

注水による岩盤の透水試験方法

Method for determination of hydraulic conductivity of rock mass using injection 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透水係数を求める方法について規定する。地下水面より下方の飽和した岩盤を対象とする。

注記 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。

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 B7505-1 アネロイド型圧力計—第1部：ブルドン管圧力計

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

有効注水圧力

試験区間における注水時の水圧から平衡時の水圧を引いた差圧。

4 試験用具

注記 水圧計を地上に設置した試験装置の例を**附属書Bの図B.1**に、水圧計を試験区間内に設置した試験装置の例を**附属書Bの図B.2**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 注水管

試験区間の水位を測定するための管で、水密性を有するもの。

4.3 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。

4.4 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。

4.5 注水装置

ポンプまたはガスの圧力で水を送り出す気密水槽など。

注記 ポンプで注水する場合には、注水圧力の脈動を少なくするため、アキュムレーターを取り付けるとよい。

4.6 流量計

注水流量に応じた容量を有するもの。

注記1 注水流量は試験対象とする岩盤の透水性に依存するが、これを試験前に予測することは難しいので、幅広い注水流量に対応できるように流量計を用意する。

注記2 注水装置に気密水槽を用いる場合には、水槽の水面計が流量計の役割を果たす。

4.7 水圧計

試験区間の注水圧力の測定ができるもの。

注記1 水圧計は、地上もしくは試験区間内に設置する。地上に設置する場合には、最大注水圧力の1.5倍程度の容量及び容量の±1.6%以内の精度を有する水圧計を用いることが望ましい。試験区間内に設置する場合には、試験区間の深さに水の単位体積重量を掛けた値と最大有効注水圧力を足した値の1.5倍程度の容量及び容量に対して±1.6%以内の精度を有する水圧計を用いることが望ましい。容量の±1.6%以内の精度を有する水圧計とは、JIS B7505-1に規定されている精度等級1.6級のブルドン管圧力計を指し、これ以外の水圧計を使用する場合は、容量に対して±1%以内の精度を有する水圧計を用いることが望ましい。

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。

4.8 水位測定器

1cm単位で読み取り可能であり、注水管内の水位が測定できるもの。

注記 水圧計を試験区間内に設置した場合には、水圧計を水位測定器として併用することができる。

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、パッカー及び注水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) 注水に伴う注水管の損失水頭 h_3 (m) を地上の損失水頭試験¹⁾によって求める。

注¹⁾ 損失水頭試験とは、注水流量と注水管の損失水頭の間関係を求める試験をいう。

注記1 損失水頭は、計算または換算表によって求めてもよい。

注記2 水圧計を試験区間内に設置した場合には、損失水頭試験は必要ない。

- b) 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3 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。

- c) 試験孔の孔内水位を測定する。
 d) 注水管の先端部にパッカーを組み立てる。
 e) パッカーを取り付けた注水管を接続しながら、b)で定めた深さまで挿入する。

注記4 水圧計を試験区間内に設置する場合には、水圧計を設置する深さを記録する。

- f) 注水管に清水を送り、管内の気泡を除去する。
 g) 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5 パッカーの遮水効果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6 パッカーをガス圧で膨らませる場合には、試験区間に最大有効注水圧力に相当する水圧が加わることを考慮して、試験中に漏水が生じないように十分大きなガス圧で加圧する。

注記7 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（注水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8 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。

- h) 注水管内の水位を、水位測定器によって一定時間ごとに測定する。水位変化が小さくなるまで測定を継続して、水位変化が小さくなったときの値を平衡水位とする。

注記9 水圧計を試験区間内に設置した場合には、これを用いて平衡水位を求めてもよい。

注記10 平衡水位の測定を長時間行っても水位変化が小さくならない場合には、変化傾向から平衡水位を推定する。この場合には、平衡水位の推定方法も報告する。

6.2 試験

試験方法は、次による。

- a) 水圧計と試験区間中央の高さの差 h_1 (m)及び平衡水位と試験区間中央の高さの差 h_2 (m)を求める。
 b) 注水装置から一定の注水圧力 p_1 (Pa)で試験区間に清水を注水する。
 c) 注水流量を流量計で最大1分ごとに測定し、注水流量の経時変化を読み取る。注水流量がほぼ一定になったときの値を注水圧力 p_1 (Pa)における測定注水流量 Q_1 (m³/s)とする。
 d) 注水圧力を増加させて、注水装置から一定の注水圧力 p_i (Pa)で試験区間に清水を注水し、このときの注水流量を流量計で最大1分ごとに測定し、注水流量の経時変化を読み取る。注水流量がほぼ一定になったときの値を注水圧力 p_i (Pa)における測定注水流量 Q_i (m³/s)とする。ここに、 p_i (Pa)は i 段階目の注水圧力、 Q_i (m³/s)は i 段階目の測定注水流量を表す。

注記1 一定の注水圧力 p_i (Pa)で試験区間に注水する代わりに、一定の注水流量 Q_i (m³/s)で試験区間に注水してもよい。この場合には、注水圧力を水圧計で最大1分ごとに測定し、注水圧力の時間変化を読み取る。注水圧力がほぼ一定になったときの値を注水流量 Q_i (m³/s)における測定注水圧力 p_i (Pa)とする。

注記2 対象とする岩盤の強度が小さい場合や、対象とする試験区間の透水性が高い場合のように注水圧力を段階的に変化させて一定圧力に保つことが困難なときには、d)及びe)の手順を省略して一段階の注水圧力 p_1 (Pa)と測定注水流量 Q_1 (m³/s)から透水係数を求めることができる。ただし、平衡水位が測定されていない場合や、適切に推定されていない場合には、この方法を用いてはならない。

- e) d)を複数の注水圧力段階において繰り返す。最大注水圧力段階が終了した後、注水圧力を段階的に減少させてd)と同様の測定を繰り返す。

注記3 注水圧力の増加過程の圧力段階は最大注水圧力を含めて5段階程度、減少過程の圧力段階は4段階程度を目安とする。注水圧力の増加過程は透水係数を算定するために測定し、圧力の減少過程は目詰まりの有無、注水に伴う岩盤の破壊の有無などを判断するために測定する。

注記4 各圧力段階において、次の圧力段階に圧力を変化させるまでの時間間隔をできるだけ一定とする。

注記5 最大注水圧力は、割れ目の変形や、岩盤の破壊を避けるように小さくする。

7 結果の整理

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 水圧計の位置(地表面からの深さあるいは高さ)、水圧計の容量と精度、パッカーの長さ、パッカーの圧力を報告する。

- f) 流量の測定方法

- g) 試験区間内の平衡水位

注記3 平衡水位の測定を長時間行っても水位変化が十分小さくならなかった場合には、平衡水位の推定方法とともに報告する。

- h) 注水圧力と注水流量の時間測定記録

- i) 注水圧力の増加及び減少過程における有効注水圧力水頭と測定注水流量の関係

- j) 最大注水圧力

- k) 透水係数

- l) 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

- m) 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 整理

結果の整理は、次による。

- a) 各圧力段階の有効注水圧力を水頭に換算した有効注水圧力水頭 $s_i(\text{m})$ を次式で求める。

$$s_i = \frac{p_i}{\gamma_w} + h_1 - h_2 - h_3$$

ここに、

- p_i : 各圧力段階の注水圧力($\text{Pa} = \text{N/m}^2$)
 h_1 : 水圧計と試験区間中央の高さの差(m)
 h_2 : 平衡水位と試験区間中央の高さの差(m)
 h_3 : 注水管の管内抵抗による損失水頭(m)
 試験区間内に水圧計を設置した場合は、
 $h_3=0$ とする。
 γ_w : 水の単位体積重量(N/m^3)

注記1 各圧力段階の注水圧力 $p_i(\text{Pa})$ には、水圧計を地上あるいは試験区間内に設置したいずれの場合も、その水圧計が示す値を用いる。

- b) 有効注水圧力水頭 $s_i(\text{m})$ を縦軸に、測定注水流量 $Q_i(\text{m}^3/\text{s})$ を横軸にとり、各圧力段階の測定値を**附属書 B**の**図 B.3**のようにプロットする。

注記2 注水圧力の減少過程の試験結果から、目詰まりの有無、注水に伴う岩盤の破壊の有無などを判断する。**附属書 B**の**図 B.3**において、圧力の減少過程の傾向が増加過程の傾向と著しく異なる場合には、そのことを特記すべき事項として報告する。

A.2 透水係数の算定

透水係数の算定は、次による。

- a) 注水圧力の増加過程における直線部分の傾き $a(\text{s/m}^2)$ を図から求める。傾き $a(\text{s/m}^2)$ は次式で表される。

$$a = \frac{\Delta s}{\Delta Q}$$

注記1 一段階の注水圧力 $p_1(\text{Pa})$ と測定注水流量 $Q_1(\text{m}^3/\text{s})$ から透水係数を求める場合には、次式から傾き $a(\text{s/m}^2)$ を求める。

$$a = \frac{s_1}{Q_1}$$

- b) 透水係数 $k(\text{m/s})$ を、次式で算定する。

$$k = \frac{1}{2\pi L a} \ln\left(\frac{2L}{D}\right)$$

ただし、

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

ここに、

- D : 試験区間の孔径(m)
 L : 試験区間の長さ(m)

注記2 一段階の注水圧力 p_1 (Pa)と測定注水流量 Q_1 (m³/s)から透水係数を求める場合にも同じ式を用いる。

附属書 B (参考)

試験装置及び試験結果整理の例

B.1 水圧計を地上に設置した試験装置の例

図 B.1 に、水圧計を地上に設置した試験装置の例を示す。

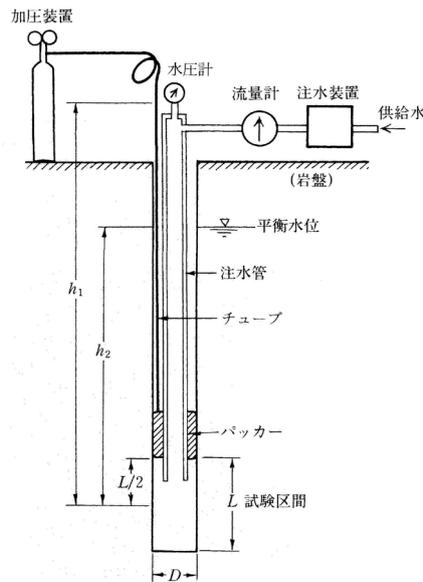


図 B.1—水圧計を地上に設置した試験装置の例

B.2 水圧計を試験区間内に設置した試験装置の例

図 B.2 に、水圧計を試験区間内に設置した試験装置の例を示す。

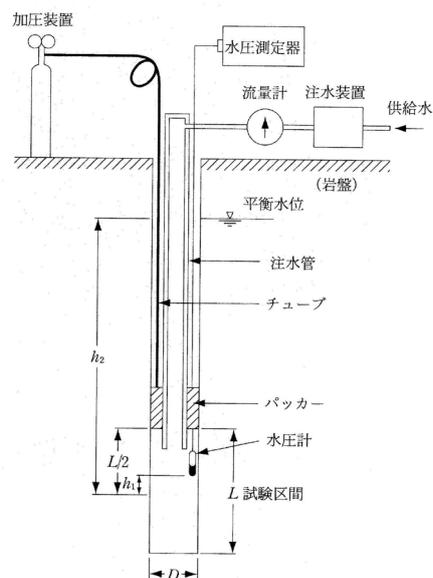


図 B.2—水圧計を試験区間内に設置した試験装置の例

B.3 有効注水圧力水頭と測定注水流量の関係図の例

図 B.3 に、有効注水圧力水頭と測定注水流量の関係図の例を示す

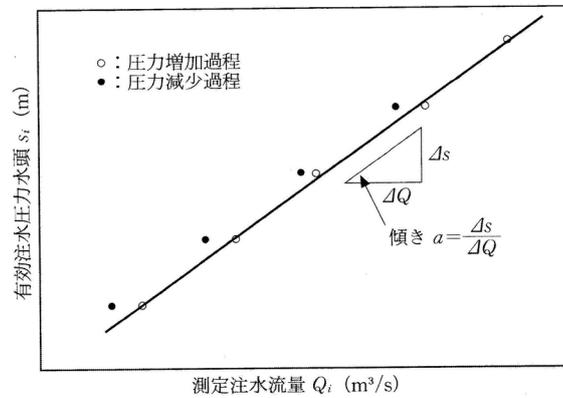


図 B.3—有効注水圧力水頭と測定注水流量の関係図の例

注記 透水係数は圧力増加過程から算定する。圧力減少過程は、目詰まりの有無、注水に伴う岩盤の破壊の有無などの判断に用いる。圧力の減少過程の傾向が増加過程の傾向と著しく異なる場合には、そのことを特記すべき事項として報告する。

JGS1322「注水による岩盤の透水試験方法」 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 A 0207 による。	
3	3	3.1 注水による岩盤の透水試験 岩盤に掘削したボーリング孔内をパッカーにより任意の試験区間に区切り、試験区間内の有効注水圧力を段階的に上昇させながら注水し、その定常時の注水流量から透水係数を求める定常法による透水試験。この試験は、岩盤の変形、破壊が生じないように、有効注水圧力を低圧とした注水による岩盤の透水試験である。	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	3 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	4.7 注記1	水圧計は、孔口もしくは試験区間内に設置する。孔口に設置する場合には、・・・試験区内に設置する場合には、	水圧計は、 <u>地上</u> もしくは試験区間内に設置する。 <u>地上</u> に設置する場合には、・・・試験区間内に設置する場合には、	付属書の図と合わせるため。
6	4.7 注記2	<u>校正係数及び無負荷時の</u> 指示値を	<u>校正係数及び無負荷状態の</u> 指示値を	記述の変更。
7	6.2 c) d) 注記1	1分ごとに測定し	<u>最大</u> 1分ごとに測定し	より連続的な測定間隔を妨げないため。
8	8 g) 注記3	平衡水位の推定方法も <u>推定した</u> <u>平衡水位</u> とともに報告する。	平衡水位の推定方法とともに報告する。	繰り返し記述の修正。
9	A.1 a) 注記1	水圧計を <u>孔口</u> あるいは	水圧計を <u>地上</u> あるいは	付属書の図と合わせるため。

以上