

大断面開削トンネルにおける土留工の根入れ深さの選定

The Selection of Embedment Depth of Sheathing for Large Section Open-cut Tunnel

徳永法夫* 伊藤学** 宮原哲***

By Norio TOKUNAGA * Manabu ITO ** Satoshi MIYAHARA ***

1. はじめに

神戸市西部エリアは、大規模住宅団地の開発や産業団地の整備が進められるなど発展の一途をたどっている。しかし、このエリアは南北に伸びる幹線道路の整備が立ち遅れているために、周辺地域の生活道路は、慢性的な渋滞に悩まされている。そこで、神戸市街地との連絡を円滑にして地域社会の利便性を図るとともに、主要道路とのネットワークを結ぶことによって、将来の交通需要に対応するように「神戸山手線」が計画された。

昭和59年から妙法寺地区北部のトンネル工事を着工し、残る長田区南駒栄町の2.2km(南伸部)と須磨区車奥西山から須磨区白川までの2.4kmの区間についても、平成3年12月から工事に着手している。神戸山手線(南伸部)は、このうち長田区蓮池町～長田区南駒栄町を指す。神戸山手線(南伸部)は、概ね掘削深さ20mの開削トンネルとなっている。

開削トンネルの施工においては土留工計画が経済性や安全性の面から重要である。当該路線付近の地質は不連続な地層で構成されており、透水層と不透水層の連続性がない。さらに地下水は、多量の鉄分を含むため、地下水位低下対策で汲み上げた水の処理に多額のコストがかかるといった厳しい条件がある。このような制約下での開削トンネルにおける合理的な土留工法および根入れ地盤の選定手法についてとりまとめた。

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、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 TEL078-360-8115 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 miyahara@jecc.co.jp)

2. 構造概要

神戸山手線(南伸部)は2連2層函体工(図-1)を標準として計画している。また、縦断線形は図-2に示すように、数多くの交差物件で制約されており、神戸山手線(南伸部)2.2kmの最小土被り厚は0m、最大土被り厚は、15m程度、最大掘削深さは、30m程度、平均掘削深さは20m程度で計画している。

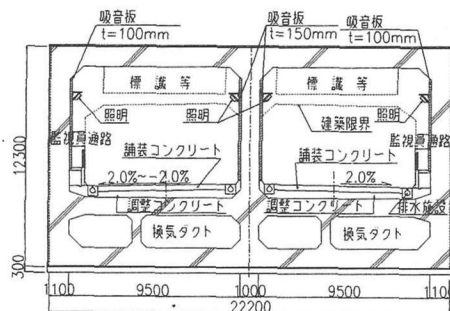


図-1 標準函体断面図

3. 地質概要

当該路線の地質構成は、上位数mが表土～埋土層(砂質土)、続いて沖積層(Ac, As, Ag)、下位に洪積層(Dg, Dc, Ds)である。このうち土留壁(止水壁)の根入れ対象地盤となる洪積層部分では、砂レキ(Dg)層、粘土(Dc)層、砂質(Ds)層が不連続に堆積した互層となっている。路線全体に透水層である砂レキ層が厚く堆積分布しており、確認された粘性土層のほとんどは、1～2m程度の薄層であり、不透水層としての信頼性が乏しい。また、地下水には大量の鉄分、マンガン・浮遊物質が含まれていることから、ディープウェル等の地下水位低下工法に伴う揚水は、濁水処理施設を設置して処理後に放流する必要がある。

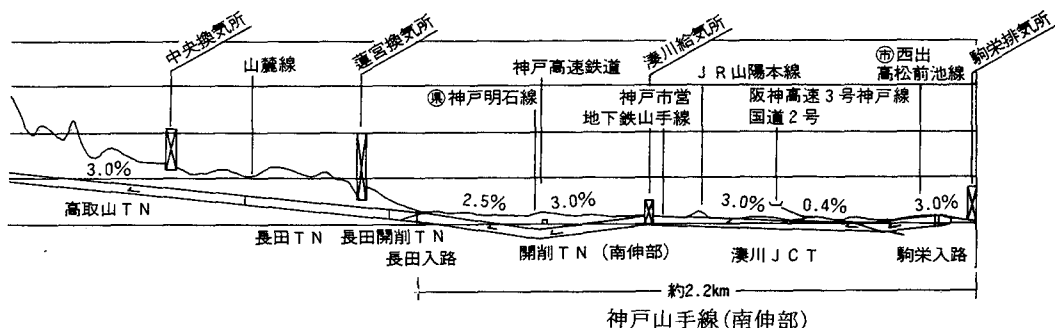


図-2 神戸山手線(南伸部)縦断概要図

4. 土留工法の検討

(1)調査・検討項目

開削トンネルにおいて土留壁の根入れや形式を設定する際に、調査・検討が必要な項目を表-1に示す。

表-1 土留め壁選定のための調査・検討項目

調査項目	・地盤構成・地下水等の調査 ・掘削深さ・土留壁の剛性・遮水性 ・施工条件(近接施工、平面スペース)
検討項目	・周辺の沈下等を抑制する必要剛度 ・盤ぶくれやボイリング等の検討による必要根入れ深さ ・地下水位低下工法を含む経済性検討

(2)土留め工法比較における当該地盤の特徴

神戸山手線(南伸部)における地盤の特徴として下記が挙げられる。

- ①砂礫層が全体的に広く分布しており、遮水層となる粘土層が薄層でかつ不連続なため、相対的に連続性のある粘土層(Dc2～Dc4)に根入れ層が限定される。
- ②掘削深さが最大で30m弱、平均でも約20mと深く、かつ地下水位が高いため、土留壁に確実な遮水性が必要である。

③地下水中の鉄分含有量等が多いため、排水の際には濁水処理施設が必要となる。

土留壁の根入れ地盤としては、このような地質状況によりDc2層、Dc3層、Dc4層が適当と考えられた。

(3)盤ぶくれの検討

盤ぶくれの安全性の検討は重量バランス法¹⁰⁾で算出した。重量バランス法は、掘削幅が大きいために、土留壁の根入れ部と地盤との摩擦抵抗や難透水層のせん断抵抗力が期待できない場合に適用する手法であり、図-3に示すように、難透水層の下面に作用する水圧と、その上の土の重量のつり合いで求める。なお、必要安全率は、1.1としている。

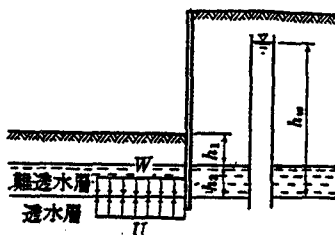


図-3 重量バランス法による盤ぶくれ検討モデル

(4)地下水位低下工法の検討

水圧を軽減し土留め壁の剛性や根入れ深さなどの規模を軽減することを目的とした補助工法として、周辺の地下水位をディープウェルなどを用いて低下させる地下水位低下工法がある。

自然地下水位の状態に比べて、地下水位低下工法を採用すると、ディープウェルなどの工事費や濁水処理費が余分に必要なものの、盤ぶくれに対する安全性を確保するための根入れ長が短くなり、土留め壁の厚さや剛度が小さくできる。

また、地下水位低下工法でも掘削床付け面まで地下水位を下げることは困難である。このため、不透水層と考えている粘土層(Dc2～4)の不連続性や壁体の透水性などの要因によって、土留め壁に囲まれた土中にも地下水が少なからず浸透してくる。この土留め壁に囲まれた地中から、浸透水を汲み上げるのがリリーフウェルと呼ばれる補助工法である。ディープウェルやリリーフウェルの揚水量の事前推定は容易でないが、現場揚水試験結果⁹⁾などを用いて、経済性と安全性を満足させる必要がある。

表-2 当該地盤における土留工法の比較

	深度	剛性	遮水性	工期	工費	摘要
鋼矢板	×	△	△	◎	◎	掘削深さの限界あり
ソイルセメント柱列壁	○	○	○	○	○	標準部で採用
安定液固化連続壁	○	○	○	△	△	大深度部で採用
RC地中連続壁	◎	◎	◎	×	×	特殊部で採用

(5)土留め工法の選定

一般的な締切り工法としては、鋼矢板工法、ソイルセメント柱列壁(SMW工法など)、安定液固化連続地中壁、RC地中連続壁が挙げられる。表-2にこれらの一般的な特徴を示す。このうち、神戸山手線(南伸部)の現場条件及び路線条件を考慮すると鋼矢板工法は大深度掘削における剛度不足、鋼矢板継手部の遮水性不足などから適応しない。また、RC地中連続壁については、施工精度や連続性の信頼性が高く、遮水性も高いが、工費が大幅に高くなるため標準部としての採用は難しい。

このような理由から、標準部における土留工法としては、基本的にソイルセメント柱列壁(SMW)を採用するこ

ととした。ただし、Dc4層の深度は概ね50mと大深度であるため、SMWでは鉛直施工精度を期待できない。したがって、Dc4層に根入れする必要がある場合は安定液固化連続地中壁、もしくはSMW+深部の地盤改良を採用することとした。また、近接構造物に対する変形防止のための土留め壁剛性確保が必要な箇所等特殊部ではRC地中連続壁も採用している。

いずれにしても、開削工法の土留め壁は大深度における鉛直施工精度が充分確保できなければ、遮水性に問題が生じることに留意しなければならない。

5. 神戸山手線(南伸部)土留壁の根入れ地盤の選定

土留壁の根入れ地盤は、前述の地質状況等を踏まえて、図-4のフローチャートに示す検討を行い、神戸山手線(南伸部)各工事区ごとに選定した。このフローの結論をイメージとして表現したのが図-5である。

現実にはDc2,3,4層だけでなく、吸気所を山手線函体工の下に構築する必要から、掘削深さが26mと深くなったためにDc5層へ根入れしたり、極端に掘削深さが浅い箇所ではDc1層への根入れにとどめた箇所もある。

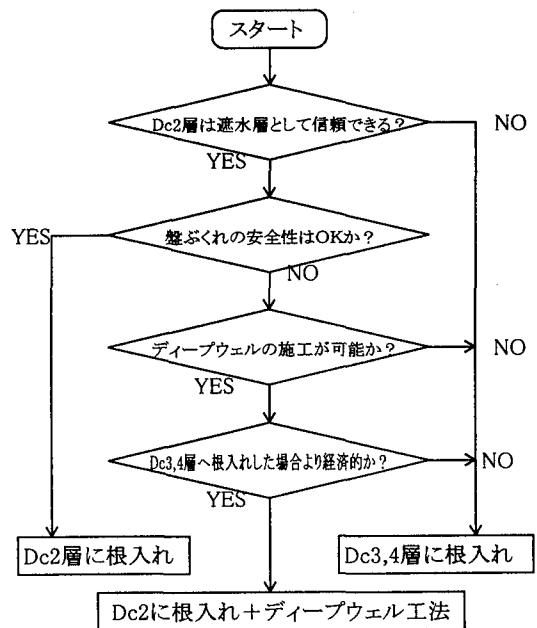
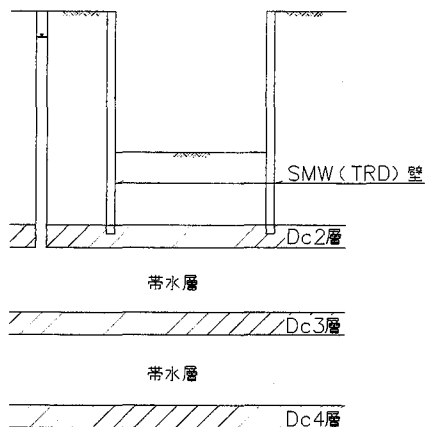
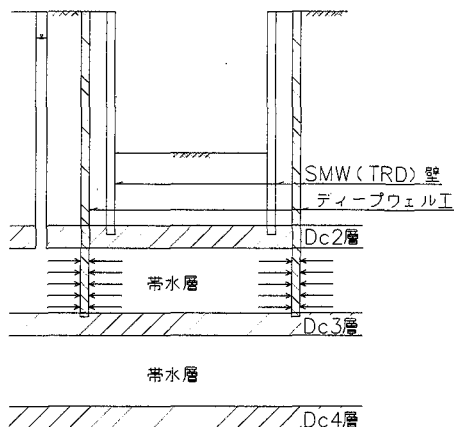


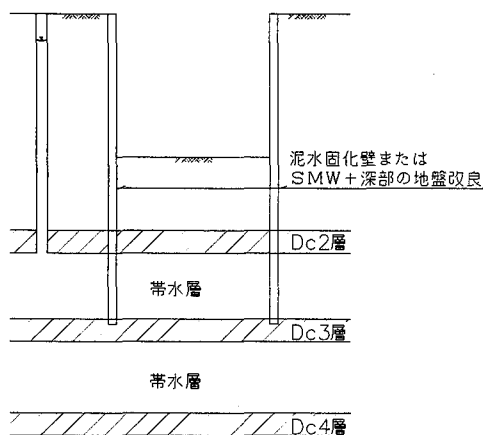
図-4 根入れおよび補助工法選定フロー



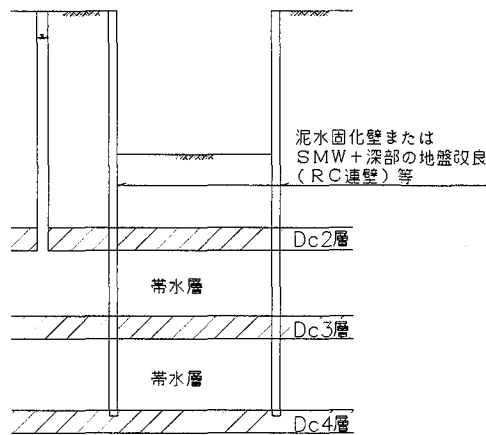
(1) Dc2層に根入れ



(2) Dc2層に根入れ+ディープウェル



(3) Dc3層に根入れ



(4) Dc4層に根入れ

図-5 土留工の根入れ深さのイメージ図

6. おわりに

本文では神戸山手線(南伸部)の開削トンネルにおける土留工の根入れ地盤選定時における検討課題を概説した。ここに示した項目以外に、仮設関係では周辺地盤の沈下予測とその対応策、土留支保工に切り梁方式あるいはグランドアンカー方式のどちらを採用するか、本体構造と土留め壁を一体化させるか否か、埋戻土砂選定とその沈下対策など、大規模掘削であるが故に、解決すべき課題が多い。また、土地利用や騒音・日照など環境保全のため都市部における開削トンネル工

法は、今後増えてゆくと思われることから、最適な工法を採用し、あるいは新しい工法を考案してゆくことが、コスト削減を図る上で重要である。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準施工方書(開削工法編)・同解説、1997年7月
- 2) 阪神高速道路公団：開削トンネル設計指針(案)、1997年10月
- 3) 瀬川利明・吉村敏志・山原陽一・坂根勇一：大深度掘削における地下水対策、土と基礎No.47, No.7, Ser.No.498、1999年7月