

仙台市高速鉄道東西線の概要

Overview of Sendai City Rapid Transit East-West Line

森 研一郎・齊藤 豪

Kenichirou MORI・Gou SAITOU

In order to deal with traffic problems that were emerging with rapidly increasing car traffic, Sendai City began operating the Sendai City Rapid Transit North-South Line in 1987. In addition to that, the East-West Subway Line, as transportation axes of the East and West side of Sendai, has been developed to help the city shift to a function-aggregated oriented urban structure. The city deliberated on a selection of train models, linear planning, and execution plans to create underground space for subway lines in urban areas developed on terraced landscape. Based on the deliberation, this article reports the current state of our works towards creating underground space

Keyword Subway Transportation axes East-West Subway Line underground space

1. はじめに

仙台は1600年に藩祖伊達正宗が開府して以来、東北地方の中核都市として、現在、102万人の人口を数え、郊外のみならず街の中にも緑を多く感じさせる景観から、「杜の都」とうたわれる日本有数の都市である。国内他都市と同様、仙台市においても、急速な人口増加や経済成長などを背景として、市街地が外延的に拡大し続けてきたが、人口減少や環境・財政の制約の強まりなどの時代背景の下で、都市が持続的发展を続けるためには、都市構造の大きな転換が求められている。このような課題に対し、仙台市では、公共交通軸を中心に、機能集約型の都市へ転換する方針を掲げている。

仙台市では1987年に南北方向の交通渋滞緩和対策として高速鉄道南北線を開業した。現在、この南北線に加えて、東西方向の公共交通軸として新たに高速鉄道東西線を建設中である。本論文では、発達した市街地に地下鉄道の空間を形成するため、機種を選定・線形計画・施工計画などの検討をもとに、地下空間形成の実際について報告する。

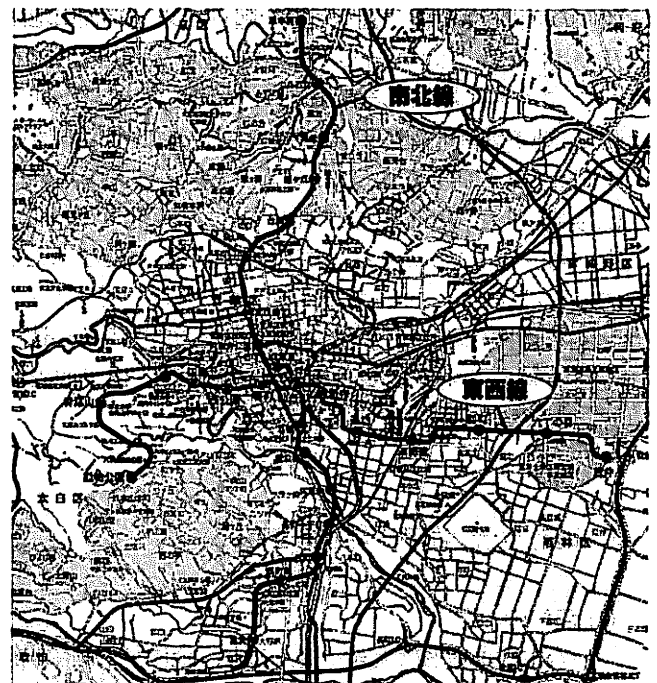


図-1 仙台市地下鉄路線図

和文キーワード 地下鉄 公共交通軸 東西線 地下空間

¹非会員 仙台市交通局東西線建設本部建設部建設課長

²正会員 仙台市交通局東西線建設本部建設部建設課

2. 仙台市の交通計画における高速鉄道東西線建設計画

仙台市は、東北地方の中核都市として、商業業務機能を始めとしたさまざまな都市機能の集積と伴に、人々の日常的な交流が活発化している。また、郊外部での住宅地開発などによる急激な市街地の外延的拡大や、東部の流通業務地域整備による就業地の分散化・多核化などにより、郊外部と都心を結ぶ交通需要が大きく増加してきた。これまで仙台市では、高速鉄道南北線（地下鉄南北線）を整備するなどにより、増大する南北方向の交通需要への対応を図ってきたが、依然として市の南西部や南東部を中心に鉄道利用の空白域が残っている。こうした地域では、自動車利用の割合が大きく、都市計画道路など都市基盤の整備や維持更新の負担が大きくなってきているほか、排出ガスといった環境負荷の問題など、さまざまな都市交通に起因する問題が深刻化している。このような都市づくりの課題に対して本市では、自動車交通に過度に依存しない総合的な交通体系を構築するため、地下鉄やＪＲ線などの軌道系交通機関を都市交通の主役に据え、市街地をその沿線にコンパクトに誘導していくという機能集約型都市への転換を目指すこととした。

暮らしやすく動きやすい新しいまちづくりを実現するうえで質の高い交通環境の整備は不可欠であり、地下鉄南北線と一体となって骨格交通軸を形成する鉄道路線として、東西線の整備は本市の最重要プロジェクトと位置付けられている。

3. 東西線路線の概要

東西線は、南西部の動物公園付近から青葉山、さらには都心部、東部の流通業務地区を経て、新市街地整備を予定している東部道路仙台東インターチェンジ付近の荒井地区に至る約 14kmの路線であり、広瀬川や竜の口溪谷の横断部分を除き地下トンネル方式としている。このうち仙台駅から西側の区間は、動物公園駅付近を起点として、青葉山地区及び川内の東北大学キャンパス内を通り、広瀬川を横断した後、市の中心部である西公園、一番町を経由して、仙台駅で、地下鉄南北線やＪＲ線と交差する。また、仙台駅から東側は、既存の住宅地が広がる新寺、連坊、薬師堂を経由し、餌町地区や東部流通業務地区を経て、東部道路の仙台東インターチェンジがある荒井地区に至るルートとなる。さらに、このようなルート設定とあわせ、地域生活拠点へのアクセス利便性の確保はもちろん、軌道系交通機関の持つ速達性や効率性を損なうことのないよう十分配慮し、13 の駅を設定している。計画概要を表-1に示す。

4. 東西線の路線計画と機種の選定

(1) 路線の地形

仙台市域の地形は大きく捉えると、全体が東側に傾斜する地形であり、市域の西側から丘陵部、台地部、低地部に分かれる。中心市街地の西側を広瀬川が蛇行しながら北西から南東方向に流れ、その西側には標高 100m～200m の青葉山丘陵が広がっている。中心市街地は広瀬川などによる河岸段丘が分布する台地で、標高 30m～100m の範囲にわたって、大きく 4 つの段丘が見られる。

表-1 仙台市高速鉄道東西線 計画概要

項 目		計 画 概 要
路 線	建設区間	動物公園駅 ～ 荒井駅間
	営業キロ	13.9 km
	建設キロ	14.4 km
線 路 規 格	軌 間	1,435 mm
	軌 条	50 N
	最小曲線半径	105 m (本線)
	最急勾配	5.7 ‰ (本線)
	電気方式	直流 1,500 V (架空単線式)
車 両		リニアモーター駆動車両
運 転	編成車両数	開業当初 4 両編成 将来 5 両編成
	運転方式	ワンマン運転方式 (ATO)
	運転時隔	開業ピーク時 4 両：3 分 45 秒
建 設	建設費	約 2,735 億円 (190 億円 / km)
	工法・構造	地下部：開削工法、シールド工法、NATM 地上部：橋梁
	事業期間	平成 15 年度～平成 26 年度
	開業予定	平成 27 年度
施 設	駅 (仮称)	13 駅 (動物公園・青葉山・川内・ 国際センター・西公園・一番町・ 仙台・新寺・連坊・薬師堂・餌町・ 六丁の目・荒井)
	車庫	荒井車庫 約 6.5 ha (地上式)
	変電所	3 箇所 (青葉山・新寺・餌町)
信号保安設備		自動列車制御装置 (ATC)

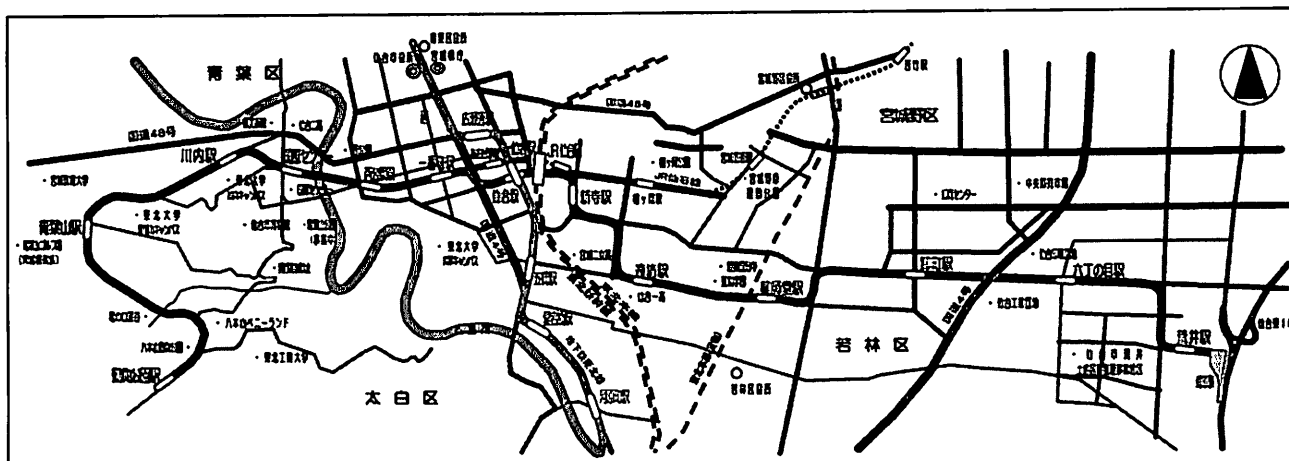


図-2 東西線路線図

中心市街地の東部は宮城野原平野と呼ばれる沖積低地であり、その標高は20m未満である。

路線に沿って地形を見ていくと、起点の動物公園駅から竜の口橋梁までは八木山と呼ばれ、竜の口橋りょうから川内駅付近までは、青葉山と呼ばれる、いずれも標高約130m～150mの青葉山丘陵の一部である。二つの地域は、広瀬川に争奪された際の河床高さの急激な低下から形成された、比高約70mの竜の口溪谷と呼ばれる、著しい谷地形により分断されている。

川内駅付近から連坊駅付近までは台地部に位置し、標高約30m～40mの間に、広瀬川によって形成された仙台上町段丘、仙台中町段丘、仙台下町段丘の3つの段丘を見ることができる。丘陵部と台地部は段丘崖により明確に分かれ、丘陵部と台地部の間にある約100mの比高とこの間の地形の急峻さが路線計画や機種選定の大きな要因となっている。

連坊駅付近から荒井駅付近までは宮城野原平野の中央部に位置し、標高約15m～5mの平坦な地形である。

(2) 路線の土地利用

路線の土地利用状況を見ると、起点の動物公園駅付近は八木山動物公園などのレジャー施設が整備されているが、駅の南西側は高度成長期に開発された住宅地が広がっており、その広がりにはさらに南西方向へ続いている。青葉山丘陵の地域は、天然記念物である青葉山を中心として、戦前まで仙台藩や陸軍の管轄下であり、開発が行われなかったことから自然環境が残り、市においても条例により環境保全区域に指定している地域である。市街地としての土地利用としては、小規模開発住宅地のほかには東北大学のキャンパスが整備されているのみである。

広瀬川から仙台駅付近までの区域は戦災復興の区画整理事業などにより整備された仙台市の中心市街地であり、土地の高度利用が進んでいる。

仙台駅から薬師堂駅にかけては、戦災を受けなかった戦前からの住宅地が広がっており、都市計画道路の整備も遅れているため、都市内交通におけるボトルネックとなっている地域である。薬師堂駅以東は、東部流通業務地区や近年開発された住宅地が連続している。

(3) 路線計画における基本的な考え方

a) 路線設定における具体的な条件

路線設定の具体的な条件を列記すると次のとおりである。

- ・ 利用者への利便性の提供
- ・ 建設費の縮減及び事業採算性の確保が可能であること
- ・ 他の交通機関との乗り継ぎ利便性の確保が可能であること
- ・ 既存鉄道との利用圏域の重複を避け、より多くの市民に鉄道サービスを供給できること
- ・ 将来の土地利用や街づくりの方向性との整合が図れること
- ・ 都市鉄道として一定の表定速度の確保が可能であること

b) 導入空間に対する考え方

路線を地形や土地利用の違いから二つの区間に分けて整理すると、比較的的自然環境が残り、市街地が連続していない

八木山から都心部に至る区間は、青葉山周辺の自然環境及び青葉通の景観への影響を最小限に抑えることや、高低差のある地形的な制約への対応などから、竜の口溪谷や広瀬川での渡河部を除き地下方式を基本とすることとした。また、都心部から東側においても、東北新幹線を含むJR線との交差方法や、地上に敷設した場合、都市計画道路などの車線数が減少することによる交通容量の問題、密集市街地での日照権の問題などから、地下方式が望ましいと判断した。

c) 駅の位置の設定

東西線は、地域生活拠点や活動拠点などを結び、東西の都市骨格軸を支えるものであることから、駅位置の設定に当たっては、それぞれの地域や拠点へのアクセス利便性の確保はもちろんのこと、路線の速達性などを損なうことのないよう十分配慮する必要があることなどを踏まえ、特に以下の要因に配慮し設定した。

- ・ 利便性の高い駅施設配置のための導入空間が確保できること
- ・ 駅間隔は徒歩及び二輪車の利用圏域の駅相互の重なりや、表定速度の向上を考慮し、約 1km 程度を基本とする。
- ・ 他の交通機関との連絡が円滑に可能であること
- ・ 沿線の街づくりの誘導が図られること
- ・ 公共施設や集客性の高い商業・業務施設等に近接し、高い利便性が確保できること
- ・ 既存のバス路線の再編成が容易に行えること
- ・ 駅は島式ホームでの監視カメラによる視認性を確保することから直線区間に設定すること

(4) 路線計画に基づく機種選定

都市の骨格交通軸としての役割を担う東西線においては、骨格交通軸としての一定の輸送力が求められる。さらに、交通機関としての利便性を確保するとの観点から、一定以上の速度を有することも重要な条件となり、東西線においては表定速度の目標を 30 km/h 以上としている。

また、機種は設定した路線計画に適応しなければならないことから、丘陵部にかかる急勾配区間を安全に走行可能であることや、都心部の急曲線区間を安定して走行可能であることも条件となった。このような機種の性能にかかわる条件は、公共事業として整備する公共交通機関では、信頼性を確保することが重要であり、選定に当たっては、国内で営業運転の実績があり、または、導入計画が具体化している機種であることを選定の基本に置くこととした。

機種検討に当たっては、「東西線機種検討委員会(座長：稲村肇 東北大学教授)」を設置し、「運行の信頼性(輸送力・登坂力・表定速度など)」、「快適性(車内騒音・乗り心地など)」、「環境への影響(車外騒音・振動など)」、「経済性(建設費・事業収支・自動化・省力化など)」などの項目について総合的に評価した結果、東西線への導入機種としては、リニアモーター鉄道の優位性が示されたとの検討結果となった。リニアモーター地下鉄は平成 2 年に大阪市交通局鶴見緑地線(現：長堀鶴見緑地線)において初めて採用され、現在は東京・神戸・福岡・横浜の各都市で運行されている。

5. 地下導入空間計画におけるコントロールポイント

(1) 利用者の利便性にかかる条件

地下鉄整備においては利用者の利便性を確保することが重要な条件となる。既に、先行路線として南北線が整備されていることを踏まえ、南北線での乗車習慣から大きく逸脱しないことが求められる。このため、南北線と同様、全駅のホームを島式に統一するための平面線形の採用を前提とした。また、利用者の上下移動の負荷を極力減らすために、駅はできる限り浅い位置に設けることを基本とした。

(2) 道路下における空間利用

市の中心部においては「道路地下空間利用計画」が策定され、道路地下を利用する公共施設ごとのゾーニングの調整が図られている。地下鉄の導入空間は駅においては土被り 5m 以深、駅間部のトンネルにおいては土被り 10m 以深されており、東西線の路線計画においてもこのゾーニングによることとした。

(3) 駅間ごとのコントロールポイントの事例

既存の都市施設などが、平面線形及び縦断線形のコントロールポイントとなった事例をいくつか報告する。

a) 都市計画道路との競合（動物公園駅・青葉山駅間及び青葉山駅・川内駅間）

この区間では市が将来施行する都市計画道路川内旗立線と、東西線とが競合する。まず、動物公園駅と青葉山駅間では、橋りょうで渡河する竜の口溪谷を含む地域が、条例により特別環境保全区域に指定されていることから、都市計画道路と地下鉄の橋りょうをそれぞれに建設するのではなく、道路・鉄道併用橋とすることにより、森林の改変面積を減らすこととした。このため、平面・縦断線形について、道路と地下鉄間で調整が必要となった。

さらに、青葉山・川内駅間でも都市計画道路と地下鉄のそれぞれのトンネル計画が競合している。川内駅は青葉山駅に至る 57‰の最急勾配区間の基点であり、できる限り浅くすることが必要とされたが、道路トンネルが地下鉄トンネルの上部に計画されており、将来の道路トンネル工事を考慮したトンネル構造とすることとで、ほぼ離隔のない位置関係に計画することができた。

b) 既存鉄道やライフライントンネルとの交差（仙台駅・新寺駅間）

仙台駅・新寺駅間は市の中心部であり、地下鉄南北線仙台駅(地下3層)・J R東北新幹線仙台駅(高架橋)・東北本線仙台駅(地上線)・仙石線(地下1層)という4本の鉄道路線の構造物と、東北電力やN T T東日本の洞道が地下20m付近まで、輻輳して敷設されており、これらの構造物への影響を最小限にし、なおかつ、鉄道路線との乗り換え利便性を確保できる線形が求められた。結果、地下鉄南北線仙台駅の下4層目に東西線駅を設けることにより、東北新幹線高架橋基礎とは軟岩層約19mの離隔を確保し、新寺駅のレール敷設高さ(R L)をG L-32mとすることにより、洞道との離隔も概ね2m以上は確保することができた。

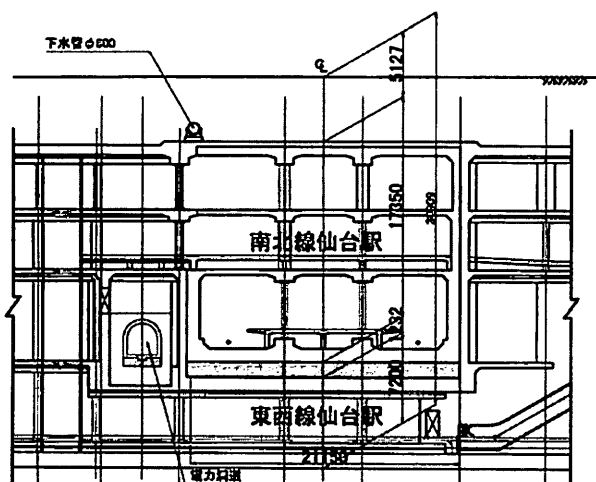


図-3 南北線仙台駅との交差

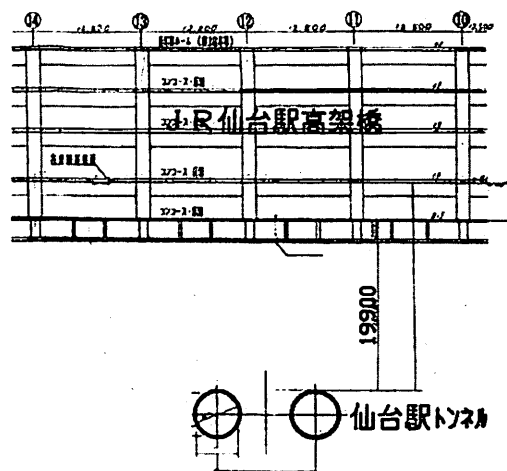


図-4 J R東日本仙台駅との交差

6. 東西線土木構造物建設計画の概要

(1) 東西線駅の工法概要

建設延長14.4kmのうち13駅の合計延長は2.3kmである。駅は地下2層を標準とし、16.5m車5両編成に対応する延長83mの島式ホームを設ける。出入口は2箇所設けることを標準とし、標準的な地下2層の駅の大きさは、幅約16m長さ約160mである。駅及び出入口はホームとコンコースの間及びコンコースと地上の間は上下方向のエスカレーターとエレベーターを設備できる大きさと設計している。

a) 東西線における駅部開削工法の特徴

旅客設備や機械設備を配置する地下駅は、大断面トンネルとなることから開削工法を採用した。開削工法による駅の延長は13駅を合計すると2023mである。路線の地質は、洪積軟岩層と沖積砂れき層に大別され、軟岩層では親杭横矢板工法を用い、砂れき層では柱列式連続地中壁工法を用いる。特徴的なこととしては、東部の沖積低地部では、掘削底盤以深GL-70mまでの間に粘性土層などの遮水層が認められず、N値>30の洪積砂れき層に対して地盤改良により遮水層を造成しなければならないことである。また、トンネル本体の設計では、将来の街づくりによる沿線の高度利用を想定し沿道建物荷重を設定していることも特徴的である。

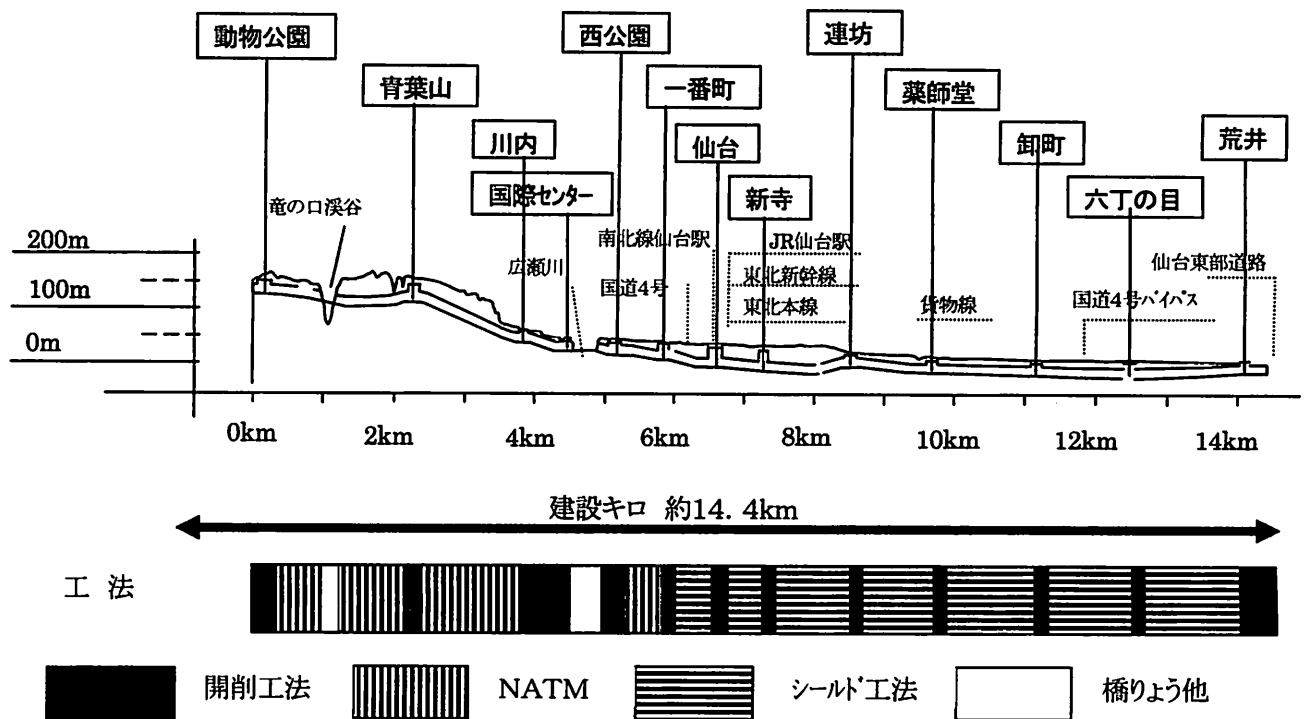


図-4 工法区分図

b) 東西線における駅部NATMの特徴

軟岩区間において1D以上の大きな土被りがある駅(動物公園駅・青葉山駅)では、開削工法区間を最小とし、それ以外の必要な空間を内空断面積110㎡という大断面NATMにより建設することとし建設コストの縮減を図っている。その延長は動物公園駅においては143m、青葉山駅においては95mである。

(2) 東西線駅間トンネルの工法概要

駅間トンネルは、軟岩区間ではNATMを採用し、民地・重要構造物下を通過する区間や砂れき層区間ではシールド工法を基本としている。NATMトンネルは内空断面積約40㎡の複線トンネルを標準とし、シールドトンネルでは外径5400mmの単線並列トンネルを標準としている。

a) 東西線NATMトンネルの特徴

NATMトンネル区間は地山等級 $I_L \sim II_n$ に分類され、軟岩と呼ばれる地層を主に掘削することとなる。支保パターンの選定に際してはトンネル内空断面の大きさが40㎡と、在来線鉄道トンネルの複線断面と単線断面の中間に当たることから、東西線独自の標準支保パターンを設定した。また、NATM区間のほとんどが青葉山丘陵の環境保全区域にあるため、地下水環境への影響を小さくできる防水型トンネルを採用することとしている。

b) 東西線シールドトンネルの特徴

都市の中心部から東部の区間では、道路下空間に地下鉄を敷設することから、半径約100mの曲線区間が6箇所設定されている。曲線区間では、鉄道車両の偏きや軌道のカントにより建築限界を拡大する必要が生じる。このため直線区間で用いるRCセグメント($t=280\text{mm}$)より薄くかつ強度のある合成セグメント($t=200\text{mm}$)を曲線区間に採用し内空断面を確保している。

7. おわりに

現在、東西線建設事業は建設延長の約8割の区間において土木本体構造物の建設工事に着手しており、鋭意仮設工事を進めている段階である。今後とも一日も早い東西線の開業を待ち望む多くの市民の期待に応えられるよう、工事中の安全確保は勿論のこと、さらなる経費削減への取り組みなども行いながら、安全で利用しやすい地下鉄の早期実現を目指して、着実に事業を進めていきたい。