
日韓トンネル計画について

高橋彦治 元鉄道技術研究所室長 当会会長

本稿は、韓国ソウルにて開催された NTEX2005 (2005 年 7 月開催) の講演文です

1. 日韓トンネルのロケーション

日韓トンネル計画における起点・終点については、それぞれ九州の福岡と韓国の釜山を想定していますが、報文は、そのうちの海峡を横断する区間を対象として行われた調査・研究の内容を述べたものであります。

調査・研究を進めるうえで、3本のルートを設定して、地質概要を把握し、工法を想定してルートの平面的形状と縦断的形状などを比較する方法で検討してきました。

設定された3ルートの地形図上の位置関係は次のとおりであります。大別すれば、佐賀県の唐津から西北西に壱岐島と対馬を通過して直接釜山に行くルートと、巨済島を経由して釜山へ行くルートの2通りであります(図1、表1)。

海峡の幅と水深については、それぞれ次の通りです。壱岐水道は幅がおよそ2.8Kmで最大水深が5.5m、壱岐～対馬間の水道は幅が4.9Kmで最大水深が1.10m、対馬～釜山間の水道は幅が4.9Kmで最大水深が2.20mであります。

2. 地質概況

①まず、九州地区ですが、東松浦半島では唐津炭田を形成している第三紀層の堆積岩、玄武岩(溶岩)、花崗岩などが分布しています。花崗岩は風化してマサ状風化と呼ばれる砂の部分があり、そこは崩壊しやすい性質をもっています。

②壱岐水道の海底には各種の火山岩が分布していて、青函トンネルの経験からも、ここはトンネルの掘削に際して湧水が多いと考えられます。

③壱岐本島は第三紀層の堆積岩(壱岐層群)とこれを広く覆って玄武岩(溶岩)が分布しています。壱岐では、とくに水資源が逼迫しているため、その影響を少なくする考慮が必要であります。

- ④対馬の東側は東水道、西側の海は西水道と呼ばれていますが、東水道の海域では、その中ほどに七里ヶ曾根と呼ばれる岩礁があり、その周辺に火山岩が集中して分布しているところがあり、湧水が多く、また第三紀層が落ち込んで軟弱な地層がこれを埋めているところがあるなどの問題があります。
- ⑤対馬については、対州層群と呼ばれる第三紀の堆積岩が分布していますが、南部では花崗岩類が貫入し、その周辺部が熱変質を受けて硬過ぎるくらいのところがあります。地質的には全ルートで一番問題の少ない地域であると考えられています。
- ⑥西水道の海底部については、対馬側では同じく第三紀層の対州層群が分布していますが、韓国側では中生代白亜紀の慶尚層群と呼ばれる地層に変わって行くと考えられます。なお、詳細は不明であります。

3. 調査概要：1982年～1991年

3.1 地形地質

①地形測量

陸上部：1/5,000 地形図（空中写真測量）。

海域部：1/25,000 地形図（深淺測量）。

②ボーリング調査

陸上部：掘削延長 12,033 m（22ヶ所）。

海域部（西水道）：海底下 500 m（1ヶ所）。

③物理探査

陸上部：弾性波探査、電気探査、重力探査。

海域部：音波探査（シングルおよびマルチチャンネル）。

磁気探査。

④海底地質：音波映像調査、ドレッジング。

3.2 設計・施工法関連調査

① 山岳トンネル工法（青函トンネル方式の山岳工法）。

② シールドトンネル工法。

③ 沈埋トンネル工法。

④ 水中トンネル工法。

⑤ 人工島。

⑥ 線路選定・利用法など。

3.3 環境関連調査

- ① 環境の現況および影響調査（陸上部、海域部）。
- ② 土地の利用の発想および影響調査。
- ③ 漁業の実態および影響調査。
- ④ 気象調査：陸上部・海上部（海象・潮汐・海流）。
- ⑤ 浅茅湾における海水交換率と生態系調査など。

4. ルートの概要

4.1 ルート選定の前提条件

（海底トンネルのルート選定におけるキーポイント）

海底トンネルのルート選定に際してキーポイントとなる問題として次の4項目について検討が行われています。

- ① 海底距離。
- ② 海底地形と深度：ルートおよび周辺 seabed 地形の凹凸（嶺と谷）。海釜（ある広がりをもった盆状のくぼみ）なども問題となる。
- ③ 地質条件。
- ④ （陸上）基地の立地条件：資器材ヤード、ズリ処理施設、整備・修理工場などトンネルの建設が可能であることが大前提であることから、海底距離よりも地質条件が優先されることがあります。すなわち、走体の速度が高速となるほど、距離が延びても時間距離はそれほど影響をうけない（許容できる）という観点があります。

4.2 ルートの紹介と問題

さて、候補ルートについては「トンネルを掘る工法」や「線路規格」などを前提として海底地形や、その深さ、地質条件、工法などに関連して比較研究する上で代表的ルート案ということで示されています。

西水道を通るとき、Aルートは山岳トンネル工法（セメント注入を前提とした青函トンネル方式といっている）、Bルートはシールド工法で掘るという違いがあります。軟弱地質を避けて深いところを掘るとすれば山岳トンネル工法でゆく。

軟弱地質であっても水圧とのかね合いの問題があるが、浅いところをシールド工法で掘ることが考えられます。シールド工法については、150mもある海底下で、たとえば50mの土被りをとるとして、200mから250mに相当する静水圧や土圧をうける状態となり、そのような深いところでの実績がな

いのが問題であります。

AルートとBルートの違いは、このような工法との関係から生じています。平面的には似たような位置関係で示されています。Aルートについては対馬海峡の西水道側で予想されている断層が南に行くほど地層の落ち込みが小さく、軟弱層の区間も短くて済むということで選定されています。

Cルートは釜山に直行するルートであります。西水道で海底部の距離が最短のルートとなっていて、他との比較では有利であります。断層で地層の落ち込みの深さが1,200mもある上、軟弱地質の区間が長くなるなど、トンネル建設に際して困難な問題が多くあります。Cルートにつきましてはシールド工法を主体に考えています。また、ここは地質に関係ない沈埋工法（沈埋トンネル工法）も考えられます。沈埋トンネルは未固結軟弱層のところでトンネルの函体を海底部に浅く沈設する工法であり、地質に影響されることが少ない工法であります。深い海底下の工事では、沈埋トンネル工法については技術的に解決すべき事項が多いことが問題であります。

各ルートの共通点として、次のことがあげられます。

- 長いトンネルは、数工区に分割して掘られます。換気設備を整備するなどのために人工島が必要となりますが、人工島およそ20kmにつき一基必要と考えています。
- 工期につきましては、本格的に着工してから15年～20年を見ておりますが、おおよその見当であります。
- 工費につきましては、提示できるほどの検討が行なわれていません。

なお、関釜連絡船の時代がありましたように、日韓トンネルのルートとして下関～釜山間を結ぶ案がありましたが、ルート中の最大海底距離が190kmもある（他のルートの3倍もある）ことから、検討過程の早い段階で比較案から外されています。

5. 線路規格とトンネルの断面構成

5.1 線路規格

日韓トンネルは日韓両国を結び、将来的にはアジア全域やヨーロッパとも連結されて、ユーラシア大陸横断の大動脈になるものであって、高度な交通輸送とエネルギーや情報通信の需要に対応できるものでなければならないと考えております。

これを受けて満足すべき条件としては、高速・大量輸送・多目的・安全・確実・簡便・任意性などを挙げています。輸送形式は、多目的の条件と関連しま

すが、自動車・旅客・貨物・エネルギーなどの輸送と情報伝達などが考えられています。

中心的な技術的課題となる「大量・高速・多目的輸送システム」につきましては、新幹線方式と道路・鉄道併用方式の二案が示されていますが、失敗や試行錯誤は許されないので、第一案としては技術的には確立された輸送方式である新幹線方式によるシステムを考えています。

リニアモーターカーは、現時点では試験段階に入ったばかりであります。一方自動車に関しては、超長大トンネル内を走行するドライバーの人間工学的な限界があると考えられます。したがって、現時点では新幹線鉄道の線路規格を準用して、本案では、

- 最大線路勾配を 25/1,000
- 最小曲線半径を 6,000m

が適用されています。

この規格は、道路の方でも許容できるものであります。

5.2 トンネルの断面構成

トンネルの断面構成はトンネルの大きさや形状に関係してくるものであります。トンネルの断面を構成する要素には次のようなものがあります。

- ①トンネル内を走る車種（走体）が自動車であるのか、新幹線車輛、リニアモーターカー、あるいはカートレインであるのか。
- ②車線容量：単線か複線（往復2車線）か、または多車線か。
- ③トンネルによって搬送される機能：電力用ケーブル、上水道管、情報通信用の光ファイバーケーブルの収納・配備など。
- ④防災や維持管理システムの形成に必要な諸施設とその専用スペースなど

トンネルの所要断面積や形状は、それらの機能の利便性を満たし最適配置とするように決定されます。

前述のようにトンネルに要請される機能によって、また、複線か単線かによって大きさや形状が決められます。長大海底トンネルの縦断的形状は、海底中央部もしくは海底の最深部で標高が最低となるようなV字形となるが、トンネル内の湧水を誘導するために海底両岸部を低標高とするW字形の排水トンネルや、本トンネルに並設される先進・作業坑トンネルなどと組み合わせて、機能的に配分されます。なお、青函トンネルでは20t/分あまりの底部湧水量を排水トンネルの両端部でポンプ排水しています。

6. 建設工法

沈埋トンネル、水中トンネルおよび山岳トンネル工法について研究されていますが本稿では青函トンネル方式の山岳工法について述べます。

青函トンネル方式の山岳トンネル工法は、セメント注入による岩盤固結を先行させてトンネルを掘る工法であります。トンネルを掘ると周辺部の地山（岩盤）に緩みが生じます。地山の緩みが地圧として作用し、支保工や覆工が変形します。注入の基本的な考え方はこの掘削に伴って生ずる岩盤の緩む範囲を想定して（想定緩み範囲）、その外側までの範囲を注入によって固め、その範囲の岩盤内に止水ゾーンを形成するとともに、支保工や覆工と合体して地圧に耐える抵抗ゾーン（グラウンドアーチ）を形成することを目的としています。止水ゾーンを浸透してきた水は、これをトンネル内に誘導し、支保工や覆工には強大な地圧や水圧を作用させないという考え方があります。注入範囲は掘削半径の3～5倍、注入材料が範囲外へ逸脱しないように外側から内側へ向かって順に施工します。

7. 地質調査における課題（地質上の問題点）

陸上部の問題点は追加調査によって逐次明らかにされるとして、考えられる地質上の課題は次の3項目であります。

- ① 壱岐水道：火山岩の分布と周辺地質。
- ② 東水道：火山岩の分布。軟弱層の状況とその性状の確認。
- ③ 西水道：断層の性状、軟弱層の分布とその性状、韓国側海底部の地質。

以上の如く、本稿は日韓トンネル計画について概略の比較検討を試みたものでありますが、みても、いずれの計画案も膨大な問題、課題を含んでおり、海底地質を始めとする各種自然条件の多くが未だ不明であり、各案の是非を論ずるまでに至っていません。しかもこのトンネルは土木技術的な面からだけで判断し得るものではありません。国際的な経済、政治、法律などを踏まえた国家的な大きな方向の設定・調整が必要でありますので、各分野の進展をみながら調査研究を怠りなく進めてゆきたいと考えています。