

シリア・アラブ共和国  
ダマスカス送水トンネル改修計画  
基本設計調査報告書

平成17年6月  
(2005年)

独立行政法人国際協力機構  
無償資金協力部

無償
J R
05-071

## 序 文

日本国政府は、シリア・アラブ共和国政府の要請に基づき、同国のダマスカス送水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、独立行政法人国際協力機構がこの調査を実施しました。

当機構は、平成16年11月13日から12月26日まで基本設計調査団を現地に派遣しました。調査団は、シリア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しました。帰国後の国内作業の後、平成17年3月11日から3月17日まで実施された基本設計概要書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。

この報告書が、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。

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

平成17年6月

独立行政法人国際協力機構

理事 小島 誠二

## 伝 達 状

今般、シリア・アラブ共和国におけるダマスカス送水トンネル改修計画基本設計調査が終了いたしましたので、ここに最終報告書を提出いたします。

本調査は、貴機構との契約に基づき弊社が、平成 16 年 11 月より平成 17 年 6 月までの 7.5 ヶ月にわたり実施いたしてまいりました。今回の調査に際しましては、シリアの現状を十分に踏まえ、本計画の妥当性を検証するとともに、日本の無償資金協力の枠組みに最も適した計画の策定に努めてまいりました。

つきましては、本計画の推進に向けて、本報告書が活用されることを切望いたします。

平成 17 年 6 月

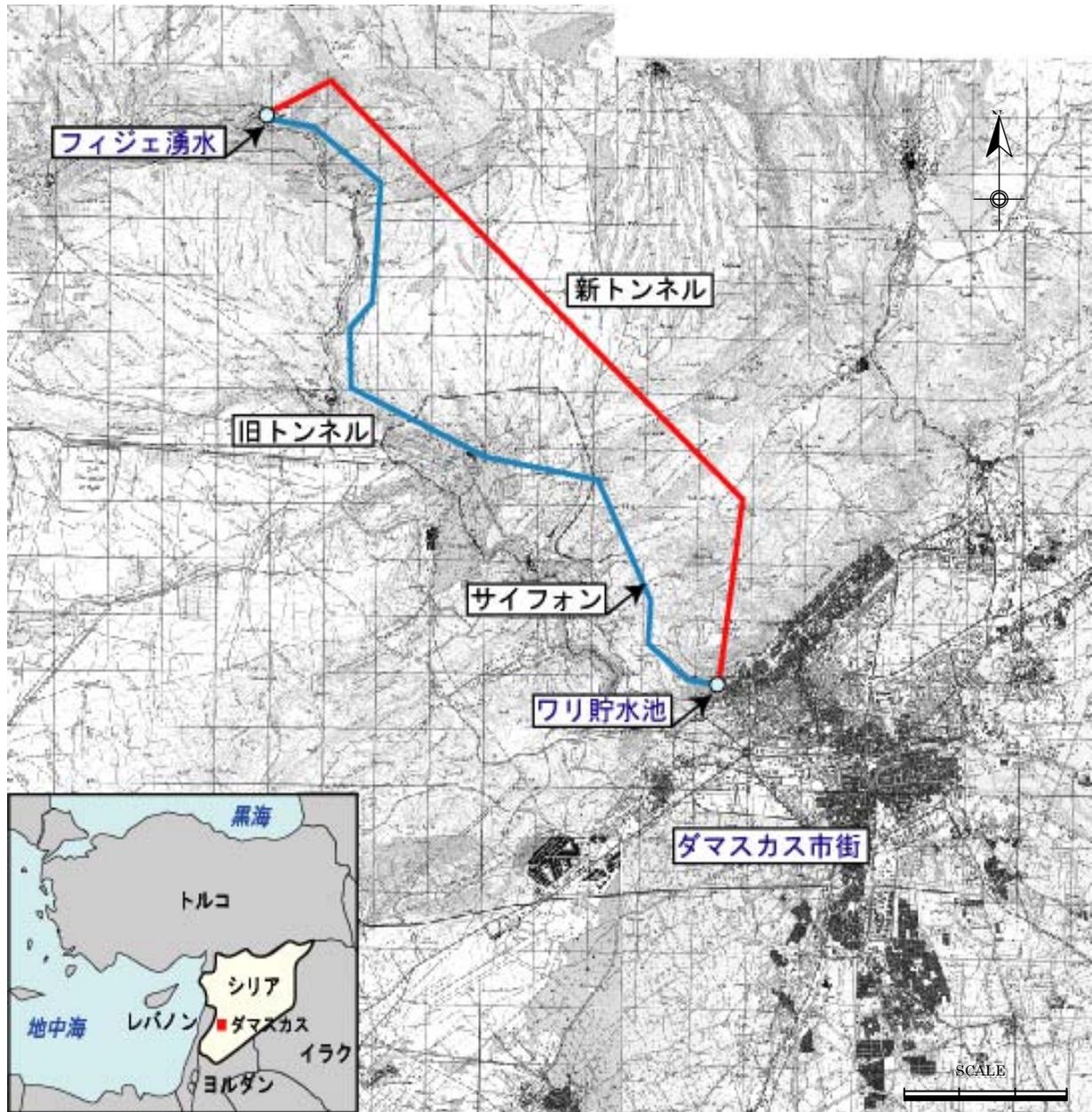
日本工営株式会社

シリア・アラブ共和国

ダマスカス送水トンネル改修計画

基本設計調査団

業務主任 丸山 茂



プロジェクト位置図



カシオン山より人口 155 万人のダマスカス市内を一望。



ダマスカス市内及び写真背後はカシオン山。



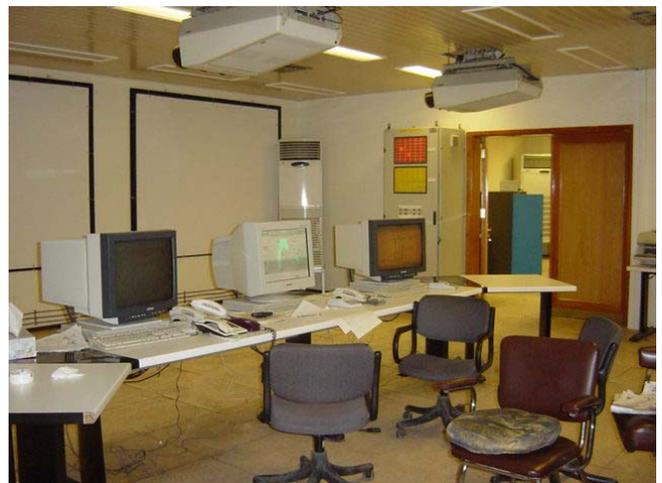
中央駅前の公共水のみ場。



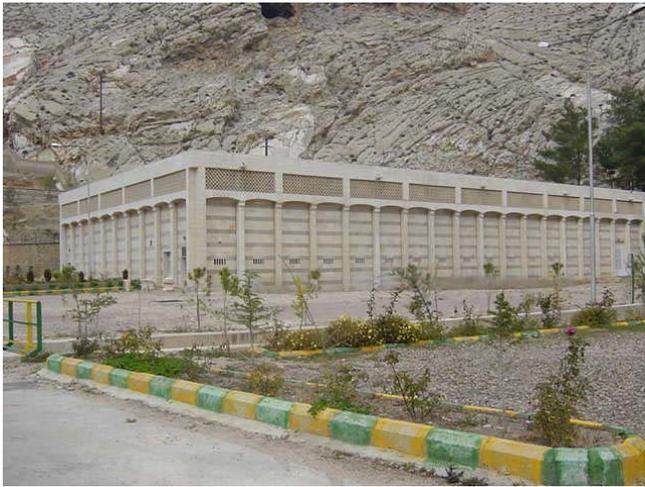
DAWSSA 本部。前棟は旧館、後棟は新館。職員数 1,319 名。



DAWSSA 中央研究所。



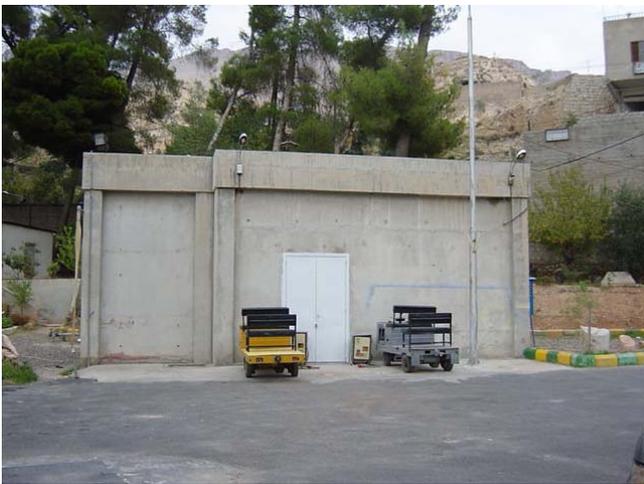
ワリ貯水池管理棟にある SCADA コントロールルーム。



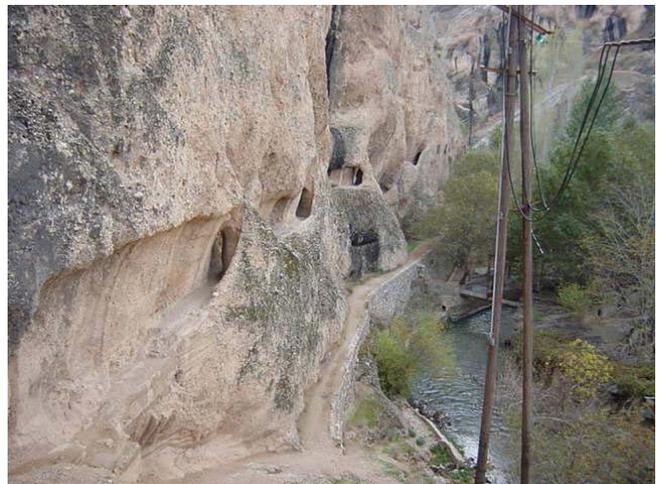
フィジェ湧水池を覆う建屋。



建屋内のフィジェ湧水池。右奥から水が湧いている。この湧水池は水源として古来から用いられてきている。



フィジェ湧水池管理所内にある新・旧トンネルの入口建屋と新トンネル内の移動に使用されるバッテリーカー。トンネル入口はこの建屋の下に位置する。



ローマ時代に建設されたフィジェ湧水池からの導水路遺跡。湧水池から約3 km 下流。旧トンネルのゲート No.7 の脇。写真右にはバラダ川が見える。



トンネル入口のゲートを下流から見る。左写真はゲートの全景、右写真はゲートの戸当たりから漏水が生じている状況を示す。フィジェ湧水池からの送水の止水や流量制御が確実に行えない。交換が必要。



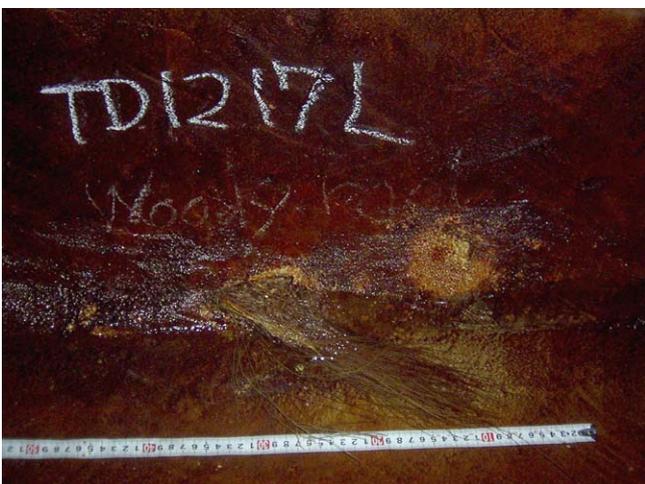
旧トンネルが通過するフィジエ湧水池管理所付近の地表状況。都市化が進展して高層建物が立ち並び、建設当初とは大きく状況が異なる。



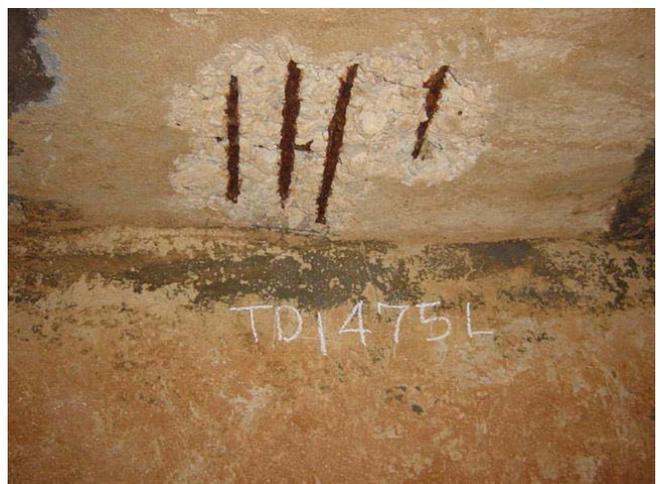
左写真に示す住宅街の直下を通過する旧トンネルで発見された構造的なひび割れ。地質的な岩盤変動の影響もあり、地山補強が必要。



旧トンネル入口から 977.5 m には地上の湧水がトンネル内に鉄パイプを通して浸入している。右写真は地上部の湧水とピットを示す。水質管理上、鉄パイプを閉塞して止水すべきである。



旧トンネル上流部には、樹根が側壁や底盤のコンクリートを突き破って侵入し、穴やひび割れが見られる。漏水源となるため、補修が必要。



旧トンネル（矩形断面）の天井は、鉄筋の腐食により鉄筋を被うコンクリートが剥落（TD 1,475 付近）。このような箇所が数多くある。



旧トンネル (TD 3,094) に設けられたトンネル入口ゲート No 7。旧トンネルには 9 箇所入口ゲートがある。



デューマ渓谷を横断するサイフォンパイプ上流部のトンネル分岐部。左側分岐部には 3 本の旧サイフォンパイプが繋がり、右側分岐部には、新サイフォンパイプが繋がっている。



腐食して破損した旧トンネルのサイフォンパイプのゲート。耐食性の高い材質のゲートに交換が必要。



旧トンネル TD 13,740 付近の鋼管で補強された部分。1960 年代に設置。鋼管が錆びているため、補修が必要。



旧トンネルの水路橋 No.3 (橋長 60 m)。1960 年代に外面補強された桁部分の鉄筋が腐食し、鉄筋を被うコンクリートが剥離しているため、補修が必要。





健全な新トンネル部分。直径 2.5 m。



新トンネルのコンクリート劣化箇所 (TD 3,170 付近)。表層部が軟質化し剥離している。トンネル背面から供給される腐食性物質 (硫酸塩) によるものと判断され、補修が必要。



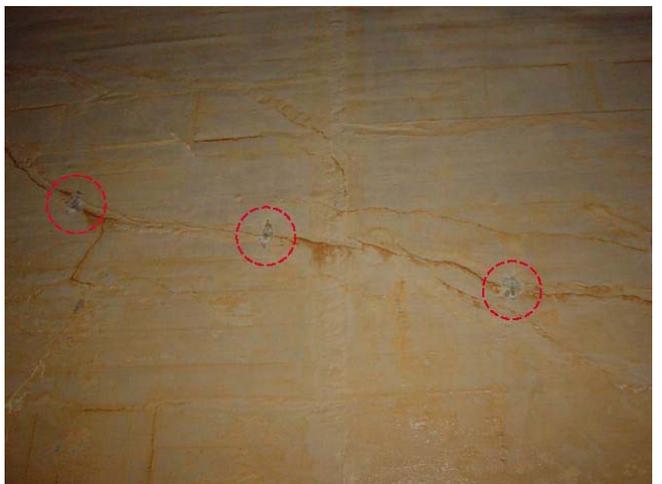
新トンネルのコンクリート内部の状態・強度を把握するために行われたコア採取。旧トンネルでも 5 箇所でもコアを採取し強度試験を行った。



新トンネル出口にある新ワリ地下貯水池槽。長さ 160 m、幅 12 m、高さ 12 m。1 槽の容量は 15,350 m<sup>3</sup> で 4 槽ある。



新ワリ地下貯水池槽 No.4 の壁面ひび割れの修理跡。壁面が孕みつつある、と言われている。



新ワリ地下貯水池槽 No.4 の壁面ひび割れ部に、ガラス片を貼付け変動を観測中。

## 略 語 集

DAWSSA	Damascus City Water Supply And Sewerage Authority ダマスカス市上下水道公社
EL	Elevation 標高、海拔
FRP	Fiber Reinforced Plastic 繊維補強プラスチック
GDP	Gross Domestic Product 国内総生産
JICA	Japan International Cooperation Agency 独立行政法人国際協力機構
MoHC	Ministry of Housing and Construction 住宅・建設省
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition 計測データ制御及び監視システム
SPC	State Planning Commission 国家企画庁
TD	Total Distance トンネル入口からの累加距離（DAWSSA がトンネル内に設置している距離票）
UFW	Unaccounted for Water 無収水
(通貨)	
US\$	US Dollar 米ドル
SL or SP	Syrian Pound シリア・ポンド
¥	Yen 日本円

## 要 約

シリア・アラブ共和国（以下、シリア）の首都であるダマスカス市の人口は 155 万人であり、首都圏を含めると 277 万人となっている（2003 年）。ダマスカス首都圏の水源は、フィジェ湧水池（73%を供給、以下同じ）、バラダ湧水池（12%）、そしてダマスカス市内の井戸群（15%）である。市街から北西に約 15 km の距離に位置するフィジェ湧水池が主要水源である。フィジェ湧水池の水が少なくなる夏季には、更に 15 km 西方に位置するバラダ湧水池からの水と合わせて利用している。ダマスカス市内には井戸群がさく井され、ポンプにて汲み上げられ、上水に利用されている。ダマスカス平地での降雨量は 100 mm/年、湧水池の流域平均で 515 mm/年と小さい。主要水源であるフィジェ湧水池は季節変動量が大きく、乾季（5-11 月）に湧水量は漸減し、7 月以降はダマスカス首都圏への必要供給量（6-7 m<sup>3</sup>/s）を大きく下回って 3 m<sup>3</sup>/s 程度の湧水量となり、バラダ湧水池と市内の井戸群から給水を行っても断水を強いられている。水資源が乏しいため、「第 9 次国家社会開発 5 ヶ年計画（2001-2005 年）」では水資源の有効利用が重要課題として位置付けられている。又、既存施設のリハビリ計画にも重点を置いている。

フィジェ湧水池からは、1930 年に建設された旧トンネル（延長 16.2 km）と 1980 年に建設された新トンネル（延長 14.4 km）が湧水池の水をダマスカス市内のワリ貯水池まで送水し、貯水池から市内へ配水管網で配水されている。送水トンネルは、ダマスカス首都圏の全水供給量の 85%以上を送水し、新・旧トンネルはダマスカス市にとって生命線となっている。上記のとおり、ダマスカス市での水事情は逼迫しているので、送水トンネルの漏水防止や維持管理は重要課題である。

旧トンネルはフランスにより、1960 年代に改修されているが、建設後 75 年を経た長い供用期間に伴い損傷・劣化が進行している。旧トンネルの漏水率は 27%と大きく、漏水箇所はトンネル入口より 3 km 区間に集中していることが測定された。旧トンネル入口より 300 m 地点にて、地盤の変位によると思われる構造クラックが 45 m の長さに渡り発達している。地表の樹木の木根がトンネル内に浸入している箇所、激しく発錆して使用不能なゲート、多数のコンクリートクラックの発生、コンクリート表面の剥離・剥落、露出して発錆している鉄筋、等の損傷・劣化が見られる。

一方、新トンネルは建設後 25 年と供用期間が比較的短いことから、損傷箇所は少なく漏水率も約 1%と僅かである。しかしながら、新トンネルの入口から 3,170 m 付近に見られるコンクリート劣化は、トンネル背面から供給される腐食性物質（硫酸塩）によるものと判断され、放置しておくとも更に劣化が進み、著しく部材耐力が減少する。

上記の水供給に係わる現状のなか、シリア政府は、2003 年 7 月に新・旧送水トンネルの改修内容とする要請書を日本政府に提出した。日本政府はこの要請を受け、2004 年 6 月 18 日より 7 月 24 日までの期間、独立行政法人国際協力機構（JICA）は予備調査団を派遣した。新・旧トンネルの改修の必要性が確認され、JICA は 2004 年 11 月 13 日より 12 月 27 日までの期間、基本設計調査団を派遣し現地調査を実施した。2005 年 1 月より 2 月には国内解析作業が実施され、基本設計概要書が作成された。2005 年 3 月 10 日より 3 月 18 日まで、基本設計概要説明調査団が派遣され、基本設計概要がシリア側に説明され、その内容についてシリア側と合意された。

新・旧トンネルの劣化・損傷箇所を現地調査にて特定し、これら劣化・損傷箇所を修復すれば、トンネルの延命となり、今後の水供給に供用され得ることが確認された。トンネルの改修により、今後とも安全に良質の水を供給することができる。

旧トンネルの漏水量が大きい上流(3 km)区間には、約1 m四方のFRP板(Fiber Reinforced Plastic)をトンネルの内側から張り付ける工法を選定した。コンクリートに打ち付けたアンカーによりFRP板を固定し、コンクリートとFRP材の隙間を無収縮モルタル充填し止水を図る。この工法は、上流(3 km)区間のみならず、下流での劣化・損傷の激しい箇所や、木根が進入している箇所にも適用する。旧トンネル入口より300 m地点の構造クラックの補修は、3 m長さのロックボルトをトンネルの岩盤内に挿入する工法を選定した。入口より10.7 kmに位置する、橋長60 mの水路橋No. 3の桁部分が劣化し、一部コンクリートが剥落し鉄筋が露出している。現行コンクリートを切開する等の補修は危険を伴うため、桁下に炭素繊維シートを張り付ける工法を選定した。旧トンネルの10 km地点及び13 km地点には、トンネル補強を目的とした鉄パイプによる内ばりが設置されている。鉄パイプが発錆しているため、補強効果を復元するために表面被覆による補修を行う。

新・旧トンネルの入口には共用するゲートが設置されている。この入口ゲートはトンネル内の流量を制御する唯一の施設である。ゲート遮断時には漏水が生じ、ゲート自体が発錆しているため、交換する。旧トンネルの下流部には、デューマ溪谷を横断するサイホンパイプが年代を経て4本設置されている。その内、径1,400 mmのアスベストパイプが常用され、他3本は使用されていない。非使用の3本のパイプは入口・出口にゲートで遮断されているが、発錆が激しく殆どゲートの機能を発揮していない。地表の地滑りや地盤沈下によりサイホンパイプが損傷する事故が1963年と1996年に発生した。水が溢れ出し、修復期間中はトンネルの送水機能は停止してしまった。今後、同様の事故による被害を防ぐため、ゲートの交換を行い、非使用のパイプ内は常時排水することとする。合計6門のゲートを交換するのではなく、トンネル部分の上・下流に1門ずつ新規に設置する。

新トンネルの入口より3,170 m付近のコンクリート劣化箇所は、トンネル背面からの腐食性物質(硫酸塩)により被害を受けていると思われる。トンネル延長方向の6 m区間に渡り、表面を15 cm深さに削り取り、FRP板を設計断面に設置した後、FRP板とコンクリートの隙間(15 cm厚)を耐食性の樹脂モルタルにて充填する。

両トンネルとも、0.2 mm以上のコンクリートひび割れにはエポキシ樹脂を注入し、10 cm以上のコンクリートの剥離・剥落部にはポリマーセメントモルタルによる補修を行う。トンネルの改修工事数量は下表に示される。

対象	改修内容	数量
旧 ト ン ネ ル	① 内張り FRP 工法	延長 1,546m (5,504m <sup>2</sup> )
	② ロックボルト工法	延長 45m (46 断面)
	③ コンクリート劣化部の補修 (ひび割れ)	566m
	④ コンクリート劣化部の補修 (剥落修復)	8,892 箇所
	⑤ 鋼管による補強部の補修 (表面被覆)	156 本 (43.1m <sup>2</sup> )
	⑥ No.3 水路橋補強部材の補修 (炭素繊維シート)	28.2m <sup>2</sup>
	⑦ ゲート交換	トンネル入り口 1 門 サイホン部 2 門
新 ト ン ネ ル	① コンクリート腐食部の補修 (断面修復)	34.6m <sup>2</sup>
	② コンクリート劣化部の補修 (ひび割れ)	13m
	③ コンクリート劣化部の補修 (剥落修復)	219 箇所

本計画はトンネル構造物の改修のみならず、シリア側が持続的な維持管理が行えるように、マニュアルの整備や研修を通して体制の確立を図る。更に、新トンネルの出口が直結している新地下貯水池の安全性を確認できるように、地下空洞の変位観測計器とひずみ観測計器を設置し、シリア側が自前で観測する体制を確立する。これらは、工事期間中にソフトコンポーネントによって実施する。

2 ヶ月の詳細設計を終えた後、工事入札が実施され日本のコントラクターが選定される。改修工事期間は 11 ヶ月と見積もられ、詳細設計も含めた単年度の実施形態とする。概算事業費は 3.95 億円 (日本側負担) と見積もられる。シリア側負担は、事業実施のための要員派遣、工事实施のための事務所用地や資材置き場用地の提供、日本の協力によるプロジェクトとしての市民への広報、等である。

シリアの給水事業は住宅・建設省が所管しており、その監督のもとに各地に上下水道公社が設立されている。ダマスカス上下水道公社がダマスカス市の水供給事業を実施しており、本送水トンネル改修計画の実施機関となる。ダマスカス上下水道公社の職員数は 1,319 名 (2004 年 11 月) で、本計画の担当部局は計画設計局及び建設管理局である。工事終了後は、開発維持管理局の生産部がトンネルの運営を担当し、同局の維持車両部がトンネルの維持管理を担う。新地下貯水池の変位計測は、計画設計局及び開発維持管理局が協同して計測を数年間継続する。

本計画が実施されれば、3.21 百万 m<sup>3</sup>/年の旧トンネルからの漏水量を止水することができる。ダマスカス上下水道公社が供給する量の 1.6% の水を節約できる。ダマスカス首都圏の一人当たりの水消費量は、124 l/人/日であるから、本改修計画による漏水防止によって、71,000 人分の家庭用水を新規に開発したのと等価となる。更に、旧トンネルの構造クラックを補修することによる安全性の向上、トンネル覆工コンクリートのひび割れや剥離・剥落を修理することによるトンネルの延命、サイホンパイプ部のゲート交換による事故時の被害防止、ソフトコンポーネントによる維持管理技術の向上、等の効果を得られる。よって、我が国の無償資金協力によって実施されることの意義は大きいと判断される。

両トンネルとも供用期間が経過するに従い、劣化が進行する。本事業によるトンネル改修工事後には、定期的なトンネル点検を実施し、点検によって確認されたトンネルの劣化・損傷を初期に修復を行うことが提言される。旧トンネルは土被り厚が小さいため、地上の影響を受け易い。

従い、トンネル内部のみならず、トンネル上部の地表の活動・変化にも十分留意することが求められる。更に、ワリ地下貯水池の空洞変位観測を数年継続し、その挙動に留意することが求められる。

シリア・アラブ共和国  
ダマスカス送水トンネル改修計画

基本設計調査報告書

序文  
伝達状  
プロジェクト位置図  
写真  
略語集  
要約

目 次

	ページ
第1章 プロジェクトの背景・経緯.....	1
1.1 当該セクターの現状と課題.....	1
1.1.1 現状と課題.....	1
1.1.1.1 水供給概要.....	1
1.1.1.2 水供給量.....	1
1.1.1.3 需給バランス.....	2
1.1.1.4 トンネルの安定性・漏水.....	3
1.1.1.5 トンネル点検・診断.....	3
1.1.2 開発計画.....	4
1.1.3 社会経済状況.....	4
1.2 無償資金協力要請の背景・経緯及び概要.....	5
1.3 我が国の援助動向.....	5
1.4 他ドナーの援助動向.....	6
第2章 プロジェクトを取り巻く状況.....	7
2.1 プロジェクトの実施体制.....	7
2.1.1 組織・人員.....	7
2.1.2 財政・予算.....	7
2.1.3 技術水準.....	8
2.1.4 既存の施設・機材.....	9
2.2 プロジェクト・サイト及び周辺の状況.....	12
2.2.1 関連インフラの整備状況.....	12
2.2.2 自然条件.....	13
2.2.2.1 地質・地形.....	13
2.2.2.2 水文量.....	14

2.2.2.3	湧水量.....	15
2.2.2.4	トンネル送水量.....	16
2.2.2.5	日供給量・消費量.....	17
2.2.3	その他.....	18
2.2.3.1	トンネル漏水量.....	18
2.2.3.2	水質.....	21
2.2.3.3	トンネル補修区間.....	23
2.2.3.4	トンネル空隙調査.....	23
2.2.3.5	コンクリート強度試験.....	23
2.2.3.6	内空断面形状測定.....	26
2.2.3.7	旧トンネル サイフォン部の状況調査.....	26
第3章	プロジェクトの内容.....	28
3.1	プロジェクトの概要.....	28
3.2	協力対象事業の基本設計.....	29
3.2.1	設計方針.....	29
3.2.2	基本計画.....	31
3.2.3	基本設計図.....	32
3.2.4	施工計画/調達計画.....	33
3.2.4.1	施工方針/調達方針.....	33
3.2.4.2	施工上/調達上の留意事項.....	35
3.2.4.3	施工区分/調達・据付区分.....	35
3.2.4.4	施工監理計画/調達監理計画.....	35
3.2.4.5	品質管理計画.....	36
3.2.4.6	資機材調達計画.....	36
3.2.4.7	ソフトコンポーネント計画.....	37
3.2.4.8	実施工程.....	43
3.3	相手国側分担事業の概要.....	44
3.4	プロジェクトの運営・維持管理計画.....	44
3.5	プロジェクトの概算事業費.....	45
3.5.1	協力対象事業の概算事業費.....	45
3.5.2	運営・維持管理費.....	46
3.6	協力対象事業実施に当たっての留意事項.....	46
第4章	プロジェクトの妥当性の検証.....	47
4.1	プロジェクトの効果.....	47
4.2	課題・提言.....	48
4.3	プロジェクトの妥当性.....	49
4.4	結論.....	50

## 付 表

表 1-1-1	各水源からの供給量 (1999).....	T-1
表 1-1-2	各水源からの供給量 (2000).....	T-2
表 1-1-3	各水源からの供給量 (2001).....	T-3
表 1-1-4	各水源からの供給量 (2002).....	T-4
表 1-1-5	各水源からの供給量 (2003).....	T-5
表 1-1-6	各水源からの供給量 (2004).....	T-6
表 1-2-1	断水時間 (1999-2000) .....	T-7
表 1-2-2	断水時間 (2001-2002) .....	T-8
表 1-2-3	断水時間 (2003-2004) .....	T-9
表 2-1	貯水池・タンク施設 .....	T-10
表 2-2-1	日雨量表 (1999-2001) .....	T-11
表 2-2-2	日雨量表 (2001-2003) .....	T-12
表 2-2-3	日雨量表 (2003-2004) .....	T-13
表 2-3-1	フィジェ日湧水量 (1999-2000).....	T-14
表 2-3-2	フィジェ日湧水量 (2001-2002).....	T-15
表 2-3-3	フィジェ日湧水量 (2003).....	T-16
表 2-4-1	旧トンネル送水量 (2000-2004).....	T-17
表 2-4-2	新トンネル送水量 (2000-2004).....	T-18
表 2-4-3	トンネル合計送水量 (2000-2004).....	T-19
表 2-5-1	新ワリ貯水池の日水収支 (1998) .....	T-20
表 2-5-2	新ワリ貯水池の日水収支 (2000) .....	T-21
表 2-5-3	新ワリ貯水池の日水収支 (2003) .....	T-22
表 3-1	旧トンネル上流部漏水対策工比較検討結果.....	T-23
表 3-2	旧トンネル TD300-345 区間、構造クラック対策案.....	T-24
表 3-3	旧トンネル内張り工適用箇所.....	T-25

## 付 図

図 1-1	フィジェ・バラダ湧水池位置およびダマスカス市新規水資源開発計画 .....	F-1
図 1-2	各水源からの供給量と目標供給量 .....	F-2
図 1-3	ダマスカス市導水計画（沿岸部導水・ユーフラテス川導水） .....	F-3
図 2-1	ダマスカス市近郊地図 .....	F-4
図 2-2	住宅・建設省組織図 .....	F-5
図 2-3	ダマスカス市上下水道公社組織図 .....	F-6
図 2-4	送水トンネル・道路位置図 .....	F-7
図 2-5	ダマスカス市井戸群位置図 .....	F-8
図 2-6	ダマスカス市配水管改修計画 .....	F-9
図 2-7	プロジェクト地域地質図 .....	F-10
図 2-8	DAWSSA 雨量観測所位置図 .....	F-11
図 2-9	トンネル月送水量 .....	F-12
図 2-10	トンネル入口・出口での水質調査結果 .....	F-13
図 2-11	旧トンネル調査結果 .....	F-14
図 2-12	新トンネル調査結果 .....	F-15
図 2-13-1	旧トンネル空隙調査結果(1) .....	F-16
図 2-13-2	旧トンネル空隙調査結果(2) .....	F-17
図 2-13-3	旧トンネル空隙調査結果(3) .....	F-18
図 2-14-1	新トンネル空隙調査結果(1) .....	F-19
図 2-14-2	新トンネル空隙調査結果(2) .....	F-20
図 2-15-1	旧トンネル内空断面測定結果 (1) .....	F-21
図 2-15-2	旧トンネル内空断面測定結果 (2) .....	F-22
図 2-15-3	旧トンネル内空断面測定結果 (3) .....	F-23
図 2-15-4	旧トンネル内空断面測定結果 (4) .....	F-24
図 2-15-5	旧トンネル内空断面測定結果 (5) .....	F-25
図 2-16	新トンネル内空断面測定結果 .....	F-26
図 3-1	代替案一般図 .....	F-27
図 3-2	トンネル全体図 .....	F-28
図 3-3	旧トンネル内張り工標準断面図 .....	F-29
図 3-4	旧トンネル TD 300-345 区間補修、ロックボルト配置図 .....	F-30
図 3-5	フィジェ湧水池取水ゲート一般図 .....	F-31
図 3-6	フィジェ湧水池取水ゲート詳細図 .....	F-32
図 3-7	旧トンネルサイフォン部ゲート一般図 .....	F-33
図 3-8	旧トンネルサイフォン部ゲート詳細図 .....	F-34
図 3-9	旧トンネル No.3 水路橋補修詳細図 .....	F-35
図 3-10	新トンネル TD 3,166-3,172 区間、コンクリート劣化部修復図 .....	F-36

## 資 料

資料 1	調査団員氏名 .....	A-1
資料 2	調査日程 .....	A-1
資料 3	関係者リスト .....	A-3
資料 4	討議議事録 (M/D) .....	A-4
	4.1 基本設計調査 インセプション議事録 (2004 年 11 月) .....	A-4
	4.2 現地説明議事録 (2005 年 3 月) .....	A-12
資料 5	事業事前計画表 (基本設計時) .....	A-16
資料 6	収集資料リスト .....	A-18
資料 7	その他資料・情報 .....	A-20
	7.1 トンネル漏水調査 .....	A-20
	7.2 水質調査 .....	A-62
	7.3 トンネル補修工の基本設計 .....	A-68
	7.4 取水口ゲート及びサイフォン部ゲートの基本設計 .....	A-85

通貨交換率

US\$ 1 = ¥ 105.18

US\$ 1 = SP 52.5

# 第1章 プロジェクトの背景・経緯

## 1.1 当該セクターの現状と課題

### 1.1.1 現状と課題

#### 1.1.1.1 水供給概要

シリア国の首都であるダマスカス市の水源は、古代から同市の北西に位置するフィジェ湧水とバラダ湧水を利用している（図 1-1 参照）。両湧水池ともアンティ レバノン山脈からの地下水が地上に湧出しているものである。バラダ湧水はフィジェ湧水より更に遠方にあり、直径 1,200 mm のパイプでバラダ湧水の水をフィジェ湧水池に送水できるようになっている。フィジェ湧水池からは、1920 年代に建設された旧トンネル（延長 16.2 km）と 1980 年代に建設された新トンネル（延長 14.4 km）が湧水池の水をダマスカス市内のワリ貯水池まで送水し、市内へ配水管網で配水している。この 2 本のトンネルが本送水トンネル修復計画の対象施設である。ダマスカス市内には井戸群がさく井されポンプにて汲み上げられ、上水に利用されている。

ダマスカス市内の水供給は、ダマスカス市上下水道公社（Damascus City Water Supply and Sewerage Authority、以下 DAWSSA と呼称）が行っている。

#### 1.1.1.2 水供給量

フィジェ湧水池・バラダ湧水池・市内井戸群からの日供給量（1999 年から 2004 年）を表 1-1-1～6 に示す。各月の各水源からの供給量は以下に纏められる。

(Unit: mil. m<sup>3</sup>)

		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total	
1999	Figeh	8.79	10.46	14.50	20.59	14.79	9.40	7.75	6.88	6.48	6.11	5.89	5.85	117.51	55.9%
	Barada	3.82	3.86	3.48	0.00	3.54	3.93	3.91	3.56	3.51	3.94	3.89	3.92	41.38	19.7%
	Wells	5.68	5.75	3.92	0.69	1.25	4.97	5.38	5.36	4.96	4.65	4.41	4.24	51.26	24.4%
	Total	18.29	20.07	21.91	21.28	19.58	18.31	17.04	15.80	14.96	14.70	14.20	14.02	210.15	100.0%
2000	Figeh	5.99	7.35	14.40	19.82	18.21	11.21	8.59	7.59	7.11	7.07	7.09	7.04	121.48	63.5%
	Barada	3.95	3.95	2.03	0.00	1.39	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	31.94	16.7%
	Wells	4.21	4.09	2.10	0.43	0.72	4.69	4.17	3.84	3.50	3.40	3.28	3.32	37.75	19.7%
	Total	14.16	15.39	18.54	20.25	20.32	18.85	15.71	14.38	13.56	13.41	13.31	13.31	191.18	100.0%
2001	Figeh	7.83	9.21	18.97	19.34	12.72	8.48	7.13	6.77	6.14	5.86	6.19	6.79	115.44	67.8%
	Barada	2.95	2.95	0.48	0.00	0.93	2.95	2.83	2.93	2.95	2.95	2.95	2.95	27.79	16.3%
	Wells	3.27	3.33	0.32	0.00	1.55	2.89	3.09	2.76	2.59	2.51	2.43	2.28	27.03	15.9%
	Total	14.04	15.49	19.77	19.34	15.21	14.31	13.06	12.46	11.68	11.32	11.56	12.02	170.26	100.0%
2002	Figeh	7.23	13.76	19.75	16.38	16.95	11.69	8.37	7.24	7.08	6.69	6.79	9.12	131.05	75.5%
	Barada	2.95	0.97	0.00	0.00	0.19	2.35	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.00	23.18	13.4%
	Wells	1.73	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	19.27	11.1%
	Total	11.91	16.33	21.34	17.98	18.74	15.63	12.91	11.78	11.62	11.23	11.33	12.71	173.50	100.0%
2003	Figeh	15.31	16.77	16.98	17.57	18.83	19.25	19.89	19.87	18.11	15.76	14.07	11.97	204.39	88.9%
	Barada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	2.93	2.85	6.49	2.8%
	Wells	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	19.13	8.3%
	Total	16.90	18.37	18.58	19.17	20.42	20.85	21.48	21.47	19.70	18.07	18.60	16.42	230.01	100.0%
2004	Figeh	13.23	16.01	17.12	17.58	18.12	18.66	17.69	15.07	12.88	11.73	11.11		169.20	83.9%
	Barada	2.35	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	1.78	2.90	3.79	3.45		14.97	7.4%
	Wells	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59		17.54	8.7%
	Total	17.17	17.93	18.72	19.17	19.72	20.26	19.67	18.44	17.38	17.11	16.15		201.71	100.0%
Total	Figeh	58.38	73.57	101.73	111.29	99.62	78.70	69.42	63.43	57.81	53.22	51.13	40.78	859.08	73.0%
		63.1%	71.0%	85.6%	95.0%	87.4%	72.7%	69.5%	67.2%	65.0%	62.0%	60.1%	59.6%		
	Barada	16.01	12.05	5.99	0.00	6.06	12.17	13.02	14.16	15.25	17.27	19.10	14.66	145.75	12.4%
		17.3%	11.6%	5.0%	0.0%	5.3%	11.3%	13.0%	15.0%	17.2%	20.1%	22.4%	21.4%		
	Wells	18.08	17.96	11.12	5.91	8.30	17.33	17.43	16.74	15.83	15.34	14.90	13.03	171.98	14.6%
	19.6%	17.3%	9.4%	5.0%	7.3%	16.0%	17.5%	17.7%	17.8%	17.9%	17.5%	19.0%			
	Total	92.47	103.58	118.84	117.20	113.98	108.20	99.87	94.33	88.89	85.83	85.14	68.47	1,176.81	100%

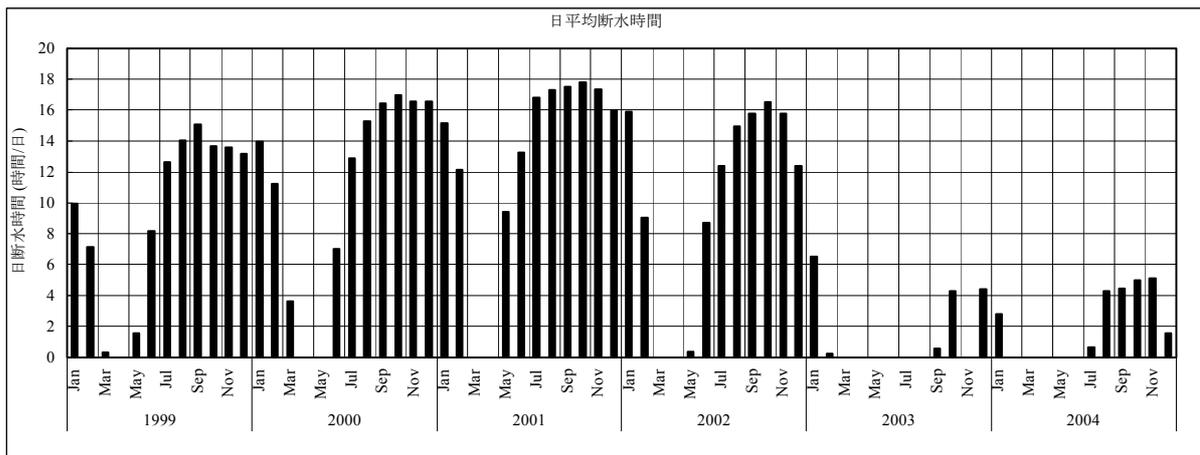
(出典：DAWSSA 資料)

フィジエ湧水池からの供給が最大で、6年間（1999-2004年）の平均では73%の供給率を占めている。バラダ湧水池と市内井戸群はフィジエ湧水池からの水が不足する場合に供給を行っており、供給率は各々10数%である。フィジエ湧水池から豊富に水が湧出する3-5月には、フィジエ湧水池の供給率は85%以上となり、4月には95%に達する。一方、フィジエ湧水池からの湧水量が減少し、雨季の開始時期となる10-12月には、バラダ湧水池の供給率は20%以上となる。

### 1.1.1.3 需給バランス

1993年は豊水年となり断水もなく、全需要を満たすことが出来た。DAWSSAはこの年の供給量を需要量として以後使用しているが、本報告書では目標供給量と呼ぶ。目標供給量と各水源からの供給量を図1-2に示す。フィジエ湧水池の湧出量が豊富な2-5月は目標供給量を概ね満たしている。しかし、1月・6-12月での供給量は、2003年を除いて目標供給量を大幅に下回っている。2002年10月から2003年5月の雨季には降雨量が平年の2倍となりフィジエ湧水池からの湧水量も豊富となり、2003年は水需要を満たす水供給を行うことが出来た。水供給量が目標供給量を下回った際の断水時間を表1-2に示す。月別の断水時間を下表・下図に纏める。

	1999			2000			2001			2002			2003			2004			平均	
	月断水時間 (hr)	日平均断水時間 (hr/day)	断水日数 (days)	月断水時間 (hr)	日平均断水時間 (hr/day)	断水日数 (days)	月断水時間 (hr)	日平均断水時間 (hr/day)	断水日数 (days)	月断水時間 (hr)	日平均断水時間 (hr/day)	断水日数 (days)	月断水時間 (hr)	日平均断水時間 (hr/day)	断水日数 (days)	月断水時間 (hr)	日平均断水時間 (hr/day)	断水日数 (days)	月断水時間 (hr)	日平均断水時間 (hr/day)
Jan	308	9.9	31	433	14.0	31	470	15.2	31	493	15.9	31	203	6.5	15	87	2.8	19	332	10.7
Feb	199	7.1	25	325	11.2	28	340	12.1	28	253	9.0	19	6	0.2	1	0	0.0	0	187	6.7
Mar	10	0.3	2	113	3.6	14	0	0.0	3	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	0	20	0.7
Apr	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0
May	48	1.6	7	0	0.0	0	293	9.4	16	12	0.4	0	0	0.0	0	0	0.0	0	59	1.9
Jun	245	8.2	27	211	7.0	24	398	13.3	30	261	8.7	30	0	0.0	0	0	0.0	0	186	6.2
Jul	391	12.6	31	399	12.9	31	521	16.8	31	385	12.4	31	0	0.0	0	20	0.6	6	286	9.2
Aug	436	14.1	31	474	15.3	31	537	17.3	31	463	14.9	31	0	0.0	0	133	4.3	29	340	11.0
Sep	452	15.1	30	494	16.5	30	525	17.5	30	472	15.7	30	17	0.6	6	134	4.5	27	349	11.6
Oct	423	13.7	31	527	17.0	31	553	17.8	31	512	16.5	31	133	4.3	27	155	5.0	30	384	12.4
Nov	408	13.6	31	497	16.6	30	520	17.3	30	474	15.8	30	0	0.0	0	154	5.1	27	342	11.4
Dec	408	13.2	31	513	16.6	31	496	16.0	31	384	12.4	28	138	4.4	30	48	1.5	9	331	10.7
合計	3,329	9.1	277	3,986	10.9	281	4,650	12.7	292	3,709	10.2	261	496	1.4	79	731	2.0	147	2,817	7.7



注) : 日平均断水時間= 月総断水時間/ 月日数  
 (出典 : DAWSSA 資料)

1999年から2004年の6年間では、4月に断水時間は0時間であった。1月・8-12月の断水時間は300時間/月以上、断水日数は10日/月以上となっている。豊水年であった2003年は、断水が激減している。

水の利用分野は以下のとおりとなっている。

家庭用水	82 %
工業・商業用水	4 %
公共用水	14 %

1999年から2004年の6年間の年間平均供給量は196.14百万 $m^3$ であった。その内、家庭用水の使用率は82%であるから、使用量は160.83百万 $m^3$ ( $=196.14 \times 0.82$ )となる。DAWSSAのサービス域の裨益人口は277万人なので、1日当たりの給水量は、159 $l$ /人/日( $=160.83 / 2.77 / 365days$ )となる。給水施設の漏水率は22%(2004年)であるから、1日当たりの実使用量は、124 $l$ /人/日( $=160.83 \times (1-0.22) / 2.77 / 365days$ )となる。日本では約300 $l$ /人/日、東南アジアで約200-250 $l$ /人/日であるから、水資源が乏しいためダマスカス市での一人当たりの消費量はかなり小さいと言える。

#### 1.1.1.4 トンネルの安定性・漏水

新・旧トンネルはフィジェ・バラダ湧水を送水しており、ダマスカス市の全水供給量の85%以上を占め、トンネルを健全に維持管理することは、ダマスカス市水供給の最重要事項である。2004年11月・12月に行われた現地トンネル調査から、下記事項が結論された。

- 新トンネルは建設後約25年と時間が余り経過していないため、概ね健全な状態が保たれている。トンネル入口よりTD 3,170 m (TD= Total Distance、DAWSSAの表示方式) 付近の6 m区間は、コンクリート表面の10数cm厚さが劣化しており、修復が必要となる。その他箇所は、コンクリートひび割れや、コンクリート剥落が散見され、ひび割れ充填やコンクリート置き換え等、局所的補修が必要である。トンネルからの漏水や地下水のトンネル内への湧水は殆ど見られない。
- 旧トンネルは建設後75年が経過し、コンクリートのひび割れ・剥落が数多く存在し、樹根がトンネル内に進入している個所もあり、補修が必要である。調査団はトンネルの漏水率を27%と測定し、止水が必要である。トンネル上の土被りが小さい区間が多く、地上での開発行為や重量物建設による影響を受けやすい。

#### 1.1.1.5 トンネル点検・診断

シリア国にはトンネル構造物が極めて少なく、トンネル点検・診断・補修の技術が蓄積されていない。旧トンネルはフランスのSOGREAH社により、1967年、1980年に点検されている。その後、国内コンサルタントにトンネル点検を委託しているようだが、DAWSSA自身が技術を蓄積し、簡単な補修についてはDAWSSA自身でできることが望ましい。

トンネル出口は、水供給量を調整するための地下貯水池(新・旧ワリ貯水池)に連結されている。新ワリ貯水池は4槽の地下空洞(体積61,400 $m^3=4 \times 15,350 m^3$ )から構成され、3・4番槽の底版及び壁面にはひび割れの損傷が見られる。DAWSSAは1999年5月にひび割れを跨いで、70枚のガラス片を貼り付けた。ひび割れ幅10 mmの補修も報告されている。2002年6月のレポートでは、壁面には大きな変位が見られな

かったが、底版に貼り付けたガラス片は壊れた（破損したガラス片数は不明）、との報告である。1999年から2002年までに、底版はひび割れを挟んで段差変位していることが少なくとも分かる。地下空洞の定量的な変位観測が行われていないため、今後、更に空洞変位が進行し安定性に重大な影響を与えるのか予見が出来ない。早急に変位・歪の観測を開始すべきである。

### 1.1.2 開発計画

ダマスカスは水資源に乏しいため、水事情が逼迫している。毎年、断水が頻発しており、水供給に対する安全度基準は規定されていない。日本では10年に1度、欧州では30-50年に1度の渇水に対して安全となる対策を取っている。水供給の改善のために、配水管の漏水防止計画、深井戸さく井による新規水源開発計画、沿岸部からの導水計画、最終案としてのユーフラテス川導水計画等が、実施又は立案されている。レバノン国境沿いに計画された深井戸による水源開発計画を図1-1に示し、沿岸部・ユーフラテス川導水計画は、図1-3に示されている。

配水管を整備して漏水を防止する事業は、日本の無償資金により、ダマスカス市内域でフェーズ1及びフェーズ2が実施された。沿岸部からの導水計画に対応した配水管網の計画・設計がクウェート資金を用いて進行中である。

### 1.1.3 社会経済状況

#### 1) 社会状況

シリア国は地中海東部に位置し、その面積は185,170 km<sup>2</sup>（日本の約半分）である。シリア国の人口は1,940万人で、ダマスカス市の人口は154.6万人である（シリア国統計資料、2003年1月現在）。人種はアラブ人が85%を占め、他にアルメニア人、クルド人、パレスチナ人で構成されている。宗教は85%がイスラム教、13%がキリスト教を信仰している。

#### 2) 経済状況

シリア経済は1990年代後半以降低迷を続け、高い人口増加率（3%）と相まって、厳しい状況にある。他方、民間銀行・外国銀行の設立、証券市場設立の決定等、経済改革が実施されている。国内総生産（GDP）は219億ドル（2002年）で、一人当たりGDPは1,288ドル、経済成長率は3.1%であった。主要産業はサービス業（46.5%）、鉱工業（29.7%）、農業（23.8%）となっている。輸出額は63.0億ドル（2002年）で主要輸出品は、石油・石油製品、果物・野菜、繊維製品、綿花である。輸入額は46.6億ドル（2002年）で主要輸入品は、機械類、食料品、金属・金属製品、化学製品である。2002年での物価上昇率は3.0%であった。

シリア政府は、「第9次国家社会開発5ヵ年計画（2001-2005年）」を策定し、基本的な社会基盤を充実させ、地域間格差を是正していくことを目標としている。天然資源分野では、水を有効利用することが挙げられる。

## 1.2 無償資金協力要請の背景・経緯及び概要

シリア国の首都ダマスカス市は、同国の文化・経済の中心であり、人口も多く活動も活発である。ダマスカス市内の人口は154.6万人で、周辺首都圏を入れると304.5万人となる（2003年、統計局年鑑）。都市基盤施設の一つである給水は、水資源が不足して厳しい状況が続いている。水源の大半（85%以上）は、同市の北西に位置するフィジェ湧水・バラダ湧水に依存し、この湧水池からの水は2本の送水トンネルでダマスカス市街に送水されている。従い、同トンネルはダマスカス首都圏を支える生命線となっている。旧トンネルは1920年代に建設され、1960年代に修復されているが、老朽化が進んでいる。旧トンネルからの漏水率は、40-60%とシリア側は観測していた。新トンネルは、1980年代に建設されているが、本格的なトンネル診断が一度も実施されておらず、点検・診断が必要とされた。新・旧トンネルの維持管理は、ダマスカス市の水道システムにとって、極めて重要である。

シリア国政府は、新・旧2本の送水トンネルの修復計画の実施を日本の協力対象事業（無償資金協力）として2003年7月に要請してきた。日本政府はこの要請を受け、JICA（独立行政法人国際協力機構）を通じて2004年6月18日から7月24日までの間、予備調査団を派遣し議事録を締結した。新・旧トンネルの修復の必要性が確認され、JICAは2004年11月13日から12月27日までの間、基本設計調査団を派遣した。インセプション協議では対処方針に従い、調査方法についてシリア側と協議を行い、合意された（資料4.1参照）。基本設計調査の結果、新トンネルはトンネルからの漏水量も少なく、良好な状態にあることが診断された。旧トンネルは老朽化が進み、トンネル覆工コンクリートのひび割れ・剥離・鉄筋の腐食・樹根の進入が見られ、修復が必要と判断された。調査団は旧トンネルからの漏水量を27%と観測し、これを止水することは3.21百万m<sup>3</sup>/年の新規水源開発に相当する。

## 1.3 我が国の援助動向

水資源及び上水道セクターに関する、近年の日本の技術協力は下表に纏められる。

調査名	完了年	概要
ダマスカス市給水システム改善 拡充計画調査 フェーズ1	1996	(マスタープラン調査) ダマスカス市内の給水マスタープランの立案。
北西部・中部水資源開発計画調査 フェーズ1	1997	(マスタープラン調査) 北西部・中部域に含まれる5流域のマスタープラン調査。バラダ・アワジ流域が重点流域として選定された。
ダマスカス市給水システム改善 拡充計画調査 フェーズ2	1997	(FS調査) 漏水防止策・無収水削減策のために、流量計の導入・老朽パイプの交換を提言。2005年までに無収水を25%までに削減することを目標。
北西部・中部水資源開発計画調査 フェーズ2	2000	(FS調査) フェーズ1調査にて選定されたバラダ・アワジ流域のFS調査。水資源管理モデルの運用、表流水・地下水の観測網と水質モニタリング網の提言。
水資源情報センター整備計画	2002 - 2005	(技術協力プロジェクト) バラダ・アワジ流域、沿岸部流域の水文観測及び解析を通して、水資源管理に必要な情報の提供。

上水道セクターでの近年の無償援助では下表の事業が実施されている。

事業名	年度	事業費 (億円)	概要
ダマスカス郊外県給水開発計画	1995	10.80	ポンプ 23 台及び送水管資材一式 60 km 分
ダマスカス市内配水管改修計画 (フェーズ I)	1997-1999	14.85	配水管資材：46.3 km、維持管理用機材
第 2 次ダマスカス郊外県給水開発計画	2000	13.07	ポンプ 15 台及び送水管資材一式 54 km 分
ダマスカス市内配水管改修計画 (フェーズ II)	2002-2003	11.30	配水管資材：75 km、ソフトコンポーネント
水資源情報管理センター機材整備計画	2003	6.74	バラダ・アワジ流域及び沿岸流域における気象・水文情報のデータ収集、処理システムの整備
ダマスカス市水道水源拡張計画	2004	(調査中)	新規開発の水源から配水池への送水のための機材（揚水ポンプ、発電機等）

#### 1.4 他ドナーの援助動向

沿岸部からの導水計画をアラブファンドと自己資金にて実施中である。無償資金として 30 万クエートディナール（約 1 億円）が拠出されている。コンサルタントである IBG（スイス）と DHV（オランダ）が 2002 年 3 月より作業を開始している。2003 年 6 月までをフェーズ 1 とし、沿岸部 Markieh・Hussein 流域でのダム計画、沿岸部 Banias・Amreet 地域での 200-300 m 深さの深井戸の調査、導水パイプの路線検討を行った。ダマスカス市の年間水需要量は 2020 年に 626 百万 m<sup>3</sup>/年、2040 年に 1,005 百万 m<sup>3</sup>/年と予測されている。2004 年 4 月には基本設計を終えている。主要構造物は、直径 2,000 mm・長さ 228 km のパイプライン、64 箇所 の井戸群、2 箇所の取水ダム、貯水容量 1.2 百万 m<sup>3</sup> の貯水池、Tartous 市の東 4 km に位置する浄水場、等から構成される。建設費は 2,044 百万 US\$（約 2,247 億円）と見積もられ、2020 年完工を予定している。2040 年までに更に 2,059 百万 US\$（約 2,263 億円）の追加投資を行う計画である。2005 年 3 月には詳細設計を含む、入札図書が準備される。

沿岸部からの導水計画に合わせて、ダマスカス市内及び近郊の配水管整備が必要となる。クウェートファンドを用いて、F/S 調査を実施中である。コンサルタントはドイツのラーメーヤ社である。無償資金として 32.5 万クエートディナール（約 1.1 億円）が拠出されている。

既存の水源池・送水トンネル・配水幹線には SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) システムが設置されているが、外国資金を用いて不具合箇所の改修と設置範囲の拡張計画をシリア側は計画している。

## 第2章 プロジェクトを取り巻く状況

### 2.1 プロジェクトの実施体制

#### 2.1.1 組織・人員

シリア国の上下水道事業は、住宅・建設省（MoHC, Ministry of Housing and Construction）が主務官庁となっている。ダマスカス市の上下水道事業は、住宅・建設省の監督のもとに、ダマスカス市上下水道公社（DAWSSA, Damascus City Water Supply and Sewerage Authority）が上下水道事業を担っている。ダマスカス送水トンネル修復工事は、DAWSSA が実施機関となる。同公社は事業の計画・設計・施工・維持管理を一貫して担当している。ダマスカス市近郊を含む供給域を図 2-1 に示す。ダマスカス市の人口は 154.6 万人（2003 年、統計局年鑑）である。ダマスカス市上下水道公社はダマスカス市内のみならず近郊にも上水を供給している。供給域には、38 万戸の家屋があり、上水供給人口は 277 万人に達する（2003 年）。

住宅・建設省及びダマスカス市上下水道公社の組織図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。ダマスカス市上下水道公社は、総裁以下、職員数 1,319 名、一時雇用・契約雇用も含めると 1,813 名になる（2004 年 11 月現在）。送水トンネル補修工事は、調査設計局（職員数 130 名）と建設管理局（職員数 43 名）が施工管理を担当し、工事終了後は開発維持管理局の維持車両部（職員数 124 名）がトンネルの維持管理を担当する。

#### 2.1.2 財政・予算

##### 1) 財務

2000 年、2003 年及び 2004 年の歳入・歳出を以下に示す。1999 年までは黒字財政であったが、2000 年より歳出が歳入を上回り、赤字財政に転落している。歳出が歳入を上回った場合には、政府からの補助金が充当され、逆の場合は国庫に納入する仕組みとなっている。

歳入				歳出			
単位:千シリアポンド*				単位:千シリアポンド*			
	2000年	2003年	2004年		2000年	2003年	2004年
収入				給与	176,295	232,416	271,503
水道料金	332,838	448,059	429,573	消費財	60,562	96,327	97,000
公債				材料・消毒	6,261	10,000	10,000
契約収入				燃料・潤滑油	49,088	79,827	81,500
施設料金	8,703	7,130	8,605	文房具・印刷	4,956	6,000	5,000
メータ取り付け費	3,387	3,177	4,701	その他	257	500	500
施設維持費	46,572	62,211	66,164	サービス	57,482	68,838	74,838
寄付金	3,090	2,867	3,660	維持管理	18,314	26,000	30,000
工事費	5,020	4,266	7,317	契約	20,989	23,000	24,000
サービス料金				広報	1,675	2,200	2,200
メータ費	6,602	9,207	9,768	交通費	566	700	700
基本料金	1,732	1,859	1,859	レンタル費	3,192	6,500	6,500
資材販売				電気水道費	481	600	600
継ぎ手材	6,252	60,000	60,000	通信費	2,615	1,550	1,550
振込み収入				その他	9,650	8,288	9,288
債権利息	228	145	518	販売材料費	29,571	60,000	60,000
債権名義	193	189	724	運営費	137,383	149,143	185,264
補償収入	561	129	560	減価償却費	135,466	146,593	182,714
その他	27,708	26,485	26,373	積立金	700	700	700
合計	442,886	625,724	619,822	間接税	489	700	700
米ドル換算(千ドル)	8,436	11,919	11,806	その他税	494	850	850
				不動産	234	300	300
				特別費	3,000	3,000	3,600
				合計	461,293	606,724	692,205
				米ドル換算(千ドル)	8,787	11,557	13,185

注) : 交換比率= US\$ 1= SP 52.5  
出典 : DAWSSA 資料

歳入では水道料金が一番多く、70-75%を占めている。歳出では職員給与が40%弱と一番多く、次いで施設の原価償却費が25%前後を占めている。

## 2) 予算

2004年の財政実績から、2005年の予算を以下のとおり計画している。

単位:千シリアポンド*		
	2004年実績	2005年予算
歳入	619,822	688,504
歳出	692,205	786,842
収益	-72,383	-98,338
補助金	182,714	215,212

### 2.1.3 技術水準

これまで外国の技術協力を受け入れ、施設を整備してきた経緯がある。シリア国独自の設計基準類が整備されておらず、施設により設計基準が異なり、整合性が取れていない。トンネル点検に関する聞き取り調査では、外国技術・日本技術の研修の必要が確認された。職員数1,319名の内、学卒者であるエンジニアは260名であり、エンジニアの約半数は女性である。

大規模工事や修復工事は、請負形式により業者に発注し、その施工管理をDAWSSA職員

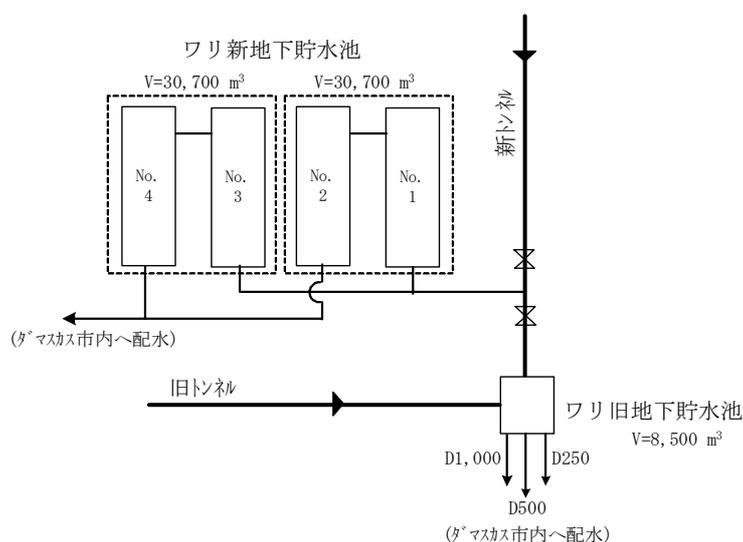
が行っている。DAWSSA はこれまで、日本の 2 件の無償機材案件を、日本のコンサルタントの指導のもとに実施している。日本の無償案件に経験を有し、配水管改修事業では配水管布設工事管理を行っている。これらの実績から DAWSSA は本計画を実施する技術的に十分な能力と経験があり、本計画に際して問題はない。

## 2.1.4 既存の施設・機材

### 1) 概要

ダマスカス市の北西部に位置するフィジェ湧水池・バラダ湧水池をダマスカス市水道の主要水源としている。バラダ湧水池とフィジェ湧水池は 2 箇所の減圧水槽を介して、直径 1,200 mm のパイプにて連結され、フィジェ湧水池の水が不足する時にバラダ湧水池の水を合わせて利用している。

これら 2 本のトンネル出口は下図に示すように地下貯水池に連結され、ダマスカス市内への配水量の時間調節を行っている。



### 2) 旧トンネル

延長 16.2km の旧トンネルはバラダ川の左岸沿いに 1925 年から 1929 年の期間で建設され、1930 年の供用開始から現在まで 75 年間にわたり使用されている。旧トンネルの断面形状には、幌形断面（上部半円-側壁垂直）と矩形断面があるが、矩形断面は TD.1,380 から TD.3,000 までのトンネル上の土被りが小さい箇所に部分的に用いられ、総延長の約 4%（約 600m）と僅かである。当時の施工精度上の問題からトンネル内空断面の大きさは場所々で幾分異なり、幌形断面は幅約 1.35m、高さ約 1.70～1.90m で、矩形断面は幅約 1.20～1.35m、高さ約 1.55～1.80m である。棒鋼による配筋が施されている断面は、トンネル上の土被りが小さいフィジェ湧水池やワリ貯水池に近い箇所の幌形断面、及び矩形断面であり、その他は無筋である。また、トンネル覆工の巻厚は 20～30cm である。

1967 年 9 月と 1980 年 11 月には、フランス SOGREAH 社により詳細点検が行われた。

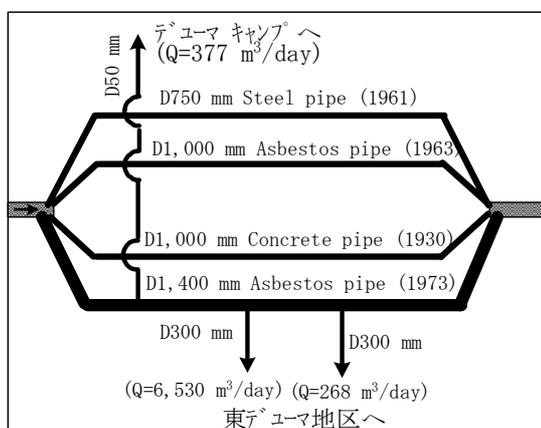
その後、1967年の冬から1968年の期間で、1967年に提案されたトンネル覆工の増厚や鋼管ばりを設置する改修工事などが行われた。この他、トンネル覆工壁面を平滑かつ防水するための表面塗装程度の補修は行われているが、1970年代以降、トンネル本体の大規模な改修工事は行われていない。

旧トンネルは自由水面をもつ無圧流で送水され、設計流量は $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ であるが、1967年の改修時には、改修工事後に満水による圧力状態（水深 $1.5 \text{ m}$ 以下）を回避するため、流量を $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ に制限するように提言された。また、1980年の詳細点検時には、将来的な水需要の増加を考慮して、 $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ の送水能力を確保するための検討が行われ、トンネル改修工（TD.1,380 から TD.3,000 までの矩形断面を対象に、トンネル縦断勾配の改善及び狭窄部の断面拡幅）が提案された経緯がある。その時の水理検討によると、補強のために増厚された狭窄部は、建設当初の設計流量を僅かながら下回る可能性が示唆された。

旧トンネルの途中には、トンネル区間のほかに水路橋とサイフォンがある。水路橋は4箇所あるが、水路橋 No.1～No.3 は、1960年代に外面補強が行われ、そのうち規模の大きい水路橋 No.3（橋長約 $60 \text{ m}$ ）に関しては、水路の2系統化を図るため、1963年3月に内径 $1,200 \text{ mm}$ のサイフォン（石綿セメント管）が連結された。また、現在、ワリ貯水池の敷地内にある水路橋 No.4 は、1975年の道路拡幅工事により埋設された状態にある。

一方、軍事施設内にあるデューマ溪谷のサイフォン（延長約 $560 \text{ m}$ ）は、場所打ちの鉄筋コンクリートで建設され、1961年には内径 $750 \text{ mm}$ のサイフォン（鋼管）が増設されて2系統化された。1963年3月12日にはサイフォンの下流側で地すべりが発生して損傷を受けたため、内径 $750 \text{ mm}$ 、長さ $70 \text{ m}$ の鋼管を用いて迅速に補修された。その後、1963年と1973年に、内径 $1,000 \text{ mm}$ と内径 $1,400 \text{ mm}$ のサイフォン（石綿セメント管）が増設され、現在、内径 $1,400 \text{ mm}$ のサイフォン（石綿セメント管）が主系統として常用されている。

旧トンネルは建設時に37箇所の作業坑が設けられた。現在、トンネル点検等で出入りが可能な箇所は、以下の9箇所である。



- 1) 作業坑 No.4 (TD 1,534)
- 2) 作業坑 No.5 (TD 1,670)
- 3) 作業坑 No.7 (TD 3,094)
- 4) 作業坑 No.11 (TD 4,230)
- 5) 作業坑 No.20 (TD 8,378)
- 6) 作業坑 No.24 (TD 10,180)
- 7) サイフォン呑口部 No.32 (TD 12,321)
- 8) サイフォン吐出部 No.33 (TD 12,887)
- 9) ワリ貯水池の敷地内にある径 $550 \text{ mm}$ の人孔 No.38 (TD 16,232)

1980年に建設された新トンネルと旧トンネルとの連絡に関しては、アラヨン横坑の800mmパイプを通じて、水路橋 No. 3 に送水が可能である。将来、沿岸部水資源開発計画により沿岸部から 3.5 m<sup>3</sup>/s の流量を水路橋 No. 3 に流入させる計画である。TD 12,300 付近のサイフォンには、上図に示すような分岐管が設置され、近傍に給水を行っている。

### 3) 新トンネル

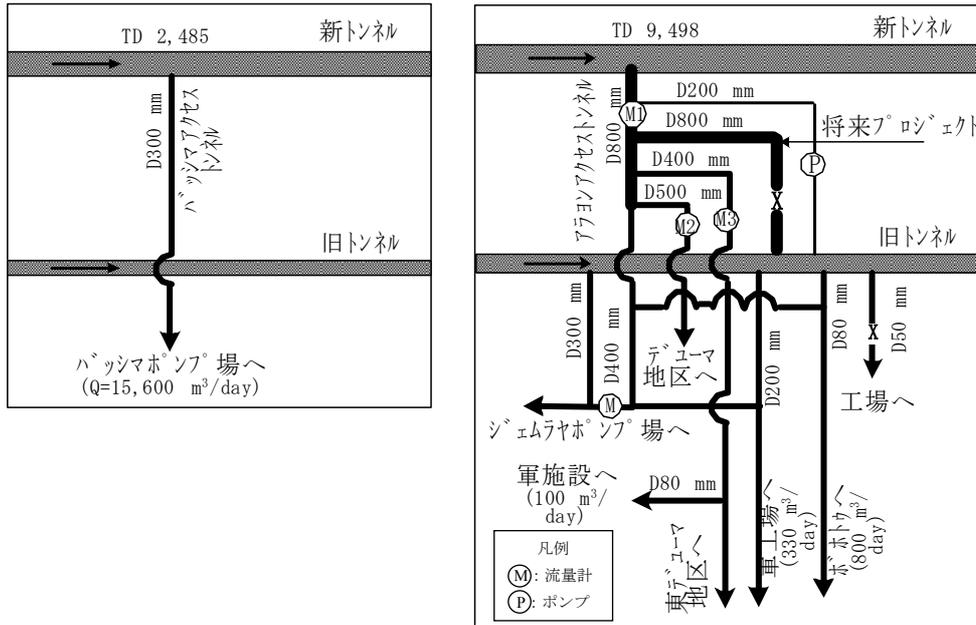
延長 14.4 km の新トンネルは 1976 年から 1980 年の期間で建設され、現在まで 25 年間にわたり使用されている。新トンネルの断面形状は馬蹄形断面であるが、幅 2.5 m、高さ 2.3m とほぼ円形に近い形状である。新トンネルは旧トンネルと同様に自由水面をもつ無圧流で送水され、設計流量は 11.3 m<sup>3</sup>/s に設定されている。

新トンネルの建設には、フランスの SOGREAH 社が設計及び施工監理を担当し、フランスの BOUYGUES 社とギリシャの建設会社の共同事業体が掘削を担当した。新トンネルはバラダ川沿いを通過する旧トンネルとは異なり、旧トンネルから約 400 m 離れた山岳地帯を直線的なルートで通過し、トンネル掘削時には 2 本のアクセストンネルを掘り、発破工法と TBM (トンネル・ボーリング・マシン) 工法を駆使して掘削された。トンネル掘削の約 7 割は、機械化された TBM 工法で掘られたため、施工精度は格段に向上した。

トンネルの構造形式は、アクセストンネルが接続する分岐部で鉄筋コンクリートであるが、その他の標準部は設計巻厚 15 cm の無筋コンクリートで被覆された。DAWSSA によると、供用開始前に一部の区間において覆工コンクリートの断面修復が行われたと云われている。また、トンネル上の土被りの小さい箇所や一部の地質不良箇所では、覆工コンクリートの打設に先立ち鋼製支保工を建て込み補強された。

新トンネルには建設時に掘られたバッシマ、アラヨンと呼ばれる 2 つのアクセストンネル (径約 3 m) があり、現在もトンネル点検時の出入りに使われている。バッシマアクセストンネルの入り口から約 20 m 入った地点で、バッシマアクセストンネルは旧トンネルの約 5 m 下を直角に交差している。

また、バッシマ、アラヨンの両アクセストンネルからは下図に示す分岐管が設置され、近傍に給水を行っている。



## 2.2 プロジェクト・サイト及び周辺の状況

### 2.2.1 関連インフラの整備状況

ダマスカス市内には、井戸をさく井し、上記湧水池に水量が不足する時にポンプにて汲み上げて供用している。井戸ポンプ場は16箇所あり、その位置を図2-5に示す。

トンネル末端の地下貯水池以外に、合計113箇所の貯水池・貯水槽・減圧槽があり、これらを表2-1に示す。総貯水量は265千m³である。新ワリ貯水池が61,400m³と最大で、西貯水池(42,704m³)、東貯水池(28,240m³)、メッセ貯水池(13,000m³)が次ぎ、これら4箇所の貯水量(145,344m³)は54.8%を占めている。

市内には配水管網が整備されている。漏水対策を目的として配水管の改修工事が日本の無償資金にて実施されている。その地域を図2-6に示す。沿岸部からの導水に備えて、配水管網の整備も計画されている。

トンネル入口となるフィジエ湧水池までは、2-4車線の舗装道路が整備されている(図2-4参照)。旧トンネル内に入坑できるゲートは9箇所あり、全て既存道路よりアクセス可能である。

新トンネルには、トンネル内の移動のためにバッテリーカーが4台設置されている。旧トンネルの入口(TD 223)と新トンネルの入口(TD 81)には水位センサーが設置され、SCADAシステムに接続されている。フィジエ管理所には塩素消毒施設、SCADAモニター室が設置されている。ワリ管理所には、SCADAシステムのコントロール室が設置されている。新トンネルの天井には、SCADAシステムの制御ケーブルが設置されている。新・旧トンネルの入口は、同じ建物から発進しており、建物には約1.6トンの容量のオーバーヘッドクレーンが設置され、重量物を構内に搬入できる。3.0トンの容量の手動クレーンも予備としてある。

## 2.2.2 自然条件

### 2.2.2.1 地質・地形

#### 1) 概要

ダマスカス市の水道水源は、海拔 2,000 m 級のアンチレバノン山脈の中南域の山裾にある海拔 830 m 付近に湧出する地下水（フィジェ湧水池、バラダ湧水池）を源としている。アンチレバノン山脈は、地中海側に平行して位置するレバノン山脈同様、白亜紀の石灰岩類が隆起して形成された山地であり、その南斜面の降水は、これを源とするバラダ川に流出し、また石灰岩中の空隙（鍾乳洞など）を通過して流出する。バラダ川は、アンチレバノン山脈の東南斜面を下って、ダマスカス市街を通りダマスカス市の南東砂漠中に消失している。バラダ川の中流域の村落フィジェにおいて石灰岩洞窟を経てバラダ川に流出する豊かな湧水源があり、ローマ時代から上水として活用され、現在も主要水源となっている。

トンネルルートに分布する地質は、図 2.7 に示すように、基盤岩は白亜紀の石灰岩系堆積岩類（図中、K2）で構成され、その上を古第三紀（P1～P2）及び新第三紀中新世（N1）、鮮新世（N2）の石灰岩ないし礫質の堆積岩が平行不整合の形態で堆積している。それは、トンネルルートに大略直交する褶曲軸をもった向斜及び背斜構造をもって分布している。新トンネルはそれらを通る形態でルートが採られている。旧トンネルは、大よそバラダ川の左岸斜面下や中程でそれらを通り、地表近くの風化岩や崖錐性堆積物の中などの表層浅部にルートがとられたりして建設されている。

#### 2) 旧トンネル

調査の結果、いずれも覆工コンクリート駆体の材質不良や劣化、開削部での埋戻し土の土圧、木根の侵入による膨圧などによる変状であって、地質工学的土圧による変状ではないことが判明し、対策は表面的処置での純土木的対応で良いことが確認された。

予備調査での指摘になかった、TD310～336 間に地質工学的斜面変位（地すべりの初期症状）に起因すると判断される覆工コンクリートのクラックが発見された。この箇所はフィジェ市街地の一部を構成する高層建物の直下、土被り 10m 内外に位置している。ここの地質は、図 2.7 に示す K2m-d 層（中生代、白亜紀）の中の泥灰岩と泥岩の互層をなしている模様で、この中の固結度の低い泥岩層に変位面をもつ岩盤クリープ現象が原因していると判断される。早期に補強しておくことが長期的視点で極めて重要な状況にあることが判明した。

#### 3) 新トンネル

予備調査報告書では、その多くは材質不良が覆工コンクリートの剥落の原因としている。それらを今回、箇所毎に吟味した結果、多くのクラックはコンクリート硬化時の収縮やコールドジョイントであり、剥落はコンクリート打設時に地山の小崩落で小塊の軟質泥岩が混入し、その岩片の膨潤により人頭大程度の剥落が生じているものである。

地質的原因に起因する変状は、TD3,300 付近に存在する高濃度の硫酸塩成分などを含む地下水の浸み出しによるか、もしくは生物化学系有機物の侵食によるとみられる、覆工の表層劣化による変状を示すものがあげられる。

この TD3,300 付近は土被り約 30m 程度の谷を横断する付近に相当していて、トンネル軸に高角度で交差する構造線を横断している付近に相当する模様である。多分この構造に沿う熱水変成帯が存在し、それを通過する地下水が硫酸塩化合物もしくは生物化学物質を伴ってしみ出し、これがコンクリート表面をその張力によって拡散して、コンクリート面を劣化させている模様である。

この箇所以外にも、その小規模な変状がまれに点在することと、地中の石灰分を溶出して石化した鍾乳石系沈殿物がやや目立つほかは、覆工躯体を顕著に劣化させているものは認められない。すなわち、一部に化学的劣化部がわずかに点在するものの、地質的要因による土木構造的な変状は全線を通して認められない状況である。

### 2.2.2.2 水文量

シリア国は地中海東部に位置しており、同国の気候は地中海気候に代表される。気温の低い冬季には降雨が多く、夏季は気温が高く乾燥した気候となる。雨季は 10 月から翌年の 5 月まで継続する。フィジェ・バラダ湧水池の流域内の雨量は標高により大きく変化し、2,000 m 以上の高地では 1,600 mm の降雨、ダマスカス平地では 100 mm の降雨である。又、年によっても降雨量が大きく変化する。48 年間の流域内の平均降雨量は 515 mm である。フィジェ・バラダ湧水池の流域内に、DAWSSA は 8 箇所の雨量観測所を設置していたが、現在は 5 箇所の雨量観測を継続している。観測所の位置を図 2-8 に示す。観測所の座標は下記のとおりである。

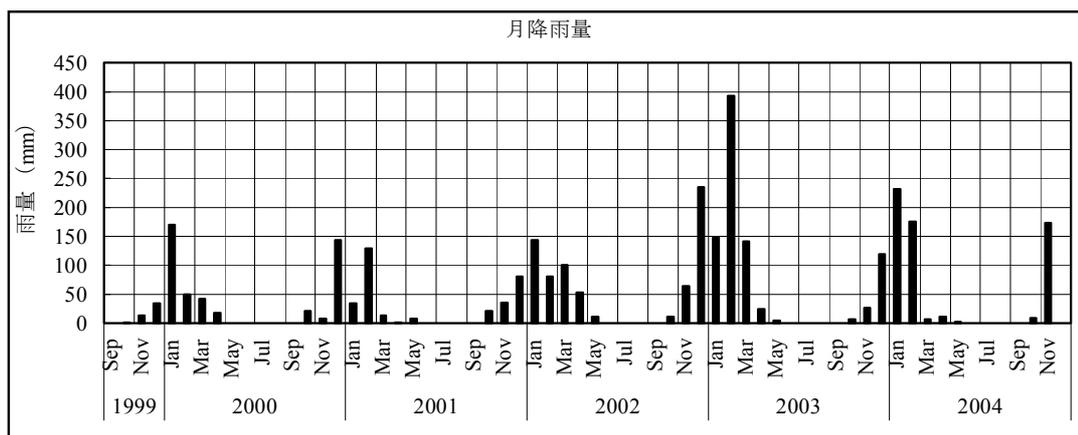
観測所名	Bloudan	Hrerah	Madaya	Syrgaya	Zabdany
北緯	33°43'47"	33°40'38"	33°40'52"	33°48'04"	33°44'21"
東経	36°07'37"	36°07'30"	36°04'35"	36°07'22"	36°06'22"

近年 (1999-2004) の日降雨量は表 2-2 に示され、月降雨量は下表・下図に纏められる。

(単位:mm)

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	雨季降雨
1999										1.1	13.7	33.8	328.8
2000	170.0	49.8	42.8	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	21.5	8.0	144.2	360.4
2001	35.1	129.3	13.1	1.2	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	21.1	35.8	79.8	525.2
2002	143.9	80.4	100.3	53.0	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	63.9	234.3	1,020.1
2003	147.6	393.0	141.2	24.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	26.3	119.9	551.6
2004	232.2	175.5	7.1	11.7	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	173.1		
平均	145.8	165.6	60.9	21.5	5.2	0.0	0.0	0.0	0.5	11.5	53.5	122.4	557.2

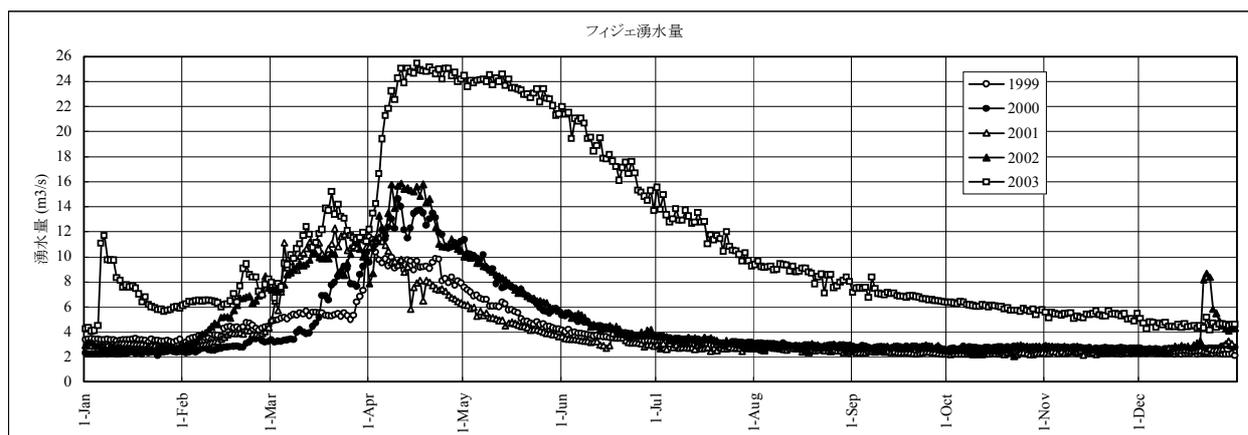
出典:DAWSSA資料



上記から、1999・2000年雨季は渇水年、2001・2003年雨季は平水年、2002年雨季は豊水年となっている。

### 2.2.2.3 湧水量

1999年から2003年までのフィジェ湧水池での日湧水量を表2-3に示し、各年の湧水量を下記に図示する。



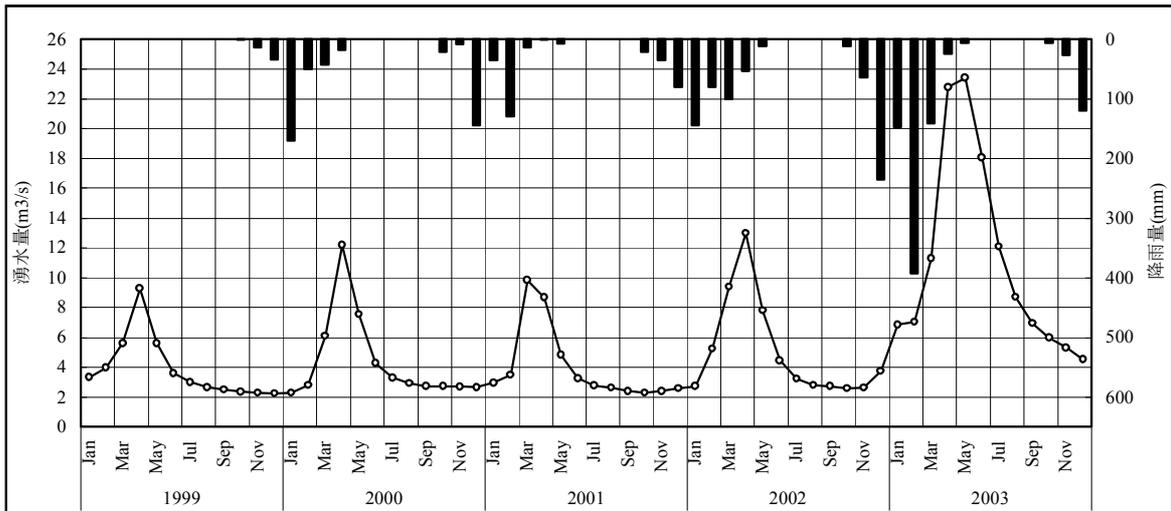
日湧水量から月平均湧水量を下表に纏める。

(単位:  $m^3/s$ )

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Avg.
1999	3.338	3.973	5.628	9.280	5.628	3.592	2.976	2.656	2.507	2.367	2.284	2.252	3.873
2000	2.285	2.816	6.105	12.177	7.552	4.275	3.295	2.921	2.742	2.725	2.698	2.652	4.354
2001	2.944	3.475	9.856	8.680	4.830	3.251	2.750	2.613	2.379	2.274	2.391	2.580	4.002
2002	2.722	5.231	9.377	12.986	7.816	4.448	3.210	2.789	2.731	2.582	2.619	3.733	5.020
2003	6.844	7.015	11.294	22.788	23.413	18.086	12.090	8.698	6.953	5.970	5.330	4.539	11.085
Average	3.627	4.502	8.452	13.182	9.848	6.730	4.864	3.935	3.462	3.184	3.064	3.151	

出典：DAWSSA 資料

月雨量とフィジェ湧水池での月湧水量を下図に示す。降雨は2月に最大となり、フィジェ湧水池での湧水量は4月に最大量となる。2002年10月から2003年05月の雨季には1,020mmと平均雨量の2倍の降雨に恵まれ、2003年のフィジェの湧水量も倍となっている。



### 2.2.2.4 トンネル送水量

フィジェ湧水池・バラダ湧水池からの水は、塩素消毒のあと浄水として、旧トンネル・新トンネルによって、需要地であるダマスカス市へ送水される。フィジェ湧水池での水量が少ない時には、バラダ湧水池からの水も混合して水量を増加させている。トンネル日送水量を表 2-4 に示す。月送水量を下表に示し、図 2-9 にグラフで示す。旧トンネルの送水量は  $0.3 - 0.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 、新トンネルの送水量は  $3 - 7 \text{ m}^3/\text{s}$  である。供給水の大半は新トンネルにより送水されている。フィジェ湧水量が増大する 3-5 月に、送水量も増大する。

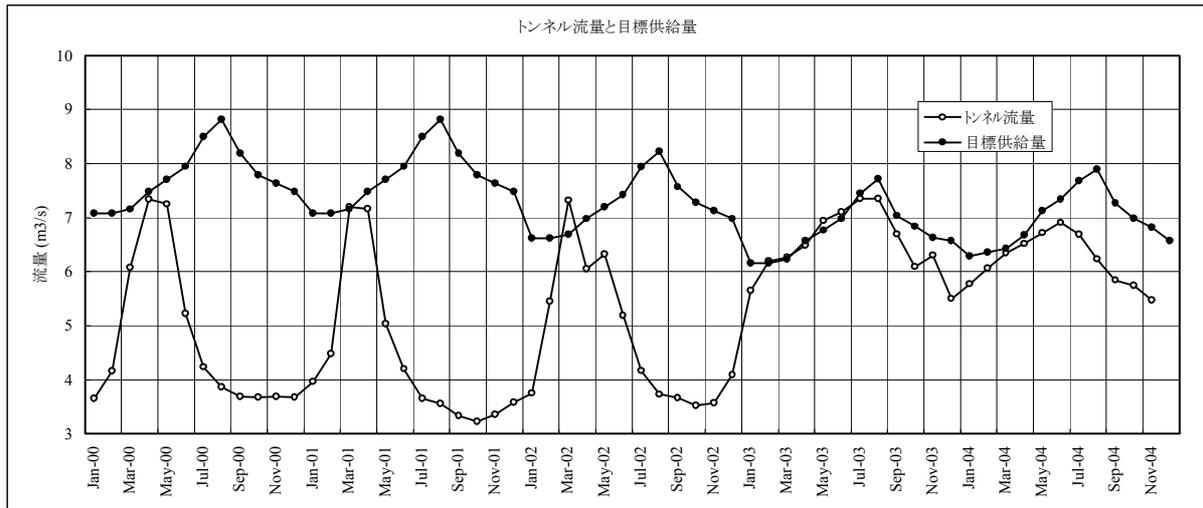
旧トンネル (単位: $\text{m}^3/\text{s}$ )													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2000	0.348	0.379	0.597	0.796	0.634	0.325	0.473	0.549	0.556	0.591	0.550	0.542	0.529
2001	0.617	0.690	0.691	0.596	0.581	0.562	0.467	0.396	0.319	0.306	0.310	0.334	0.488
2002	0.346	0.516	0.654	0.588	0.561	0.469	0.488	0.274	0.272	0.321	0.322	0.336	0.428
2003	0.438	0.483	0.475	0.528	0.575	0.504	0.559	0.605	0.507	0.362	0.329	0.302	0.472
2004	0.376	0.382	0.395	0.427	0.519	0.459	0.476	0.424	0.319	0.302	0.270	0.000	0.399
Avg	0.425	0.490	0.562	0.587	0.574	0.464	0.493	0.450	0.395	0.377	0.356	0.378	0.463

新トンネル (単位: $\text{m}^3/\text{s}$ )													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2000	3.305	3.783	5.484	6.543	6.619	4.897	3.767	3.319	3.133	3.084	3.137	3.131	4.183
2001	3.352	3.794	6.511	6.566	4.456	3.643	3.191	3.164	3.015	2.926	3.046	3.252	3.909
2002	3.407	4.940	6.669	5.460	5.765	4.718	3.680	3.458	3.394	3.200	3.246	3.755	4.303
2003	5.216	5.716	5.798	5.959	6.371	6.599	6.790	6.748	6.189	5.733	5.979	5.200	6.026
2004	5.398	5.682	5.957	6.095	6.201	6.453	6.212	5.812	5.526	5.447	5.205	0.000	5.835
Avg	4.136	4.783	6.084	6.125	5.882	5.262	4.728	4.500	4.251	4.078	4.123	3.835	4.851

トンネル合計 (単位: $\text{m}^3/\text{s}$ )													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2000	3.653	4.162	6.080	7.340	7.253	5.222	4.239	3.868	3.689	3.675	3.687	3.673	4.712
2001	3.969	4.483	7.202	7.161	5.037	4.205	3.658	3.560	3.334	3.232	3.356	3.586	4.397
2002	3.753	5.456	7.323	6.048	6.325	5.187	4.168	3.732	3.665	3.522	3.569	4.091	4.732
2003	5.655	6.199	6.273	6.487	6.945	7.102	7.349	7.352	6.696	6.095	6.307	5.502	6.498
2004	5.774	6.064	6.353	6.522	6.720	6.912	6.688	6.236	5.845	5.749	5.476	0.000	6.234
Avg	4.561	5.273	6.646	6.712	6.456	5.725	5.220	4.949	4.646	4.455	4.479	4.213	5.314

(出典: DAWSSA 資料)

トンネル送水量と目標供給量を下図に示す。2000 年から 2002 年のトンネル送水量は大きく目標供給量を下回っている。市内の井戸群を最大限活用したが、長時間の断水となった。2002 年の雨季からは平年の 2 倍の降雨に恵まれ、2003 年は断水時間が激減し、トンネル送水で概ね目標供給量を満たすことが出来た。



### 2.2.2.5 日供給量・消費量

雨季（冬期）と乾季（夏期）の季節変動、休日となる金曜日と平日による曜日変動、1日の時間帯による変動について、水消費量と供給量の面から調べてみる。これらを検証するために以下の日付を代表として選定した。

年	季節	曜日	日付	曜日	日付
1998	雨季	金	01月16日	日	01月25日
	乾季	金	08月07日	日	08月16日
2000	雨季	金	01月14日	日	01月23日
	乾季	金	08月11日	日	08月20日
2003	雨季	金	01月10日	日	01月12日
	乾季	金	08月08日	日	08月10日

上記の12日間について1時間毎の新ワリ貯水池での流入量（トンネル流量）と流出量（消費量）及び貯水量を表2-5-1から表2-5-3に示す。

年により変化しており、一般的傾向が見られないことが同表から読み取れる。

#### 1998年

トンネル流量が比較的多い（約7 m³/s）。年間を通して、10:00-21:00に消費量が増大し、貯水量が減少する。1:00-6:00には消費量が減少し、貯水量が増大する。雨季には22:00-24:00の間に貯水量が増大する。季節・曜日により大きな変動は見られない。

#### 2000年

渇水年となり、断水の多かった年である。トンネル流量が少ない（約5 m³/s）。給水される7:00-12:00の消費量が大きくなり、6:00-16:00の間は、貯水量が大きく減少する。16:00-24:00に貯水量が前日程度に回復している。

#### 2003年

豊水年となり、断水が激減した年である。選定された4日間は断水とはなっていない。雨季には1:00-6:00、21:00-24:00に消費量が増大し、貯水量が減少している。9:00-15:00

の昼間は消費量が低調で、貯水量が増加している。乾季には 1:00-9:00 に消費量が少なく、9:00 には貯水量が最大となる。10:00-22:00 は消費量が多く、貯水量は漸減している。

## 2.2.3 その他

修復工事はトンネル内にて行われるため、工事実施に影響を与える外的因子は、トンネル内の流水であり、トンネル入口のゲートにより制御可能である。トンネル内の断水については、3.2.4.8 節にて計画する。同様に、トンネル内の工事実施が、周辺に影響を与えることも殆どない。トンネル内の水は消毒済みの浄水であり、工事によって流水及びトンネル内を汚す事があってはならない。

以下に、基本設計調査中に得られた、対象施設に関連する結果を記述する。

### 2.2.3.1 トンネル漏水量

新・旧トンネルの漏水量を現地にて調査した。調査の詳細は資料 7.1 に示している。

#### 1) DAWSSA による既往漏水量調査のレビュー

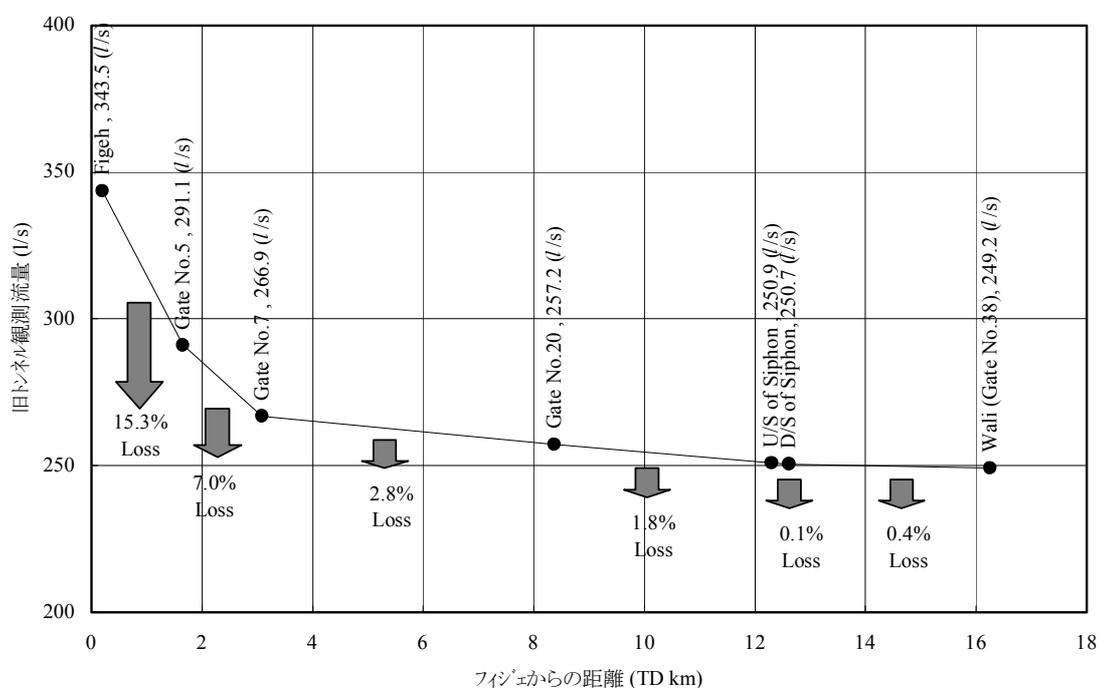
DAWSSA による旧トンネルおよび新トンネルの漏水調査内容を報告書および聞き取りにより確認し、その測定手法や精度に問題がないかを検証した。DAWSSA による 2 回の旧トンネルでの調査結果では、漏水率が 46.7% (2003 年 9 月)、60.3% (2004 年 10 月) となっている。新トンネルでは 2003 年 6 月に 3 回の漏水調査が実施され、0.1% から 1.5% の漏水率と結論され、ほとんど漏水がないものとなっている。DAWSSA による漏水測定手法と問題点を下表に整理した。旧トンネルのフィジエ送水量の算定に問題があることが分かった。旧トンネルでの流量測定は、入口と出口のみ実施しているため、漏水箇所の特定が出来ていない。

	測定箇所	測定手法	測定の問題点	備考
旧トンネル	フィジエ(トンネル入口)での送水量	<ul style="list-style-type: none"> <li>TD223 に設置された水位センサーによる水位観測</li> <li>等流計算により水位を流量に変換</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>TD223 付近は、流れが不安定で流量に応じて、常流・射流の遷移や波状跳水となる区間。</li> <li>水路勾配が一樣でなく、等流の適用は不適當。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>フィジエ送水量を過大に評価するものであり、漏水率を過大に評価する原因となっている。</li> </ul>
	旧ワリ貯水池の貯水量	<ul style="list-style-type: none"> <li>旧貯水池の貯留体積を計測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>問題なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>送水トンネル、配水管の影響を避けるため、貯水池内水位 1.5m-4.0m の範囲で測定しており、適切な配慮である。</li> </ul>
	旧トンネルからの分流量	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査中は、分流管を遮断</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>問題なし</li> </ul>	
新トンネル	フィジエ(トンネル入口)での送水量	<ul style="list-style-type: none"> <li>TD86 に設置された水位センサーによる水位観測</li> <li>等流計算により水位を流量に変換</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>問題なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>等流の適用は適当であり、問題なし。</li> </ul>
	新ワリ貯水池の貯水量	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワリ新貯水池の貯留体積を観測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>問題なし</li> </ul>	
	新トンネルからの分流量	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査中は、分流管を遮断</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>問題なし</li> </ul>	

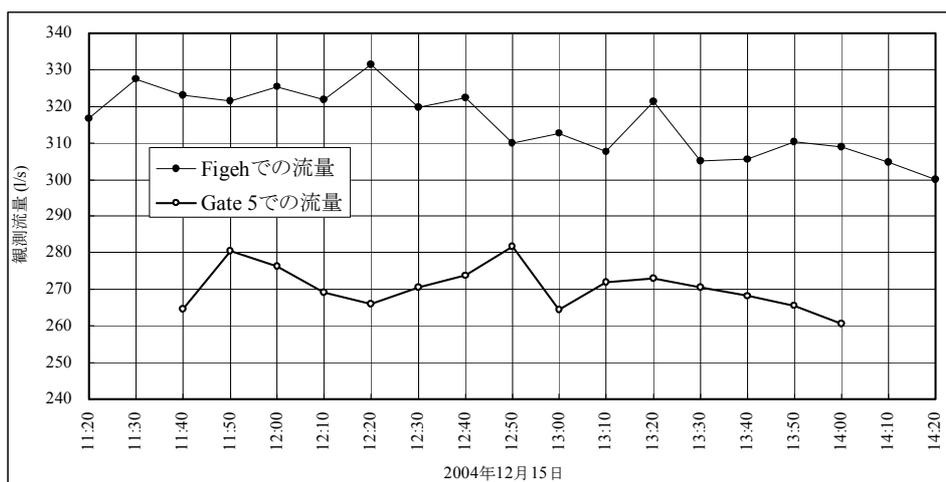
## 2) 旧トンネル漏水調査

旧トンネルの施工時には、掘削ズリの搬出やコンクリート搬入のために 37 箇所の横坑が建設された。現在はその内、9 箇所から旧トンネルへ入坑が可能である。トンネル入口・出口を含め 7 箇所の地点で流量観測（電磁波流速計による流速計測及び水圧式水深計による水深計測）を実施した（2004 年 12 月 13 日）。調査団の流量観測結果を以下に示す。

測定場所	距離 (m)	測定流量 (l/s)	流量比	区間ロス率
1. フィジエ入口	TD 260	343.5	100.0 %	-
2. ゲート No.5	TD 1,655	291.1	84.7 %	15.3 %
3. ゲート No.7	TD 3,090	266.9	77.7 %	7.0 %
4. ゲート No.20	TD 8,379	257.2	74.9 %	2.8 %
5. 逆サイフォン入口	TD 12,300	250.9	73.0 %	1.8 %
6. 逆サイフォン出口	TD 12,620	250.7	73.0 %	0.1 %
7. 刈出口(ゲート No.38)	TD 16,254	249.2	72.5 %	0.4 %
合計				27.5 %



流量観測中、フィジエ入口のゲートは一定開度とし、トンネルからの分岐管は全て閉じた。計測は上流から実施し、上記各点での計測は 5 分おきに 5 回の測定を行い平均とした。上記観測値を確認するためフィジエ入口とゲート No.5 で、時間を継続して測定した（2004 年 12 月 15 日）。観測した平均流速は 0.75 m/s であるから、フィジエ入口からゲート No.5 までの到達時間は約 30 分と算定される。結果を下図に示す。



この測定でも、15.0%のロス率が計測され、上記計測（12月13日計測）は妥当であることが確認された。

### 3) 新トンネル漏水調査

新トンネルには、バッシマ横坑（TD2,490）とアラヨン横坑（TD9,475）がある。通水中は横坑のゲートを閉じるため、トンネル内に入坑することは出来ない。従い、トンネル途中での流量観測は出来ない。トンネル入口部には、超音波式水位観測装置（TD81）と接触式水位観測装置（TD86）が設置され、後者はSCADAシステムに連結されている。DAWSSAは、等流を仮定した水位流量曲線により観測水位を流量に変換している。トンネル出口はワリ地下貯水池のゲート操作室に位置し、同操作室のゲートスロット部に開口部があるが、トンネル断面が急縮し水位変動が激しく、流量観測点に適さない。そこでワリ地下貯水池（1から4番槽）の3・4番槽の貯留体積を時間毎に測定・算定して、水収支を求めることとした。流量観測は12月7日（2004年）に実施された。

観測実施に当たり、新トンネルから分流されるバッシマおよびアラヨンからの配水は遮断する予定であったが、アラヨンからの配水を遮断することが出来なかった。したがって、アラヨンからの配水量も観測し、新トンネル内の水収支を算定した。算定結果を下表に示す。新トンネルにおける漏水率は1.0%と計算され、測定誤差等を考慮すれば、新トンネルにおける漏水量はかなり僅少であることが判明した。

経過時間	Figuehでの累加送水量 (m <sup>3</sup> )	ワリでの累加貯水量とアラヨンでの累加配水量 (m <sup>3</sup> )	累加漏水量 (m <sup>3</sup> )	漏水率
0:00	-	-	-	-
0:10	3,079	3,065	14	0.4%
0:20	6,136	6,150	-14	-0.2%
0:30	9,215	9,177	38	0.4%
0:40	12,294	12,176	119	1.0%

### 2.2.3.2 水質

DAWSSAによれば、雨季（冬季、10月から5月）にはフィジェ湧水池の流量が増加し、水質が悪化する可能性があるといわれている。雨季にはトンネル周囲の地下水位が高くなるため、トンネル内への地下水浸入の増大による水質悪化が懸念されている。

トンネル内水質の季節的変化の把握を行い、また、トンネル内への地下水浸入による水質悪化の有無の検証を行った。調査および検討の詳細は、資料 7.2 に示している。

#### 1) 現地水質調査

新トンネルおよび旧トンネルの水質測定を実施した。水質測定は、調査団が試料を採取し（新トンネル 12月8日、旧トンネル 12月9日）、DAWSSA 中央研究所によって分析が行われた。

旧トンネル TD 977.5 地点には、トンネル内へパイプを通じての浸入水がある。これは、地上の湧き水が無消毒のまま直接導水されている。調査時の流入量は約 1.0 l/sec であり、旧トンネル内への浸入水として最大のものである。

現地調査時は雨季の開始時期であった。トンネル内を断水してトンネル内を点検した際には、地下水がトンネル内へ浸入する量は、ごく僅かであった。雨季の終了時期には地下水位が上昇し、地下水浸入が増加するのかが確認する必要があるが、i) 旧トンネルは地表に近く河川沿いに配置され地下水の影響を受けづらいこと、ii) 新トンネルの覆工コンクリートは健全で防水性に優れていること、から地下水浸入が増加することはないと判断される。下表に、新トンネルおよび旧トンネルの現地水質測定結果を示す。トンネル入口（フィジェ）と出口（ワリ）では水質に差がないことが分かる。

番号	項目	単位	シリア 水質基準	旧トンネル					新トンネル		
				トンネル 入口	トンネル 出口	サイフォン 上流	サイフォン 下流	浸入水 (TD977.5地点)	トンネル 入口	トンネル 出口	
資料採取日				2004年12月9日				12月11日	12月18日	2004年12月8日	
1	濁度	NTU	1.0-5.0	0.9	1.0	0.7	0.9	0.9	0.9	0.5	0.5
2	pH値	-	6.5-8.5	7.3	7.7	7.7	7.6	7.4	7.3	7.3	7.4
3	硬度	mg/l	≤500	17.2	17.2	17.0	17.0	15.0	15.0	17.0	17.0
4	塩化物イオン	mg/l	≤250	5.9	6.4	5.9	5.9	5.5	7.0	5.5	5.5
5	硝酸態窒素	mg/l	≤10	8.5	8.5	8.5	8.5	6.0	6.0	8.5	8.5
6	亜硝酸態窒素	mg/l	≤0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	蒸発残留物	mg/l	≤1000	193.1	193.1	194.0	195.4	178.0	179.0	191.0	195.0
8	残留塩素	mg/l	≤0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.5	0.4
9	電気伝導率	μS/cm	≤1500	338.0	338.0	340.0	342.0	311.0	314.0	335.0	341.0
10	カルシウム	mg/l	≤50	48.0	48.8	48.0	48.0	48.0	50.0	48.0	48.0
11	アルカリ度	mg/l	≤20	15.4	15.4	15.4	15.4	13.0	12.8	14.8	14.8
12	炭酸水素塩	mg/l	≤200	188.0	188.0	188.0	188.0	159.0	156.0	180.7	180.7
13	硫酸塩	mg/l	≤250	11.0	12.0	11.0	11.0	9.0	9.0	11.0	12.0
14	アンモニア	mg/l	≤0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	温度	℃	5.0-25.0	13.0	14.0	14.0	14.0	13.0	-	13.0	14.0

## 2) 水質の季節変動分析

水質項目	水質変化率
濁度	-4.4%
電気伝導率	1.9%
pH	1.0%
硬度	1.0%
カルシウム	1.4%
マグネシウム	0.0%
ナトリウム	2.6%
カリウム	0.0%
アルカリ度	1.1%
炭酸水素塩	1.1%
硫酸塩	20.8%
塩化物イオン	7.9%
硝酸態窒素	1.5%
蒸発残留物	3.0%

4カ年(2000-2003年)のトンネル入口(フィジエ)とトンネル出口(ワリ)での水質測定結果をDAWSSAより収集した。途中データの欠損があるが、水質結果を図2-10に示す。各水質項目について、トンネル入口と出口での試験値の差を求め、トンネル入口での値で除し、水質の変化率とした。計算結果を左表に示す。図2-10及び水質の変化率から、硫酸塩を除いて、トンネル入口・出口で水質は変化していないと言える。硫酸塩はトンネル内で供給されていると思われる。硫酸塩含有量は基準値よりかなり小さい値である。

雨季(冬季、10月から5月)には、フィジエ湧水池の流量が増加する。トンネル流量と水質の相関係数を求めた。下表に各水質項目の相関係数一覧を示す。

水質項目	フィジエ湧水量と水質の相関係数	相関の有無*
濁度	0.62	相関なし
電気伝導率	-0.87	相関あり
pH	0.07	相関なし
硬度	-0.90	相関あり
カルシウム	-0.85	相関あり
マグネシウム	-0.33	相関なし
ナトリウム	-0.80	相関あり
カリウム	-	-
アルカリ度	-0.88	相関あり
炭酸水素塩	-0.88	相関あり
硫酸塩	-0.68	相関なし
塩化物イオン	-0.63	相関なし
硝酸態窒素	-0.66	相関なし
蒸発残留物	-0.86	相関あり

\*相関係数が0.7以上の場合、相関ありとした。

多くの項目で負の相関となっており、含有物質は流量によって変化せずに流量の増大によって希釈されていることが推察される。

## 3) その他の水質観測項目

DAWSSAは、上述の水質観測項目以外に金属類に関する水質観測を実施しており、対応する基準も設けている。結果を下表に示す。いずれも水質基準を大きく下回っており、問題はない。また、季節的な変化も特に見られない。

水質項目 化学記号 単位	銅 Cu (µg/L)	マンガン Mn (µg/L)	鉄 Fe (µg/L)	カドミウム Cd (µg/L)	クロム Cr (µg/L)	鉛 Pb (µg/L)	亜鉛 Zn (µg/L)	アルミニウム Al (µg/L)	水銀 Hg (µg/L)	セレン Se (µg/L)	ヒ素 As (µg/L)
シリア水質基準	≤1,000	≤100	≤300	≤5	≤50	≤10	≤3,000	≤200	≤1	≤10	≤10
水質検査実施日											
2000年3月	N.D.	0.6	12	0.4	3	4	9	6	N.D.	N.D.	N.D.
2000年11月	N.D.	1.0	13	0.5	3	5	11	6	N.D.	N.D.	N.D.
2001年3月	N.D.	0.9	17	0.3	3	6	10	4	N.D.	N.D.	N.D.
2001年11月	N.D.	0.9	11	0.7	3	5	10	8	N.D.	N.D.	N.D.
2002年10月	N.D.	0.9	12	0.3	2	6	10	7	N.D.	N.D.	N.D.
2003年3月	N.D.	0.9	18	0.5	4	5	10	8	N.D.	N.D.	N.D.
2003年11月	N.D.	1.0	17	0.5	4	5	11	6	N.D.	N.D.	N.D.
2004年3月	N.D.	1.0	17	0.7	4	6	12	5	N.D.	N.D.	N.D.
2004年11月	N.D.	1.0	15	0.6	3	6	11	6	N.D.	N.D.	N.D.

\* N.D.: 未検出

### 2.2.3.3 トンネル補修区間

トンネル全線を踏査し、予備調査結果と比較しつつ補修範囲を確定するように調査を行った。現地踏査による新旧トンネルの診断結果及び、その診断結果に基づき決定した詳細調査の区間と内容を図 2-11 及び図 2-12 に示す。

基本設計調査では、予備調査で提案された補修区間のほかに、旧トンネルの TD 300～330 区間（住宅街下で且つ、せん断構造クラックであるため）及び TD 1,000～1,025 区間（漏水の疑いのある縦断クラックが底版に存在）を追加し詳細調査を行った。旧トンネルの TD 300～330 区間は、外見的損傷は小さいが、トンネルへの過剰偏土圧や、地すべり剪断の初期に生じる剪断形態とモデル的に類似することから特別に注意する必要があると判断される。この地すべりは、TD 336 に位置するトンネル軸方向の応力で圧縮破壊しているトンネル横断クラックと地すべり破断面が一連のものと解すべきと想像される。土被りを数 m とすると、地上での地すべり土塊巾は 30～40 m、すべり面深さは 7～10 m と解釈される。

### 2.2.3.4 トンネル空隙調査

電磁波レーダ観測機を用いて、トンネル背面の空隙及び覆工コンクリートの厚さを連続的に把握する目的で実施した。調査区間及び解析結果の概要を下表に示す。また、解析結果の詳細を図 2-13 および図 2-14 に示す。

		旧トンネル		新トンネル	
調査区間（調査延長）		TD300～330 (30m)	TD15,700～16,150 (450m)	TD20～170 (150m)	TD3,100～3,200(100m)
土被り		10～12m	3～4m	5～20m	70～80m
トンネル変状概況		フィジェ湧水池付近の住宅街下を通過し、せん断構造クラックが発生	ワリ貯水池周辺の道路下を通過し、かつ高層建物に近接する低土被り区間で、横断開口クラックが数箇所にある	フィジェ湧水池付近の住宅街下を通過する低土被り区間	コンクリートの化学的腐食と考えられる表層劣化が散在する区間
解析結果	背面空洞	連続的な空洞なし。（部分的に 2～5cm 程度）	TD.15,700～15,995 で連続的に存在するが、空隙程度の小規模なもの（2～9cm 程度）	無し	無し
	覆工厚（設計巻厚）	15～37cm（10cm）	頂版 20～49cm（頂版 13cm）	35～64cm（15cm）	29～61cm（15cm）
	鉄筋/支保工の有無	鉄筋あり	鉄筋あり	鉄筋/鋼製支保工あり	一部に鋼製支保工あり

本調査によりトンネル覆工背面に連続的に空洞が確認されたのは、旧トンネルの TD 15,700～15,995 区間（295m）である。この空洞は、埋め戻し砂利の空隙と思われる。

### 2.2.3.5 コンクリート強度試験

#### 1) コンクリート圧縮強度試験・反発硬度試験

コンクリート強度試験は、予備調査で確認された新トンネルの剥離箇所（計 7 箇所）で実施する計画であった。現地踏査の結果、TD 3,168、TD 3,169、TD 3,172 以外の剥

離箇所については、剥離の範囲が小規模で補修範囲の特定が容易であることが判明したため、コンクリート圧縮強度試験は不要と判断した。TD 3,168～3,172 にて 2 箇所のコンクリート圧縮強度試験を実施した。

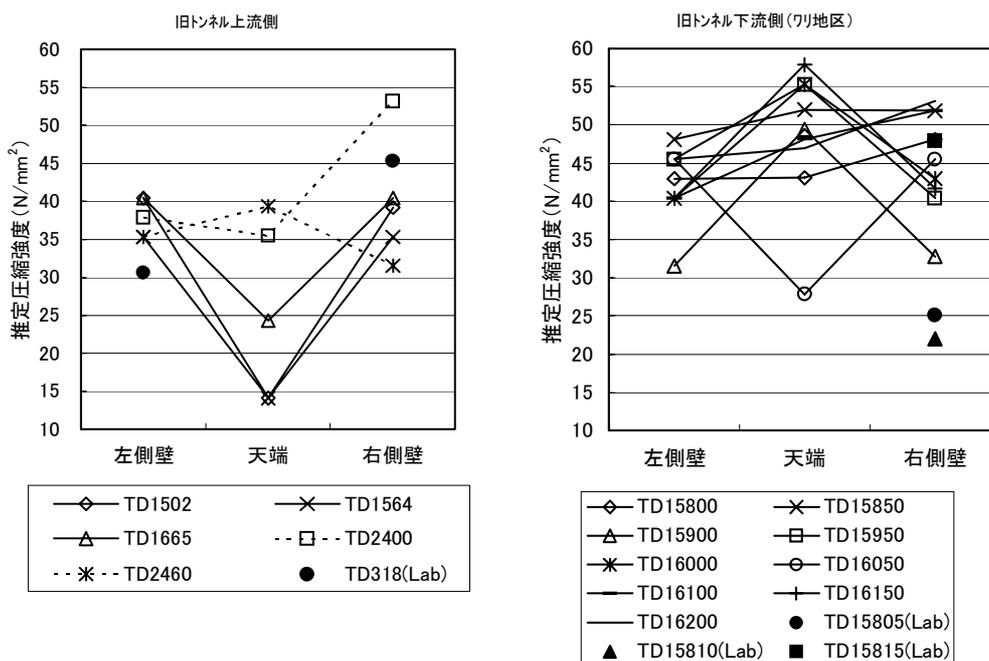
新トンネルの TD 3,170 付近の覆工コンクリートが、深さ 5-14 cm に渡り劣化されている。ハンマーの尖った部分で叩くと、先端部分がコンクリートに突き刺さる程度に軟化している。この部分のコンクリートの 2 箇所の試験片をボーリング機械で採取し、圧縮試験を実施した。設計基準強度は 28.7 N/mm<sup>2</sup> であり、劣化した表面を除く内部のコンクリート圧縮強度は、設計基準強度を上回る以下の結果が得られた。

TD 3,166.2 (右側壁) : 28.7 N/mm<sup>2</sup> (単位体積重量 : 2.335 t/m<sup>3</sup>)

TD 3,171.2 (右側壁) : 28.4 N/mm<sup>2</sup> (単位体積重量 : 2.339 t/m<sup>3</sup>)

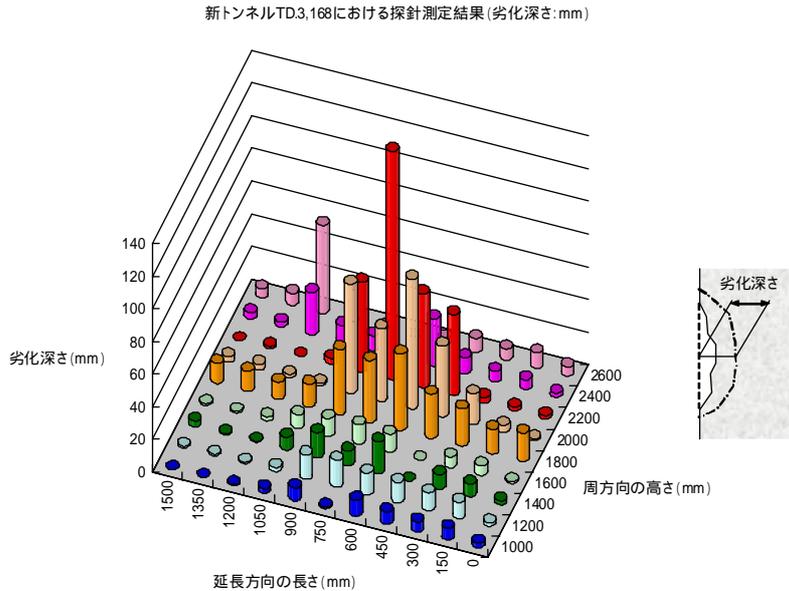
一方で、旧トンネルの TD 300～330 区間及び TD 15,700～16,150 区間は、道路や高層建物に近接し、構造的な原因によって生じるクラックの可能性があるため、補修内容の決定にあたりコンクリート強度の把握が必要と判断し、コア採取による圧縮強度試験を実施した。配筋間隔が密でコア採取が困難な TD 1,465～1,670 区間 (矩形断面の頂版で剥離・剥落が顕著) や TD 15,820～16,150 区間などにおいて、コンクリートの劣化程度を簡易に把握するため、テストハンマー (反発硬度法) を用いてコンクリート強度の推定を行った。

旧トンネルのコンクリート強度試験の結果は、下図に示すとおりである。矩形断面の頂版 (天端) で剥離・剥落が顕著な TD 1,465～1,670 区間で実施した 3 箇所を除いては、強度の高い結果が得られた。

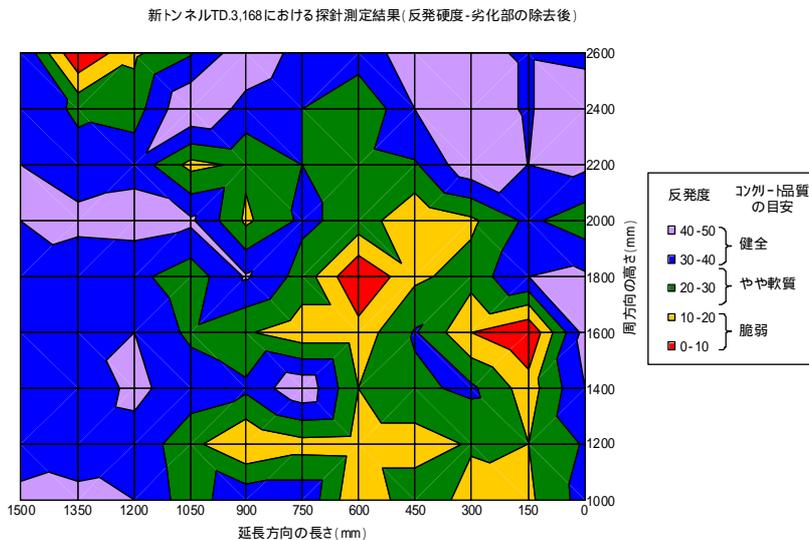


2) 劣化部の探針測定 (新トンネル TD 3,170 付近)

コア採取によるコンクリート強度試験を補完するため、新トンネルの TD 3,168、TD 3,169、TD 3,172 の劣化箇所については、劣化の範囲及び深さを把握する目的で、電動ドリルのトルクの変化による劣化深さの探針測定を行い、推定した劣化域の削除前後の健全性を比較するため、テストハンマー（反発硬度法）を用いて反発度を測定した。劣化箇所を 15 cm 四方の格子に分割し、各交点で試験を実施した。結果を以下に示す。



探針測定により推定した劣化深さは、最大で約 140mm であるが局所的であり、残存するトンネル覆工の巻厚も約 25cm と設計巻厚以上あるため、構造的な問題はないと判断する。劣化の状況を観察すると、コンクリートは層状に膨張・剥離し、砕けやすく軟質である。



探針測定で推定した劣化域を人力で除去した後にテストハンマーによる反発度測定を行った。その結果を左図に示す。削除前の反発度 10 以下の脆弱な箇所は、概ね良好な反発度 20 以上に変化することから、コンクリートの劣化は表層部に限定されたものと考えられる。

劣化の原因を考察すると、先ず考えられるのは、トンネル内の流水や、トンネル外からの湧水による洗掘や擦り減りによる物理的劣化である。劣化の範囲は通常の流水面より上のトンネルアーチ部であるため、トンネル内の流水による可能性はない。トンネル外からの湧水量は滲む程度の微量であるため、トンネル外からの湧水による物理的劣化の可能性もない。探針測定の結果によると、この最大劣化箇所より離れるに従い、劣化深さが通減することから、コンクリートの打設不良による品質低下とは想定し難い。掘削時の地質観察記録によれば、この付近には硬石膏脈が分布している。地下水に含まれる硫酸塩がコンクリート内に浸透し、劣化が顕在化したものとするのが妥当である。

#### 2.2.3.6 内空断面形状測定

レーザ機器を用いたトンネル内空寸法測定は、修復が想定された以下の断面にて実施した。

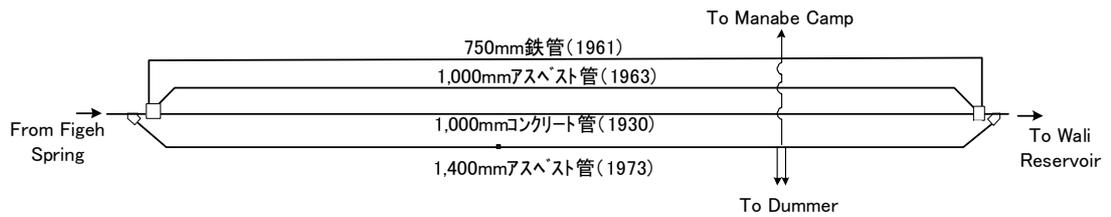
旧トンネル	新トンネル
◆ TD.310～340 区間の 9 断面	◆ TD.20～170 区間の 3 断面
◆ TD.1,450～1,670 区間の 26 断面	◆ TD3,170 (1 断面)、TD3,185 (1 断面)
◆ TD.2,360～2,660 区間の 15 断面	
◆ TD.15,700～16,100 区間の 11 断面	

計測結果は、設計断面と伴に図 2-15 と図 2-16 に示す。

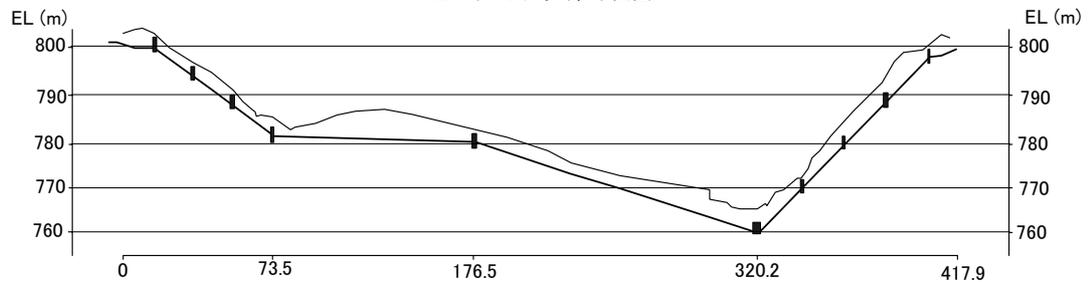
旧トンネルは、モルタルの内張りを含む修復工事が何度か行われているが、矩形断面を除き、概ね、原設計断面を確保している。流水能力を低下させたり、大きな構造変位を起こしてはいない。新トンネルは鋼製の移動式コンクリート型枠を使用しており、原設計断面からの逸脱は軽微である。

#### 2.2.3.7 旧トンネル サイフォン部の状況調査

旧トンネルのサイフォン部には、下図に示すとおり 4 系統のサイフォン管が敷設されているが、1973 年に敷設された  $\Phi 1,400\text{mm}$  のアスベスト管が主要系統として現在使用している。同管の抜水による管内目視調査を上流側呑口部より実施した。管胴には損傷によるアスベストの露出はなく、表面の擦り減りもほとんどない状況であった。また、伸縮継ぎ手部の開口量は大きいところで 20～30mm 程度あるが、管内及び地表の目視調査からは漏水している状況は確認されず、流量観測による旧トンネル水収支調査の結果も勘案すると、止水処理の効果が維持されているものと判断した。曲がり部は鋼製パイプを使用しており、表面の塗装が剥がれ腐食している。



旧トンネル サイフォン部 平面図



旧トンネル サイフォン部 縦断面図

1963年及び1996年に地滑り・地盤沈下が発生し、サイフォンパイプに損傷が生じた。同地域は軍施設内に位置し、重機の往来も多い。重機によるパイプの損傷も懸念される。事故を防ぐべく対策が必要である。1996年の事故は、1,000mmアスベストパイプの最下部にパイプ方向の断裂が生じ、隣接する2本の継ぎ手部も地盤沈下により損傷した。レバノンよりパイプを輸入し、交換した。同地域には不法住居が増加している。同種の事故による浸水被害を防ぐために、不使用のパイプは常時、抜水しておくのが良い。

## 第3章 プロジェクトの内容

### 3.1 プロジェクトの概要

ダマスカス市の水源は極めて限られており、豊水年以外は断水を余儀なくされている。上位計画である「第9次国家社会開発5ヵ年計画(2001-2005年)」では、限られた水源を有効利用することを政策としている。そのため、DAWSSAは漏水対策を最重要政策として実施中である。1997年に漏水率は34.7%、無収水率は63%であった。日本の無償資金協力による配水管改修計画フェーズ1・2を終えて、2004年には漏水率は22%までに改善している。DAWSSAは2015年までに、無収水率を25%に削減することを計画している。同5ヵ年計画では、既存施設のリハビリにも重点を置き、本プロジェクトの実施機関であるダマスカス市上下水道公社(DAWSSA)の改修計画に15.9億シリアポンド(約30億円)の予算を予定している。現在までの実行額は予算を上回る16.6億シリアポンド(約32億円)となっている。

供用中の送水トンネルは、ダマスカス市の水消費量の85%を送水しており、水供給にとり最重要施設の一つである。新・旧トンネルのコンクリートに生じているひび割れ・剥離・剥落・劣化の箇所や、ゲートの腐食を放置しておけば損傷は更に進行するので、今後の供用のために早期に修復するのが経済的に有利である。送水トンネルを修復することにより、トンネルの安全性の向上とトンネルの延命を図り、今後とも安全に良質な水を供給できることを目的とする。

旧トンネルの漏水率は27%と計測され、その内22%はトンネル入口から3km区間に生じている。残り5%は下流13km区間に比例して漏水しており、際立った漏水箇所も見られないことから、下流区間に大掛かりな漏水対策を行うことは費用対効果を得られない。トンネル上流部分を重点的に修復することにより、旧トンネルの漏水率を5%に削減する施策を計画する。

新トンネルは建設後25年と供用期間が比較的短いことから、損傷箇所も少なく漏水率も約1%と僅かである。しかしながら、新トンネルのTD3170付近に見られる劣化は、トンネル背面から供給される腐食性物質によるものと判断され、コンクリートの普遍的な劣化現象である中性化に比べコンクリートの耐久性に与える影響が数段大きい。したがって、この部分を修復することにより、その他の部分と同程度の耐久性に回復させる。

本計画は、新・旧トンネルの改修工事のみならず、工事後の維持管理の改善を目指すソフトコンポーネントを実施する。送水トンネルと同様に最重要施設の一つである新ワリ地下貯水池には、地下空洞変位を観測する計器を設置し、DAWSSAが継続して観測が出来ることを目指すソフトコンポーネントを実施する。

## 3.2 協力対象事業の基本設計

### 3.2.1 設計方針

#### 1) 基本方針

旧トンネルで75年の供用期間、新トンネルで25年の供用期間が経過している。特に旧トンネルは供用期間が長いことから、損傷・劣化が進行している。予備調査にて改修範囲・改修方法を概略結論している。本調査では予備調査の結果をベースにして、再度改修範囲を調査した。両トンネルは概ね安定した状態にあり、適切な補修を行うことで十分延命を図れる。

旧トンネルは、通常、設計容量の15%前後しか送水しておらず、新・旧トンネルの合計年間送水量の内、旧トンネルの送水量は9%と小さい。送水量から言って新トンネルの重要性は非常に大きい。調査の結果、トンネルの劣化・損傷箇所は旧トンネルが圧倒的に多いが、旧トンネルはダマスカス市内に配水していること、サイフォン部から分水してダマスカス市外のディユーマ地区に配水していること、新トンネルに事故が発生した場合や改修工事の場合のバイパスとしての機能があること、から重要な役割を果たしている。今後とも安全にダマスカス首都圏へ送水を行うために、新・旧トンネルを維持管理することが必要であり、両トンネルを対象として改修計画を立案する。

トンネルの劣化・損傷は、掘削岩盤を覆う覆工コンクリートに見られ、コンクリートのひび割れやコンクリート表面の剥離・剥落が生じている。これらを放置しておく、トンネルからの漏水、鉄筋の腐食、部材耐力の低下、樹根の浸入によるひび割れの拡大、といった弊害が生じる。これら損傷部の補修・修理を計画する。ひび割れ幅は0.2 mm以上を対象とし、剥離・剥落は10 cm以上を対象とする。旧トンネルはバラダ川左岸沿いに建設され、土被り厚が全般的に小さい。特に上流3 km区間は土被り厚が更に小さく、開削工法による暗渠もあり、損傷が多い。この区間の漏水率も大きい事から、重点的に補修を計画する。土被り厚が十分（直径の2倍以上、4 m以上）なトンネル部分は大半が健全な状態にあり、修復は殆ど必要ない。旧トンネルには覆工コンクリート以外にも、水路橋の劣化、トンネルの補強を目的とした鉄管の発錆、ゲート本体の発錆、が見られ補修の対象に含める。

要請書には、地下水のトンネル内への湧出防止策とトンネル背面の空隙の充填工が含まれている。新・旧トンネルの調査により、地下水がトンネル内に湧水しているのは極僅少であることが判明した。レーダ機器を用いたトンネル背面の空隙調査により、空隙は極僅少であることが判明した。以上により、上記2項は本計画には含めない。

本計画により改修を終えたとしても、現状とは異なる外的条件の変化が生じた場合新たな損傷が発生することが考えられ、改修後も定期的なトンネル点検と、簡単な改修工事を行える体制の確立が必要であり、その体制づくりを計画する。DAWSSAには点検・補修技術が蓄積されていないので、ソフトコンポーネントにより技術移転を図

り、DAWSSA 自身による維持管理が出来る体制とする。トンネルと一体に運用しているワリ地下貯水池の変位挙動のモニタリングも欠かせない。側壁・底版にはひび割れが生じ、DAWSSA がひび割れ箇所ガラス片を貼り付けた観測では、一部ガラス片が割れ、ひび割れ箇所が変位していることが分かる。定量的で経時的に地下空洞変位を観測する計器を同貯水池に設置し、DAWSSA が継続して観測が出来ることを目指すソフトコンポーネントを実施する。

修復工法・修復材料については代替案比較により、工費・環境影響・工期・施工法・耐久性などを検討の上、最適案を選定する。

## 2) 自然条件に対する方針

トンネル内の工事であるため、気温・降雨・風と言った外部からの自然状況に影響を受けない。トンネル内の流量は、トンネル入口のゲートにより制御可能である。旧トンネルは土被りが浅いため、地表からの外力や地質条件の影響を受けやすい。設計には、これら条件を考慮する。旧トンネル入口より 300 m 地点は、地表の地滑りが原因と思われる構造クラックが発生している。構造クラックの進行を止めるべく施策を検討する。

旧トンネルにおいては資材及び人員の搬出入可能な 9 箇所の入口ゲート (№ 4、5、7、11、20、24、32、33、35) があるため、大がかりな建設機械及び機材を伴う補修工法でなければ十分アクセス可能であり問題なく施工が行える状況にある。トンネル断面が狭いため溶接等の燃焼物が発生する作業においては十分な換気設備を検討しなければならない。新トンネルにおいては、バッシマ及びアラヨン アクセストンネル並びに上下流のトンネル入口・出口からのバッテリーカーでの移動が可能であり、全区間へのアクセスも容易である。

## 3) 社会条件に対する方針

トンネルの改修・補修のみならず、運転中に遭遇すると思われる事故・損傷に対して社会に与える影響を最小にすべく施策を検討する。旧トンネルのサイフォン構造物は軍施設内に位置するが、最近では周辺に違法家屋が進出している。1963 年と 1996 年に地滑り・地盤沈下により、サイフォンパイプが損傷する事故が発生している。パイプ内の水が溢れ出て被害を起こすので、常時は未使用の 3 本のサイフォンパイプを排水できるような対策を検討する。

トンネルは供用中であり、工事によるサービス中断は極力避けなければならない。トンネル内には、塩素消毒済みの飲料水が送水されるために、使用材料が水質に影響を与えてはならない。使用する注入材・グラウト材・断面修復材等は、硬化時間の短い材料を選定する。工事時間を短くするために、プレキャスト材の使用を考慮する。供用中に溶出しない材料を選定するのは、勿論である。

## 4) 現地業者・資材に対する方針

シリア国内の業者は、トンネル工事やトンネル補修工事の経験は極限られている。現

地業者の技量を考えた設計を考慮する。本計画では、大型機械や高度な技術を要する設計とはならず、資材の建て込みや材料の充填・注入が主要となる。ロックボルトの建設が一番、技術を有する工種となる。現地にて調達容易な材料を優先するが、設計の上での耐久性や施工性を検討し決定する。

### 5) 実施機関の運営・維持管理能力に対する対応方針

これまで新トンネルの補修工事が行われた事はないが、旧トンネルは外国企業によって補修工事が行われている。DAWSSA はトンネル点検・診断・補修の技術力の向上を切望しており、日本側に研修の実施を要請している。

本計画で対象としているトンネルのみならず、地下貯水池空洞の維持管理が不可欠である。地下空洞の底版・壁面にひび割れが生じているが、変位記録は取られていない。地下空洞は送水システムにとり、トンネルと同等に重要である。

上記課題（トンネル点検・地下貯水池空洞の変位観測）を本計画のソフトコンポーネントにより対応する。

### 3.2.2 基本計画

湧水池からダマスカス市まで送水する2本のトンネルは、老朽化や損傷が見られるためトンネル施設の補修を本計画にて行う。下表に老朽化・損傷箇所に対する対応を、纏める。各代替案の一般図は図3-1に示される。

		基本設計での対応						
要請書による補修箇所	1. 旧トンネル漏水防止	以下の代替案による検討。 <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 33%;"> <b>内張り工法</b>                トンネル内壁に防水板を貼り付けて防水補修する工法             </td> <td style="width: 33%;"> <b>ハイパーストネル工法</b>                漏水するトンネル部分を廃棄し、新トンネルに平行してハイパーストネル建設する工法             </td> <td style="width: 33%;"> <b>明かり工法</b>                漏水するトンネル部分を地上部から掘削して補修する工法             </td> </tr> <tr> <td> <b>内張り材の比較代替案</b>                ・FRP (Fiber Reinforced Plastic)材の使用                ・鉄板の使用             </td> <td> <b>トンネルの比較代替案</b>                ・ルート1                ・ルート2                ・ルート3             </td> <td></td> </tr> </table>	<b>内張り工法</b> トンネル内壁に防水板を貼り付けて防水補修する工法	<b>ハイパーストネル工法</b> 漏水するトンネル部分を廃棄し、新トンネルに平行してハイパーストネル建設する工法	<b>明かり工法</b> 漏水するトンネル部分を地上部から掘削して補修する工法	<b>内張り材の比較代替案</b> ・FRP (Fiber Reinforced Plastic)材の使用 ・鉄板の使用	<b>トンネルの比較代替案</b> ・ルート1 ・ルート2 ・ルート3	
	<b>内張り工法</b> トンネル内壁に防水板を貼り付けて防水補修する工法	<b>ハイパーストネル工法</b> 漏水するトンネル部分を廃棄し、新トンネルに平行してハイパーストネル建設する工法	<b>明かり工法</b> 漏水するトンネル部分を地上部から掘削して補修する工法					
	<b>内張り材の比較代替案</b> ・FRP (Fiber Reinforced Plastic)材の使用 ・鉄板の使用	<b>トンネルの比較代替案</b> ・ルート1 ・ルート2 ・ルート3						
	2. 地下水の浸入	調査により地下水の浸入は極小と判明したため、対応は不要。						
	3. コンクリートの劣化（ひび割れ、剥離・剥落、鉄筋の錆び）	0.2 mm以上のひび割れ部には、エポキシ樹脂材を注入。コンクリートが剥離・剥落している部分は、ポリマーセメントモルタルを充填。鉄筋が露出し発錆している場合は、清掃の後、ポリマーセメントモルタルを充填。						
	4. 旧トンネルの鉄管による補強部の鉄管の錆び	鉄管を清掃し錆び落としの後、ポリマーセメントを塗布。						
5. トンネルの天頂部の空隙	電磁波レーダを用いた調査により、空隙は微小と判明したため、対応は不要。							
6. ゲートの交換	トンネル入口部及び旧トンネル サイフォン部のゲート交換。							
調査による補修箇所	1. 旧トンネルTD 300-345 m区間の構造ひび割れ	以下の代替案による検討。 <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%;"> <b>鋼製支保工法</b>                鋼製支保工による補修             </td> <td style="width: 50%;"> <b>ロックボルト工法</b>                ロックボルトによる補修             </td> </tr> </table>	<b>鋼製支保工法</b> 鋼製支保工による補修	<b>ロックボルト工法</b> ロックボルトによる補修				
	<b>鋼製支保工法</b> 鋼製支保工による補修	<b>ロックボルト工法</b> ロックボルトによる補修						
2. 新トンネルTD 3,168 - 3,172 m区間のコンクリート劣化	表層の劣化部の15 cmを除去し、防水板を設置し、樹脂モルタルを充填する。							

詳細な比較検討は資料 7.3 に示される。表 3.1 には旧トンネル上流部の漏水対策比較案の検討結果が示される。検討の結果を纏めると、バイパストンネル案は工費が嵩むこと、明かり工法案は施工区間が限られること、から内張り工法を採用する。鋼板を漏水防止板として使用した内張りでは、定期的な塗装を必要とするため、FRP 板を使用した内張り工法案を採用する。表 3.2 には旧トンネル TD 300-345 での比較案の検討結果が示される。鋼製支保工を用いた工法では工費は少なくすむが、流積が小さくなり設計水量を確保できなくなること、及び将来の更なる変動があった場合でのロックボルト工法案の構造的優位性から、ロックボルト工法案を採用する。

### 3.2.3 基本設計図

図 3-2 から 3-10 に基本設計図を示す。

#### 1) 旧トンネル内張り工 ( 図 3-3 参照 )

トンネル断面形状と内張りによる補修面数によって、5つの標準断面を設計する。コンクリートのひび割れ部、剥離・剥落部、樹根浸入部に内張り工を適用する。坑口ゲート No.7 (TD3,090 m) までが、旧トンネル上流部として漏水の大きな箇所であるが、ゲート No.7 より下流部にもひび割れ部、剥離・剥落部、樹根浸入部の不良箇所が調査されているので、その不良箇所も補修する。各標準断面の適用箇所を表 3-3 に示す。

#### 2) 旧トンネル部ゲート ( 図 3-5 から 3-8 参照 )

旧トンネルには、トンネル入口部、サイフォン部、水路橋 No.3 にゲートが設置されている。トンネル入口部のゲート以外は殆ど使用されていない。トンネルは無圧方式で設計されているため、トンネル途中のゲート操作によってトンネル内を満水とし内水圧をトンネルに負荷することは許容されない。トンネル入口部ゲートは、トンネルの流量調節に必須であり、ゲートは老朽化しゲート遮断時に漏水していることから、交換する。

サイフォン部には、4本のサイフォンパイプが設置され、内3本は未使用である。サイフォンパイプの入口・出口には全てゲートが設置されている。未使用の3本のパイプに設置されているゲート腐食が激しく、機能していない。2.2.3.7 節に記述されているように、パイプ事故を防ぐために、未使用のパイプは常時排水しておくのが良い。しかし、常用の 1,400 mm アスベスト管に万一の事故が発生した場合のバイパスとして、未使用のパイプにも送水可能となるようにする。このような機能を達成するために新設のゲートを設計する ( 図 3-7 参照 )。

ゲートの材料として鉄製とステンレス製が考えられる。鉄製は発錆するため、塗装を定期的に行わなければならない。塗装費を考慮するとステンレス製が有利となるため、ステンレス製ゲートを採用する ( 詳細は資料 7.4 参照 )。

#### 3) 旧トンネル No.3 水路橋補修 ( 図 3-9 参照 )

No.3 水路橋は一度補強されているが、桁部分のコンクリートが剥離し、鉄筋が腐食している。桁部分を補修のため切開したりするのは危険と判断されるので、桁下に炭

素繊維シートを貼り付ける工法とする。

#### 4) 新トンネル補修

新トンネルの TD3,170 付近に見られるコンクリート劣化部分は、コンクリート表面の 15 cm 厚を剥ぎ取り、FRP 材を設計断面に設置する。コンクリートを剥ぎ取った 15 cm 厚部分 (FRP 材とコンクリートの隙間部分) に樹脂モルタルを注入する。覆工コンクリート背面から地下水と伴に浸出する硫酸塩と思われる有害物質を抜くために、ドリル窄孔を行う。(図 3-10 参照)

#### 5) その他の工事

新・旧トンネルともコンクリートひび割れやコンクリートの剥離・剥落が見られる。0.2 mm 以上のコンクリートひび割れ部には、エポキシ樹脂を注入する。剥離・剥落部は、清掃の後、ポリマーモルタルを充填し、補修する。

旧トンネルの TD9,929-10,254 と TD13,740-13,938 にはトンネルを補強するため、上半円弧部に 6cm 径の鉄パイプを約 1 m 間隔に設置してある。この鉄パイプが腐食しているため、清掃しポリマーセメントを塗布する。

#### 6) 工事規模・数量

図 3-2 は新旧トンネルの全体図を示し、内張り工法の適用範囲・ゲート交換位置が示されている。工事数量は下記に示すとおりである。

対象	改修内容	数量
旧 ト ン ネ ル	① 内張り FRP 工法	延長 1,546m (5,504m <sup>2</sup> )
	② ロックボルト工法	延長 45m (46 断面)
	③ コンクリート劣化部の補修 (ひび割れ)	566m
	④ コンクリート劣化部の補修 (剥落修復)	8,892 箇所
	⑤ 鋼管による補強部の補修 (表面被覆)	156 本 (43.1m <sup>2</sup> )
	⑥ No.3 水路橋補強部材の補修 (炭素繊維シート)	28.2m <sup>2</sup>
	⑦ ゲート交換	トンネル入り口 1 門 サイフォン部 2 門
新 ト ン ネ ル	① コンクリート腐食部の補修 (断面修復)	34.6m <sup>2</sup>
	② コンクリート劣化部の補修 (ひび割れ)	13m
	③ コンクリート劣化部の補修 (剥落修復)	219 箇所

### 3.2.4 施工計画/調達計画

#### 3.2.4.1 施工方針/調達方針

##### 1) 施工方針・調達方針

本計画は日本国の無償資金協力の枠組みで実施され、以下の条件・手続きにより事業が実施される。

- ・ シリア国の実施機関は、ダマスカス市上下水道公社 (DAWSSA) である。

- ・ 日本政府とシリア国政府との間で事業実施（詳細設計及び建設）に係わる交換公文（E/N）が取り交わされた段階で、DAWSSA は事業実施の準備を開始し、事業実施に係わる業務を進める。
- ・ 日本のコンサルタントが DAWSSA と契約を行い、詳細設計と入札図書の作成を行う。その後、本工事の入札手続作業を開始する。
- ・ シリア国政府は、詳細設計と並行して必要に応じて用地取得を開始する。
- ・ P/Q 及び 2 Envelope 方式の入札によって選定された日本の建設業者が施工を行い、効率的かつ適切に資機材を調達し作業工程に従って建設工事を行う。
- ・ 工事の施工監理は DAWSSA と共にコンサルタントが行う。
- ・ 引渡し後、工事瑕疵による不具合が瑕疵担保期間中に見つかった場合、建設業者は修理を行う。

施工方針として下記事項を考慮する。

- ・ 雇用機会の創出、技術移転の促進、地域経済の活性化に資するため、現地に於ける労務者、資機材を最大限に活用する。
- ・ 本計画が円滑に運ぶように DAWSSA、コンサルタント、建設業者間に緊密な連絡体制を確立する。
- ・ 資機材調達に必要な期間、適切な施工方法の採用等を考慮し現実的な施工計画を立案する。
- ・ 日本の建設業者が請負契約により、施設の建設と機材の調達を行う。
- ・ 建設業者は DAWSSA より無償で提供を受けた敷地に現場事務所、資機材置き場等を建設し工事を実施する。
- ・ 地元住民、関連施設の管理者との調整はコンサルタント、建設業者の協力を得て DAWSSA が行う。
- ・ 建設業者は工事完了後に DAWSSA に引き渡し、引き渡し後の維持管理は上述したとおり DAWSSA が行う。
- ・ 当工事はトンネル補修工事であり、降雨による工事への影響は無いものとして工程計画を立てる。

## 2) 施工体制

シリア国内にはトンネル構造物が少なく、民間企業はトンネルの補修や点検、維持管理の経験に乏しい。したがって、基本的には日本の建設業者の直営方式（トンネル補修技能工については日本より派遣）により工事を実施することを前提とする。現地業者に対しては、日本の建設業者が運営、技術指導を行うとともに、現地業者の育成を目指し、単純工事を対象とした部分のみ下請けの形態を取り入れるものとする。

## 3) 建設業者の日本人技術者及び技能者派遣

工事数量、工期、作業環境、作業の安全等を踏まえ、日本人技術者は 3 人（作業所所長、主任技術者、コンクリート補修技士）を想定する。

### 3.2.4.2 施工上/調達上の留意事項

本計画の実施に当たっては、施工上及び資機材の調達事情等から以下の点に留意する。

#### 1) 安全

トンネル補修工事は、文字通り閉所作業を強いられる。特に旧トンネルは、幅 1.3 m、高さ 1.8m と非常に狭い空間での作業であるため、安全作業に十分留意しなければならない。具体的には、換気設備の充実、ガソリン発動機の使用厳禁、坑内連絡体制の確立、緊急避難路の確保等が挙げられる。

#### 2) 社会環境

工事中の環境影響としては、一般的に騒音の影響、粉塵の影響、重機作業による振動の影響、交通事故等の発生が挙げられるが、本工事においてはこれらの影響はいずれも限定的である。

一方、工事は供用中のトンネル内補修工事であることより、水質への影響が懸念されるところである。作業終了後の片づけ・清掃を徹底するとともに、定期的な水質検査を実施し水質をモニタリングすることが重要である。

#### 3) 補修材料の調達

トンネル補修工事においては、諸々の特殊材料が必要となってくる(3.2.4.6 節参照)。エポキシ樹脂系モルタル、無収縮モルタル等のコンクリート補修材料は現地調達が可能であるが、FRP 板、ロックボルト、橋梁補修用繊維シート等については日本調達が想定される。

### 3.2.4.3 施工区分/調達・据付区分

#### 1) 日本側負担工事

- ・ 実施設計及び入札図書の作成
- ・ 「3.2.3 基本設計図」で示された施設の建設
- ・ ソフトコンポーネント

#### 2) シリア側負担工事

- ・ 本工事に必要な用地の確保
- ・ ワリ地下貯水池の計測機器の設置

### 3.2.4.4 施工監理計画/調達監理計画

#### 1) 詳細設計及び入札図書

本工事の実施に先立ち、実施詳細設計及び入札図書作成業務が必要となる。事業実施の E/N 締結後、直ちにシリア国 DAWSSA と日本のコンサルタントとの間でコンサルタント契約を結び、同公社と綿密な協議を行い詳細設計に着手する。現地調査時に、DAWSSA と詳細設計、実施工程について打ち合わせを行う。詳細設計に係わる作業は以下のとおりである。

- ・ 追加調査（基本設計に基づく追加調査）  
ゲート断面（取水口ゲート及びサイフォン部）の再確認  
旧トンネルロックボルト設置箇所の再確認  
ワリ地下空洞貯水池の調査
- ・ 詳細設計  
現場調査に基づく詳細設計  
詳細設計に基づく事業費の算定
- ・ 入札関連書類の作成  
入札用設計図の作成  
工事の入札関連書類の作成

## 2) 入札業務及び施工監理

詳細設計及び入札図書作成後、日本のコンサルタントは DAWSSA との協議をもとに入札業務を行う。さらに、施工監理業務の概要は以下のとおりである。

- ・ 施工図等の審査、承認  
建設業者の提出する施工図、工事許可願、材料見本、材料仕様書、機械仕様等の審査及び承認。
- ・ 工事の指導  
施工計画及び工程・品質管理の検討・指導、工事進捗状況の把握/検討/指導、施工途中での必要な検査の実施。
- ・ 支払承認  
工事支払証明書及び工事完成後の完成証明書の発行に必要な出来高の確認。

### 3.2.4.5 品質管理計画

本工事では、品質管理としてコンクリート補修に使用するモルタルの圧縮強度試験を実施する。試験は、ダマスカス市内の試験機関（ダマスカス大学、住宅建設省）での実施が可能である。旧トンネル工事終了時に流量試験を行い、漏水率の確認を行う。

### 3.2.4.6 資機材調達計画

#### 1) 建設資材調達計画

ダマスカス市内では大型ホテルの建設、交差点の立体化等大型建設工事も活発に行われており、コンクリート、鉄筋、型枠材等の基本的な建設資材は現地で容易に調達することが可能である。また、トンネル補修工事に使用が想定される構造面復旧用高性能軽量ポリマーセメント系モルタル、防水性無収縮プレミックスモルタル、クラック注入用エポキシ樹脂材等の補修材料についても、ヨーロッパ系の材料製造業者がダマスカスに代理店を置いているため、現地調達が可能である。

セメントについては、以前ダマスカス市内に製造工場が 1 箇所あったものの、工場から発生する粉塵等の環境問題によって、約 10 年前に閉鎖されたとのことである。現在では、ダマスカス市から約 30 km の郊外に製造工場があるものの供給が間に合わず、

ダマスカス市内で使用されるセメント量の大半は、タルトースのプラントで製造されたものが使用されているとのことである。タルトースにはシリア最大のセメント工場があり、年間 1.3 百万トンを生産しているとのことである。

トンネルの補修で使用される FRP (Fiberglass Reinforced Plastic) やロックボルト、また水路橋の補修に使用される炭素繊維シート等については、現地では調達できないため日本を含む第三国からの調達が必要となってくる。

取水工のゲートについては、現地調達も可能性としては排除できないが、漏水防止のために設置されるゴム版の止水機能 (3 面止水) 及びステンレス鋼によるゲートを期待するのは難しく、止水機能に対する信頼性、耐久性、将来の維持管理を踏まえ、日本調達とする。

日本からの輸送ルートは、日本 (横浜港) - シリア (タルトース港) - ダマスカスとなる。タルトース港からダマスカスまでは陸路輸送 (約 260 km) となるが、片側 2-3 車線の幹線道路で結ばれているためアクセスに問題は無い。

## 2) 建設機材調達計画

一般的な建設機材 (ブルドーザー、バックホー、トラック、クレーン等) については、ダマスカス市内の建設会社や建設機材リース会社からの調達が可能である。当プロジェクトにおいて必要となってくる発電機、エアコンプレッサー、ブレーカー、グラウト機材等においても、現地市場に出回っておりリースによる調達が可能である。

因みにリース機材の料金の設定条件は以下のとおりである。

- ・ 基本的に機材のみのリースとするが、オペレーター付とすることも可能である (オペレーター代は別料金)。
- ・ リース期間中の機材の維持管理はリース業者の責任とする。
- ・ 現場までの搬入はリース業者の責任とし、輸送料金はリース代の中に含まれる。
- ・ リース料金の内訳は搬入から搬出までの共用日数にかかる。

### 3.2.4.7 ソフトコンポーネント計画

#### 1) ソフトコンポーネントを計画する背景

##### トンネル点検・補修

シリア国にはトンネル構造物が殆どなく、トンネル点検・補修の技術が蓄積されていない。DAWSSA は 2002 年より 4 回に渡り、トンネル点検を行っている。点検についてのマニュアルやガイドブックを保有していないため、点検記録の取り方が不十分であり、より体系的な点検制度が必要である。点検も目視のみであり、器具を用いた数値化された記録となっていない。トンネルのコンクリートひび割れや剥離・剥落を点検によって発見しても、具体的な補修方法を実施する経験を有していない。

##### 地下貯水池変位観測

新トンネルの末端は体積  $61,400 \text{ m}^3$  ( $= 4 \times 15,350 \text{ m}^3$ ) の容量を有する 4 槽のワリ地下

空洞貯水池（幅 12 m・高さ 12 m・長さ 160 m）に連結され、供給量の調節を行っている。この地下空洞貯水池の底版・側壁にひび割れが生じている。DAWSSA の説明によれば、側壁は徐々に変位している、と懸念している。1999 年に DAWSSA はひび割れ部に 70 枚のガラス板を設置し、観測している。2002 年の点検では底版のガラス板が割れていたとの報告である（割れた枚数は不明）。しかし、ひび割れ幅観測値・空洞変位量・経時的変位傾向を示す観測値がなく、地下空洞の安全性が判断できない。又、取りうる対策も検討できない。

## 2) ソフトコンポーネントの目標

### トンネル点検・補修

コンクリートの劣化や損傷は放置しておくより更に進行するため、点検を定期的に行い、早期に補修の方が経済的である。DAWSSA はトンネル点検を行っても、補修材料・補修工法の技術が蓄積されていないため、海外資本の材料メーカーの助言に依存している。DAWSSA が定期点検を行い、点検記録を蓄積し、ひび割れや表面劣化等の簡単な補修については独自に判断し、補修を行える体制とすることを目標とする。

### 地下貯水池変位観測

トンネル出口にある地下貯水池は送水トンネルと一体不可欠な重要施設であり、安全性の確認が必要である。安全性が脅かされていることが確認されたなら、修復を早急に実施した方が費用は安くて済み、安全に水供給を行える。観測計器を設置し、DAWSSA が計測を継続し、計測値によって DAWSSA が取るべき行動をガイドできることを目標とする。

## 3) ソフトコンポーネントの成果

ソフトコンポーネントを実施することにより、以下の成果を得ることが出来る。

### トンネル点検・補修

- ・ マニュアルが整備される。
- ・ 体系的な点検制度が確立される。
- ・ 点検器具が使えるようになる。
- ・ 簡単な補修は自前で行えるようになる。

### 地下貯水池変位観測

- ・ 観測機器による計測が出来るようになる。
- ・ 計測値を記録管理するための方法が習得出来る。
- ・ 対策方法に関与するひび割れ性状（安定性に関する構造ひび割れ⇔非構造ひび割れ、防水性に関するひび割れ幅、等）を分類するための判定方法が整備される。

## 4) 成果達成度の確認方法

以下の項目について確認を行う。

分野	成果	達成度の確認項目
トンネル 点検・補修	マニュアルが整備される。	アラビア語のマニュアルが完成したか。
		アラビア語の講義ビデオが完成したか。
	体系的な点検制度が確立される。	点検体制（点検員の数・各員の役割）が明確になったか。
		点検に必要な既存資料が整理できたか。資料リストができたか。
		点検準備の手順、点検箇所・順路、点検項目が整理できたか。アラビア語のマニュアルに記載したか。
		点検・補修記録シートが完成したか。
		点検・補修に必要な資料・用具の保管方法・場所が明確になったか。
	点検器具が使える。	限られた断水時間内に点検・測定が円滑に行えるようになったか。
		点検器具の手入れや簡単な較正の方法が整理できたか（保管場所に掲示したか）。
		点検に必要な装備品が準備できたか。
	簡単な補修は自前で行える。	限られた断水時間内に補修が円滑に行えるようになったか。
		補修後に行う品質検査シートが完成したか。
補修に必要な工具が準備できたか。		
地下貯水池変位観測	観測機器による計測が出来る。	計測準備の手順、計測箇所・順路、計測項目が整理できたか。アラビア語のマニュアルが完成したか。
		限られた断水時間内に測定が円滑に行えるようになったか。
		観測機器の手入れや簡単な較正の方法が整理できたか（保管場所に掲示したか）。
	計測値を記録管理する方法が習得出来る。	計測値記録シートが完成したか。
		所定の計測間隔ごとに計測値が記録されているか。
		計測値記録シートを計測ごとに印刷してファイリングしているか。
	ひび割れ性状を分類する判定方法が整備される。	計測値記録シートに判定結果が記録されているか。関係者がその結果を確認しているか。
プレアラーム時に再計測を行っているか。		

## 5) ソフトコンポーネントの活動 ( 投入計画 )

### トンネル点検・補修

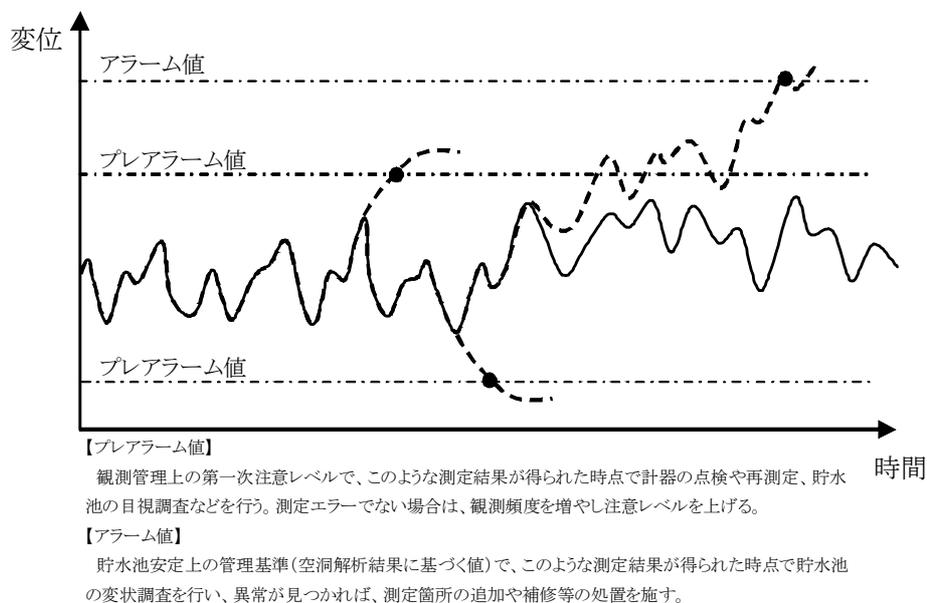
トンネル点検項目・点検方法を説明したマニュアルをコンサルタントが作成し、マニュアルの説明を行う。マニュアルに従い、コンサルタントと一緒にトンネル点検を実施し、DAWSSA が点検記録を作成しコンサルタントの指導を受ける。DAWSSA はアラビア語のマニュアルを作成し、DAWSSA のスタッフによる講義をビデオに記録するなど、点検作業が伝承され継続して行えるような体制とする。

簡単な補修工事の補修材料・補修工法について、コンサルタントがマニュアルを作成し、マニュアルの説明を行う。無償工事が開始されれば、ひび割れ補修・コンクリート補修等の施工管理をコンサルタントと一緒にを行う。DAWSSA はアラビア語のマニュアルを作成する。DAWSSA のスタッフによる講義や、無償修復工事をビデオ撮影し、継承できる体制とする。

## 地下貯水池変位観測

貯水池の内空変位の観測、コンクリートひび割れを跨いだ変位の観測、鉄筋の応力観測が最低限、必要となる。内空変位の観測は、レーザー観測機にて行う。コンクリート変位・鉄筋応力は歪ゲージを貼り付けて、観測する。4槽の貯水池について出来るだけ多くの測定点を取るのが望ましいが、測定機材調達額の高騰を防ぐために、一番ひび割れ被害の大きい4番槽又は3番槽の半分の断面にて計測する。詳細設計調査時に地質調査報告書をレビューしたり現地確認により、対象槽を決定する。約1年間の測定の後、コンサルタントは測定結果を空洞3次元モデルに取り入れ、測定結果に対応する地盤常数の解析を行う。得られたモデルを用いて、変位が増大した場合の、安全度を推定できるようにする。安全度が低下した場合の、推定される対策も立案する。

解析から得られたアラーム値と経時的変位のイメージ図を下記に示す。DAWSSAはチャートを用いながら、継続して数年間、測定を行う。



## 6) ソフトコンポーネントの実施リソースの調達方法

日本のコンサルタントが直接、技術指導・技術移転を行う。ソフトコンポーネントに必要な下記の資機材を本プロジェクトにて調達する。

## トンネル点検・補修

資機材名	説明・目的	器具・材料	数量	仕様
クラックスケール	コンクリートのひび割れ幅を測定する。	ルーベタイプ	3台	倍率:20倍 最小目盛:0.05mm
		ゲージタイプ	1台	伸縮測定範囲:5mm(±2.5mm) 測定精度:1/1000mm 測定基長:50,100mm
コンクリートテストハンマー	鋼棒の先端をコンクリート表面に打撃し、その反発度によりコンクリート強度を推定する器具。	測定本体	1台	強度測定範囲: 150~600kgf/cm <sup>2</sup>
コンバージェンステープ	アンカーを設置した測点間の距離を測定する。主に旧トンネルのワリ地区の内空変位の測定を想定する。	測定器本体	1台	測定範囲:0.5~15m 最小目盛:0.1mm
		測点アンカー	50個	保護キャップ付ボールポイント
水位計	トンネル流量測定を行う際の水深を計測する。	測定本体	2台	測定範囲:0~20m 分解能:1mm (20mの場合) 測定精度:±0.1%F.S 測定間隔:選択式 ケーブル長:30m
流速計	トンネル流量測定を行う際の流速を計測する。	測定本体	2台	測定方向:1軸1方向 測定範囲:0.001~3.000m/sec 分解能:0.002m/sec 精度: 測定値の2%±0.005m/sec 測定平均時間:選択式 ケーブル長:10m 付属品:指示棒,羽根板,錘
防水材	本プロジェクトにて0.2mm以上のひび割れは、改修される。本プロジェクト以後、未修復のひび割れ及び新規ひび割れ部に使用する。旧トンネルのワリ地区のひび割れの発達を想定した数量とした。	ポリマーセメントモルタル	650kg	耐水性:1気圧以上 伸び率:30%以上(水中) 引張強度(材齢28日): 0.9N/mm <sup>2</sup> 以上 付着強度(材齢28日): 1.1N/mm <sup>2</sup> 以上 可使時間:60分以内 非溶出性材質

## 地下貯水池変位観測

資機材名	説明・目的	器具・材料	数量	仕様
地下空洞内空変位測定装置	地下空洞の測定位置にレーザー反射板を取り付け、レーザー観測機からレーザー光を反射板に発射して距離を測定する。経時的に観測することにより内空変位を測定できる。	レーザー観測機	1台	測角精度:1" 測距精度:±(2+2ppm×測定距離)mm以下
		レーザー反射板	40個	防水型1素子プリズム
コンクリート・鉄筋の歪測定装置	コンクリートのひび割れを跨いで歪計を貼り付ける。鉄筋を剥き出し、鉄筋を切断して応力を解放後、歪計を貼り付ける。歪計からのリード線を歪測定器につなぎ、経時的歪を観測する。	歪測定器	1台	測定範囲: (レンジ×1)0~±19900×10 <sup>-6</sup> (レンジ×10)0~±19900×10×10 <sup>-6</sup> 分解能: (レンジ×1)1×10 <sup>-6</sup> ひずみ (レンジ×10)10×10 <sup>-6</sup> ひずみ 精度: (レンジ×1)±(0.05%FS+1digit) (レンジ×10)±(0.05%FS+10digit)
		歪計	66個	容量:10mm 分解能:0.0025mm 精度:0.15mm

上記資機材は施設・機材複合案件として、施工業者が日本から調達を行うものとする。

## 7) ソフトコンポーネントの実施工程

ソフトコンポーネントに関する作業の実施工程、及びコンサルタントの要員投入計画（合計 8.5 人月）と作業内容を下表に示す。

実施者	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	13月	14月	15月	16月	人月	備考	
トンネル改修工事	[Gantt bar]																		
旧トンネル改修工事	[Gantt bar]																		
新トンネル改修工事	[Gantt bar]																		
ソフトコンポーネント - トンネル点検・補修																			
トンネル点検器具引渡し			▲																
点検・補修マニュアルの作成			■	■															トンネル維持管理専門家
マニュアルの説明			■	■															トンネル維持管理専門家
アビオ語マニュアル・ビデオ作成					■	■	■	■	■	■									
点検・修理工事OIT												■							トンネル維持管理専門家
トンネル点検補修マニュアル提出			▲																トンネル維持管理専門家
実施状況報告書提出								▲											トンネル維持管理専門家
完了報告書提出																	▲		トンネル維持管理専門家
ソフトコンポーネント - 空洞変位観測																			
観測器具引渡し			▲																
観測器具据付			■	■															解析専門家・機器据付専門家
観測・記録の指導			■	■															
観測・記録			■	■															継続して数年間測定
解析モデル作成					■	■													トンネル解析専門家
解析・説明					■	■													トンネル解析専門家
実施状況報告書提出								▲											トンネル解析専門家
トンネル安全解析マニュアル提出																		□	トンネル解析専門家
完了報告書提出																		▲	トンネル解析専門家
ソフトコンポーネント - コンサルタント投入																			
トンネル維持管理専門家			■	■															3.0
トンネル解析専門家			■	■															4.5 (内、国内2人月)
機器指導員			■	■															1.0 機器指導補助員3名
合計																			8.5

## 8) ソフトコンポーネントの成果品

コンサルタントの成果品は以下のとおりである。

成果品（提出：改修工事開始後経過月数）	言語	DAWSSA	JICA
・トンネル点検/補修マニュアル（3 ヶ月）	英文	20 部	5 部
・ソフトコンポーネント実施状況報告書（7 ヶ月）	和文	-	5 部
・ワリ地下空洞解析マニュアル（16 ヶ月）	英文	20 部	5 部
・ソフトコンポーネント完了報告書（16 ヶ月）	英文	20 部	5 部

## 9) ソフトコンポーネントの概算事業費

ソフトコンポーネントの概算事業費を以下に積算する。

				金額（千円）
設計監理費				
直接経費				5,823
直接人件費				5,875
	（等級）	（業務期間）		
	維持管理専門家	3級 3.0ヶ月		2,538
	解析専門家	4級 4.5ヶ月		2,835
	機器据付専門家	5級 1.0ヶ月		502
間接費				8,225
合計				19,923

## 10) 相手国実施機関の責務

DAWSSA はトンネル点検・補修マニュアルに従い、定期的（1-2 年に 1 回と想定される）にトンネル点検を行い、点検記録を残す。簡易な補修は、その都度実施する。ス

タッフに移動があった時は、ビデオによる研修やマニュアルの説明を行う。

ワリ地下貯水池に設置された変位観測計器について、DAWSSA は解析報告書に示される観測を定期的（3-6 ヶ月に 1 回と想定される）に最低 4-5 年間継続する。観測結果は解析報告書に示される形式に従い、記録に残す。

### 3.2.4.8 実施工程

#### 1) トンネル閉鎖時間

2.2.2.5 節に季節・曜日・時間帯による消費量を記述してある。年によって変化しており、一般的傾向は得られなかった。修復工事によって、給水に影響を与えないように計画を行う。

新トンネルは最大水量を送水するため、フィジェ湧水池の湧水量が最大となる 4 月を跨いで修復工事を行う事が望ましい。この時期は、フィジェ湧水池の湧水量は需要量を越えて湧水し、トンネル送水量以上の水はバラダ川に放流されている。ダマスカス市内の主要貯水池は、新ワリ貯水池（61,400 m<sup>3</sup>）、西貯水池（42,704 m<sup>3</sup>）、東貯水池（28,240 m<sup>3</sup>）、メッセ貯水池（13,000 m<sup>3</sup>）で、総貯水量は 145,344 m<sup>3</sup> となる。新トンネルの設計流量は 11.3 m<sup>3</sup>/s なので、豊水季なら給水しながら上記貯水池を満水にすることが出来る。2003 年の 3 月・4 月・5 月の供給量は、各々、18,580 m<sup>3</sup>/日 (=5.16 m<sup>3</sup>/s)、19,170 m<sup>3</sup>/日 (=5.33 m<sup>3</sup>/s)、20,420 m<sup>3</sup>/日 (=5.67 m<sup>3</sup>/s) であった。断水がないことから、需要量と等価である。主要貯水量を満水にすれば、貯水池から 7.1 時間 (= 145,344 m<sup>3</sup> / 5.67 m<sup>3</sup>/s / 3,600 sec)、水を供給できる。表 2.1 から他の貯水池・タンクを満水としトンネルからの送水がなくとも 8 時間の給水が行えるようにする。トンネル入口から貯水池までの水の到達時間は約 2 時間かかることから、トンネル内の断水は 6 時間とする。2.2.2.5 節及び表 2-5 から、2003 年の 1 月 10 日・12 日を除いて、0:00-6:00 までの水消費量は最低となる。以上から、4 月を跨いで 3 月から 5 月に新トンネル補修工事を行い、0:00 までに貯水池を満水とし、0:00-6:00 にはトンネル入口のゲートを閉じてトンネル内を断水し、工事を行う。

新トンネルのアラヨン横坑から 800 mm 管を通じて、旧トンネルの水路橋 No. 3 に送水可能である。現在、ポンプを整備中であり、工事開始までに整備を終了する必要がある。旧トンネルの主要工事はトンネル上流部にあり、水路橋 No. 3 の上流部分にサンドバッグによる水留めを設置すれば、トンネル上流部の修復工事は 24 時間可能となる。水路橋 No. 3 下流の主要水消費は、サフォン部からの分岐管を通じて、デューマ地区及びデューマキャンプに配水されている。サイフォンパイプ下流にサンドバッグによる水留めを設置すれば、長時間の作業が可能である。工事計画上は、8 時間/日の作業時間として旧トンネルの工程を計画する。

#### 2) 全体工事工程

工事期間は 1 年を計画する。全体工事工程の概略を下表に示す。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
実施設計		(理地調査)	(国内作業)			(入札)				(計：5ヶ月)								
施工・調達						(工事準備)				(新トンネル改修工事)						(旧トンネル改修工事)		
					(計：11ヶ月)					(ゲート設置工事)								(後片付け)
										(水路橋補修工事)								

### 3.3 相手国側分担事業の概要

当協力対象事業の実施に際しての、シリア国側の分担事業/事項は以下のとおりである。

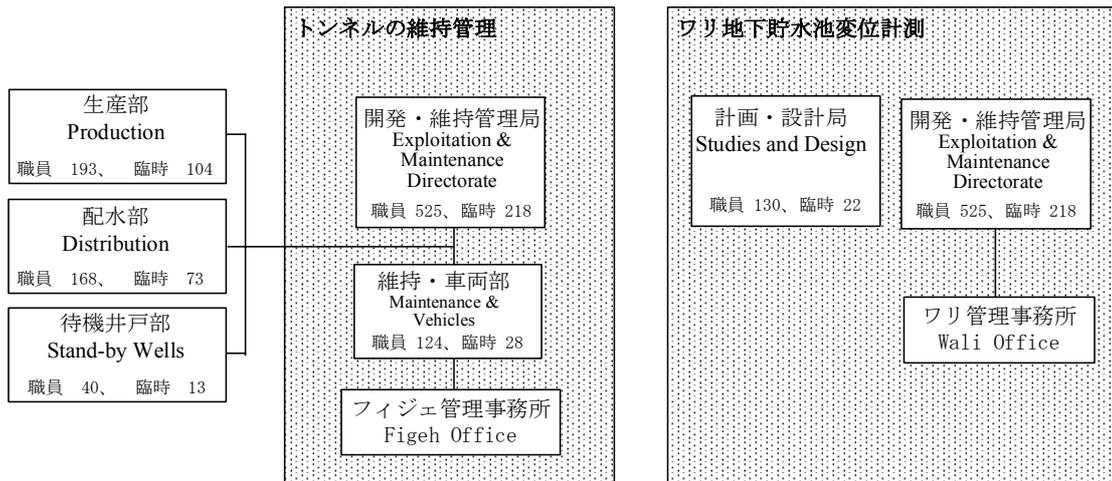
- a) 事業の実施に必要な資料、情報の提供
- b) 日本国内の外国為替公認銀行に口座を開設、支払授權書の発行
- c) 認証された契約に基づいて調達される資機材及び役務を提供する日本国民に課せられる関税、内国税およびその他の財政課徴金の免除
- d) 認証された契約に基づいて供与される役務について、その作業遂行のための入国および滞在に係わる便宜供与
- e) 日本及び第3国からの調達資機材の陸揚げおよび通関・国内輸送業務と修復工事が速やかに実施されることの確保
- f) 事業の実施に必要な許認可の取得
- g) 事業の実施に対する予算措置及び人員を含めた実施体制の確立
- h) ソフトコンポーネントに示された修復施設の維持管理とワリ貯水池の変位観測
- i) 日本側の負担区分以外の行為に係わる費用の負担
- j) 工事期間中、フィジエ及びワリ管理事務所敷地内に事務所及び資機材の一時保管場所として約 500 m<sup>2</sup> 程度用地の提供
- k) DAWSSA より市民へのプロジェクトの広報
  - l) 計画実施に必要な関係機関との調整
- m) 新トンネルのバッテリーカー2台の使用便宜
- n) ソフトコンポーネントに派遣されるコンサルタント要員への事務所提供

### 3.4 プロジェクトの運営・維持管理計画

DAWSSA の組織図は図 2-3 に示される。本プロジェクトの工事実施は計画設計局が主体となり建設管理局と共同して施工管理が行われる。工事終了後は開発維持管理局に属する維持・車両部がトンネルの維持管理を行う。トンネル点検及び維持管理の作業にはフィジエ管理事務所の協力が不可欠である。

工事実施中に設置されるワリ地下貯水池の観測計器はワリ管理事務所が引き継ぎ、観測は計画・設計局が行う。空洞の内空変位を計測する際には、地下貯水池を排水する必要がある、開発・維持管理局の生産部に属するワリ管理事務所の連携が必要となる。

以下に関連部局の組織を示す。



### 3.5 プロジェクトの概算事業費

#### 3.5.1 協力対象事業の概算事業費

##### 1) 日本側負担経費

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事業費総額は 3.95 億円となり、内容は下記に示す積算条件に基づき、以下のとおり見積もられる。

なお、ここに示す事業費は概算であり、将来、E/N で締結される場合の供与限度額を示すものではない。

概算総事業費

約 395 百万円

新旧トンネルの改修 トンネル総延長 約 30.6km

費 目			概算事業費 (百万円)	
施設	トンネル改修工事	FRP 工、ロックボルト工、ひび割れ補修工、剥落修復工	269	295
	ゲート設置工事	ステンレスゲート	23	
	水路橋補修工事	炭素繊維敷設	3	
機材	クラックスケール、コンクリートテストハンマー、水位計、流速計、防水材、内空変位測定装置、歪測定装置		17	
実施設計・施工監理・ソフトコンポーネント			83	

##### 2) 積算条件

- ・ 積算時点： 平成 16 年 12 月
- ・ 為替交換レート： 1US\$=109.93 円  
1US\$=52.5 シリアポンド
- ・ 施工期間： 単期による工事とし、詳細設計及び修復工事の期間は、全体工事工程に示したとおりとする。
- ・ その他： 本工事は日本国政府の無償資金協力の制度に従い実施されるものとする。

### 3.5.2 運営・維持管理費

2.1.2 節に DAWSSA の歳出項目が記述されている。維持管理費は、2000 年に 18 百万シリアポンド<sup>°</sup> (38 百万円)、2003 年に 20 百万シリアポンド<sup>°</sup> (42 百万円)、2004 年に 30 百万シリアポンド<sup>°</sup> (63 百万円) の支出となっている。全体支出に対する維持管理費の占める割合は各々、4.0 % (2000)、4.3 % (2003)、4.3 % (2004) となっている。

本計画に係わる作業は、3.2.4 7) 節に記述されるように日常的に行われるものでなく、数ヵ月あるいは 1・2 年に 1 回行われる定期点検・観測である。作業担当部署は 3.4 節に述べたとおりで、必要経費は人件費が殆どである。現行予算内で、作業の達成は可能である。

### 3.6 協力対象事業実施に当たっての留意事項

DAWSSA の就業時間は 8:00 から 15:00 で昼食時間がなく、金曜日と土曜日は休日となる。新トンネルの工事は夜間作業となるため、事前に十分な打合せが必要である。シリア国民は大半がイスラム教徒であるため、日常のお祈りを含め、宗教行事・活動にも注意する必要がある。

DAWSSA は下記項目について遅滞なく実施する必要がある。

- a) 旧トンネルの修復工事中は、新トンネルのアラヨン横坑から旧トンネルに送水するポンプを稼働させる。
- b) 施工業者と事前に工程を十分協議し、トンネル内の断水のための合意された工程に従い、新・旧トンネルの入口のゲート操作を時間とおりに行う。
- c) 作業のアクセスに必要となる新トンネルのバッシマ横坑・アラヨン横坑、旧トンネルの各アクセスゲート群の開閉も、上記合意された工程に従い、時間とおりに行う。

## 第4章 プロジェクトの妥当性の検証

### 4.1 プロジェクトの効果

本計画の実施により、以下の直接効果及び間接効果が期待される。

#### 1) 直接効果

旧トンネルの漏水率は 27 %と測定されたが、本計画により漏水の多い箇所を内張りすることにより、漏水率が 5 %に軽減されると期待される。旧トンネルの平均年送水量は 14.60 百万 m<sup>3</sup> (= 0.463 m<sup>3</sup>/s×24 hrs×3,600 secs×365 days) であるから、本計画による漏水削減量は 3.21 百万 m<sup>3</sup> (= 14.601×22 %) となる。1999 年から 2004 年の年平均給水量は 196.14 百万 m<sup>3</sup> であるから、本計画によって 1.6 %の水を節約できる。

1.1.1.3 節では、ダマスカス市の一人当たりの使用量は 124 l/人/日と見積もられているので、旧トンネル漏水削減によって、71,000 人分 (= 3.21×10<sup>6</sup>/0.124 m<sup>3</sup>/人/日/365 days) の家庭用水を新規に開発したのと等価である。

他の直接効果は下表に纏められる。

現状と問題点	本計画での対策	計画の効果・改善程度
旧トンネルの TD 300 付近では構造クラックが発生している。新トンネルの TD 3,170 付近では、覆工コンクリートの表面部分が、激しく劣化している。	旧トンネルの TD 300 付近では、ロックボルトを施工する。 新トンネルの TD 3,170 付近では、劣化コンクリートを削除し、樹脂モルタルと FRP 板の内張りを行う。	トンネルの安全性を向上する。 トンネルの延命を図れる。
旧トンネルのサイフォン部は、1963 年と 1996 年に斜面地滑り及び地盤沈下により、サイフォンパイプが損傷し、送水が出来なくなった。水が溢れ出し、被害を蒙った。	サイフォンパイプの上流と下流にゲートを設置し、不使用の 3 本のサイフォンパイプは常時、抜水を行う。使用中のサイフォンパイプに万一事故が生じて、ゲート操作により、不使用のサイフォンパイプを通して送水を行う。	サイフォンパイプに事故が生じて、被害を軽減できる。 サイフォンパイプに事故が生じて、送水することが出来る。
覆工コンクリートに、ひび割れや剥離・剥落が生じている。	幅 0.2 mm 以上のひび割れ部分に樹脂を注入する。 剥離・剥落部分はポリマーセメントにより、修復する。	放置しておけば、鉄筋の腐食や、コンクリートの劣化が更に進行する。本改修により、トンネルの延命を図れる。
シリア国にはトンネル構造物が少なく、トンネル点検・診断・補修の技術が蓄積されていない。	ソフトコンポーネントにより、技術の移転を行う。マニュアルを整備し、コンサルタントの指導のもとに、点検や補修の研修を行う。	外国コンサルタントに依存していたが、自前で行えるようになる。
新ワリ地下貯水池の底版・側壁にひび割れが発生している。ガラス片を底版・側壁に貼り付けた処、3 年後に底版に貼り付けたガラス片が割れた。	貯水池空洞に観測機器を設置し、内空変位とコンクリート・鉄筋の歪を計測する。計測値を用い、空洞解析を行う。変位・歪のアラーム値を設定し、取りうる対策の指針を作成する。	新ワリ地下貯水池の安全性が確認できる。DAWSSA は数年間に渡り計測を継続し、変位・歪の変化の進行性を把握することにより対策の要否の判定が可能となる。

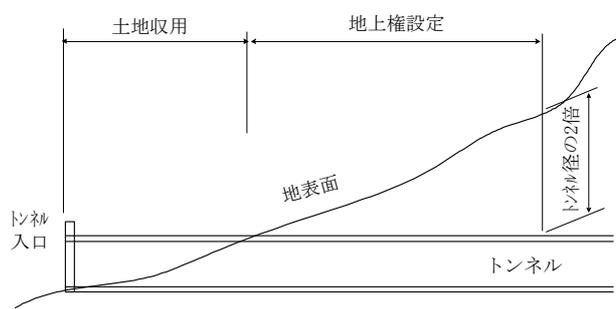
## 2) 間接効果

旧トンネルの漏水量を削減することにより、料金収入が約 33 百万円/年増加し、経営改善に寄与する。トンネルの改修工事が遅れるほど、劣化は進行し将来の事業費は増加する。本事業により改修を行うことにより、将来の大きな投資額を軽減できる。

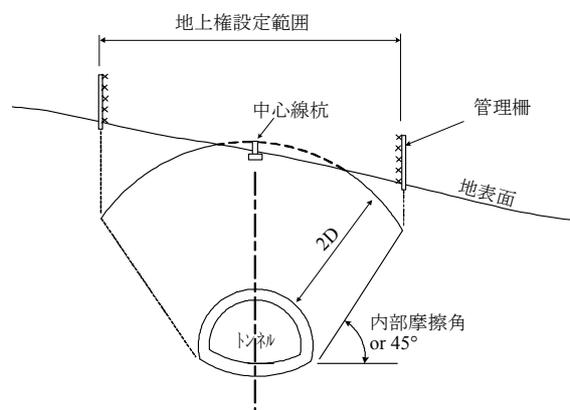
## 4.2 課題・提言

プロジェクト実施及び実施後の課題・提言は以下のとおりである。

- a) 供用中の送水トンネルであるため、トンネル工事によってサービスの低下を招かぬように、DAWSSA・施工業者・コンサルタントは毎日の工程を確認する。工事によって水質に影響を与えぬように、細心の注意を払う。
- b) 新トンネルは山奥深くに位置しているので、土被り厚が十分であり問題とはならないが、旧トンネルはバラダ川沿いに位置しており、土被り厚が不十分な箇所が多い。旧トンネルの入口から 3 km 区間は、土被り厚が不十分のため、構造クラック・コンクリートの剥離・樹根の混入がみられ、漏水率も大きい。土被りがトンネル高さの 2 倍以下 ( $3.6\text{ m} = 1.8 \times 2$ ) の箇所は、地表に旧トンネル線形上に中心線を新規に設置し、中心線から右図に示す範囲にフェンスを DAWSSA が設置すべきである。法規が整備されれば、DAWSSA は地主と交渉の上、補償金を支払うと共に地上権を設定すべきである。土被りが少ない箇所に家屋が建設されている場合、増築・改築する際には現状以上の荷重とならぬように、許可制とすべきである。
- c) 旧トンネル入口から 977.5 m の地点に地上に湧き水があり、それを直径 10 cm 程度の鉄パイプにてトンネル内に自由落下させている。流量は約 1.0 l/s で無消毒である。飲料水の安全確保のため、鉄パイプを閉塞しトンネル内への導水を止めるべきである。
- d) 旧トンネル入口から 9,206 m の地点に、住民が窄孔したと思われる直径 40 cm 程度の穴が地表からトンネルに貫入している。飲料水の安全確保のため、穴を閉塞すべきである。
- e) 旧トンネルサイフォン部の上流と下流にはゲートが新設され、旧サイフォンパイプ 3 本は常時排水する。新サイフォンパイプに万一の事故が発生した時に、新設ゲートを開けて、旧サイフォンパイプ 3 本を使用して下流に送水する。その間、新サイフォンパイプを修理する。



縦断面図



横断面図

- f) 旧トンネル出口から 400 m 区間は、トンネル上に道路が建設され、新興ビルが接近している。現在、トンネルへの損傷は見られないが、今後増大する交通荷重により損傷が考えられるので、定期的に慎重な点検が必要である。
- g) 作成されるトンネル点検・診断マニュアルに従い、トンネル点検は継続する。旧トンネルは地表踏査も必要である（マニュアルに記述される）。
- h) 新トンネルには遊離石灰の浸出が多く見られる。遊離石灰が成長したら、遊離石灰を摘出する（マニュアルに記述される）。
- i) 設置される新ワリ地下貯水池の変位計測は、設置後少なくとも 4-5 年は継続される。

### 4.3 プロジェクトの妥当性

水道料金は下表のとおりである。

	水道料金 (2001 年 1 月) (シアポント/m <sup>3</sup> )	下水道料金 (%)	備考
家庭用水	1-20 m <sup>3</sup> /月	3.00	530 シアポントが上限
	21-30 m <sup>3</sup> /月	4.50	
	31-60 m <sup>3</sup> /月	13.50	
	61 m <sup>3</sup> /月以上	19.00	
工業・商業用水	22.00	40 %	上限なし
公共用水	8.50	55 %	

各年の水道料金歳入費、供給水量、及び無収水率から、下表に水道料金の平均単価を算出する。

	2000	2003	2004	平均
歳入(百万SP)	332.84	448.06	429.57	403.49
供給量(百万m <sup>3</sup> )	191.18	230.01	201.71	207.63
無収水率	56%	48%	47%	50%
料金供給量(百万m <sup>3</sup> )	84.12	119.61	106.91	103.12
水単価(SP/m <sup>3</sup> )	3.96	3.75	4.02	3.91

平均水道単価を 3.91 シアポント/m<sup>3</sup> とすると、旧トンネルの漏水防止による年間の財務便益は 12.55 百万シアポント/年 (= 3.21 百万 m<sup>3</sup>・3.91 シアポント/m<sup>3</sup>) (= 25.30 百万円/年) と算定される。全プロジェクト費用 402 百万円を用いると、財務内部収益率は 4.9 % と計算される。漏水防止に係わる費用は 241 百万円であり、これをプロジェクト費用とすれば、財務内部収益率は 10.2 % と計算される。

給水の経済便益は、裨益者の支払い意思額より通常算定される。世銀・アジ銀等によれば、所得の 2-3 % を給水プロジェクトの経済便益として良い、とされている。2000 年のシリア国の年間所得は 940 US\$ (= 49,350 シアポント) と世銀が推定している。1 戸当たり 5 人の家族とすれば、1 戸当たりの年間水消費量は、188.0 m<sup>3</sup>/年 (= 0.103 m<sup>3</sup>/月・5 人・365 日) となり、経済的支払い意思額は 1,480 シアポント (所得の 3 %) と推定される。経済水単価は、7.87 シアポント/m<sup>3</sup>

リットル/ m<sup>3</sup> (= 1,480/ 188) となり、プロジェクト経済便益は 25.27 百万リットル (= 3.21 百万 m<sup>3</sup> ・ 7.87 リットル/ m<sup>3</sup>) (= 52.81 百万円) と算定される。全プロジェクト費用を用いた、経済内部収益率は 12.7 % と計算される。

プロジェクトは過度に収益性が高くなく、日本の無償資金協力を適している。

プロジェクトの裨益対象は、DAWSSA が水供給を行っているダマスカス市内の住民とその周辺の住民、合計 277 万人である。裨益対象は貧困層を含む一般国民で、その数もかなり多数である。ダマスカス市は水資源に乏しいため、上位計画として水の漏水防止計画・新規水源開発計画と合致している。

トンネルは供用期間が長く老朽化が進行しているため、早急に修復し延命を図る必要がある。改修は手遅れとなると、工事規模が大きくなり高度な技術も必要とする。早期に実施するのが経済的である。本計画により、住民は安全に、水供給を受けることができる。

本プロジェクトはトンネル内の工事であるため、環境に与える影響がない。

#### 4.4 結論

本プロジェクトは、定量化できる便益と、安全・延命と言った定量化できない多くの効果が期待できる。裨益者 277 万人の Basic Human Needs (BHN) の向上に寄与することから、日本の無償資金協力を実施することの妥当性が確認される。本プロジェクトの運営・維持管理について、相手国側は十分な体制をとっており、問題ないと言える。