

孔内水位回復法による岩盤の透水試験方法

Method for determination of hydraulic properties of rock mass using Instantaneous Head Recovery Technique 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岩盤の平衡水位及び透水係数を求める方法について規定する。

この試験は、地下水面より下方の飽和した岩盤を対象とする。

注記1 この試験は、透水係数が 10^{-4} m/s程度以下の岩盤に適している。

注記2 この試験では、岩盤を均質等方な多孔質媒体と仮定して透水係数を求める。

注記3 この試験は、試験時間内に試験開始時の水位差の90%程度まで水位が回復し、この時間内に少なくとも10点以上の観測データが得られる場合に適している。

2 引用規格・基準

次に掲げる規格は、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

3 用語及び定義

この基準で用いる主な用語及び定義は、JIS A 0207 による。

4 試験用具

注記 試験装置の概要例を**附属書B**の**図B.1**に示す。

4.1 削孔用具

削孔及び孔内を洗浄できる岩盤用ボーリングマシン一式。

4.2 水位測定管

試験区間内の水圧に相当する水位を測定するための管で、水密性を有するもの。

注記1 水位測定管の接続部は、シールテープなどにより漏水を防止する。

注記2 水位回復区間の水位測定管の内径は同一にする。

4.3 トリップバルブ

水位測定管に取り付け、試験開始時に瞬間的に開放できる機能を有するもの。

注記1 通常、トリップバルブの内径はおおよそ20～30 mmであるが、乱流の発生や管内抵抗などを考慮して決める。

注記2 水位の測定に一定間隔で電極を配置した水位測定ケーブルを用いる場合は、同ケーブルの先

端におもりを付けたものを使用してトリップバルブを開放する。

4.4 パッカー

孔壁によく密着し、試験中に漏水が生じないもの。

注記1 パッカーには、試験区間の上部に設置するシングルパッカーと、試験区間を挟んで上下に設置するダブルパッカーとがあり、孔壁の状態や試験手順によって使い分ける。

注記2 パッカーは、1m程度あるいはそれ以上の長さのものが望ましい。

4.5 加圧装置

ガス圧または水圧でパッカーを膨らませる機能を有するもの。

4.6 水位測定器

水位測定管内の水位を経時的に測定・記録できるもの。

注記1 水位の測定に水圧計を使用してもよい。この場合、水位は1 cm単位まで、時間は秒単位で自動記録のできるものが望ましい。

注記2 水圧計は事前に較正係数及び無負荷状態の指示値を確認し、キャリブレーションされたものを用いる。

注記3 水圧計を使用する場合は深度を記録する。

5 試験孔の準備

試験孔の準備は、次による。

- a) 既存の横坑やボーリング孔などの影響を受けない範囲に試験孔の位置を選定する。
- b) 試験孔の削孔には削孔用具を用いる。

注記1 試験孔の削孔は清水掘りが望ましいが、安定液を使った場合は入念な洗浄を行う。

注記2 試験孔は、パッカー、トリップバルブ及び水位測定管などの挿入や試験区間の形状を保つために、崩壊の無い安定した孔壁に仕上げる。

- c) 戻り水にスライムなどが混入しなくなるまで試験孔を洗浄する。

6 試験方法

6.1 試験の準備

試験の準備は、次による。

- a) 対象岩盤の地質状況に応じて試験区間の深さを決める。

注記1 試験区間の長さ L と孔径 D の比 L/D が4以上になるようにする。 $L/D \geq 4$ が確保できない場合は、**附属書AのA.2**に示す式とは異なる式で試験結果を整理する。

- b) 試験孔の孔内水位を測定する。

注記2 孔内水位の測定結果は、トリップバルブの位置を決めるために用いる。

- c) 水位測定管の先端にパッカーと、その上部にトリップバルブを組み立てる。

- d) パッカー及びトリップバルブを先端部に取り付けた水位測定管を接続しながら、a) で定めた深さまで挿入する。この際、通常はトリップバルブを閉じておく。

- e) 加圧装置によりパッカーを膨らませ、孔壁に密着させる。

注記3 パッカーの遮水が良好でないと予想される場合は、事前にセメントなどによって孔壁を保護する。

注記4 パッカーをガス圧で膨らませる場合には、試験区間の深さ、試験区間の平衡水位（事前に測定できる場合）、孔内水位、パッカーの有効拡張圧（パッカーの遮水性を維持するための圧力）及び試験で加える水位差を考慮して、試験中に漏水が生じない十分なガス圧で加圧する。

注記5 パッカーの遮水性を確認するためには、試験の前後でパッカー上部の孔内の水位（水位測定管と孔壁の隙間の水位）を測定することが有効である。試験の前後で著しい水位上昇が認められた場合には、パッカーの遮水効果が良好でないと考えられるので、パッカー位置を変更して試験をやり直す。

注記6 試験の前後でパッカーを加圧するガスまたは水の圧力を測定する。試験の前後で圧力変化が著しい場合には、パッカーまたは配管系からの漏洩の可能性がある。この場合には、パッカーを引き上げて点検または交換を行う。

6.2 試験

試験方法は、次による。

注記1 試験方法の概要を**附属書Bの図B.2**に示す。

- a) 試験区間内の水圧が安定した後、トリップバルブを開放し試験を開始する。

注記2 試験区間内の水圧の安定を確認するためには、トリップバルブの下方に水圧計を設置する、またはトリップバルブを地上から開閉できる構造が必要である。

注記3 注記1に示した構造の試験装置を使用する場合は、透水試験前に試験区間内の平衡水位を測定する。この場合は、平衡水位の測定結果を参考に、ポンプやエアリフトなどにより、試験開始時の水位差を適切に設定する。このとき、試験開始時の水位差が過大であれば試験開始後に乱流が発生するため、試験開始時の水位差を過大としない。

注記4 注記1に示した構造の試験装置が使用できない場合は、試験区間内の水圧が安定したとみなされる十分な時間をおいた後、トリップバルブを開放し試験を開始する。

- b) トリップバルブ開放後、水位測定管内の水位 h (m) と、時間 t (s) を経時的に測定する。

注記5 試験開始時間 $t=0$ s は、トリップバルブを開放した時点、あるいは試験開始前からの水位観測により水位測定管内の水位低下が最大になった時点とする。また、この時の水位を試験開始水位 h_p (m) とする。

注記6 水圧計を用いた場合は、所定時間ごとに水圧を測定し水位に換算する。また、水圧計の設置深さを記録する。

- c) 水位回復が1時間当たり1cm未満となるまで試験を継続し、**附属書AのA.1**に示すように平衡水位 h_0 (m) を記録する。

7 結果の整理

水位測定管内を回復する水位 h (m) とその測定時間 t (s) の関係について整理し、附属書Bの図B.3に示すような $h-t$ 曲線を作成する。なお、結果の解析方法を附属書Aに示す。

8 報告事項

次の事項を報告する。

- a) 試験孔の番号、位置及び地盤高

注記1 地盤高として標高を求めることが望ましい。

- b) 試験区間の深さ、孔径及び長さ

- c) 試験区間の地質状況
- d) 試験日時，天候及び孔内水位
- e) 試験装置の構造

注記2 水位測定管の内径，トリップバルブの構造と位置，水位測定器の構造，水圧計を用いた場合はその測定容量と精度及びパッカーの長さに加えた圧力などを報告する。

- f) 試験区間内の平衡水位
- g) 水位の測定記録
- h) データの整理方法とそれに対応した水位回復曲線

注記3 $\log s - t$ あるいは $s/s_p - \log t$ 曲線を示す。

- i) 透水係数

注記4 試験結果を曲線一致法で整理した場合は，比貯留係数 $S_s(1/m)$ を報告する。

- j) 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
- k) 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 平衡水位

水位測定管内を回復する水位 $h(m)$ とその測定時間 $t(s)$ を附属書 B の図 B.3 のようにプロットし、 $h-t$ 曲線の漸近線から水位の回復がほぼ停止したときの平衡水位 $h_0(m)$ を求める。

A.2 直線勾配法

直線勾配法は、附属書 B の図 B.3 に示した $\log s-t$ 曲線に直線部分が認められる場合、すなわち試験結果が岩盤の貯留性の影響を受けていないと判断される場合に適用する。

直線勾配法は、透水係数のみを求めることができる。

直線勾配法による結果の解析方法は、次による。

- a) 片対数グラフの対数目盛（縦軸）に平衡水位 h_0 と水位測定管内の水位 $h(m)$ の水位差 $s (=h_0-h)$ (m) を、算術目盛（横軸）に時間 t (s) をとり、附属書 B の図 B.4 に示すように $\log s-t$ 曲線を作成し、図中のプロットに直線勾配が認められることを確認する。
- b) 得られた直線の勾配 a (1/s) を求める。勾配 a は、直線上にある任意の 2 点の座標 $(t_1, \log s_1)$ 及び $(t_2, \log s_2)$ から次式で求める。

$$a = \frac{\log_{10}(s_1 / s_2)}{t_2 - t_1}$$

- c) 透水係数 k (m/s) を、次式で算定する。

$$k = \frac{(2.3d_e)^2}{8L} \log_{10}\left(\frac{2L}{D}\right)a$$

ただし、

$$\frac{L}{D} \geq 4$$

ここに、

d_e : 水位測定管内の断面積から水位測定ケーブルの断面積 $c(m^2)$ を差し引いて求めた有効断面積と等価な面積を有する円の直径

$$\left(= \sqrt{d^2 - \frac{4c}{\pi}} \right) (m)$$

ただし、水圧計を用い、水位測定管内にケーブル類を挿入しない場合は、 $d_e = d$

d : 水位測定管の内径(m)

D : 試験区間の孔径(m)

L : 試験区間の長さ(m)

A.3 曲線一致法

曲線一致法は、附属書 B の図 B.3 に示した $\log s-t$ 曲線に明確な直線部分が見られないと判断される場合、すなわち試験結果が岩盤の貯留性の影響を受けていると判断される場合に適用する。

曲線一致法は、透水係数と比貯留係数を求めることができる。

曲線一致法による結果の解析方法は、次による。

注記 比貯留係数については、誤差の処理方法や曲線のマッチング方法の違いによって大きく異なる値が求められることがある。

- a) 平衡水位 h_0 (m) と試験中に測定した水位 h (m) 及び試験開始時の水位 h_p (m)から、試験中の水位差 s ($=|h_0 - h|$) (m), 及び試験開始時の水位差 s_p ($=|h_0 - h_p|$) (m)を求める。さらに、水位差比 s/s_p を求める。
- b) 片対数グラフの算術目盛 (縦軸) に水位差比 s/s_p , 対数目盛 (横軸) に試験開始時からの経過時間 t (s) をとって測定値をプロットする。
- c) b)で作成したグラフと同じスケールの別の片対数グラフに、**附属書 B** の **図 B.5** のように、貯留係数比 α 毎の水位差比 s/s_p と無次元時間 β の関係を示す標準曲線群を作成する。
- d) **附属書 B** の **図 B.6** に示すように、b)と c)で作成した二つのグラフを重ね、時間軸 (横軸) 方向に片方のグラフを平行移動させ、測定値と最もよく合致する標準曲線を選ぶ。この標準曲線に対応する α の値である α_m 及び任意の合致点に対応する両グラフの時間軸座標 t_m と β_m を読み取る。
- e) 次式により、透水係数 k (m/s) と比貯留係数 S_s (1/m) を求める。

$$k = \frac{d_e^2 \beta_m}{4Lt_m}$$

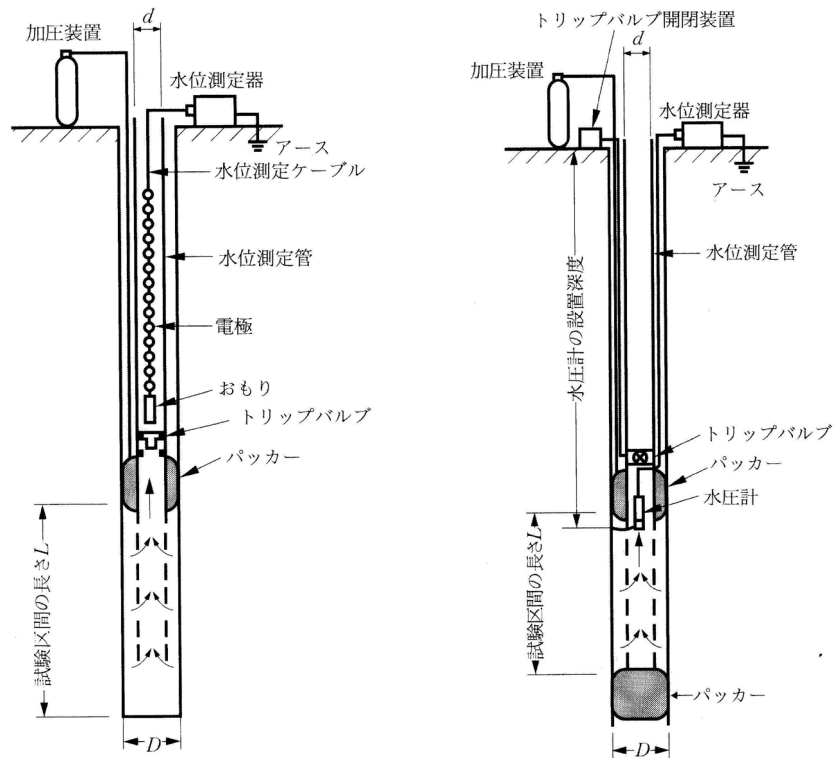
$$S_s = \frac{d_e^2}{LD^2} \alpha_m$$

附属書 B (参考)

試験装置及び試験結果整理の例

B.1 試験装置の例

図 B.1 に、試験装置の概要例を示す。



(a) 電極式の水レベル測定ケーブルを用いた装置
(シングルパッカー)

(b) 水圧計と開閉型のトリップバルブを用いた装置
(ダブルパッカー)

図 B.1—試験装置の概要例

B.2 試験方法の例

図 B.2 に、試験方法の例を示す。

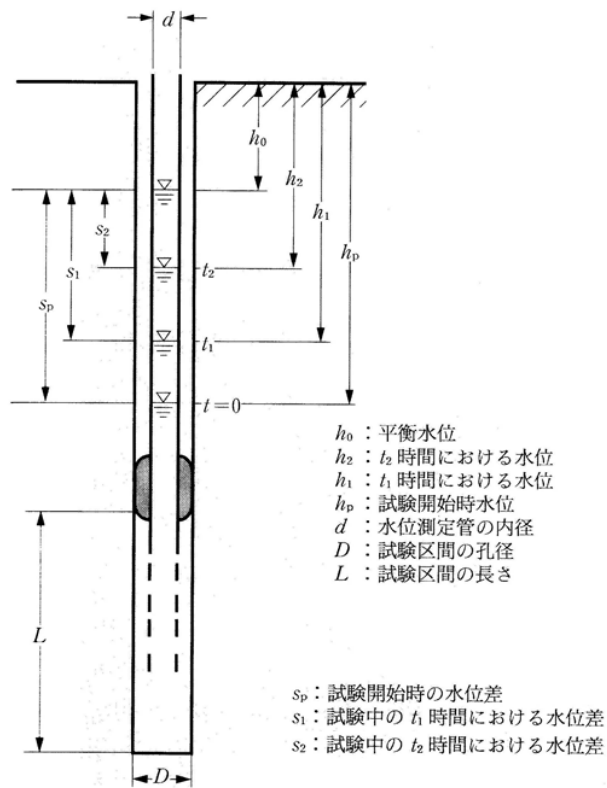


図 B.2—試験方法の概要

B.3 水位とその測定時間の関係

図 B.3 に、水位 h とその測定時間 t の関係の例を示す。

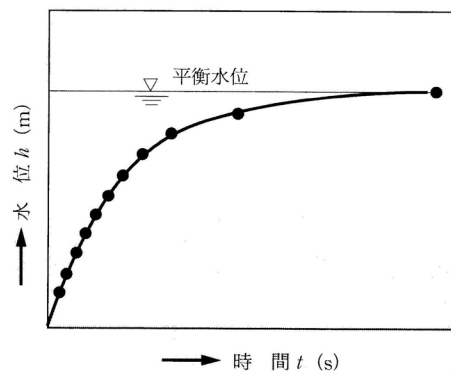


図 B.3—水位 h とその測定時間 t の関係の例

B.4 log s - t 曲線

図 B.4 に、log s - t 曲線の例を示す。

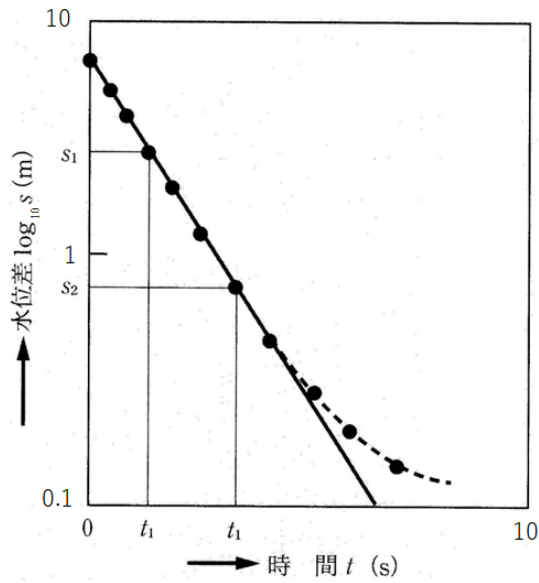


図 B.4 - log s - t 曲線の例

B.5 標準曲線群の例

図 B.5 に、標準曲線群の例を示す。

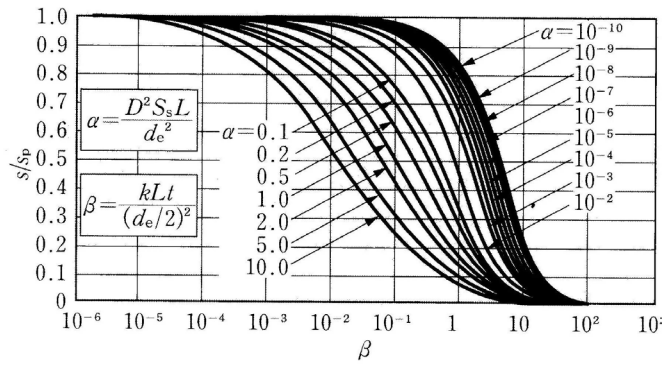


図 B.5 - 標準曲線群の例

B.6 曲線一致法の例

図 B.6 に、曲線一致法の例を示す。

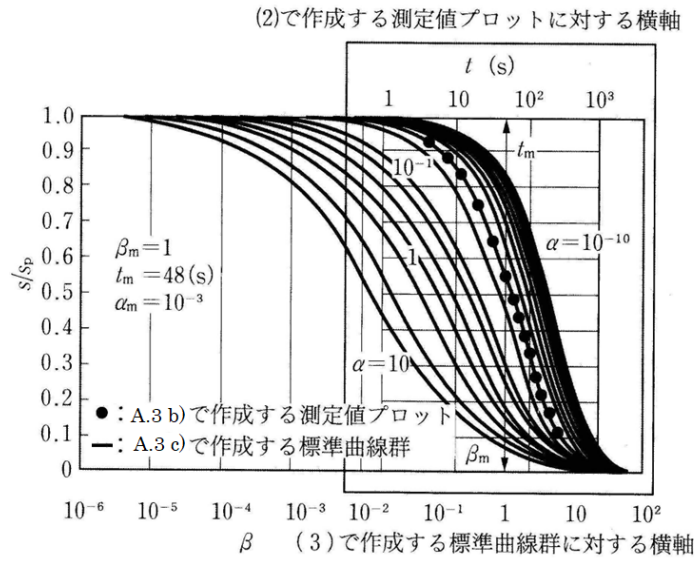


図 B.6—曲線一致法の例

JGS1321「孔内水位回復法による岩盤の透水試験」改定新旧対照表

No.	番号	現行基準	改定案	改定理由
1	2	なし。	次に掲げる規格は、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	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、JIS A 0207 による。	
3	3	3.1 孔内水位回復法による岩盤の透水試験 ボーリング孔内にパッカーとトリップバルブを先端部に取り付けた水位測定管を挿入し、パッカーを膨らませて任意の試験区間に区切った後、トリップバルブを開放して水位測定管内の水位を回復させ、同管内の水位回復と時間の関係より透水係数を求めるとともに、水位回復が停止したときの観測値より平衡水位を求める非定常法による透水試験。	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	1	初期水位差	試験開始時の水位差	曖昧な表現を改正するため。
5	3.1	水位回復が停止したときの観測値より	水位回復が概ね停止したときの水位測定管内の水位として	説明を追加した。
6	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。
7	4.6		注記 3 水圧計を使用する場合は深度を記録する。	説明を追加。
8	6.1 a)	注記1 試験区間の長さLと試験区間の孔径Dの比L/Dが4以上になるようにする。L/D \geq 4が確保できない場合は、附属書AのA.2に示す式とは異なる式で試験結果を整理する必要がある。	注記1 試験区間の長さLと孔径Dの比L/Dが4以上になるようにする。L/D \geq 4が確保できない場合は、附属書AのA.2に示す式とは異なる式で試験結果を整理する。	冗長であるため。
9	6.1 e) 注記3	なし	パッカーの遮水が良好でないと予想される場合は、事前にセメントなどによって孔壁を保護する。	透水特性の調査の6基準のうち、岩盤を適用範囲とした3基準の記載を統一するため。
10	6.2 a) 注記3	これらの場合は、平衡水位の測定結果を参考に、ポンプやエアリーフトなどにより、試験開始時の水位差を適切に設定する。このとき、試験開始時の水位差	この場合は、平衡水位の測定結果を参考に、ポンプやエアリーフトなどにより、試験開始時の水位差を適切に設定する。このとき、試験開始時の水位差が過大であれば	表現を修正。

		が過大となり、乱流状態になることがないように配慮する。	試験開始後に乱流が発生するため、試験開始時の水位差を過大としない。	
11	6.2 b)	水位測定管内の水位 (m) と、時間 (s) を経時的に測定する。	水位測定管内の水位 (m) と、測定時間 (s) を経時的に記録する。	表現を分かりやすく変更した。
12	6.2 c)	水位回復が 1 時間当たり 1cm 未満となるまで試験を継続する。また、最終の水位を平衡水位 h_0 (m) として記録する。	水位回復量が 1 時間当たり 1cm 未満となるまで試験を継続し、 附属書 A の A.1 に示すように平衡水位 h_0 (m) を記録する。	説明を追加。
13	A. 2	<u>直線勾配法は、試験結果が岩盤の貯留性の影響を受けていないと判断される場合に適用する。</u> 直線勾配法は、附属書 B の図 B.3 に示した log s-t 曲線に直線部分が認められる場合に適用する。	直線勾配法は、 附属書 B の図 B.3 に示した log s-t 曲線に直線部分が認められる場合、すなわち試験結果が岩盤の貯留性の影響を受けていないと判断される場合に適用する。	直線勾配法と曲線一致法で表現を統一した。また、実施者が判断しやすい直線部分の有無を、岩盤の貯留性よりも前に示すこととした。
14	A. 3	曲線一致法は、試験結果が岩盤の貯留性の影響を受けて log s-t 曲線に明確な直線部分が見られないと判断される場合に適用する。	曲線一致法は、 附属書 B の図 B.3 に示した log s-t 曲線に明確な直線部分が見られないと判断される場合、すなわち試験結果が岩盤の貯留性の影響を受けていると判断される場合に適用する。	直線勾配法と曲線一致法で表現を統一した。また、実施者が判断しやすい直線部分の有無を、岩盤の貯留性よりも前に示すこととした。
15	A. 3 a)	試験中の水位差 $s (=h_0-h)$ (m)、及び試験開始時の水位差 $s_p (=h_0-h_p)$ (m) を求める。	試験中の水位差 $s (= h_0-h)$ (m)、及び試験開始時の水位差 $s_p (= h_0-h_p)$ (m)	負の値になる場合もあるため、絶対値とする。
16	A. 3 a)	試験開始時の水位	試験開始水位	冗長であるため。
17	A. 3 d)	α の値 (α_m)	α の値である α_m	表現を修正。
18	図 B. 2	図中の説明 ($=h_0-h_p$) ($=h_0-h_1$) ($=h_0-h_2$)	【削除】	本文で説明しているため。
19	図 B. 4		図の目盛りを追加。	縦軸の対数軸を分かりやすくするため。

以上