率 13%と 10%は、穴の列数は同様で穴の径と一列当たりの穴の個数が異なっている。当該実験では、開口率 13%の方が一個当たりの穴径が $\phi 6\text{mm}$ と大きく一列当たりの穴数が少ない。逆に開口率 10%は、穴径は $\phi 5\text{mm}$ と 13%のそれよりも小さいが一列当たりの穴数は多い。同じ穴径 $\phi 5\text{mm}$ で開口率 13%のストレーナー加工を施した場合、計算上穴数はさらに多くなる。

ここで、保孔管内を通過する地下水流動経路を考えてみる。図 2-2.2 は、同じ開口率でストレーナーの仕様が異なる 2 種類の保孔管内の地下水流動経路を模式的に表したものである。(a) 図は、穴径が大きく穴数が少ない状況を、(b) 図は穴径は小さいが穴数が多い状況をそれぞれ表している。この場合、(b) 図のように穴数が多いほうが、図中に矢印で示すように地下水流路上に保孔管の穴が分布する可能性が高い。このように、地下水流路上に穴がならぶことにより保孔管としての抵抗がより軽減され、地下水が保孔管内を円滑に流動できる。

一方、(a) 図のように穴数が少ない場合は、地下水流路上に穴がならんで分布しない可能性が高くなる。このような状況では、図中に矢印で示すように地下水流が湾曲させられ円滑に流動できなくなる。これにより、保孔管としての抵抗が増加することになる。

今の場合、開口率 13%と 10%の関係は、図 2-2.2 の (a) 図と (b) 図のストレーナー加工状況に当てはまる。これより、実験ケース 4 と 6 では上述の現象が生じたものと推察される。保孔管設置時の穴の向きや、地下水流速の大小などの状況により大きな効果が得られない場合もあろうが、確率的には穴の径を大きくするよりも穴の数を多くするほうが効果的であると考えられる。

今回の比較は、近接してはいるものの異なる開口率での実験結果で行ったものであるが、同じ開口率で比較を行った場合、穴数の差がより大きくなることから上述の結論をより明確にするものとなる。

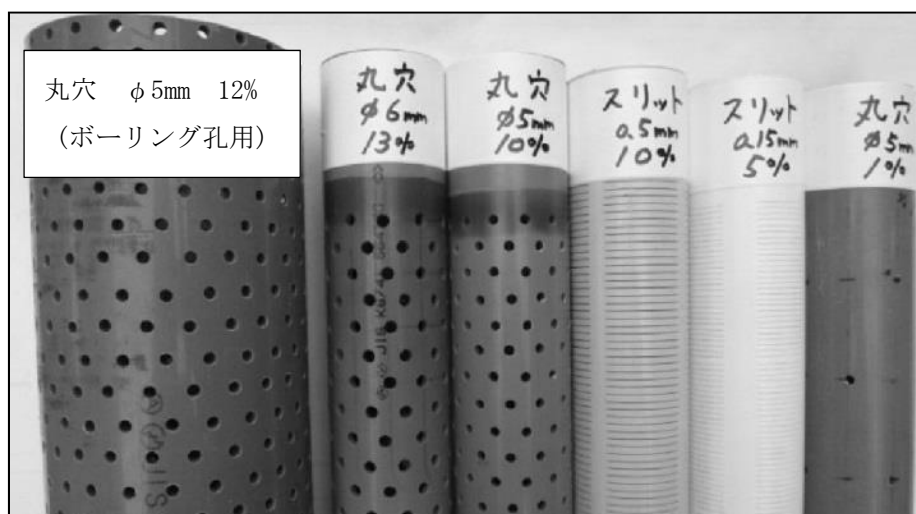


写真 2-2.3 実験に用いた保孔管のストレーナー加工状況

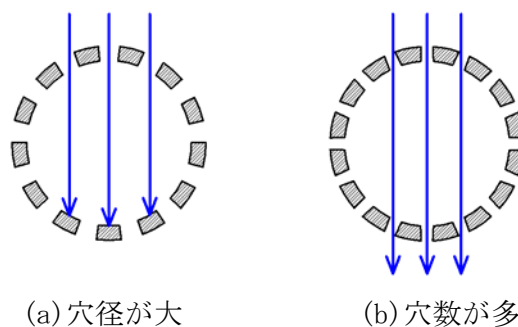


図 2-2.2 保孔管内地下水流動経路の概念図

2-3. 間詰材

- (1) 孔壁と保孔管の隙間に充填する間詰材には、地盤材料よりも粗な粒度特性の材料を用いるべきである。
- (2) ただし、必ずしも極端に粗な粒度特性の材料を選定する必要はない(粗にすればするほど効果が得られるわけではないようである)。

<解説>

ここでは、「2-2. 保孔管」で述べた室内実験結果を基に上述の2項目に対する説明を行う。

※間詰材は、保孔管の自立性を保つため、地下水の保孔管への流入を潤滑にするため、細粒分の流入を防ぐために用いる。

- (1) 室内実験では、地盤材料および孔壁と保孔管の隙間に、図 2-3.1 に示す粒度特性の材料を間詰材として用いた。これらは、特別に粒度調整されたものではなく、一般的に入手可能な市販品を利用したものである。間詰材として用いた砂利と砂を写真 2-3.1 に示す。実験に用いた材料は、同一の土質区分に着目した場合、砂質土と礫質土共に地盤材料よりも間詰材が粗な粒度特性を呈している。

図 2-3.2 のケース 1 とケース 2 の実験結果は、それぞれ同じ流速の下での温度上昇量を示したものである。これらの内、ケース 1 は間詰材の粒度特性よりも地盤材料のそれが粗な状況で、ケース 2 は逆に間詰材の粒度特性が地盤材料よりも粗な状況である。両ケースにおいて、ケース 2 のほうがより「NP」の温度変化に近い結果を示している。これより、間詰材には、地盤材料よりも粗な粒度特性の材料を用いたほうが観測孔として良質であることがわかる。

- (2) 間詰材には、地盤材料よりも粗な粒度特性の材料を用いるべきであることを示したが、粗にすればするほど効果的であるとは限らないようである。

図 2-3.2 のケース 3 およびケース 4 は、同一の流速下で何れとも地盤材料よりも間詰材の粒度特性が粗な状況である。相違点は、ケース 4 がケース 3 よりも間詰材の粒度特性が地盤材料のそれよりも、より粗であるということである。両ケースの温度上昇量経時変化図からわかるように、両ケースで温度上昇量および経時変化傾向は同程度である。こうした結果より、間詰材には、地盤材料よりも粗な粒度特性の材料を用いるべきであるが、必ずしも極端に粗な粒度特性の材料を選定する必要はないといえる。



(a) 砂利



(b) 砂

写真 2-3.1 間詰材

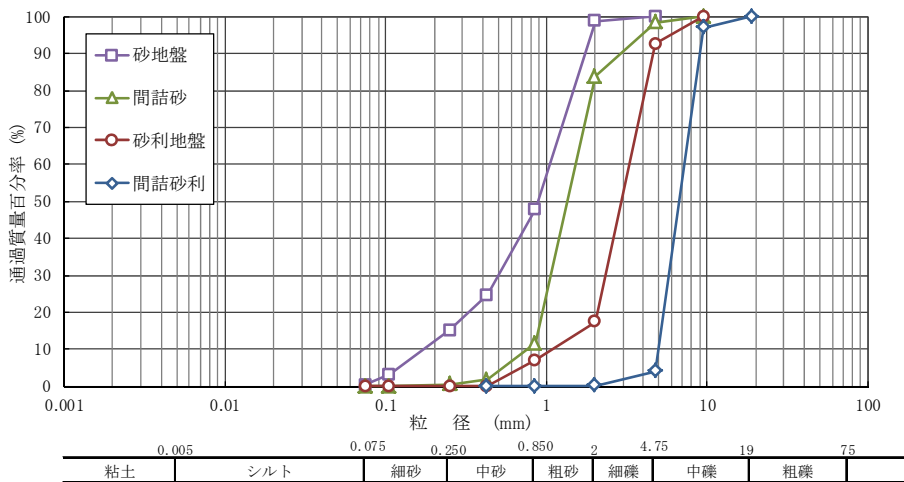
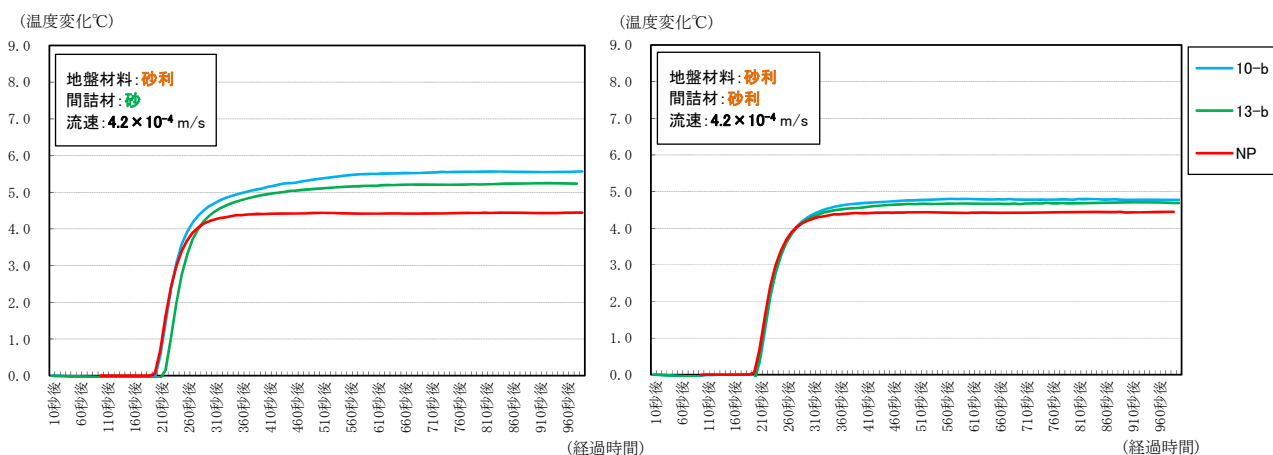
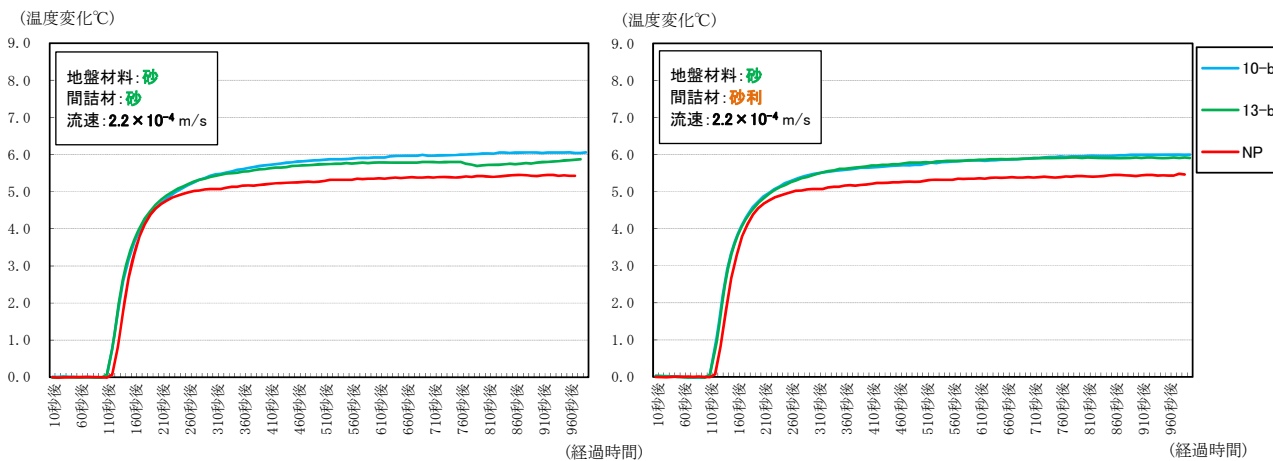


図 2-3.1 試験材料の粒度特性



(a) ケース 1

(b) ケース 2



(c) ケース 3

(d) ケース 4

※凡例記号の意味

- 10-b … 丸穴加工, 開口率 10%, ネット巻(PE ネット #25)
- 13-b … 丸穴加工, 開口率 13%, ネット巻(PE ネット #25)
- NP … 観測孔を設置しない

図 2-3.2 温度上昇量平均値の時間推移

2-4. 孔内洗浄

(1) 地質別に着目した洗浄方法の目安を以下に示す。

- ・ 砂層：ベラー等による緩慢な繰り返し揚水洗浄
- ・ 砂礫層, 砂層：送気(エアリフト)洗浄
- ・ 亀裂性岩盤：送水洗浄

(2) 孔内洗浄の効果を考えると掘削流体としてはベントナイト泥水よりもポリマー系掘削流体の使用を推奨する。

(3) 孔内洗浄を実施する時間は、2時間程度を目安とする。

<解説>

孔内洗浄の方法については「ベラー等による緩慢な繰り返し揚水洗浄」「送気(エアリフト)洗浄」「送水洗浄」が代表として挙げられる。

現在までの現場実験等により得られた結果は以下の通りである。

(1) 洗浄方法とその留意点

ベラー等による緩慢な繰り返し揚水洗浄：ベラーまたは簡易なポンプ等により観測孔内の水を孔外へ汲み上げる(揚水する)ことにより周辺からの地下水を孔内に呼び込み、揚水作業を繰り返すことにより孔内を洗浄する方法。ベラーの上げ下げは、人力やコーンプリーを用いるなどの方法で実施する。その際、ベラーを急激に引き上げることにより孔内に負圧が発生しないよう注意が必要である。

送気(エアリフト)洗浄：コンプレッサー等を用いて観測孔内にエアを送り込むことにより、空気の気泡によって孔内を洗浄する方法。エアを送り込むホースは、単なる一重管やエアを送り込むホースと孔内水を排出するホースの二重管構造としたものなどが用いられる。観測孔の径に対して、あまりにエアの圧力が高すぎるとホース自体が孔外へ排出されてしまうため、圧力設定については注意が必要である。また、エアリフトをかける深度は、一定の深度に止めるのではなく、洗浄を実施する区間全体に上下させるのが効果的である。

送水洗浄：ポンプ・ホース等を用いて清水を孔内に注入し、その水流により孔内を洗浄する方法。上記の2手法に比べると労力や機材が簡易なもので済み、孔内水の濁りが比較的少ない清水掘りの亀裂性岩盤孔等で効果的である。送水洗浄についても、ホース先端は一定の深度に止めるのではなく、洗浄を実施する区間全体に上下させるのが効果的である。

直接的な比較はできていないものの、砂礫層に対してはベラー洗浄よりも送気(エアリフト)洗浄のほうが洗浄効果が高いと考えられる。ただし、このことは対象土質によっては一概に当てはまらない可能性がある。また、砂層ではエアリフトで地下水流動層が潰れる場合があるため注意が必要である。

地下水流動層検層等の実施対象となる帯水層の深度があらかじめ把握できているような場合は、

洗浄区間を上下させず、あえて試験対象区間を外した位置で揚水洗浄作業を実施したほうが流動層を明瞭に検出できた事例もある。

亀裂性岩盤部では、送水洗浄と送気洗浄で洗浄効果に明瞭な差異はなかった。従って、推奨する洗浄方法としては、作業手間の少ない送水洗浄とした。

(2) 掘削流体と洗浄効果

現場実験の中では、掘削深度 10m でベントナイト泥水を用いた掘削孔を同一深度でポリマー系掘削流体を用いた掘削孔と同等の洗浄状態にするには、約 2 倍の洗浄時間が必要であった。この程度の差は、観測孔の深度、孔内水位の存在位置等により一様ではないと考えられるが、少なくともベントナイト泥水を用いた掘削孔のほうがポリマー系掘削流体を用いた掘削孔よりも同等の洗浄効果を得るのに長時間を要するとは言える。

このような洗浄効果の実験結果から、より良好な地下水観測孔を設置するためには、掘削流体としてはベントナイト泥水よりもポリマー系掘削流体を用いることを推奨している。

また、水位観測孔等を設置するボーリング掘削においては、洗浄効果を考慮して増粘剤を投入したベントナイト泥水は使用しないことを推奨する。

(3) 孔内洗浄の実施時間

孔内洗浄を実施する時間についても、現段階では明確な基準値を示すことは困難である。また、孔内洗浄を終了する(洗浄できたと判断する)基準についても明確な指標はないが、実務的には孔内水の濁りがなくなった時点で洗浄作業を終了するのが一般的である。

現場実験では、ベントナイト泥水を用いた掘削孔でベラー等による揚水洗浄を実施した場合、約 2 時間程度で孔内水の濁りがなくなったことから、現時点での洗浄時間の目安を 2 時間とした(掘削深度は 10～30m 程度を想定)。

以上、孔内洗浄についての実験結果を述べたが、孔内洗浄の方法やその作業時間に関して、現段階では残された課題があり、画一的な推奨方法を提示する段階に至っていないため、今後の研究が望まれる。

第3章 観測孔仕上げに必要となる費用(歩掛り)

- ・地下水調査のためのボーリング孔の仕上げ方では、目的に合わせた開口率、フィルター、間詰材等の選定を用い、十分な孔内洗浄を必要とする。
- ・このため、観測孔設置の歩掛りと、孔内洗浄の歩掛りを提案する。
- ・孔内洗浄は、対象地質により方法が異なるため見積計上とする。

<解説>

観測孔設置およびエアリフトによる孔内洗浄の参考歩掛りを下表に示す(掘削深度 30m の場合)。孔内洗浄はベラー洗浄、送水洗浄、エアリフト洗浄などの方法があり、地質条件、地下水位により適応する洗浄方法は異なる。このため実状に応じて積算する必要がある。洗浄に伴い発生する泥水の処理費は別途、実費計上する必要がある。

表 3-1 観測孔仕上げに関する歩掛り検討表

対 象	区分		保孔管開口率	フィルター材	間詰材	孔洗浄方法
水位観測孔	土砂		(5.0%未満)	ネット巻	市販の砂利 (φ5mm程度)	ベラー
	岩盤		(5.0%未満)	なし	なし	送水
水質モニタリング孔 (採水)	土砂	砂	(5.0%未満)	ネット巻	市販の砂利 (φ5mm程度)	ベラー
		砂礫	(5.0%未満)	ネット巻	市販の砂利 (φ5mm程度)	エアリフト
	岩盤		0.5~1.0%	なし	なし	送水
地下水流動層 検層孔	土砂	砂	10%	ネット巻	市販の砂利 (φ5mm程度)	ベラー
		砂礫	10%	ネット巻	市販の砂利 (φ5mm程度)	エアリフト
	岩盤		10%	ネット巻	市販の砂利 (φ5mm程度)	送水
流向・流速 測定孔	土砂	砂	10%	ネット巻	市販の砂利 (φ5mm程度)	ベラー
		砂礫	10%	ネット巻	市販の砂利 (φ5mm程度)	エアリフト
	岩盤		10%	ネット巻	市販の砂利 (φ5mm程度)	エアリフト

※水位観測孔と水質モニタリング孔の保孔管開口率は、アンケート結果に基づく。

表 3-2 観測孔設置歩掛り (30m 当たり)

種別	細別	単位	数量	単価	金額
人件費	地質調査技師	人	0.1	37,400	3,740
	主任地質調査員	人	0.5	31,300	15,650
	地質調査員	人	1.0	22,400	22,400
材料費	VP-50	m	31.0	975	30,225
	ストレーナ加工費開口率10%	m	29.0	5,200	150,800
	ネット巻き加工費	m	29.0	750	21,750
	φ5mm程度の砂利	袋	16.0	1,000	16,000
	孔口モルタル	m ³	0.02	53,900	1,078
消耗品費	材料費計の3%	式	1.0	6,596	6,596
機器損料	ボーリングマシン(100m型)	日	0.5	5,920	2,960
合計					271,199

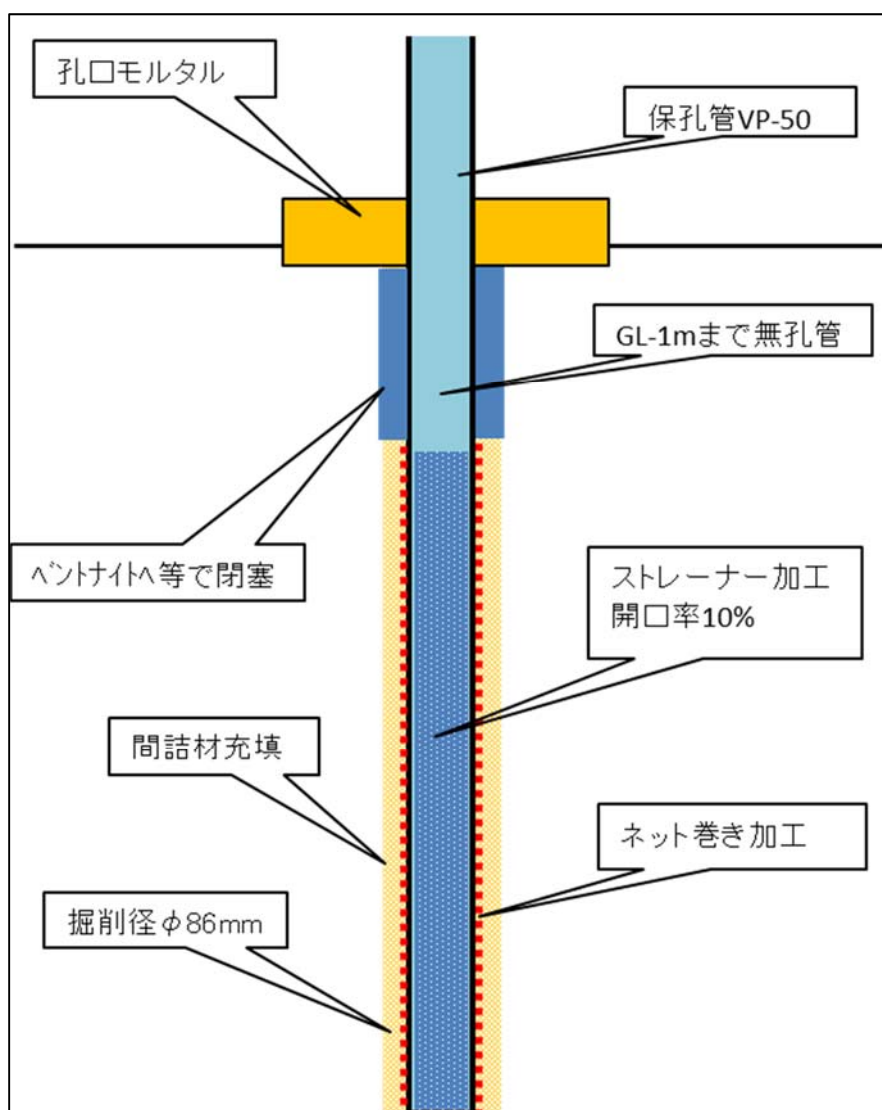


図 3-1 歩掛りの模式図

表 3-3 孔内洗浄歩掛り (エアリフト洗浄) (洗浄時間：2 時間)

種 別	細 別	単 位	数 量	単 価	金 額
人件費	地質調査技師	人	0.0	37,400	0
	主任地質調査員	人	0.25	31,300	7,825
	地質調査員	人	0.50	22,400	11,200
機器損料	コンプレッサー(2.5m ³ /min)	日	0.25	3,500	875
	ボーリングマシン(100m型)	日	0.25	5,920	1,480
消耗品費	人件費計の1%	式	1.0	190	190
動力費	軽油	㍓	4.5	140	630
泥水処理費	実費	式	1.0		別途計上
合計					22,200

表 3-4 孔内洗浄歩掛り (ベール洗浄) (洗浄時間：2 時間)

種 別	細 別	単 位	数 量	単 価	金 額
人件費	地質調査技師	人	0.0	37,400	0
	主任地質調査員	人	0.25	31,300	7,825
	地質調査員	人	0.50	22,400	11,200
機器損料	ベール	日	0.25	600	150
	ボーリングマシン(100m型)	日	0.25	5,920	1,480
消耗品費	人件費計の1%	式	1.0	190	190
動力費	軽油	㍓	1.75	140	245
泥水処理費	実費	式	1.0		別途計上
合計					21,090

表 3-5 孔内洗浄歩掛り (送水洗浄) (洗浄時間：2 時間)

種 別	細 別	単 位	数 量	単 価	金 額
人件費	地質調査技師	人	0.0	37,400	0
	主任地質調査員	人	0.25	31,300	7,825
	地質調査員	人	0.50	22,400	11,200
機器損料	ポンプ(2.2kw)	日	0.25	1,950	488
	ボーリングマシン(100m型)	日	0.25	5,920	1,480
消耗品費	人件費計の1%	式	1.0	190	190
動力費	軽油	㍓	2.50	140	350
泥水処理費	実費	式	1.0		別途計上
合計					21,533

おわりに

2012年3月に地温調査研究会では、「地下水調査のための観測孔の仕上げ方委員会」を立ち上げ、同年4月からこれまで19回の委員会を開催し、様々な議論を重ねてきた。

本書は、第39回日本地すべり学会研究発表会（2000年8月）での「地下水観測孔仕上げに関する問題提起」に関する6編の研究発表を出発点に、その後の現場や室内での実験結果による新たな知見を加えて、ボーリング掘削径、保孔管の開口率とフィルター材、間詰材、地質毎に適した孔内洗浄の方法、さらに観測孔設置や孔内洗浄に関わる経費の算定方法を取りまとめ、地下水調査のための観測孔の仕上げ方を提案した手引き書である。

電子機器の急速な進歩に伴って、地下水流動層検層や流向・流速測定 of 機器の精度が飛躍的に高まり、わずかな物性値の変化を捉えることが可能となった。しかしながら、検層結果を左右する基本となる地下水観測孔の仕上げの精度には然程の関心が払われず、疑念を抱く検層結果も少なくはない。本書が、地下水に関するより精度の高い各種情報を得るために、地質技術者のみならずボーリングフォアマンの方々の技術向上の一助となれば幸甚に思う。

なお、本委員会に参画された地質調査や建設コンサルタントに従事する技術者の方々には、現地や室内での実験作業とともに、執筆や編集作業にも時間を割くなど、多大な労をおとり頂いた。ここに感謝の意を表する。

《引用・参考文献》

- 1) 竹内篤雄：地下水観測用試錐孔の仕上げを検討する目的と意義-特に孔内洗浄の仕方による地下水流動層検出状況の変化について-, 第39回 日本地すべり学会研究発表会 講演集, pp. 443~446, 2000.

《委員会委員》

足立 直樹	ハイテック(株)
秋山 晋二	国際航業(株)
五十嵐 慎久	キタイ設計(株)
岩瀬 信行	キタイ設計(株)
門川 泰人	(有)ジオクラフツ
宮崎 基浩	芙蓉地質(株)
酒井 信介	(株)阪神コンサルタンツ
櫻井 皆生	同志社大学大学院 理工学研究科
武田 伸二	ハイテック(株)
竹内 篤雄	自然地下水調査研究所 主宰
都築 孝之	日本物理探鑛(株)
山西 正朗	日本エルダルト(株)