
第 3 部 会

日韓トンネル計画案の概略比較検討

第3部会委員会

まえがき

日韓トンネル計画に関わる土木技術的側面からの調査研究を担当してきた第3部会では、部会委員会および各小委員会により、1984年度から1988年度まで5年間にわたり、計画に関わる種々の土木技術的課題について検討してきた。それらの各調査研究成果は表-1に示す項目（業務名）ごとにまとめられ、報告書として既に提出されている。しかしそれらは、計画規模自体が世界的に事例を見ないものであり、かつまた必要諸条件を見い出すに必要な既存資料が全般的に乏しい対象地域でもあり、さらに国境を越える問題もあるため、大部分が机上の研究の域を出ないものであることは否めない。けれども各研究において扱った内容は、ルート選定問題、交通需要予測、トンネル断面構造、シールド工法、山岳工法、沈埋工法、沈設工法、水中トンネル工法、人工島、道路換気、防災設備、橋梁案、有料道路制、リニアモーターカー、注入工法、立坑計画等々、実に多岐に及び、さらに概略検討を必要とする内容もまだ若干は残ってはいるものの、おおむね網羅していると言えるであろう。

そこで、今後これらの多岐にわたる問題を本格的に詰め、深度化させていくに際し、まずこれまでの内容を全般的にまとめ、問題点、課題点を比較対照できる資料を作成すべきであるとの観点から、とりあえず以下のようにまとめてみた。

なお、以下の内容はまだまとめの途中段階のものであり、また紙面の都合上、多くを割愛し、図面等もきわめて縮小していることを御了承頂きたい。

代表的計画案の概略比較検討

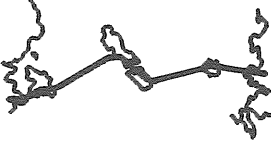
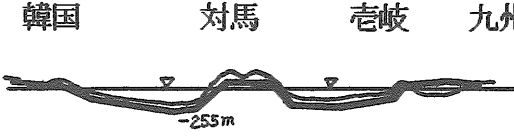
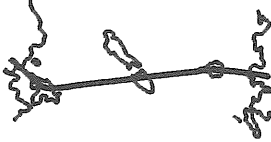
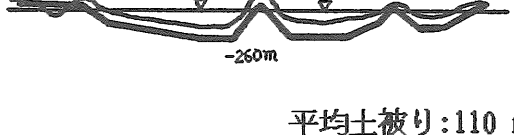

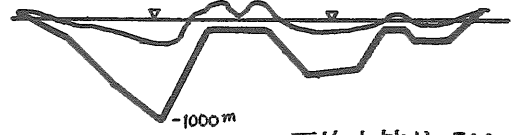
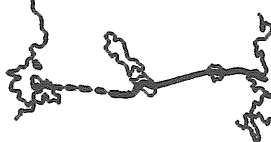

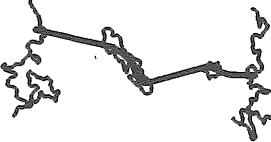
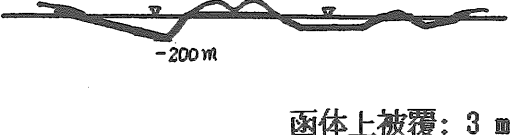



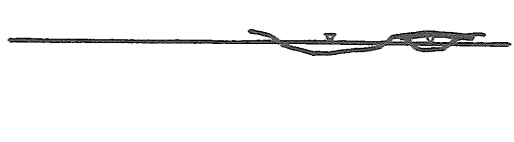
計画案はルート、工法、走体（断面構造）等々の選択如何により、きわめて多くの組合せが考えられるため、ここでは今まで提示された案のうち、代表的な7案（A～G）を取り上げ、表-2のように比較検討資料として作成した。

表 - 1 第3部会関係調査研究業務一覧(1984~1988年度)

発注業務名	年度	実施機関
1. 日韓海底トンネル計画検討(その1)	1984年度	海底トンネル小委員会
2. 日韓海底トンネル計画検討(その2)	1985年度	サンコーコンサルタント(株)
3. 日韓トンネル人工島計画概略検討	1984年度	海底トンネル小委員会 ケイエムエンジニアリング(株)
4. 日韓海底トンネル施工計画概略検討	1985年度	海底トンネル小委員会 ケイエムエンジニアリング(株)
5. 日韓トンネル走体計画概略検討(その1) -磁気浮上式超高速鉄道について-	1986年度	[*発注によらない] (鉄道トンネル小委員会)
6. 呼子~老岐間橋梁一般図作成業務(その1)	1984年度	
7. 呼子~老岐間橋梁一般図作成業務(その2)	1985年度	橋梁小委員会
8. 呼子~老岐間橋計画業務(その3)	1986年度	日本工営(株)
9. 沈埋トンネル案調査	1984年度	沈埋トンネル小委員会 (株)日本港湾コンサルタント
10. 沈埋トンネル案調査(その2)	1987年度	日本シールドエンジニアング(株)
11. 沈埋トンネル概略施工検討	1987年度	ケイエムエンジニアリング(株)
12. 道路換気計画に関する調査(その1)	1984年度	道路換気小委員会
13. 道路換気計画に関する調査(その2)	1985年度	道路トンネル小委員会
14. 道路トンネル計画に関する調査(その1)	1986年度	東京道路エンジニア(株) (株)ロードエンジニアリング
15. 中国交通運輸現況基礎調査	1987年度	(株)イー・ディー・シー
16. 中国華北横断高速道路の経済検討	1987年度	[*委員会によらない] (株)イー・ディー・シー
17. 超長大トンネル防災設備予備検討	1985年度	防災・管理小委員会 東京道路エンジニア(株)
18. 対馬調査立坑設計・施工計画	1985年度	斜坑・立坑小委員会(九州) 三井建設(株)九州支店
19. 日韓トンネル施工のための注入工法に関する研究(その1) -既往文献調査-	1987年度	九州支部第3部会注入工法小委員会、 佐藤工業(株)
20. 日韓トンネル施工のための注入工法に関する研究(その2)	1988年度	九州支部第3部会注入工法小委員会、 佐藤工業(株)
21. 路線・設計・施工計画概略検討第1次報告書	1986年度	[*発注によらない]
22. 路線・設計・施工計画概略検討第2次報告書	1988年度	["]

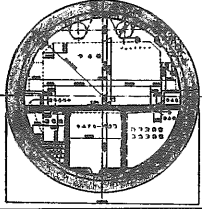
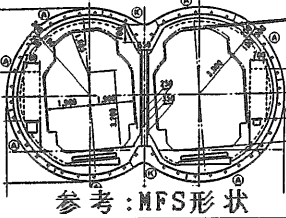
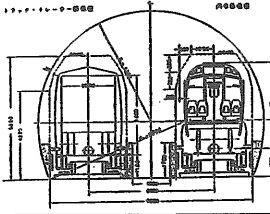
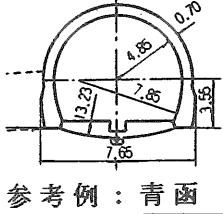
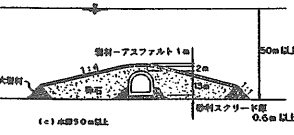
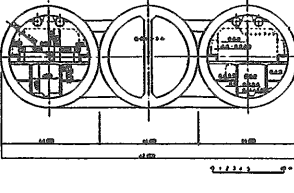
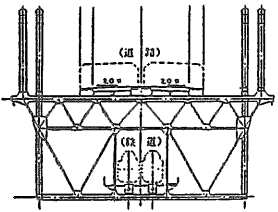
(※21、22は1~19の概要を縮小編集したもの) 国際ハイウェイ建設事業団

表-2 日韓トンネル計画案

1) 計画案	2) 施工法	3) 平面図	4) 縦断図
A. 道路トンネル計画	シールド工法	全長: 201 km 	韓国 対馬 壱岐 九州  平均土被り: 40 m
B. 第3部会長案	山岳工法 または マルチフェースシールド	全長: 193 km 	 平均土被り: 110 m
C. 持田案	山岳工法	全長: 234 km 	 平均土被り: 500 m
D. 第2部会提示案	山岳工法	全長: 204 km 	 平均土被り: 250 m
E. 沈埋トンネル計画	沈埋トンネル工法	全長: 220 km 	 函体上被覆: 3 m
F. 沈設(水中)トンネル計画	沈設(水中)トンネル工法	- 	- 
G. 呼子~壱岐間橋梁計画	橋梁	全長: 29 km 	壱岐 九州 

注) 1) 施工法: 海底部区間に用いる主な施工法
2) 全長: 各ルート主計画区間の概略全長(始点、終点が各々異なるので目安程度)

概略比較検討資料

5) 横断面図	6) 走体	7) 曲線半径 8) 最急勾配	9) 西水道幅 10) 最大水深	11) 人工島	12) 駅	13) 工期 14) 工費
	道路(4) + リニア(2)	6 km 20 %	66 km -165 m	約18km毎 計5基	両島共 地上IC + 地上駅	15年 18兆円
 参考:MFS形状	リニア(2) または リニア道路 併用も可	6 km 20 %	68 km -158 m	要	対馬 地上駅 壱岐 地上駅	- -
	リニア(2)	10 km 70 %	66 km -165 m	-	対馬 地下駅 壱岐 地下駅	- -
 参考例:青函	新幹線(2)	5 km 20 %	74 km -190 m	要	対馬 地下駅 壱岐 地上駅	- -
	リニア(2)	- -	49 km -205 m	-	対馬 地上駅 壱岐 地上駅	12~15年 -
	道路(4) + リニア(2) または リニア(2)	- 5 %	- -150 m	約18km毎 1基	対馬 地上駅 壱岐 地上駅	15年 660億円 /km
	道路(4) + 鉄道(2)	5 km -	- -65 m (壱岐水道)	- -	地上IC	15年 3兆円余

5) 横断面図: 標準的な横断面図例

6) () 内数字は道路車線数または線路数

7) 曲線半径: 最小曲線半径

10) 各路線通過地点最大水深(西水道)

各計画案の概要と問題点

A. 道路トンネル計画

同計画案は道路トンネル小委員会から提示されたものである。特徴としては、まず自動車自走可能なトンネルを目指し、合せてリニアモーターカーとの併用を提案し、さらに主要工法として泥水シールド工法を、また工期の短縮と換気のため18km毎に1基の人工島を建設することとしている点にある。

同案では、まずルートは最短海峡幅、最浅部等を考慮して、対馬においては上島中央付近から巨済島に向うこととしている。また最急勾配は換気量低減を考慮して2%とし、換気はジェットファン、集塵設備、冷却設備付きの縦流換気方式で、最大換気区間長18km、最大換気量 $670.1 \text{ m}^3/\text{s}$ としている。ここで交通量は2000年時点で約3万台、大型車混入率は15%と推定している。

施工法は、当初、委員会では山岳工法を中心に検討が進められていたが、対馬海峡西水道における海洋ボーリング、音波探査等の結果から、未固結軟弱層が厚く堆積していることが明らかとなったので、水圧等を考慮してできる限り浅部を通過することとし、平均土被りが40m程度での外径14mの大断面泥水シールド工法を検討した。

断面は2階建て構造とし、上半に2車線道路、下半にリニアおよび避難坑、諸付属設備スペースを設け、同トンネルを計2本並列させる。

同計画案における課題・問題点としては、18兆円の工費、自動車自走に伴う安全性、快適性、-255m深度におけるシールド工法の可能性、特にマシンの耐高水圧、耐久性やセグメントのシールド工、継手構造等が大きな課題であろう。また換気冷却、集塵システム、自動車燃料の推移、さらに換気の初期吹出風速やピストン効果、リニア走行による風圧なども基本的な検討課題である。

当面は施工法の検討に最も影響する海底地質データが不可欠であり、特に未固結層の地質・土質工学的性状の解明を待ちたい。

B. 第3部会長案

同案は、青函トンネルの実績を踏まえて、海底部土被りを100m程度とし、それによって計画高を上げることにより水圧を青函並にするとともに、ルートは壱岐から巨済島までほぼ一直線の最短コースをとりつつ、対馬、壱岐両島での地上駅設置を可能にしようとしたものである。

施工法は泥水シールドを主体としながら、従来の注入掘削の山岳工法も可能な区間では採用するものとする。断面については、走体との関係により、リニアのみの場合は複線用本坑1本または単線本坑2本が考えられるが、大口径とすれば道路との併用断面も可能であろう。また上記いずれの場合もマルチフェースシールド工法の採用も可能性があると思われ、その場合は表-2に示すような断面形状になるであろう。

同案における課題・問題点としては、A案と同様、-2百数十m深度における泥水シールド工法の可能性、または同深度における注入、掘削工法があるが、なお地質の工学的性状が明らかでないため現状での判断はむずかしい。また山岳工法の場合は多孔同時注入工法などによる掘進速度の飛躍的向上が大きな課題となろう。

C. 持田案

同案は一番最初に提案されたもので、全区間を山岳工法で施工するものとしており、当初の音波探査の結果から、対馬海峡には数百m以上の未固結軟弱層が厚く存在していると推定して、最深計画高を-1,000m程度としている。

同案では、リニアおよびリニアカートレインを対象走体とし、断面はほぼ青函程度、最急勾配は70%であるが、対馬、壱岐両島では地上に出ず、深度-50m程度に地下駅を設けるとしている。

問題点としては、-1,000m程度の深度における掘削実績は鉱山等ではあるが、公共的永久構造物としての建設および利用を考慮すれば、工事前における、地熱、水圧を含めての地質性状の解明がきわめて困難であること、施工中の資材、作業員の搬送問題、施工性、運用中における消費エネルギーロス量増大などがあり、数多くの難問があるといえる。

D. 第2部会提示案

同案の特徴は、問題の対馬海峡西水道の海底下地質について、西水道においては南下するほど新期堆積層厚が小さくなっているとの推定に立ち、ルートを下島西方にう回させるようなコースをとり、未固結堆積層通過区間を最少限にして、大部分を山岳工法で施工しようという点にある。また対象走体としては新幹線を考え、最急勾配は20%、対馬では地下駅としている。ただし島内のルートを回してさらに2~3km延長させれば、地上駅も可能だとしている。

課題・問題点としては、海底下数百mの大深度における注入固結技術の適用性、山岳工法における掘進速度、数百mにおよぶ外洋人工島立坑の施工技術、さらに最少限とはいえ数km以上になると思われる未固結堆積層通過区間で、深度-300~-500mレベルでの施工を何によるかである。

また同案では最急勾配20%の区間長が約100kmで全長の約半分を占めており、縦断線形的に見て問題が大きいとも考えられる。

E. 沈埋トンネル計画

特徴として、ルートは各海峡最短部を選定している。工法的には、従来の浚渫、埋戻しによる施工は水深30m以浅部のみとし、水深30~50mでは函体を海底面下に半分程度埋め、その上から被覆するように埋設し、50m以深では表-2中に示すとおり、函体は海底面上に設置して被覆盛土するような施工法である。このため海底下の地質の影響は他に比してほとんど皆無と言える利点がある。

問題点としては、1億 m^3 にのぼる埋戻土量の採取、外洋での運搬・投棄方法、函体の連続的な製作・運搬、および100m以上（西水道では200m）の大水深下での沈設、接合作業などがある。

F. 沈設（水中）トンネル計画

同案では、水深100m以上という大水深下での沈埋トンネルの基礎施工を簡略化し、かつ函体自体に作用する水圧を軽減するため、基礎を杭基礎とそれにプレハブ的に挿入するジャケットからなるものとし、極力海上作業を軽減、簡易化することを狙っている。したがって函体は海底面上にジャケットに支持された状態で露出しており、いわゆる水中橋梁というべき構造形式である。

問題点としては、Eと同様、函体の連続的な製作と、外洋における搬送、沈設、接合作業の安全性、確実性、また大水深における基礎杭の施工、その精度等がある。

さらに同種の構造物に対しては、常に航行船舶、潜水艦等の沈没、衝突に対する安全性が論議されており、その対策または安全性の確認が求められる。

G. 呼子～壱岐間橋梁計画

呼子～壱岐間の壱岐水道は、幅20数km、水深数十m程度であり、本四架橋の技術や景観性から、当初より同区間においてはトンネルの代案として期待されている。

同案は当初3ルートについて比較検討された結果、壱岐東南の小島の名島経由が多少延長は長いものの、水深、支持層深度が比較的浅く、施工性、経済性に有利と判断された。構造は中央径間1,700mの3径間吊橋3連を中心に、ほか吊橋2橋、連続トラスなどとなっている。

問題としては、本計画では最大水深-65m、支持層深度-100m以上で、かつ外洋であり、橋梁基礎施工において、さらに本四架橋以上の技術開発が必要である。またそうした下部工の施工規模や、またケーブル素材の発展とも合せて、経済的な支間長についてもさらに検討の余地がある。また作業海域の航路条件、漁場との関係がまだ不明であり、下部工の同時施工可能性などと合せて、工期、工費についても検討の余地が大きい。さらに外洋での工事であるため、作業基地や、作業現場へのアクセス等も大きな問題である。

あとがき

上記のごく概略の比較検討だけを見ても、いずれの計画案も膨大な問題、課題を含んでおり、海底地質性状をはじめとする各種自然条件の多くがなお不明であり、世界中においても当計画に即適応できうる規模の施工技術事例もほとんどない現段階では、各案の是非を判断することはなおむずかしいと言わざるを得ない。

さらに同計画は、国際的な経済、政治、法律や地域開発計画とも密接に関わる問題であるため、土木技術的観点のみから判断できるものでもない。ゆえに、各種自然条件の早期把握と、土木技術以外の分野における大きな方向性の設定、調整がなされるべく期待しつつ、他分野の進展を鑑みつつ今後の調査研究の収束、深度化を計る予定である。

ただし、他分野の問題も同様に、短期間において結論が求められるものでもないため、本部会としては、当面、特に対馬海峡西水道における海洋ボーリングの実施による未固結堆積層の地質・土質工学的性状の解明、さらに潜水艇等による海底状況探査の実施を期待しながら、一方では、最近技術の進展がめざましいシールド工法やリニアモーターカーなどの現状を学び、また残された基礎的な課題のひとつとしてのカートレイン採用の場合の必要ターミナル規模、搬送可能車両数等についても研究を行いつつ、上記諸案の総括をもう少し進めたいと考えている。