

III-47

機械式シールドの掘削性能について（その1）

ーシールドの大断面化と掘進速度に関する考察ー

不動建設㈱

正会員 川瀬泰裕 新沼 裕

日本国土開発㈱

正会員 二宮康治 石田智朗

三井造船㈱

箱崎光政 江澤一明

1. はじめに

シールドトンネルの大断面化は、地下空間の有効利用技術として大きな期待が寄せられている。従来、シールド技術は主として経験、実績に依るところが大きく、大断面化は徐々に進められてきた。本文は「シールドの大断面化に伴い、シールド掘進速度はどうあるべきか」という課題について検討考察したのでその結果を報告するものである。

2. シールドの大断面化と掘進速度の現状

今までのシールドトンネルの実績は、機械式シールドでは直径11mが最大である。掘進速度 v については、図-1に示すように $v=3\sim5\text{cm}$ 程度に設定されるものが多いが、シールド径が大きくなると低下する傾向がうかがえる。こうした傾向をそのまま延長して、実績の範囲を越える大断面シールドの掘進速度を求めてよいかというと、必ずしも良いとは思われない。技術の問題に使われる支配法則は、その技術目的に対し準備されたものでありその成立には条件がつけられていたり、特殊な現象が実在するのに従来の経験の範囲では目だたなくて見過ごされている場合もないとはいえないからである。¹⁾

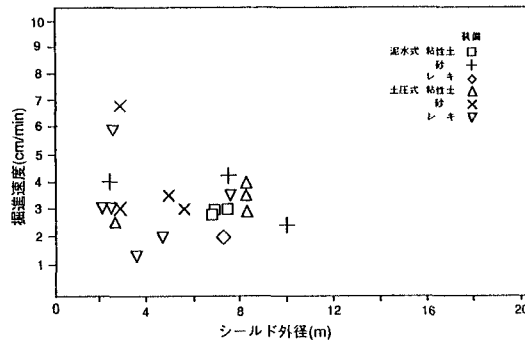


図-1 シールド径と掘進速度

掘進速度は掘削土砂運搬、処理能力とのバランスで決まることが多いが、ここではシールドカッターによって切削された切羽地山の挙動に着目し、シールド径と掘進速度の関係を検討した。

3. シールド施工時の切羽地山挙動

機械式シールドによりシールドトンネルを施工する時カッター面板には、カッタービット高さ相当の間隔が一時的に生じる。そのため特に対策をしない場合には、地山応力が変化し応力の再配分により、地山は破壊に至らないまでも、変形が生じ、図-2に示すようにシールド切羽面では地山の押し出し現象が発生する。こうした現象に対する手段として土圧工法、泥水工法等が用いられる場合が多い。

地山の押し出し現象は、地山の初期応力の解放によって生じるものであり、応力解放によって生じたゆるみ領域は切羽面を始発点として、時間の経過とともに次第に奥へと進行する。

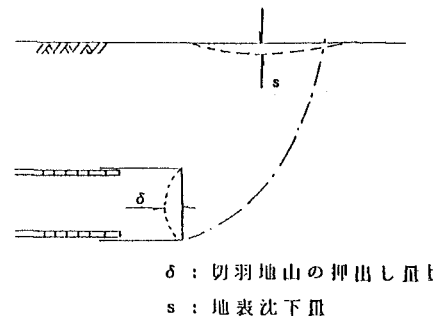


図-2 シールド施工時の地山挙動

従って地山押し量は時間とともに増大してゆく。ここで、シールドの掘進速度 v と、地山押し現象を考える。地山の押し速度を δ とすると

- ① $v > \delta$ の時、シールドの掘削能力は地山の押し変形量を上まわるので、シールドは掘進可能となる。
 - ② $v = \delta$ の時、シールドの掘削能力は地山の押し変形量と一致するので、シールドは押出てくる地山を掘削するだけで前進できない。
 - ③ $v < \delta$ の時、シールドの掘削能力は地山の押し変形量を下まわるので、シールドは地山の押し圧を受け、それがシールドの駆動力を上まわるとカッター回転不能、前進不能といった状況が予測される。
- 従って、シールドを順調に施工するためには、少なくとも切羽地山の押し速度を上まわる掘進速度が必要と考えられる。

4. シールド径と切羽地山の押し量

切羽地山の押し速度を適正に評価するためには、切羽面における応力状態（応力解放の程度）及び、地盤のレオロジー特性を考慮した高度な解析が必要となる。ここでは、シールド径と押し量との関連の1つの傾向をつかむため、地盤の変形速度は地盤の変形量に比例すると仮定して変形速度を変形量で評価することとした。図-3に土被 $H=20\text{m}$ の条件で弾性FEMにより求めた切羽最大水平変形量を計算しプロットした結果を示す。同一地盤条件を仮定すれば、例えば、シールド径 10m 時の変形量を1とすると、シールド径 20m では2.4となり、径の倍以上の量になることが判る。

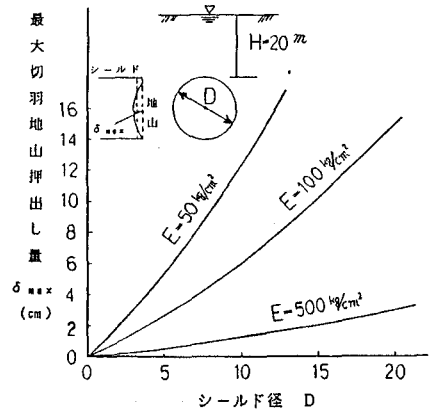


図-3 シールド径と切羽地山押し量

5. シールド径と必要とされるシールド機の掘進速度

共通の地山条件を前提にすれば、シールド径が大きくなるほど切羽地山の押し量は大きくなり、その押し速度も増加すると予想される。一方、シールド掘削のためには、シールド機の掘削能力として切羽地山の押し速度を上回る掘進速度が必要になるので、シールド径が大きくなるほど、また地盤が軟くなるほど高速掘削が必要となる。

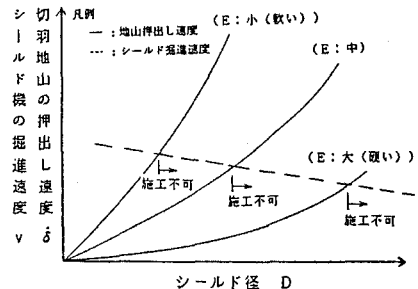


図-4 シールド径と地山押し速度、掘進速度

以上の概念を図-4に示した。実績的に、シールドの掘進速度 v は、 $v=3\sim 5\text{cm/min}$ で設計されることが多く、それを変えないで延長して、シールドの大断面化を図るならば、地盤の変形特性との関係から、施工可能なシールド径の限界が存在すると考えられる。

6. まとめ

シールド断面が大きくなると、それに伴って切羽押し量が増大と思われるので地盤条件によっては、現状の掘進速度を維持するだけでは、掘進能力が低下する可能性がある。今後更にシールドの大断面化を図る場合、切羽押し量を小さくする掘削機構及び高速掘進のための一層の技術開発が必要と思われる。なお、この検討は、地下総プロ「大深度、大断面シールドトンネルの設計・施工技術に関する研究」において、建設省土木研究所、(財)先端建設技術センターとの共同研究として実施した。

参考文献

- 1) 村山朗郎：「内挿と外挿」、建設の機械化、1978.4 P50～51