

揚水試験方法

Method for pumping test

1 適用範囲

この基準は、帯水層の透水量係数（または透水係数）及び貯留係数を求める方法について規定する。

この試験は、飽和した帯水層を対象とする。

注記 揚水時に観測井で地下水位の変動が観測可能な地盤に適用する。透水係数が 10^{-6}m/s より大きい地盤を適用の目安とする。

2 引用規格・基準

次に掲げる規格・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。これらの引用規格・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

JIS B 8302 ポンプ吐出し量測定方法

JGS1312 観測井による砂質・礫質地盤の地下水位の測定方法

JGS1313 ボーリング孔内に設置した電気式間隙水圧計による間隙水圧の測定方法

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

揚水試験

揚水井と複数の観測井を用いる多孔式現場透水試験を指し、揚水時の揚水井、観測井の水位低下量及び揚水停止後の水位回復量を経時的に測定して、帯水層の透水量係数（または透水係数）及び貯留係数を求める試験。

3.2

揚水井

揚水試験時に揚水を行うことにより、試験対象地盤の地下水位を低下させるための井戸。

3.3

観測井

揚水試験時の地下水位変動の測定が可能な井戸及び孔の総称。水圧計を設置した間隙水圧測定孔も含む。

4 試験用具

4.1 揚水ポンプ

所定の揚水流量 Q を維持できる能力を有するもの。

注¹⁾ 所定の揚水流量とは、観測井に観測可能な地下水位変動を与え得る揚水流量をいう。

注記1 揚水ポンプは、地盤調査結果や既存資料などから揚水流量を推定したうえで容量を決め、一定の揚水流量を維持できるものを選ぶ。

注記2 回復試験を実施する場合には、揚水ポンプからの配管（揚水管）の途中で逆止弁を設けて、揚水管内の水が揚水井に逆流しないように配慮する。

4.2 揚水流量測定器

JIS B 8302 ポンプ吐出し量測定方法に規定される三角堰、流量計または容積の分かっている容器などポンプの揚水流量を測定できるもの。

4.3 水位測定器

JGS 1312 に規定する水位計、あるいは **JGS1313** に規定する電気式間隙水圧計。

5 揚水井及び観測井の設置

揚水井及び観測井の設置は、次による。

注記 試験設備の設置例を **附属書B**の **図B.1**に示す。

5.1 揚水井

揚水井の設置は、次による。

a) 所定の孔径¹⁾、所定の深さ²⁾で削孔する。

注¹⁾ 所定の孔径とは、地盤の透水性、スクリーン付きパイプの外径やフィルター厚さなどから決定される井戸径をいう。

注²⁾ 所定の削孔深さとは、試験対象とする帯水層の下端までとする。ただし、スクリーン付きパイプを所定の深さに設置するために、通常、ボーリング孔底に余掘りを行う。

注記1 清水掘りとするのが望ましいが、孔壁保護などのために止むを得ない場合は、泥水などの安定液を使用してもよい。

注記2 土質、削孔深さ、削孔径に応じて、ロータリー式、パーカッション式などのボーリングマシンを用いる。

b) 削孔した孔内にスクリーン付きパイプを鉛直に挿入する。

注記3 スクリーンの位置及び長さは、対象とする帯水層の深さと厚さから決める。揚水井の集水区間は、スクリーンと地盤の間にフィルター材を充填した区間とする。

注記4 スクリーン付きパイプは、使用する揚水ポンプが挿入可能な内径を有するものとする。

注記5 スクリーン付きパイプ及びスクリーンの材質は、測定期間、水質、土圧などを考慮して選ぶ。

注記6 スクリーンの開孔率及び形状は、地下水の揚水井内への流入を妨げず、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。

注記7 揚水井の下端には、長さ1～2mの砂溜まりを設けることが望ましい。

c) スクリーン設置深さの孔壁とパイプの隙間にフィルター材を充填する。

注記8 フィルター材は、地盤よりも透水性が十分に高く、かつ揚水井への地盤中の細粒土の流入を極力少なくするものを選定する。

d) スクリーン設置深さ以外の孔壁とパイプの隙間は、試験対象とする帯水層以外の地層から地下水の流入がないように遮水する。遮水方法は、**JGS 1312**による。

注記9 遮水方法及び遮水材料は揚水にともなう水の流れによって浸食崩壊しないものを選定する。

e) 揚水井を十分に洗浄する。

注記10 揚水井の構造と削孔方法に応じて、ポンピング、スワビング、ジェットイング、エアリフトなどから適切な洗浄方法を採用する。

注記11 孔壁保護のため泥水などの安定液を用いた場合には、特に入念に洗浄を行う。

5.2 観測井

観測井の設置は、次による。

- a) 観測井の設置方法は **JGS1312** による。

注記1 観測井のスクリーン設置深さは、揚水井の集水区間と同じ深さとすることが望ましい。

注記2 観測井は、揚水井近傍では密に、離れるにしたがって粗に配置し、一測線上に3本以上設置することが望ましい。観測井の設置位置は、揚水井からの距離を対数目盛上にプロットしたときにほぼ等間隔になるように定める。観測井は揚水井を中心に、直交二測線上に配置することが望ましい。

- b) 間隙水圧計を用いる場合の設置方法は **JGS1313** による。

注記3 間隙水圧計の場合には、揚水井集水区間の中央深さ付近に設置することが望ましい。

6 試験方法

6.1 試験準備

試験準備は、次による。

- a) 水位測定の基準となる揚水井及び各観測井の天端あるいは間隙水圧計の設置標高、揚水井中心から各観測井中心までの距離 r を測量する。
- b) 揚水井内に揚水ポンプ及び水位測定器を、観測井内に水位測定器を設置する。
- c) 井戸内への機器設置や洗浄などによる地下水位の変動の影響を避けるため、水位変動状況を測定して、変動がほぼ停止することを確認する。
- d) 地下水位の自然変動を把握するために、試験期間相当の事前観測を行い平衡水位 h_0 を決定する。

注記 対象とする地下水が潮汐、気圧あるいは人為的な地下水利用などの影響を受けて変動する場合は、事前に地下水位と潮位、気圧などの関係、人為的な地下水利用の影響などを把握して、観測水位の補正を行う。補正後の観測水位より平衡水位を決定する。

6.2 段階揚水試験

段階揚水試験方法は、次による。

- a) 揚水流量を一定時間ごとに段階的に変化させ、そのときの揚水流量 Q と揚水井の水位 h_w の関係を測定する。

注記 揚水した水は、対象とする帯水層の地下水位に影響を与えないように処理する。

- b) a)の結果を、揚水流量 Q と揚水井の水位低下量 s_w の関係として整理する。
- c) 段階揚水試験後、揚水を停止し、地下水位がほぼ回復したことを確認するまで水位観測を継続する。

6.3 定流量揚水試験

定流量揚水試験方法は、次による。

- a) 6.2 b)で整理した段階揚水試験結果より、定流量揚水試験時の目標揚水流量を設定する。

注記1 段階揚水試験時の揚水流量 Q と揚水井の水位低下量 s_w の関係を **附属書B**の**図B.2**のように両対数グラフあるいは両算術軸グラフでプロットすると、急激な折れ曲がりを示す場合がある。揚水井の水位が急激に低下し始める揚水流量（限界揚水流量 Q_c ）、あるいは揚水井内へ砂の継続的な流入が発生する揚水流量を確認し、それ以下の範囲で定流量揚水試験時の目標揚水

流量を設定する。ただし、観測井において有意な地下水位変動が測定できるよう配慮する。
 なお、両対数軸グラフで直線勾配が1の範囲では層流であることから、層流と乱流の判定にも役立てることができる。

- b) 6.3 a)で求めた目標揚水流量で揚水を開始し、揚水開始後の経過時間 t と揚水井及び各観測井の水位 h を経時的に測定する。また、一定流量で揚水していることを確認するために揚水流量 Q_p を測定する。

注記2 揚水した水は、対象とする帯水層の地下水位に影響を与えないように処理する。

注記3 揚水による地下水位の低下速度は、時間とともに指数関数的に減少するので、測定時間を対数目盛にとったときにほぼ等間隔になるように測定時間間隔を定める。

- c) 揚水井及び各観測井の水位がほぼ一定となった後、その状態（定常状態）を数時間維持し、このときの揚水流量 Q_p 、揚水井及び各観測井の水位 h_c を測定する。

注記4 試験目的によっては、定常状態は必ずしも確認しなくてよい。

6.4 回復試験

定流量揚水試験の後、揚水を停止し、停止後の経過時間 t' 、揚水井及び各観測井の水位 h を測定する。各観測井の水位が平衡水位まではほぼ回復した時点で試験を終了する。

注記 揚水停止による地下水位の回復速度は、時間とともに指数関数的に減少するので、測定時間を対数目盛にとったときにほぼ等間隔になるように測定時間間隔を定める。

7 結果の整理

試験中は、揚水井及び観測井の水位低下量・水位回復量、揚水流量を経時的に計測し整理する。

一般的に用いられる結果の解析方法を**附属書 A**に示す。

注記 試験中に試験結果をグラフ上にプロットし、変動状況を把握することが望ましい。

8 報告事項

次の事項を報告する。

- a) 揚水井及び観測井の番号及び位置
- b) 地盤標高及び揚水井、観測井の天端標高
- c) 帯水層の種別（被圧・不圧）、土質分類
- d) 揚水井及び観測井の構造図
- e) 水位測定方法
- f) 揚水流量の測定方法
- g) 試験日時

注記2 必要に応じて試験時の天候、気圧、降雨量、潮位変動などを報告する。

- h) 試験に先だって実施した観測結果
- i) 段階揚水試験結果（揚水流量と揚水井の水位低下量の関係図）
- j) 定流揚水試験結果（揚水流量、揚水井及び各観測井の水位の経時変化）
- k) 回復試験結果（揚水停止後の経過時間と揚水井及び各観測井の水位の経時変化）
- l) 帯水層の透水量係数、透水係数、貯留係数（被圧の場合は比貯留係数、不圧の場合は比産出率）、影響圏半径及びその解析方法

- m) この基準と部分的に異なる方法を用いた場合には、その内容
- n) その他特記すべき事項

附属書 A (規定) 結果の解析方法

A.1 共通事項

結果の解析方法の共通事項は、次による。

- a) ここに示す結果の解析方法は、以下の仮定が満足される条件下で誘導された理論式に基づくものであり、試験の実施条件がこれらの条件から大きく逸脱していない場合に適用できる。
- 1) 帯水層は被圧状態にある。
 - 2) 帯水層は水平方向に無限の広がりを持つ。
 - 3) 帯水層は均質等方で、均一の厚さを有する。
 - 4) 試験前の地下水位は水平である。
 - 5) 一定の揚水流量で揚水する。
 - 6) 揚水時の帯水層中の地下水流は、水平放射状である。
- b) A. 2, A. 3 及び A. 5 の整理方法は、これらに加えて、以下の条件が満足される場合に適用できる。
- 7) 帯水層中の水は、水頭勾配にしたがい瞬時に流動する。
 - 8) 揚水井の径は十分に小さく、揚水井内の貯留の影響は無視できる。

注記1 不圧帯水層の揚水試験において試験時の水位低下量が小さい場合には、上記の整理方法を準用することができる。

注記2 揚水時及び回復時の非定常状態における試験結果の整理に、A. 2, A. 3 及び A. 5 の各整理法を用いる場合、観測井ごとに整理することもできるが、複数の観測井の観測結果を同一のグラフ上に整理することが有効である。理想的な条件での試験では、このように整理することにより、揚水井からの距離 r が異なる観測井の水位低下プロットが、グラフ上で重なり試験の妥当性を確認することができる。

- c) 試験の実施条件、実施目的に応じて以下に示す解析方法のうち適切なものを適用する。

A.2 曲線一致法 (Theis (タイス) の方法)

曲線一致法とは、非定常状態の水位測定結果と、理論水位低下量 (標準曲線) を比較し、透水量係数 (または透水係数) 及び貯留係数を求める方法である。

曲線一致法の結果の解析方法は、次による。

注記1 曲線一致法によって透水量係数または透水係数及び貯留係数を求める場合、試験データのプロットと標準曲線の合致点はグラフ上の任意点を選定すればよい。合致点の座標 $[(1/\lambda)_m, W(\lambda)_m]$, $[(t/r^2)_m, s_m]$ の求め方を **附属書Bの図B.4** に例示する。

注記2 時間軸を r^2/t と λ の組み合わせとすることもできる。このとき、合致点の時間座標値はそれぞれ $(\lambda)_m$ 及び $(r^2/t)_m$ となるが、これらの逆数 $(1/\lambda)_m$ 及び $(t/r^2)_m$ を **e)** の式に代入すればよい。

- a) 揚水開始後の経過時間 t における観測井の地下水位低下量 s を次式で算定する。

$$s = h_0 - h$$

ここに、

h_0 : 平衡水位 (m)

h : 揚水開始後の経過時間 t (s) における観測井の水位 (m)

- b) 両対数グラフの縦軸に観測井の地下水位低下量 s を、横軸に t/r^2 をとり、各観測井における測定結果をプロットする。ここに、 r は揚水井から観測井までの距離である。
- c) $s-t/r^2$ の関係をプロットしたものと同スケールの別の両対数グラフに、**附属書 B** の **図 B.3** のように井戸関数 $W(\lambda) - (1/\lambda)$ の関係を標準曲線として描く。
- d) 2 枚のグラフを重ねて上下左右に平行移動し、試験結果と標準曲線が最もよく一致したときのグラフ上の任意点の座標 $[(1/\lambda)_m, W(\lambda)_m]$, $[(t/r^2)_m, s_m]$ を読み取る。
- e) 読み取った座標値を以下の式に代入して、透水量係数 T または透水係数 k 及び貯留係数 S を算定する。

$$T = \frac{Q_p}{4\pi s_m} W(\lambda)_m$$

$$k = \frac{T}{b}$$

$$S = 4T \frac{(t/r^2)_m}{(1/\lambda)_m}$$

$$S_s = \frac{S}{b} \quad (\text{被圧の場合})$$

$$S_y = S \quad (\text{不圧の場合})$$

ここに、

- Q_p : 定流量揚水試験時の揚水流量 (m³/s)
 b : 帯水層の厚さ(m) (不圧の場合 $b = h_0$: 平衡水位時の飽和帯水層の厚さ)
 S_s : 比貯留係数 (1/m)
 S_y : 比産出率

A.3 $s-\log_{10}(t/r^2)$ プロットによる直線勾配法 (Jacob (ヤコブ) の方法)

$s-\log_{10}(t/r^2)$ プロットによる直線勾配法とは、非定常状態での水位測定結果を片対数グラフにプロットし、プロットが直線で近似される部分から、透水量係数 (または透水係数) 及び貯留係数を求める方法である。

$s-\log_{10}(t/r^2)$ プロットによる直線勾配法の結果の解析方法は、次による。

注記 直線勾配($s-\log_{10}(t/r^2)$)法によって透水量係数または透水係数及び貯留係数を求める場合の勾配 a 及び $(t/r^2)_{s=0}$ の求め方を **附属書 B** の **図 B.5** に示す。

- a) 揚水開始後の経過時間 t における観測井の地下水位低下量を次式で算定する。

$$s = h_0 - h$$

- b) 片対数グラフの算術目盛 (縦軸) に地下水位低下量 s を、対数目盛 (横軸) に t/r^2 をとり、各観測井における測定結果をプロットする。
- c) $s-\log_{10}(t/r^2)$ プロットが直線で近似される部分を選定し、この直線の勾配 (横軸対数 1 サイクルに対応する s の差) a 及び直線の延長と横軸 $s=0$ 軸との交点の座標 $[(t/r^2)_{s=0}, 0]$ を読み取る。
- d) 透水量係数 T または透水係数 k 及び貯留係数 S を次式で算定する。

$$T = \frac{2.3Q_p}{4\pi a}$$

$$k = \frac{T}{b}$$

$$S = 2.25T(t/r^2)_{s=0}$$

$$S_s = \frac{S}{b} \quad (\text{被圧の場合})$$

e) 得られたパラメータを次式に代入し、直線近似区間の妥当性を確認する。

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{4T}{S} \left(\frac{t}{r^2} \right)^* \geq 100$$

ここに、 $(t/r^2)^*$: 直線近似した区間のデータに対する t/r^2
(s/m²)

上式が満たされていない場合には、より遅い時間の試験結果に対し直線近似を行い、c)に戻る。

A.4 $s\text{-}\log_{10} r$ プロットによる直線勾配法 (Thiem (ティーム) の方法)

$s\text{-}\log_{10} r$ プロットによる直線勾配法とは、揚水井から観測井までの距離 r と各観測井における定常状態の水位低下量 s_c の関係を片対数グラフにプロットし、プロットが直線で近似できる部分から、透水量係数 (または透水係数) を求める方法である。

この整理方法は、A.1 に示す仮定のうち、2)の条件を以下とした試験結果に適用することができる。

2) 水平方向の有限半径 R に定水位境界を有する。

$s\text{-}\log_{10} r$ プロットによる直線勾配法の結果の解析方法は、次による。

注記 直線勾配($s\text{-}\log_{10} r$)法によって透水量係数 (または透水係数) を求める場合の勾配 a の求め方及び影響圏半径 R の求め方を **附属書Bの図B.6**に示す。非定常法において、時間の経過に伴う変化を図示することによって、定常に至る過程が容易に判断できるようになる。

a) 定常状態における各観測井の地下水位低下量 s_c を次式で算定する。

$$s_c = h_0 - h_c$$

ここに、 h_c : 定常状態における観測井の水位 (m)

b) 片対数グラフの算術目盛 (縦軸) に定常地下水位低下量 s_c を、対数目盛 (横軸) に揚水井から各観測井までの距離 r をとり、両者の関係をプロットする。

c) $s_c\text{-}\log_{10} r$ プロットに直線部分を近似し、この直線の勾配 (横軸対数 1 サイクルに対応する s_c の差) a を読み取る。

d) 透水量係数 T または透水係数 k を次式で算定する。

$$T = \frac{2.3Q_p}{2\pi a}$$

$$k = \frac{T}{b}$$

d) 近似直線を延長して横軸 ($s=0$ 軸) との交点の座標を求め、この距離を影響圏半径 R とする。

A.5 回復式による方法

回復式による方法とは、回復時の水位測定結果を片対数グラフにプロットし、プロットが直線で近似される部分から、透水量係数 (または透水係数) を求める方法である。

この整理方法は、A.1 に示す仮定のうち、5)の条件を以下とした試験結果に適用することができる。

5) 一定流量で揚水した後、揚水を停止する。

回復式による結果の解析方法は、次による。

注記1 回復式によって透水量係数または透水係数を求める場合の直線勾配 a の求め方を **附属書Bの**

図B.7に示す。

注記2 揚水時の水位低下挙動が5.2で示す $s\text{-}\log_{10}(t/t')$ プロット上において直線近似可能な段階で揚水を停止して回復させた場合、近似直線の $s=0$ 軸切片は $\log_{10}(t/t')=1$ に収束する。これに対して、定常状態に達した後に揚水を停止して水位を回復させた場合、 $s=0$ 軸切片は $\log_{10}(t/t')=1$ に収束しない。しかし、いずれの場合も直線勾配 a は変化しないため、透水量係数 T には影響しない。

- a) 揚水停止後の経過時間 t' における地下水位低下量 s を次式で算定する。

$$s = h_0 - h$$

ここに、

h : 揚水停止後の経過時間 t (s)における観測井の水位 (m)

h_0 : 平衡水位 (m)

- b) 片対数グラフの算術目盛(縦軸)に観測井の地下水位低下量 s を、対数目盛(横軸)に t/t' をとり、各観測井について両者の関係をプロットする。ここに、 t は揚水開始後の経過時間である。
- c) $s\text{-}\log_{10}(t/t')$ プロットが直線で近似される部分を選定し、この直線の勾配(横軸対数1サイクルに対応する s の差) a を読み取る。
- d) 透水量係数 T または透水係数 k を次式で算定する。

$$T = \frac{2.3Q_p}{4\pi a}$$

$$k = \frac{T}{b}$$

ここに、

Q_p : 定流量揚水試験時の揚水流量 (m³/s)

附属書 B
(参考)

揚水試験設備及び揚水試験結果整理の例

B.1 試験方法の例

図 B.1 に、揚水試験設備の設置例を示す。

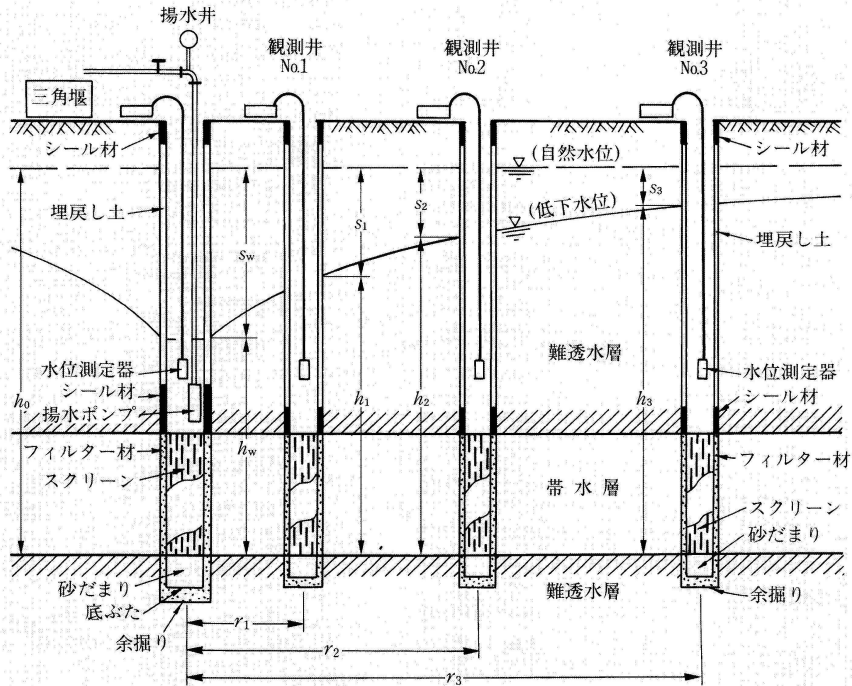
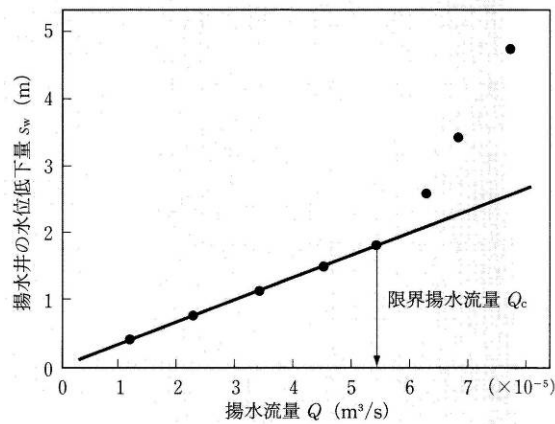


図-1 揚水試験設備の設置例 (被圧帯水層の場合)

図 B.1—揚水試験設備の設置例 (被圧帯水層の場合)

B.2 段階揚水試験結果の例

図 B.2 に、段階揚水試験結果の例を示す。



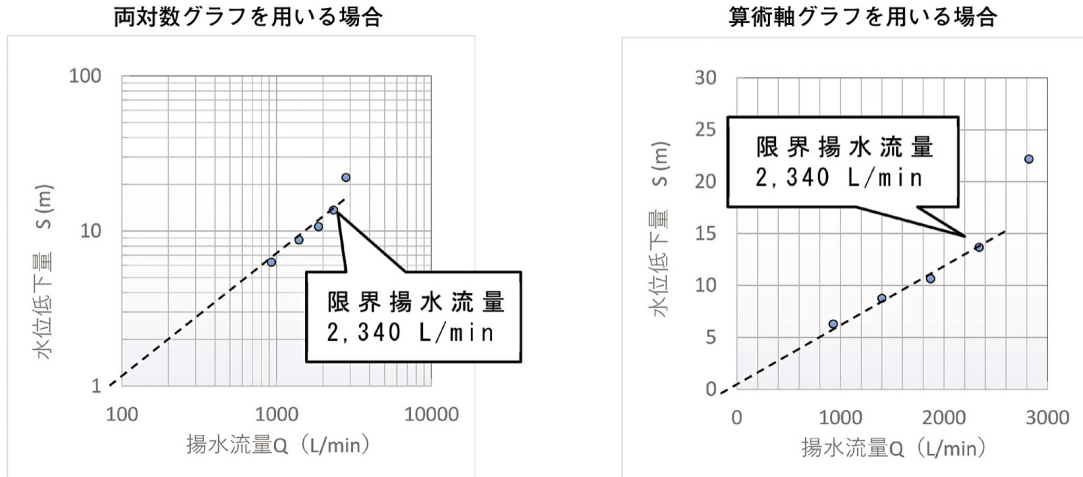


図 B.2 一段階揚水試験結果の例

B.3 標準曲線の例

図 B.3 に、標準曲線の例を示す。

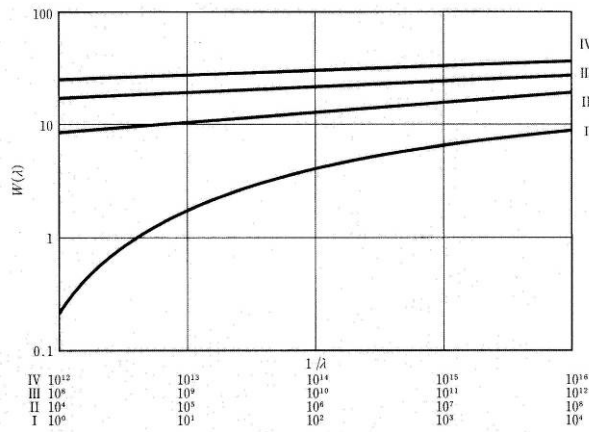


図 B.3 標準曲線の例 井戸関数 $W(\lambda) - (1/\lambda)$ 曲線

B.4 曲線一致法での合致点の座標の求め方の例

図 B.4 に、曲線一致法での合致点の座標の求め方の例を示す。

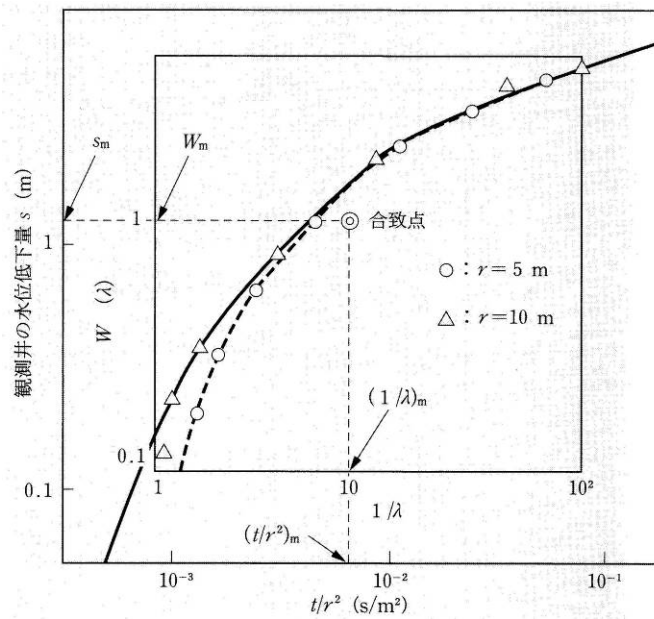


図 B.4—曲線一致法での合致点の座標の求め方の例

B.5 $s-\log_{10}(t/r^2)$ プロットによる揚水試験結果整理の例

図 B.5 に、 $s-\log_{10}(t/r^2)$ プロットによる揚水試験結果整理の例を示す。

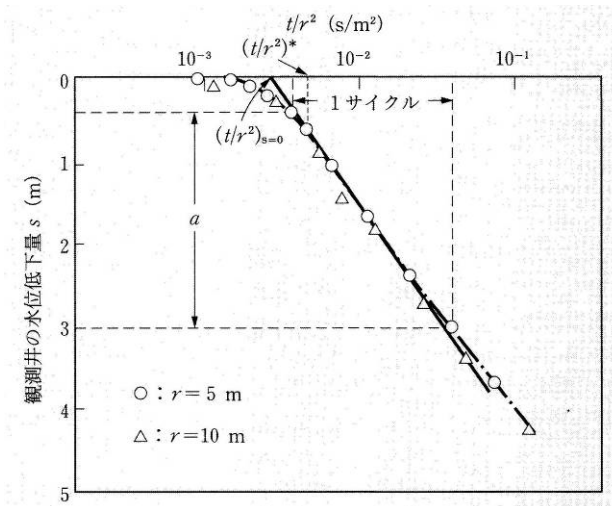
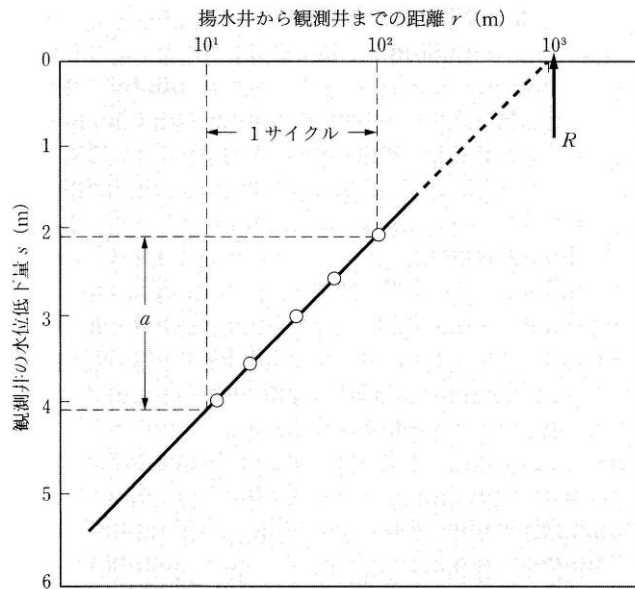


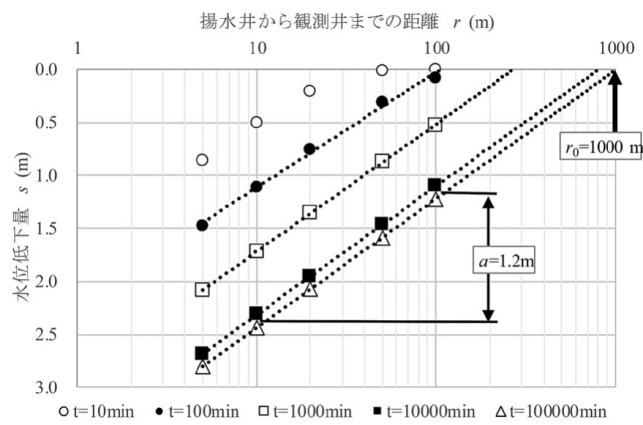
図 B.5— $s-\log_{10}(t/r^2)$ プロットによる揚水試験結果整理の例

B.6 $s\text{-}\log_{10} r$ プロットによる揚水試験結果整理の例

図 B.6 に、 $s\text{-}\log_{10} r$ プロットによる揚水試験結果整理の例を示す。



(a) 定常法での結果



(b) 非定常法での結果

図 B.6— $s\text{-}\log_{10} r$ プロットによる揚水試験結果整理の例

B.7 回復式による揚水試験結果整理の例

図 B.7 に、回復式による揚水試験結果整理の例を示す。

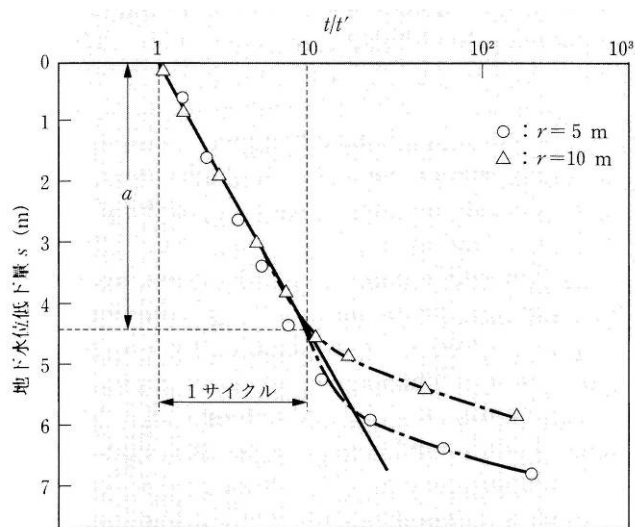


図 B.7—回復式による揚水試験結果整理の例

JGS1315「揚水試験」改定新旧対照表

No.	番号	現行基準	改定案	改定理由
1	2	【記述なし】	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。	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、 <u>JIS A 0207</u> による。	
3	3.4	3.4 帯水層 地下水を貯留している砂層や礫層などの透水性地盤。	【削除】	
4	5 6	「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 B	付属書 B の図 B.2 のようにプロットすると、・・・。	付属書 B の図 B.2 のように <u>両対数グラフ</u> あるいは <u>両算術軸グラフ</u> でプロットすると、・・・。 なお、両対数軸グラフで直線勾配が 1 の範囲では層流であることから、層流と乱流の判定にも役立てることができる。	結果の整理内容を追加した。
	図 B.2	【記載なし】	【新たに両対数グラフを追加】	
6	A.4 注記	【記述なし】	非定常法において、時間の経過に伴う変化を図示することによって、定常に至る過程が容易に判断できるようになる。	結果の整理内容を追加した。
7	図 B.6	【記載なし】	【新たに非定常法での結果を追加】	

以上