

Ⅲ－B197

縦シールド掘進時におけるシールド機の掘進抵抗力について

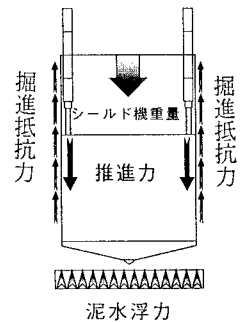
東京都下水道局 横山博一、伊東 三夫
日本工営（株）正会員 ○黒川信子、池谷 正

1. 目的

縦横連続シールド工法の第三番目の工事現場となった「第二・十二社幹線」下水道工事路線は、概ね武蔵野台地の淀橋台に位置し、下末吉面に地形区分される洪積地盤での工事である。また、発進立坑掘削地盤でのGL-23.0m～GL-31.0mでは最大礫径300mの東京礫層が介在している（横山ら、1998）。このような、洪積砂礫地盤では、縦シールド掘進時の掘進抵抗力が増大する可能性がある。本文では、第二・十二社幹線立坑工事でのシールド掘進力に対して検討を行い、掘進抵抗力の合理的な評価手法に関する考察を加えた。

2. 縦シールドの掘進機構

立坑構築時の鉛直下向き掘進時にシールド機に作用する力を図-1に示す。下向きにはシールド機重量と推進ジャッキの推進力、上向きには切羽泥水浮力とシールド機外殻に作用する掘進抵抗力が作用する。縦シールド掘進が可能となる条件は下方向力が上方向力を上まわっていることが必要であるため、推進ジャッキで後方のセグメントを押しつけながら掘進する。また、その反力はセグメントの自重、セグメント外周からの地山との摩擦力、および仮設の重量で支持する機構と



泥水浮力

図-1の關係より、掘進抵抗力は式(1)により算出できる。

掘進抵抗力＝推進力（施工値）－シールド機重量（518tf）－泥水浮力（施工値）…（1）

ここで、泥水浮力は切羽水圧から算定でき、本工事のシールド機重量は518tfで一定である。よって、縦シールド機掘進中の推進力を知ることで、本掘進地盤での掘進抵抗力が算定できる。

3. 掘進抵抗力に関する考察

第二・十二社での掘進抵抗力の深度方向分布図を図-2に示す。比較のため軟弱沖積地盤（N値0～1）

での縦シールド掘進時（花畑）の掘進抵抗力の実績を図-3に示す。第二・十二社の掘進抵抗力は、花畑の場合と比べてかなり大きく、掘進深度が増すにつれて掘進抵抗力も増大する傾向を示す。また、掘削地盤によって掘進抵抗力のバラツキの幅・分布状況が異なっている。例えばシールド機の切羽部断面積をAとした場合、GL-31.2mまでの砂礫層では20A～48A、それ以深の細砂層では26A～62A、また、細砂層でありながらサヤ管固定後（GL-41.9m以深）では5A～12Aに分布している。一方軟弱地盤の花畑では、5A～15Aに分布しており、深度方向に対しては一様分布の傾向を示す。ここで、第二・十二社・花畑共に、サヤ管固定後の掘進抵抗力が下がる傾向は共通している。以上の実績値から洪積地盤での縦シールド掘進抵抗力は、軟弱地盤での掘進時に比べてかなり大きく、重要な設計課題の一つにあげられる。

キーワード：シールド、立坑、摩擦、推進力

連絡先：〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1 東京都下水道局管路建設部

〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4 日本工営（株）地盤構造部 Tel:03-3238-8353 Fax:03-3238-8379

表-1 推進力の考え方

横シールドの場合（トンネル標準施工方書「シールド工法編」より）	縦シールドの場合
F_1 シールド外周面との摩擦抵抗、あるいは粘着抵抗 $F_1 = \mu_1 \cdot (\pi D_0 \cdot L \cdot P_0 + W)$ 砂質土 $F_1 = c \cdot \pi D_0 \cdot L$ 粘性土	式を変更して適用可能（Wを無視）
F_2 掘進に伴う、ブレード刃先先端の貫入抵抗 $F_2 = l \cdot t \cdot K_p \cdot P_0$	通常横シールドの場合、微少なので無視 ※（カッターを回転させて掘進するため刃先貫入抵抗は減少、また停止中でも掘進できないよう安全装置が作動するので無視）
F_3 切羽前面抵抗 $F_3 = P_0 \pi / 4 D_0^2$	2) 式の泥水浮力に相当
F_4 変向抵抗（曲線施工、蛇行修正、変向のための対抗力、フリップ抵抗等） $F_4 = R \cdot S$	立坑は直線施工なので無視
F_5 テール内でのセグメントとスキンプレーットの摩擦抵抗 $F_5 = \mu_2 \cdot G_1$	セグメント重量はスキンプレーットに作用しないので無視
F_6 後方台車の牽引抵抗 $F_6 = \mu_3 \cdot G_2$	後方台車が無いので無視

通常の横シールド工の場合、シールド推進力の設定手法は、トンネル標準示方書シールド編・同解説によると表-1 のように提案されている。この考え方を縦シールドの場合に当てはめると、F2, F4, F5, F6 の考慮は省略（理由は表-1 に示す。）できる。一方縦シールド機の自重を考慮する必要があることから、必要推進力は式（2）のようになる。

$$\text{推進力} = F1 + F3 - \text{シールド機重量} \cdots (2)$$

ここで、F1 の構成要素の一つである W は、縦シールドの場合、シールド機自重が地山側面には作用しないので省略できる。したがって、F1 の算定は砂質土の場合が $F1 = \mu \pi D_0 L P_m$ 、粘性土の場合は $F1 = C \pi D_0 L$ となる。この時 P_m は縦シールド機に作用する平均土圧である。

ここで、縦シールド機外殻に作用する水平方向土圧の算出にあたっては、静止土圧と、ランキン主動土圧の2通りの手法で算出することとし、静止土圧係数は Jaky 式 ($K_0 = 1 - \sin \phi$) により算出した。また、シールド機と掘削地盤との摩擦係数 μ は、吉田ら(1992)の現場実績データ者を参考として 0.6 とした。(図4)

各深度の推進地盤の物性値を用いて算出した掘進抵抗力 (F1) を本工事の掘進抵抗力深度方向分布図に重ねて図5に示す。同図から、摩擦係数 $\mu = 0.6$ 、と静止土圧を用いて算出した掘進抵抗力 (F1) が、本工事の掘進抵抗力の実績値の特徴をうまく説明できていることがわかる。

4. まとめ

掘進地盤の物性値を反映させることで、縦シールド掘進時の掘進抵抗力を評価できることを示した。ここで、摩擦成分を見積る際に用いるシールド機外殻に作用する水平土圧は、自立性の高い洪積地盤では静止土圧で評価できることを示した。今回、やや大き目の摩擦係数 $\mu = 0.6$ で実測値をうまく表せたのは、フード部刃先先端の貫入抵抗 (F2) を考慮していないためと考えられる。

なお、本検討に際して適切な助言を頂いた(社)日本トンネル技術協会「縦横連続シールド特別委員会」の方々に深く感謝いたします。

参考文献：横山ら(1998)、洪積地盤での縦シールド掘進時における立坑セグメントの周辺摩擦力について、土木学会第53回年次学術講演会、山田孝治 (1992)、泥水圧シールド掘進時の切羽土圧と周辺摩擦力について 土木学会論文集、第 445 号／Ⅲ-18

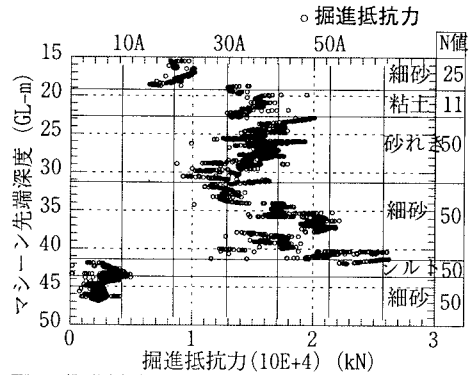


図-2 掘進抵抗力の深度方向分布図（第二・十二社）

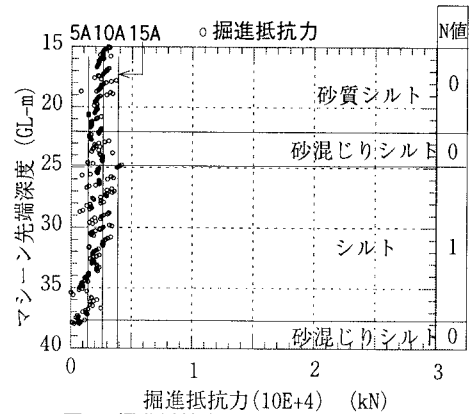


図-3 掘進抵抗力の深度方向分布図（花畑）

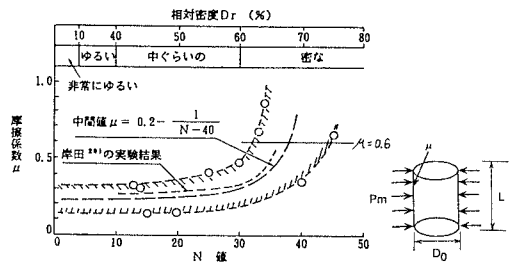


図-4 掘進地盤と摩擦係数の関係（吉田ら）

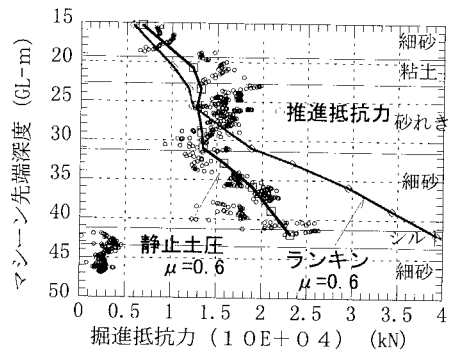


図-5 深度における推進抵抗力