

都市内における大断面開削トンネルの計画

The Plan of the Large Section Opencut Tunnel in Urban Area

徳永法夫* 宮原哲**

By Norio TOKUNAGA * Satoshi MIYAHARA **

1. はじめに

近年では市街地における土地の立体的有効利用や、地表における建築制限などの理由から、道路・鉄道を問わず新規路線の地下トンネル化が増加している。

トンネルは、施工法の違いによって、山岳トンネル、シールドトンネル、開削トンネルおよび沈埋トンネルの4つの工法に分類することができる。市街地のような平坦な地形に、土被りが大きくとれない道路トンネルを構築する場合、経済性・安全性から掘削による開削トンネル工法が採用される場合が多い。また開削トンネル工法では、内空必要断面が複雑な形状でも、無駄のない形状を確保することが比較的容易なことも大きな特徴である。

本文では、まず都市部におけるトンネル施工法の選定要因を概説し、続いて神戸市の南北を結ぶ都市内高速道路として整備されている阪神高速道路・神戸山手線南伸部(L=2.2km)において採用されている大断面開削トンネル工法について、工事費に大きく関わる設計・施工法に着目しながら、その計画手法を述べる。

2. 開削トンネルとシールドおよびNATMの比較

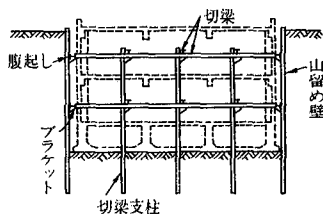
市街地トンネルでは沖積地盤が多いことから、一般的にはシールド工法あるいは開削工法が選定される。しかし、洪積地盤など地山の安定が比較的良く、地下水対策が容易な場合には山岳トンネルの一般的工法であるNATM(New Austrian Tunnelling Method)が選定される(都市NATMと呼ばれる)場合も増えている¹⁾。各工法の断面例を図-1に示すが、工法選択にあたっては経済性・施工性・安全性等を以下に示す項目などで検討し、その箇所に適した工法を選択する必要がある。

キーワード: 計画手法論、施工計画

* 正員、阪神高速道路公団 神戸第二建設部
(神戸市中央区東川崎町1丁目3-3 TEL078-360-8141 FAX360-8158)

**正員、日本技術開発株式会社 大阪支社構造・橋梁部
(大阪市北区豊崎5丁目6-10 e-mail miyahasara@jecc.co.jp)

開削トンネル断面例



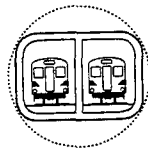
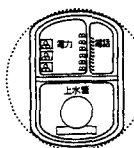
シールドトンネル断面例

【共同溝への適用例】

【地下鉄への適用例】

太数形

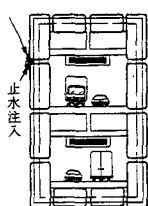
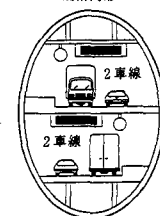
矩形



【大断面への適応】

縦横円形

矩形の組合せ



NATM断面例

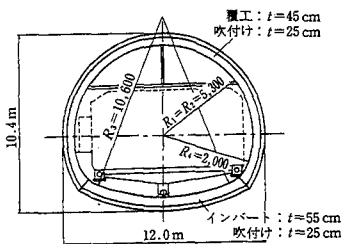


図-1 各工法の断面例

(1)地下水対策

開削工法ではボーリングや盤膨れ対策として、土留め壁の根入れを深くしたり、ディープウェルなどによる地下水位低下工法などの補助工法が必要となる。また、NATMでも地下水位低下工法が必要となるが、シールド工法の主流となっている密閉型ではその問題がない。

(2)断面形状

開削工法では断面形状に特に制約はないのに対し、シールドでは多円形、馬蹄形、矩形等の特殊形状も開発されているが、一般的に円形断面である。また、シールドでは断面形状の途中での変更は一般的に困難であること等から、分合流の多い都市部トンネルでは開削工法が選定されるケースが増える。

(3)平面・縦断線形

開削工法では平面線形の制約がほとんど無いが、シールド工法の場合には機械の性能によって平面曲率の適用限界がある。またNATMの場合、土被りが少ないと地山の安定や沈下防止が問題となるが、最近では様々な補助工法が開発されており、適用限界は経済性など他の要因で決定される。

図-2に地盤の硬軟と土被りの大小を指標としたトンネル工法の適用範囲を示す。最近の技術開発で、各工法の適用範囲が広くなり、工法の選択肢が増えている。

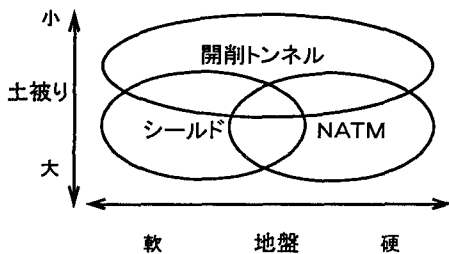


図-2 トンネル工法の適用範囲イメージ

3. 開削トンネルの幾何構造²⁾

開削トンネルの内空断面を決定する上で、所定の道路幅員や建築限界の他に、下記のような断面決定要素(図-3)を考慮することが重要である。なお図-3に示す神戸山手線南伸部では縦断線形の制約から換気ダクトを道路下に配置しているが、通常特に制約がない場合

は、換気ダクト断面は道路断面の上層に配置されるのが一般的である。

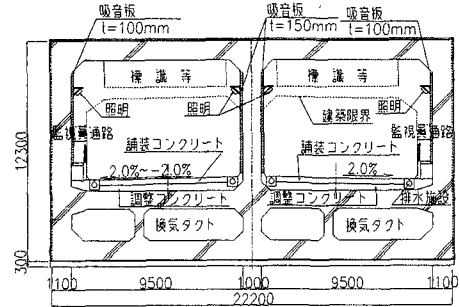


図-3 トンネル断面の決定要素

(1)監視員通路、排水施設、通信管路、吸音板等

道路方向に平行して設置するべき、これらの施設の設置場所を確保して幅員や舗装厚を設定する。

(2)標識、換気用ジェットファン、換気ダクト等

市街地トンネルでは分合流を複雑に行わざるを得ないことから、標識の設置スペースとして車道部内空断面を大きくとらざるを得ない。また、換気方式によっては地上に設置される換気塔などの設置個所が必要となり、縦流式・横流式などの方式によって換気ダクトなどの必要断面も変わる。縦流式の場合にはジェットファンの設置スペースも必要となる。

(3)非常駐車帯、非常出口、非常電話、消火栓等

交通事故などに備えて、これらの非常施設を設置することが必要であり、非常施設の設置場所箱抜きのために壁厚が制約される場合もある。

4. 開削トンネル本体構造の設計

市街地での開削トンネルでは用地の制約から一般に箱形ラーメン構造を採用する。高速道路等の標準4車線のトンネルの場合には1層2連、あるいはこれに換気ダクトを加えて2層2連の断面となる。場合によってはアーチ形構造やその他の断面を用いることもあり、さらに開削トンネル本体構造に高架橋など一体化させる場合³⁾もある。これらの基本構造を選定した上で本体構造の設

計は次のステップに進むことになる。

開削トンネルの設計基準として、トンネル標準示方書（開削工法編）⁴⁾が挙げられるが、明確に示されていない部分については、阪神高速道路公団で開削トンネルの設計指針⁵⁾等を定めて、設計の整合を図っている。以下にその設計の考え方を述べる。

(1) 躯体の安定

開削トンネルの重量は一般に掘削した土砂の重量よりも軽いことから、安定検討では底面の支持力が問題になることは少ない。むしろ、地下水の揚圧力による浮き上がりに対する安定条件として、本体自重および上載土の重量バランスを確保することが重要である。阪神高速道路公団では浮き上がりに対する検討は重量バランス法とし、安全率を1.1以上と定めている。

土被りの少ない箇所では上載土重量が小さくなることから、むやみに躯体コンクリート強度を上げて部材厚を薄くすることができない。また、本体側壁には非常電話や消火栓などの道路防災設備を収納するスペースが必要であり、これらことも合わせて考えておくべきである。

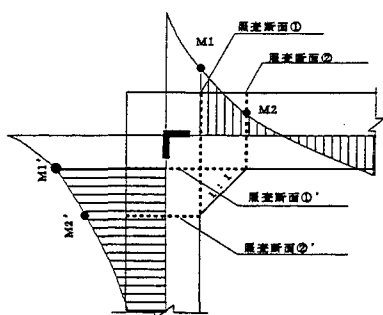


図-4 隅角部の考え方

(2) 横断方向の断面設計

開削トンネルの横断方向の設計は、箱形ラーメンの各部材が弾性地盤に支持されているものと考えてモデル化する。設計手法は常時（死荷重＋活荷重＋土圧＋水圧＋揚圧力＋温度変化＋その他）は許容応力度法によっている。

兵庫県南部地震以降、レベル2地震動（構造物の耐用期間内に発生する確率の低い地震動）に対する各種構造物の設計基準が整備されているが、開削トンネル

については、まだ整備されていない。そこで、阪神高速道路公団における耐震設計指針（案）⁶⁾を設定して、地震時の設計手法を明確にした。具体的にはレベルⅡ地震において応答変位法を用いて地盤の変位を考慮し、部材の非線形性をモデル化して耐震性能を評価する。

また、箱形ラーメン構造の応力計算では隅角部の応力度が一般的に厳しくなる。そこで、ハンチ部分をどの程度まで有効断面として考えて良いかが問題となる。阪神高速道路公団ではハンチ形状とその挙動に関する実験⁷⁾を行い、全断面有効と考えて良いとの考え方（図-4）を採用することで、壁厚を低減できることは、コスト削減の観点から特筆すべきところである。

(3) 縦断方向の断面設計

開削トンネルの断面設計は一般に横断方向について、常時および地震時の安全性を照査すればよいとされていた。しかし、構造継手（鉄筋が連続しない伸縮目地）を、縦断方向に設置せずに連続構造とした場合、大規模地震時には地盤の縦断方向変形により、本体に修復不可能な損害が生じる可能性がある。つまり縦断方向の検討が必要となる。

構造継手を細かいピッチで設けた場合、地下水浸入の問題があり、また鉄筋コンクリート函体が分断されることにより、横断方向断面としても、弱点部を増やすことになると考えられる。別の要因として、横断面構造が急変する箇所に構造継手を設けたいという議論もあるため、この問題をより複雑にしている。神戸山手線南伸部では、地震時における縦断方向の地盤波動変形（図-5）を考慮して、可能な範囲で構造継手間隔を長くする方針⁸⁾として、開削トンネルの構造継手ピッチを40m程度とした。なお止水板は大深度水圧および遊間の大きさに対応するセンターバルブ型式ゴム止水板を用いる。

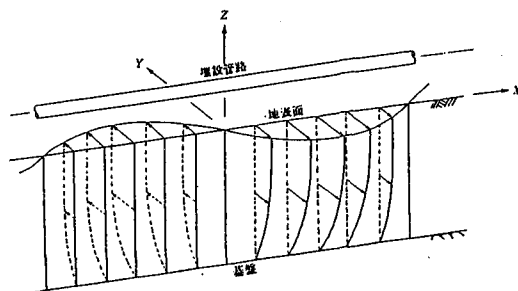


図-5 縦断方向地盤の波動変形

(4)防水工

地下水位以下に設ける開削トンネルにとって、躯体コンクリート面からの地下水浸入を防ぐ防水工は非常に重要である。しかし、同じ開削トンネルでも土留工と函体の隙間が無い場合(先防水)とある場合(後防水)、土留工の種類と切梁の有無等によって適する防水工は異なる。経済性・施工性・止水効果をそれぞれの場合で比較し、適切なものを選択することが重要である。神戸山手線(南伸部)の標準的「後防水」の箇所にはゴムアスファルト系のシート防水を選択した(図-6)。

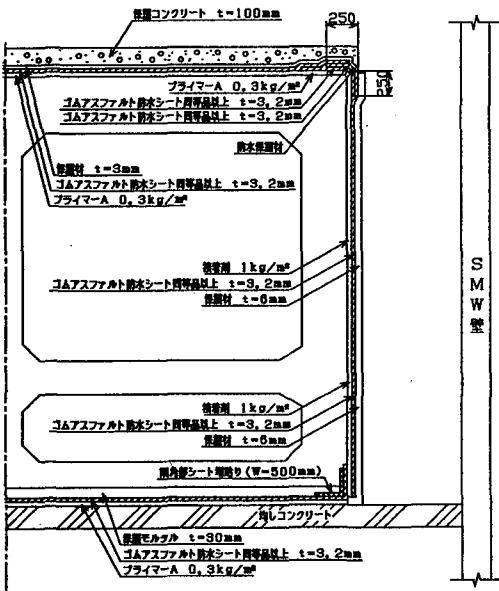


図-6 防水工の構造図

5. 開削・土留め工法

開削トンネルを構築する場合、仮設構造物として土留工が必要となる。一般的に掘削深さは10m以上となり、仮設工に要する費用が大きくなることから、土留工法の選定が重要である。土留工は開削部の土壁を支えるのみでなく、地下水の遮水壁としての働きも大きい。両者を満足するような強度と根入れ深さが必要である。

土留工法としては大口径のソイルセメント柱列壁工法

(SMW)が一般的になりつつあり、特殊条件下ではRC連続地中壁やあるいはソイルセメント地中連続壁(TRD)工法が採用されている。

また、コスト縮減を図るために大規模な土留め壁を無駄にしないよう、この土留工を本体側壁の一部として利用する工法を考えている。

6. おわりに

本文では都市内トンネルにおける施工法の選定要因について述べ、続いて阪神高速道路神戸山手線南伸部開削トンネルにおける、断面計画・設計手法について述べた。

最近では、様々な制約条件を満足するように新技術・補助工法が開発され、各種トンネル工法の適用範囲の重複部分が増えている。最適な工法を選定するためには、道路計画から維持管理まで幅広い検討を行うことが重要である。

参考文献

- 1)桜井春輔:都市トンネルの実際、鹿島出版会、1998年3月
- 2)阪神高速道路公団:トンネル計画基準(案)、1996年3月
- 3)徳永法夫・中本覚・吉村敏志・坂根勇一:高架橋と一体となった大断面開削トンネルの設計、構造工學論文集Vol45A、1999年3月
- 4)土木学会:トンネル標準設計方書(開削工法編)・同解説、1997年7月
- 5)阪神高速道路公団:開削トンネル設計指針(案)、1997年10月
- 6)阪神高速道路公団:開削トンネル耐震設計指針(案)、1999年2月
- 7)幸左賢二・藤井康男・大野政雄・鈴木直人:開削トンネルの耐震性に関する実験的研究、第53回年次学術講演会概要集、I-B377、1998年10月
- 8)中村忠春・金治英貞・佐藤奈津代・西森孝三・太田晴高・酒見正明:応答変位法による軟弱地盤の開削道路トンネル縦断方向の耐震検討、平成11年度土木学会関西支部年次学術講演会 講演概要、1999年5月22日