

III-43

高精度トランジェントパルス透水試験機の開発

大成建設（株）技術研究所 （正）青木智幸 （正）井尻裕二
（正）下茂道人

1. はじめに

Braceら¹⁾によって提案されたトランジェントパルス法は、水圧パルスの減衰特性を解析して比較的短時間で透水性の小さい岩石の透水係数を測定する方法である。近年、その測定機の開発と測定精度の評価に関する研究が数多く発表され^{2)~6)}、手法の確立に近づいている。著者らも、1990年にトランジェントパルス透水試験専用機を設計・製作し、基礎理論⁷⁾の成立条件を充分満たすように測定精度の向上に取り組んできた。本報では、測定精度を向上するための貯留槽の剛性の確保、リーク対策、温度制御について述べ、得られた試験結果を紹介する。

2. 試験機の設計と改良点

図-1に本試験装置の概念図を示す。また、表-1にその基本仕様を示す。

2. 1 試験装置の剛性

トランジェントパルス法は剛な貯留槽内の水が試験片へ流入または流出することによる貯留槽内の水圧変化を測定する方法であるため、貯留槽（圧力容器）の剛性が低いと水圧変化に対して容器自体が伸縮する結果、容器の貯留量を過小評価することになる。配管についても同様のことが言える。木山ら⁸⁾は、容器をステンレス製の円筒形として外径と内径との比 r が2以上あれば誤差が4.4%以内となることを示した。本試験装置の貯留槽では $r=2.15$ （外径140mm）である。配管は、市販の413 MPa用のステンレス製超高压チューブ（ $r=4.16$ 、外径6.36mm）を用いた。継手やバルブにも超高压用(Snotrik)を用い、系の剛性の向上に努めた。また、試験片両端に配置するポーラスメタルには、剛性の高い5 μ のステンレス球製（厚さ4mm、空隙率36%）を用いた。

圧力変換器に差圧計を用いて水圧変化の検出精度を高めている例もあるが⁹⁾、その際、ダイヤフラムやベローフラム隔壁の剛性が充分大きく無い場合、上・下流側の水圧がここで干渉することになる。この懸念より、本試験機では、剛性の高いダイヤフラムを持つ半導体ひずみゲージ型の圧力変換器を上・下流側共に用いている。

貯留槽の蓋のシールには銅パッキンを用いている。これは、Oリングを用いた場合、加圧時にゴム製リングが溝の外側に押し付けられて非弾性的な変形をし、経時的な体積変化を生じる懸念があるためである。しかもこの蓋の部分は径が大きいので、測定結果に及ぼすその体積変化の影響が大きい。

貯留槽自体の容積は上・下流側共に設計図面上406ccであるが、配管部はともかく、継手やバルブ、圧力変換器周りの容積を正確に算定することは難しい。そこで、試験機にステンレスのダミー試料をセットし、上・下流側それぞれの貯留槽の系の体積を微小に変化させて水圧変化を測定し、水の圧縮率より貯留系の容積（容器、管路の変形等を含んだもの）を推定した。体積変化は、超高压用のニードルバルブを用いて与え、バルブが閉まる前のハンドルの回転量とニードルの系への貫入体積より計算した。算出された貯留系の容積は上流側、下流側共に415ccとなった。

2. 2 リーク

リークが生じると測定結果に大きな誤差を与える。テーパ管用ネジとシールテープによる継手はリークに対する信頼性が低く、また、僅かなリークが生じた際に発見し難い。そこで、水圧の

表-1 試験装置の仕様

封圧	50 MPa
間隙水圧	50 MPa
上流側貯留槽	415 cc
下流側貯留槽	415 cc
試験片寸法	直径50mm 高さ50mm以下

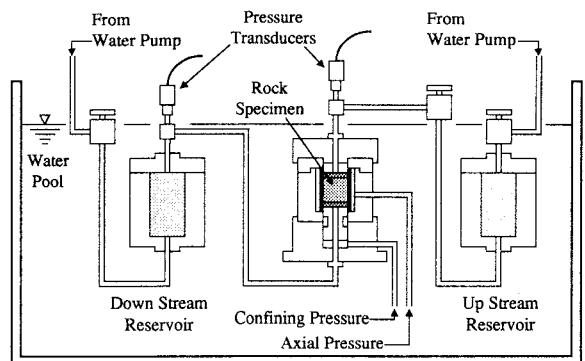


図-1 試験装置

系ではシールテープを一切使用せず、全てメタル接触のテーパークさび型の超高压継手（Snotrik）を用いた。

試験片に封圧を加えるために試験片をゴムスリーブで覆うが、このゴムスリーブが封圧流体の浸透を僅かでも許す場合、上・下流側貯留槽の水圧が時間と共に上昇することになる。この点で、シリコンゴム製のものは計測時間が数時間より長い場合には不適当であった。ネオプレンゴム製のものは、1日程度の計測には使用できるが、それ以上の計測には不適当であった。現在は、フッ素ゴム（Viton）製のゴムスリーブを用いており、計測期間が数日以上にわたる 10^{-11} cm/s オーダーの透水係数まで問題無く計測できている。

2. 3 温度の制御

本試験法は、試験中の温度変化に非常に影響され易い。木山³⁾の試算によるとステンレス製（ $r=2$ ）の容器を用いた場合、約 $0.35 \text{ MPa}/^{\circ}\text{C}$ の変化を受けることが分っている。高橋⁴⁾の指摘と同じく、温度変化の影響を上・下流側貯留槽でキャンセルできるように、本試験装置でも上・下流側貯留槽の容積を同一とした。さらに、室温は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ に空調されているとは言え気温の日変化の影響を受けるため、これを低減するために装置全体をステンレスで製作し水タンクに水没させて日変化を $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 程度以下に押えている。また、これと共に、封圧加圧流体としても浸透流体と同じイオン交換水を用い、試料を油等で汚染しない構造になっている。

3. 測定結果例

図-2及び3に三城目安山岩（福島県産）及びTrafalgar頁岩（オーストラリア産）の測定結果例を示す。両図とも上から水圧の経時変化図、Hsieh法⁷⁾による解析結果、Brace法¹⁾による解析結果である。Hsieh法による解析を行なう場合、測定中に温度変化等の僅かな外乱を受けても水圧変化が理論曲線に合致しなくなるが、図では、理論曲線と良くマッチして精度良い測定がなされたことを示している。理論的にも予測されているように⁷⁾、どちらの岩種でもBrace法で求めた透水係数の方が小さい値を示すものの、今回の試験では β ⁷⁾（試料の貯留量と上流側の貯留量の比）が小さいため、両解析法による透水係数の差は小さい。

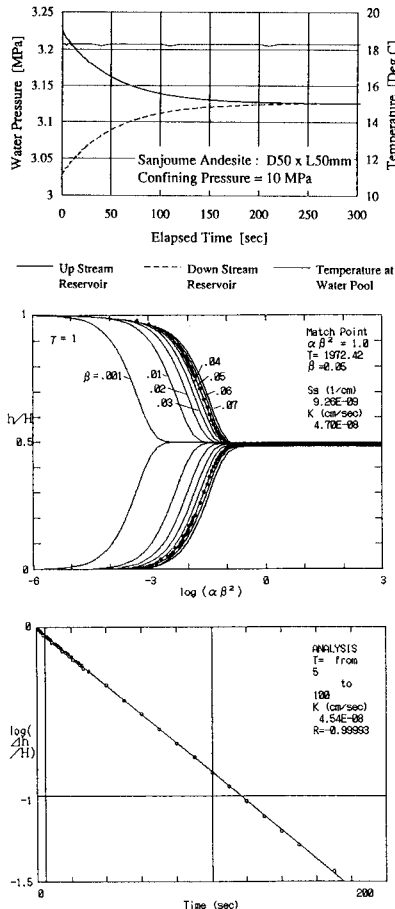


図-2 試験結果（三城目安山岩）

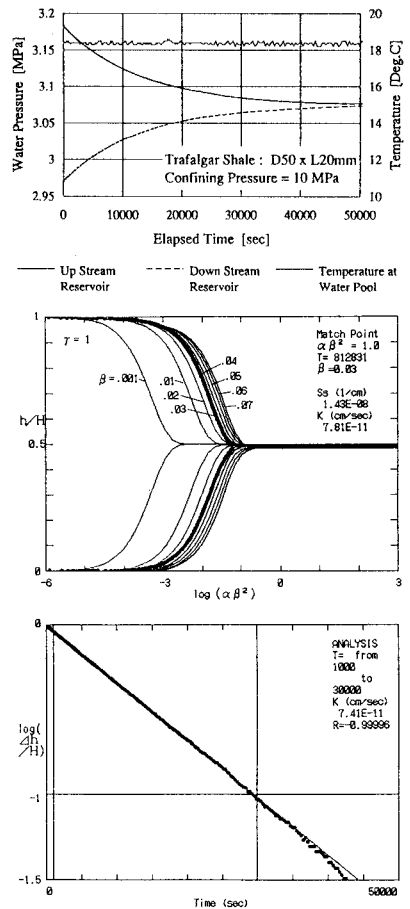


図-3 試験結果（Trafalgar頁岩）

参考文献

- 1) Brace, W.F. et al. (1968) *J. Geophys. Res.*, 73 (6), 2225-2236.
- 2) Wang, H.F. et al. (1993) *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 30 (7), 1173-1176.
- 3) 木山, 他 (1992) 資源, 4 (3), 19-27.
- 4) 高橋, 他 (1989) 地質ニュース, 421, 26-54.
- 5) 中野, 他 (1991) 土質工学論文報告集, 31 (3), 164-174.
- 6) 石島, 他 (1993) 資源と素材, 109 (7), 511-516.
- 7) Hsieh, P.A. et al. (1981) *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 18, 245-252.