

30. 都市部の軟弱地盤における NATMについて

熊谷組 御手洗 良 夫

1. まえがき

我国に初めて新オーストリアトンネル工法（NATM）が導入されてから数年を経過したが、この間にいろいろな研究、実験が行なわれ、その結果施工上の工夫あるいは改良が加えられ、一層合理的の工法となり、今日ではNATMがトンネル工法の主流となる趨勢にある。

当初NATMは山岳トンネル工法として膨張性地山、軟岩、中硬岩へと適用され、すばらしい成果をあげ、相当悪い条件のもとでも安全性の高い施工が可能である事を実証してきたが、最近ではその適用範囲を都市部における軟弱地盤あるいは砂層へと拡げつつある。

本報文は、都市部における軟弱地盤へのNATM適用の一例として、日本住宅公団が多摩ニュータウン開発の一環として施工中の三沢川分水路整備工事（A-1工区）の尾根ルートにおけるNATMの施工実績をまとめたもので、NATM施工、切羽安定のための補助工法である垂直縫地工法、そして新しい吹付け工法（C&Vショットクリート工法）について述べるものである。

2. 工事概要

東京都稲城地区の多摩ニュータウンは、日本住宅公団により現在開発中であるが、その開発の一環として施工中の三沢川分水路整備工事（A-1工区）は三沢川本流の治水の安全度向上と多摩ニュータウン開発により増大する雨水対策のための放水路トンネル構築工事である。この工事のうち尾根幹ルート雨水管渠合流工は34mの本流部（84 m^2 ）と円型立坑より約30mの支流部（48 m^2 ）とが30度の角度をなしているY字合流部のトンネル部と深さ約15m径11.4mの円型立坑からなる工事である。



図-1

3. 地質

この地区は多摩川の右岸に沿って発達した多摩丘陵地にあたり、地形的には全体的にみて丘陵地であるが、局部的にはかつての武蔵野面あるいは多摩面に相当すると考えられる段丘面の形跡が認められる。施工箇所は稲城砂層からなる丘陵地の小さな谷部に位置しており、地質構成は地表から、表土（埋土）、沖積粘性土層、沖積礫層、稲城砂層となっている。

トンネルの切羽に出てくる地質はほとんど稲城砂層であり、トンネル天端より上部はN値が20以下、トンネル構築部はN値が30～50位となっている。

地下水はGL-1.4m付近にあり、施工箇所が沢となっている事を考えあわせると、施工時に相当

な湧水量がある事が懸念された。

4. NATM施工

吹付けコンクリートとロックボルトを主要な支保部材とするNATMはこれまでにいろいろな悪条件のもとで採用されその施工効果、安全性は十二分に実証されているが、本工事のように土被りが浅く地下水位の高い軟弱地盤に適用するにあたり、次のような解消すべき問題があった。

- (1) 土被りが約5mと薄く、かつ地質的にも表土、粘性土および細砂と非常に軟弱であるため地表面の沈下あるいは掘削時の切羽の不安定が懸念される。
- (2) 地下水位がGL-1.4mと高く、施工時の湧水あるいは砂層の粒度分布が悪いために流砂現象の発生が懸念される。

これらの問題を解消するために(1)については垂直縫地工法を、(2)についてはディープウェル工法を補助工法として採用した。又この区域は将来約13mの盛土を施す計画があり、盛土がトンネル構造物にあたる影響も考慮する必要があった。

4-1 トンネル部の施工

本流、支流、合流部の標準支保パターン図を図-2～図-4に示す。パターンロックボルトの打設は肩の部分約45°附近までしか行なわないが、それより上部は垂直縫地の中心に入っている鉄筋(φ32mm)を支保工に連結させ、掘削後はロックボルトとしての効果を発揮させる。

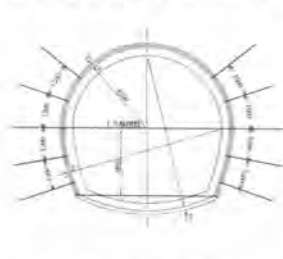


図-2 本流部標準支保パターン

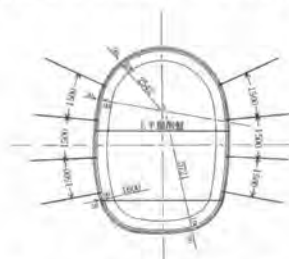


図-3 支流部標準支保パターン

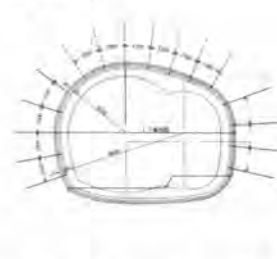


図-4 合流部標準支保パターン

掘削の順序は、(1)支流部上半 (2)本流部上半 (3)下半 (4)インバートの順に行なった。掘削は上半部では地山が軟弱であるため人力掘削でリングカットとし、ベルトコンベアでずり出しを行なった。下半掘削はロードヘッド(MRH-S45)により掘削しベルトコンベアで礪出しを行なった。掘削にあたり切羽の安定時間がどの程度であるかという事が重要であるが、一間ごとに切羽に出てくるように施工した垂直縫地が相当効果を発揮し、切羽の返りは皆無に近かった。垂直縫地の効果とは別に、更に切羽における作業の安全性を向上するためにエキスパンド矢板を製作し、天端近くの掘削面に掘削後直ちにセットした。



切羽状況

- 掘削後 (1)メタルラスの取付け (2)一次吹付け (3)支保工建込み (4)二次吹付け
(5)核(へそ)の掘削 (6)ロックボルトの打設

といった順序で施工した。合流部では最大約 15 m のスパンの切抜げを吹付けコンクリートとロックボルトだけで支保しながら施工したが、何の支障もなくスムーズな施工が可能であった。

4-2 立坑の施工

立坑は鋼製支保工を使わずに吹付けコンクリートとロックボルトだけで施工した。立坑本体掘削に先だち、掘削時の不測の事態に対処するために、円型立坑周辺に約 1.5 m ピッチで H-150×150 (L=17.1 m) を打ち込み掘削面の安定をはかった。杭打機 (30 ton クラス) に変速機を取付けアースオーガ (φ300) で削孔し、引上げながら貧配合のモルタルを填充し、H-150×150 を建込んだ。掘削は、一掘進を 1.5 m とし地表面よりバックホウ (0.4 m³ クラス) で掘削可能な深さ (約 5 m) まで掘り、それより下部はすでに到達している支流部にずりを落とし搬出した。地下水はディープウェルを行なっていたので水位は低下していたが、立坑の一部湧水箇所があり、初め吹付けコンクリートの作業は難渋した。しかし、湧水の集中排水あるいは壁面にモルタルを塗りつけ、迅やかに吹付けコンクリートを施す等の対処をして無事に施工を完了した。



立坑掘削

4-3 垂直縫地工法

垂直縫地工法はトンネル坑口附近やトンネル被りのうすい場所等地質的に悪条件の所での切羽安定のために、地表よりボーリングを行ない、そのボーリング孔に必要な応じた太さのボルトを挿入して、トンネルを掘削する事によって影響を受ける地山を、地表から事前に補強し一時的或いは最終的に地山の安定を保つ工法である。今回の工事では、トンネル被りが約 5 m と非常に浅く、又地質も表土、粘性土、細砂等軟弱であるため、掘削後吹付けコンクリートあるいはロックボルト施工までに地山の安定が保たれるかどうか懸念される。そのために事前に地表から垂直縫地工を行なうことになった。この地区は将来盛土を施す計画であるが、垂直縫地の鉄筋ボルトが盛土荷重を受けてトンネルライニングにアクティブに働く可能性があるため、ボルトは 2 本を途中でカップラーで接合し、工事終了後上部のボルトは撤去可能な工夫をした。施工手順は、

(1) 削孔は φ300 のトラック型式のアースオーガーによって行ない、傾斜を 5°~7° にしてセットした。

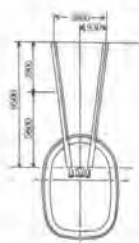
(2) 削孔後アースオーガーの中空孔を通して発泡モルタル ($\sigma_{28} = 15 \text{ kg/cm}^2$) を注入しながらオーガーを引抜き所定の高さまでモルタルを注入する。

(3) φ32 のボルト (ネジコレ) 2 本継ぎを孔の中心部に挿入する。

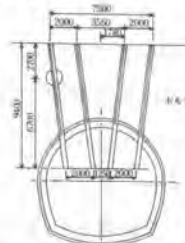
(4) ボルト挿入後、モルタルの上部の孔は山砂で埋め戻す。



垂直縫地施工状況



図一五 本流部垂直縫地配置図



図一六 支流部垂直縫地配置図

5. C & Vショットクリート工法

NA TMの普及に伴い吹付けコンクリートの施工が増えて来、非常に良い成果をあげているが、吹付けコンクリートは粉塵が多く作業環境を悪化させるといった難点がある。この粉塵の問題と吹付けコンクリートの品質管理を改善すべく開発されたのがC & Vショットクリート工法（CはClean, VはViscous（粘り気のある））である。当現場においてC & Vショットクリート工法の試験施工を行なった。図-7に吹付けコンクリートの系統図を示す。この図からわかるようにC & Vショットクリート工法は従来の吹付けシステムにポリエチレンオキサイドである『CAVE』の水溶液を添加する所が違う所である。

吹付けコンクリート材料の計量はコンクリートモービル（CM-250型）を、吹付け機はセミ湿式コンクリート吹付け機（アリアバー260型）を使用した。表-1に吹付けコンクリートの標準配合を示す。

普通の吹付けコンクリートとC & Vショットクリート工法との比較のために粉塵量測定、はね返り量測定、一軸圧縮強度試験を行なった。それらの結果を表-2～表-4に示す。室内試験および現場試験の結果をまとめると、C & Vショットクリート工法は次の様な特徴を有する。

- (1) 従来の吹付けに較べて、粉塵量は $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$ に減少し、はね返り量も少なくなる。
- (2) 今までの吹付け装置をそのまま使用できる。
- (3) 分離、ブリージングの少ない高品質の吹付けコンクリート施工が可能で、品質管理が良くなる。
- (4) 「CAVE」の混入による吹付けコンクリートの強度低下はない。

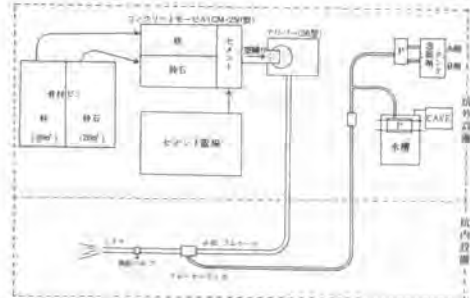


図-7 吹付けコンクリート系統図

表-1 吹付けコンクリート標準配合

セメント C (kg)	砂 S (kg)	砂用 G (kg)	水 W (kg)	W/C	S/A	スランプ (cm)	最終 C 14%	最大寸法
360	1050	879	151	4.2	5.5	5~8	14.4	15

表-2 粉塵量測定結果

種類 項目	PEO混入 コンクリート			普通 コンクリート
	20 cps	40 cps	60 cps	
カウント数	524	368	177	1439
粉じん量 kg/m ³	15.7	11.0	5.5	47.1

表-3 はね返り量測定結果

種類 項目	PEO混入 コンクリート			普通 コンクリート
	20 cps	40 cps	60 cps	
吹付け量 (m ³)	5.75	5.67	5.93	4.05
はね返り (%)	25	23	31	35

表-4 一軸圧縮強度試験結果

種類 項目	PEO混入 コンクリート			普通 コンクリート
	20 cps	40 cps	60 cps	
7日強度 kg/cm ²	231	247	211	198
28日強度 kg/cm ²	266	278	252	243

6. あとがき

都市部での土被りが浅く軟弱地盤のうえに地下水位が高いといった悪条件のもとで、NA TMは十二分にその効果を発揮し、成功をおさめた。この成功はNA TMの合理的施工性もさることながら、ディープウェル工による地下水の処理と切羽安定のための垂直縫地工とに因る所が大である。又新しく開発したC & Vショットクリート工法を採用し作業環境改善に大いに効果をあげた。本工事では、いくつか新しい試みが行なわれ、都市部の軟弱地盤へのNA TMは安全性の高い施工が出来ることが実証されたとともに今後の都市部でのNA TMの可能性を大いに拓けたといえる。