

(VII-40) 推進工法用滑材の地山への浸透性

国士大(院) 学生会員 山崎 淳
国士大・工 フェロー 金成 英夫

1. はじめに

我が国では、下水管渠は後発の都市施設として施工されたため、交通量の多い道路など施工条件の良くないところで管を敷設せざるを得ない。更に最近では建設工費縮減の社会的要求もあり、立坑の数を減らした長距離推進や曲線推進の要求が高まってきており、地山との摩擦力を低減するために用いられる滑材が注目されている。

本研究では、施工現場で用いられているベントナイト系の標準滑材、裏込材としても兼用が可能な遅硬性滑剤(新しい遅硬性滑材A(N・Aと表す)、新しい遅硬性滑材C(N・Cと表す)、古い遅硬性滑材A(O・Aと表す)、古い遅硬性滑材C(O・Cと表す))を用いて、滑材の地山への浸透性を中心に検討してみた。

2. 実験装置及び方法

浸透試験では、豊浦標準砂(平均粒径 0.28mm、均等係数 2.000)、硅砂 6号(平均粒径 0.38mm、均等係数 1.482)、硅砂 5号(平均粒径 0.60mm、均等係数 1.477)を加圧浸透試験装置に敷き詰めモデル地山とし、その上に滑材を流し込み、下に空気穴を設けながら上から 0.05MPa の圧力をかけ滑材の体積変化を測定して浸透量を導いた。

粘性試験では、ブルックフィールド型回転粘度計を用いて測定し、速度勾配とせん断応力を導いた。

3. 滑材の浸透性

滑材は注入するとその圧力によって、滑材中の溶媒である水の一部が浸透し、滑材懸濁液と地山との間に滑材ケーキが形成する。このケーキが止水壁となり、滑材は体積が余り減少せず、地山と管との間に残り、滑材としての効果を発揮する。

この状態はケーキ濾過(表面濾過)であるので、ケーキの形成に関する Carman の理論に従う。濾過に影響する因子は、濾過圧力、濾過面積、滑材の固形物濃度及び濾液の粘性係数であり、濾過速度は式(1)で表せる。

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P \cdot A}{\mu \left(\gamma \cdot C \frac{V}{A} + R_m \right)} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、

A: 濾過面積 (cm²)、 C: 懸濁液の固形物濃度 (g/cm³)
P: 濾過圧力 (g/cm²)、 R_m: 濾材の通水抵抗 (1/cm)
t: 濾過時間 (s)、 V: 濾液量 (cm³)、 μ: 濾液の粘性係数 (g/cm/s)、 γ: ケーキの比抵抗 (cm/g)

ここで、推進工法では、濾材を使用しないので R_m=0 とおける。この式は、左辺の単位濾過面積あたりの濾過速度は濾過圧力に比例し、濾液の粘性係数に反比例することを示している。図-1、図-2は、モデル地山の平均粒径を変えた場合の浸透量・比抵抗を示している。

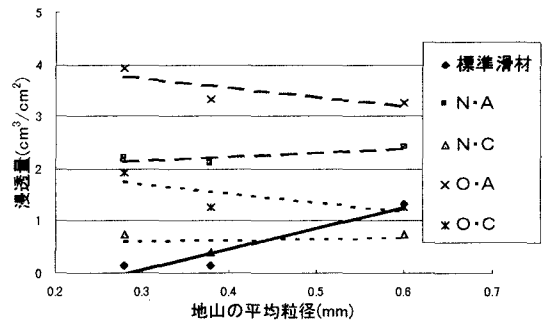


図-1 地山の平均粒径と浸透量の関係

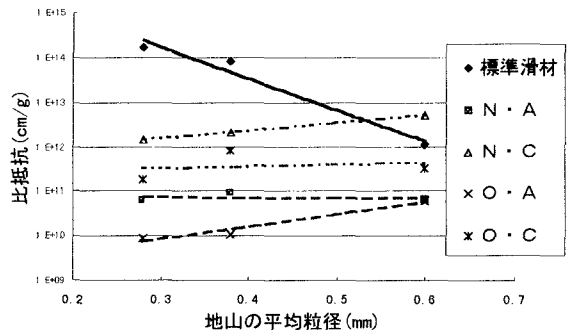


図-2 地山の平均粒径と比抵抗の関係

キーワード: 推進工法、滑材、浸透性

連絡先: 〒154-8515 東京都世田谷区世田谷4-28-1 国士館大学大学院衛生工学研究室 Tel03-5481-3261

図-1から、モデル地山の平均粒径が大きくなるにつれて標準滑材の浸透量が大きくなるが、遅硬性滑材では大きな変化はみられなかった。

図-2から、モデル地山の平均粒径が大きくなるにつれて標準滑材の比抵抗が小さくなるが、遅硬性滑材では大きな変化はみられなかった。それにより標準滑材では、濾液量に対して滑材ケーキが徐々に厚くなることを想定していたのに対して、ケーキの厚さが減少すること（滑材ケーキの崩壊）が考えられる。

4. 滑材の粘度

滑材の拡散過程を図解するには、土壌を小さな毛細管が無数に集合したものと仮定することができる。図-3は断面が円柱の毛細管の流動状態を示している。この毛細管内の滑材には、次のような流動抵抗が生ずる。

$$W = \tau \cdot 2 \cdot r \cdot \pi \cdot L \quad \dots\dots (2)$$

ここで、

W : 壁面抵抗 (N) 、 τ : 壁面せん断応力 (Pa)

r : 半径 (m) 、 L : (m)

この抵抗に打ち勝つような圧力は、次のようになる。

$$P = p \cdot r^2 \cdot \pi \quad \dots\dots (3)$$

ここで、

P : 滑材の圧力 (N) 、 p : 単位面積あたりの圧力 (Pa)

$W < P$ のとき、流動物質は毛細管内を流れる。

$W = P$ のとき、流動物質は毛細管内に静止する。このことから、次式のような平均条件が与えられる。

$$\tau \cdot 2 \cdot r \cdot \pi \cdot L = p \cdot r^2 \cdot \pi \quad \dots\dots (4)$$

滑材の浸透深度は次式のようになる。

$$L = \frac{r \cdot p}{2 \cdot \tau} \quad \dots\dots (5)$$

浸透深度は、毛細管の直径と圧力とに比例し、滑材のせん断応力（静止から移動に移る場合は降伏応力 τ_y ）に反比例する。

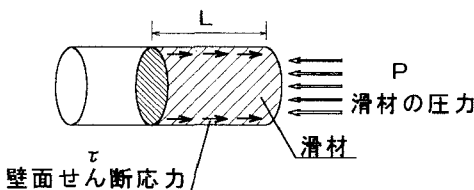


図-3 浸透モデル図

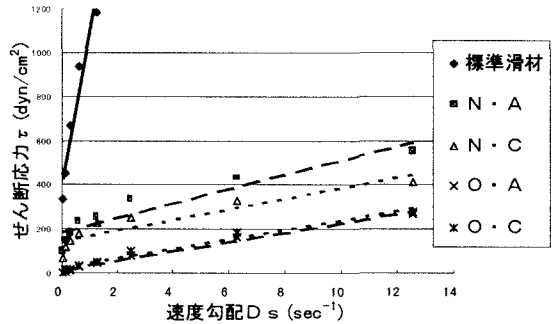


図-4 速度勾配とせん断応力の関係

滑材の粘度測定から求めた速度勾配とせん断応力を図-4に示す。

図-4から、O・A及びO・Cからは若干の降伏応力 τ_y しか見られなかったが、標準滑材、N・A及びN・Cは大きな降伏応力を持っており、非ニュートン流体、特に塑性流体として扱うことができる事がわかる。図-1と図-4の関係から、地山の平均粒径が大きくなっても滑材自体の浸透ではなく滑材ケーキは形成され、ケーキの崩壊によって浸透していくことが分かる。本実験の粘度は、ケーキの粘度ではなく滑材自体の粘度を測定したが、ケーキの地山への崩壊を考えるには、ケーキの速度勾配とせん断応力の関係を求めることが大切である。

まとめ

推進工法用の滑材の物性、特に浸透性を中心に実験を行った結果をまとめると次のようになる。

- (1) モデル地山の平均粒径が大きくなるにつれて標準滑材の浸透量が大きくなるが、遅硬性滑材では大きな変化はみられなかった。
- (2) モデル地山の平均粒径が大きくなるにつれて標準滑材は、ケーキの厚さが減少すること（滑材ケーキの崩壊）が考えられる。
- (3) 地山の平均粒径が大きくなっても滑材ケーキは形成され、ケーキの崩壊によって浸透していくことが分かる。今後、滑材ケーキの粘度を測ることにより、より詳しく研究したい。

『参考資料』

- 1) 金成英夫：推進工法用遅硬性滑材に関する研究，月刊推進技術，pp84-98, Vol.11, No4, 1997
- 2) 金成英夫，川口直能：遅硬性滑剤の特性について，第8回非開削技術研究発表会論文集，pp13-20, 1997
- 3) 永田伸之：推進工法に用いる滑剤の基礎知識(2)，月刊推進技術，pp1-8, Vol.11, No4, 1997