

## III-275 都市 NATM の概念と基本的な支保形態

東京都立大学 正会員 西村 和夫

## 1. はじめに

近年、ロックボルト・吹付けコンクリートトンネル工法が、市街地の土砂地山における土被りが薄く、地表面沈下や沈下勾配、地下水位などの施工条件が付加される都市トンネルにも積極的に導入されている。これらの都市トンネルは開削工法やシールド工法によって施工されていたが、ロックボルト・吹付け工法がシールド工法との工法比較の対象として十分認められ、これら両者の境界領域は大きく重複してきている。しかし、これらの多くの報文を見ていると、支保の考え方や評価、解釈に相違している部分がある。この原因としていわゆる都市”NATM”というものの概念の不明確さが挙げられよう。都市トンネルの施工条件には、山岳トンネルにおける土被りの薄い土砂地山の緩い条件のものから都心トンネルと言うべき厳しい条件のものまで含まれる。それらをいわゆる NATM で施工すると全て都市”NATM”と言う同じ表現になり、その結果としてそれぞれの条件下における支保の考え方やその挙動の解釈が、それぞれの固有の条件が十分に明示されないで結論付けられているように思われる。そのため、条件の違いによる支保の考え方や挙動の違いが根本的な相違に解釈され兼ねないし、また、誤った支保の考え方も一部にあるように思われる。

本文では、都市”NATM”の概念を考えるとともに、支保部材の持つ基礎的な作用効果から都市”NATM”の基本的な支保の形態について整理する。なお、ここでは対象を明確にするため、本来十分に吟味されなければならない補助工法、施工性、経済性を考慮していない。また、地下水は存在しないか何等かの対処がなされていて NATM が採用されるものとする。

## 2. 都市 NATM の概念と支保の考え方

従来の都市 NATM の概念は、市街地における土被りの薄い土砂地山でのロックボルト・吹付けコンクリートトンネル工法であると思われるが、この概念はその意図する領域を表すには漠然としている。土被りの薄い土砂地山は山岳 NATM においても遭遇するし、市街地とも言えども施工条件が緩やかであるならば山岳 NATM の考え方で十分に対処できると考えられるからである。したがって、都市 NATM を特徴づける概念は概括的に言うならば”市街地における土被りの薄い土砂地山”と言った自然条件ではなく”市街地における施工条件”と言う人為的なものであろう。施工条件の中の地表面沈下（勾配）をパラメータに都市”NATM”を概念的に条件が緩い場合と厳しい場合に大別して考える（図-1）。前者の場合、内空の変位を許容することから、基本的には山岳 NATM と類似の考え方ができ、グラウンドアーチを利用する低剛性支

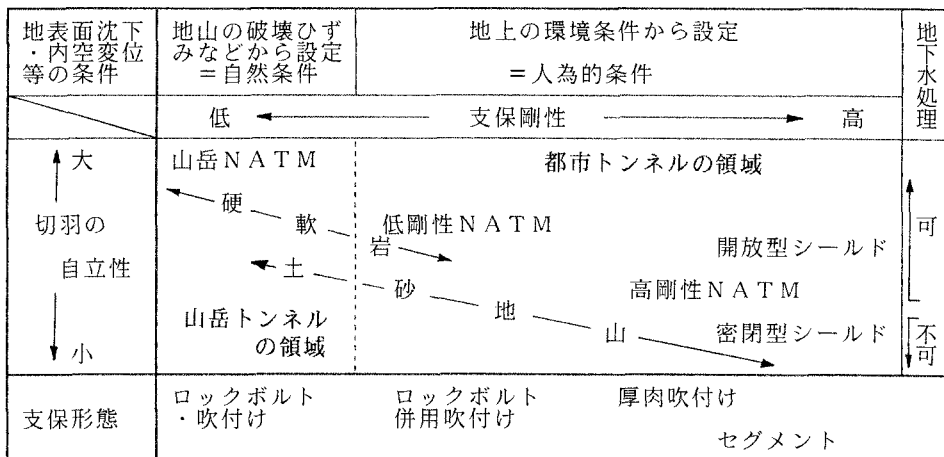


図-1

保の”NATM”と考えることができる。しかし、山岳NATMよりも許容される変形は小さく、したがって、支保剛性は相対的に高いものとしなければならない。後者の場合、変形条件は極めて厳しく、むしろ抑制しなければならない場合であり、支保剛性は早期に効果を示す高剛性支保の”NATM”でなければならない。この支保の考え方は本来のNATMとは相入れないものである。

これらの要求を満たす支保の構成を考える。初めに支保部材の基礎的な作用効果を整理する。ロックボルトは、変形に対して柔な表面保護工と組み合わせて相対変位を許容することにより、個々のロックボルトの荷重支持能力に応じた土圧を分担し、残りを再配分する。他方、吹付けコンクリートは地山密着性と早期閉合によって地山の力学的、物性的な安定を保つ。また、支保構造としての自由度に富み、ロックボルトと併用して薄肉構造とすることにより、柔な支保を形成することができる。このとき吹付けは地山に密着したロックボルトの大型ベアリングプレートとしての機能を合わせ持ち、グラウンドアーチの形成に寄与する。一方、厚肉構造とすることによって地山に密着して早期に施工された高剛性の支保を形成することができる。このとき、吹付けは軸力モデルとなる。ただし、いずれの場合も十分な早期強度を確保するべきである。鋼製支保工は地山や1次吹付けとの良好な接触が確保できるならば早期に安定した支持力が得られる支保工である。

これらの支保工の基礎的な作用効果を考えると、低剛性支保は山岳NATMの考え方で対処できるが、山岳NATMよりも剛性は相対的に高く、土被りが浅いからロックボルトは山岳のそれほどの意味を持たないことが分かる。また、荷重としてはグラウンドアーチの形成を考えるから緩み荷重を用いることができよう。

高剛性支保はその主体を鋼製支保工を含む厚肉吹付けとして変形を抑止しなければならない。このとき、グラウンドアーチは形成されず、また、ロックボルトもその作用効果を発揮する環境を奪われる。変形が抑止されるとロックボルトに軸力が生じるだけの地山との相対変位が生じない。仮に変位が生じたとしても高剛性の覆工と用いた場合、1枚と見なせる覆工の端部に打設されたロックボルトを除いて内部に打設されたロックボルトには軸力は生じないことが実験で確認されている。同じく、柔構造の支保の場合でも剛性の高い2次覆工を打設した後はロックボルトが継続して作用効果を発揮する環境を失う。都市トンネルでは構造計算した2次覆工を必ず打設するから低剛性支保の場合でもロックボルトは仮設材と考えることができる。

高剛性支保では吹付けコンクリートは鋼製支保工と一体となって、早期閉合の高剛性厚肉覆工を達成しなければならない。吹付けが十分な強度を発現し、鋼製支保工と一体となって挙動するのに2～3日かかるようでは早期閉合の利点が一部損なわれる。都市トンネルでは前述したように2次覆工を打設するから、吹付けの長期強度を犠牲にしても早期の強度発現とクリープの抑止が必要であると考えられる。荷重としては、変形が小さく、早期に閉合することから応力解放率を設定することで良いと考える。

早期に高剛性支保を設置できれば掘削後の変形は図-2に②線で示すように抑えることができるが、先行変位を掘削後の支保で抑えることは難しい。その結果、相対的に先行変位比率が大きくなり、天端上部の地山内で76%と言う報告もある。したがって、高剛性支保を施工するなら切羽前方の”事前支保”も重要な意味を持つ。先受け的な補助工法を用いないと高剛性支保の目的は減ぜられることになる。また、土砂地山の場合、分割掘削しなければならないが、応力の流れを考えると加背割りをできるだけ大きくするよう指摘している報文がある。地山の時間依存性を考えても切羽の自立を補助工法で確保できるならば加背割りを大きくして掘進速度を速めることが望ましい。

### 3. おわりに

都市NATMの概念と基本的な支保を考えてきたが、経済的、施工的な評価が当然なされなければならない。

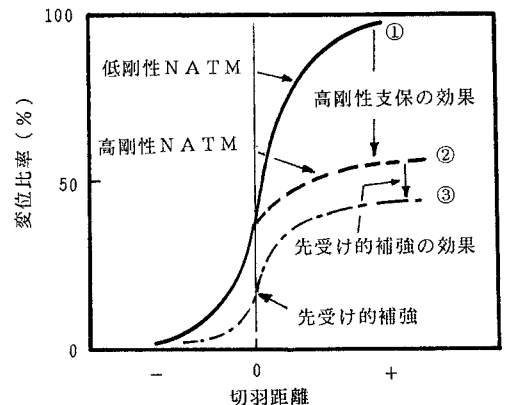


図-2