

No. 3

エジプト・アラブ共和国
アハムド・ハムディ・トンネル改修計画
基本設計調査報告書

平成4年2月

国際協力事業団

エジプト・アラブ共和国
アハムド・ハムディ・トンネル改修計画基本設計調査報告書

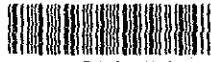
平成4年2月

国

405
61.4
GRS

無調二
92 001

JICA LIBRARY



1097045(7)

2363 2

エジプト・アラブ共和国
アハムド・ハムディ・トンネル改修計画
基本設計調査報告書

平成4年2月

国際協力事業団

無調二

CR (1)

92 - 001

国際協力事業団

23633

序 文

日本国政府は、エジプト・アラブ共和国政府の要請に基づき、同国のアハムド・ハムディ・トンネル改修計画にかかる基本設計調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は、平成3年6月23日から7月4日まで外務省経済協力局無償資金協力課長の中村 滋氏を団長とする基本設計調査団（フェーズ1）を、また平成3年8月1日より9月20日まで建設省土木技術研究所トンネル研究室長の猪熊 明氏を団長とする基本設計調査団（フェーズ2）を現地に派遣しました。

調査団は、エジプト政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施いたしました。帰国後の国内作業の後、日本道路公団技術部調査役の岩井 勝彦氏を団長として、平成3年11月21日から12月1日まで実施された報告所案の現地説明を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告所が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

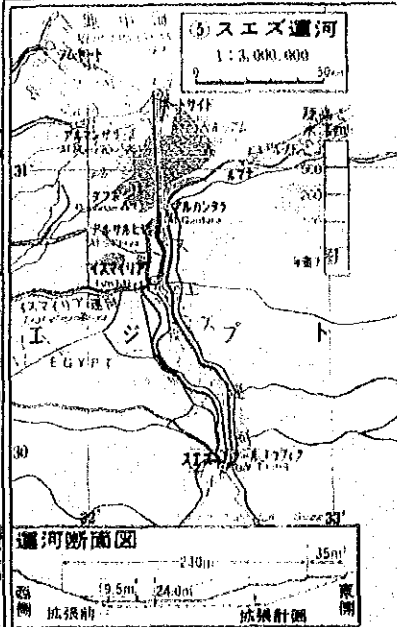
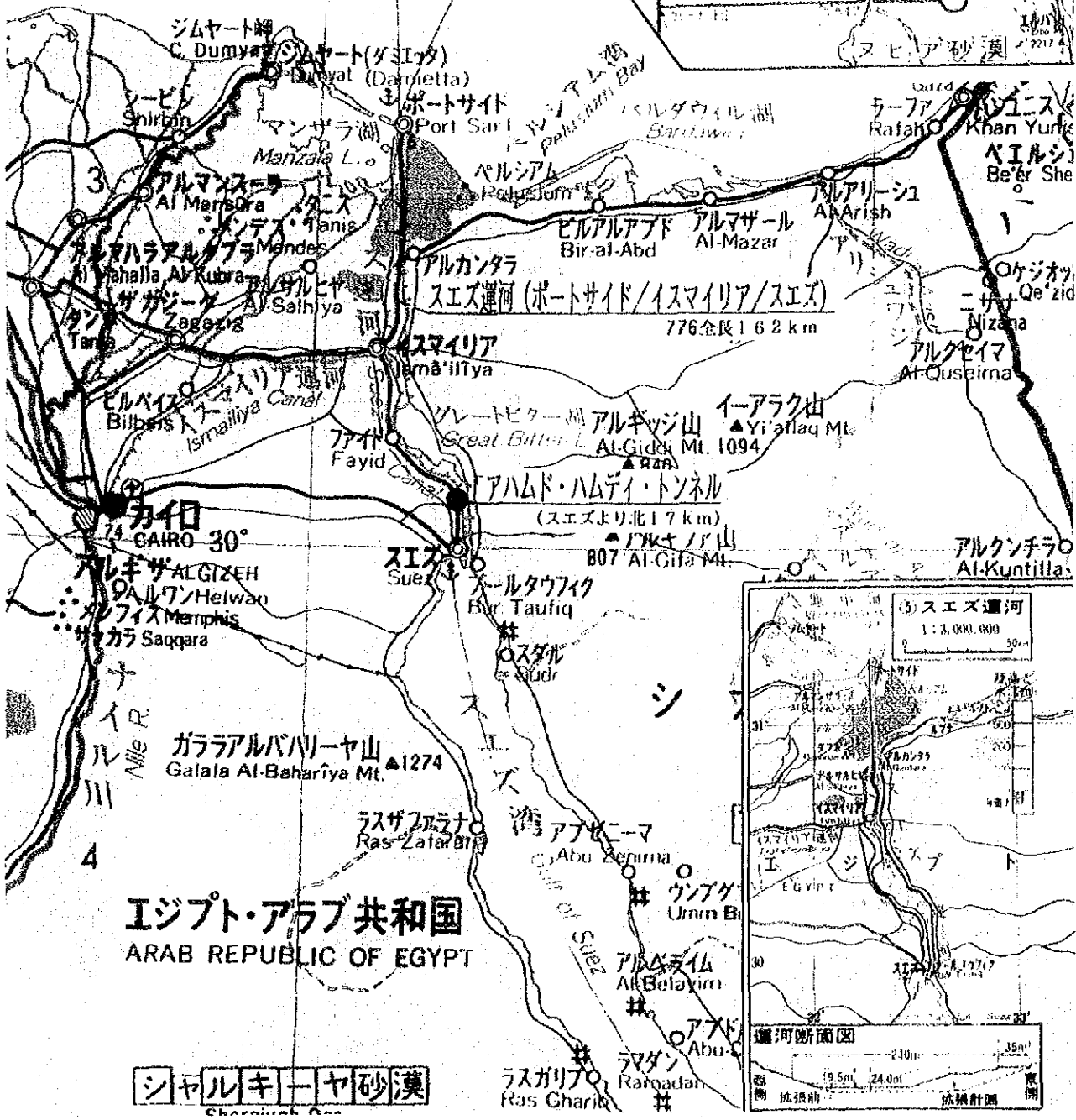
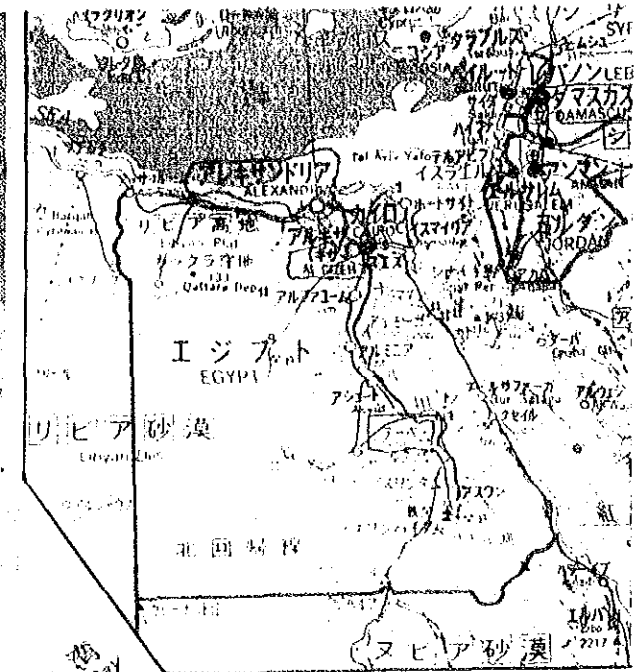
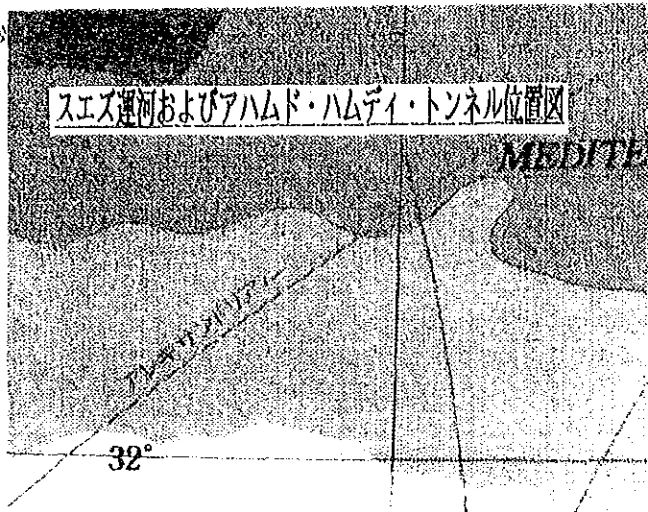
終りに、調査にご協力とご支援をいただいた関係者各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成4年2月

国際協力事業団

総裁 柳谷 謙介

スエズ運河およびアハムド・ハムデイ・トンネル位置図

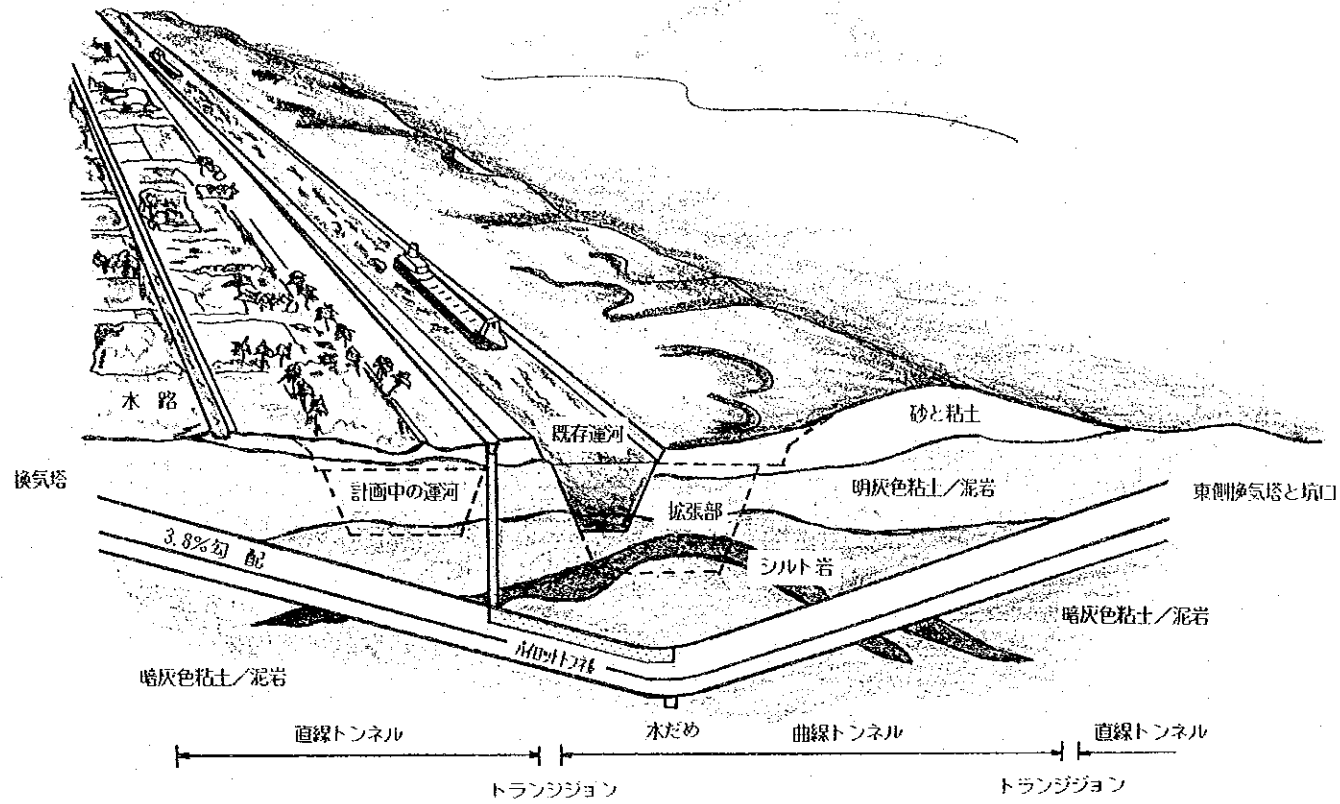


シャルキーヤ砂漠
Cherchik Desert

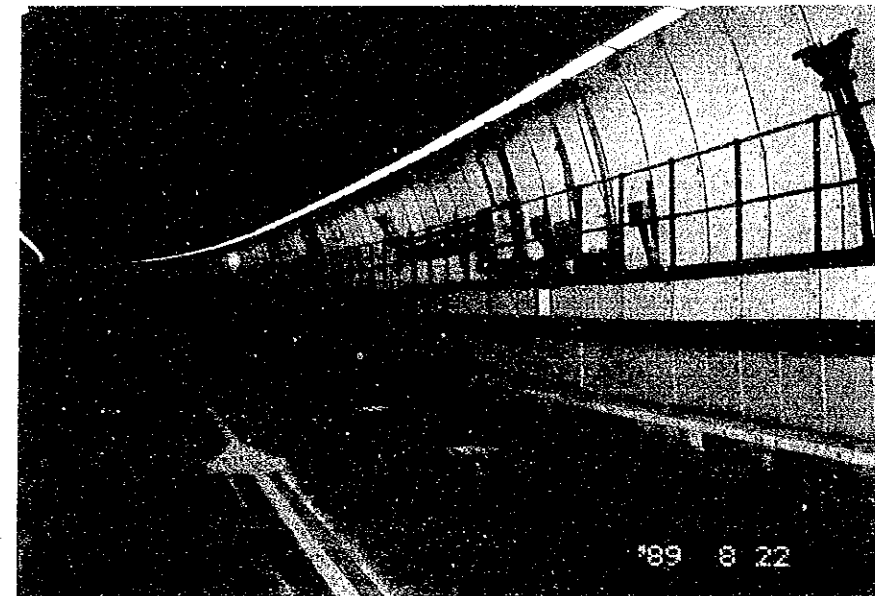
アハムド・ハムディ・トンネルの概要

経緯の概要

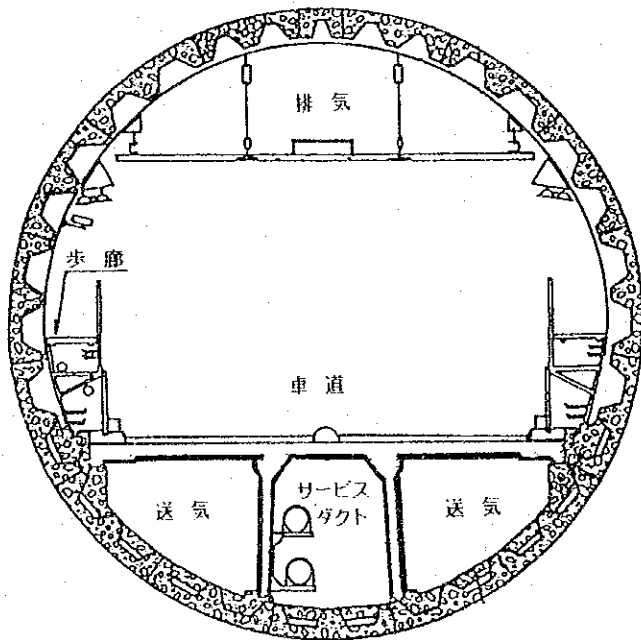
スエズ運河の下51mの深さで横断する AHMED HAMD1 トンネルは、1983年にシールド工法で施工され、供用開始された。その規模、短期の工事期間など、当時としては世界的な技術の成果と言われていた。しかし、その後漏水による塩害により、トンネル全体に渡る劣化の問題が発生した。



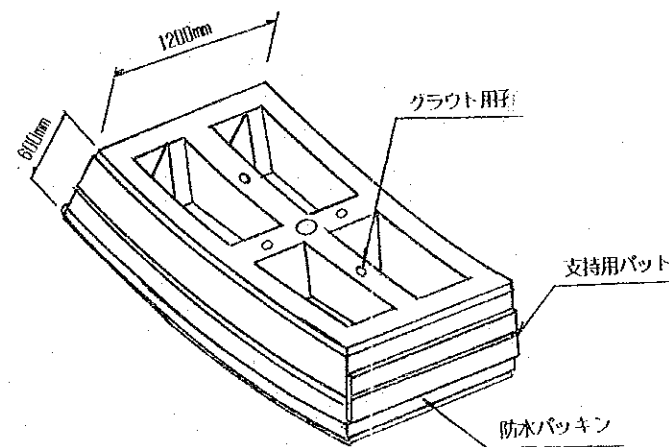
トンネル縦断モデル図



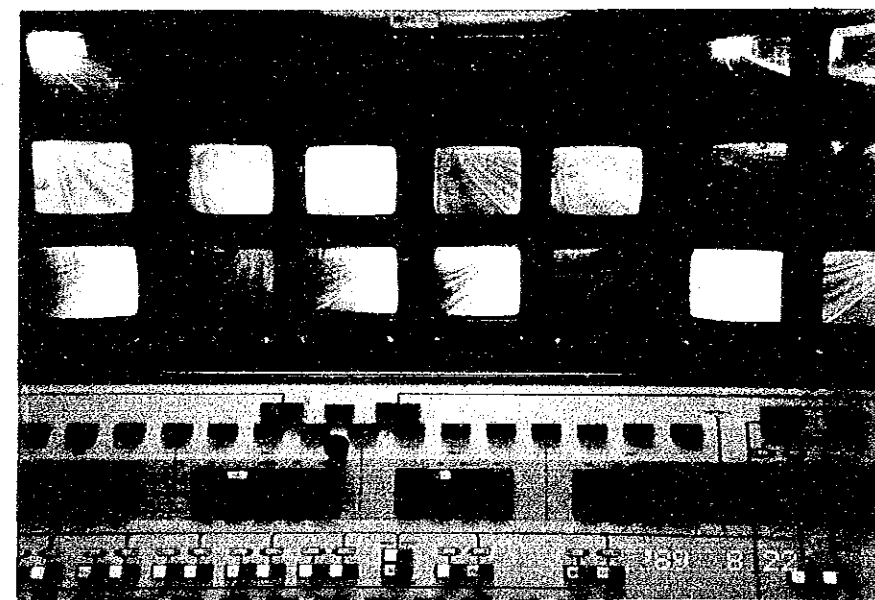
トンネル内全景



トンネル断面



セグメント図

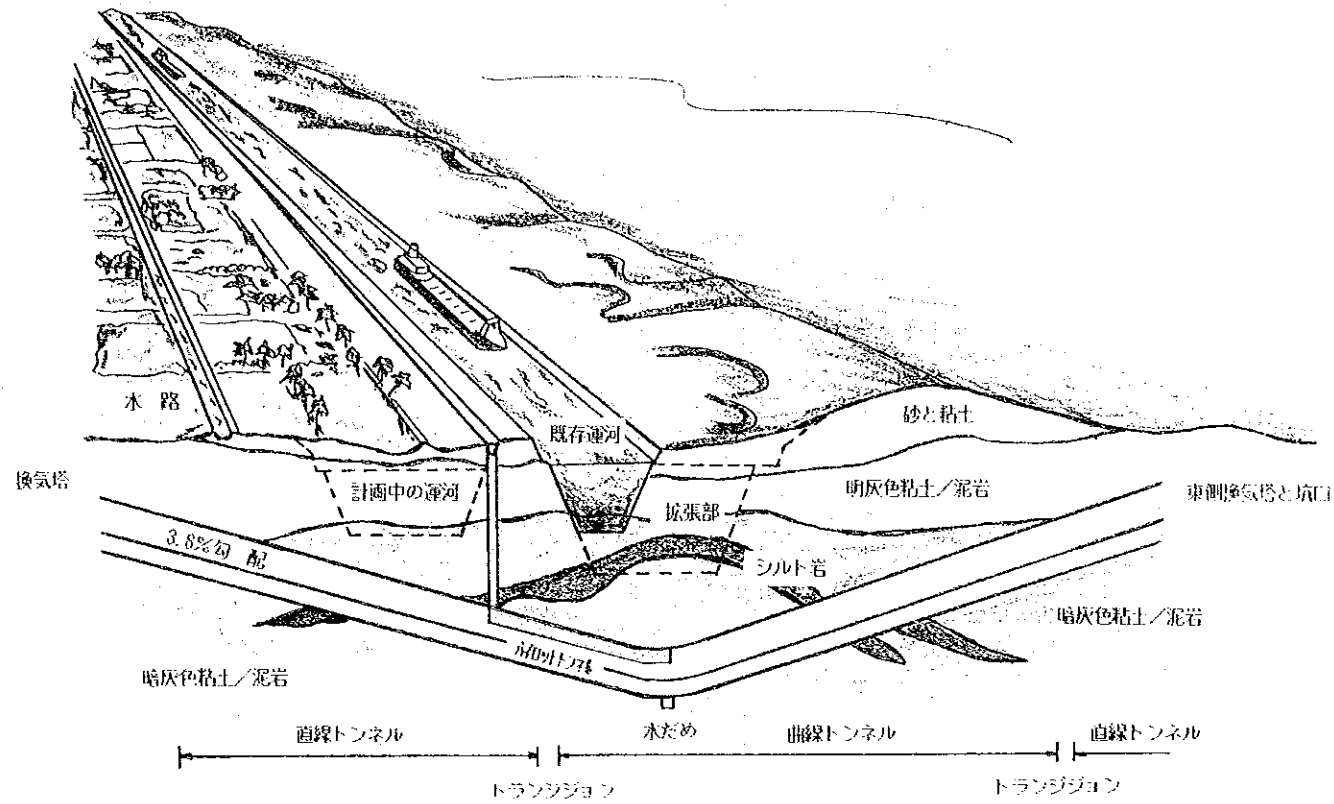


コントロールルーム

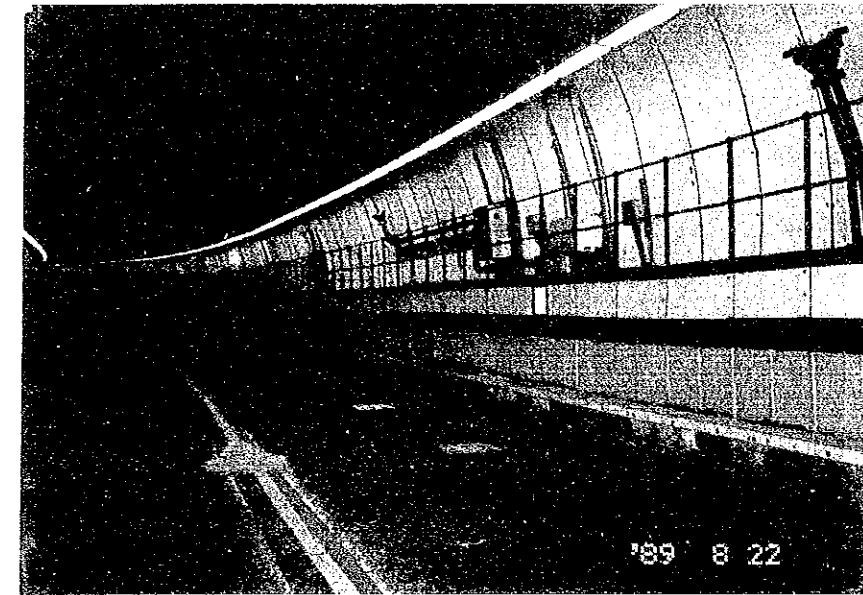
アハムド・ハムディ・トンネルの概要

経緯の概要

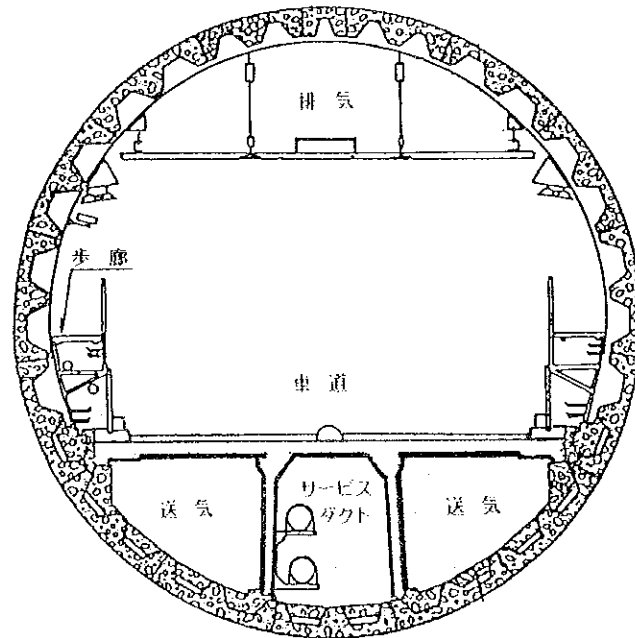
スエズ運河の下51mの深さで横断する AHMED HAMDY トンネルは、1983年にシールド工法で施工され、供用開始された。その規模、短期の工事期間など、当時としては世界的な技術の成果と言われていた。しかし、その後漏水による塩害により、トンネル全体に渡る劣化の問題が発生した。



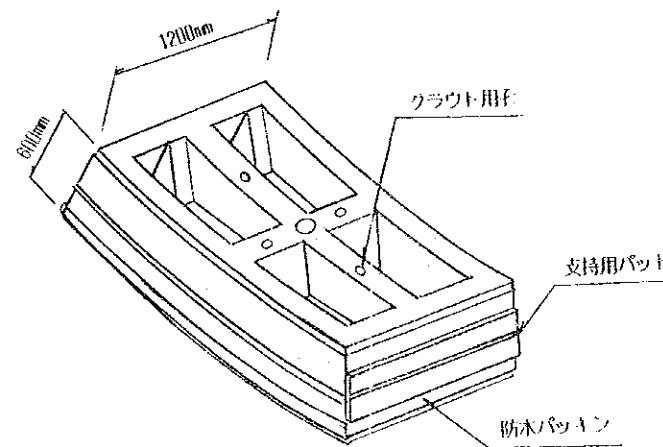
トンネル縦断モデル図



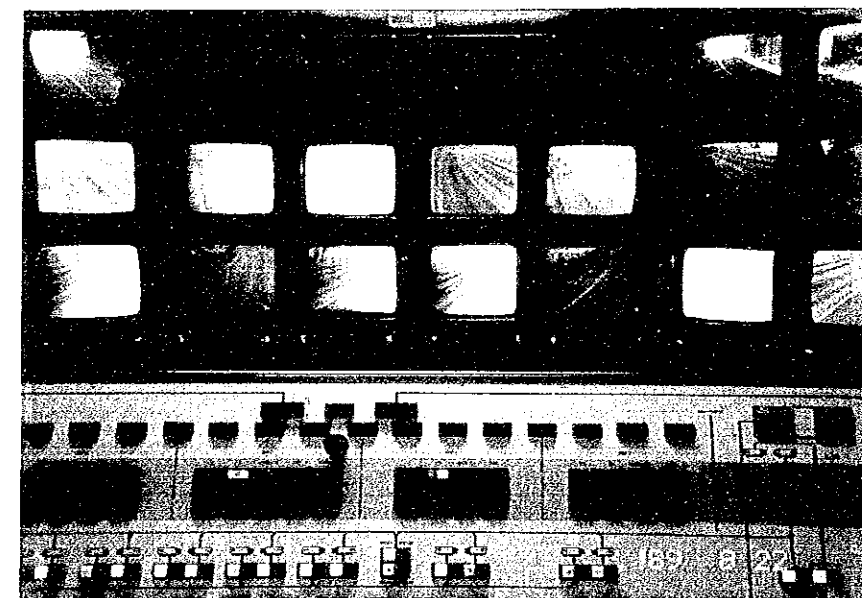
トンネル内全景



トンネル断面



セグメント図

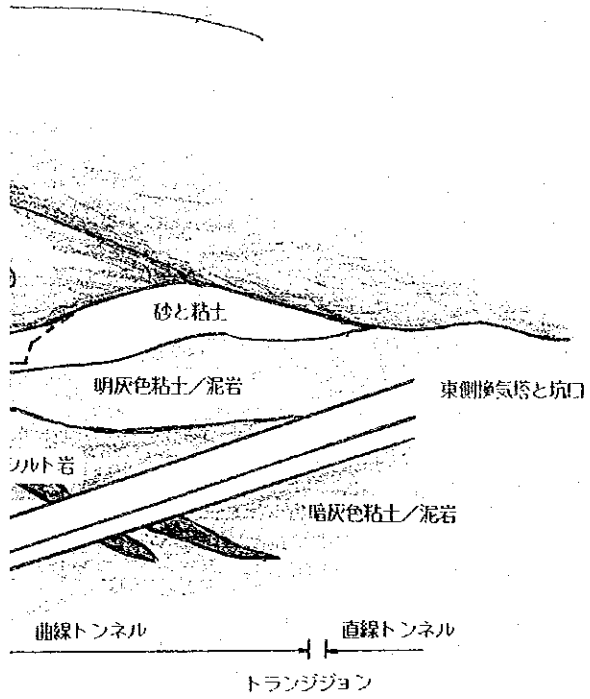


コントロールルーム

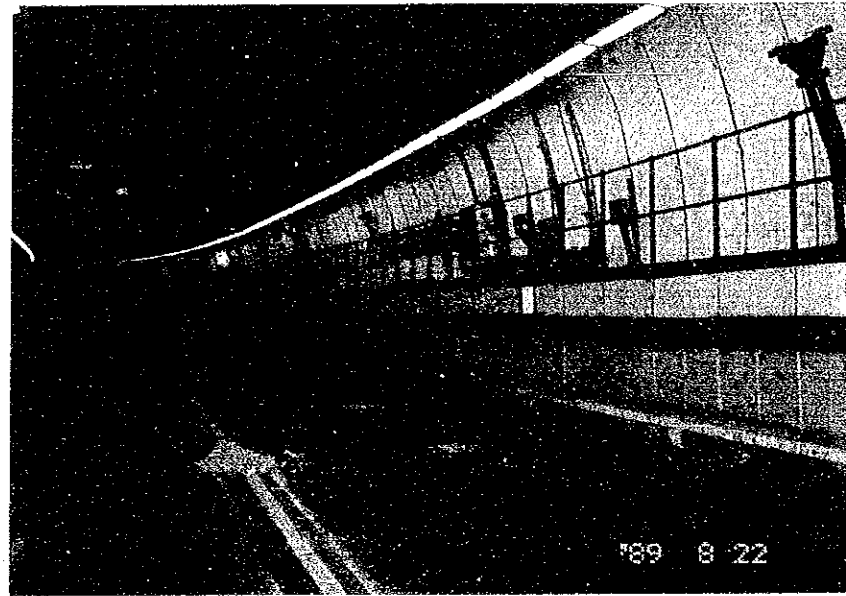
アハムド・ハムディ・トンネルの概要

経緯の概要

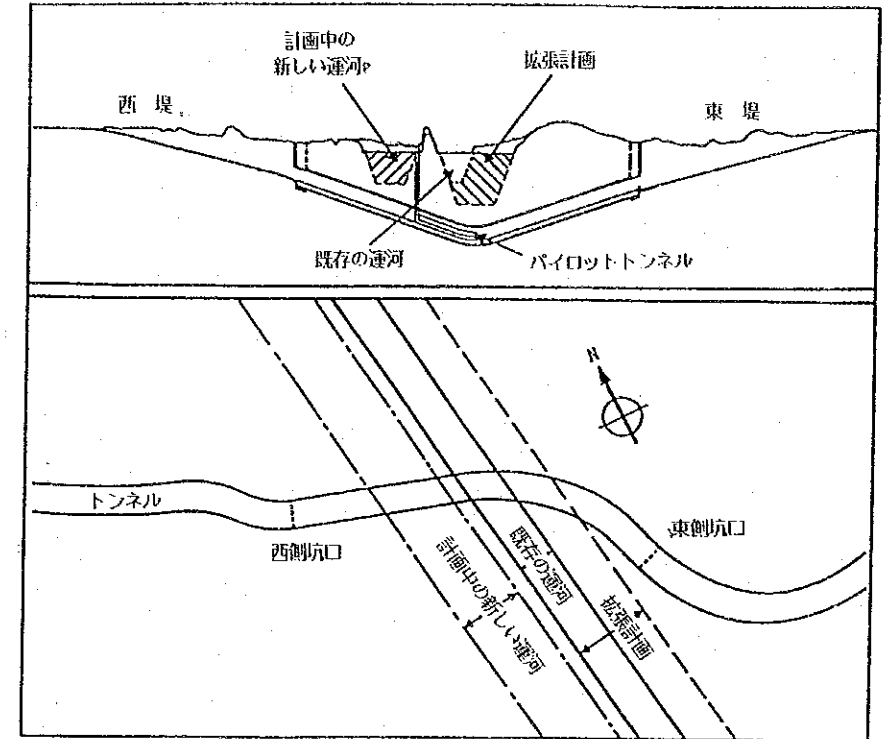
スエズ運河の下51mの深さで横断する AHMED HAMDI トンネルは、1983年にシールド工法で施工され、供用開始された。その規模、短期の工事期間など、当時としては世界的な技術の成果と言われていた。しかし、その後漏水による塩害により、トンネル全体に渡る劣化の問題が発生した。



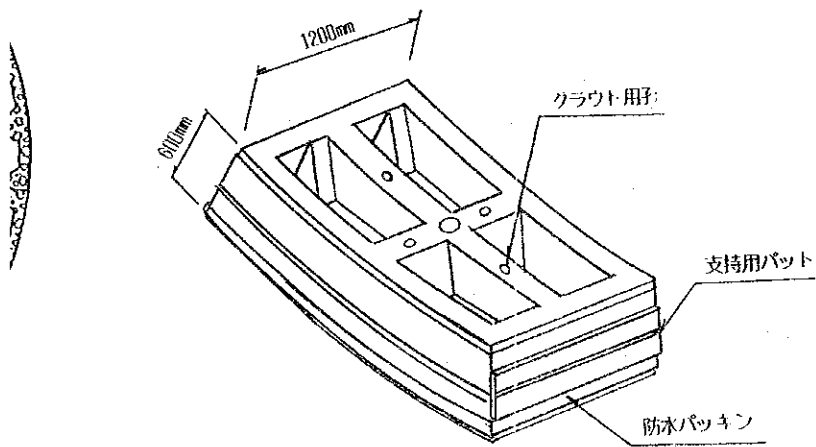
図



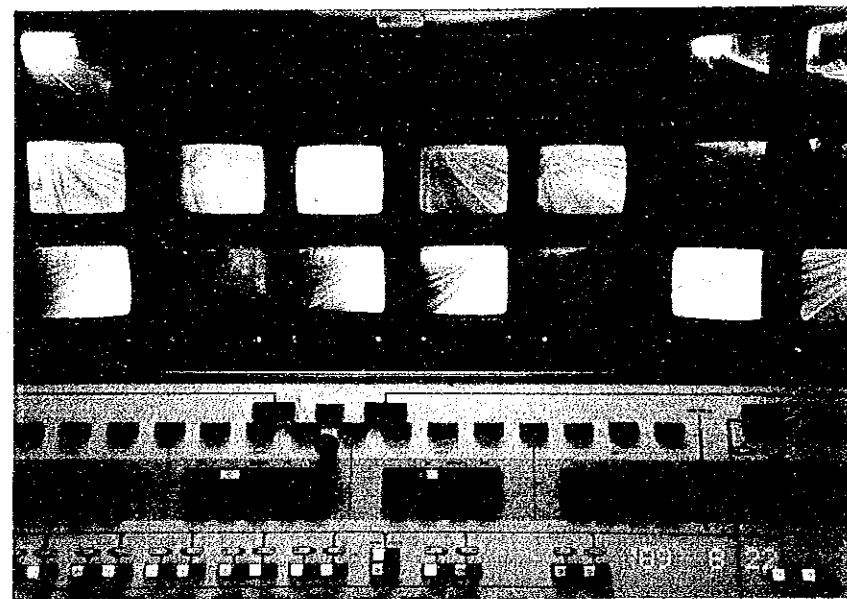
トンネル内全景



概略全体図



セグメント図



コントロールルーム

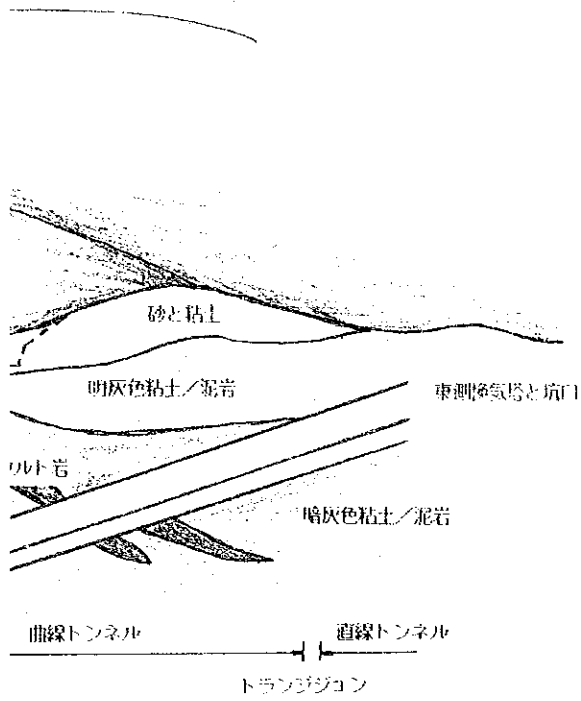


劣化状況

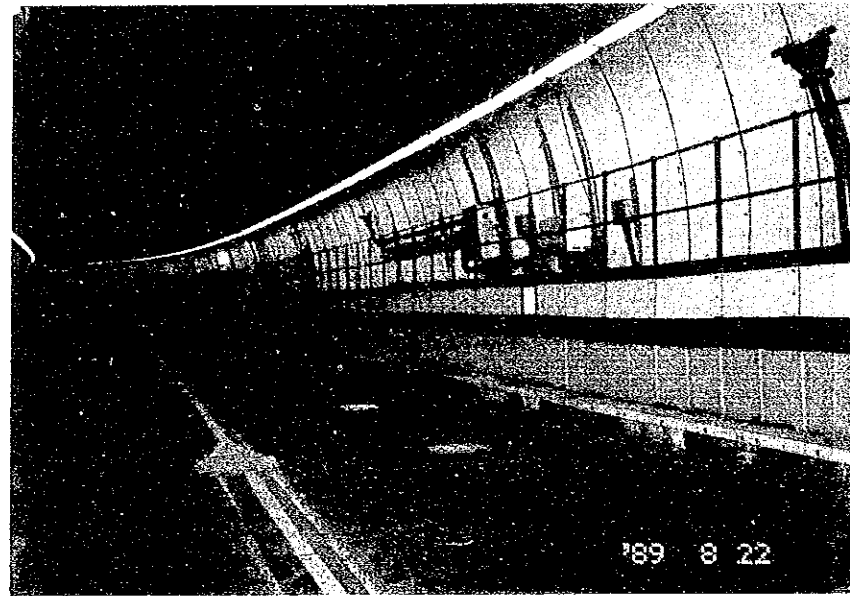
アハムド・ハムディ・トンネルの概要

経緯の概要

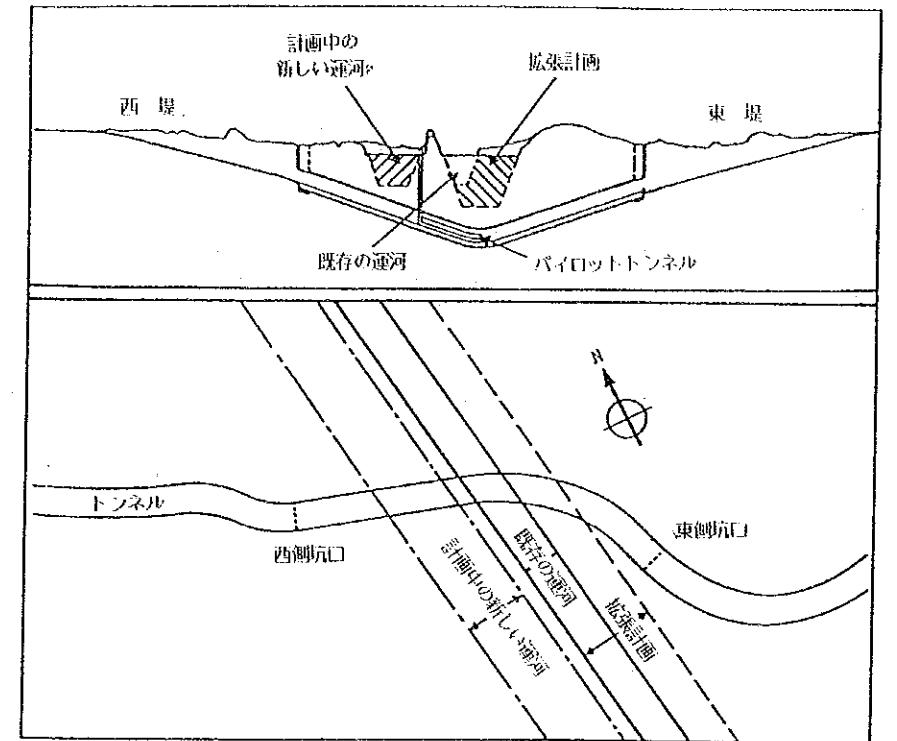
スエズ運河の下51mの深さで横断する AHMED HAMDI トンネルは、1983年にシールド工法で施工され、供用開始された。その規模、短期の工事期間など、当時としては世界的な技術の成果と言われていた。しかし、その後漏水による塩害により、トンネル全体に渡る劣化の問題が発生した。



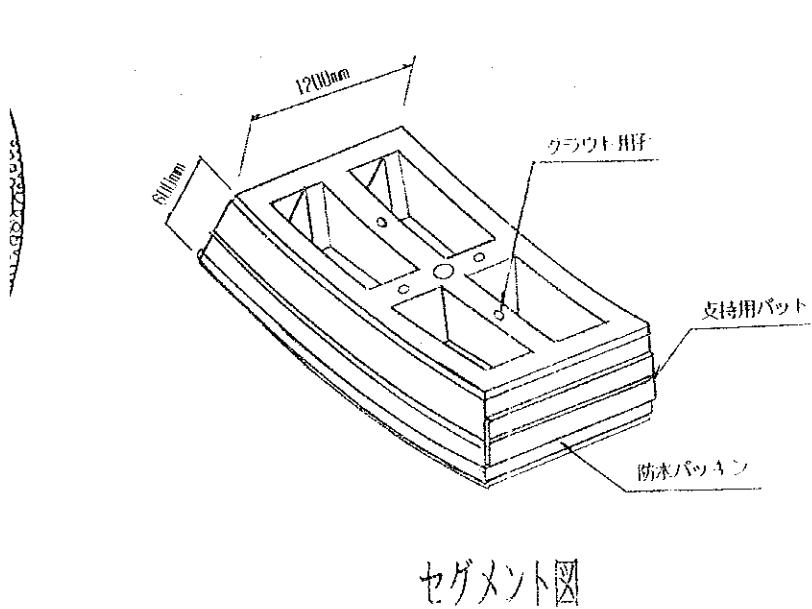
図



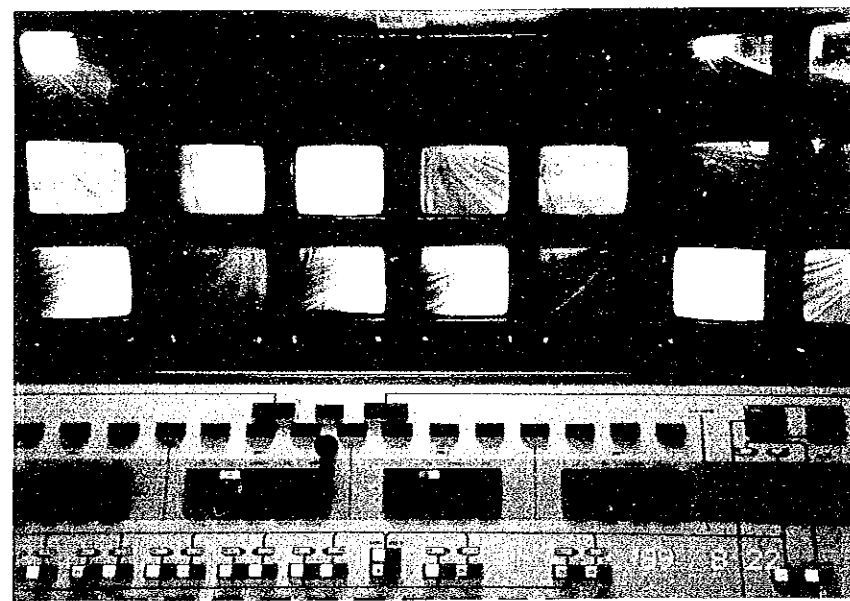
トンネル内全景



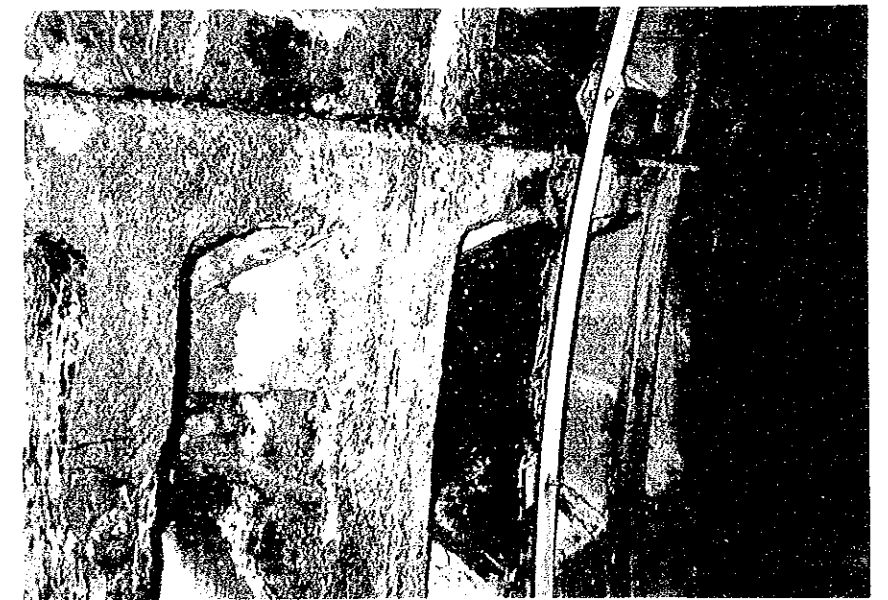
概略全体図



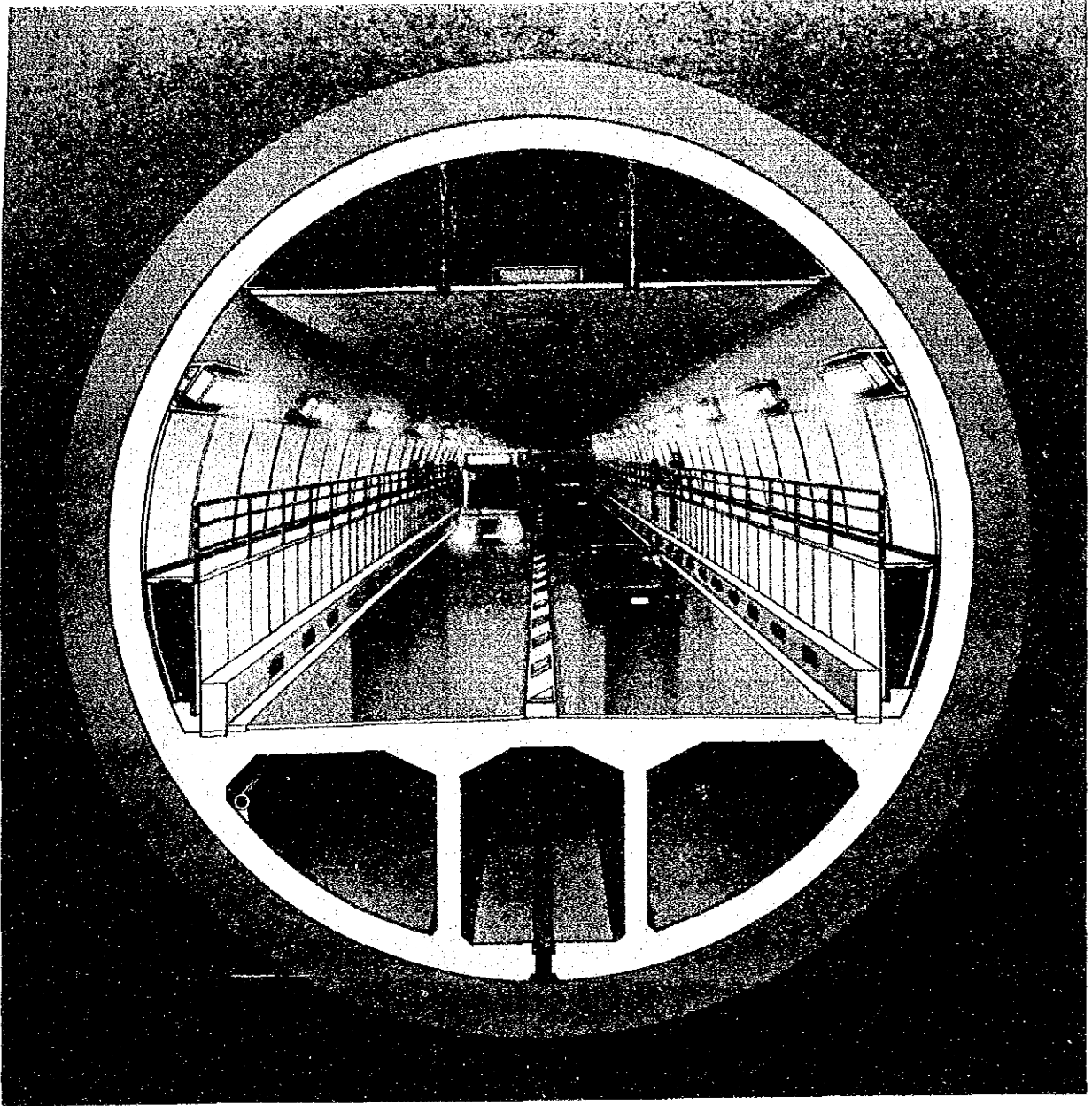
セグメント図



コントロールルーム



劣化状況



改修工事後のトンネル断面

要 約

要 約

エジプト・アラブ共和国は、アフリカ大陸の北東部に位置しており、北方に地中海、東方に紅海に面した長大な海岸線を有している。国境は、西方にリビア、南方にスーダン、シナイ半島の東では、イスラエルに接している。エジプトの総人口は、約5,140万人(1988年センサスによる)で、首都カイロ市の人口は1,200万人である。総面積約100万km²のうち、居住地、および、可耕地は、ナイル河流域と、河口部の三角州地帯、地中海沿岸の一部に限られていて、国内の大部分は砂漠である。

エジプトは、歴史的に、ナイル河の恩恵を受けて発展してきた。エジプトの経済構造は農業部門に支えられているが、近年、離村農民の都市流入に加えて、外貨獲得のために、綿花、果実、野菜等の輸出農産物が重点生産されてきた結果、穀物生産量が減少し、食料自給率が低下している。

この計画の中で特にエジプト・アラブ共和国政府は、スエズ運河両岸とシナイ半島地域における開発に重点をおき、特に、シナイ半島地域の農業、牧畜業、製造業、鉱業、観光等の部門を積極的に開発することによって、従来の穀物、牧畜の単一経済を多角化、自立化した、複数の産業部門を有する経済に再編成することに努力している。また、エジプト本土における余剰労働人口の恒久的な入植を可能にするための良好な環境を確保するために、今後、過酷な砂漠性気候下にあるシナイ半島の全域にわたって、道路、灌漑、水利分野における重点的投資をすすめて、経済、文化、政治のあらゆる面で、シナイ半島をエジプト本土に統合する政策的目標を策定、実施中である。

アハムド・ハムディ・トンネルは、スエズの北約17kmの地点に位置し、スエズ運河の下を横断する延長1640mの2車線の道路トンネルであり、日交通量約1200台、ピーク時には5000台/日の交通量を有している。本トンネルはエジプト本土とシナイ半島を結ぶ唯一の道路として重要な機能を有するのみならず、本トンネル内には、上水道管や電話線等も通っており、ライフラインとしての機能も有し、シナイ半島の住民にとって死活を制する施設であるばかりでなく、上記のシナイ半島開発の大きな鍵を握っている。

本トンネルは、エジプト・アラブ共和国開発省により建設、1983年6月に供用され、1986年には運営管理はスエズ運河庁に移管され、現在に至っている。しかしながら、本トンネルは、供用後わずか9年を経過したにすぎないが、塩化物を含んだ水の漏洩によ

り、コンクリートセグメント、道路床版の劣化が激しい。このため、スエズ運河庁も調査、維持、修理等に多額の費用をつぎ込んできたが、それにもかかわらず、トンネル構造上、効果的な止水対策を施せないことから、年を追う毎にトンネル構造の強度は急速に落ちており、もはや構造力学的に安全性を確保することは非常に困難な状態となっている。

一方、スエズ運河庁は、本トンネルの上を通過するスエズ運河の拡張を計画しているが、拡張工事は下部のトンネルの安全性に影響を与える恐れがあり、本トンネル構造の補強無しには拡張工事の実行が無理なため、拡張工事計画の実施が遅れているのが現状である。

以上の背景から、1989年エジプト・アラブ共和国政府は日本国政府に対し、専門家による調査の実施を要請した。これに対し、国際協力事業団より専門家チームによる技術協力調査団を2回派遣し、同トンネルの具体的補修方法をエジプト側に提案した。

以上の経緯から、1990年8月エジプト国政府は、同調査結果に基づき、同トンネルの改修について、日本国政府に無償資金協力の要請をし、この要請に対し日本国政府は、本改修計画に関する基本設計調査を行うことを決定し、国際協力事業団は1991年6月より12月まで3回にわたり調査団を派遣した。

上記現地調査とそれに続く解析作業により次のことが判明した。

- トンネル構造躯体としてのコンクリートセグメントの劣化が著しく、もはや構造力学的に安全性を確保することは非常に困難な状況となっているため、改修補強工事を早急に実施する必要がある。
- 幸い、現トンネルセグメント内径は10.4mであり、その内側に巻立てコンクリート覆工を施工しても必要な道路交通機能は確保できる。
- コンクリート劣化は道路床版にも及んでいることから、現在は安全性確保の面から通行速度を20km/hと制限しており、点検・保守のため随時片側閉鎖の一車線通行を実施するなど道路トンネルとしての輸送機能が著しく低下している。しかしながら、現時点で改修すれば計画通りの安全性と道路機能を低下させることなく完全に回復できる。
- 新しいトンネル覆工、ならびに道路床版に使用する水、セメント、および骨材はエジプト国内において、再び同じ劣化の原因となる恐れがないものを調達することが可能である。
- スエズ運河庁は現在、トンネルの調査、維持、管理のために、年間平均約5700万円の費用を投入している。

-1990年の年平均日交通量は、2方向合計で約1200台であり、大型車混入率は約40%である。換気等、設備能力時間当たり1500台からすれば当面の大幅な需要増にも今世紀中は対応しうると予測される。

調査団は、上記解析結果をふまえて、諸案の比較検討を行ったうえで、以下の通り本計画設計案を策定した。

-トンネル構造の安全性を回復するとともに、トンネル改修後、再び同じ劣化を起し、大規模な改修を必要としないトンネル構造とし、改修対象区間はトンネル全長1640mとする。

-このため、既設のトンネル構造の内側全面に厚さ2.0mmの防水シートを施した後、新しい厚さ45cmの鉄筋コンクリートの覆工および道路床版等を施工し、トンネルの耐久性確保を考慮して、新しいトンネル覆工の鉄筋かぶりを70mmとする。

-水深27mの運河の拡張工事による物理的影響に対しても充分耐え得るトンネル構造とする。

-現在の交通機能、容量ならびに排水機能を確保する。道路幅員構成、建築限界は現行トンネル（幅7.5m、高さ5.0m）と同等とする。

-換気設備は現有のものをできるだけ再利用することを原則として、トンネル運用上、実際に必要とする換気量ならびに経済性を考慮し、横流式を最終選定した。

-道路施設（天井板、照明、化粧板、消火設備など）および付帯設備（水道管、電力、通信ケーブルなど）は、主として経済性の面から再利用することを原則とした。

-トンネルの排水システムでは、排水は、防水シートの外側に配置する透水性の良い厚さ7.0mmの不織布を通して、インバート部に集水され、十分な大きさをもつ集水溝を通して集水樹に集められ、排水ポンプによりトンネル外側に排水されるものとする。

-本改修工事に沿って、早期着工、最短工期を図り、トンネル下部工は4工区に分け、機械化平行作業をとりいれている。

-現在トンネル内に設置されている水道管は、安全性、経済性、施工性、および将来の維持管理等を考慮して、トンネル外に敷設することが最良と判断した。

敷設ルートは、スエズ運河伏越横断部を含む陸上部となる。2本の水道管のうち1本目をまず全線敷設し、通水する。1本目の完成通水後、トンネル内既設管を撤去、再利用可能なものを選定し、2本目の水道管を敷設する。

-改修工事後のトンネル標準断面は図-1に示す通りである。

本計画を日本の無償資金協力により実施する場合に必要な総事業費は、総額約94.2億

円（日本側78.9億円，エジプト側15.3億円）と考えられる。

このためのエジプト側の負担分は次のとおりである。

- 水道管敷設のための土工事（運河伏越部の浚渫、陸上部の掘削工事）
- スエズ運河庁が保有している鑄鉄水道管在庫を水道管の一部に採用
- 天井板材料（素材のみ）
- 工事用の電力、水、ならびに通信回線
- 工事用の仮設施設

本計画に必要な工期は、実施設計6カ月、建設工事は35カ月である。

本計画の実施機関は、スエズ運河庁である。本トンネルの改修工事の計画、推進は同庁工務部である。なお、同部は、トンネルの運営と維持管理に関して、多年にわたり蓄積した技術力、経験を有している。その技術力、経験から判断して、改修後の維持管理は、同部にて充分に対応することが可能である。

なお、本計画が日本の無償資金協力により実施された場合、以下の効果が期待できる。すなわち直接的には、次のとおりである。

- スエズ運河庁は、本トンネルの調査、維持、補修のために、年間平均5700万円の費用を投入しているが、改修後は、大幅に削減できる。
- 本トンネルの交通上の安全性を改善し、本トンネルが、本来有している交通容量を回復できる。
- エジプト本土とシナイ半島を連絡する唯一の陸上幹線ルートとして、本トンネルの交通容量（1500台／時間）を全面的に活用して、シナイ半島地域における、農業、牧畜業、製造業、鉱業、観光などの開発、発展に大いに寄与できる。
- 本トンネルの構造的安全性を確保したうえで、将来、スエズ運河拡張工事が完了すれば、大型船舶の航行が可能になり、国際的ニーズに対応するとともに、運河通行料の収入が大幅に増額し、エジプトの外貨収入の確保、拡大に貢献できる。

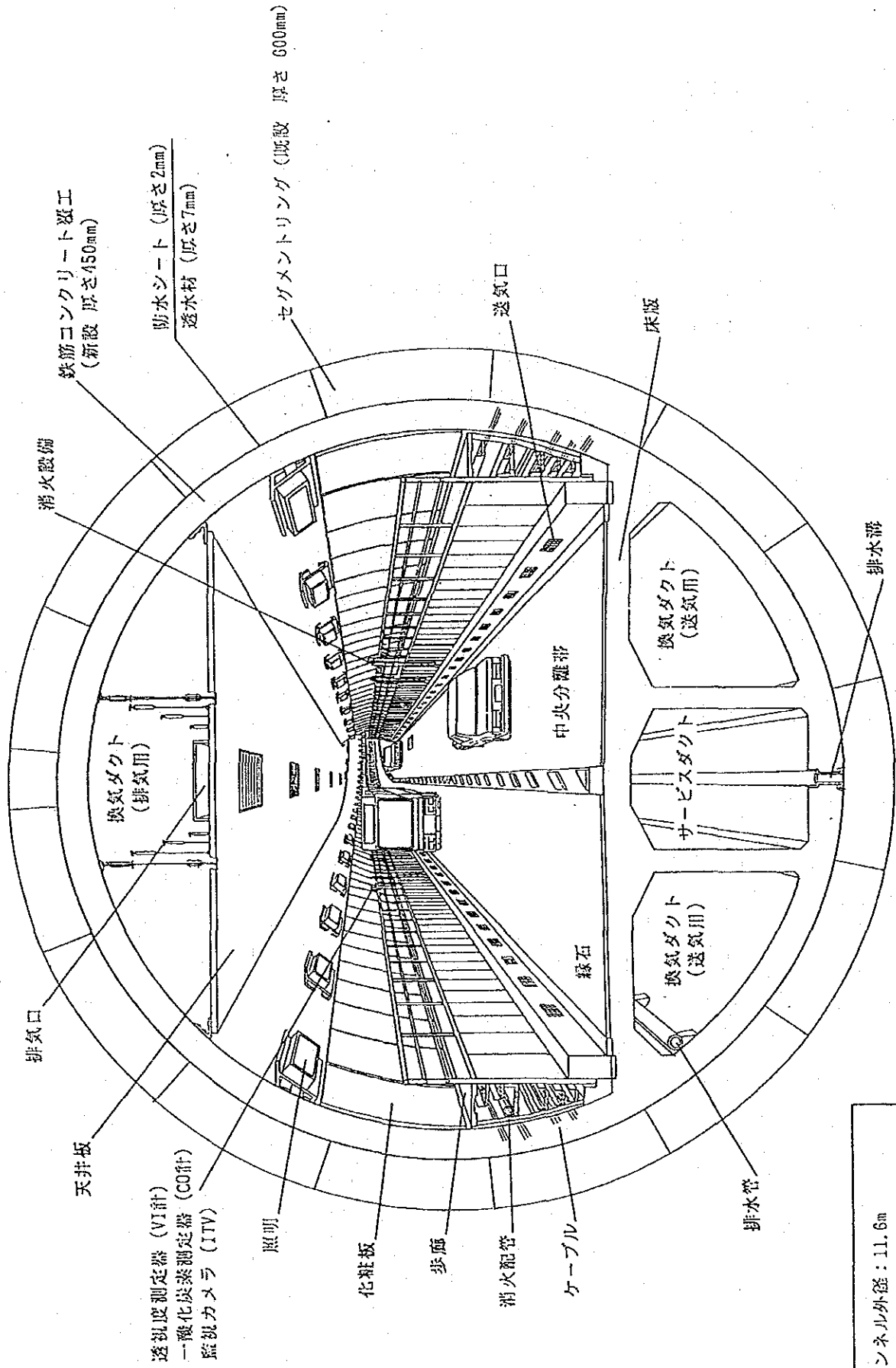
また間接的には、次のとおりである。

本トンネルの改修は、トンネル交通の安全性確保の観点ならびに、スエズ運河両岸、シナイ半島の地域開発、ひいては、エジプトの国内経済を活性化する観点から、緊急性、必要性が高いものである。また、本トンネルの改修がもたらす経済的、社会的効果等から判断して、本改修計画は日本政府による援助対象として妥当であり、かつ、両国間の

絆・親善関係の推進に大きく寄与し得るものである。

さらに、このトンネルの改修計画は、エジプト国民にもよく知られている状況にあり、
我国の協力の効果が広く理解されるものと期待できるものである。

以上を総合的に判断し、本案件を我国無償資金協力により実施する意義は極めて高く、
本計画の早期実施が望まれる。



図一 1 改修工事完了後のトンネル標準断面図

- ・トンネル外径：11.6m
- ・現在のトンネル内径：10.4m
- ・改修工事後のトンネル内径：9.5m

目 次

序 文

現地地図ならびに写真

要 約

第1章 緒 論

- 1-1. 調査の経緯
- 1-2. 調査の内容

第2章 アハムド・ハムディ・トンネル改修計画の背景

- 2-1. エジプト・アラブ共和国の概況
 - 2-1-1. 地理的概況
 - 2-1-2. 民族、人種、宗教的概況
 - 2-1-3. 政治的概況
- 2-2. エジプト経済の現況
 - 2-2-1. 一般的概況
 - 2-2-2. エジプト経済社会5ヶ年計画
- 2-3. シナイ半島地域における経済の現況
 - 2-3-1. 農業ならびに牧畜業分野
 - 2-3-2. 製造業ならびに鉱業分野
 - 2-3-3. 観光分野
- 2-4. スエズ運河を横断する交通機関とトンネルの重要性
 - 2-4-1. エジプト本土とシナイ半島を連絡する交通機関
 - 2-4-2. アハムド・ハムディ・トンネルの重要性
- 2-5. トンネルの現況
 - 2-5-1. トンネル劣化の経緯
 - 2-5-2. 専門家の派遣とトンネルの改修に関する助言
- 2-6. トンネル改修に関する無償資金協力要請の経緯と概要
 - 2-6-1. トンネル改修に関する無償資金協力要請の経緯
 - 2-6-2. トンネル改修に関する無償資金協力要請の概要

第3章 アハムド・ハムディ・トンネルの施設現況

- 3-1. 施設現況調査計画
- 3-2. トンネルの交通量調査
- 3-3. 地質調査
- 3-4. 測量調査
- 3-5. トンネル構造ならびに機能劣化に関する実態調査
- 3-6. トンネル設備・施設に関する実態調査
- 3-7. 換気設備に関する実態調査
- 3-8. 建設材料に関する品質調査ならびに室内試験

第4章 計画の内容

- 4-1. 目的
- 4-2. 要請内容の検討
 - 4-2-1. 計画の妥当性、必要性の検討
 - 4-2-2. 実施運営計画の検討
 - 4-2-3. 類似計画および国際機関等の援助計画との関係、重複等の検討
 - 4-2-4. 計画の構成要素の検討
 - 4-2-5. 要請施設、機材の内容検討
 - 4-2-6. 技術協力の必要性検討
 - 4-2-7. 協力実施の基本方針
- 4-3. 計画の概要
 - 4-3-1. 実施機関および運営体制
 - 4-3-2. 事業計画
 - 4-3-3. 維持管理計画

第5章 アハムド・ハムディ・トンネル改修に関する基本設計の概要

- 5-1. 設計方針
 - 5-1-1. トンネル構造
 - 5-1-2. トンネル設備・施設
 - 5-1-3. 水道管
- 5-2. トンネル改修の基本設計
 - 5-2-1. トンネル構造
 - 5-2-2. トンネル設備・施設
 - 5-2-3. 水道管

第6章 アハムド・ハムディ・トンネル改修に関する施工計画の概要

- 6-1. 施工方針
- 6-2. 資機材調達計画
- 6-3. 仮設計画
- 6-4. 施工監理

第7章 アハムド・ハムディ・トンネル改修に関する事業費の概要

- 7-1. 工事範囲
- 7-2. 工事実施工程
- 7-3. 概算事業費

第8章 アハムド・ハムディ・トンネル再供用後における維持管理方法ならびに費用の概要

- 8-1. トンネル構造
- 8-2. トンネル設備・施設

第9章 アハムド・ハムディ・トンネル改修計画の評価ならびに結論

付属資料

図面集

略 語

- S. C. A. (Suez Canal Authority) : スエズ運河庁
- M. O. H. R. (Minister of Housing and Reconstruction) : 住宅復興省
- E. C. (European Community) : 欧州共同体
- I M F (International Monetary Fund) : 国際通貨基金
- C O (Carbon monoxide) : 一酸化炭素
- V I (Visibility) : 透視度測定器
- P I A R C (Permanent International Association of Road Congress) : 国際道路会議協会
- D W T (Dead Weight Tonnage) : 船の総トン数
- P P M (Parts per Milion) : 百万分率
- b a r (Barrel) : バレル (1バレル=36英ガロン)
- N I D (Normal Inside Diameter) : 内径
- c t c (center to center) : 中心間隔
- c d (Candela) : カンデラ (光度の単位)
- V (Volt) : ボルト (電位差、電動力の単位)
- B S (British Standard) : 英国規格
- J I S (Japanese Industrial Standard) : 日本工業規格
- A W W A (American Water Works Association) : アメリカ水道協会
- P V C (Polyvinyl Chloride) : ポリ塩化ビニル
- k m² : 平方キロメートル
- m³ : 立方メートル
- c m³ : 立方センチメートル

第 1 章

緒 論

第1章 緒論

1-1. 調査の経緯

アハムド・ハムディ・トンネル（トンネル全長1,640m、自動車専用2車線道路、一次覆工として鉄筋コンクリート・セグメントを組み立てたシールド・トンネル、トンネル外径11.6m、内径10.4m）は、1983年に完成した後、9年間にわたって供用されて来たに過ぎない。しかし、その間、多分に塩水ならびにその他の複雑な要因によって、トンネルの構造的ならびに機能の両面にわたって、複雑な劣化問題を引き起こし、特に、コンクリート・セグメント、道路床版等、トンネル構造躯体の全長にわたって、劣化が進行している。スエズ運河庁（以下、S. C. A.）によるたび重なる調査、補修にもかかわらず、劣化の進行は深刻な状況にあり、現在に立ち至っている。

エジプト・アラブ共和国政府は、かねて、本トンネルの深刻な劣化状況を懸念し、1989年、1990年の両年にわたって、日本国政府に対して、本トンネルの維持運営に責任を有するS. C. A. に本トンネルの補修に関する技術的助言を行うための専門家の派遣方を要請した。

日本国政府は、アラブ・エジプト共和国政府の要請に応じて、専門家の派遣方を決定し、国際協力事業団は、二度にわたって、専門家による技術協力チームをエジプト現地に派遣し、本トンネルを現地調査した後、S. C. A. に対して、本トンネルの改修に関する技術的助言を行った。

上に述べた歴史的、技術的背景に基づき、エジプト・アラブ共和国政府は、日本国政府に対して、1990年8月13日付をもって、本トンネルの改修に関する無償資金協力を公式に要請してきた。

エジプト・アラブ共和国政府による日本国政府に対する本トンネル改修プロジェクトに関する無償資金協力の公式要請をうけて、日本国政府外務省は、本プロジェクトの目的が日本国政府による無償資金協力の対象案件として適当であると判定して、無償資金協力システムにおける本プロジェクトの妥当性を検討するため基本設計調査を実施することに決定し、国際協力事業団は、1991年6月23日から7月4日までと、8月1日から9月9日までの2回にわたり現地調査団を派遣し、また11月21日から12月1日まで報告書案の現地説明協議を行なった。

1-2. 調査の内容

現地調査は、本トンネル改修プロジェクトの基本設計を検討するために、以下の調査項目に基づき、実施された。

- エジプト現地における S. C. A. ならびに現地政府機関等の関係者と協議し、要請内容を確認すること、
- 本トンネルの交通量に関する調査を実施すること、
- トンネル構造ならびにトンネル関連設備に関する現地調査によって、本トンネルの劣化状況に関する資料ならびに情報を収集すること、
- 現地における既存のコンクリート・セグメント、砂利骨材、砂、セメント等、コンクリート構造のための建設材料や水等の試料を採取して、建設材料に関する品質調査を実施すること、
- トンネル構造のための地質調査を実施すること、
- トンネル構造の測量調査を実施すること、
- 本トンネル改修プロジェクトのための施工法を検討し、工事スケジュールを作成し、工事費を積算するために必要な資料ならびに情報を収集すること、

以上の各項目は、本トンネル改修プロジェクトの基本設計調査を策定するために必要なものである。

現地調査の期間中、本調査団は、S. C. A. ならびに現地政府機関等の関係者と本プロジェクトに関する技術的討議を十分に行うと共に、本トンネルのトンネル構造ならびにトンネル関連設備の劣化状況に関する詳細調査、本トンネル改修プロジェクトの基本設計調査に必要な地質調査、測量調査、ならびに現地調達可能な建設材料に関する調査等を実施して、本トンネルの改修に関する基本設計調査のための必要な資料ならびに情報を入手した。

本調査団は、日本に帰国後、現地調査期間中に入手した資料ならびに情報を入念に検討して、報告書案を作成し、その現地協議を踏まえ本トンネルの改修に関する基本設計調査報告書を作成したものである。

第 2 章

アハムド・ハムディ・トンネル

改修計画の背景

第2章 アハムド・ハムディ・トンネル改修計画の背景

2-1. エジプト・アラブ共和国の概況

2-1-1. 地理的概況

エジプト・アラブ共和国は、アフリカ大陸の北東端、東経24度から35度、北緯22度から32度に位置しており、北方に地中海、東方に紅海に面した長大な海岸線を有し、国境は、西方にリビア、南方にスーダン、シナイ半島ではイスラエルに接している。首都カイロ市は北緯30度線上にある。総面積は1,002,000km²に達するが、可耕地および居住地は、ナイル河流域ならびに河口部の三角洲地帯や地中海沿岸の一部に限られており、面積は約30,000km²と国土面積の3.6%に過ぎず、国土の大部分は砂漠で占められている。

内陸部の各都市は極めて乾燥しており、西方地域は殆ど降雨がない。年間平均降雨量は地中海沿岸では250ミリ、内陸部では100ミリ以下となっている。

一般に、昼夜の気温差が大きく、夏季にはカイロ市で摂氏10度以上の気温差が生ずる。

2-1-2. 民族、人種、宗教的概況

古代エジプト人はハム族に属しているが、現在では、多民族混合国家になっている。特に、7世紀、セム族系のアラブ人による侵入以降、イスラム教と共に、その影響が大きく浸透している。

人口は約5,140万人（1988年センサスによる）で、その90%以上がスンニー派イスラム教徒である。イスラム教徒以外には、コプト教徒を始めとするキリスト各派がいる。

2-1-3. 政治的概況

エジプト・アラブ共和国の政治体制は、1971年に制定された憲法に基づく三権分立による大統領制である。政党は、故サダト大統領を継承したムバラク大統領が率いる民主国民党が人民議会の過半数を制する最大多数党として、ムバラク政権を支持している。

エジプト・アラブ共和国は、故サダト大統領のイニシアティブにより、第4次中東戦争を終結させて、イスラエルとの紛争に一応の決着をつけた。現在は、故サダト大

統領の内政ならびに経済政策をうけ継いだムバラク政権が、積年にわたるエジプト財政、経済の低迷を立て直すために、1974年、故サダト大統領が発表し、国民投票による信任を得た政策綱領「オクトーバー・ペーパー」に基づき、政府補助金の削減、国営企業を含む行政全般の合理化など行財政緊縮策を実施する一方、欧米諸国、日本、アラブ諸国等からの経済援助と門戸開放政策を打ち出して、財政、経済の自立化と民生の向上を目指しているのが現状である。

2-2. エジプト経済の現況

2-2-1. 一般的概況

エジプトの経済、社会は、歴史的に、「ナイル河の恩恵」を享受した農業国として発展し、また、開発途上国としては、比較的、工業化が進んでいる国でもある。

しかし、エジプトは、毎年、100万人以上の人口増加を吸収し得るに足る可耕地面積を確保することが困難な地理的条件にあるため、離村農民の都市流入、都市人口の増加が進行する一方で、労働集約型工業化の立ち遅れもあって、農業労働者の工業労働者への転換が思うにまかせず、多数の失業者を生じ、都市のスラム化、貧富格差の拡大が看取されている。

また、外貨獲得のために綿花、果実、野菜等の輸出農産物が重点生産されて来た結果、一般国民の主食である穀物生産量の減少に伴う食料自給率の低下を来しており、現在では、食料の海外依存度を拡大せざるを得ない状況に立ち至っている。

このため、エジプト経済は、多年にわたる恒常的な財政支出、国際収支の赤字基調、対外累積債務が540億米ドル（1988年センサスによる）に増大する等に加えて、ポンド貨の下落による年率17%にも達するコスト・インフレーションが生じている等、全般的に、かなり厳しい状況に直面していることは否定し得ないところである。

ちなみに、エジプトの経済構造を国民所得で見ると、農業が最大部門を占めており、次いで、サービス、鉱工業、商業金融等の部門が続いているが、国内総生産に占める農業部門の寄与率は、毎年、低下しているのが現状である。

また、国民所得は、約332億米ドル（1988年センサスによる）であり、国民一人当たり650米ドルの水準にあり、国民所得成長率は年率2.5%にとどまっている。

2-2-2. エジプト経済社会5ヶ年計画

エジプト・アラブ共和国は、ムバラク政権のもとで、社会、経済、政策の各面にわたる国民的目標を達成するために、以下のように経済、社会開発計画を策定実施中である。

- ・社会的目標：全てのエジプト人の社会的な生活水準の改善向上、人口増加率の低減、近隣アラブ諸国に流出した知的労働者の帰国等、
- ・経済的目標：就業の機会と輸出による収入を創出するための工業開発、外国からの経済援助の低減、民間セクターの拡大等、
- ・政策的目標：食料の自給自足、遠隔地方の国民的統合等。

ムバラク政権は、前述した国民的目標を達成するために、内政、経済優先主義を取り、IMFの勧告に基づく公共料金の引上げ、政府補助金の削減等による財政再建策を策定、実施している。経済社会5ヶ年計画（1988～92年）は、エジプトの近代化と国民的統合に大いに寄与するために、以下に述べる経済政策の基本方針に基づき、国内の各産業部門における着実な生産伸長を図り、年間平均成長率5.5%を目標とする国内総生産の拡大を達成して、漸進的な国内経済の活性化を図っている。

- 公共部門（国営企業を含む）における中央集権化の排除、ならびに技術力、生産性の向上、
- 農業、牧畜、観光、建設、住宅、製造業、交通運輸等の民間セクターにおける投資の促進、拡大、
- 外国民間資本による投資に対する門戸開放、ならびに輸出指向型、労働集約型工業の誘致、拡大、
- 欧米諸国、日本、アラブ諸国等からの経済協力の確保。

2-3. シナイ半島地域における経済の現況

ムバラク政権は、特に、シナイ半島地域における農業、製造業、鉱業、観光等の部門を積極的に開発して、穀物、牧畜モノカルチャー経済の現状を多角化した複数の産業部門を有する経済に再編成して、シナイ半島の住民のために就業機会を創出すると共に、今後、過酷な砂漠性気候下にあるシナイ半島の全地域にわたって、エジプト本土における余剰労働人口の恒久的入植を可能ならしめるための良好な環境を確立して、

経済、文化、政治のあらゆる面で、シナイ半島をエジプト本土に統合する政策的目標を達成することを目指している。

2-3-1. 農業ならびに牧畜業分野

農業ならびに牧畜業分野においては、灌漑、水利プロジェクトに対する投資を促進して、シナイ半島における可耕地面積の拡大ならびに農業、放牧のための地力改良を進めて、エジプト本土における余剰労働人口の入植拡大、大麦、なつめ椰子、オリーブ、野菜、生鮮食料品等の国内向、ならびに地中海沿岸、近隣アラブ諸国を潜在市場とする輸出向農業、牧畜業の拡大、生産性の向上を目指している。

ちなみに、シナイ半島地域における灌漑、水利プロジェクトは、北部では、ナイル河の支流であるダミエタ河を水源とするサラム運河の延長である約27 kmに及ぶ伏越管方式によるものが実施中である。既に、第一期計画は完成し、近々、第二期計画が開始する予定である。

また、南部では、約93 kmに及ぶサラビウム伏越管方式によるものが実施中である。

さらに、灌漑、水利プロジェクトの完成して、大量の淡水供給が可能になるに伴って、シナイ半島における可耕地面積の開墾プロジェクトが、現在、実施中であり、1993～97年の5年間にわたって、シナイ半島北部の可耕地面積は40万ha、中央部の可耕地面積は7.5万haも拡大する予定である。

2-3-2. 製造業ならびに鉱業分野

製造業ならびに鉱業分野においては、特に、製造業の地方分散化を促進して、シナイ半島における就業機会の拡大を図るために、石炭、石油、石膏、陶土、ガラス原料等の分野における開発プロジェクト、製塩業といった化学工業プロジェクトが、現在、進行中である。それらの一部のものは、地域的な観点から、地中海沿岸、近隣アラブ諸国との貿易では比較的優位性を有するものと期待されている。

2-3-3. 観光分野

観光分野においては、夏季には地中海沿岸で、また、年間を通じて最も暑い時期と最も寒い時期を除いた全シーズンには紅海、アカバ沿岸で休暇を楽しむ国内、海外からの旅行者数が相当に増加してきている。

観光旅行者を誘引するための緑地化、ホテル、住居といった宿泊施設の整備、なら

びに歴史的遺跡や素晴らしい自然環境を生かした特別企画等の開発プロジェクトが、現在、進行中である。

2-4. スエズ運河を横断する交通機関とトンネルの重要性

2-4-1. エジプト本土とシナイ半島を連絡する交通機関

現在、エジプト本土とシナイ半島を分断するスエズ運河による交通上の障害を解消して、エジプト本土とシナイ半島を連絡する交通機関としては、スエズ運河を横断するフェリー・ボート・システムによるものとスエズ運河の河底を横断するトンネルによるものがある。

(1) フェリー・ボート・システムの現状と長短

スエズ運河を横断するフェリー・ボート・システムは、運河北部、中央部、南部各地の6ヶ所において運行されている。

フェリー・ボート・システムは、積載能力、運行便数等の増強が比較的容易であること、運行コストが比較的安いこと、補修による運行への支障が少ななこと、また、運河拡張工事の制約にならないこと等の長所がある一方、時間当たり輸送能力が比較的小さく、また、大型船舶の運河航行中には運休せざるを得ない等の短所もある。

(2) トンネル・システムの現状と長短

スエズ運河の河底を横断するトンネルは、アハムド・ハムディ・トンネルだけである。

トンネル・システムは、時間当たり輸送能力が比較的大きいこと、利用可能な時間に制約がないこと、大型船舶の運河航行の支障にはならないこと、等の長所があるが、維持管理コストが比較的高いこと、大型、重量車両等の通過車種に制約があること、トンネル補修時には交通遮断が必要になる等の短所もある。

2-4-2. アハムド・ハムディ・トンネルの重要性

計画地は、スエズ市の北方17Kmの地点に位置し、スエズ運河の河底を横断してエジプト本土とシナイ半島を連絡しているアハムド・ハムディ・トンネルである。

前述した通り、エジプト本土ならびにシナイ半島における積極的な経済、社会開発を背景にして、エジプト本土とシナイ半島ならびに中近東地域の近隣諸国とを連絡する陸上交通量は着実に増加基調をたどってきている。

アハムド・ハムディ・トンネルは、1983年に住宅復興省により完成、供用された。1986年、S. C. A. が、本トンネルの管理運営を引き継いでいる。

本トンネルは、スエズ運河兩岸、シナイ半島地域における経済、社会開発のために不可欠な輸送ルートとして、9年間にわたって極めて重要な役割を果たして来た。

また、本トンネルは、エジプト本土とシナイ半島を連絡する唯一の陸上交通ルートであるのみならず、本トンネルの内部空間を利用して、シナイ半島の住民にとって死活を制するインフラ施設である飲料水供給パイプラインといった基本的ライフラインを併設している。

ちなみに、1990年5月ならびに8月における本トンネルを通過利用した交通量に関する調査によると、1日当たり車両通過量は平日平均1,500台、休日平均1,800台、例外的なケースとして、1日当たり車両通過量が最高5,000台にも達したことも記録されている。

なお、通過車両の90%は乗用車、バス等で、貨物車両は10%を占めている。

このように、エジプトならびにシナイ半島地域における積極的な経済、社会開発計画の進展に照らして、エジプト本土とシナイ半島を連絡する唯一の陸上幹線ルートとしての本トンネルの重要性は、今後、ますます大きくなっていくものと言っても過言ではない。

2-5. トンネルの現況

2-5-1. トンネル劣化の経緯

1983年に開通して以来、本トンネルは、僅か9年にわたって供用されてきたに過ぎないが、その間、塩水の漏洩ならびにその他の複雑な要因によって、構造と機能の両面にわたって、複雑な劣化問題を引き起こし、コンクリート・セグメントや道路

床版等、トンネル構造躯体は、全長にわたって深刻な劣化を生じ、今日に立ち至っている。

S. C. A. は、その都度、本トンネルの劣化調査、補修等、暫定的な対応策を講じて来たが、かかる対応策は、本トンネルの劣化進行を阻止するのに十分な効果があったとは必ずしも言えない。

2-5-2. 専門家の派遣とトンネルの改修に関する助言

エジプト・アラブ共和国政府は、本トンネルの深刻な構造と機能の両面にわたる劣化進行を懸念して、日本国政府に対して、同トンネルの維持、改修に関する適切な助言を行うために専門家の派遣方を要請した。

エジプト・アラブ共和国政府の要請に応じて、日本国政府は、専門家の派遣方を決定し、国際協力事業団は、1989年、1990年の両年にわたって、専門家による技術協力チームをエジプトに派遣し、本トンネルを現地調査した後、エジプト・アラブ共和国政府に対して、本トンネルの改修に関する適切な助言を行った。

日本国政府の専門家による技術協力チームによって提案された本トンネルの改修に関する助言の概要は、以下に述べる通りである。

- トンネル全長にわたるコンクリート・セグメント、道路床版等の劣化状況から判断して、トンネル構造の強度ならびに安全性は、急速に低下し、今後、殆ど危険なレベルにまで接近するものと想定される。
- 本トンネルの劣化は、本トンネルの建設時におけるセグメント組立て工ならびにセグメント継手の止水工が不適切であったことによって引き起こされた塩水の漏洩等の複雑な要因によるものと想定される。
- トンネル構造の外側は、適切に、砂利が裏込めされていることが判明しているが、砂利層は、透水層を形成し、本トンネルの全長にわたってトンネル構造の外側に地下水を供給しているものと想定される。
- ボーリング試験ならびにトンネル構造からの塩水の漏洩に関する観察によると、水圧は本トンネルのセグメント・リングに影響を与えていないものと判断される。
- 現地調査ならびにトンネル構造に関する設計計算によると、トンネル構造に対する作用土圧は、設計荷重の50パーセント程度であると判断される。
- しかしながら、トンネル構造の強度は、主にコンクリート・セグメントの鉄筋の劣化により、部分的には、設計荷重の50パーセントに減少して来ており、トンネル構造の安全率は、近い将来、殆ど危険なレベルにまで低下するものと想定さ

れる。

—トンネル構造の劣化状況から判断すると、本トンネルを改修するためにも重要な提案は、既設のトンネル構造の内側に防水処置を施し、かつ、十分な強度を有するトンネル構造を造り上げることである。

すなわち、既設のトンネル構造の外側からセグメント継手部を通して、塩水が漏洩するのを完全に防止するためには、既設のトンネル構造の内側全面に防水シートを張り付けた後、新しいトンネル構造体として、鉄筋コンクリート覆工ならびに道路床版等を施工することである。

—トンネル改修施工に関しては、全期間にわたって、トンネル交通を最小限確保するため、一車線は、供用することを条件としている。新しいトンネル構造体としての鉄筋コンクリート覆工や道路床版等を施工するとともに、設備、施設の機能を改修して、本トンネルの構造と機能両面にわたる本格的回復をはかることを可能とするものである。

—また、S. C. A. は、現在、本トンネルの上を通過するスエズ運河の拡張を計画しているが、拡張工事は下部のトンネルの安全性に影響を与える恐れがあり、本トンネル構造の補強無しには拡張工事の実行が無理なため、拡張工事計画の実施が遅れているのが現状である。

ちなみに、現在、S. C. A. が計画しているスエズ運河拡張プロジェクト（既設の運河の水深と河幅を拡大する）は、第二次拡張計画として公表されているが、その概要は以下に述べる通りである。

1) 第一期計画

本計画は、18万DWT、喫水56フィートの大型船舶が通行可能な運河の水深と河幅を確保し得るように既設の運河の水深と河幅を拡大する計画を実施中であるが、既に、運河全長162キロのうち、南部の一部（本トンネルの立地場所を含む）を除いて完成している。

なお、南部の一部（本トンネルの立地場所を含む）は、1993年末までに完成予定である。

ちなみに、運河拡張は、水深は現在の20.5mを24mに、河幅は現在の24mを28.7mに拡大する計画である。

2) 第二期計画

本計画は、最終的に、26万DWT、喫水68フィートの大型船舶が通行可能な運河の水深と河幅を確保し得るように運河の河幅を拡大する計画であるが、現在、フィージビリティ・スタディを実施中であり、1992年末には完了する予定である。

3) 将来計画としては、50万DWT、喫水75フィートの大型船舶が通行可能な運河拡張計画がある(運河の水深は24mから27mに拡大されるものと想定されている)。

4) また、スエズ運河の複線化計画として、既設の運河の西側に沿って運河を新設し、西側運河は比較的空荷状態が多い南下する船舶の専用通路とし、東側運河は、積荷満載状態が多い北上する船舶の専用通路とする計画がある。

2-6. トンネル改修に関する無償資金協力要請の経緯と概要

2-6-1. トンネル改修に関する無償資金協力要請の経緯

前述した歴史的、技術的背景に基づき、エジプト・アラブ共和国政府は、日本国政府に対して、1990年8月13日付にて、公式に、本トンネルの改修に関する無償資金協力を要請して来たものである。

2-6-2. トンネル改修に関する無償資金協力要請の概要

エジプト・アラブ共和国政府による本トンネル改修に関する無償資金協力の公式要請の概要は、以下に述べる通りである。

(1) 無償資金協力要請の対象

エジプト・アラブ共和国政府による協力要請の対象は、スエズ市の北方約17kmの地点に立地し、スエズ運河の河底を通してエジプト本土とシナイ半島を連絡しているアハムド・ハムディ・トンネルの改修工事である。

(2) 無償資金協力要請の内容

エジプト・アラブ共和国政府による協力要請の内容は、全長1,640mにわたる本トンネルの構造と機能両面にわたる改修工事を実施するものである。

工事内容は、本トンネルの改修施工の全期間にわたって、トンネル交通を最小限確保するため、一車線は、供用することを条件として、既設トンネル構造の外側からセグメント継手部を通過して、塩水が漏洩するのを完全に防止するために、まず、既設のトンネル構造の内側全面に防水シートを張り付けた後、新しいトンネル構造体として、鉄筋コンクリート覆工、道路床版等を施工するとともに、トンネル設備、施設の機能を改修して、本トンネルの構造と機能両面にわたる本格的回復をはかるものである。

第 3 章

アハムド・ハムディ・トンネルの 施設現況

第3章 トンネルの概要

3-1. 施設現況調査計画

基本設計調査計画の全体フロー図は図-3.2.1の通りであるが、現地状況やトンネル劣化状況を把握するために、交通量調査、地質調査、測量調査、劣化調査等を行った。

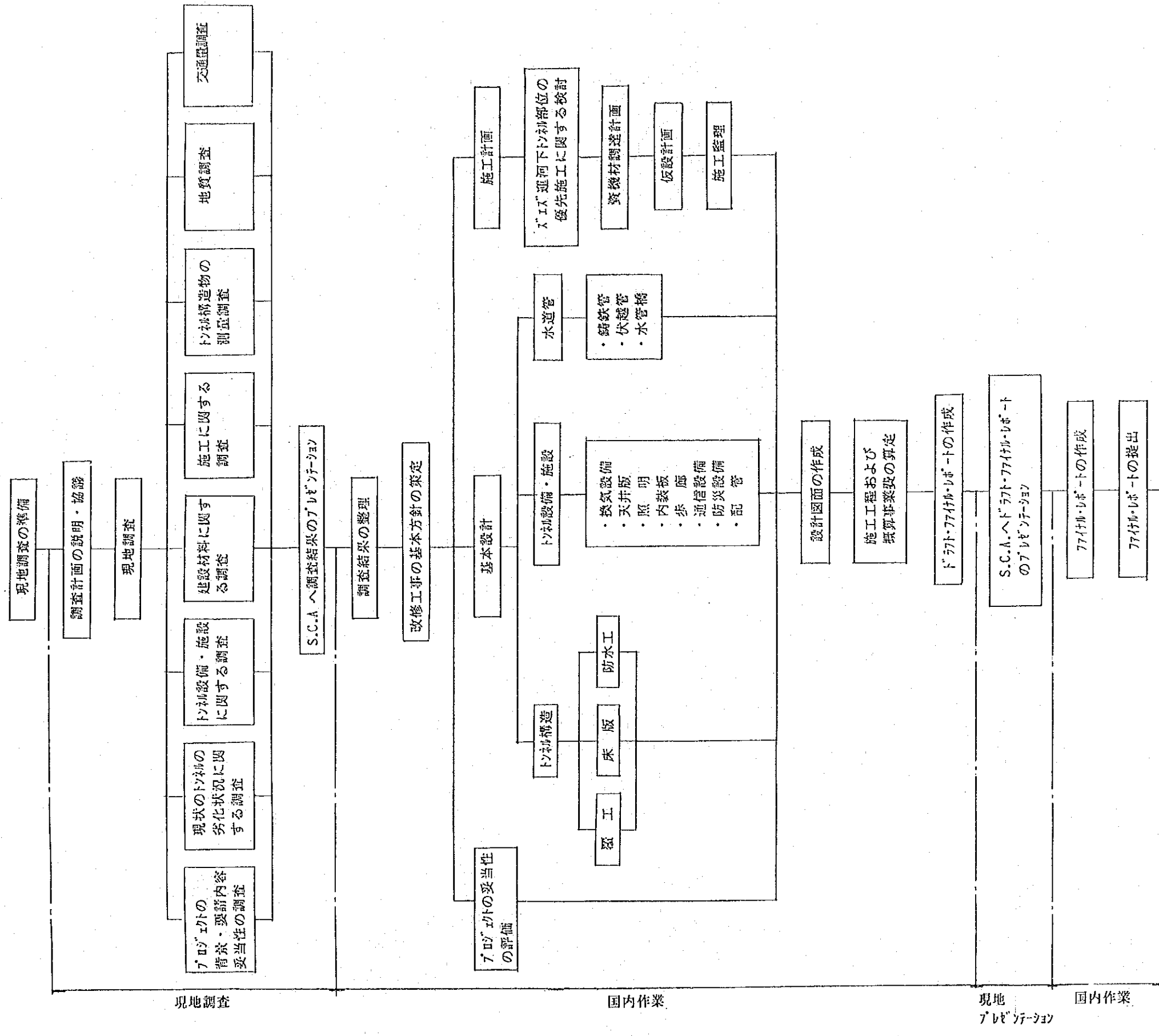


図-3.2.1 基本設計調査全体プロセス

3-2. トンネルの交通量調査

トンネルの交通量調査の結果は、次の通りである。

- 1) S. C. A. による1998年～1991年における交通量の調査結果：表-3.2.2(1)-1 参照。
- 2) 現地調査期間中（1991年8月9日および8月11日）に、24時間交通量調査を行った結果：表-3.2.2(1)-2 参照。

1) の結果から、過去3年間を通じて交通量の増加はみられないが、今後は、1993年～1997年の5年間における農業灌漑計画に伴うシナイ半島への約400万人の入植、シナイ半島（運河東岸部、ならびに半島南部）の観光事業の増大等を考慮すると、増大すると考えられる。

一日の平均交通量は、1200台程度であり、過去最大は、5000台であった。

2) の結果から、現在の交通量として、一日1500～1800台であり、休日である8月9日は、シナイ半島への観光のため、全交通量も平日の1.5倍になる。

さらに、S. C. A. は、本トンネルの改修工事中の補完輸送路として、トンネル近傍のエルシャットにフェリーボートの発着場を建設中である。

エルシャット・フェリーボート*1)

・工事着手	:	1990年10月
・引き渡し	:	1991年4月
・費用	:	
－土木工事	500万	エジプトポンド
－フェリーボート(150ト)	900万	エジプトポンド
小計	1,400万	エジプトポンド
その他	100万	エジプトポンド
合計	1,500万	エジプトポンド

*1) S. C. A. (1991. 9. 4. 付)から入手（付属資料-9参照）

表-3.2.2(1)-1 トンネルの通過交通量

(単位:台)

月	1988/1989年					1989/1990年					1990/1991年				
	乗用車	小型トラック バス トラック	大型トラック	その他車輛	計	乗用車	小型トラック バス トラック	大型トラック	その他車輛	計	乗用車	小型トラック バス トラック	大型トラック	その他車輛	計
7月	26668	16432	2882	3474	49456	28359	16249	2516	3035	50159	30883	18626	2695	1487	53691
8月	25163	16894	3529	2973	48559	27769	16055	2895	2428	49147	27198	19425	3306	2143	52072
9月	18198	15756	3349	3310	40613	18112	15467	2971	2542	39092	17039	13826	2982	2339	36186
10月	14497	13847	3389	2571	34304	16153	12642	2818	2508	34121	13817	12719	2277	2054	30867
11月	11677	12937	4165	3053	31832	12772	12563	3010	2227	30572	13131	12728	2416	1134	29409
12月	11672	12394	4968	2900	31934	12529	12576	3643	2193	30941	12382	12737	2205	1228	28552
1月	12533	12215	4482	2408	31638	14806	12738	3170	2624	33338	13698	12979	2358	2651	31686
2月	10422	11618	3916	2476	28432	11249	11772	3467	2081	28569	10612	10259	2166	1904	24941
3月	14566	14225	4029	2994	35814	14002	14061	4067	2185	34315	14490	12445	1964	865	29764
4月	13499	12923	4519	2159	33100	17200	13744	3166	1754	35864	18948	13409	1725	425	34507
5月	18935	13707	3162	2302	38106	14129	14797	3189	2335	34450	12959	14122	2543	1825	31449
6月	23190	15258	3081	4023	45552 (1518)	23113	15866	2950	2936	44865 (1495)	20322	16133	2451	1379	40285 (1342)
年合計	201020	168206	45471	34643	449340 (1231)	210193	168530	37862	28848	445433 (1220)	205479	169408	29088	19434	423409 (1160)
全体比率	44.74%	37.43%	10.12%	7.71%	100%	47.19%	37.84%	8.49%	6.48%	100%	48.53%	40.01%	6.87%	4.59%	100%

表-3.2.2(1)-2 24時間交通量調査結果

日付 車種	1991年8月9日 (休日)	1991年8月11日 (平日)
小型車 (台)	1014	824
バス・小型トラック (台)	730	534
トラック (台)	76	61
大型トラック (台)	52	93
合計 (台)	1872	1512

3-3 地質調査

1) 調査内容

今回実施した地質調査内容は以下のとおりである。調査位置の詳細は、図-3.2.2(2)-1 に示した。

- ・調査期間 : 1991年8月10日～1991年9月19日
- ・地上ボーリング : NO. 1, 運河西岸, セグメントNO. (以下Seg. No.) 464のトンネル中心より南15m, 深度50m, 孔径100→75mm,
NO. 2, 運河東岸, Seg. No. 908, 中心より北方15m, 深度65m
- ・坑内ボーリング (コアボーリング)
: Seg. No. 449, 759, 908, 1232において、各断面左右, インバート部の3孔, 深度2～3m, ϕ 100～65mm
- ・坑内ボーリング (ノンコアボーリング)
: Seg. No. 335, 632, 915 の各天端において、 ϕ 22のドライ削孔を行って、坑内をファイバースコープにより観察、撮影した。
- ・標準貫入試験 : 地上ボーリング孔内の主要箇所を実施。
- ・P S波速度検層 : 地上ボーリングNO. 2孔において全長実施。
- ・孔内水圧試験 : 地上ボーリング2孔において、トンネル敷高上部相当の深度にバッカーセットし、孔内水をエアリフト排除による回復水位法による試験で透水係数と間隙水圧の測定を実施。
- ・室内土質試験 : 地上および孔内のボーリングにより得られたコアをカイロ市内試験室に搬入し実施した。試験項目は、一軸圧縮, 三軸圧縮 (UU), 単位体積重量, 含水の各試験を主体に、一部給水膨脹を実施。

以上、エジプト国内専門業者に依頼し実施したが、P S検層は機材、技術者とも日本から送り込んで実施した。

また、資料の解析にあたり、建設以前に実施された地質報告書 (以下 '77報告と呼ぶ) から多くを参照した。

なお、調査記録の詳細は、「別冊：地質調査報告書」を参照されたい。

2) 地質の断面分布と性状

主に今回実施の2本の調査ボーリングを主体に、'77報告のボーリングデータ（NO. 300シリーズ）を参照して地質断面分布を解析したものを、図-3.2.2(2)-1の縦断面図に示す。

すなわち、本地域の基本的地質層序構成はつぎのとおりである。

一表層に沖積性の沙漠性風成砂質土と沼沢性のシルト質土よりなる地層が比較的薄い（10m以下）層厚で分布している。

一表層下に、洪積世ないしは鮮新世の堆積物とみられる泥岩主体の地層が少なくとも100以上の層厚をもって広く分布していてトンネルはこの中に建設されている。

以下に地質縦断面図にもとづき各層の性状を解説する。

① 盛土層（B）

運河の西岸に沿って、高さ約17mの防風堤が造成されている。この材料は、中粒～細粒砂を主体とし、円磨された珪質の中～小礫を比較的多く含んだもので構成され、よく締っていて一部固結している部分も見られる。運河造成に伴う排土の一部から供給されたと見られる。全体に褐色を主体としている。

また一方、運河東岸域には、運河開削に伴う浚せつ排土とみられる堆積物が、最大10m程度の厚さで分布している。これらも、中粒ないし細粒の珪質の砂主体とし、しばしば小礫を伴っている。またごく稀には石膏の偏平礫も含んでいる。比較的良く締まっていて、一部は弱いセメンテーション固結した部分もある。

これらは、浚せつ排土中の細粒分（シルト、粘土）が急激な乾燥と相まって風にもち去られてほとんど砂分が残されたために砂粒主体の層となっているものであろう。

② 表土層（0b）

風成を主体とした沙漠性の砂と、沼沢性のシルト質堆積物を主体としている。縦断面図において測量点（以下ST）J4近からST-J9の西岸域には現在も小沼沢（塩水）があり、粘土質シルト層を主体に挟在する砂の薄層を伴う地層を主とする標準貫入試験（以下S.P.T）N値は、シルト層のみでは数回とみられるが砂の薄層の影響を受けて全体としては25を記録している。

その他、トンネル始点域と、東岸域ではシルト層はほとんどみられず、沙漠性の

砂を主体とし、下層部に若干のシルト層をみるのみで、全体によく締った砂層と評価できる。

全体に透水性であり、下位に難透水層があることと相まって、運河よりの涵養とみられる塩水性地下水（トンネル西端域は非塩水）が広く分布する。

③ 固結粘土層（Ch）

産状は下位の泥岩と酷似しているが、固結状態がやや低いことと、褐色を帯びる点で大きくことなる。このことから下位泥岩の風化帯と考えられる。いわゆる高塑性の固結粘土で、一部にシルト～細砂の薄層を挟むが、全体的に難透水性である。

分布は、EL-12～15mを上面として、層厚12～15mである。ほぼ水平な葉理が認められる。

④ 中固結泥岩（Mdm）

次項に述べる高固結泥岩層を挟んで上部と下部に分けられる。上部層は層厚7～9mでほぼ水平に分布しているようである。この層を含むこれより下位は特徴的な暗灰色を呈し、シルト分に富む薄層（数mm）を挟む。また、ほぼ水平な葉理（層理）が認められる。

下部層は、EL-30m付近以深に分布し、EL-100m以上にわたる深部までつづくと考えられるが下限は確認されていない。トンネルの大部分がこの層中をとおっている。この層の上部には、シルト分に富む薄層が葉理を伴ってしばしば挟在し、その中には貝殻の破片を多く伴っている。また、なんらかの理由で脱色作用を受けた薄層（数mm以下）をしばしば挟んでいる。ときどき、高角度の節理が1～3m程度の間隔で見られるが、節理面の密着性はよく挟在物は伴わない。

固結程度は、水平方向葉理の発達で、RQD値は50%程度であるが、N値は60～70回と十分高い値を示している。

⑤ 高固結泥岩（Mdw）

上記Mdm層の上、下層の中間に挟まれてEL-25～EL-30m付近に分布しているとみられる。Mdm層と同様で、0.5～1m間隔程度の高角度の節理が発達している模様であるが、やはり密着性は良好のようでほとんど不透水に近いようである。

固結土は、N値相当100～150、RQDも60～70%を示す。

この層の分布状況から現運河の河底はこの層で構成されているとみられる。

以上のうち、Mdm, Mdw層は、ほとんど同様のもので両者の境界は漸移的に変化する。これら地層性状を要約して表-3.2.2(2)-2 に示す。

これらMd層の構成粒子の鉱物組成を '77報告から要約して引用すれば表-3.2.2(2)-1 のとおりであり、岩塩が10%を占め、これが地下水の塩分を高めている一因にもなっているとみられる。

表-3.2.2(2)-1 Md層の鉱物組成の概要

(%)

石英	長石	岩塩	カオリン	白雲母	その他
30	10	10	25	20	10

表-3.2.2(2)-2 地層の概略性状

時代	記号	地層名	粒度形態と産況	主要色調	密度、硬さ	N値強度	透水性
沖積世	B	盛・排土	中細砂	淡赤褐色	良く締った	40 ~ 50	極めて透水性
	Ob	表土層	中細砂 一部シルト	黄褐色 一部暗灰	中位、 一部柔い	10 ~ 20 一部 10	透水性
洪積世 と 鮮新世	Ch	固結粘土	粘土粒子主、 シルト挟む	黄褐色	堅い (stiff)	15 ~ 20 qu = 2kg/cm ²	難透水性
	Mdm	中固結泥岩	粘土粒子主、 まれに割れ目	暗灰色	やや軟い軟岩	60 ~ 80 qu = 10kg/cm ²	極難透水性
	Mdw	高固結泥岩	粘土粒子主、 間隔1m以下の割れ目あり	暗灰色	中位の軟岩	100 ~ 150 qu = 25kg/cm ²	極難透水性

注) トンネルの大部分がMdm層中に建設されている。

3) 坑内ボーリング（覆工背面調査）記録

図-3.2.2(2)-1 に示すように、4断面においてボーリング調査をなし、3箇所为天端でドライドリル削孔をなして覆工背面と地山の状況を調査した。その記録の要約を表-3.2.2(2)-3 に示した。

この記録からつぎのことが総括できる。

① セグメントコンクリートの材質

セグメントの各部分のうち、ボーリングを行った床板部では材質劣化はほとんどみられず健全である。（中性化は表面数mm以下）

② グラウト材と注入状況

裏込め注入材は、20mmアンダー程度の碎石を充填したあと、セメントシルク注入された、いわゆるプレパクトコンクリート方式で充填されている。

注入状況は、インバート部は碎石充填は届いておらず、セメントシルクのみである。しかし、硬化状況はよい。充填厚平均5cmである。両側壁部では調査孔8本のうち、2本（25%）において碎石のみでルーズな状況で充填され、セメントが廻っていない。他の6本は概ねプレパクトコンクリートの形態をなし良好である。厚さは平均で、左が18cm、右壁で12cmである。

天端では3本のうち1本のみで碎石充填（5cm）が認められ他の2孔では注入材はなく、地山（ややルーズながら塊状）とセグメントが密着していて、過去に空洞が存在したことを示唆している。

③ 地山とゆるみ状況

地山はすべて中固結暗灰色泥岩からなっている。側壁、インバートにおけるゆるみの状況は、コアの肉眼判別での判定では、0.5～1m程度まで若干ゆるんでいることが約半数の孔で確認されたが、他は肉眼で判別できるようなゆるみはない模様である。

天端のそれは、浅尺のノンコア削孔であり識別できなかったが、少なくとも破片状のゆるみ崩壊は認められず、探針でのチェックでは顕著な空洞やゆるみは認められなかった。ただし、地山かセグメントかの変位で空洞が閉塞したとみられることから、かなりのゆるみがあると状況から判定できる。

表-3.2.2(2)-3 坑内ボーリングによる覆工背面調査記録

セグメント No			335	449	632	759	908	915	1232	平均
天端孔U	セグメント コンクリート	厚さ 材質	25 A		25 A			25 A		25 A
	グラウト材	厚さ 材質	5 C		なし D			なし D		なし D
	地 山	地質 性状	Mdm B~C		Mdm B~C			Mdm B~C		Mdm B~C
左側壁孔L	セグメント コンクリート	厚さ 材質		25 A		25 A	25 A		25 A	25 A
	グラウト材	厚さ 材質		16 A		16 A	25 B		14 C	18 A~C
	地 山	地質 性状		Mdm A		Mdm ~0.5C ~A	Mdm ~0.5C 1.5~A		Mdm ~2.5 C	Mdm C~A
イン バート 孔B	セグメント コンクリート	厚さ 材質		25 A		25 A	25 A		25 A	25 A
	グラウト材	厚さ 材質		2 A		6 A	8 A		6 A	5 A
	地 山	地質 性状		Mdm ~0.5B 0.5~A		Mdm ~1.5B 1.5~A	Mdm ~2.4B 2.4~A		Mdm B~A	Mdm B~A
右側壁孔R	セグメント コンクリート	地質 性状		25 A		25 A	25 A		25 A	25 A
	グラウト材	厚さ 材質		15 B		10 C	12 A~B		12 B	12 B~C
	地 山	地質 性状		Mdm A		Mdm ~0.7B 0.7~A	Mdm A		Mdm ~1.5B 1.5~A	Mdm A

(厚さ単位: cm)

コンクリート材質 A : ほとんど劣化なくほぼ新鮮
 グラウト材材質 A : 碎石砂利、セメントとも良く混り十分に硬化している
 A : 碎石はなくセメントのみで良く硬化している
 B : 碎石、セメントともに詰っているが、地山崩土混りなどで中位の硬化
 C : 碎石砂利のみでセメントが全く入ってなくルーズなもの。
 D : 全くグラウト材みられない。

地山地質 Mdm : 中固結泥岩

地山材質 A : 目視ではほとんどゆるみのみられない堅全岩
 B : 若干ゆるんでコアが10cm以下のも主
 C : かなりゆるんでコアが破片状
 D : ひどくゆるんでコアにならない。

地山区間 ~ 1.5... 1.5mまで、1.5~... 1.5mより

4) P S 検層記録

地上ボーリングBH-2孔で行った検層結果は図-3.2.2(2)-2に示した。
すなわち基盤のP波速度は一律に1.74km/secであり、S波は若干の変化はあるがほぼ0.44~0.46km/secである。記録の特色として一般に比しS波が低く、動ポアソン比が、0.46~0.475と非常に大きい値となったことがあげられる。

5) 現場水圧試験記録

結果を表-3.2.2(2)-4に示す。

表-3.2.2(2)-4 水圧試験結果

孔 番	トンネル天端との水頭差 (間隙水圧)	透水係数 (cm/sec)
BH-1	4.1 (0.41kgf/cm ²)	3.38×10 ⁻⁷
BH-2	2.1 (0.21kgf/cm ²)	3.86×10 ⁻⁷

間隙水圧状況は、ボーリング掘進中は泥水水位が常にEL0~-1m付近にあったが、パッカーをセット直後から水位降下が認められ、エアリフト後はトンネル天端の2~4m付近まで回復したにとどまった。

またBH-2の試験中、測定開始11時間半後に、パッカー周辺地山がパッカー外水圧(約3kgf/cm²)により水圧破碎されたとみられる水位変動が観測され、この地層の耐水圧限界圧が約3kgf/cm²程度らしい記録が得られた。

6) 室内土質試験記録

各ボーリングのトンネル周辺のコアを試験した結果は表-3.2.2(2)-5のとおりとなっている。ただし、試験は一軸圧縮試験を主体としたものを先行させたが、時間的關係でそれのみを記述する。

孔番 BH-2

深度 (m)	P波 (m/sec)		S波 (m/sec)		P波 m/sec	S波 m/sec	ポソソ比	
	1000	2000	100	200				
10					1340	290	0.475	
20					1340	310	0.472	GL-20.0m
					1740	310	0.484	GL-23.0m
					1740	460	0.462	GL-24.6m
30					1740	460	0.462	GL-32.0m
					1740	400	0.472	GL-37.0m
40					1740	440	0.466	GL-43.0m
					1740	400	0.472	GL-51.0m
50					1740	440	0.466	GL-57.0m
					1740	390	0.474	GL-60.0m
60					1740	460	0.462	

図-3.2.2(2)-2 PS検層記録

表-3.2.2(2)-5 室内土質試験記録

試料 孔番・深度		地質	粒度分布%			一軸強度 q _u (kgf/cm ²)	弾性係数 E ₅₀ (kgf/m ²)	変形係数 E _D (kgf/cm ²)
			C	SM	S			
BH-1	28.8~29.0	Mdw	45	35	20	15.4	3,077	2,760
	32.0~33.0	//				26.9	1,480	1,000
	37.4~37.6	Mdm	50	40	10	7.9	2,500	1,000
	41.8~42.0	//	48	40	12	9.3	2,160	975
BH-2	36.7~37.0	//				8.7	700	620
	40.8~41.0	//				9.9	1,800	1,000
	53.0~53.2	//				9.1	950	700
449B	1.1~1.2	//				10.8	1,050	570
L	0.5~0.8	//				15.4	790	500
R	0.6~0.8	//				8.2	1,170	460
	1.7~1.8	//				9.4	1,160	1,000
759B	28.8~29.0	//				14.2	910	320
L	28.8~29.0	//				6.5	570	500
908L	28.8~29.0	//				7.8	400	270
232B	28.8~29.0	//				13.4	350	275
平均	n=15		48	38	14	11.5	1,138	763

C : 粘土分 SM : シルト分 S : 砂分 ED : E70~80 より算定

Mdm : 中固結泥岩 Mdw : 高固結泥岩

7) 地山物性に関する考察

今回のこれら調査試験と、77報告の記録からトンネル周辺地山は、ほとんどが中固結泥岩からなっていると判断され、その地山物性値は表-3.2.2(2)-6に示す範囲にあると判断される。

表-3.2.2(2)-6 地山物性値表

物 性	記号・単位	設計推奨値	評 価 主 要 素
単位体積重量	γ t kgf/cm ³	1.9~2.0	77報告, 今回の実測値
せん断強度	C kgf/cm ²	2~4	$q_u \div 10, 0.2q_u \sim 0.4q_u, C = E/210$
内部摩擦角	ϕ deg.	15~20	77報告再評価, 粒度
弾性係数	E kgf/cm ²	1,000~2,000	qu-test, 77報告, P S 速度
変形係数	E_D kgf/cm ²	700~1,500	qu-test, 77報告, P S 速度
体積圧縮係数	m_v cm ³ /kgf	$5 \sim 9 \times 10^{-4}$	$E \cdot 1/l, E_D \cdot 1/l$ 時 $1 \sim 2 \times 10^{-3} = m_v$
地盤反力係数	k kgf/cm ³	2~4	$k = E_D / R, \lambda$ との相関
側方土圧係数	λ -	0.7~0.8	$\lambda = v/1-v, k, \lambda$ の値 0.4~0.46

8) 改修工事に関する地質面からの考察

a. トンネル地山のゆるみ

シールド工法により施工されたトンネルであるが、地質はいわゆる岩盤であって、軟弱地盤下のトンネルとは山の挙動が同一ではないため、地山の挙動解析などを行う場合この点を十分配慮の必要がある。

山岳トンネルでいう地山強度比 ($G_n = q_u / \delta V$, δV : 被り土圧) は、ここでは、 $G_n = 1.0 \sim 1.5$ ときわめて小さい値である。しかし、施工法や裏込注入状況などから、ゆるみは $0.5D$ (D : トンネル掘削径) 程度にはおさまっていると考えられる。ただし、天端の削孔調査で、セグメントと地山が直接に接していることは過去に空洞の存在を示唆するもので、これが閉塞されたということは、これまで地山のゆるみやセグメントに偏応力が作用し変位した (またはしている) という経緯のあることを示している。このことは間隙水圧が低いという記録から、かなりのゆるみの発生が想定される点とも符合する。

b. 運河の拡張

現運河の拡張での増深により、土被り厚が現在の20mから10mに減ること、および西岸に増設予定の第二運河の開削による土被り減少は、トンネル地山に複雑な挙動をもたらすことは明らかで、中でも地山の弾（塑）性挙動により浮上り現象が理論的に懸念される。これはトンネル地山のゆるみが顕著なときほど挙動が大きくなると考えられる。

軟弱地盤でのこのような現象は圧密沈下やそのリバウンドとして検討されるのが通常であるが、ここでは地山が岩盤であるため弾性論で検討するのが合理的で、検討時の物性は表-3.2.2(2)-6を参考とできよう。ただし、トンネル地山改良（コンソリデーショングラウトなど）が行われなかった時は変形特性値としては変形係数 E_D （または mV' ）の値を用いるべきと考える。地山改良が十分行われるとすれば、弾性係数 E （または mV ）を用いることができよう。

一方、トンネル土圧は、土被りが小さくなることによって、一見減少する様にみえるが、掘削によってトンネル地山のグラウンドアーチの閉合条件がくずれて、上方へのゆるみが増大し土圧が増す可能性の方が大である。このことは、河運河底が層厚数 m 余りの高固結泥岩により構成されているとみられるが、これが増掘によって除去されることにより一層その可能性が高くなるとみられる。

水理地質的にみたととき、図-3.2.2(2)-3に示すように、 P_1 が P_2 に変化することにより、現在間隙水圧が低下している区域に急激に P_2 が作用し、節理面などに沿う水圧破碎現象が発生し、トンネル覆工に直接的に全水頭が作用して、トンネル周辺の透水性の不均一性と相まって偏水圧が作用したり水密性が侵されることが考えられる。改修にあたってはこれらのことも十分考慮された対策が必要と考える。

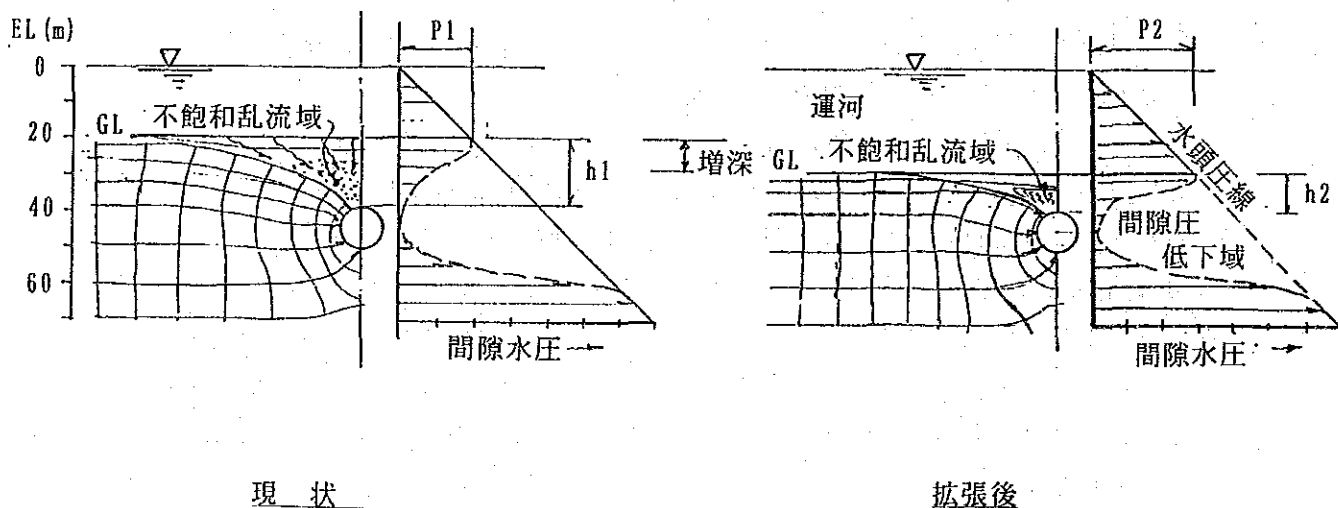


図-3.2.2(2)-3 運河拡張にともなう水理地質的挙動変化

3-4 測量調査

1) 現地調査の委託

測量作業を現地のコンサルタントに委託してこれを実施した。8月10日から8月25日で現地作業を実施、9月5日に報告書の概要を入取した。

2) 測量調査の結果

a. 測点の設定

トンネル内の測点設定は、断面測量を優先しこれに便利なように、天井板の排気口の真下を測点としてJ1～J20まで20点定め、これにTASK TEAMの測定した断面地点3点(J40, J451, J610)を追加した。(図-3.2.2(3)-1 参照)

b. トラバース測量

上記のトンネル内の測点と、建設当初設置されたトンネル外(地上部)の設置杭を結ぶトラバース測量を実施し、この閉合誤差が1.0m以下であることを確認して、ボーリング位置の決定の確認測量とした。

c. 水準測量

トンネル内に設置した測点の水準測量を実施したが、建設後の完成図の測点高が判読しがたいため比較検討はしていない。

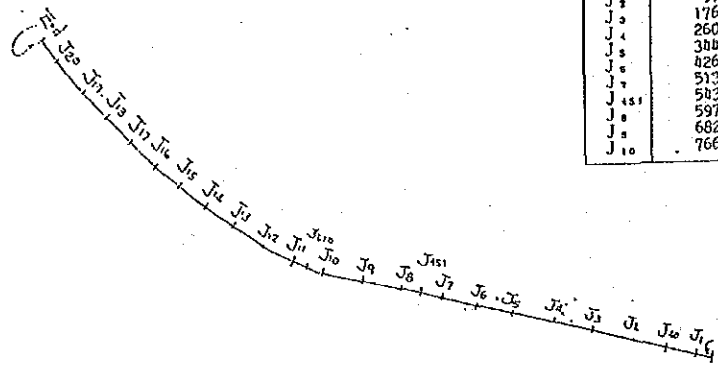
d. トンネル断面の測量

トンネル内に設置した各断面において、図-3.2.2(3)-2に示す断面距離をスチールテープで測定した。その結果は表-3.2.2(3)-1に示すとおりである。建設当初の完成断面を5.2mの真円であると仮定して、その変形状況を算出したのが表-3.2.2(3)-2である。

東側
終点

ポイント	累加距離	ポイント	累加距離
Begin	0.00	J ₁₇₀	600.4015
J ₁	7.382	J ₁₁	851.5129
J ₁₀	49.646	J ₁₂	936.6126
J ₂	91.7518	J ₁₃	1021.4132
J ₃	176.1194	J ₁₄	1106.1389
J ₄	260.4837	J ₁₅	1190.8593
J ₅	344.6527	J ₁₆	1275.4131
J ₆	426.8262	J ₁₇	1360.0105
J ₇	513.2028	J ₁₈	1444.6722
J ₈	597.7893	J ₁₉	1529.4153
J ₉	682.3751	J ₂₀	1614.0205
J ₁₀	766.9465	End	1641.3508

距離表



西側
始点

トンネル内の中心線

図-3.2.2(3)-1 トンネル断面測定測点

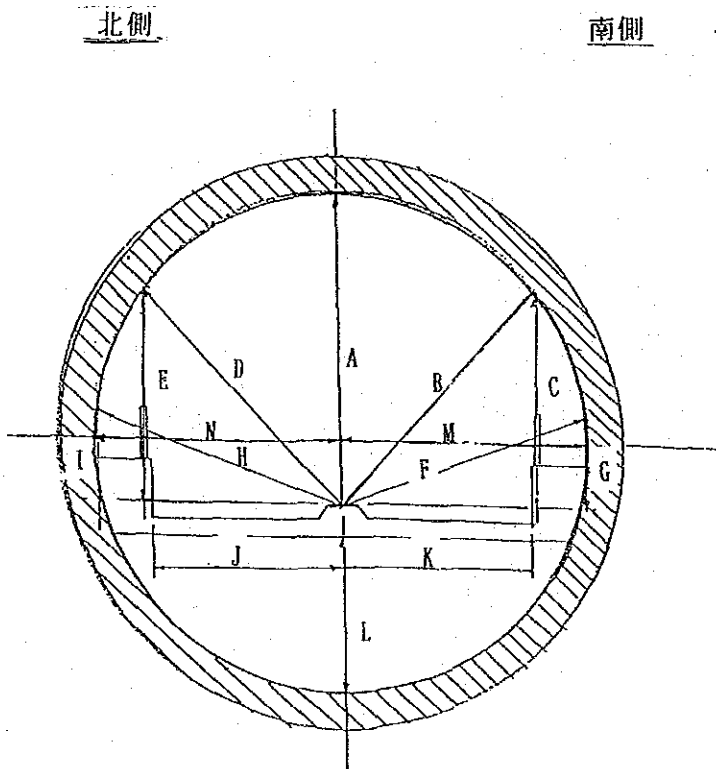


図-3.2.2(3)-2 トンネル断面測定方法

表-3.2.2(3)-1 トンネル断面測定結果

測点	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
J ₁	—	6.472	4.962	6.505	5.100	5.61	2.169	5.58	2.150	3.753	3.754	2.870	5.168	5.185
J ₄₀	6.890	6.452	4.961	6.490	4.940	5.575	2.09	5.605	2.010	3.746	3.741	2.930	5.15	5.233
J ₂	6.930	6.496	4.985	6.500	4.990	5.655	2.187	5.632	2.129	3.745	3.744	2.840	5.20	5.202
J ₃	6.980	6.554	5.053	6.544	5.149	5.653	2.142	5.597	2.170	3.750	3.738	2.810	5.205	5.153
J ₄	6.970	6.504	5.000	6.566	5.019	5.612	2.194	5.615	2.028	3.755	3.738	2.825	5.18	5.19
J ₅	6.990	6.436	4.904	6.514	5.000	5.574	2.188	5.626	2.134	3.748	3.741	2.880	5.135	5.225
J ₆	7.065	6.553	4.980	6.517	5.084	5.550	2.197	5.594	2.140	3.745	3.750	2.820	5.2	5.15
J ₇	7.065	6.478	5.040	6.563	4.885	5.557	2.153	5.670	2.128	3.757	3.732	2.760	5.13	5.244
J ₄₅₁	7.089	6.433	4.900	6.553	4.965	5.555	2.113	5.682	2.216	3.755	3.746	2.793	5.149	5.225
J ₈	7.025	6.482	5.055	6.503	4.890	5.573	2.118	5.855	2.836	3.753	3.743	2.815	5.125	5.235
J ₉	6.990	6.443	4.9197	6.523	4.990	5.614	2.130	5.625	2.080	3.748	3.740	2.810	5.206	5.211
J ₁₀	7.095	6.468	4.859	6.522	5.022	5.607	2.068	5.604	2.192	3.744	3.742	2.770	5.176	5.196
J ₆₇₀	6.980	6.505	4.917	6.545	5.090	5.651	2.075	5.606	2.229	3.750	3.748	2.809	5.235	5.162
J ₁₁	7.000	6.424	4.829	6.502	5.0248	5.603	2.0656	5.640	2.227	3.727	3.750	2.840	5.19	5.203
J ₁₂	7.035	6.490	4.876	6.514	5.120	5.617	2.000	5.610	2.266	3.756	3.734	2.850	5.241	5.15
J ₁₃	6.985	6.563	5.070	6.548	5.137	5.622	2.075	5.637	2.260	3.734	3.760	2.790	5.205	5.197
J ₁₄	7.045	6.498	4.959	6.525	5.020	5.620	2.176	5.654	2.259	3.755	3.738	2.805	5.167	5.205
J ₁₅	7.000	6.470	4.903	—	—	5.567	1.946	—	—	3.743	3.766	2.786	5.184	5.19
J ₁₆	7.015	6.502	5.000	6.525	5.177	5.597	2.042	5.648	2.222	3.746	3.760	2.815	5.202	5.209
J ₁₇	7.015	6.575	5.040	6.506	5.152	5.701	2.185	5.605	2.308	3.750	3.750	2.810	5.28	5.145
J ₁₈	6.960	6.505	5.010	6.602	5.180	5.600	2.105	5.686	2.292	3.755	3.750	2.85	5.185	5.204
J ₁₉	6.960	6.495	4.963	6.533	5.127	5.643	2.142	5.653	2.256	3.745	3.747	2.82	5.22	5.204
J ₂₀	—	6.526	5.072	—	—	5.676	2.335	—	—	3.729	3.746	2.785	5.202	5.192

表-3.2.2(3)-2 トンネル断面変位置

(単位: mm)

点	A	B	D	F	H	L	M	N
J ₁	—	- 8	- 16	- 16	- 42	+ 60	- 32	- 15
J ₄₀	-160	- 33	+ 21	0	+ 34	+120	- 50	+ 23
J ₂	-120	+ 13	+ 16	+ 25	+ 14	+ 30	0	+ 2
J ₃	- 70	+ 61	+ 14	+ 39	- 30	0	+ 5	- 47
J ₄	- 80	+ 17	+ 88	- 23	+103	+ 15	- 20	- 10
J ₅	- 60	- 34	+ 30	- 62	+ 13	+ 70	- 65	+ 25
J ₆	+ 15	+ 85	+ 4	- 91	- 23	+ 10	0	- 50
J ₇	+ 15	- 29	+131	- 68	+ 62	- 50	- 70	+ 44
J ₄₅₁	+ 39	- 35	+ 90	- 55	+ 44	- 17	- 51	+ 25
J ₈	- 25	- 29	+ 55	- 38	+ 16	+ 5	- 75	+ 35
J ₉	- 60	- 29	+ 44	+ 1	+ 31	0	+ 6	+ 11
J ₁₀	+ 45	+ 22	+ 32	+ 16	- 31	- 40	- 24	- 4
J ₆₇₀	- 70	+ 48	+ 37	+ 61	- 42	- 1	+ 35	- 38
J ₁₁	- 50	- 20	+ 6	+ 12	- 4	+ 30	- 10	+ 3
J ₁₂	- 15	+ 44	- 12	+ 51	- 51	+ 40	+ 41	- 50
J ₁₃	- 65	+ 66	+ 24	+ 29	- 19	- 20	+ 5	- 3
J ₁₄	- 5	+ 24	+ 36	- 8	0	- 5	- 33	+ 5
J ₁₅	- 50	+ 9	—	+ 16	—	- 24	- 16	- 10
J ₁₆	- 35	+ 15	- 18	+ 14	+ 5	+ 5	+ 2	+ 9
J ₁₇	- 35	+ 91	- 33	+ 76	- 71	0	+ 8	- 55
J ₁₈	- 90	+ 15	+ 76	- 4	+ 22	+ 40	- 17	+ 4
J ₁₉	- 90	+ 19	+ 8	+ 28	0	+ 10	+ 20	+ 4
J ₂₀	—	+ 19	—	- 3	—	- 25	+ 2	- 8

