

膨潤性材料のためのせん断透水試験装置の開発

九州大学工学部 正 員 江崎哲郎
 清水建設(株) 正 員 三谷泰浩
 九州大学工学部 学生員 張 銘
 九州大学工学部 学生員○竹下昭博

1. はじめに

今日、山岳地での道路建設やトンネル掘削の増大にともなって、膨潤性粘土の処理の問題が急増している。しかしその反面、この特性を水路の漏洩防止、放射性廃棄物の遮蔽等に積極的に利用し、多大の効果を上げている。このように、膨潤性材料は工学的には利害得失のあるものであり、その内容を熟知することは、効率的な利用および対策のために重要である。

そこで、本論文では、膨潤性材料として、ベントナイトと砂の混合土を用い、その諸特性を調べるとともに、せん断特性と透水特性を同時に計測できる試験装置の開発を行った。

2. ベントナイト混合土の基礎特性

試験では、Na-型ベントナイト(クニミネ工業、クニゲルV1)と豊浦標準砂を重量比15:85に混ぜ合わせたものを使用した。

(1) 締め固め特性試験

試験は土質工学会基準(JIS A-1210)で定められている土の締め固め試験に準拠して行った。

その結果より、試験に使用する供試体条件を最適含水比は約15%、最大乾燥密度は約1.68g/cm³とした。

(2) 力学試験

試験は、土質工学会(JSF T 523)で定められる三軸圧縮試験のCU試験に準じて行った。その試験結果をTable.1に示す。

(3) 透水試験

試験は、フローポンプ法(後述)で行った。試験に用いる試験体は、設定した条件になるように、内径4cm、外径10cm、高さ4cmの厚肉円筒とした。また、試験体の作製は、新しく開発した専用のモールドとランマーを用いて行った。透水試験は、内圧、および外圧を4.0kgf/cm²に、フローポンプの吐出量は 6.263×10^{-8} cm³/secとした。この結果、透水係数の値は、フローポンプを正転させた場合、 1.839×10^{-9} cm/sec、後転

させた場合、 1.963×10^{-9} cm/secとなった。

Table 1. Mechanical characteristics of the mixture of sand and bentonite

Mechanical parameter	Full stress state	Effective stress state
Cohesion (kg/cm ²)	2.95	0.44
Internal friction angle (°)	25.45	38.45
Elastic constant (kg/cm ²)		
$\sigma_3=1.0$ kg/cm ²	163	180
$\sigma_3=2.0$ kg/cm ²	164	155
$\sigma_3=3.0$ kg/cm ²	214	186
$\sigma_3=6.0$ kg/cm ²	369	222

3. せん断透水による透水試験

(1) せん断透水試験法の選定

従来から、せん断及び透水特性は個別の特性として扱われてきた。これを同時に計測するのは難しく、技術的に未開発であり、今まだ研究段階にあると言える。これまでに、様々な形態のせん断透水試験装置が提案されてきているが、これらの装置は、膨潤性材料に対して必ずしも適応できるものではない。そこで、各種のせん断透水方法を比較し、新たなせん断透水試験方法の検討を行った。検討の結果、有効なせん断変形の発生方法としては、ねじりせん断型及び、三軸圧縮型の試験方法が妥当であると考えられた。

ねじりせん断型試験は透水試験とのカップリングが非常に困難であること、又、通常の三軸圧縮型せん断試験では、せん断面の方向が透水方向に対して平行としないという欠点があり、せん断変形に伴う透水係数の変化を定量的に求めることができない。そこで、新たに、差圧型せん断試験の提案を行った。本試験方法は、厚肉円筒形の内外圧差によって確実にせん断ひずみ場を形成することができ、透水試験とのカップリングも容易であるという特徴を持つ。更に、今後改良を加える上で適応性の高い装置と考えられる。このよ

うな観点から、今回は差圧型せん断透水試験装置に着目し装置の開発を行った。

(2) 差圧型せん断透水試験装置の構成

今回、開発した差圧型せん断透水試験装置を大別すると、Fig.1のように、厚肉円筒形の供試体、拘束圧（または、差圧）を発生させるシステム、透水させるフローポンプ、供試体の変形を計測する装置、及び各種相応の制御と記録装置によって構成されている。

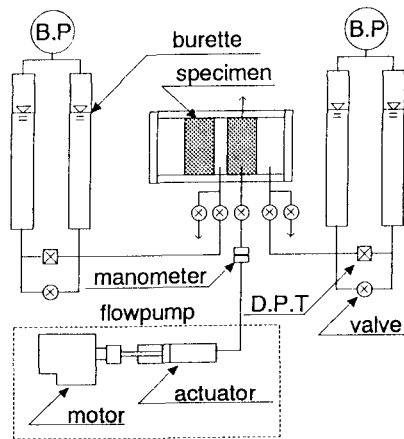


Fig.1 The shear flow coupling system with flowpump

(3) フローポンプ透水試験法

透水係数の測定はフローポンプ法を用いて行った。これは、シリンダーのピストン速度を超低速で制御できるアクチュエーターによって、供試体の一端に微量な一定の流量（単位時間当たり一定の流出量）を注入（排出）し、これに起因して生じる供試体の両端の水頭差を高精度の圧力計で測定し、ダルシーの法則を用い、供試体の断面積、高さとその水頭差の値より、透水係数を求めるものである。

フローポンプ法の利点を挙げると、以下の通りである。

- ①直接に流量を測定する必要がなく、計測が迅速に行えるので、温度変化による影響を最小限にできる。
- ②動水勾配が小さいので、供試体内に乱流が発生しにくい範囲で測定できる。
- ③定水位法や変水位法では、計測のために必要な定常状態になるのに、かなり時間がかかるが、フローポンプ法では、比較的短時間で計測が行える。
- ④供試体の両端の差圧を高精度の圧力計で読みとるため、定常、非定常状態を明確に区別できる。

(4) せん断透水試験の手順

透水試験の手順は以下の通りである。

- ①内圧と外圧をかけ、比較的早く飽和させるため、供試体に炭酸ガスを通す。そして、二重管ビュレットにより供試体を飽和させる。
- ②拘束圧は段階的に増加させ、フローポンプを用いて、それぞれ拘束圧下で透水試験を行って、拘束圧による透水特性の変化を調べる。
- ③外圧を一定のまま、内圧を段階的に減少させ、供試体にせん断変形を発生させ、各段階の透水係数を計測し、せん断変形と透水係数の変化との関係を調べる。

4. 試験結果

せん断前後の透水試験結果をTable. 2に示す。

Table2. The variation of permeability coefficient due to shear deformation

Test condition	Flow rate (cm ³ /sec)	Permeability coefficient (cm/sec)
Before shear	3.314×10^{-6}	2.0×10^{-9}
After shear	6.263×10^{-6}	1.8×10^{-9}
After shear	3.314×10^{-6}	3.0×10^{-9}

今回の試験では、せん断変形に伴う透水係数のオーダーの変化は確認されなかった。今後、測定精度を向上させることによってせん断変形による影響を明らかにしていく。

5. おわりに

今回、膨潤性材料に対して、そのせん断、透水特性及びその相互的な関係を求めるような透水試験装置の開発、機能の確認を行った。今後、膨潤性材料の膨潤特性、拘束圧の透水係数に及ぼす影響、せん断変形に伴う透水係数の変化、及び環境温度による透水係数の変化などを調べる予定である。

参考文献

1) 嘉門雅史, 小島芳之: 新体系土工学 16, 土の力学 (I) - 土の分類・物理化学的性質 -, pp. 173-174 (1998)

2) 江崎哲郎他: 難透水性を対象としたフローポンプ透水試験方法の検討, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 596-597 (1991)