

(高橋講演)

제 2 회

터널 시공기술 향상 대토론회 논문집

- 하 · 해저 터널 설계 / 시공 사례 중심으로

2002.8.30

대표주관 : 대한토목학회

공동주관 : 한국터널공학회

한국지반공학회

한국암반공학회

 사단 법인 **대한토목학회**

목 차

초 청 강 연

- ①. 일한터널 계획의 현황 3
高橋 彦治, 일한터널 연구회 회장
2. 일한터널 계획안의 개략 비교·검토 24
濱 建介, 일한터널 연구회 상임이사

논문 및 사례발표

1. 부산 - 거제간 연결도로 민자사업 침매터널 설계 및 시공계획 38
김용일, 윤영훈, 조상국, 이내용 (대우건설)
2. 해저 LPG 비축기지 (Y-2 Project) 의 시공 58
이두화, 추석연, 김광진 (삼보기술단) 김성구, 나승훈 (LG건설)
3. 연약토사 터널굴진시 지반거동에 대한 이론적 고찰 75
김상환 (호서대학교) 정혁일, 윤상길 (바우컨설팅트)
4. 낙동강 하구 해저 실드터널 시공특성에 관한 연구 91
정경환, 김동해, 이승래 (동아지질), 전덕찬 (바우컨설팅트), 김상환 (호서대학교)
5. 부산 - 수영간 하저 대구경 SHIELD 터널 시공사례 106
- 굴진속도 분석을 중심으로 -
김훈, 윤현돈, 전성일, 윤영진 (두산건설)
6. 한강하저터널 단층파쇄대 구간에 대한 시공 및 운영중 계측 결과의
종합분석 123
이성기 (태조엔지니어링), 우종태 (경북대학교)
7. 안양천 하부통과 터널 시공 사례 142
황제돈, 이호 (에스코컨설팅트) 문상조 (유신코퍼레이션)
이준해 (서울시 지하철 건설본부)

日韓トンネル計画の概況

日韓トンネル研究会
会長 高橋 彦治

1. はじめに

はじめに日本における日韓トンネル研究会の活動に関して、簡単に報告させていただきます。日韓トンネル研究会は、1983年5月24日に発足しました。発足当初から1991年までの約9年間は、政策・理念担当の第一部会、地形・地質担当の第二部会、設計・施工担当の第三部会、気象・海象担当の第四部会の、四つの部会で構成された研究会の組織を中心として活動してきました。その後、国際的・社会的・経済的・環境的諸条件の変化があり、これに対応して研究会活動の一層の展開を図るために、1991年6月の総会において組織改革が行われました。現在の研究会の組織は、会長・理事会・政策委員会・技術委員会の構成で運営されています。

2. 技術的背景と課題

研究会において当面検討すべき項目は次の通りであります。第一に国際ハイウェイ・日韓トンネル計画の再構築であります。第二に、施工技術の調査研究です。これまでは、各種工法の特質の比較研究をやっただけで、これをもってただちに実際のトンネルが掘れるということではありませんでした。提案されている工法がそれぞれの地質条件との関連でどのような問題があるのか、それを具体的に取り上げて、建設可能な最適工法と技術レベルを再確認するための調査研究が必要です。第三に、これまでの地質調査の結果、その存在が明らかとなった対馬海峡の東西両水道の新期堆積層の解明です。対馬の両水道の海底に見られる新期堆積層は軟弱で、Bルートで提案されている水深150m以下のシールド工法が可能かどうか問題です。場合によってはトンネルが深くなり、その分だけトンネルが長くなるという問題があります。

これらの課題に基づき、各種技術的な基礎研究を継続するとともに、国際ハイウェイ・日韓トンネル計画が日本・韓国・北朝鮮・中国の東北アジアを取り巻く環境変化の中で、その役割を明らかにすることが重要であると考えます。その前提条件として、関連する国家間の情報交換と交流を通して、相互の理解と関係の緊密化を計ることが重要です。

以下、主な項目について少し詳しく述べてみたいと思います。初めに、お断りしてご理解をお願い致します。ただ今、申し述べることは日本側独自の考えによるものでありまして、韓国の皆様方のお考えに添わないことにつきましては予めお許し願いたいと思います。

日韓トンネルは、日韓両国を結ぶ大動脈になるとともに、将来的にはアジア全域やヨーロッパとも連結され、ユーラシア大陸横断の大動脈ともなりうるため、高度な交通輸送、同時に情報通信に対する需要に対応できるものでなければならぬと考えております。

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を考えています。

次に、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、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ました。

3. ルートの紹介

ここでルート選定の前提について付言したいと思います。

申すまでもなく、路線・ルートというものは目的・対象となっている都市間あるいは地域間を連結するものでありますが、諸々の制約条件をクリアーしながら決められます。ここでは、技術的関連に限定して申し上げます。

道路にしる、鉄道にしる、ルート選定の前提として、線形についての条件があります。平面的には最小曲線半径を、縦断的には最急勾配をどうするかといった「線路規格」が決まっていなければなりません。また、その上を走る「走体」が自動車であるのか、電車であるのか、あるいはリニアモーターカーであるのか、すなわち「走体」が何であるのか決まっていなければなりません。

これらのことは現在から将来にわたって実現可能な科学技術の水準とその推移にかかっています。

リニアモーターカーは、やっと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

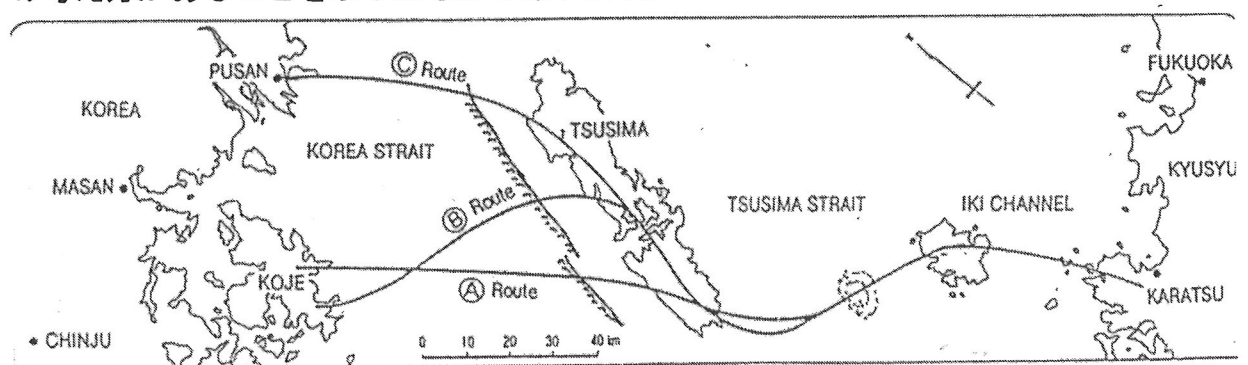
●最小曲線半径を

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。

さて、候補ルートであります、A、B、C、三本のルートが示されていますが、これらは「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、とくにその深さや地質条件などを考慮して現時点で、日本側から提示できる代表的ルート案ということで示しています。Cルートは釜山へ直行するルートであります。AルートとBルートは巨済島を経由するものであり、二通りの考え方があることを示したものであります。



図—1 日韓トンネル予想ルート案 を挿入

Aルートは対馬海峡西水道の海底下に予想されている断層と軟弱地盤をできるだけ避けて深いところを通るルートであります。Bルートはシールド工法を主としたルートである、という違いがあります。釜山へ直行するCルートは、西水道で海底下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。後で触れますように海底下に断層があつて、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。

●人工島については、換気などを考慮しておよそ20Kmにつき一基必要と考えられます。

●工期につきましては、7年～10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われていませんが、おおよそ18兆円くらいといった試算があります。

4. 地質の概況

次に、ルート沿いの地質概況について、お話しいたします。

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と玄武岩の溶岩と花崗岩などが分布しています。マサ状風化と呼ばれる花崗岩の風化した砂が軟らかいので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多数分布しているので、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であろうと考えられています。

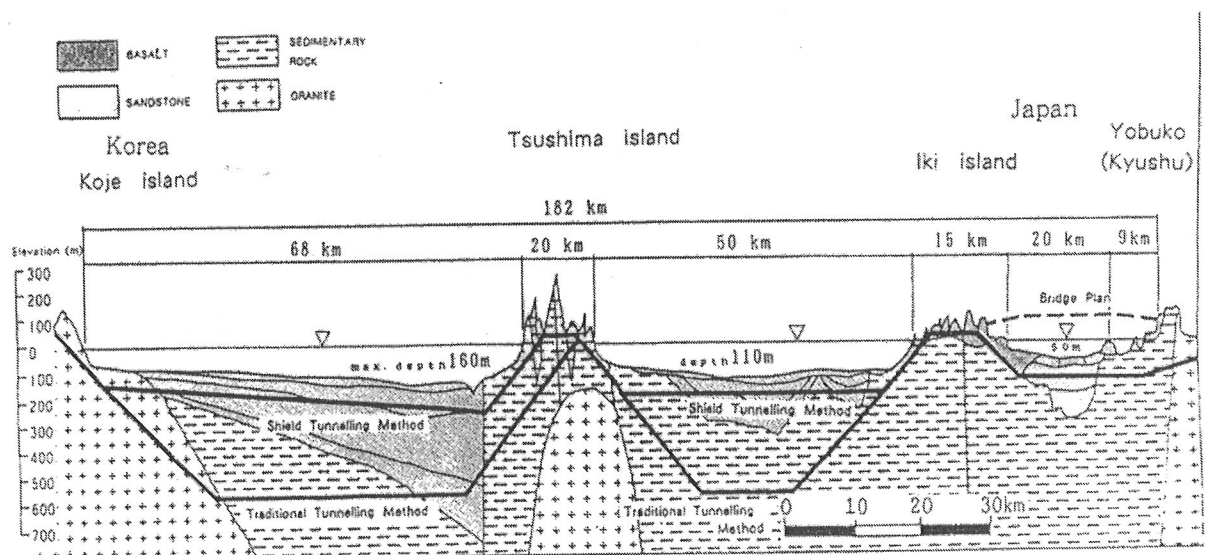
③壱岐本島は第三紀層の堆積岩（壱岐層群）とこれを広く覆って玄武岩（溶岩）が分布しています。壱岐の場合、とくに水資源が逼迫しているので、その影響を少なくする考慮が必要であります。

④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って、その周辺に火山岩が集中して分布していること（湧水が多い）、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基本となっていますが、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ています。

⑥西水道の海底部は同じく第三紀層の対州層群が基本ですが、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が、詳細は不明であります。

なお、西水道には先程も申し上げましたように、対馬の西海岸から数キロ（5～7km）離れ、これと平行して断層があり、第三紀層が深く落ち込み、これを埋めて軟弱な地層が存在しています。その落ち込みは北部では1,200m、南部では500mほどであることも分かっています。これはトンネル工事遂行上重大な要素になると考えられています。



図—2 日韓海峡地質断面図及びトンネル計画図 を挿入

5. 結 び

ここで、次に、日韓トンネル計画における走行条件について考えてみたいと思います。200km 以上にも及ぶトンネル区間を、ドライバーが高速で運転できるかどうかという問題、またトンネル内で生じる大量の排気ガスの問題などが出てきます。そこで、トンネル内はカーフェリー（カートレイン）にするとか、あるいは人間は完全に新幹線などで運び自動車は別に運搬するといった、新しいアイデアが必要になるでしょう。トンネル内を走る走体にしても、将来は新幹線などの他にリニアモーターカーも考えられます。ただリニアモーターカーは、まだ試験段階にあり、克服しなければならない技術的な課題も多々あるという現状ですので、今後の開発動向を見ない限り何とも言えません。

最後に、望ましい交通体系の観点から、日本の国鉄民営化から得られた教訓について、一言申し上げたいと思います。各種交通機関が発達した今日において、広域あるいは国レベルにおける理想的な総合交通体系のあり方とは、各種交通機関が相互補完的であることです。

航空路線と空港、高速鉄道ならびに高速自動車道などが幹線網を形成し、これに加えてさらにコミューター空港、在来鉄道、一般道路などが地域内交通網を形成することによって、相互に補完し合うことが最適交通網の条件であると考えられます。これに海運航路と港が絡んでくると思います。

これらが、それぞれの役割を果たしながら、相互に補完し合う関係としての総合交通体系のあり方が追求されなければならないと考えられます。

最近、陸上輸送機関のスピード競争が激化していると思われる風潮についての私の個人的感覚は以下の通りであります。国際ハイウェイ構想の中では、特にこのことが問題になると思います。東海道新幹線建設に際してのコンセプトは、セーフ、スピーディー、シュアーの三Sでありましたが、ほどほどの高速化が実現した今日において、これらの交通輸送システムのコンセプトは、セーフ、シュアー、ソフトの三Sがよいと私は考えています。

ソフトということは人間にとってはやさしく快適であり、環境と地球にとっては共生可能であるようなソフトな関係を意味しています。ここで、環境問題とは、振動・騒音・排気ガスなどの社会的環境のことであり、地球的問題とは大気汚染の拡散・温暖化と、これに人類を含む生態系や社会的秩序の破壊までを考えた全自然的環境のことであります。

国際ハイウェイ構想の中でも、相互に補完し合う関係の総合交通体系の考え方や、人間と環境にとってやさしいグローバルなコンセプトを視点に据えることが大切なことであると考えられます。また、韓国、中国からヨーロッパに至る陸上部のハイウェイにしても、ユーラシアの北ルートや南ルートなどが考えられますが、いずれにしても、砂漠地帯とか山岳地帯など、環境的、気候的に非常に厳しい条件の中を通らなければならないでしょう。したがって、新しい技術の開発が必要になってきます。特に、メンテナンスなどの点を考慮して、新しい視点からの軌道構造や道路構造が要求されてくると思います。

最後に、前会長の持田豊氏が、その建設に自ら関係された青函トンネルと英仏海峡トンネルとの実績と、日韓トンネルの場合とを対比させて事例研究としてまとめられた表（マクロプロジェクトの事例研究）があります。使用技術・コスト・資金・事業主体や自然条件などの項目が選ばれており、さらに、それぞれのプロジェクトにおける今後の展望を述べているなど、含蓄の多い内容となっています。

一般的条件等

	青函トンネル	英仏海峡トンネル	日韓トンネル
建設の モチーフ	洞爺丸－安全性	歴史的背景、EC・EU の形成	歴史的背景、東北ア ジアの一体感
トンネル の延長	全長 53k850 海底部 23k300 一国内	全長 51k000 海底部 38k098 二国間	A ルート (209km) 九州－壱岐 28km 壱岐－対馬 51km 対馬－韓国 61km B ルート (217km) 九州－壱岐 28km 壱岐－対馬 49km 対馬－韓国 64km C ルート (231km) 九州－壱岐 28km 壱岐－対馬 51km 対馬－韓国 49km 二国間
使用技術 プリンシ プル	世界最長海底トン ネル、他例なく自己 開発	既存技術の活用 (青函に例あり)	青函その他を主と して既存技術の活 用、発展
安 全	開発：国鉄 火災委 定点式	二国間委員会 (IGC) の 許可必要 非定点式 (実際は定点 式となる) －施設・信号・制御・ 車両・テロ対策	開発、二国間委員会 の許可 －施設・信号・制御 車両・テロ対策・中 間避難所
コ ス ト	最初の積算とほぼ 同じ－技術力向上 による	最初の予算の2倍 建設→運転期間長 会社の構成－技術力に 段差	投資順序合理化 技術開発 技術者養成
資 金	財政投融资 (国)	民間資本・借入金	前二例の混合？

資金返還	国鉄清算事業団損金	運輸収入－（運転保守費＋利子＋配当） ＝純益より返還	据置期間において純益より返還
事業主体	国＝日本鉄道建設公団	民間会社＝ユーロトンネル，英仏両国内に形式上の親会社あり	資金の性質による
運営主体	国鉄＝JR 北海道	ユーロトンネル社 一部国鉄に貸与	事業主体による

自然条件等

	青函トンネル	英仏海峡トンネル	日韓トンネル
地 形：			
海底距離	23km	38km	A ルート 145km B ルート 141km C ルート 128km
最大水深	140m	60m (途中ヴェルネ浅瀬 ＝5m あり)	A ルート 155m B ルート 160m C ルート 220m
海 流	強	弱	中
地 質：			
地殻運動	プレート (膨張、地圧)	殆どなし	少し (対馬西海岸)
年 代	新第三紀 (含火成岩)	白亜期 (チョークマール)	洪積世－古第三紀 －火成岩
断 層 等	多い	非常に少い	少いが全体として 地層の変化あり
岩 石	硬→軟	中軟	硬→軟

線 形 :			
平面曲線	6,500m	4,000m	未 定
勾 配	12‰	11‰	リニアモーター式か 在来新幹線かによる
輸送方式	新幹線＋在来線併 用（標準軌） カートレイン	新幹線 トンネル途中 に行き違い（クロスオ ーバー）	新幹線または浮上式 リニアモーター 中間海底基地
トンネル 断 面 本トンネ ル サービ ス トンネル	複線 1 本 1 本	単線 2 本 1 本	未 定 1 本
パイロッ トトンネ ル	1 本	無 し	無 し

効果・将来

	青函トンネル	英仏海峡トンネル	日韓トンネル
	開発型、周辺人口少 ない 技術開発型（コスト 低減） 新幹線、カートレイ ン（シャトル）を併 せる必要あり 国内よりも国外に 刺激（英仏、北欧、 ジブラルタル、アル プス）	実用型、他機関との競 争（フェリーポート、 航空機） ヨーロッパ高速網化 の一部 モーダルシフト 北欧－デンマーク・ス ウェーデン・ドイツ 環境	実用型、他機関との 競合 アジア高速鉄道網 の一部（モーダルシ フト） 中国新幹線化 環境

今後

	青函トンネル	英仏海峡トンネル	世 界
--	--------	----------	-----

	アジア網実現 日韓トンネル 宗谷－間宮海峡 海南島、揚子江、 マラッカ海峡、 スンダ海峡等 ヒマラヤ東麓、 遼東半島	アルプス越、3ルート ーモーダルシフト ボスボラス海峡	ジブラルタル海峡 ベーリング海峡 ワールドトランス ポーテーションシ ステム（WTS） 国際鉄道輸送シス テム（パイプライ ン、電力、通信、 水等を含む）
--	---	-----------------------------------	---

以上、国際ハイウェイ・日韓トンネルにおいて、今後検討すべき問題点をいくつか上げてみました。

일한 터널 계획의 개황

일한터널연구회

회장 타카하시 히코지

1. 서 언

먼저 일한터널연구회의 활동에 관하여, 간략히 보고해 드리겠습니다.

일한터널연구회는 1983년 5월 24일에 발족되었습니다.

발족 당초부터 1991년까지 약 9년 간은, 정책·이념 담당의 제1부회, 지형·지질 담당의 제2부회, 설계·시공 담당의 제3부회, 기상·해상 담당의 제4부회의 4부회로 구성된 연구회 조직을 중심으로 활동하여 왔습니다.

그 후, 국제적 사회적·경제적·환경적 제반 조건의 변화에 대응하여 연구회 활동을 한층 더 발전시킬 수 있도록, 1991년 6월 총회에서 조직 개편을 단행하였습니다. 현재 연구회 조직은 회장·이사회·정책위원회·기술위원회로 구성되어 운영되고 있습니다.

2. 기술적 배경과 과제

연구회에 있어서 당면한 필수 검토 항목은 다음과 같습니다. 첫째는 국제 하이웨이(High way)·일한 터널계획의 재구축입니다. 둘째는 시공기술의 조사연구입니다. 지금까지는, 각종공법의 비교연구를 수행해 온 것에 불과하여, 이를 토대로 즉시 실제로 터널굴착이 가능하다고는 볼 수 없습니다. 제안된 공법이 각기 지질조건과의 관련이 어느 정도 문제가 발생될 것인지를 구체적으로 검토하여, 건설 가능한 최적 공법과 기술수준을 재확인하기 위한 조사연구가 필요합니다. 셋째로는 지금까지 지질조사의 결과, 그 존재가 명확해진 對馬海峽의 東西 양수로의 新期 퇴적층의 명확한 해석입니다. 對馬 양수로의 해저에서 볼 수 있는 신기 퇴적층은 연약하여, B루트로 제안되어 있는 수심 150m 이하에서의 쉴드(shield)공법이 가능한지가 의문입니다. 경우에 따라서는 터널이 깊어지며, 그로 인해 터널의 연장이 증가하는 문제가 발생합니다.

이들 과제를 근간으로 하여, 각종 기술적인 기초연구를 지속적으로 수행함과 동시에, 국제 하이웨이·일한 터널 계획이 일본·한국·북한·중국이 동북아시아를 망라한 환경변화 속에, 그 역할을 명확히 하는 것이 중요하다고 생각되어 집니다.

그 전제 조건으로 관련 국가 간의 정보교환과 교류를 통해, 상호 이해와 관계의 긴밀화를 도모함이 중요합니다.

이하, 주된 항목에 관해서 조금 구체적으로 거론해 보고 싶습니다. 먼저, 양해의 말씀을 드립니다만, 지금부터 발표할 내용은 일본측의 독자적·단독적인 생각으로 한국 여러분들의 생각이 포함되지 않은 것에 대해 죄송스럽게 생각합니다.

일한 터널은 일한 양국을 연결하는 대동맥임에 동시에, 장래적으로는 아시아 전역과 유럽이 공히 연결되어, 유라시아 대륙횡단의 대동맥으로 형성되어지기 때문에 고도의 교통운송과 동시에 정보통신에 대한 수요에 대응할 수 있어야만 한다고 생각합니다.

이를 만족할 조건으로 고속화·대량운송·다목적성·안전성·확실성·간편성·임의성 등을 열거할 수 있습니다. 수송형식은, 다목적이라는 조건과 관련되지만, 자동차·여객·화물·에너지 등의 수송과 정보전달 등을 함께 고려해 볼 수 있습니다.

다음으로, 중심적인 기술 과제가 되는 「대량·고속·다목적 운송 시스템」에 관해서는, 신간선(고속철도) 방식과 도로·철도 병용방식의 두 가지 안이 거론되지만, 실패나 시행착오가 허락되지 않으므로, 제 1안으로서 기술적으로는 확립된 수송방식인 신간선(新幹線) 방식에 의한 시스템을 생각해 보았습니다.

3. 루트의 소개

여기에 루트 선정의 전제에 관해 부가 설명 드리겠습니다.

두말할 나위도 없이, 노선·루트라는 것은 목적·대상이 되는 도시간 혹은 지역간을 연결하는 것이지만, 제반 제약조건을 해결해 나가면서 결정되어 집니다. 여기서는, 기술적 관련사항에만 한정하여 말씀드리고자 합니다.

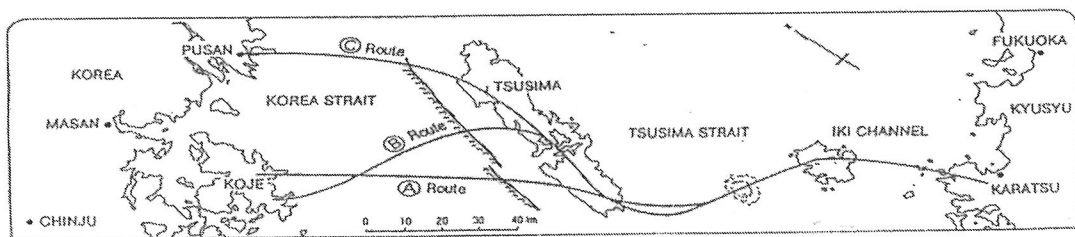
도로이건 철도이건 간에, 루트 선정의 전제로서, 선형에 대한 조건이 있습니다. 평면적으로는 최소곡선반경을, 횡단 구배상으로는 최대 종단구배를 어떻게 처리해야 할지를 결정해야 할 「선형기준」이 결정되어야만 합니다. 또한 주행주체(走行主體)가 자동차인지, 전차인지 혹은 리니어 모터 카(Linear Motor Car)인지, 즉, 「운송형식」이 무엇인지를 결정짓지 않으면 안됩니다.

이들 운송형식의 결정은 현재에서 미래에 걸쳐 실현 가능한 과학기술의 수준과 그 추이에 달려있습니다.

리니어 모터 카(Linear Motor Car)는 현재 시험단계의 수준정도 입니다. 한편 자동차에 관해서는 초장대 터널 내를 주행하는 드라이버의 인간공학적 한계가 존재한다고 생각되어 집니다. 따라서, 현시점에는, 신간선 철도의 선로규격을 준용(準用)하여,

본 검토노선의 경우, 최대 노선구배를 25/1000 그리고 최소 곡선반경을 6000m로 적용되어 있습니다. 이 기준은 도로의 경우에서도 허용 가능한 것입니다.

그림 1에는 A, B, C, 세 가지 경우의 후보루트를 보여주고 있습니다만, 이들은 「터널굴착공법」이나 「노선규격」등을 전제로 하여, 해저지형, 특히 그 깊이나 지질조건 등을 고려한 현재 일본측의 대표적 노선 안으로서 제시하고 있습니다. C 루트는 부산으로 직행하는 루트이며, A루트와 B루트는 거제도를 경유하는 노선을 나타낸 것입니다.



圖一 日韓トンネル予想ルート案

(그림 1) 일한 터널 예상 루트안

A루트는 對馬海峽 西水道 해저에 예상되고 있는 단층과 연약지반을 가능한 한 피해, 깊은 곳을 통과하는 루트입니다. B루트는 쉴드(Shield)공법을 주로 채택할 루트로 그 차이를 둘 수 있습니다. 부산으로의 직행하는 C루트는 西水道에 해저하 거리를 최단 루트로 선정하여 다른 안과의 비교에서는 유리합니다. 그러나 후에 언급하는 것과 같이 단층이 존재하여, 지층의 함몰 깊이가 1200m나 되며, 연약지질의 구간이 길어지는 등, 터널건설에 난이한 문제점들이 많이 있습니다.

- 인공 섬에 관해서는 환기 등을 고려해서 약 20km당 1기는 필요하다고 생각되어 집니다.
- 공기에 관해서는 7년-10년을 예상하고 있으나, 대략적인 예측치입니다.
- 공비에 관해서는 제시가능한 정도의 검토가 되어 있지는 않으나, 대략 18조엔(약 180조원)정도로 예측하고 있습니다.

4. 지질의 개황

다음으로 루트를 따라 지질개황에 관해, 말씀드리겠습니다.

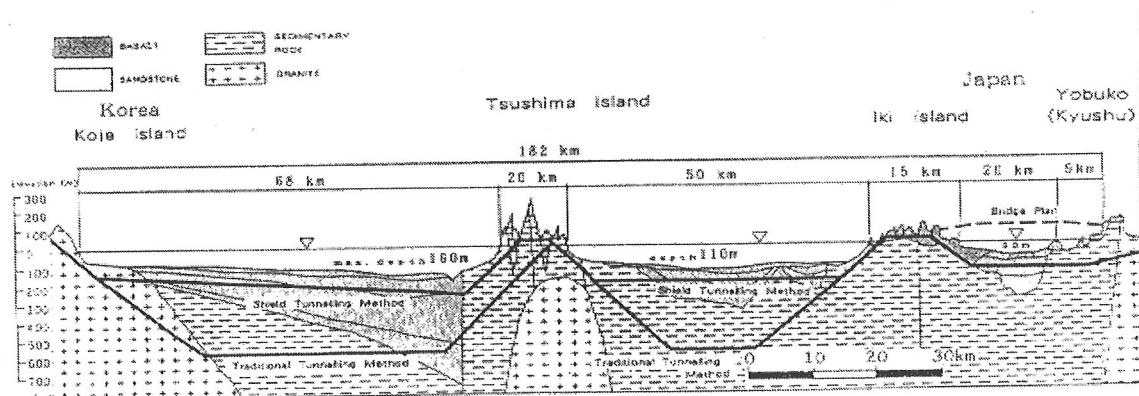
- ① 우선, 규슈(九州)지구의 히가시마쓰우라(東松浦 半島)에는 唐津炭田을 형성하고 있는 제3기층의 퇴적암과 현무암 그리고 화강암 등이 분포하고 있습니다. 또한 마사토가 존재하여 지반이 매우 연약하고 쉽게 붕괴되는 성질을 보입니다.
- ② 壹岐水道の 해저에는 각종 화산암이 다수 분포하여 있어, 세이칸(靑函)터널의 경험에서도, 이곳은 터널의 굴착시 많은 용수가 나오리라 판단되어 집니다.
- ③ 壹岐本島는 제3기층의 퇴적암(壹岐層群)과 이를 넓게 덮고 있는 현무암(용암)이 분포하고 있습니다. 壹岐의 경우, 특히 수자원이 부족하므로, 그 영향을 최소화할 수 있는 방안이 필요합니다.

④ 東水道의 해역에는, 그 중에 七里ヶ曾根라고 일컬어지는 암초가 있어, 그 주변에 화산암이 집중하여 분포하고 있으며, 제3기층이 함몰되어 연약한 지층이 이를 메우고 있는 것이 문제점으로 지적됩니다.

⑤ 對馬에 관해서는, 對州層群이라고 불리는 제3기 퇴적암을 기본으로 구성되어 있으나, 남부에는 화강암 류가 관입되어, 그 주변부가 열변질작용을 받아 경화된 곳이 있습니다. 지질적으로는 전 루트에서 가장 문제점이 적은 지역으로 판단됩니다.

⑥ 西水道의 해저부는 상기와 동일한 제3기층의 對州層群이 기본이 되어 있으나, 한국에서는 중생대 백악기의 경상층군(慶尙層群)이라고 불리는 지층으로 변해 가고 있다고 판단되어집니다만, 명확하지는 않습니다.

한편, 西水道에는 전술한 바와 같이, 對馬의 서해안에서 수 킬로미터(5-7km) 떨어져, 이와 평행하게 단층이 존재하며, 제3기층이 깊이 함몰되어, 이를 채운 연약 지반이 존재하고 있습니다. 이 함몰은 북부에는 1200m, 남부에는 500m정도 인 것으로 알고 있으며, 이는 터널 공사 수행상 중대한 요소로 판단되어 집니다.



(그림 2) 일한 해협 지질 단면도 및 터널 계획도

5. 맺 음 말

다음으로 일한터널 계획에 있어서 주행조건에 관해 생각해 보고자 합니다. 200km 이상이나 되는 터널 구간을, 드라이버가 고속으로 운전할 수 있는 지 여부의 문제, 또한 터널 내에서 발생하는 대량의 배기가스의 문제 등이 도출되어 집니다. 이에 대해, 터널 내부를 카 페리(Car ferry ; Car train)로 계획한다든지, 혹은 이용자 만을 신간선 등으로 운송하며, 자동차는 별도로 운반한다 라든지 하는 새로운 아이디어가 필요하리라 봅니다. 터널 내를 운행하는 운송형식에 있어서도, 장래는 신간선 등의 다른 리니어 모터 카(Linear Motor Car)도 생각해 볼 수 있습니다. 단지, 리니어 모터 카(Linear Motor Car)는 아직 시험 단계로 극복해야 할 기술적 문제도 많이 존재하므로, 차후 개발동향을 직접 보지 않는 한 단정지을 수는 없겠습니다.

마지막으로 본인이 희망하는 교통체계의 관점에서, 일본의 국철민영화에서 얻을 수 있는 교훈이 있어, 한 마디 하고자 합니다. 각종 교통기관이 발달한 오늘날, 광역 혹은 국가 차원의 이상적인 종합교통체계가 가지는 본연의 역할은, 각종 교통기관이 상호 보완적이어야 한다는 점일 것입니다.

항공노선과 공항, 고속철도 및 고속도로 등이 간선망을 형성하고, 이에 더하여, 단·중거리 노선 소형여객기(Commuter)공항, 재래 철도, 일반 도로 등이 지역 내 교통망을 형성함에 의해, 상호 보완해 가는 것이 최적 교통망의 조건이라고 생각되어 집니다. 여기에 해운항로와 항구를 결부시켜 나아가야 하리라고 봅니다.

이것들이, 각각 역할을 담당해 가면서, 상호 보완적 관계로서 종합 교통체계가 지니는 본연의 역할이 추가되지 않으면 안되리라 생각되어 집니다.

최근, 육상수송기관의 스피드 경쟁이 격화되고 있는 경향에 대해, 본인 개인적 느낌은 다음과 같습니다. 국제 하이웨이 구상 속에는, 특히 이것이 문제가 된다고 생각합니다. 동해도(東海道) 신간선 건설에 즈음한 컨셉트(Concept)는 Safe, Sure, Soft의 3S가 좋으리라 생각합니다.

Soft라고 하는 것은 인간에게 편안하고 쾌적하여, 환경과 지구에 있어 공생 가능성과 같이 Soft한 관계를 의미합니다. 여기서, 환경문제라는 것은, 진동·소음·배기가스 등의 사회적 환경의 것으로, 지구적 문제로는 대기오염의 확산·온난화와, 이에 인류를 포함한 생태계 및 사회적 질서의 파괴까지를 생각한 전 자연적 환경을 일컫는 것입니다.

국제 하이웨이 구상 속에서도, 상호 보완관계의 종합 교통 체계에 관한 사고나, 인간과 친환경적인 범 지구적 컨셉트(Global Concept)를 염두에 두는 것이 중요하리라 생각합니다. 또한, 한국, 중국에서 유럽에 달하는 육상부 하이웨이에 있어서도, 유라시아의 북쪽 루트 및 남쪽 루트 등을 생각해 볼 수 있으나, 어느 경우에서든 사막지대나 산악지대 등 환경적·기후적으로 상당히 곤란한 조건 속을 통과하지 않으면 안될 것입니다. 따라서, 새로운 기술 개발의 필요성이 대두됩니다. 특히, 보수 및 유지관리(Maintenance) 등을 고려한, 새로운 시점에서의 궤도(軌道)구조 및 도로 구조가 요구된다고 생각됩니다.

마지막으로, 전 회장이신 持田豊님께서 직접 건설에 참여하신 靑函터널과 英佛海峡터널의 실적과, 日韓터널과를 비교한 사례연구로서 정리한 표(macro-project의 사례연구)입니다.

사용기술·비용·자금·사업주체·자연조건 등의 항목을 채택하여, 각 프로젝트에 있어서의 향후 전망을 기술하는 등, 많은 함축적 내용을 포함하고 있습니다.

일반적인 조건

	靑函터널	英佛海峽터널	日韓터널
건설 Motive	동양환(洞爺丸)－안전성	역사적 배경, EC·EU의 형성	역사적 배경, 동북아시아의 일체감
터널의 연장	총연장 53,850m 해저부 23,300m 일본 국내	총연장 51,000m 해저부 38,098m 영국과 프랑스 양국간	A루트 (209km) 九州－壹岐 28km 壹岐－對馬 51km 對馬－韓國 61km B루트 (217km) 九州－壹岐 28km 壹岐－對馬 49km 對馬－韓國 64km C루트 (231km) 九州－壹岐 28km 壹岐－對馬 51km 對馬－韓國 49km 한국과 일본 양국간
사용 기술 원칙	세계최장해저터널、사례 참조 없는 독자개발	기존 기술의 활용 (靑函에 사례 참조 가능)	靑函 과 그 밖의 예를 기준으로 기존기술의 활용 및 발전
안 전	개발：국철 화재委 定點式	양국간 위원회 (IGC) 의 허 가 필요 非定點式 (실제로 定點式이 됨) －시설·신호·제어·차량· 테러 대책	개발、양국간 위원회의 허가 －시설·신호·제어 차량·테러대책·중간 피난소
비용	최초 직산과 거의 동일 －기술력 향상에 기인	최초예산의 2 배 건설→운전기간 길어 짐 회사의 구성－기술력 차이	투자순서 합리화 기술개발 기술자 양성
자 금	재정 투자 용자 (國)	민간자본·차입금	앞의 2가지 사례의 혼합
자금반환	국철 청산사업단 손실금	운송수입－(운전보수비＋이 자＋배당)＝순이익에서 반 환	거치 기간을 두고 순이익에서 반환
사업주체	국가(＝일본철도건설공 단)	민간회사(＝Euro터널, 영불 양국 내에 형식상의 모 기업 있음)	자금의 성질에 의함
운영주체	국철＝JR北海道	Euro터널社 일부 국철에 대여	사업주체에 의함

자연조건

	青函터널	英佛海峽터널	日韓터널
지 형 :			
해저거리	23km	38km	A루트 145km B루트 141km C루트 128km
최대수심	140m	60m (도중 베르네(ヴェルネ) 淺瀬 =5m있음)	A루트 155m B루트 160m C루트 220m
해 류	强	弱	中
지 질 :			
지각운동	Plate (팽창, 지압)	거의 없음	적음 (對馬 서해안)
년 대	新第三紀 (含火成岩)	白堊期	洪積世 - 古第三紀 - 火成岩
암 석	많음 硬→軟	상당히 적음 中軟	적지만 전체적으로 지층 변화있음 硬→軟
선 형 :			
평면곡선	6,500m	4,000m	미 정
구 배	12‰	11‰	linear motor 형식인지, 또는 재래 新幹線 형식인 가에 따름
수송방식	新幹線 + 재래선 병용 (표준궤도) Car train	新幹線 터널도중에 교차 (Cross-over)	新幹線 또는 부상식 linear motor 중간 해저기지
터널 단면			
본 터널	복선 1 개소	단선 2 개소	미 정
서비스 터널	1개소	1개소	1개소
파일로트 터널	1개소	없음	없음

効果・將來

	青函터널	英佛海峡터널	日韓터널
	개발형、 주변 인구 적음 기술 개발형 (비용 저감) 新幹線、 Car train (shuttle) 을 병용 할 필 요 있음 국내보다도 국외에 자극 (英佛、北歐、 지브랄타、 알프스)	실용형、 타 기관과의 경쟁 (ferri-port、 항공기) 유럽 고속망 계획의 일부 Modal shift 北歐－덴마크・스웨덴・독 일 환경	실용형、 타 기관과 경합 아시아 고속철도망 계 획의 일부 (Modal shift) 중국 新幹線化 환경

장래

	青函터널	英佛海峡터널	世 界
	아시아網 실현 日韓터널 宗谷－問宮 해협 海南島、 양자강、 말라카 해협、 순다해협 등 히말라야 동쪽、 요동반도	알프스를 넘는、 3루트 Modal shift 보스보라스 해협	지브랄타 해협 베링 해협 World Transportation System (WTS) 국제철도수송시스템 (Pipe Line、 전력、 통 신、 수자원 등을 포 함)

이상으로 국제 하이웨이・일한 터널에 있어서, 차후 토론할 과제에 관해 몇 가지
예를 들었습니다.