

推進工法におけるスラリー系滑材の地山への浸透

国土館大（院） 学生会員 山崎淳
 国土館大・工 学生会員 金成英夫
 国土館大（院） 学生会員 岡崎智昭

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埋設せざるを得ない。更に最近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、滑材の地山への浸透性を中心に検討してみた。

2 試験方法

浸透試験では、砂をフルイ（呼び寸法 0.3mm、0.5mm、0.85mm、1.0mm、1.18mm、1.4mm）によりふるい分けしたもの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た。

せん断試験は一面せん断試験により測定し、滑材ケーキのせん断強さを求めた。

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

脱水試験はヌッチェテストにより測定し、比抵抗を導いた。

3 滑材の浸透

滑材は、注入されるとその圧力によって地盤の空隙に浸透していく。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-1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。

$$W = t \cdot 2 \cdot r \cdot p \cdot L \quad \dots\dots (1)$$

W：壁面抵抗力（N）、 τ ：壁面せん断応力（Pa）

r：半径（m）、L：侵入した長さ（m）

この壁面抵抗力Wは、滑材が侵入した長さが長くなるにつれて大きくなり、滑材を浸透させようとする力Pと同じになったときに滑材の浸透が停止する。

図-2は、粘性試験から求めたせん断速度とせん断応力の関係を示している。図-2から、遅硬性滑材はY軸との切片である降伏応力を持ち塑性流体として取り扱うことができ、標準滑材は降伏応力が小さく擬塑性流体に近いものであることが分かる。降伏応力が大きければ、静止状態での壁面せん断応力が大きいと言える。

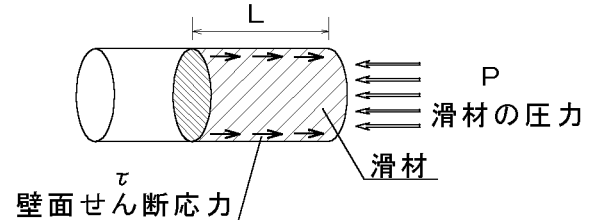


図-1 浸透モデル図

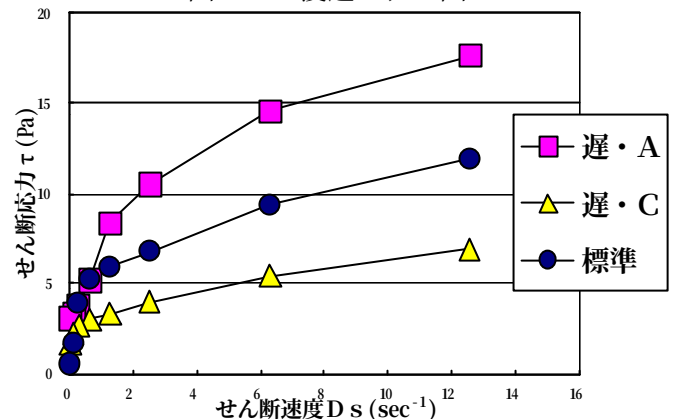


図-2 せん断速度とせん断応力の関係

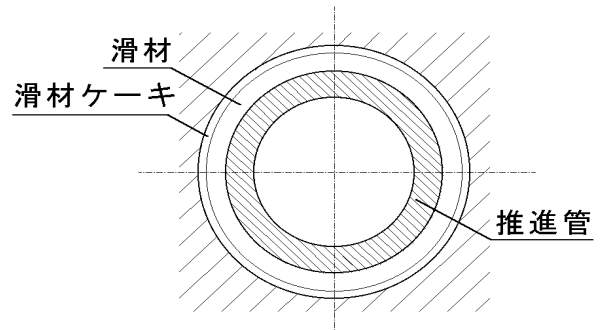


図-3 滑材ケーキモデル図

4 滑材ケーキ

4.1 滑材ケーキの形成

滑材は、目詰まりなどをきっかけにして滑材中の溶媒である水の一部が分離し、固形分の多い層、すなわち滑材ケーキが形成する。滑材ケーキの壁面せん断応力は、滑材自体のそれに比べ非常に大きいことが予想される。それによりケーキは浸透せず、ケーキの厚さは水分の濾過された分だけ徐々に厚くなり、強固な止水壁となる。そのことから滑材懸濁液はケーキにより体積が塗り減少せず、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であるので、ケーキの形成に関する Carman の理論に従う。

濾過速度は式-（2）で表せる。

キーワード：滑材、ケーキ、浸透性、比抵抗

連絡先：〒154-8515 東京都世田谷区世田谷4-28-1 国土館大学衛生工学研究室 TEL03-5481-3261

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P \cdot A}{m \cdot g \cdot C \frac{V}{A}} \dots\dots (2)$$

A：濾過面積（m²）、C：固形物濃度（kg/m³）
P：濾過圧力（Pa）、t：濾過時間（s）、V：濾液量（m³）
μ：濾液の粘性係数（kg/m/s）、γ：ケーキの比抵抗（m/kg）
この式のケーキの比抵抗γは以前の実験から、それぞれが持つ透水抵抗に類似した物であり圧力に関係なく一定である事が分かっている。

4. 2 滑材ケーキの形成されやすさ（比抵抗）

滑材ケーキの形成に関する要素は、地山の間隙の大きさ、滑材中の固形物の大きさと含有量、滑材ケーキの初期段階である固形物の目詰まりのせん断強さと比抵抗が大きな要因であると考えられる。滑材中の固形物が目詰まりを起こし、ケーキの形成のきっかけが現れた時・比抵抗が小さい場合

滑材ケーキの初期段階である目詰まりにかかる応力としては、滑材がその目詰まりを通ろうとするときの透水抵抗である。目詰まりの透水抵抗を滑材ケーキの比抵抗と同じと考えた場合。比抵抗が小さいために目詰まりにかかる応力が小さくなる。また、濾液量が多くなるためにケーキの厚さが増し、ケーキの強度が大きくなる。そのため、固形物の目詰まりというケーキ形成のきっかけを生かすことができる。

・比抵抗が大きい場合

目詰まりにかかる応力が大きく、また、濾液量が少ないためにケーキの厚さが厚くならない。そのため、目詰まりが応力に耐えられず破壊してしまい、ケーキ形成のきっかけを生かすことができない。

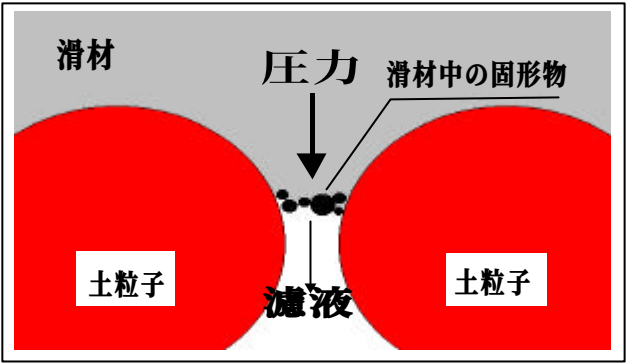
4. 3 滑材ケーキの形成されやすさ（せん断強さ）

滑材ケーキのせん断強さに注目してみると、ケーキ形成の初期段階が持つせん断強さが強いとそれにかかる応力に対して構造的に耐え、そのきっかけを生かせるはずである。その初期段階をケーキのせん断強さと考え、一面せん断試験を行った。

図ー5から、滑材ケーキのせん断強さは、遅硬性滑材Aは遅硬性滑材Cに比べ大きい値を示している。そのことから、遅硬性滑材Aの方がケーキを形成しやすいと考えられる。この試験では供試体である滑材ケーキを作る過程で十分な厚さを持った均一な滑材ケーキを作ることが困難であり数値にばらつきが見られた。一面せん断試験については、より検討の必要があると考えられる。

5 浸透試験結果

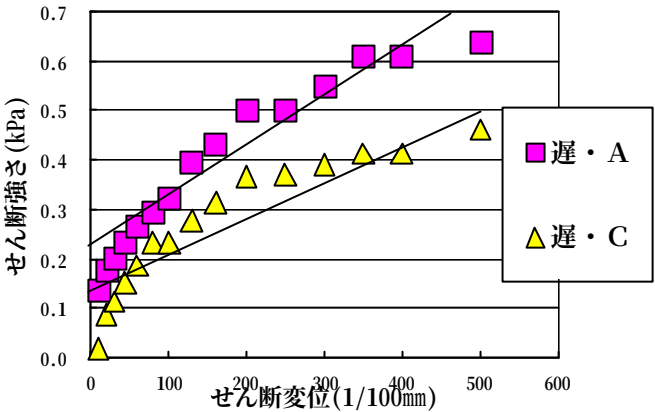
図ー6は浸透量と地山の平均粒径の関係を示している。図から平均粒径が小さくても標準滑材の浸透量は他に比べ大きくなる。標準滑材は、比抵抗が大きいために滑材ケーキが形成されずに、滑材自体の壁面せん断応力により浸透量が増えたと考えられる。遅硬性滑材Aでは粒径の変化に対して大きな変化はみられない。比抵抗が小さくケーキ濾過の状態であると考えられる。遅硬性滑材Cでは、平均粒径が1mmを越えたところで急激に浸透量が増えていることが分かる、遅硬性滑材Cは、比



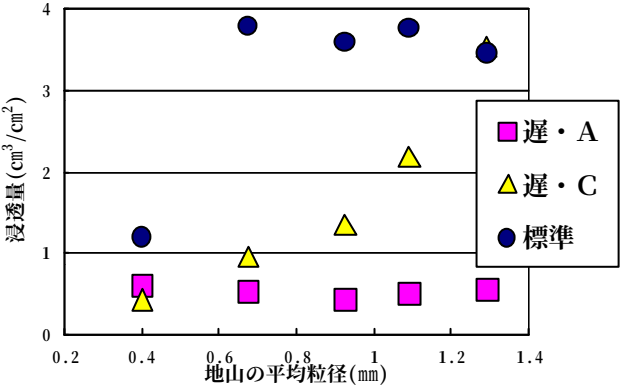
図ー4 滑材ケーキ形成の初期モデル図

表ー1 滑材の比抵抗と固形物濃度

	標準	遅・A	遅・C
比抵抗 (m/kg)	1.6E+15	1.6E+13	1.4E+14
固形物濃度 (kg/m ³)	140	500	300



図ー5 滑材ケーキのせん断強さ



図ー6 浸透量と地山の平均粒径の関係

抵抗が標準滑材と遅硬性滑材Aの間であり、地山が大きくなるにつれケーキ濾過とケーキ形成の境目が現れたものと思われる。

6 まとめ

推進工法における滑材の浸透性について実験を行った結果をまとめると次のようになる。

- (1) 滑材の浸透は、ケーキの形成により大きく変化する。
- (2) 滑材ケーキの形成されやすさは、比抵抗による影響が大きい。
- (3) 滑材ケーキが形成されると地山の大きさに関係のない浸透となる。