

VI-19

泥土圧シールド工法における加泥材の配合設計に関する一提案

戸田建設 土木技術開発室 正会員 多田幸司

同 上 谷口 徹

同 上 中川雅弘

1. まえがき

加泥材の役割は地山土砂に止水性と流動性を与える事であるが、種々の地盤条件に対してその配合は経験的に決定されてきたのが現状である。合理的な配合設計手法が模索されている段階にあると言える。

加泥材は施工管理上は見掛け粘性で表示されるが、一般にビンガム流体に近い挙動を示し、降伏値と塑性粘度で正確に表現される。実工事の例より止水性と降伏値が関連づけられる事が予測されており、いくつかの補足実験を行なったので以下に報告する。

2. 降伏値と止水性の関係

止水性とは高い透水係数をもつ土砂に加泥材を混合して難透水性に改良し、自然水圧に対する抵抗力をシールド機の機長内でもたせる事を意味する。止水性に関係する因子としては掘削土の隙間の大きさ、水圧、シールド機構、加泥材の性質などが定性的に考えられる。一方、粘性流体における研究²⁾より、円管内のビンガム流体の栓流形成式は次のように表現される。

$$f_y = r_B \cdot P / 2 \cdot L \quad (1)$$

f_y : 降伏値 r_B : 栓流の半径 P : 圧力差 L : 流路長

ここで栓流半径 r_B が円管の半径以上の大きさになれば、 P 以下の圧力では流動しない事になる。この式より r_B を掘削土砂の有効隙半径(cm)、 P を水圧(dyn/cm²)、 L をシールド機内の有効流路長(cm)と考えれば所定の水圧に対して隙間を埋める加泥材が流動しないために必要な降伏値が算出される事になる。

3. 実験方法及び材料

使用材料は加泥材としてクレイサンド（岐阜産）、ベントナイト（豊順・榛名印）を用いた。掘削土砂として河川砂利（利根川産）を図-1に示す粒度にふるい分けて使用した。降伏値の異なる加泥材を数種類作成し、一定注入率で礫と混合して試料土とした。

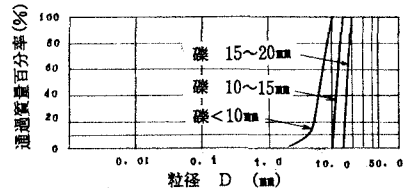


図-1 粒度分布

図-2に示す試作装置に試料土を充填し、上部より徐々に送水加圧する事により、礫粒子間の加泥材が流出し始める圧力を測定して限界圧力とした。降伏値はVGメーター（モデル35）を使用して測定している。

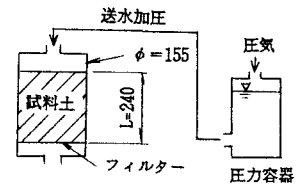


図-2 実験装置

4. 実験結果及び考案

4-1 降伏値

VGメーターによって測定された流動曲線の一例を図-3に示す。低速度領域の測定点を縦軸に向けて延長し、得られる切片を降伏値としている。実工事においては見かけ粘性で管理されるのが通例であるが、同一材料を用いる限りにおいては図-4に示すように見かけ粘性と降伏値が一定の関係にあり、見かけ粘性によって降伏値を管理する事は十分可能である。

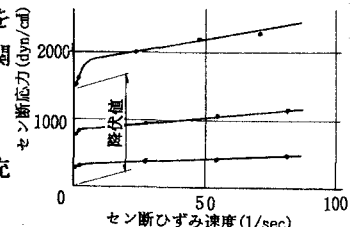


図-3 流動曲線

4-2 降伏値と水圧の関係

各種の降伏値、礫径に対して得られた限界圧力を図-5に示す。試料充填時の相違により、空隙比 e （礫に対する加泥材の体積比）が0.6から0.8の中をもつため、厳密な意味では同義で論ずることはできないが、礫径に

対して降伏値と限界圧力がほぼ比例関係にあると言えよう。

4-3 有効間隙径について

円管に対して導かれた式(1)を複雑な形状をもつ土砂の間隙に対してどのように適用するかが重要であるが、諸文献³⁾によれば有効間隙径は次式のように表わされる。

$$R_H = e \cdot D_s / 6 \quad (2)$$

R_H = 径深、 e = 間隙比、 D_s = 土粒子を球と考えた場合の直径

ここで間隙を円形であると仮定し、 D_s を D_{10} とおけば間隙の半径は

$$r_B = e \cdot D_{10} / 3 \quad (3) \quad D_{10} = 10\% \text{ 粒径}$$

と表わされる。限界水圧の測定結果より式(1)によって得られる r_B の値と式(3)によって得られる計算値を比較したのが図-6である。若干のバラツキはあるものの、実測値は計算値の約半分となっており、式(1)に適合する実験式として間隙半径は次のように表される。

$$r_B = e \cdot D_{10} / 6 \quad (4)$$

土質材料の有効間隙半径を単純な形で表現するにはより多くのデータを必要とすると考えられるが、一応式(4)で表現されるものと仮定して、限界圧力の計算値と実測値を比較したのが図7である。異なる礫径、降伏値に対してほぼ一致と言ってもよく、加泥材の止水性に対して粘性流体式(1)が適用可能である事が確認される。

5. あとがき

泥土圧シールドにおいて加泥材の配合設計や配合変更を行なう上で止水性に対しては式(1)を適用する事により、シールド機の有効流路長、掘削土砂の有効間隙半径を設定すれば、必要な降伏値が算出される事が示された。

しかしながら式(1)で算出される降伏値は加泥材が湿潤土砂と接して希釈された後の値であって、作泥時の配合を算出するには各種の土質に対する希釈率を設定する必要がある。安定掘進時には地山の自由水を取りこむ事はないという報告⁴⁾はあるが、毛管水等によって加泥材が希釈される事は否めない事実であり、どのように設定するかが重要である。またシールド機内の有効流路長をどのように考えるかも難しい問題であって、施工データの蓄積によって判断する必要があるだろう。今後の課題である。

引用文献 1) 奥村、多田「高水圧下における加泥式シールド工法」日本プロジェクト・リサーチ社第25回シールド講習会テキスト 2) M.Reiner 改訂レオロジーの基礎理論 山田、柳沢訳 コロナ社 1969

3) 例えば松尾、河野 地下水位低下工法 鹿島出版会 1970 4) 栗原、石谷、竹内「土圧シールドでの掘削土砂への潤滑材添加に関する基礎研究（その3）、第17回土質工学研究発表会

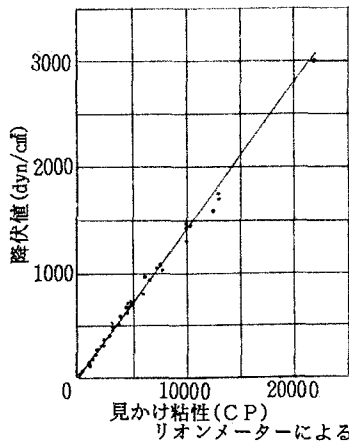


図-4 降伏値-見かけ粘性

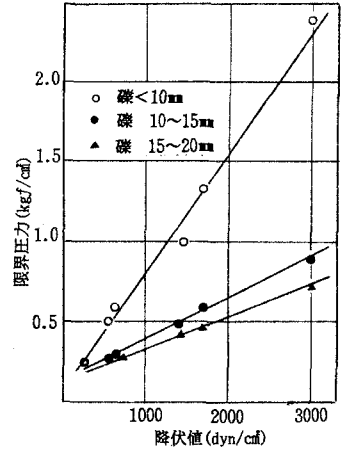


図-5 限界圧力-降伏値

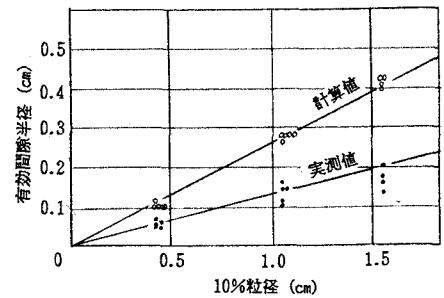


図-6 有効間隙半径

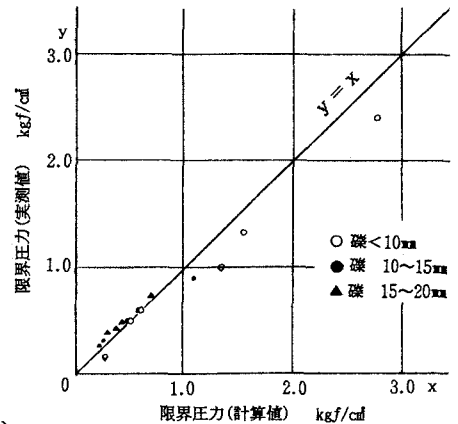


図-7 限界圧力の比較