

都市トンネルの機械化施工に関する調査研究

共同研究グループ代表者

神戸大学 桜井春輔

1. まえがき

NATMは、わが国の山岳トンネル掘削における標準工法として定着した。最近では各種の補助工法等の技術開発によりその適用の範囲を広げており、従来はシールド工法が採用されたような都市部の未固結地山のトンネルにもNATMが適用されるようになった。さきに提出した「都市トンネルへのNATMの適用に関する委員会」（土木学会関西支部）の報告書によれば、シールドはより堅い地盤に採用され、NATMはより軟弱な地盤に採用される傾向にあり、現在その両者の境界はあまり明瞭ではない。このことは、都市トンネルの掘削工法の選択において、シールド、NATMのいずれを選択するか、その判断が非常に困難になることを意味する。さらに都市トンネルにおいて、NATMで掘削したトンネルと、シールドで掘削したトンネルのドッキングする場合も生じるが、土圧等に対する考え方が基本的に異なるため、同じ地山に対して覆工の厚さが極端に異なるというような矛盾が生じることになる。この矛盾の解決には、シールドとNATMの中間的な考え方を採用するのも一つの方法であろう。また、これを施工システムの面から考えると、NATMの経済性とシールドの安全性という互いの長所を取り入れた、中間的な施工法の出現も望まれることになる。もちろんその場合施工環境等を考慮すると機械化施工が重要な課題となる。

2. 調査研究の目的

本調査研究の目的は、都市トンネルの機械化施工について、現在開発済み、あるいは開発中のシールド及びNATMの技術にとらわれることなく、もう一度トンネル力学の基本に立ち戻り、現在の土木施工技术を考慮して改めて考えて見ることにある。そして都市トンネルの機械化施工としてシールドでもなく、NATMでもない、第三の方法を模索しようとするものである。ここで対象とする地山は、地下水が無く（あっても低下させ得る）、切羽は補助工法を施工することによって、短時間なら自立可能なものである。

3. 機械化施工の現状

都市トンネルの機械化施工の現状を見ると、シールドは軟弱な地盤から堅い地盤まで複雑に変化する地盤に対応できるとともに、大断面掘削を可能にする等、その規模はますます大型化している。また急曲線シールド、マルチフェイス、ECL、自動制御、さらにずりのカプセル輸送等、社会のニーズに対応したシールド機械の技術開発は非常に活発である。しかし、それだけシールドは重装備化されてきている。

一方、NATMの機械化も進んでいる。たとえば、吹付コンクリートのリバウンドにより発生する問題を解決するため、一次覆工を場所打ちコンクリートにより施工するNTLの開発、新しいタイプのロックボルト、土砂地山の自立性向上や変形抑制を目指し従来の注入式フォアバイリングをより強力化した各種の先受け工法やプレライニング工法があり、最近では地山をあらかじめ補強し大型機械で掘削する各種のアンプレラ工法など、その技術開発は活発である。

しかし、ここで注目しなければならないことは、都市トンネルの技術開発はシールド及びNATMの技術者がそれぞれ別々に行っているということである。すなわち、シールドはシールド技術者によってますますその技術が深度化され、NATMはNATM技術者によって種々の技術開発が進められている。しかしそれらの基本は、それぞれシールド及びNATMの従来の考え方の延長線上にあり、シールド及びNATMのそれぞれの立場からの技術開発であると言える。このような状況において都市トンネルの機械化施工を、トンネル力学の立場から、もう一度改めて考えてみることも意義あることと思われる。

Shunsuke SAKURAI

4. 切羽周辺地山の安定性

シールドトンネルにおいて土被りの浅い場合、覆工には全土被り圧が作用すると考えている。一方、NATMの基本は土圧を支持するのは地山そのものであり、覆工は地山がその強度を発揮できるように地山を支持する、いわば二次的構造体である。本研究で対象とする地山の切羽は自立可能であるから、ここでは地山の強度をできるだけ発揮させるような掘削工法を考えることが必要となる。切羽形状と地山の安定性、さらに切羽ボルトの打設による地山の安定性の増加などについて、アルミ棒を用いた室内のモデル実験によって検討を加えた。その結果、切羽の形状を変化させることによって、地山の安定性が大きく影響を受けることが明らかになった。また、切羽にボルト等を打設することは切羽安定に非常に有利であり、従って機械化施工においてもこの考え方を具現化する方向で検討する必要がある。アルミ棒を用いた室内試験の結果の一例を図-1に示す。この図から切羽に水平にボルトを打設することによって、切羽周辺の地山の安定性が非常に向上することが分かる。

5. 施工システムの検討

都市トンネル工事の抱える問題点等の分析を元に、その解決策としての機械化施工による施工システムの検討をした。その基本としたのは、中装備、施工性、安全性、合理性、経済性、信頼性である。検討では、開発中を含めた機械化の現状と今後の動向を確認し、対象地域における地質等の基本条件を整理し、実施工への適用性を考慮して、システムの主な基本構成として以下の機構を考えた。

- ①先受け工による掘削前方地山の補強
- ②切羽ボルトの効果を応用した切羽周辺地山の安定
- ③機械設備走行のための安定した路盤の先行確保
- ④適切な自由断面掘削機と排土システムの組合せ

また、従来トンネルの機械化施工の開発では、導入機器、作業スペース、施工効率等を考えて全断面施工によるのが一般的であるが、トンネルの力学性状を考えれば、これは必ずしも合理的掘削方法とは言えない。そこで本システムでは、図-2に示すようなNATMで一般に用いられてきた加背割の考え方を、機械化施工に反映しようと考えた。もちろん加背割による機械化への制約はあるが、装備の工夫により地質条件等に応じて切羽を分割し、地山の変形を抑えながら施工が可能との結論を得た。以上の基本システムに加え、施工条件等に応じた追加・変更設備への対応も検討を行っている。

6. あとがき

今回提示する施工システムはその第1段階であり、細部についてグループとしてまだ未整理の点もあるが、今後ワークショップ等の場を通して広く皆様方の御意見、御批判をいただきながら、更に検討を加え、実用化に向けた研究を続けていきたいと考えている。

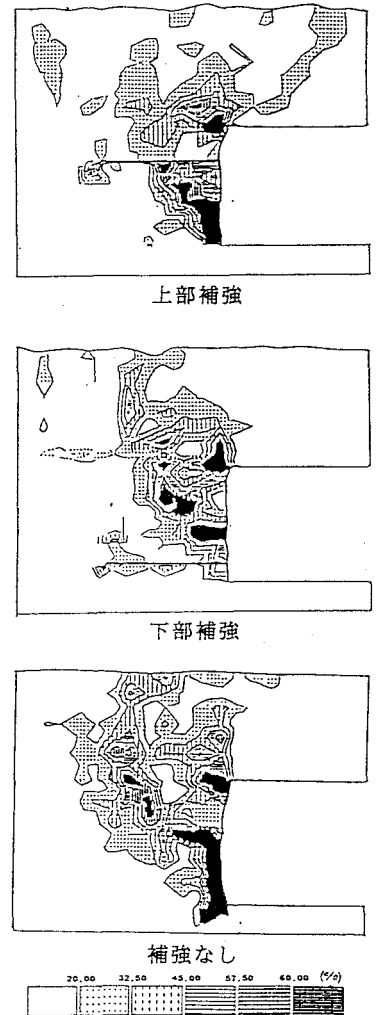


図-1 切羽周辺の最大せん断ひずみ分布図

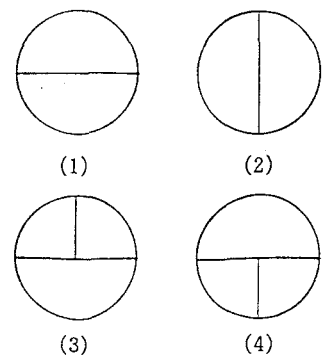


図-2 加背割パターン例