

仙台地下鉄東西線 NATM トンネル（青葉山トンネル）の設計

鉄道建設・運輸施設整備支援機構	東京支社	正会員	○加藤 学
鉄道建設・運輸施設整備支援機構	東京支社		鴨川悦夫

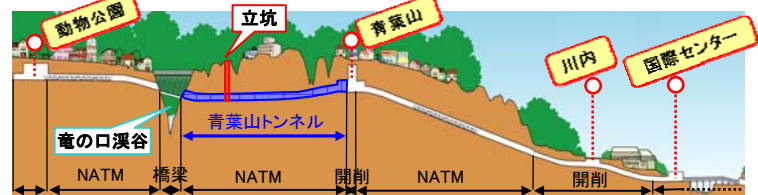
1. はじめに

仙台市高速鉄道東西線（以下、仙台東西線）は、市の南西部から都心を経て東部とを結ぶ延長約14.4kmの路線である。仙台市は、南北線に続く2本目の地下鉄として、平成27年度の開業を目指し整備を進めている。また、市域の地形や市街地通過を考慮し、鉄輪式のリニア地下鉄方式を採用している。

このうち起点方 4.3km の動物公園駅～国際センター駅始端間を平成 17 年 11 月に鉄道・運輸機構が工事受託している。(図－1 および図－2)



図-1 仙台東西線路線図



図一 2 縦断面図

本稿では、周辺に天然記念物に指定されている地域や市の条例により環境保全区域に指定されている地域で施工する NATM トンネル（青葉山トンネル）の設計について報告する。設計に際しては、環境に配慮し、トンネル完成後の地下水への影響を抑制するため全周防水型としており、二次覆工の設計では、地下水圧や都市計画にあわせた建物荷重等を考慮した。また、一次支保についても、在来線複線断面より小さいリニア断面に合った、本トンネル独自の一次支保パターンを設定した。

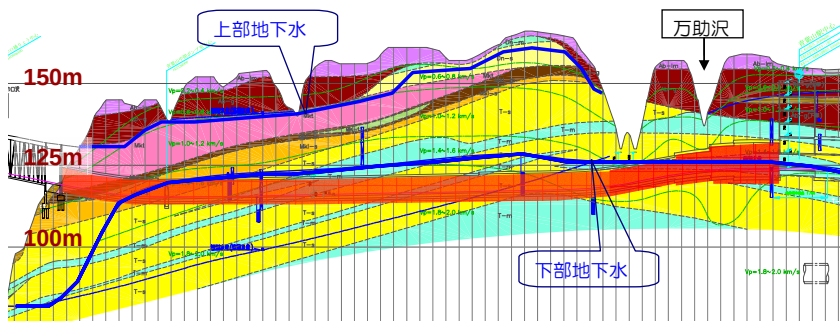
2. 地質の概要

仙台東西線は、段丘（丘陵地）面上から沖積低地にかけて位置している。この段丘を構成する地質は、第四紀更新世の堆積物であり、この下位には新第三紀鮮新世が分布する。

地質は、上位から青葉山層、向山層、竜の口層から構成されている。

青葉山層は、第四紀更新世の砂礫および火山灰からなる地層でN値 10 程度である。向山層は、新第三紀の凝灰岩からなる地層で全体的にN値 50 以上を示す軟岩部で固結度は高い。しかし、層境や谷部付近では、風化に伴い固結度およびN値は低下する。竜の口層は、向山層と同様に新第三紀の砂質シルト岩およびシルト質砂岩からなる地層で、N値 50 以上を示す軟岩であり、固結度も高い地層である。

地下水位は、地表に近い青葉山層と竜の口層に分かれて存在する。



図一 3 地質縦断図

地質時代	地層名	記号	土質
第四紀	青葉山層	Ab	ローム・砂礫混じり粘土
		Ab-g	砂礫・粘土質砂礫
新第三紀	向山層	Mkt	軽石凝灰岩・凝灰質砂岩
		Mkl-m	泥岩・凝灰質シルト岩
		Mkl-s	凝灰質砂岩・砂岩・礫岩
	竜の口層	T-s	砂岩・シルト質砂岩
		T-m	シルト岩・泥岩・砂質シルト岩

キーワード : NATMトンネル・一次支保・二次覆工

住所：〒105-0011 東京都港区芝公園 2-11-1

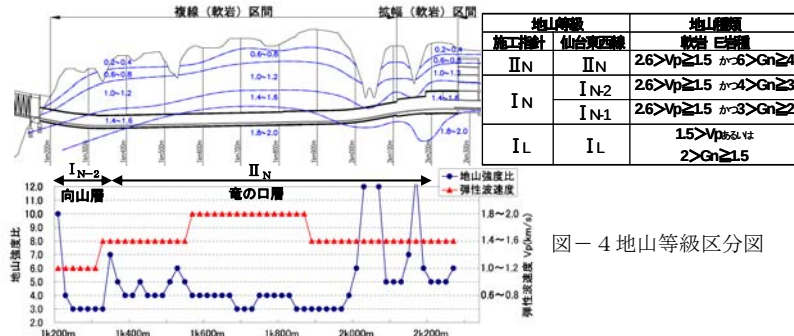
TEL : 03-5403-8745 FAX : 03-5403-8773

3. 青葉山トンネルの設計

3-1. 一次支保の検討

(1) 地山区分

地山評価は、弾性波速度および地山強度比により NATM 設計施工指針（平成 8 年 2 月：日本鉄道建設公団）（以下、施工指針）を基本として行った。当該トンネルの位置する青葉山地区の向山層では、地山強度比が 3 程度であり、従来の I_N の地山強度比(G_n)の範囲 $4 > G_n \geq 2$ の中間に位置すること、また、 I_N と II_N の支保の差が大きいことから、 I_N を二つに分割して、より地山特性に応じた地山等級を設定した。



図－4 地山等級区分図

(2) 標準支保パターンを設定

仙台東西線の標準内空断面は、約 40 m² と比較的小さい。一方、在来線複線内空断面積が約 53 m²、在来線単線内空断面積は約 24 m² であることから、これらを参考にして、本トンネルの地山特性に応じた独自の支保パターンを設定した。また、 I_N パターンを二つに分割し、従来型の II_N パターンと I_N パターンの中間的な I_{N-2} パターンを設定することによって、現場での判断への支援とともに、コスト縮減に寄与することとした。駅部大断面については、現在 FEM 解析なども行い検討を進めている。

3-3. 二次覆工の検討

仙台東西線の NATM トンネルは、環境に配慮し、トンネル完成後の地下水への影響を抑制するため全周防水型としていることから、二次覆工の設計にあたっては、適切な水圧の想定や上載荷重を土地利用に合わせて設定した。設計手法は、「鉄道構造物等設計標準・同解説 都市部山岳工法トンネル編」を基本に設計を行った。考慮した荷重は、自重、水圧、近接荷重などである。土圧は、一般的に掘削後の内空変位が収束してから二次覆工を打設するのが原則なので考慮していない。しかし、低土被り区間や上部除荷区間（一部の都市計画道路直下区間）では考慮することとした。本トンネルの地下水位は、上下の地下水位の中間部の向山層中に難透水層があり、地下水が連続していない。また、下部の地下水位は、降雨による影響はほとんど無く、一年通してほぼ一定していることや地形から考えても、地下水位は、万助沢と竜の口溪谷の河床間にあると考えられた。これらの検討結果から、設計地下水位は、将来地下水が回復することを考慮し、最大でもトンネル天端＋5 m とした。また、将来土地利用状況の変更を想定し、沿道建物荷重、区分地上権設定荷重および路面交通荷重を考慮した。

4. おわりに

今後の青葉山トンネルの掘削においては、掘削状況や計測により、設定した支保パターンの検証などを行いながら、所定工期内の完成および安全確実な施工を行っていききたい。

表 1 在来線 複線内標準支保パターン (約 53 m²)

地山等級	支保パターン	掘削1間	吹付けコンクリート		鋼製支保工		ロックボルト	
			上・下半部	インバート	上・下半部	インバート	長さ	本数
II_N	II_N	1.5m	100mm	—	—	—	7ーチ 3m	8本
I_N	I_N	1.0m	150mm	—	125H	—	3m	12本
I_L	I_L	1.0m	200mm	—	125H	—	3m	10本



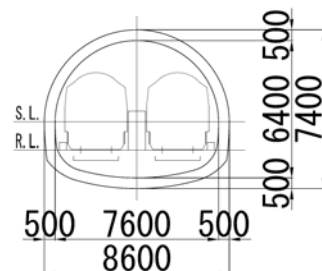
表 2 仙台東西線 複線内標準支保パターン (約 40 m²)

地山等級	支保パターン	掘削1間	吹付けコンクリート		鋼製支保工		ロックボルト	
			上・下半部	インバート	上・下半部	インバート	長さ	本数
II_N	II_N	1.5m	100mm	—	—	—	7ーチ 3m	8本
I_{N-2}	I_{N-2}	1.2m	125mm	—	上半のみ 125H	—	3m	8本
I_{N-1}	I_{N-1}	1.0m	125mm	—	125H	—	3m	10本
I_L	I_L	1.0m	150mm	—	125H	—	3m	8本



表 3 在来線 単線内標準支保パターン (約 24 m²)

地山等級	支保パターン	掘削1間	吹付けコンクリート		鋼製支保工		ロックボルト	
			上・下半部	インバート	上・下半部	インバート	長さ	本数
II_N	II_N	1.5m	100mm	—	—	—	7ーチ 2m	6本
I_N	I_N	1.0m	100mm	—	100H	—	3m	10本
I_L	I_L	1.0m	150mm	—	100H	—	3m	8本



掘削断面積	52.4m ²
覆工・インバート厚	50cm
主鉄筋	D19@250

図－4 設計断面図（直線標準断面）