

添加材の逸脱を考慮した泥土圧シールドの排土量計算の粘性土・堆積軟岩地盤への適用 —その2：試算結果—

鹿島建設(株) 正会員 ○中川雅由 吉田 輝

東京大学・東京理科大学名誉教授 フェロー会員 龍岡文夫

1. はじめに

その1で提案した詳細化ガイドライン(GL)式を用いて、粘性土および堆積軟岩層（主に泥岩層）を主な掘進地盤とする直径約15mの泥土圧（気泡）シールド工事の一部区間（延長約150m、全150リング(R)）に対して、排土率等の試算を事後的に行った。本報ではその結果の一部を報告する。

2. 掘進条件

掘進地盤は、発進立坑から約80mまでの区間(1R～80R)は沖積層（粘性土層・有機質土層）、以後、81R～130Rで掘削断面の下方から堆積軟岩層が上昇し、発進立坑から約130m以降(131R～150R)は掘削断面が全面堆積軟岩層となる。添加材は、全区間で起泡溶液（密度 1.0t/m^3 ）を用い、堆積軟岩層区間の131R～148R（143Rを除く）では気泡材（密度 0.1t/m^3 ）を併用した。添加材が起泡溶液のみの場合を、以下では「気泡レス」と記す。また、全区間において、添加材とは別にチャンバー内へ加水を行った。

3. 試算条件

図-1に、試算に用いたリングごとの(a)排土質量 M_{out} 、(b)土水一体とした土圧係数 $K=1.0$ と仮定して深度方向の土圧勾配を重力加速度で除して求めた推定チャンバー内密度 $(\rho_{t,c})_{K=1.0}$ および(c)チャンバー含水比 w_c を示す。 M_{out} および w_c は、それぞれベルトスケールおよび電子レンジ法（ベルトコンベヤーから試料採取）で求めた $M_{out,b}$ および $w_{out,b}$ から改質剤分を控除して求めた。掘削断面の過半が堆積軟岩となる111R付近以降で、 $(\rho_{t,c})_{K=1.0}$ は理論密度（土の過剰取込み、添加材の逸脱および逸水がないものとしてボーリングに基づく地山密度 ρ_t と添加材量・加水量から計算したチャンバー密度）より低い値を示した。これは、チャンバー内泥土の粘性が増大して側圧係数 K が1.0未満となり、土圧勾配から $\rho_{t,c}$ を評価することが困難となったため、と推察している。

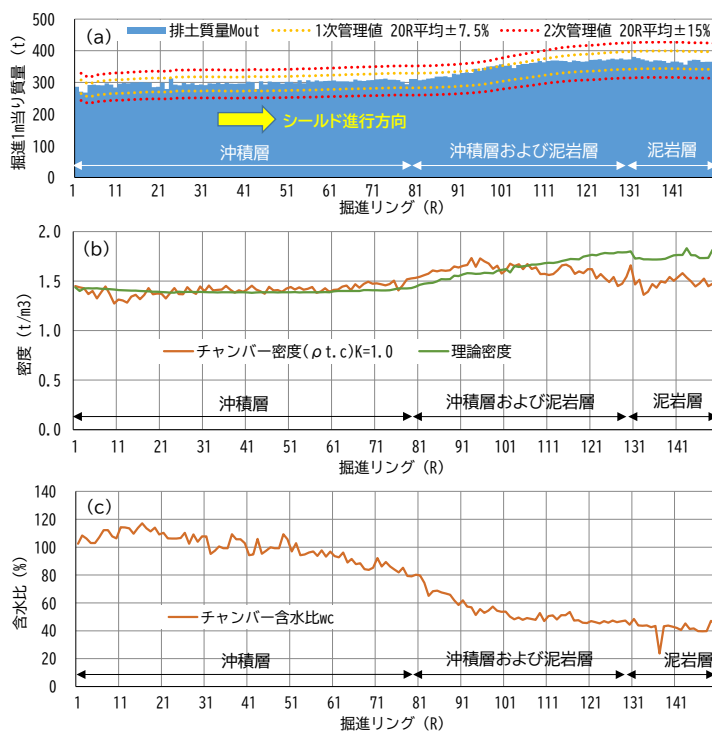


図-1 試算に用いた M_{out} 、 $(\rho_{t,c})_{K=1.0}$ および w_c

当工事の掘進条件において、ガイドライン¹⁾の「泥土圧シールドでの逸脱添加材量と過剰取込み土量の計算式」(原GL式)を適用する場合、添加材質量 M_a は気泡材、起泡溶液および加水の合計となる。一方、詳細化GL式では、 M_a を仮に気泡材と起泡溶液の総和と定義すると、気泡レス区間では添加材密度 ρ_a が水の密度 ρ_w と等しくなり、その1の式(5)で $B=1-\rho_w/\rho_a=0$ となるため逸脱添加材質量 ΔM_a および逸水質量 ΔM_w が一意に定まらない。このため、計算上、 M_a は気泡材のみとし、起泡溶液は加水質量 M_w に含めた。すなわち、 M_a および ΔM_a を気泡材、 M_w および ΔM_w を水と起泡溶液の合計とした。

キーワード 泥土圧シールド、気泡シールド、排土量管理、添加材、排土率、堆積軟岩

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株)土木管理本部 TEL 03-5544-1111

4. 試算結果

図-1(b)で土圧勾配による $(\rho_{t,c})_{K=1.0}$ と理論密度の乖離が著しく、 $\rho_{t,c}$ の評価が困難であった121R以降について、試算結果を図-2に示す。同図(a)、(b)、(c)は順に添加材と加水を全量控除する一般的な方法(以下、一般式)、原GL式、および詳細化GL式による過剰取込み土体積 $\Delta V_s = \Delta M_s / \rho_{t,c}$ 、(d)は詳細化GL式による逸水体積 $\Delta V_w = \Delta M_w / \rho_w$ である。逸脱添加材量 ΔV_a は紙数の制約上割愛する。また、図-3に各式の ΔV_s から求めた排土率 $VR = (V_s + \Delta V_s) / V_s$ を示す。

一般式では ΔV_s がほとんど発生しておらず(図-2(a))、VRも100%近くで推移している(図-3)。トンネル直上の地表鉛直変位が許容範囲($\pm 25\text{mm}$)に収まっていること、さらに131R以降は掘削断面が全面、自立性で難透水性の堆積軟岩層であることから、この結果は信頼できると考えている。

原GL式では、著しい取込み不足($\Delta V_s < 0$)が見られ(図-2(b))、VRが断続的に約70%まで低下しているが(図-3)、これは前述したとおり土圧分布から土水一体とした土圧係数 $K=1.0$ と仮定して推定した $(\rho_{t,c})_{K=1.0}$ が $\rho_{t,c}$ として過小評価であることによる見掛け上の結果で、実態ではないと推察している。

これに対して、詳細化GL式においては、 ΔV_s が $\rho_{t,c}$ の評価誤差の影響を受けないため「見掛け上の取込み不足」がほぼ解消し(図-2(c))、VRは気泡掘進時・気泡レス掘進時とも一般式と同程度となった(図-3)。このVRは乾砂量(体積)に基づく排土率 VR_d と一致する(その1を参照)。 ΔV_w は $\rho_{t,c}$ の評価誤差の影響を受けるが、図-2(d)では ΔV_w の絶対値は小さく、地盤条件に照らして違和感のない結果である。なお、137Rでの w_c の急降下(図-1(c))は何らかの原因による測定エラーが疑われるため、計算には前リングの w_c を用いた。

5. まとめ

詳細化GL式により、粘性土および堆積軟岩(泥岩)における過剰取込み土量 ΔV_s 、排土率 $VR = (V_s + \Delta V_s) / (設計掘削土量 V_s)$ 、逸水量 ΔV_w 等を試算した(このVRは乾砂量(体積)に基づく排土率 VR_d と同義)。詳細化GL式ではチャンパー含水比 w_c が必要であるが、気泡シールド(気泡レス掘進を含む)においては、チャンパー内密度 $\rho_{t,c}$ の推定精度が低い場合でも ΔV_s とVRの推定精度の低下を防止できる。また、透水性地盤などで実際に $\Delta V_w \neq 0$ の場合は、 ΔV_w を考慮しなければ ΔV_s (および逸脱添加材量 ΔV_a)やVRに推定誤差が生じるため、詳細化GL式の使用が適切になる可能性がある。また、 ΔV_w の評価はチャンパーの止水性の確認手段となる可能性がある。

参考文献：

1) シールドトンネル施工技術検討会：シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン、令和3(2021)年12月。

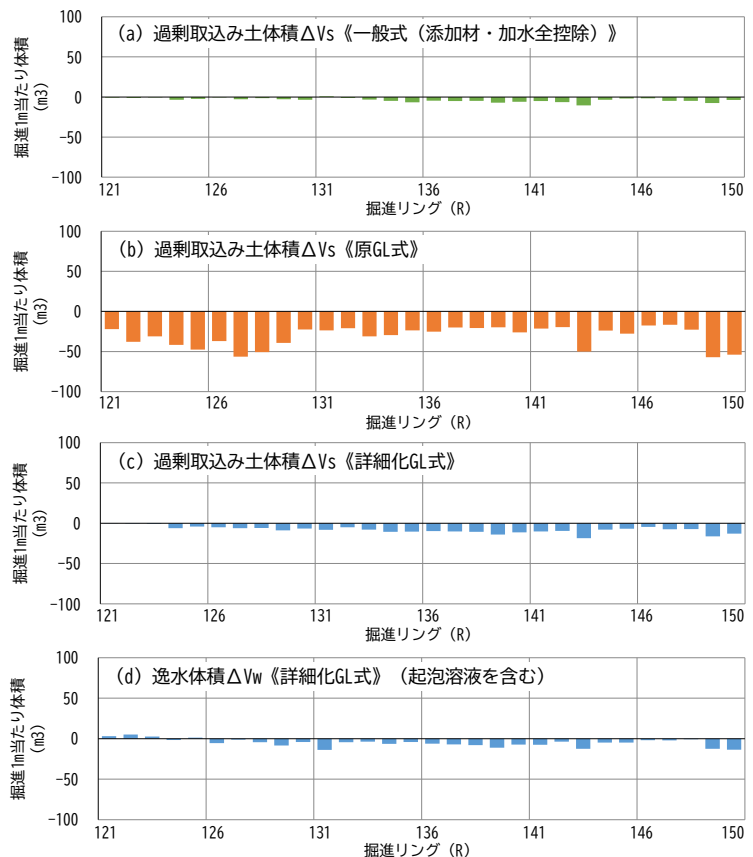


図-2 ΔV_s および ΔV_w の算出結果

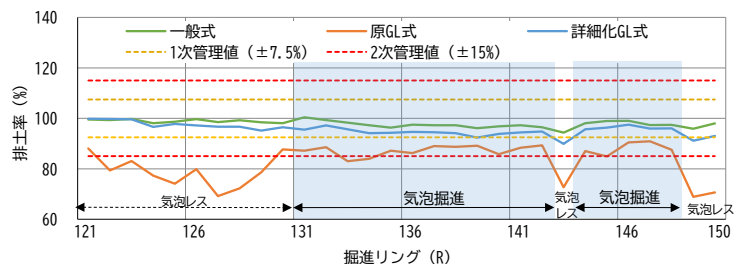


図-3 各式の排土率VRの比較