

緩み領域における透水特性の回復現象に関する検討

前田建設工業株式会社 正会員 吉野 尚人 前田建設工業株式会社 正会員 ○水谷 和彦
前田建設工業株式会社 正会員 井上 博之

1. はじめに

トンネルなどの地下構造物を掘削したとき、その周辺岩盤には「緩み領域」とよばれる部分ができる。一般に、緩み領域の諸特性は時間経過とともに劣化すると考えられていた。しかし、大久保ら¹⁾は、緩み領域の諸特性のうち強度特性に着目し、十分な強度・剛性をもつ支保が施された場合には緩み領域の強度特性は時間経過とともに回復し、領域が減少していく可能性があることを示した。本研究では、緩み領域の諸特性のうち透水特性も同様に回復するのではないかと考え、軟岩を想定した人工試験体を使用して、緩み領域での透水特性回復現象を確認することを目的とした試験を行った。

2. 試験体概要

軟岩を想定した試験体の構成材料として、粘土（ミツボシクレー（微粉末乾燥粘土）：三星礦業株式会社）、シルト（シルト#250：丸中白土株式会社）、セメント（普通ポルトランドセメント：太平洋セメント）の混合材を使用した。各材料の配合は粘土：シルト：セメント＝1：1：0.228（重量比）とし、細粒分含有率は約 98％とした。試験体は、直径約 5[cm]、高さ約 10[cm]の円柱試験体とした。なお、このとき試験体の一軸圧縮強度は約 1[MPa]、透水係数は約 5.5×10^{-6} [cm/sec]となることを予備試験で確認した。

3. 試験方法

試験方法を以下に示す（図-1 参照）。なお、①～④までは全て水中で実施した。

①試験体の直径より若干大きい孔をもつ剛体の拘束型枠内に試験体を挿入する。②試験体の上に载荷棒（剛体の棒）を乗せる。③载荷棒を用いて一軸圧縮を開始する。④試験体は一軸圧縮強度で破壊するが継続して所定の応力（設定押し込み応力）まで荷重を上昇する。ここで、設定押し込み応力は一軸圧縮強度の 1, 2, 4 倍とし、これらの 1, 2, 4 を設定押し込み比と表現する。⑤設定押し込み応力で所定時間（押し込み時間）载荷を継続する。⑥所定の押し込み時間経過後に試験体を取り出す。⑦透水試験により試験体の透水係数を測定する。本研究では、一定の圧力（ここでは、0.2[MPa]）で試験体に加えた水が単位時間に単位面積から流出する量を計測し、圧力と流出量の関係から透水係数を求めた。このときの透水係数は式(1)で算出できる。

$$k = \rho \frac{h}{P} \frac{Q}{A} \tag{1}$$

ただし、k は透水係数[m/sec]、P は水压[MPa]、Q は単位時間流出量[m³/sec]、A は試験体の断面積[m²]、h は試験体の高さ[m]である。

4. 試験ケース

試験ケースは、表-1 に示すように押し込み時間と押し込み比をパラメータとした。また、押し込み時間が 3[month]以外の試験条件では、原則として同一の試験を 3 回繰り返した。

5. 試験結果と考察

図-2～図-4 には、それぞれ設定押し込み比（設定押し込み応力／一軸圧縮強度）が 1, 2, 4 のときの透水係数と押し込み時間の関係を示す。図中には同一の試験条件での試験数が複数ある場合にはその平均値も併記している。設定押し込み比が 1 の場合は、押し込み時間が大きくなっても透水係数の低下傾向は明瞭には分らないが、設定押し込み比が 2 および 4 と

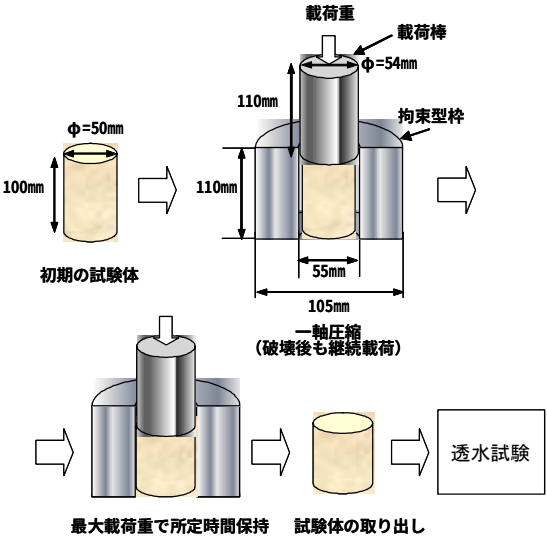


図-1 試験方法の概要図

表-1 試験ケース

ケース名	押し込み時間	設定押し込み比	繰り返し試験数
5m-1	5[min]	1	3
5m-2	5[min]	2	3
5m-4	5[min]	4	3
1w-1	1[week]	1	3
1w-2	1[week]	2	3
1w-4	1[week]	4	3
3mo-4	3[month]	4	1

なった場合には透水係数は明瞭に低下していることがわかる。また、設定押し込み比が4で押し込み時間が3[month]のケースは、設定押し込み比が4で押し込み時間5[min]のケースと比較して透水係数が約1オーダー低下していることがわかる。このことから、押し込み時間は透水係数の低下に大きく影響していると考えられる。図-5、図-6には、それぞれ押し込み時間が5[min]、1[week]での実際の押し込み比（押し込み応力／一軸圧縮強度）と透水係数の関係を示す。図中には同一の試験条件での試験数が複数ある場合にはその平均値も併記している。同図より押し込み比が大きくなると透水係数が低下しており、透水係数の低下傾向は押し込み比に依存していることがわかる。南ら^[2]は、本研究と同じ配合の人工試験体を使用して押し込み時間が0[sec]で設定押し込み比が1、2、4の場合の押し込み後の一軸圧縮強度を測定している。一方、本研究では押し込み時間が5[min]で押し込み比が1、2、4の場合の押し込み後の透水係数を計測しており、押し込み時間が若干異なるが、ほぼ同程度であると考え、強度回復比（押し込み後の一軸圧縮強度／健全時の一軸圧縮強度）と透水係数の関係について整理した。その結果、図-7に示すように、強度回復比が大きいほど透水係数が小さくなることがわかった。すなわち、強度回復とともに透水特性も回復する可能性があることが示唆されたと考えられる。

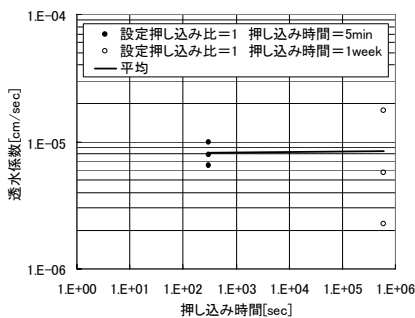


図-2 透水係数と押し込み時間の関係
設定押し込み比=1

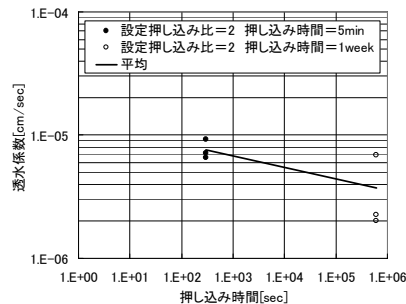


図-3 透水係数と押し込み時間の関係
設定押し込み比=2

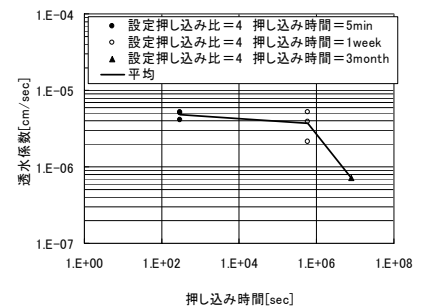


図-4 透水係数と押し込み時間の関係
設定押し込み比=4

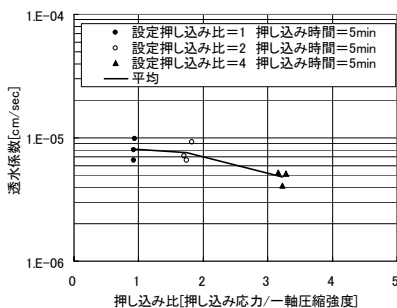


図-5 透水係数と押し込み比の関係
押し込み時間=5[min]

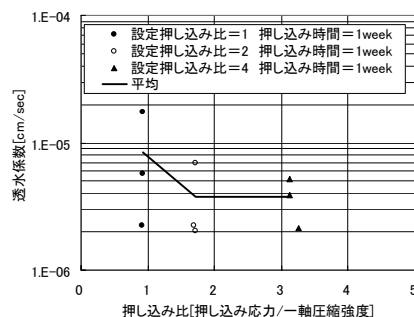


図-6 透水係数と押し込み比の関係
押し込み時間=1[week]

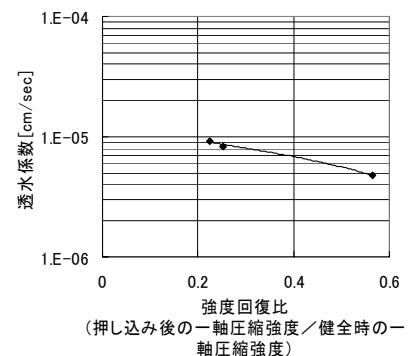


図-7 透水係数と強度回復比の関係
押し込み時間=5[min]

6. おわりに

本研究では、緩み領域での強度回復に伴う透水特性の回復現象の把握を目的とした試験を実施した。その結果、以下の知見を得た。

- ① 透水特性の回復は押し込み時間と関係があり、押し込み時間が長くなるほど透水係数は小さくなる。
- ② 透水特性の回復は押し込み比（押し込み応力／一軸圧縮強度）と関係があり、押し込み比が大きいほど透水係数が小さくなる。
- ③ 強度特性の回復と透水特性の回復は相関があり、強度特性の回復が大きいほど透水係数が小さくなる傾向にある。

これらの結果から、緩み領域の透水特性は時間経過とともに回復する可能性があることが示唆されたと考えられる。今回の試験は人工試験体を使用しているため、実際の岩石や岩盤でも同様な傾向を示すかどうかの確認が必要であると考えられる。また、押し込み応力や押し込み時間についてもより広範囲での確認試験を実施する必要があると考えられる。

・参考文献 [1]大久保誠介, 福井勝則, 杉田隆博 (2001) : “ 緩み領域の強度回復に関する基礎研究 ”, 資源と素材, Vol.117, pp631-638.
[2]南浩輔, 野田兼司, 井上博之 (2002) : “ 軟岩の強度回復に及ぼす載荷時間と細粒分含有率の影響 ”, 土木学会第 57 回年次学術講演会, pp901-902