

日韓トンネル通信

編集/発行

特定非営利活動法人

日韓トンネル研究会

事務局：東京都千代田区飯田橋4-1-11

〒102-0072 信濃ビル6階

TEL 03-3265-8813 FAX 03-3237-1012

E-mail office@jk-tunnel.or.jp

九州支部：福岡市南区老司3-5-28-605

〒811-1346

TEL 092-556-7110

☎0120-09-2188



(報 告)講演会が行われました。

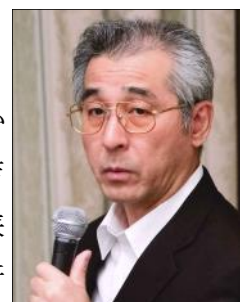
2014年6月18日(水)、アルカディア市ヶ谷私学会館で、第11回通常総会を記念する講演会が開かれた。講師は小山文男(大成建設株式会社調達本部第二調達部部长)で、テーマは「ボスポラス海峡横断鉄道トンネル～その完成までの道のり」である。



冒頭の挨拶をする野澤会長

冒頭の挨拶で野澤太三会長は、「100年ほどの歴史がある日韓トンネルは、ここ20年前頃から調査が本格化しました」と語り、それを要約したパンフレットを示し、日韓トンネルの紹介をした。

次に、講師の小山文男氏は「ボスポラス海峡を結ぶのはトルコ150年の夢でした」と語り、自己紹介で、大成建設入社後、技術研究所を経て首都高湾岸線の沈埋トンネルなどに携わり、2004年から2009年にかけて大成建設の国際支店トルコ・ボスポラス海峡横断鉄道建設工事作業所の所長として、主に沈埋トンネル部分の担当をした経緯を語った。



小山文男講師

講演は工法説明などパワーポイント75枚分、約1時間半にわたった。

当会事務局がそれを要約編集したものを以下に紹介する(文責：当会事務局)。

プロジェクトの概要

トルコの商都イスタンブールは、街を二分するボスポラス海峡により、東側はアジア、西側はヨーロッパに分かれている。人口はトルコの総人口の 20%にあたる 1400 万人に達し、東西側とも交通網の整備がすすめられてきた。しかし海峡を横断する手段は船と2つの吊り橋のみで、悪天候で通行不能になるなどボトルネックだった（図-1）。

ボスポラス海峡の横断プロジェクトは昔から考えられており、150 年前には海底パイプを沈設したなかを蒸気機関車で走る構想があった。しかし、この海峡の持つ厳しい条件①川のように早く複雑な潮流②ダイバー作業の限界である 60m の大水深③過密な船舶往来④地形の制約でトンネルの立坑構築が困難等により実現できず「トルコ 150 年の夢」と言われてきた（図-2）。

1998 年にトルコ政府は、プロジェクト実施の技術と資金の供与を日本政府に要請し、JICA がプロジェクトの必要性・技術的解決策・資金計画などをトルコ政府と協議した。その結果、1999 年に事業計画の要のボスポラス海峡横断部とそのアプローチトンネル部分の約 13.6km への円借款資本供与が決まり、大成・Gama・Nurol 共同企業体が受注し、2004 年 8 月に着工した（図-3）。

ボスポラス海峡横断鉄道トンネルの総延長 13.6km のうち海峡部 1.4km には沈埋工法が、陸上部は主にシールド工法が採用されたが、シルケジ駅や上下線の渡り線部分は山岳工法を用いた。なお、海峡部分にシールド工法を用いたのは、駅部を浅くすることで緊急時の避難時間を短縮するための入札段階からの規定によるものである（図-4）。



図-1 イスタンブールとボスポラス海峡



図-2 1860年作成の海底トンネル平面図

プロジェクト概要	
施主	トルコ共和国 運輸通信省・鉄道・港湾・空港建設総局
施主代理人	AVRASYA JV (オリエンタルコンサルタンツ他)
施工	大成・Gama・Nurol 共同企業体
契約金額	約 1,500億円 (JICA、環境円借款)
着工日	2004年 8月27日
契約工期	56ヶ月 (～2009年4月28日) →110ヶ月 (～2013年10月28日)
立場	海底トンネル部責任者

図-3 プロジェクトの概要

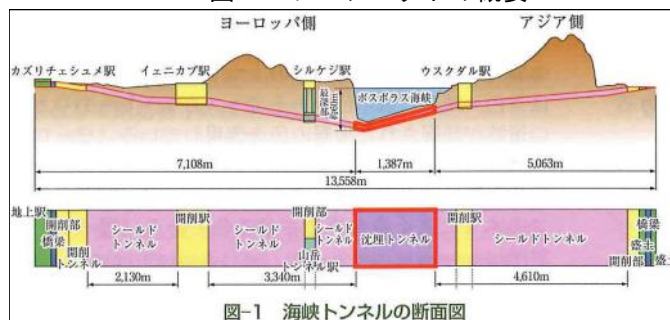


図-1 海峡トンネルの断面図

図-4 海峡トンネルの断面図

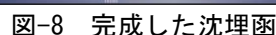
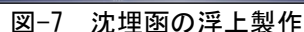
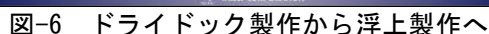
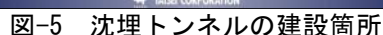
総延長 13.6km のうち、海峡部 1.4km を結ぶ沈埋トンネルはプロジェクトの核心部分で、重さ 18,000 トン、長さ 135m の沈埋函 9 函と長さ 98m の沈埋函 2 函の計 11 函からなっている(図-5)。

浮栈橋では同時に3函の製作が可能で、浮いた状態の沈埋函の上に、上壁と上床をつくった。この際、ドライドックで打設済みの下床および壁の下半分の剛性を考慮してコンクリートの打設順序を選定するなど、構造上の問題がないことを確認した。函の姿勢制御と上半分の構造物による函の下半分の変形制御がポイントとなった。この浮いた状態での鉄筋沈埋函の浮体構築は世界初である(図-7)。

完成した沈埋函は両端を鉄の蓋と止水ゴムで密閉し、海面に僅か頭が出る状態で沈埋函を沈設する現場まで曳航された（図-8）。

2004 年 11 月にドライドッグ構築をはじめ、
2008 年 9 月には全ての沈埋函製作を完了し
た。

完成した沈埋函はボスポラス海峡の 40km 離れた沈設場所まで曳航された。世界最大水深・急潮流下での沈設となるため、様々な技術



を開発した。ボスポラス海峡は北の黒海と南のマルマラ海を繋いでいるが、通常、黒海の方が水位が高く塩分が低くなっている。そのため、沈設現場付近の潮流は速く、表層最大 3m/s、下層最大-1m/s で、表層と逆方向に流れるなど複雑である（図-9）。

このような複雑な潮流に加え、沈埋トンネルでは例をみない最大 60m という大水深、船舶の過密航行という難問を克服するため、ボスポラス海峡の複雑な潮流を予測する潮流予報システムを開発した。これは現場で常時観測している水位、流速、風向、風速、気圧と気象予報を基に今後の流況変化を数分で予測するシステムで、日本で解析・予測した情報をインターネットを利用して日本と現地で共有し、その予測精度は 86%以上である（図-10）。

実際に沈埋函を設置するには海底を平らに均す基礎マウント均しが必要である。60m という大深度では潜水土による作業は危険かつ非効率的なため、沈埋函基礎マウント均し水中ロボットを開発し、船上からの遠隔操作で均し制度± 20 cmを実現した（図-11）。

沈埋函の沈設は、GPS により正確な位置を把握し、超音波のマルチビームにより函体位置や海底地形を監視し、超音波により函体間の相対位置を計測・管理して行った。

函体の接合は、既設沈埋函にゴムガスケット付きの新設函体をジャッキで引き寄せ、両函体間の海水を排水することで生じる海水圧の不均衡によるゴムガスケットの圧縮による水圧接合で行った。このときゴムガスケットは高さ 20 cmから 10 cm程度に圧縮され水中接合が完了した（図-12）。

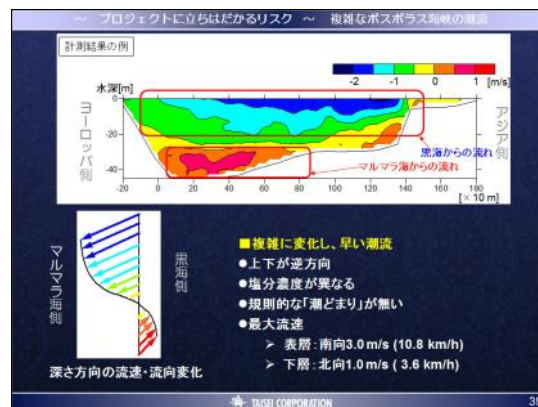


図-9 複雑なボスポラス海峡の潮流



図-10 潮流予報システム



図-11 水中ロボットによる基礎マウント均し

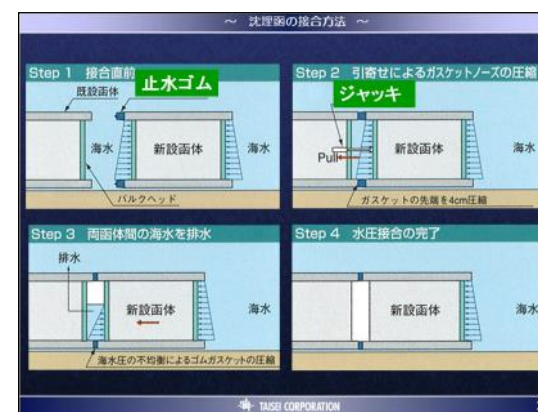


図-12 沈埋函の接合方法

◆沈埋函とシールドトンネルの接合

通常、海峡を横断する沈埋トンネルは、両側の陸地に発進・到達立坑をつくった後に、順次沈埋函を沈設・接合してトンネルを作る。またシールド工法は、シールドマシンと呼ばれる円筒形の掘削機を推し進めながら後方にセグメントと呼ばれるリングでトンネル壁面をつくる工法である。この沈埋函とシールドトンネルの接合は陸上の立坑で行われるのが通常である。

しかしこの接合方法では遠浅な地形が広がる本プロジェクトの場合、莫大な岩盤浚渫が必要となる。そのため沈埋トンネルの両端はシールドトンネルにより水中で接続するという世界初の工法を採用した。この技術で1年の工期短縮と10%の工費節減が実現できた(図-13)。

なお、水中に設置した沈埋函への作業員の出入りや物資の搬入は、沈埋トンネルのアジア側の最初の沈埋函の直上にアクセスシャフトと呼ばれる仮設立坑を設置し、地上から沈埋函へのアクセスルートとした(図-14)。

シールドマシンは海中を進むことができない。そのため海底に沈設された沈埋函の接合部分である1号函と11号函の端部をメガネ状のシールドトンネル接合用スリーブ管とする。ここにはあらかじめ充填剤を充填しておく(図-15)。

このスリーブ管付き沈埋函を沈設後、ミックスソイルと呼ばれるスラリー状セメント混合土で埋戻す。そこにシールドマシンが入ってきたら止水パッキンを入れ、その状態で凍結する(図-16)。その後、解凍すると充填剤は液体となり流れだし止水パッキンが出てくる。その止水パッキンに注水するとパッキン

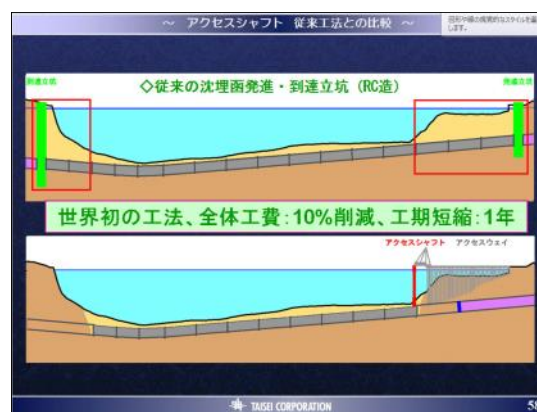


図-13 従来工法との比較

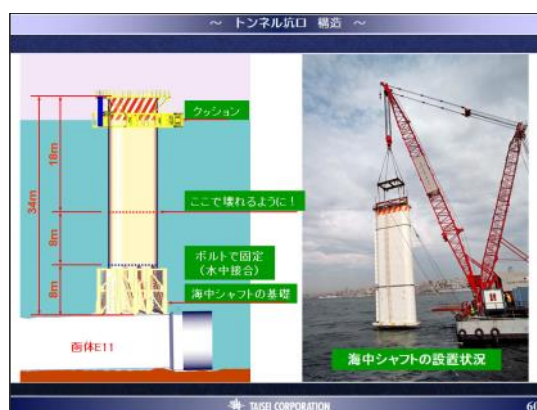


図-14 アクセスシャフトの構造と設置



図-15 シールドトンネル接合用スリーブ

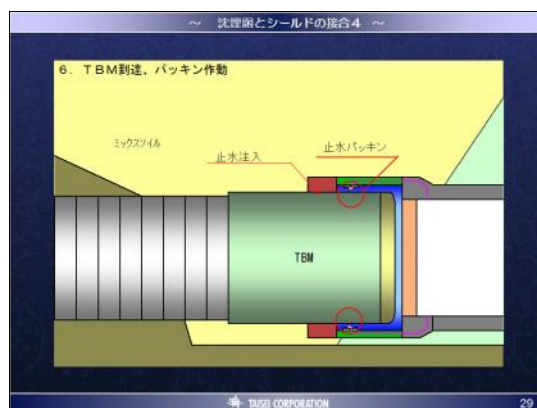


図-16 TBM到達とパッキン作動

がシールドマシン鋼殻に密着し1次止水が完了する。その後さらに止水を施したうえでシールドマシンを解体する。

なお、アクセスシャフトを経由して作業員や機材などが沈埋函内に入出入りするため、アクセスシャフトへの船舶衝突が最大のリスクとなる。そのリスク低減のため、衝突などリスク内容別の発生頻度と結果の重大性から100万人時間当たりの作業員の死亡確率を計算し、施工中の作業員の生命の安全を十分に確保できる安全対策を施した（図-17）。

◆シールドトンネル

ボスポラス海峡横断鉄道トンネルの総延長13.6kmのうち、シールド工法での掘削は10.1kmである。地質は地震国であるため堆積岩中に火成岩が陥入し、周辺が熱変成や圧力変成で粘土や玉石になっている。そのためディスクカッターの摩耗が激しく、特にアジア側からの掘削では大変苦勞した（図-18）。

◆山岳工法

シルケジ駅や上下線の渡り線部、避難連絡通路はNATM工法を活用した山岳工法で掘った（図-19）。

トルコ共和国建国90周年にあたる2013年10月29日に、安倍総理大臣立会いの下で開通式が行われた（図-20）。

150年来の夢だった海底トンネルが日本とトルコの協力により実現した。この成功は、日本の持つ開発・設計・施工技術の高さを世界に証明し、トルコの夢を実現し、今後のトルコ経済に貢献し、沈埋トンネル工法の適用範囲を大幅に拡張することになった。



図-17 船の衝突防止策



図-18 陸上トンネルを掘削したマシン



図-19 一部は山岳工法で掘削した



図-20 開通式（2013年10月29日）

【質疑応答】

講演終了後に講演に対する質疑応答があった。

質問(会場から) 日韓トンネル想定ルート上にある壱岐、対馬の2島では、島に地上駅が欲しいという声があります。これまでの研究で、対馬での地上駅設置は可能ですが、壱岐島での地上駅設置が課題となっています。本日の講演にあった沈埋函とシールドトンネルの接合技術を適用すれば、壱岐島での地上駅設置の可能性が高まると考えましたが、いかがでしょうか？

回答(小山講師) ボスポラス海峡下のトンネルをシールド工法ではなく沈埋工法を用いたのは、鉄道用トンネルのもつ勾配の制約のなかで駅部の深さを浅くするため入札の時点から沈埋工法と指定されていたためでした。駅を地上に設置するために、ある程度の深さの海中で沈埋トンネルとシールドトンネルを接続することは技術的に可能だと思います。

質問(会場から) アクセスシャフトへの船舶衝突防止策は理解できましたが、速い海流や暴風などによる破壊は考えられませんか？

回答(小山講師) 私どももそれを大変心配し、様々な実験を繰り返したうえで設計・施工しました。万一、強い外力でアクセスシャフトが変形したら自動的にハッチが閉まり、作業員は40人10日分の食料・水・トイレが備わった耐水圧で仕切られた緊急避難室に避難できます。その部屋から作業員を救出するレスキュー機能もあります。しかし計算上は大丈夫でもアクセスシャフトがある3年間はトラブルがないか心配していました。実際には何もありませんでした。

(速 報) 日韓トンネルの講演会が行われました。講演内容の詳細は本紙の次号以降に掲載します。

2014年7月31日(木)、衆議院第一議員会館の地下1階大会議室で、日韓議員・有識者特別懇談会実行委員会が主催する講演会があり、当会の野澤太三会長が「日韓トンネルが拓く新時代」をテーマに約30分間講演した。講演会には、韓国の現職地方議員ら80名と日本国内の国会議員をはじめとする有識者73名が参加した。

冒頭で野澤会長は、「韓国からのお客様をお迎えして日本の国会の足元、衆議院議員会館において



講演する野澤会長

日韓トンネルのお話をさせて戴き誠に光栄です」と挨拶し、参加者全員に配布した日韓トンネルのパンフレットを示しながら「日韓新時代に向けて日本と韓国を結ぶトンネルの計画があることを両国国民の皆様にお知らせすることが大切」と講演の趣旨を話した。

講演に入り、日韓トンネルの効果として、「一体的な社会活動や経済活動により現在よりもはるかにレベルの高い交流が実現する」と語り、実現性の高いルートとして福岡と釜山を結ぶ路線を挙げ、途中の島である壱岐、対馬、巨済島でトンネルを地上に出し、地上駅をつくる重要性を話した。

設計と施工では、50年間乗客の死亡事故が皆無の東海道新幹線の例を挙げ、「実績のある技術やその組み合わせで日韓トンネルを施工することが大切」と語った。さらに「トンネル断面は施工や維持管理メンテナンス面で単線並列型が有利で、土被りつまりトンネル上端



衆議院議員会館 地下1階 大会議室で開かれた日韓トンネルの講演会 2014年7月31日

から海底までの地層の厚さは緊急時の対応のため余裕をもって **100m が基本**」と述べた。

日韓トンネルの諸元では、「**総延長が唐津と釜山間で 270km、海底距離が 150km** であり、ルート**の曲線半径は時速 300km 以上の高速鉄道を想定して 6,000m、最大勾配は物流を考えて 12%から 15%、工期は実績のあるトンネルボーリングマシンを使用して 10 年、また工費 10 兆円**は日韓両国の国力なら選択と集中により十分に生み出せる」と語った。

利用方法では、**旅客は新幹線と韓国高速鉄道 KTX の相互乗り入れ**で行き来し、**貨物はコンテナに特化し、車は列車に載せてトンネルを通過するハイウェイトレイン**を提案した。

日韓トンネルの実現については「**公的資金の活用のため両国トップの決断が極めて重要で、それを支える国民の理解と協力が最大の課題**」と述べた。

具体的な協力の仕方では「**日本と韓国が仲良くなるために自分ができることは何かを考え、それを実行すれば日韓トンネルを支える『心のトンネルを掘る』ことになる。それは誰**

もが可能」と力強く講演を締めくくった。

講演後の質疑応答では、韓国側参加者から「**侵略をうけた立場から日韓トンネルに否定的な感情があるがどう考えるか**」という質問が出た。それに対し野澤会長は、戦火を交えることが幾度もあったイギリスとフランスの間に英仏海峡ができた歴史的事実を挙げ、日韓間においても日韓トンネル推進と並行して**二度と不幸を繰り返さない枠組み**をつくり、往来の可能性と自由度が格段に広がる日韓トンネルを、幸福を運ぶ『**幸福トンネル**』、平和を維持する『**平和トンネル**』と呼ぶことを提案し、会場から拍手喝さいを浴びた。

また韓国側参加者からの「**工費 10 兆円で経済的妥当性はあるのか**」という質問に対し、野澤会長は、「日韓トンネルの効果を通常のコスト対効果の計算方式に、トンネルによる安全性の向上、行動圏の拡大、代替性の高まりを計数化し、さらに両国の国民が得られる幸福度を計数化して加える**グロース・ナショナル・ハッピーネス GNH**という指標で測れば日韓トンネルも十分にお役に立つ」と回答した。