大規模締切工法による海底道路トンネルの建設

大成建設（株）土木本部土木設計部　　正会員　○野勢辰也、外山雅昭
大成建設（株）ＵＡＥパームジュメイラ海底トンネルＰＪ　田村克己、望月明彦、大井純

１．はじめに

現在、アラブ首長国連邦ドバイで開発中の人工島「パームジュメイラ」において、パームツリー形本島と外環島を結ぶ全長約 1.4km の海底道路トンネルが建設中である．本工事では、30 万m^{2}に及ぶトンネル建設海域を築堤と自立式鋼矢板からなるコファーダムにて大規模締切を行い、トンネル RC 躯体をドライ施工（現場打設）する工法（以下、「大規模締切工法」）を採用した．本稿では、工事概要および大規模締切工法の計画･施工実績について報告を行う．

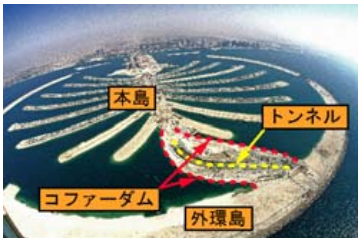

写真-1　パームジュメイラ全景

２．工事概要

(1) トンネルの線形および構造

本トンネルの縦断図および断面図を図-1 に示す．渡海部中央の指定航路部において 10m の水深を確保するため，トンネル部(L=969m)は最大勾配：6%、最深部躯体下端レベル：約 23m の縦断線形を持ち、両側アプローチ部(L=429m)に繋がる．構造形式は、鉄筋コンクリート 3 室ボックスカルバートで、3 車線道路 2 本と緊急時避難路兼用のサービストンネルからなる．

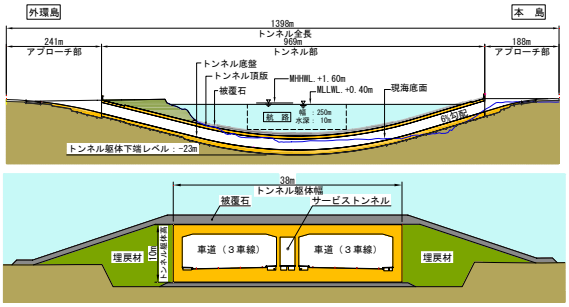

図-1　トンネル構造

(2) 自然条件

渡海地点の代表的な地層構成及び透水係数を図-2 に示す．海底面近傍では砂岩とカルカリナイト（貝殻片･サンゴ片を多く含む多孔質固結砂岩）が互層をなし、その透水係数は 10^{-3}cm/sec オーダーと比較的大きい．海象条件は、外環島にて外海から遮蔽されているため比較的穏やかで、潮位変動は 1.2m 程度である．

表-1　大規模締切工法と沈埋トンネル工法の比較

比較項目	大規模締切工法	沈埋トンネル工法
渡海仮設道路の開通時期	○ 締切内水替工完了後 （着工後 15 ヵ月）	× 全沈埋函の敷設が完了後 （着工後 27 ヵ月）
資機材調達	○ 特殊な資機材の調達は不要	△ 沈設船･艤装品等の現地調達が困難な資機材が多い．
その他の懸案事項	締切遮水性の確保 海洋生物への影響	ドライドック建設地点の確保

３．大規模締切工法の計画

(1) 工法の比較選定

着工後 18 ヵ月以内での渡海仮設道路供用という顧客要望に応えるべく、当初提案の沈埋トンネル工法に代わり、上述の「大規模締切工法」を立案した．両工法の比較概要を表-1 に示す．締切の構造形式は、築堤+自立式鋼矢板構造（図-2 参照）で、トレンチ浚渫土を転用して水面下 2～3m まで築堤した後に自立式鋼矢板（堤体内遮水矢板を兼用）を水面上まで打設するコファーダムを構築するものである．

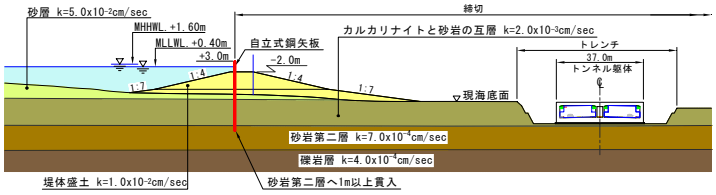

図-2　締切構造

キーワード　海底道路トンネル、ドライ施工、大規模締切、築堤、自立式鋼矢板、コファーダム
連絡先　〒163-0606　東京都新宿区西新宿 1-25-1　大成建設（株）　土木本部土木設計部　ＴＥＬ03-5381-5419

(2) 締切内湧水量の把握

経済的かつ確実な大排水工･水替工を計画するために、図-3 に示す 2 次元定常浸透流解析を実施し､締切内への湧水量と遮水矢板根入れ長との関係を把握した．その結果、遮水矢板をカルカリナイト層を貫通して砂岩第二層に 1m 以上根入れさせた上で、[堤体法尻部でのウェルポイント]および[床付面でのトレンチ＋釜場排水]からなる水替工システムを稼働させることにより、総湧水量は 1,507m^3/hr まで低下し、約 30 万 m^2 の仮締切内のドライ状態維持が可能であることが確認された．本解析結果に約 50%の余裕を考慮して、水替工システムの排水能力は 2,200m^3/hr とした．

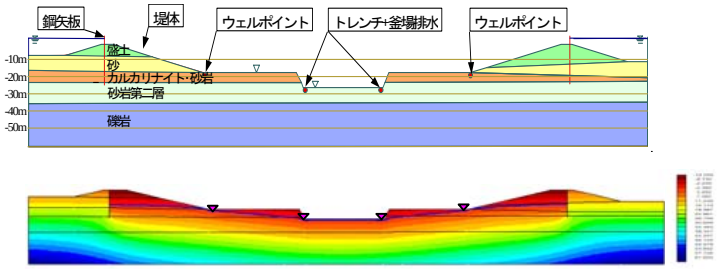

図-3　浸透流解析結果

(3) 大排水工の検討

上記浸透流解析によって得られた締切内湧水量が締切内水位の低下に応じて増加し最終湧水量に至るとの仮定に基づき大排水工の検討を行った．その結果、7,500m^3/hr の排水能力を確保することにより、大排水完了までの期間が 25 日間、総排水量が 466 万 m^3 になると予測された．

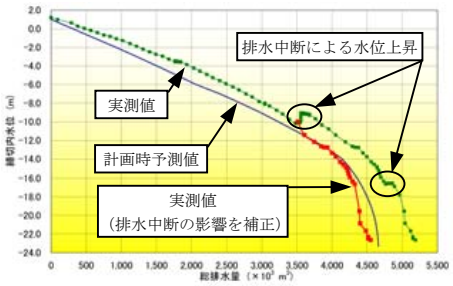

図-4　大排水工実績（排水量と締切内水位）

4．施工実績

(1) 大排水工

大排水時における排水量と締切内水位の関係について、実測値と予測値を比較した結果を図-4 に示す．大排水完了時における総排水量の実測値は 519 万 m^3 であり、ポンプ故障による排水中断の影響を補正すると、451 万 m^3 となる．計画時における予測値（466 万 m^3）との誤差は 3%に収まっており、計画に用いた検討手法が実用上十分な妥当性を有していたと言える．

(2) 水替工

大排水後における締切内湧水量は、大排水完了直後に 1,900m^3/hr の値が観測された後は暫減し、現在では平均 1,670m^3/hr にて安定しており、採用した締切構造は安定した遮水性能を維持している．また、安定後の湧水量（1,670m^3/hr）と浸透流解析による予測値（1,507m^3/hr）との誤差は 11%程度であり、計画に用いた浸透流解析が実用上十分な精度を有していることが確認できた．

5．おわりに

本工事では、30 万 m^2 に及ぶ広範囲の海域をドライアップするというユニークな発想により、外環島への渡海仮設用道路の早期確保という顧客要望を実現した．また、経済的かつ安定した水替工システムの計画・実施により、海象条件に左右されない通常の陸上工事稼働率を確保している．一方で、環境への影響を最小限に留める方策にも積極的に取り組んでおり､特に海洋生物救出工での成果（締切内に閉じ込められた 35 種･約 2000 匹に及ぶ貴重な魚類を生け捕り、安全海域へ放流）は顧客・地元からも高い評価を得た．

本工事の実績が今後同種工事を計画する上での一助となることを期待している．

写真-2　締切工（鋼矢板打設）

写真-3　躯体構築工