

単孔を利用した地下水流向流速測定方法

Method of detection of direction and velocity of groundwater flow in single borehole

1 適用範囲

この基準は、単一のボーリング孔を利用して地盤内の地下水流向流速を測定する方法について規定する。この測定は、地下水面より下方の飽和した地盤を対象とし、孔内水で間接的に測定する方法である。なお、測定区間に設けるスクリーンの開孔率が10%未満の場合については適用対象外である。

2 引用規格・基準

次に掲げる基準は、この基準に引用されることによって、この基準の規定の一部を構成する。この引用基準は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS A 0207 地盤工学用語

JGS 1311 ボーリング孔を利用した砂質・礫質地盤の地下水位の測定方法

3 用語及び定義

この基準で用いる主な用語及び定義は、次によるほか、JIS A 0207 による。

3.1

トレーサー

孔内水と電気抵抗の異なる水、孔内水に直接加えた熱源、又は孔内水流に乗って移動する固体微粒子。

3.2

電位差法

溶液トレーサーを用いて、電位差を電位差分布で検出する方法。

3.3

温度測定法

温度トレーサーを用いて、熱量を与え温度の差位で検出する方法。

3.4

粒子追跡法

固体微粒子トレーサーを用いて、粒子位置を検出する方法。

3.5

開孔率

スクリーンにおけるスリット又は丸穴加工を施した管などの孔内水の流入出部分の割合。

3.6

測定流速

流向流速測定器にて測定される孔内を流れる地下水の流速。

注記 地盤内を流れている地下水の流速とは異なる測定値もあるため、適切な変換が必要となる場合がある。

3.7

ダルシー流速

土粒子と間隙部を合わせた断面積で平均化した見掛けの流速。

4 測定用具

この基準で用いる主な測定用具は、次による。

4.1 削孔用具

所定の孔径で所定の深さを削孔できるボーリングマシン一式。

4.2 スクリーン

保護管のうち、地下水の流れを測定するためスリットの加工を施した管又は丸穴加工を施した管。

注記 保護管を測定区間の上まで挿入する場合、又は孔壁が安定した岩盤を対象とした測定孔では、スクリーンを使わない場合がある。

4.3 フィルター材

孔壁とスクリーンの間に充填する材料。

注記 一般には、珪砂、豆砂利などが使われる。また、裸孔による測定孔では、フィルター材を使わない。

4.4 ネット

スリット、丸穴の開孔部が大きくフィルター材、又は土粒子がスクリーン内に流入する可能性がある場合にその流入を防止し、スクリーン部の水の流れを妨げない機能を有するもの。

4.5 洗淨用具

孔内を洗淨するための用具。

注記 洗淨用具には、ベアラー、エアリフト装置又はポンプなどがある。

4.6 パッカー

孔内水に鉛直方向成分の流れが生じている場合、測定器に取り付けられたゴムなどを拡張することにより、測定器と孔壁又はスクリーンとの間を閉塞させるもの。また、測定器の安定を図るためにも用いる。

4.7 測定器

電位差法、温度測定法、粒子追跡法により流向と流速を測定する装置。

4.8 方位センサー

4.8.1 内蔵方位計

方位を検知するセンサー。

注記 一般に測定器に取り付ける。

4.8.2 定方位ロッド

測定器の方位を合わせるために、ロッドの繋ぎ部分がはめ込み構造になっているロッド。

4.9 トレーサー

4.9.1 電位差法による場合

孔内水と電気抵抗の異なる液体。

注記 一般には、トレーサーとしては蒸留水を用いるが、食塩などの塩分溶解液を用いることがある。

4.9.2 温度測定法による場合

孔内水と温度の異なる水。

注記 一般には、地下水温度より高い温度を熱源で与える。

4.9.3 粒子追跡法による場合

孔内水流と共に移動する固体微粒子。

5 測定孔の準備

裸孔とスクリーン内による測定の場合それぞれで以下の手順とする。

5.1 裸孔による測定の場合

測定孔の準備は、次による。

- a) **JGS 1311** に準じて測定区間上部までの削孔及び遮水を行い、所定の孔径¹⁾を有する保護管を測定区間の上まで挿入する。

注¹⁾ 所定の孔径とは、測定器の挿入及び孔内洗浄が可能な孔径をいう。

注記1 孔壁が自立する場合は、裸孔でよい。

注記2 削孔は清水掘りが望ましいが、やむを得ず孔壁保護などのために泥水を使用した場合には、保護管挿入後に孔内を清水に置き換える。

- b) 測定区間を所定の孔径で所定の深さ²⁾まで清水にて削孔する。

注²⁾ 所定の深さとは、測定区間を網羅する深さをいう。

- c) 測定孔の洗浄を行う。ベラー、ポンプ又はエアリフト³⁾などで孔内水を揚水し、懸濁水が清水になるまで孔内洗浄を行う。やむを得ず削孔に泥水を使用した場合には、特に入念な洗浄を行う。なお、低透水地盤での洗浄で十分に水位の回復が見込めないような場合は、孔内に清水を投入する。

注³⁾ エアリフトとは、孔内に挿入した揚水管の先端付近に圧縮空気を吹き込み、上昇する気泡とともに孔内水を揚水する装置である。

注記3 孔内水の揚水が、孔壁の安定に影響を与えないよう揚水量に注意する。

注記4 エアリフトを使用する場合、測定区間に影響を与えない深度でのエアの排出とする。

注記5 清水投入時の孔内水位は周辺地盤の地下水位より高くないように注意する。

5.2 スクリーン内による測定の場合

測定孔の準備は、次による。

- a) 所定の孔径¹⁾で所定の深さ²⁾まで削孔する。

注¹⁾ 所定の孔径とは、測定器の挿入及び孔内洗浄が可能な孔径を有するスクリーン付パイプ、又はフィルター厚さを考慮した孔径をいう。

注²⁾ 所定の深さとは、測定区間を網羅する深さをいう。

注記1 削孔は清水掘りが望ましいが、やむを得ず孔壁保護などのために泥水を使用した場合には、特に入念な洗浄を行う。

- b) 削孔した孔内にスクリーン付パイプ³⁾を鉛直に挿入する。

注³⁾ スクリーンの開孔率及び形状は、地下水の流入を妨げず、かつフィルター材及び地盤中の細粒土の流入が極力少ないものとする。

- c) スクリーン設置深さの孔壁とパイプとの間隙にフィルター材⁴⁾を充填する。

注⁴⁾ フィルター材は、十分な透水性を有し、かつ地盤中の細粒土の流入を極力少なくするものとする。

- d) スクリーンと孔壁の間隙で、測定結果に影響するような上下方向の流れが生じないように、シール材⁵⁾などを用いて遮水する。

注⁵⁾ シール材にはベントナイト、化学膨張材などがあり、測定期間並びに水質又は地質条件などで決める。

注記2 スクリーンの長さは、測定結果に影響するような上下方向の流れが生じないよう測定区間のみとする。

- e) 測定孔の洗浄を行う。ベラー、ポンプ又はエアリフトなどで孔内水を揚水し、懸濁水が清水になるまで孔内洗浄を行う。やむを得ず削孔に泥水を使用した場合には、特に入念な洗浄を行う。なお、低透水地盤での洗浄で十分に水位の回復が見込めないような場合は、孔内に清水を投入する。

注記3 エアリフトを使用する場合、測定区間に影響を与えない深度でのエアの排出とする。

注記4 清水投入時の孔内水位は周辺地盤の地下水位より高くないようにする。

6 測定方法

6.1 電位差法による場合

電位差法による測定方法は、次による。

- a) 測定器設置前の孔内水位又は水圧を測定する。

- b) 測定器を所定の深度まで挿入し、測定器と方位との関係を確認する。

注記1 方位の設定には、方位センサー等を用いて設定することが望ましい。

- c) 測定区間の上下の空間を閉塞し、遮水するためにパッカーを拡張する。

注記2 パッカー拡張圧は、孔内の水圧を考慮した圧力とし、孔壁を損傷しないように注意する。

注記3 スクリーン内の測定におけるパッカーの設置位置は、スクリーン上下の保護管とすることが望ましい。

注記4 測定区間内を区切る必要がない場合は、パッカーでの閉塞をしなくてもよい。

- d) 測定開始前の測定区間の孔内水位又は水圧が安定したことを確認する。

注記5 測定器の挿入などによる地下水の流れへの影響がなくなったことを、水圧又は電位差の変化を継続して測定することにより確認する。

- e) 測定器中央部より孔内水と電気抵抗の異なる溶液トレーサー(蒸留水など)を投入し測定を開始する。

注記6 トレーサーの投入が地下水の流れに影響を与えないように注意する。

- f) 電位値の変化を測定器に設置された電極で経時的に測定する。

注記7 トレーサー投入後の測定間隔は、できるだけ短い時間間隔(測定器の性能に依存するが1秒程度から)で開始し、電位差の変化量に応じて計測間隔を長くしてもよい。

- g) 電位値の変化(ピークの検出)が確認された後、測定を終了する。

6.2 温度測定法による場合

温度測定法には加熱式と熱流式があり、それらの測定方法は次による。

6.2.1 加熱式による測定の場合

加熱式による測定方法は、次による。

- a) 本計測の測定準備方法は 6.1 の a), b)による。

- b) 測定開始前に測定器センサーの温度計と方位センサーの値を確認する。

- c) 自然状態の地下水温を測定開始する。

注記1 自然状態測定時に温度変化がない事を確認する。

- d) ヒーターに一定電圧を加えて測定器に設置された温度計で経時的に測定する。

注記2 加電圧後の測定時間は、温度変化の状況に応じて計測間隔を長くしてもよい。

- e) 一定時間測定した後、地下水流の傾向が取得できた段階でヒーター加電を止める。
f) 温度低下傾向を数分測定して終了する。

6.2.2 熱流式による測定の場合

熱流式による測定方法は、次による。

- a) 本計測の測定準備方法は、6.1のa)～c)による。
b) 測定開始前の測定器周囲の温度分布が安定したことを確認する。

注記 測定器の挿入などによる地下水の流れへの影響がなくなったことを、地下水温の変化を継続して測定することにより確認する。

- c) 測定器の中心部に設置されているヒーターを加熱する。次に測定を開始する。
d) 測定器外周の複数の温度センサーの温度変化及び流向・流速を経時的に測定する。
e) 地下水の流向と流速の分布が安定したところで、測定を終了する。

6.3 粒子追跡法による場合

粒子追跡法には光学式と超音波式があり、それらの測定方法は次による。

6.3.1 光学式による測定の場合

- a) 本計測の測定準備方法は、6.1のa)～d)による。
b) 測定区間内に固体微粒子トレーサーを地下水流の流れに影響を与えないように投入し、測定を開始する。

注記1 トレーサー投入時は、測定区間の中央部にトレーサーを投入するのが望ましい。

- c) 測定は、孔内水流に乗って移動するトレーサーを画像取得することで測定とする。

注記2 測定間隔は孔内流速に依存する。例えば、孔内流速が $1 \times 10^{-4} \text{m/s}$ の場合の測定間隔は20～40秒を目安とする。

注記3 測定結果の信頼性を向上させるために複数回に渡り画像取得することが望ましい。

注記4 測定中は、測定区間の水圧及び水温に大きな変動がないことを確認する。

- d) 撮影方向の異なる取得画像の処理を行い、トレーサーの位置を座標として検知する。
e) 測定の終了は、トレーサーの移動距離と移動経路の方向を確認できた時点とする。

注記5 トレーサーの移動距離を1cmとすると、孔内流速が $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$ の場合には、測定の終了は測定開始から170分程度である。

6.3.2 超音波式による測定の場合

- a) 本計測の測定準備方法は、6.1のa)～d)による。
b) 測定区間内に固体微粒子トレーサーを投入し、測定を開始する。

注記1 トレーサー投入時はトレーサーが測定区間内に均等に分布するよう十分な量のトレーサー混合水を投入する。

- c) 測定は、孔内水流に乗って移動するトレーサーの挙動を超音波センサーでトレーサーからの反射波を検出し、座標として検知する。

注記2 測定間隔は用いる機器仕様又は孔内流速に依存する。

注記3 少なくとも単一の粒子に対して複数の座標値を取得することが望ましい。

注記4 測定中は、孔内水位又は水圧及び水温に大きな変動がないことを確認する。

- d) 測定の終了は、複数の座標値によって、測定が可能なトレーサーの移動距離と移動経路の方向を示したことを確認できた時点とする。

注記5 測定が可能な移動距離と時間の関係は、例えば、孔内流速 10^{-5} m/sで1cmの移動距離が必要な場合には17分程度、孔内流速 10^{-10} m/sで40 μ mの移動距離が必要な場合には4.7日程度である。

7 結果の整理

結果の整理方法を**附属書 A**に示す。

8 報告事項

次の事項を報告する。

- a) 測定孔名、位置及び地盤高

注記1 地盤高は標高を求めることが望ましい。

- b) 孔内水位又は水圧

注記2 測定開始前、測定終了後の孔内水位又は水圧を報告する。

- c) 測定深度

- d) 測定日時及び天候

- e) 測定方法

- f) 測定装置の仕様

- g) 測定記録

注記3 トレーサーの経時変化を報告する。

- h) 流向と測定流速

- i) その他特記すべき事項

注記4 必要に応じて、周辺での地下水利用状況を報告する。

附属書 A

(規定)

結果の整理方法

A.1 電位差法による場合

電位差法による結果の整理方法は、次による。

- a) トレーサー投入後の各電極電位の経時変化を**附属書 B**の**図 B.1**のように整理する。
- b) 各電極の経時変化より、ピーク時における電位の変化が大きい電極を読み取り流向の判定を行う。また、流向判定で読み取った電極におけるピークまでに要した時間から次式により流速を求める。

$$V_0 = \frac{L}{2t}$$

ここに V_0 : 測定流速
 L : 電極間の距離
 t : ピークまでに要した時間

- c) ダルシー流速は、次式によって求める。

$$V_d = V_0 \times \beta$$

ここに V_d : ダルシー流速
 V_0 : 測定流速
 β : 補正係数 (**表 A.1**を参考に補正係数 β を求める)

表 A.1—透水係数と補正係数の関係

材料	$D_{10}(\text{mm})$	$D_{20}(\text{mm})$	$D_{50}(\text{mm})$	透水係数 $k(\text{m/s})$	補正係数 β
$\phi 0.1\text{mm}$ ビーズ	0.10	0.10	0.10	4.9E-05	0.159
豊浦標準砂	0.17	0.18	0.20	1.8E-04	0.204
粗砂 I	0.50	0.63	0.90	1.5E-03	0.268
粗砂 II	0.90	1.20	1.35	5.9E-03	0.395

A.2 温度測定法による場合

温度測定法には加熱式と熱流式があり、それらの結果の整理方法は次による。

A.2.1 加熱式による測定の場合

加熱式による結果の整理方法は、次による。

- a) 測定器センサー内部のヒーターに一定電圧を加え、測定器に設置された各温度計の経時変化を**附属書 B**の**図 B.2.1**のように整理する。
- b) ヒーター周辺に配置された温度センサーの加電前の温度と加電中の温度との差を、各種の流速及びブスクリーンに対して計測し、「地下水流速—温度差」の関係を実験的に求める。
- c) 加電前平均温度と加電中平均温度との差を b) で求めた式に代入し流速を計算する。また、任意時刻において計測温度差から等温線図上の温度分布図を作成し流向の判断を行う。

A.2.2 熱流式による測定の場合

熱流式による結果の整理方法は、次による。

- a) ヒーター加熱後の各点の温度分布を温度センサーで検出し、地下水の流向流速計と流速を**附属書 B**の

図 B.2.2 のように整理する。

- b) ダルシー流速は、次式によって求める。

$2 \times 10^{-6} \leq V_d \leq 10^{-4}$ m/s の流速域では、

$$V_d = [T_{\text{dev}}/61.33]^{1.16} \times 10^{-2}$$

$V_d \geq 10^{-4}$ m/s の流速域では、

$$V_d = [\Delta T/0.053]^{-1.19} \times 10^{-2}$$

ここに V_d : ダルシー流速
 T_{dev} : 平均温度上昇の標準偏差
 ΔT : 平均温度上昇

A.3 粒子追跡法による場合

粒子追跡法には光学式と超音波式があり、それらの結果の整理方法は次による。

- a) トレーサー投入後のトレーサーの移動を座標値として、**付属書 B** の**図 B.3.1**、**図 B.3.2** のように整理する。
- b) トレーサーの移動経路の方向から流向の判定を行う。また、流向判定に用いた座標値の示す経過時間あたりのトレーサーの移動距離から次式により流速を求める。

$$V_0 = \frac{L}{t}$$

ここに V_0 : 測定流速
 L : トレーサーの移動距離
 (基点座標 x, y, z から x', y', z' までの直線の距離 $L = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}$)
 t : トレーサーの移動に要した時間

附属書 B (参考) 結果の整理例

B.1 電位差法の例

図 B.1 に、電位差法の例を示す。

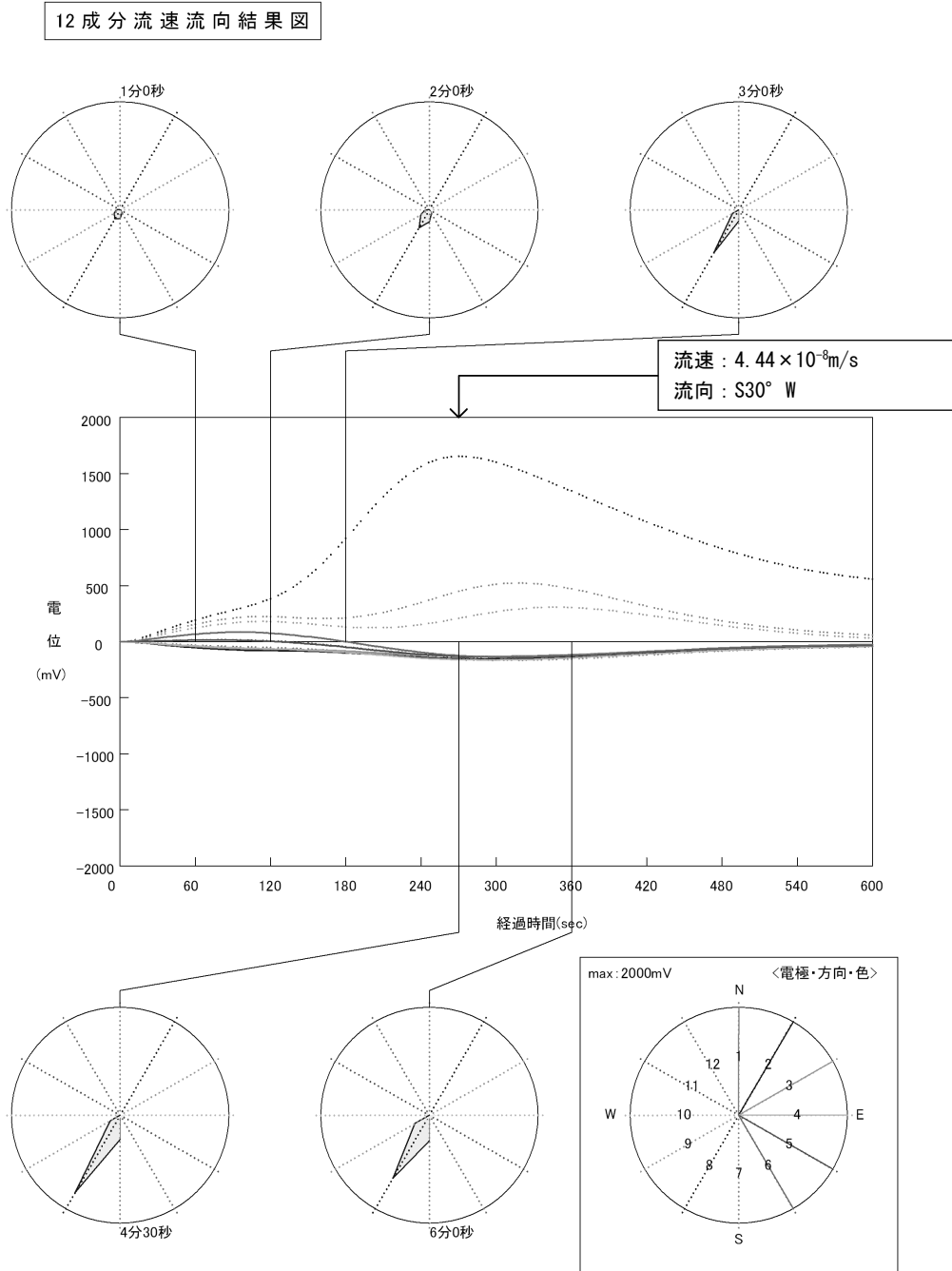
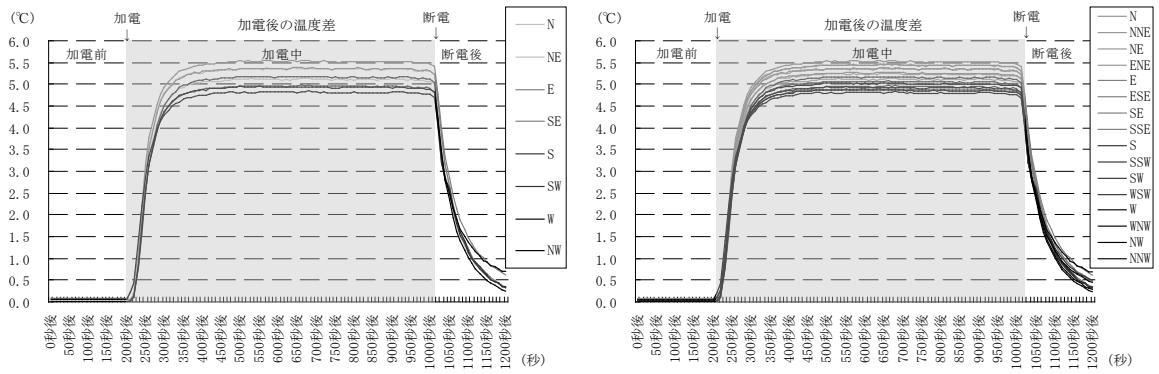


図 B.1—電位差法の例

B.2 温度測定法の例

図 B.2.1 に加熱式, 図 B.2.2 に熱流式の例を示す。

流速の例



流向の例

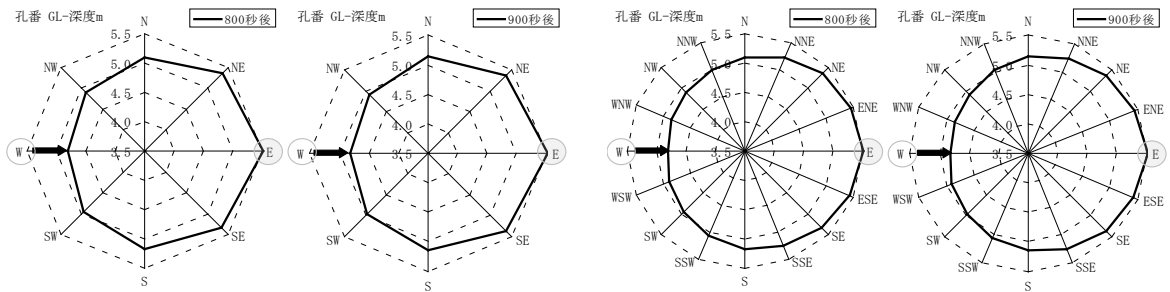


図 B.2.1—加熱式の例

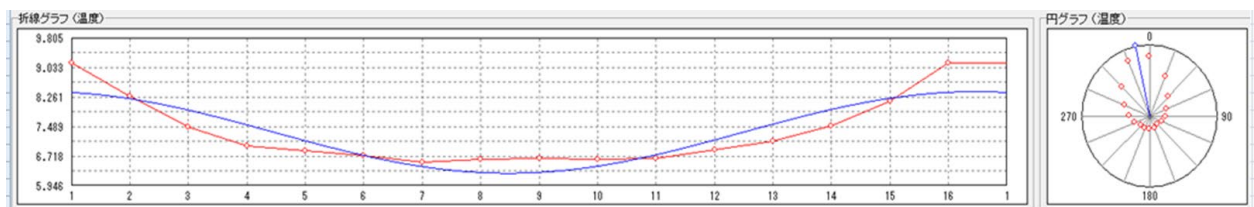
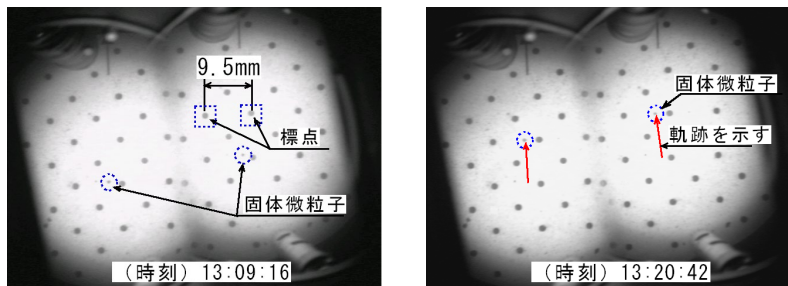


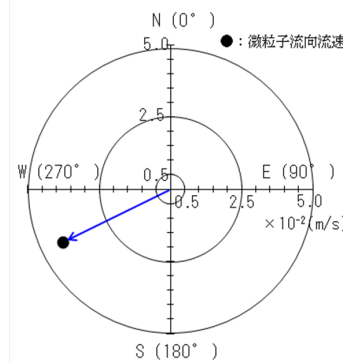
図 B.2.2—熱流式の例

B.3 粒子追跡法の例

図 B.3.1 に光学式, 図 B.3.2 に超音波式の例を示す。

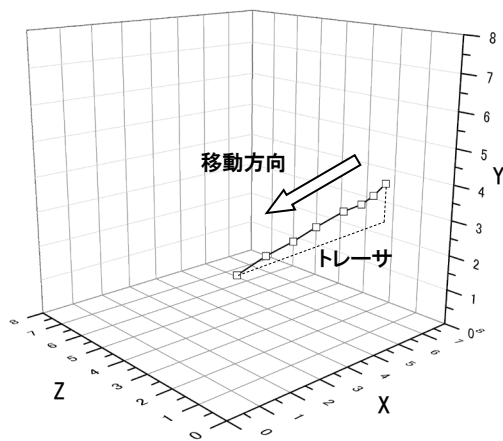


(a) 画像の左右で撮影角度が異なる取得画像例

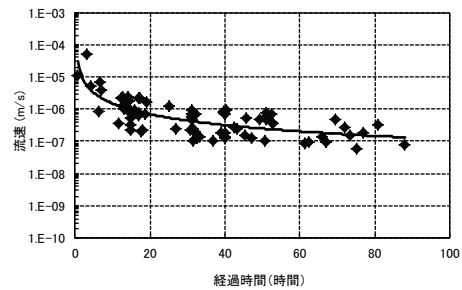


(b) 測定結果例 (流向と流速)

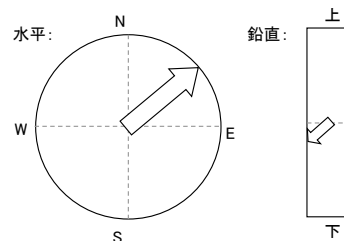
図 B.3.1—光学式の例



(a) トレーサー移動軌跡の座標値イメージ



(b) 測定結果例(流速)



(c) 測定結果例(流向)

図 B.3.2—超音波式の例

JGS1318「単孔を利用した地下水流向流速測定方法」改定新旧対照表

No.	番号	現行基準	改定案	改定理由
1	2		JIS A 0207 地盤工学用語	新規規格制定のため。
2	3	この基準で用いる主な用語及び定義は、次による。	この基準で用いる主な用語及び定義は、次によるほか、JIS Z A 0207 による。	
3	3	3.1 地下水流向流速測定方法 測定区間に対して各種トレーサーを投入し、孔内水の電気抵抗若しくは水温の経時変化を測定し、又は孔内水流に乗って移動するトレーサーの位置を測定し、地下水流向流速を測定する方法。	削除	試験法のタイトルであり、用語として本文でも引用されていないため。
4	4 5	「掘削」	「削孔」	JIS A 0207 地盤工学用語における「掘削」の定義と異なるため。
5	付属書 A. 2. 2 b)	$V_d = [T_{dev}/61.33]^{1.16}$ $V_d = [\Delta T/0.053]^{-1.19}$	$V_d = [T_{dev}/61.33]^{1.16} \times 10^{-2}$ $V_d = [\Delta T/0.053]^{-1.19} \times 10^{-2}$	単位換算の標記ミスは是正。

以上