

岩盤の緩み領域測定のための真空透気試験法

神戸大学工学部

正会員

中山昭彦

桜井春輔

神戸大学工学部

学生会員

○池宮俊二

山中 直

1. はじめに

岩盤や地盤が掘削などにより緩むと亀裂が発生したり、既に存在する亀裂や空隙が増加する。亀裂が生じたり空隙が増加すれば透気性、透水性が増加する。よって、透気係数、または透水係数を測定することにより岩盤の緩みの検索が可能になると考えられる。Jakubick and Kline¹⁾はこの原理を元にした真空透気試験法を提案している。この方法では地盤内に掘られたボーリング孔の一部をパッカーで密閉し、真空ポンプでこの「測定部」の空気圧を下げ、定常状態が得られた後真空ポンプを停止する。この間、測定部の圧力、温度、及び真空ポンプの流量を連続的に測定する。定常状態での圧力の低下の程度と流量の関係、及びポンプを止めた後の圧力回復の特性等より「透過度」を割り出し緩み領域の判定を行う。Jakubick and Kline¹⁾はコンクリートの供試体について実験を行っているが緩み程度の異なる供試体を使った実験は行っていない。これに対し、川谷ら^{2,3)}は数値シミュレーションにより、透気試験応答を計算している。これによれば、透気試験結果は、多孔質物体の場合、緩み領域の位置や範囲、不均一性に強く依存し、少数の亀裂からなる亀裂性岩盤の場合、亀裂の連続性に大きく左右され、データ解析、緩みの判定は簡単ではない事を意味している。そこで本研究ではまず真空透気試験装置を独自に製作し、多孔質の供試体と亀裂性供試体につき、緩み度の異なるものの試験を行った。その結果を報告し、真空透気試験の有効性、実用性、またデータの解析法等について検討した。

2. 真空透気試験装置

真空透気試験装置は、i) ボーリング孔に設定する、圧力変換器と温湿度センサーを内装したパッカー部、ii) 空気を吸い出す管を接続した真空ポンプ部、iii) 圧力、温度湿度、流量を測定する計器部、及び iv) データを取り込み解析、表示するA/D変換器を取り付けたパソコン部からなる。装置の模式図を図-1に示す。パッカーは我国で一般に使われるボーリング径に合う外径66mmのもので空気圧で膨張密閉するものである。ただし本実験では供試体の大きさを考えパッカーを模擬した塩化ビニール管を供試体に埋蔵した。圧力変換器は大気圧から真空までの範囲で測定可能で応答は1KHzあるものが選ばれている。ポンプ流量測定には抵抗の少ない、頻繁な検定の必要でない熱流量計が用いられている。全てのセンサー出力のアナログ信号は増幅され、高解度(16ビット)高速(100KHz)、多チャンネル(16)のA/D変換器を通してパソコンに取り込まれる。

3. 実験および結果

上述の真空透気試験装置を用いまずコンクリート供試体について室内実験した。供試体は直径28cm高さ33cmの缶に水、セメント、砂を1:1:3の比で練ったものを注入し、中心に上面から17cmのところ直径12mm、長さ10cmのパッカーを埋め込んで作成した。この供試体につき次の4つの状態で透気試験を行っ

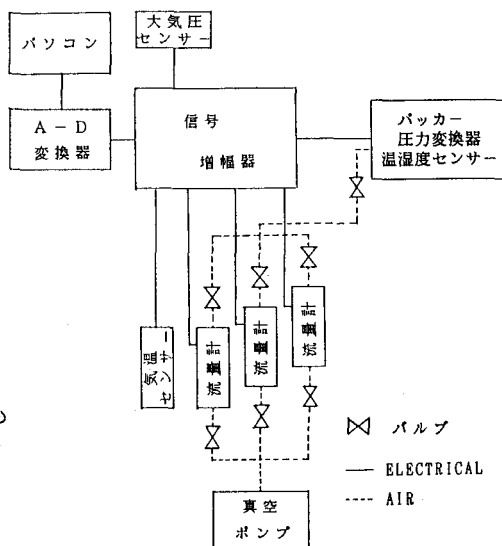


図-1. 真空透気試験装置

た。a) 緩みのない元の状態、b) 上部から数センチの深さまでをハンマーで破壊した状態、c) 強い衝撃を何度か与え、明らかに測定部近辺を通る一本の亀裂が生じた状態、d) さらに衝撃を与え全体が破壊した状態。これらの透気試験の応答結果を図-2に示す。コンクリートは気密性が高く、破壊は「われ」を生じさせるのでこの供試体は亀裂性岩盤と想定して良い。緩みのない状態 a) での定常状態では測定部気圧 P_t が 200 Torr まで下がっているのに対し亀裂が一本入った状態 c) では 640Torr にとどまっている。ポンプ流量 q は緩み無しの場合で約 2000cc/min 亀裂の入った場合では流量計上限をオーバーした。なお、今回用いられているポンプは、真空測定部を完全に密閉した場合、気圧は 1Torr 以下の真空になる事が確認されているので、a)のケースでの透気性はセメントの量を故意に少なく調合した為であると思われる。表面が少々破壊されても測定部から離れている場合では応答は緩みのないものと殆ど変わらない。また定常状態でバルブを閉じた後の気圧回復は、緩みの無い状態で約 6 秒かかり、緩んだ状態では 1 秒以下の早い回復になっている。

次に高さ 1m 直径 70cm のドラム缶にマサ土を 10cm ごとの層に分け突き固めて多孔質供試体を作成した。長さ 15cm 直径 20mm のバッカーはドラム缶の中心に埋め込んで、湿潤密度 $\gamma_s = 1.64$ (ケース e)) と 1.8 (ケース f)) の二種類の供試体を作成した。なお $\gamma_s = 1.64$ で突き固めたものの標準透水試験結果は固有透過度 5darcy であった。これらの供試体についての真空透気試験応答を図-3に示す。定常状態の気圧は $\gamma_s = 1.8$ で 735Torr と気圧低下はコンクリートの場合に比べ気密性は非常に小さい。 $\gamma_s = 1.64$ のものでは大気圧から 6Torr 程しか低下しない。一様な多孔質の場合解析的に透過度が求められる。 $\gamma_s = 1.64$ のもので定常状態でのデータから 20darcy、圧力回復曲線より準定常仮定の方法⁴⁾で約 1darcy が得られた。これらの結果は標準透水試験結果と一致していないがオーダー的には近いと言える。一致していない理由として、透気試験の場合空気流速が大きく Darcy 則が成り立っていない部分があると考えられる。

4. 結論

本研究では、まず緩みを調べる真空透気試験装置を完成させ、それを使い亀裂性岩盤を想定したコンクリート供試体、及び多孔質的地盤と想定した、突き固めた土について試験を行った。多孔質の突き固めた土では緩み判定の為に透過度が求められた。コンクリート供試体については亀裂が入れば大きく応答が変化し緩み判定は容易である事が解った。

謝辞：本研究は文部省科学研究費（一般研究C03650408、研究代表者：桜井春輔）によって行われたことを付記し謝意を表します。

参考文献

1) Jakubick, A.T. and Kline, R., in *Coupled Processes Associated with Nuclear Waste Repositories*, Ed. by C.F. Tsang, Academic Press, pp.473-484, 1987.

2) 川谷 健、中谷元彦、中山昭彦、池宮俊二、水工学論文集、第36巻、p.471~p.476, 1992. 3) 川谷 健、中山昭彦、石丸智基、水工学論文集、第36巻、p.477~p.482, 1992. 4) 中山昭彦、川谷健、山中直、神戸大学工学部土地造成工学研究施設報告、第9号、p.117~p.131, 1991.

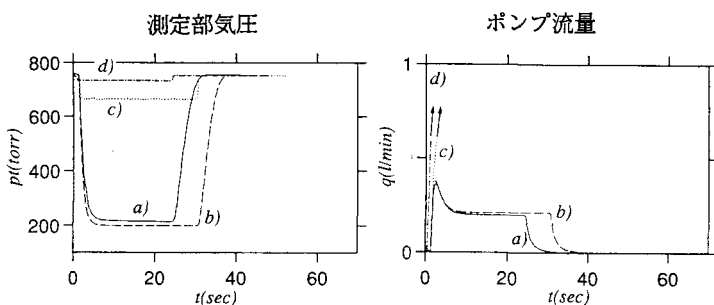


図-2. コンクリート供試体の真空透気試験応答

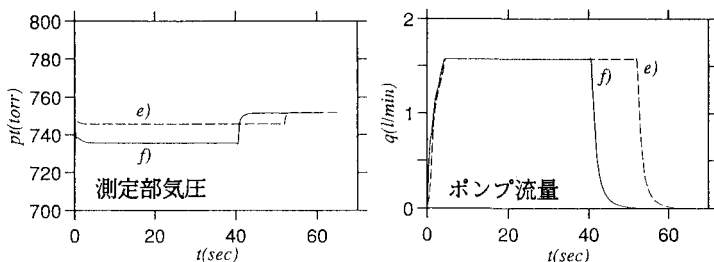


図-3. 突き固めたマサ土供試体の真空透気試験応答