

スイスアルプス南北縦貫ゴッタルトベーストンネルの概要紹介

1. はじめに

欧州の鉄道交通網の要衝であるスイスでは、過去数十年間わたり、ゴッタルト、レッチベルグ、およびシンプロントンネル等スイスアルプスを貫通する長大トンネルにより南北の主要交通が確保されてきたが、近年、欧州では高速鉄道網が順次整備されつつあり、その一環としてゴッタルトベーストンネルも 2011 年の供用開始を目指して、現在、工事が最盛期を迎えている。このトンネルは、総延長約 57km の世界最長トンネルとなり、現在のゴッタルトトンネルの下をより直線的に結ぶ、最大土被り約 2,000m の長大トンネル計画で、1996 年にアクセストンネルの施工が開始されたものである。

本紹介では、この世紀のビッグプロジェクトの概要を説明するものであり、以下に建設着手に至るまでの経緯と表-1 には概略スケジュールを示す。

- 1962 スイス連邦政府内のゴッタルトトンネル研究グループが、ゴッタルトベーストンネルプロジェクトを開発
- 1971 運輸エネルギー省のアルプス鉄道トンネル委員会が、2つの単線トンネルとすべきであるという報告書を発行
- 1993 調査プログラムを開始
- 1995 トンネル内に2つの多機能ステーションと交差軌道および約 180 の連絡坑道を持つ、2つの単軌道トンネルとすることに決定
- 1996.04 Sedrun のアクセストンネル施工開始
- 1998.08 Sedrun の 800m 立坑の施工開始
- 1998.11 建設および財務計画に関する国民投票 → 賛成多数

表-1 ゴッタルトベーストンネルの概略スケジュール

	1995				2000				2005				2010			
計画	[Gantt chart bars for Planning phase]															
入札	[Gantt chart bars for Tendering phase]															
建設	[Gantt chart bars for Construction phase]															
鉄道インフラ	[Gantt chart bars for Railway Infrastructure phase]															
操業	[Gantt chart bars for Operation phase]															

2. トンネルのレイアウト、標高、および構造

図-1 および 2 に示すように、ゴッタルトベーストンネルは北 Erstfeld～南 Bodio までの総延長 57km 規模、最大土被り約 2,000m で、完成時世界最長のトンネルとなる（青函トンネルは 53.9 km、ユーロトンネルは 50km）。そのルートを選定は地質、環境、景観を考慮して決定されたが、坑口位置は地域住民の問題など政治的な因子が大きく影響している。ルート選定は、列車の設計速度、容量ともに従来の 2 倍

(160km/h、4,000t) の鉄道輸送を可能とするため、可能な限り直線でフラットなラインが計画されている（設計最高速度は 250km/h）。

図-1 トンネル計画位置

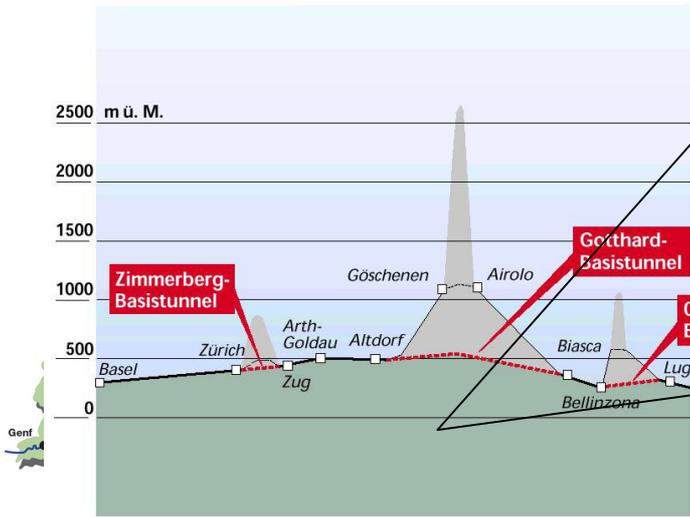
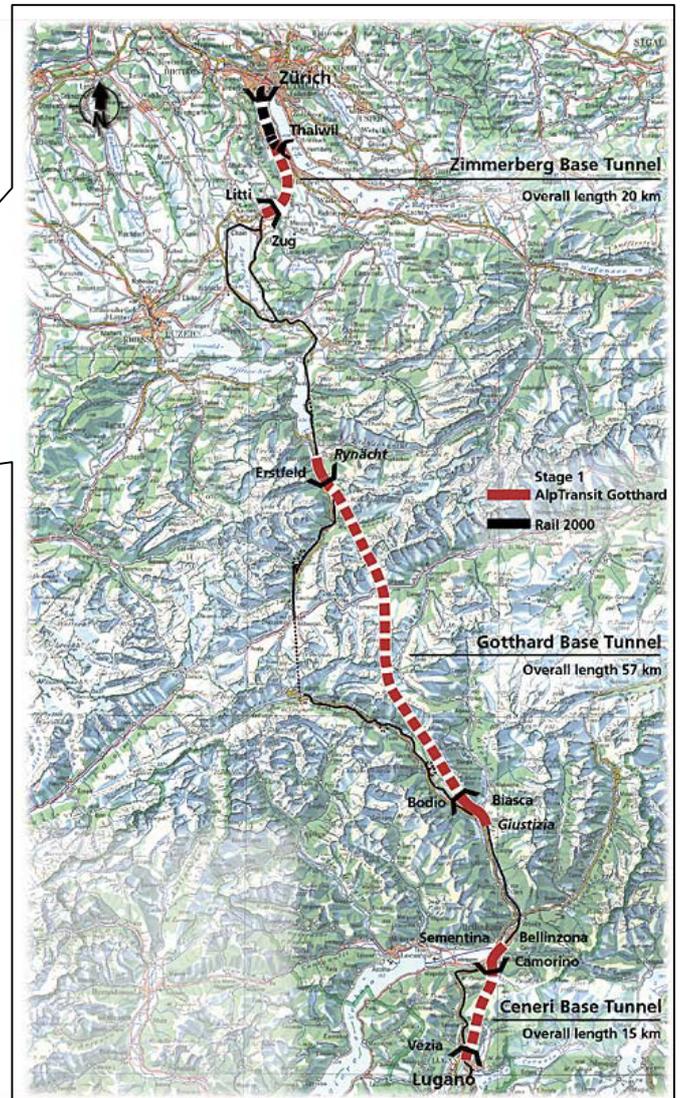


図-2 トンネルの標高（海拔）



トンネルの構造としては、図-3に示すように、2本の主トンネル（径9m、長さ57km）、3本の間中部アクセストンネル（Sedrunは立坑）、2つの多機能ステーションと交差トンネルおよび170以上の連絡坑道（325m間隔、長さ約40m）からなる。図-4は主トンネルの標準断面であり、連絡坑道で連結されている。

図-5に示す緊急停止ステーションは災害時の避難場所としても使用され、火災時の安全な脱出経路を確保するため空気圧は高めに設定されている。当初、連絡坑道は約600m間隔で設置される計画であったが、シンプロントンネルなどの火災事故の教訓から間隔が約325mに狭められた。

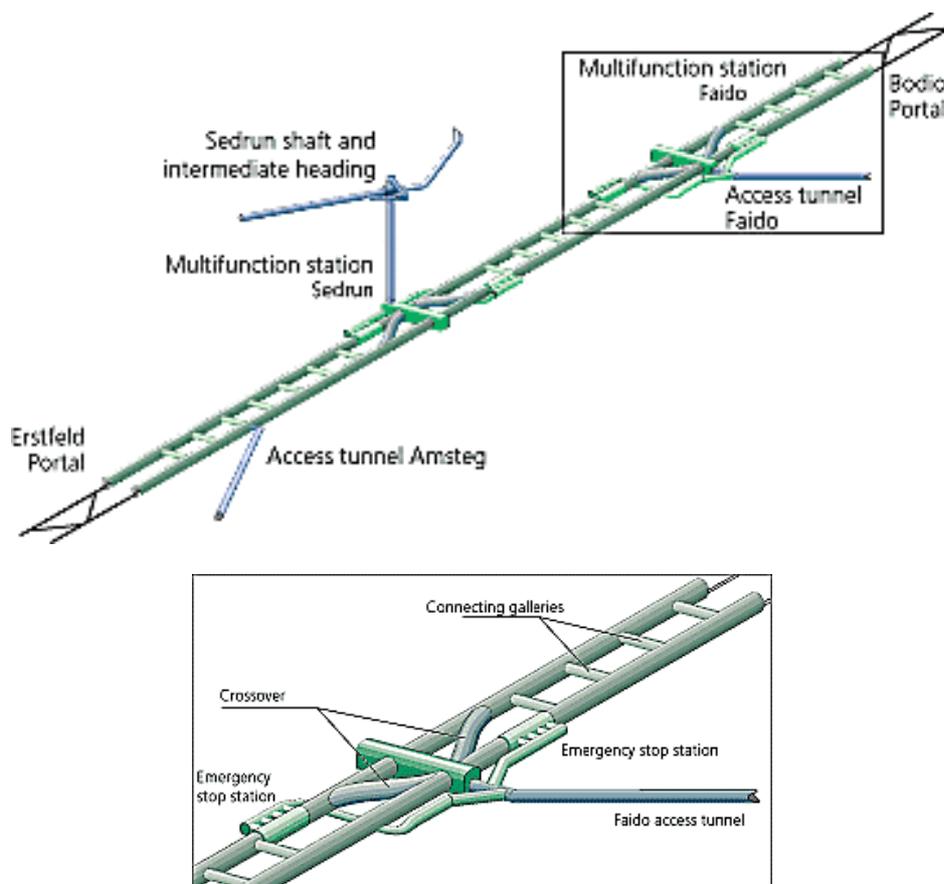


図-3 トンネル全体の構造とシステム

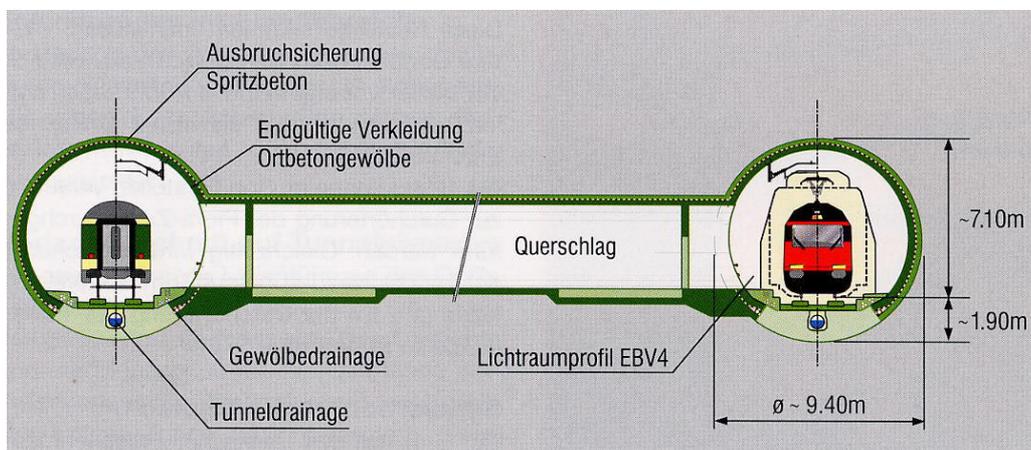


図-4 主トンネルの標準断面

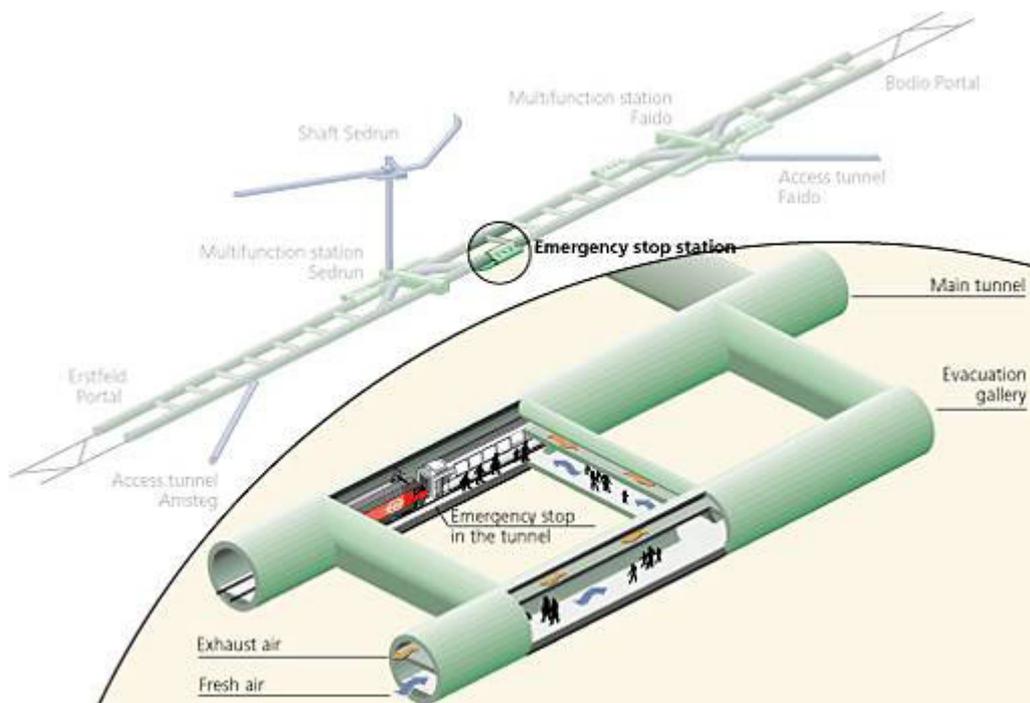


図-5 緊急停止ステーションと安全システム

図-6 に示すように、不透水層および排水パイプを設置してトンネル内に漏水しないシステムとしている。また、高速列車の通行を可能とするため、最小厚さ 30cm の場所打ち鉄筋コンクリートベースを構造体として利用している。

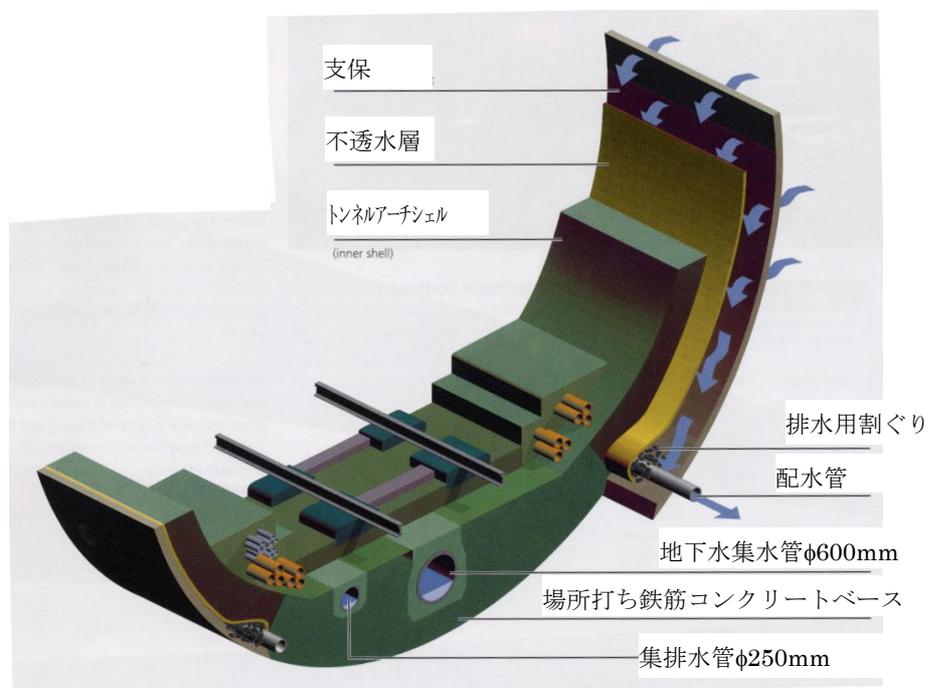


図-6 トンネル支保、排水システム、構造体（模式図）

3. 地質概要

図-7および8が主たる地質縦断図であり、数千万年前に形成が完了したスイスアルプスのAar山塊とSt.Gotthard山塊がメインであり、これらは主として花崗岩と片麻岩から成る。両山塊の間の堆積層は圧縮され破碎されている。トンネルは、高強度のSt.Gotthard山塊、高圧縮された南部Levantinaの片麻岩、軟弱なTavetsch山塊など、異なる幾層もの岩盤を通過する。

周辺の露頭岩盤や発電所の調査および全部で10本以上の斜ボーリングにより地質調査が行われた。特に、起源や特性が不明なPionaゾーンは調査孔からのボーリングにより詳細に特性調査が行われた。なお、Tavetsch山塊は軟弱なためTBM掘削は不可能と見られている。

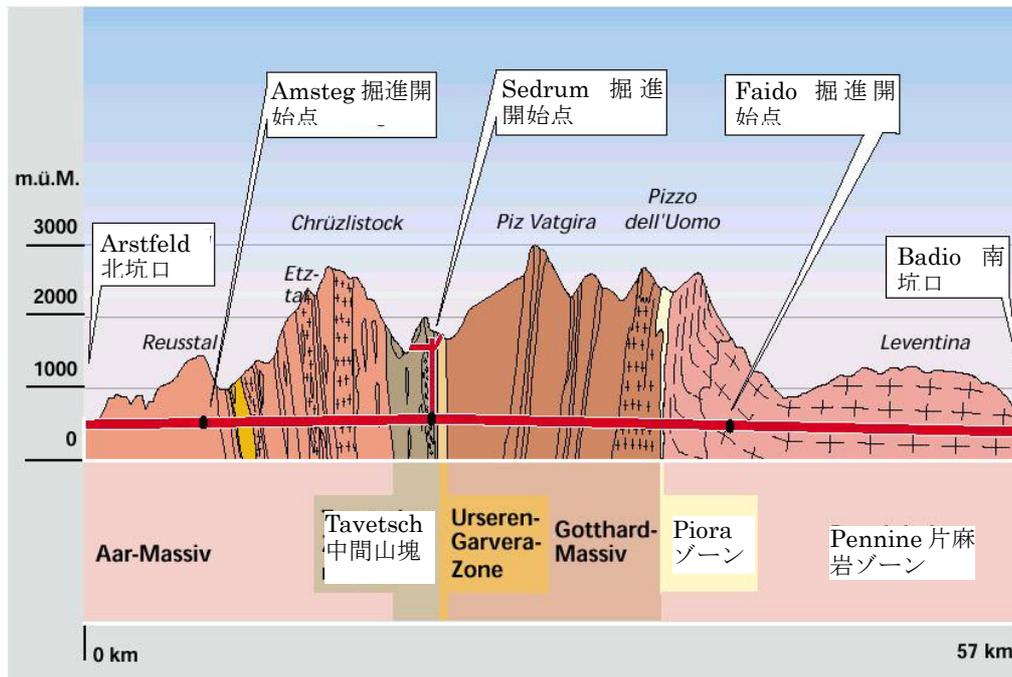


図-7 ゴットルトベーストンネルの地質縦断図

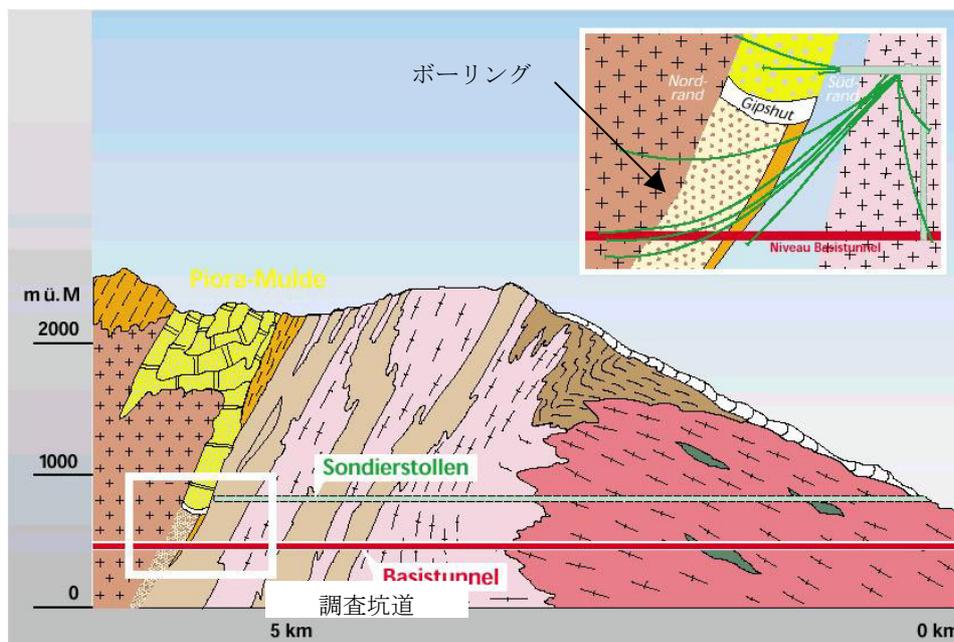


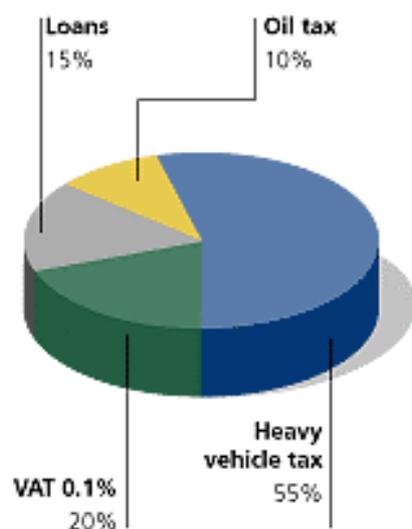
図-8 地質的に鍵となったPionaゾーンとそのボーリング調査

4. 財源とコスト

図-9に示すように、財源確保としては、重量税、油税、付加価値税および借入金が原資となっており、Rail2000 プロジェクト（スイス新鉄道網建設）を含めた総額は 300 億 SFr（2 兆 4000 億円）で、上記を原資として約 20 年間の投資となる。そのうち、ゴットルトベーストンネルの総建設費は 70 億 SFr（5600 億円）である。

The origin of the financial resources

Total approx. 30 billion francs



Use of the financial resources

Total approx. 30 billion francs

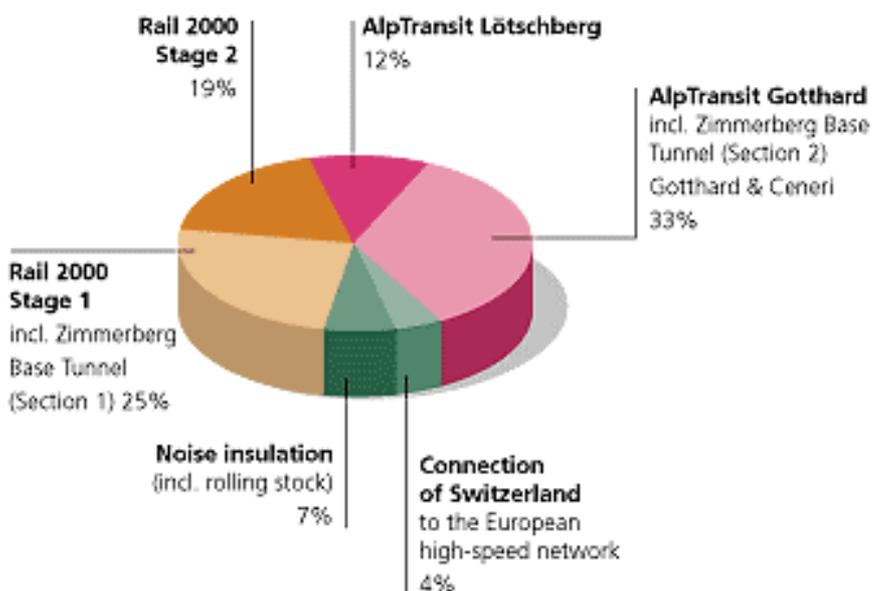


図-9 ゴットルトベーストンネルの財源とコストの内訳

5. 建設スケジュール

図-10に示す通り、途中3カ所にアクセストンネルが既に掘られ、本トンネル掘削のための TBM 4 機が導入されている。

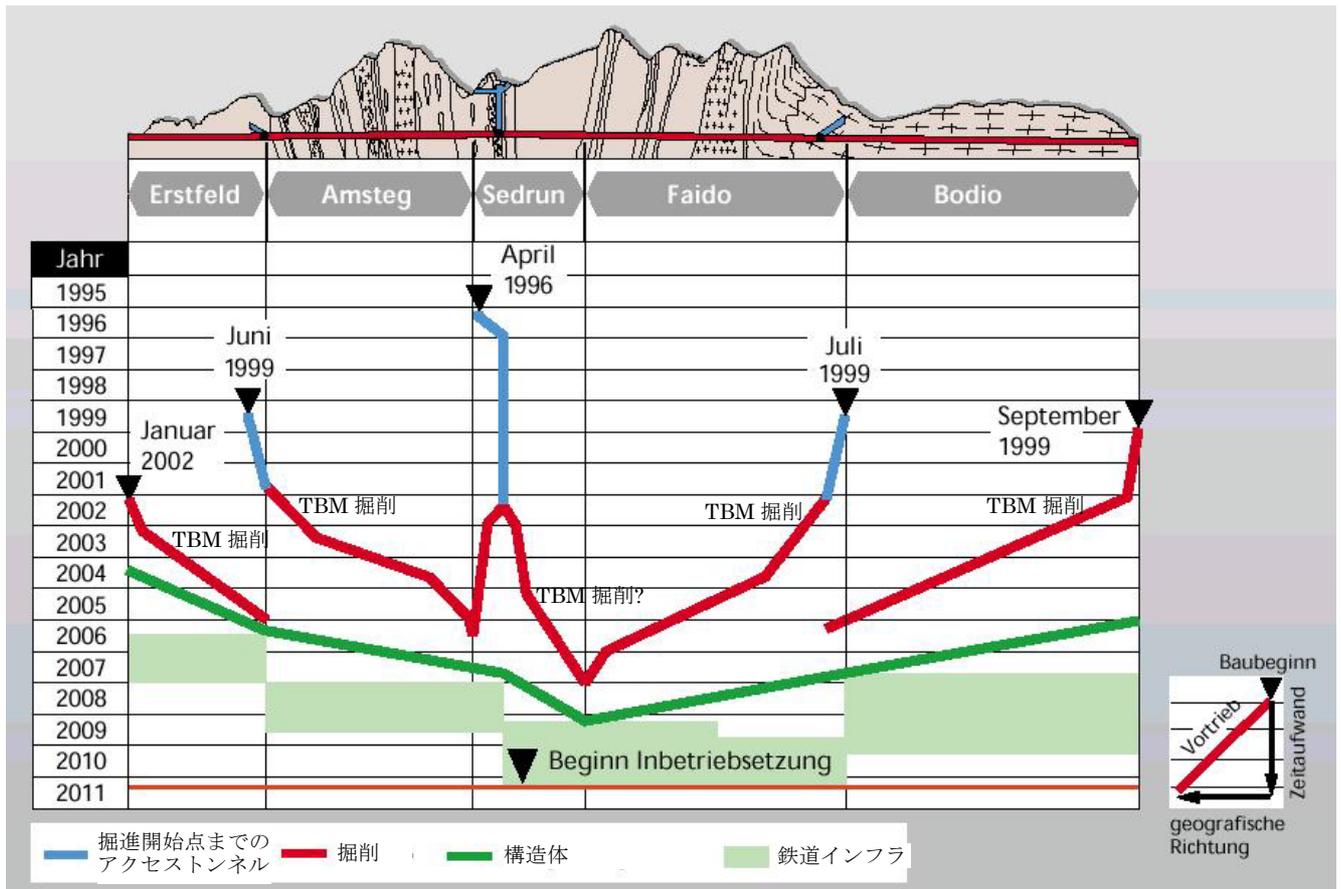
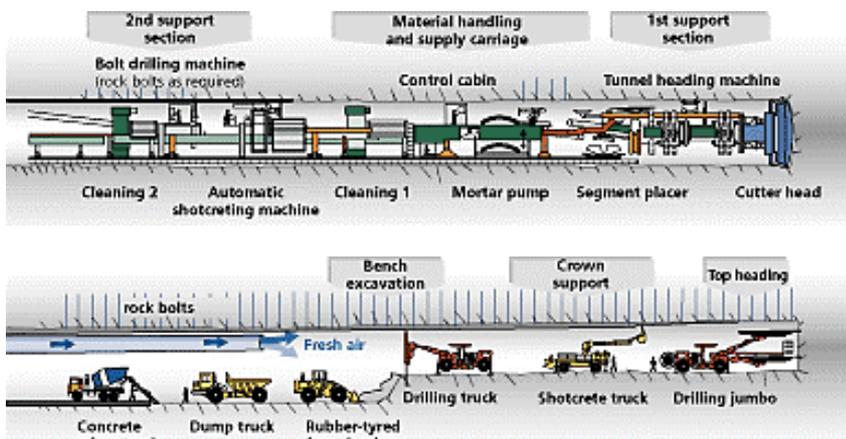


図-10 トンネル縦断と建設スケジュール

6. 施工と安全

TBM 掘削が主であるが、アクセストンネル、交差部および軟弱層は発破掘削が採用されている（図-11参照）。なお、TBM 掘削は最大 20m/day、発破では最大 9m/day と見積もられており、その支保はロックボルト、吹き付けコンクリート、および鋼製ライニングなど地質により選定される。



最新の TBM（高圧、掘削ヘッド交換）

最新のジャンボ（同時に 6 カ所穿孔）

図-11 TBM および発破による掘削

図-12に示すように、測量は衛星による GPS で行われており、57km 間の測量精度は 1cm 以下であ

る。800m の立坑の測量では、地球の数学的形狀と実際の形狀は楕円軌道の公転の影響を受ける。また、トンネル内の温度の違いは光波測量に影響を及ぼすため、今回これらを考慮した高精度測量システムが開発された。測量システムのコンピュータモデルによる計算では、トンネル貫通時の誤差は 20cm 以下と見積もられている。

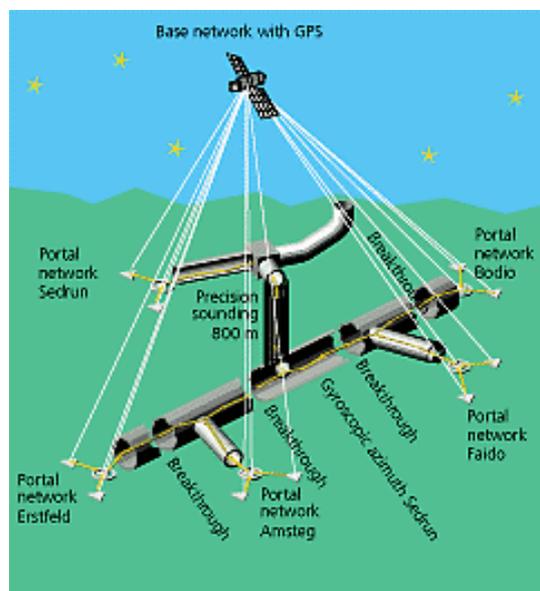


図-12 GPSによるトンネル測量システム

施工安全としては、120年前のゴットアルトトンネル建設時には、岩盤崩落、湧水だけでなく、後にケイ肺症等で多くの作業員の犠牲を出した。近年は構造的、技術的、組織的な面から安全対策が格段に改善されてきているので、今回のベーストンネルに係る安全上の重要課題は換気とクーリングとなっている。ベーストンネルはアルプス上部から 2000m の深部に建設されるので、岩盤温度がトンネル中央部で 45°C となることが特徴で、さらに重機等からの熱のためにより高温となる。労働環境の観点から施工時のトンネル内温度は 28°C 以下と定められているため、水冷クーリングパイプシステムを導入して 28°C 以下に維持する計画となっている。

掘削土砂の総重量は 2,400 万トン (1,330 万 m³) である。このうち TBM 掘削土をコンクリートの粗骨材として有効活用するための研究が、研究機関とコンクリート製造メーカーによって 4 年間実施され、TBM 掘削土を用いて高品質コンクリートを製造できるメドがたった。そこで、骨材製造プラントを 4 地点 (Amsteg, Sedrun, Faido, Bodio) に作り総量 500 万トンの骨材を製造することになっている。

Aar 山塊と St.Gotthard 山塊でのトンネル内への湧水量は 5 ~ 10 l/sec/km と推定されている。実際に、Amsteg のアクセストンネルからの湧水量は約 7 l/sec/km である。亀裂ゾーンでは数百 l/sec/km と推定されている。

7. おわりに

スイスで建設中のゴットアルトベーストンネルは世界でも有数のビッグプロジェクトであり、その工事は現在最盛期を迎えている。この仕事が現在の岩盤力学を代表するプロジェクトであるとともに、欧州では EU の連携強化に不可欠な高速鉄道網の重要なマイルストーンとなるものであるため、ここでは、多くの情報が既にわが国でも紹介されているが、敢えて掲載させて頂いた。

8. 引用資料

Alptransit Gotthard AG : The New Railway St. Gotthard- The Project, The Vision, The Construction

Alptransit Gotthard AG Home Page : <http://www.alptransit.ch/e/01/index.htm>

