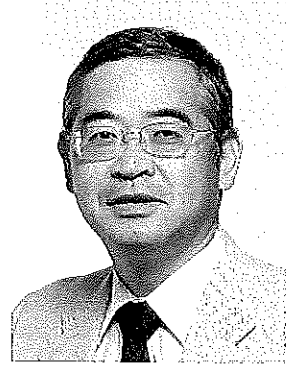


土圧式は掘削土砂の流動性保持

(財) 国土技術研究センター技術顧問

赤木 寛一



1818年フランス人技師ブルネルが考案したシールド工法は、当初、河底横断など特殊条件下のトンネル工法として技術が確立していった。日本でも同様に山岳トンネルの不良地山や海底トンネルの未固結地盤を対象として用いられた。その後1958年に名古屋地下鉄で初めて都市部の土砂地山のトンネルに適用されてから、都市トンネル工法として広く用いられるようになった。

支える技術

1970年代以降、わが国で泥水式シールド、土圧式シールドが

開発・実用化され、地山を安定して支持することが可能となり、切羽における緩みを抑制できるようになった。この密閉型シールドの技術を高め、支える技術も開発された。まず、ワイヤブラシと高粘性の油脂材料を組み合わせたテールシールドである。これによりテールシールドの耐久性を飛躍的に向上させ、高水圧に対しても十分な止水性が得られるようになった。また、裏込め注入材も2液型で瞬結あるいは急結性でゲル化した直後は可塑性を示すものが開発された。これにより、テールボイドを速やかにかつ十分に充填し、地盤変位を抑制することが可能になった。この結果、都市部での重要構造物との交差・近接施工が多いシールドトンネルでは、土圧式や泥水式シールドのように切羽が密閉されているシールド工法が多く採用されている。

土圧式シールド工法は、機械掘り式シールドのカッターチャンパー内に掘削土砂を充填することで切羽を安定させる工法である。土圧式シールドでは、切羽の土砂をそのままカッターチャンパー内に取り入れスクリューコンベヤーによって圧力調整をし、カッターチャンパー内の土砂と土圧をバランスさせて切羽の安定を図る場合と掘削土砂に水や泥水、添加材、気泡等を加え強制攪拌を行うことにより切羽の土砂を流動化させ、切羽土圧をよりよく伝達できるようにし、切羽の安定を図る場合がある。

具体的には、切羽の安定に必要な土圧を保持し、シールドの掘進量に合わせた土量を排出するためには、カッターチャンパー内に充填した掘削土砂が適切な流動性を保持するとともに、地下水の流入が生じないように止水性を高めることが必要である。

粘土、シルトから構成される土層ごとに対応

粘土、シルトから構成される土層では、カッターの切削作用により掘削土砂の流動性が発生し、保持される。また、切羽の安定は、泥土圧およびスクリューコンベヤーとその排土口に設置される排土機構の総合的な効果により保持することができる。粘着性が高い硬質粘性土では、掘削土の流動性が低下し、カッターチャンパー内やカッターヘッドに付着が起ることがあるので、適切な添加材を注入して流動性を確保するとともに付着防止を図る必要がある。

とともに、止水性を有する泥土に改良することが必要である。

4種類の添加材

添加材は、地山の土質および掘削土砂の搬出方式などに適したものを選定する必要がある。一般に用いられている添加材は大きく分けると4種類になる。これらは、おのおの単独で用いられる場合と組み合わせ用いられる場合がある。それぞれの材料の特徴は下記のように集約される。

① 鉱物系

掘削土砂を流動性と不透水性を有する良好な泥土とするために必要な土質材料を、粘土、ベントナイトなどを主材として補給するもので、最も使用実績が多く、幅広い土質に対応できる。しかし、他の添加材に比べて、作泥、貯泥タンクなどの大規模な施設が必要になる。

②界面活性剤系

特殊起泡剤と圧縮空気で作られた気泡材を注入するものである。掘削土砂の流動性や止水性を高めるばかりでなく、掘削土砂の付着を防止する効果がある。さらに、気泡が消泡することにより、掘削後の処理が容易になる。一方、掘削土砂をポンプ圧送する場合には、圧力変化により顕著な体積変化が発生して排土効率が低下することがあるので注意が必要である。この界面活性剤系添加材を利用した気泡材は、近年その基本的力学特性の解明を背景として、近年地盤掘削用安定液に応用されてその適用例が増えている。

事例が報告されている。

④水溶性高分子系

樹脂系と同様に高分子化合物から構成されていて懸濁液の粘性を増大させる効果があり、ポンプ圧送性に優れている。主原料の成分によって、セルロース系、アクリル系、多糖類系等がある。

都市部で泥水式

これに対して泥水式シールド工法は、水圧、土圧に対抗してチャンバー内に泥水を循環充填して加圧し、切羽の安定を図るものである。トンネル切羽の安定を図るためのカッターチャンバー内の泥水圧や泥水性状の管理は、土圧式シールドのカッターチャンバー内土圧に比べて比較的容易である。

③高吸水性樹脂系
自重の数百倍の水を吸収してゲル状態になるために、地下水による希釈劣化が少なく、高水圧地盤での噴発防止に大きな効果を持つ。しかし、二価の金属イオンを多量に含む地盤では吸水したゲルの離水現象が発生し、吸水性が著しく低下するので注意が必要である。この高吸水性樹脂系の添加材についても近年その適用範囲が広げられており、場所打ち杭の孔壁安定液として利用された

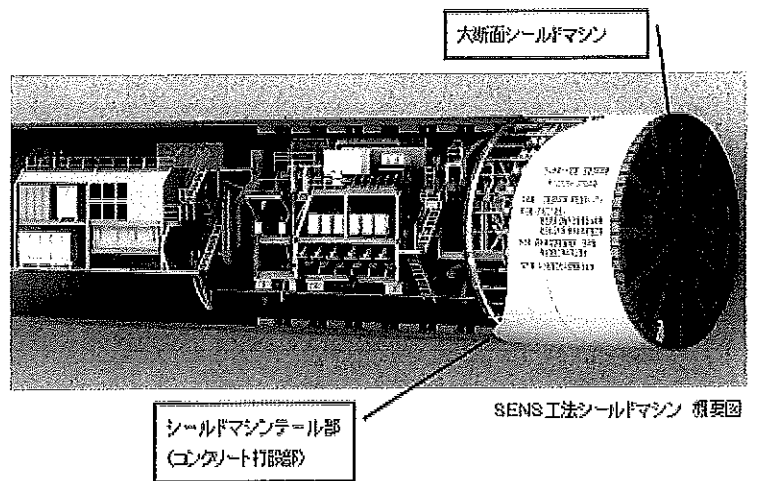
これら2つの工法は、開発時期の歴史的な経緯から泥水式シールド工法が都市部では先行的に適用されていた。しかしながら、泥水式シールド工法を適用するためには、大規模な泥水作成制御用プラントを準備する必要があることから用地調達、それに伴うコスト増が問題となっていた。その後、開発された土圧式シールド

ド工法の登場により、泥水式シールド工法にかわり公共事業コスト削減の流れの中でその適用例を増やしている。

SENSI法

しかし、最近では外環、中央新幹線等のビッグプロジェクトにおける大断面、大深度シールド工法にあたっては、再び切羽土圧制御の確実さを買われて泥水式シールド工法が採用されるようになってきている。

また、最近ではシールド工法に関連する新たなトンネル掘削工法として山岳トンネル工法の分野から、両工法の特徴を兼ね備えた工法としてSENS (Shield Extruded concrete lining and NATM System)工法が開発され適用されるようになってきた。この工法は、図に示すようにトンネル前方(掘削部分とその直後)が土圧式シールド工法で、後方(場



SENSI法シールドマシン 概要図

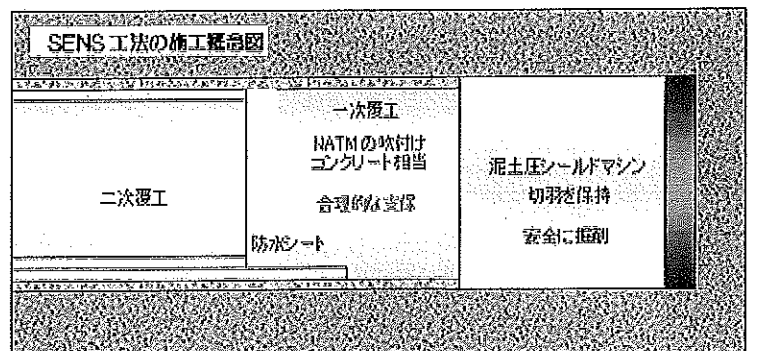


図 SENSI工法マシンと原理

所打ちコンクリートによる一次覆工)は山岳トンネル工法の考え方を採用した、まさに両工法の間接的工法と言える。

このようなシールドトンネル掘削にともなう排土に起因する発生土は建設副産物であり、建設リサイクル法に基づいて可能な限り資源として再利用を図る必要があるとともに、適正に処理・処分する必要がある。特に、前述の外環、中央新幹線等の大深度地層下の固結した地層に建設される

シールド工事では、自然由来のヒ素等の重金属系の有害物質が含まれることが予想されているので、その処理・処分にあたっては「土壌汚染対策法の一部を改正する法律」に基づいて管理する必要がある。これらの重金属系有害物質については、添加物として石膏を利用することによりその不溶化を図ることが期待されている。