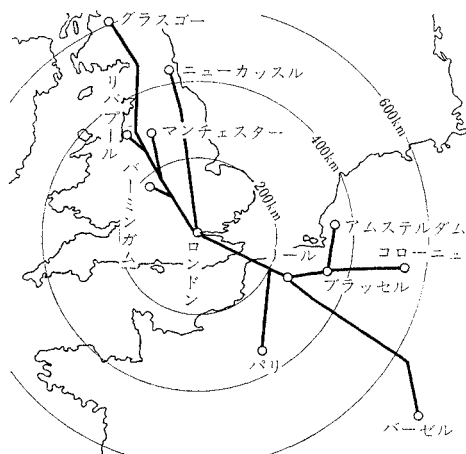


# ドーバー海峡トンネルの概要

今 村 一 郎\*  
大 迫 哲\*\*

## 1. ま え が き

イギリスとヨーロッパ諸国間の旅客および貨物の流通量は莫大な量にのぼるが、現在の交通手段は船舶および



図一1 ドーバートンネル位置図

航空機に依存している。今後増大する交通量をさばき、より安定した交通手段を確保するためドーバー海峡に海底トンネルを掘る計画があったが、1973年11月英仏両政府は、英仏海峡トンネルに関する協定に調印し、この計画を実施に移すことになった。一方、わが国では、すでに津軽海峡で青函トンネル工事が最盛期を迎えようとしている。そこで、この機会に青函トンネルとの比較をしながらドーバー海峡トンネルの概要について報告する。

## 2. 経 緯

ドーバー海峡を越えてイギリスとフランスとを直接結

\* 正会員 日本鉄道建設公団青函建設局吉岡鉄道建設所副所長

\*\* 正会員 日本鉄道建設公団海峡線部海峡線第二課

ぼうとする計画は、1802年に技師 Mathiu が海底道路トンネル計画をナポレオンに提出したときに始まる。それ以来、海底トンネル、沈埋トンネル、橋梁、複式防波堤による運河等、種々の案が考えられてきた。この中で最も可能性の強いものとして、詳細に検討されてきたのが海底トンネルであり、Thome de Gamond と John Hawkshaw 卿が提出したものが、具体的なトンネル案の第一号と考えられている。この案も今日から見ると十分なものではないが、これに刺激されて1872年に海峡トンネル会社 (Channel Tunnel Company) が、1875年には英仏間海底鉄道会社 (Association du Chemin de Fer Sour-Marine entre la France et l'Angleterre) が設立された。これが現在の海底鉄道会社 (Société Concessionnaire du Chemin de Fer Sous-Marin) の前身である。この両者によって系統だった調査が進められることとなり、試掘坑の掘削も行われた。しかし、政治的・軍事的な理由でこの計画は大きな進展は見るに至らなかった。

1959年になってフランス、イギリス、アメリカ合衆国の企業財団による英仏海峡研究委員会の設立をみ、橋梁、トンネル、両者折中案と具体的な比較検討が行われ最終的に鉄道単線トンネル並列という、現在とほぼ同じ結論に達した。1964年2月6日、英仏両政府は英仏海峡トンネル建設の決定を共同声明で明らかにし、1873年11月にロンドンで英仏海峡トンネル協定に調印した。ここに2世紀に及ぶ夢の実現の第一歩が踏み出されることになる。

## 3. 地質調査

ドーバー海峡付近の地質調査はかなり古くから行われていた。1875年に Potier, Larousse および Lapparent が約8000個の試料を採取して沖積層地帯以外の露頭図を作成し、1880～1883年にはシェスペール クリフおよびサンガットの立坑およびパイロットトンネルの試掘が

行われ、約1800m間にわたって現地の地質状況が把握された。さらに、1958~1959年に陸上および海上において地質調査、物理探査を行い、地質構造の全般的な状態の把握に努めた。この結果、下部白亜系が海峡内で連続し、トンネル掘削に十分な厚みを有しており、技術的にはトンネル掘削が可能であるとの一応の結論を得た。1964~1966年にかけて、それまでの調査結果を確認し、最上のルート選定を目的として、さらに詳細な調査が実施された。調査の主な目的は次の2点である。

① ドーバーとカレー間の下部白亜系の連続状態および厚みに関する調査結果の確認。

② 下部白亜層内のトンネル最適ルートの決定。

主な調査項目は、物理探査、海上ボーリング、陸上ボーリング、海底の試料採取、電気検層、密度検層、音響測深、透水試験、ボーリング孔壁のテレビ観察などである。海上ボーリングはボーリング船2隻で始められたが作業は天候に左右され、ボーリング途中でガイドパイプ折損事故もしばしば起り、作業能率向上のためプラットフォーム（固定式海上作業台）が導入された。プラットフォームは2台使用され、最終的にはボーリング船で44点、プラットフォームで25点の計69点、6000m以上のコアを採取した。

以上の調査より次の結論が得られた。

① 海底部には下部白亜層が連続しており、層厚はイギリス側で80m、フランス側で60m、最小厚は50mである。

② 若干の断層はあるが下部白亜層は安定しており、平均一軸圧縮強度はイギリス側73kg/cm<sup>2</sup>、フランス側107kg/cm<sup>2</sup>、最小45kg/cm<sup>2</sup>である。

③ 透水係数は小さい。軽度の破砕帯であっても、サーピストンネルの径を4mとして掘削すると、1kmあたり75l/sec程度の湧水が予測される。仮に大きな透水係数の地層があるにしても、止水グラウトで十分対処可能である。

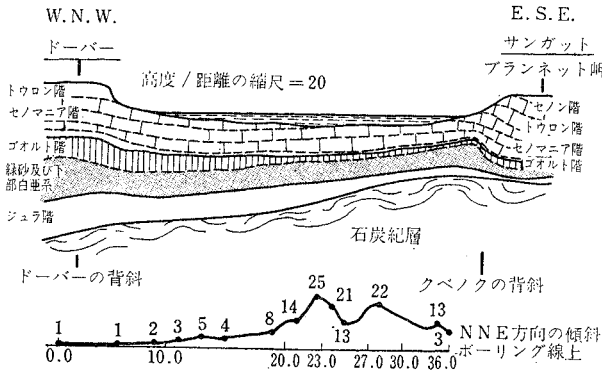


図-2 ドーバー海峡地質図

表-1 ドーバートンネルおよび青函トンネル地質比較

種別	ドーバートンネル	青函トンネル
地質	白亜層	新第3紀の火山岩、堆積岩、
岩種	チョーク(細粒石灰岩)	安山岩、凝灰岩、シルト岩、
断層	ほとんどなし	海底部に顕著なものだけで9本
湧水	少	安山岩地帯大
一軸圧縮強度	チョーク(45~100kg)	安山岩 (550~1400 kg/cm <sup>2</sup> ) 凝灰岩 (90~500 kg/cm <sup>2</sup> ) シルト岩 (30~50 kg/cm <sup>2</sup> ) (黒松内層)

#### 4. 交通量予測および輸送方式

トンネル区間の輸送対象は、旅行者、貨物、自動車などである。現在イギリスからヨーロッパへの鉄道旅行者は、チャンネル港で列車から船に乗り換え、海峡横断後さらに列車による旅行を続けている。

1970年のドーバー海峡横断の輸送量は表-2のとおりである。この中で、自動車所持旅客の75%、一般旅客

表-2 1970年のドーバー海峡交通量(年・片道)

種別	交通量
運搬車両(90%が乗用自動車)	1400(千台)
一般旅客	4700(千人)
自動車所持旅客	3900(千人)
航空機利用客	12600(千人)

表-3 交通量予測(年・片道)

種別	ドーバー海峡間		青函間	
	1980年	1990年	1980年	1990年
運搬車両(千台)	2400	5200		
一般旅客(千人)	9300	15000	5000	10600
自動車所持旅客(千人)	6500	14500		
貨物(千t)	3300	7500	8000	17000
人口(千人)	イギリス 55000 EC8か国 190000(1969年)		北海道 5200 本州 81000(1970年)	

注: ドーバー海峡間の数値は1973年6月発表のものであり、自動車台数は自動車保持旅客数から換算した値である。

の65%は6~9月の4か月間に集中している。1980年および1990年における交通量の予測は現在作業中であり結論は得られていないが、およそ表-3のとおりと考えられている。

現在、ロンドン〜パリ間は約7時間を要している。トンネルが完成するとこれが3時間40分に、さらに将来超高速列車(TGV・時速300km)の運転により2時間40分に短縮される。列車はパリだけでなくヨーロッパの各都市、例えば、ニース、ミラノ、インターラーケン、インスブルックなどへも直通運転される。列車編成は1,2等寝台を含む13両編成で、各目的地へ日中は30分間隔で運転される。

自動車輸送列車は日中 30 分間隔、夜間は 1 時間間隔で運転される予定であるが、必要に応じて増発され、1 時間 12 列車以上、最大片道 4 500 台/h の自動車輸送が可能である。この列車のトンネル区間の所要時間は約 35 分であるが、料金支払、税関手続、自動車積卸しの時間などを含めると、乗用車で約 1 時間、貨物自動車約 2 時間程度が必要であろうと考えられている。

ヨーロッパ各都市と直通運転を実施するには、解決すべき問題がある。その一つは、イギリスとヨーロッパにおける鉄道の標準規格の違いである。これはイギリスの規格をヨーロッパに合わせて大きくすることで解決されるであろう。もう一つの問題は、トンネル開業時までにヨーロッパ各国の鉄道経営者から直通運転に対する同意を得られるかどうかである。

以上の問題解決のためには特別な協定が必要であり、さらに関税手続の簡略化などの協定も必要であろう。

## 5. ドーバートンネルの計画

### (1) 線路選定

ドーバー海峡は幅約 35 km の侵食水路であり、中央部の水深は約 60 m である。計画されたルートは、イギリスのフォークストーンとフランスのカレーを結ぶ、全長 51.813 km の区間となっている。

現段階では、トンネル内の空気抵抗、その他の問題もあり計画列車速度は 160 km/h が考えられているが、将来は 250 km/h 運転も可能な線形となっている。勾配は海底下 50~100 m 間は約 10% とし、中央部は排水を考慮して 1% の勾配で西側に下がっている。サービストンネルの最低部には、ポンプ室を設備して湧水処理を行う。トンネル区間の最小曲線半径 4 000 m、最急勾配は

下り区間のブレーキ距離と信号間隔から 10.05% に制限されている。最大水深は 60 m、最小土かぶり約 40 m、最深部は海面下 108 m である。

### (2) トンネル断面

断面形状は、水圧に耐えるように円形で設計されており、内径 4.5 m のサービストンネル 1 本、6.85 m の単線トンネル 2 本の計 3 本からなっている。本トンネルの中心間隔は 30 m、サービストンネルはその中央に位置し、本トンネルの湧水処理を考え、断面中心で 1.48 m 下に掘削される。サービストンネルと本トンネルは、250 m ごとに内径約 5 m の連絡坑で結ばれる。本坑間も 10~15 km ごとに連絡坑が設けられ、保守時、緊急時には単線運転が可能であるように計画されている。青函トンネルでは、主に経済上の理由から複線断面と決定されたが、ドーバートンネルでは、工費的に 20% も大きい単線並列を採用している。これは、次のような利点によるものである。

① 全断面掘削機を用いて施工するので、小さい断面が有利である。

② 工事中に事故等で片側のトンネルの施工ができなくなっても、工事が続けられる。

③ 営業開始後、脱線事故などが発生した場合でも、もう一方のトンネルを使って輸送力を確保できる。

トンネルを接近して掘削する場合には、当然相互に掘削による影響を受ける。この影響は地質によって異なるが、ドーバートンネル掘削を予定している地質は安定しており、本坑と作業坑は中心間隔で 15 m となっている。青函トンネルでは地質が悪いこと、また必要な場合には本坑の止水注入を作業坑から行いうることも考慮して、本坑および作業坑の掘削径の 2 倍の 30 m を中心間隔と決定した。

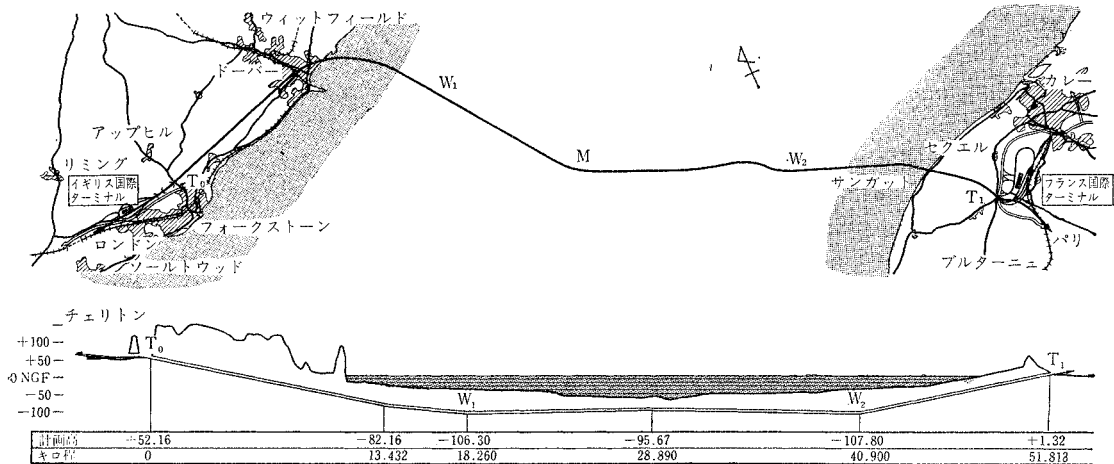
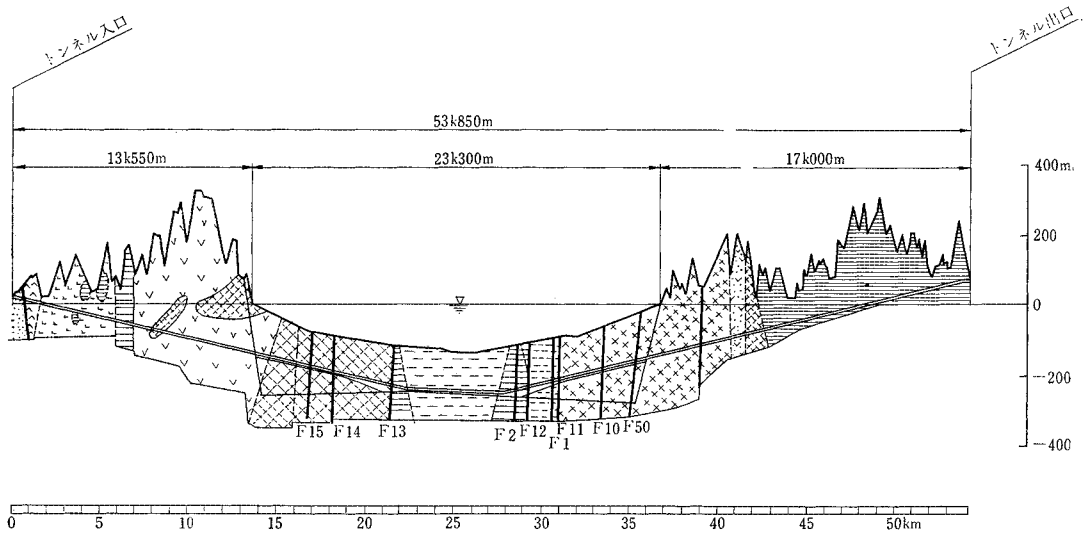
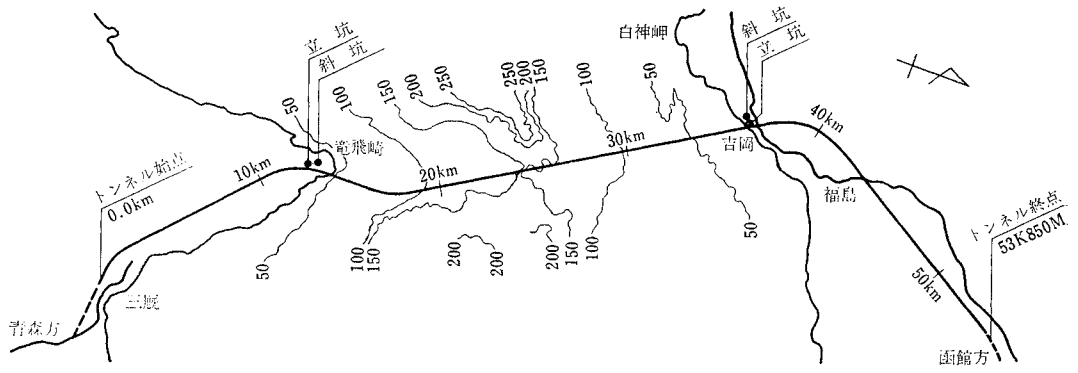


図-3 ドーバートンネル、平面(上)、縦断面図(下)



- 凡例
- |  |                |  |         |  |      |
|--|----------------|--|---------|--|------|
|  | 瀬棚層 (浪名層) 礫田層  |  | 新期安山岩類  |  | 断層   |
|  | 黒松内層 (塩越層) 今泉層 |  | 流紋岩類    |  | 地層境界 |
|  | 八雲層 (小泊層) 岩    |  | 古期安山岩類  |  |      |
|  | 八雲層岩脈の多い区域     |  | 岩脈の多い区域 |  |      |
|  | 調達層 (長根層) 硬    |  |         |  |      |
|  | 調達層岩脈の多い区域     |  |         |  |      |

図-4 青函トンネル，平面（上），縦断面図（下）

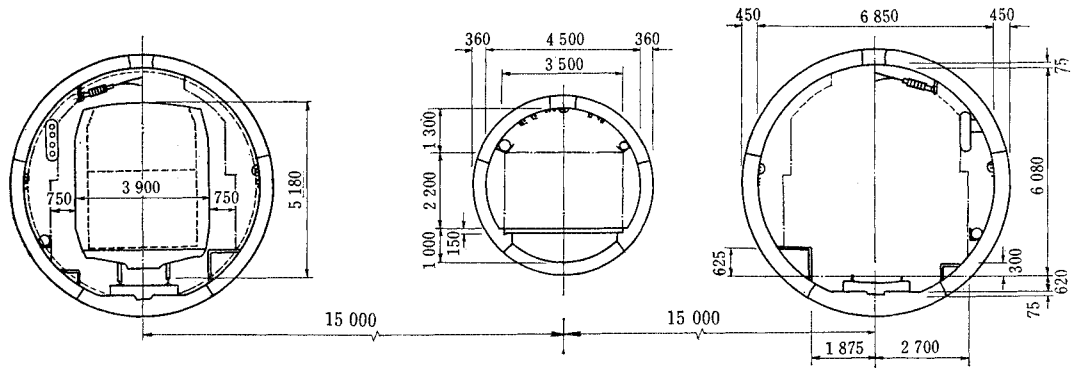


図-5 ドーバートンネル断面図



ンネル坑口付近で分岐するループ状のルートをとってホームに進入する。ループ線はホームの手前で枝状に分岐し各車両専用ホームに通じている。2階建車両用ホームは片側が高くなっており、1,2階同時に自動車の乗り降りが可能である。ターミナルは、フランスではカレー南西のフレサンの近くに、イギリスはフォークストンの北西チェリトンの坑口付近に予定されている。ここは、将来鉄道網、道路網との接点となり、国内各地に自由に行くことができるようになるはずである。

車両基地は、用地に比較的余裕のあるフランス側のターミナル付近が予定されている。両ターミナルは加えて集中管理所としての重要な機能を有し、列車の通行規制、トンネル内保安装置の管理、各種情報収集を行い、各部署への情報・指示の伝達を行うことになっている。

### (5) 保安対策

ドーバートンネルも青函トンネルも長大な海底トンネルであり、その保安には十分な考慮が払われなければならない。基本的には事故防止対策が第一であり、各種の事故防止設備、事故検知装置の検討が行われている。さらに、事故が発生した場合の旅客の救出方法も重大な問題であろう。そこでここでは、ドーバートンネルについて旅客救出の基本的な考え方を述べる。

ドーバートンネルのサービス坑は、施工上の問題などよりも、むしろ安全性の面からの必要性が高い。サービストンネルは全延長にわたって設けられ、連絡坑によって250m間隔で本トンネルと結ばれている。本トンネルで事故が発生すれば、サービストンネルを使って現場に急行し、救急活動が迅速に行われる予定である。乗客は列車から退避し、本トンネルの両側に設けられた通路をとり、最寄りの連絡坑からサービストンネルに避難する。したがって、本トンネルにもサービストンネルにも十分な照明設備が必要である。火災事故の場合に備えて連絡坑には遮煙装置も備えられる。ドーバートンネルでは、自動車輸送が行われるので、貨車自体にも十分な防火対策が必要になるであろう。

## 6. 施工計画

ドーバートンネルは、すでに述べたとおり、内径4.5mのサービストンネル、内径6.85mの単線トンネル2本の計3本からなっている。工事はイギリス、フランスの海岸に設けられる斜坑掘削から始められる。この斜坑の勾配は約11°であり、斜坑底に達したのち海底部に向けてサービストンネル、本トンネル2本の掘削を進める。陸上向けとしては、工期の関係からまずサービストンネルと本トンネル1本を掘削する。そして、最初の本

トンネルが完成した後もう1本の本トンネル掘削にかかる予定になっている。工区割は、フランス側から海底部12km、陸上部4km、残りの海底部および陸上部をイギリス側で施工する。

本坑は、サービストンネルの切羽から約8kmへだてて掘削される。サービストンネルの切羽では40mのさぐり削孔を実施し、地質状況を確認した後20mを掘削する。掘削には、サービストンネル、本トンネルとも全断面掘削機が用いられ、予定されている進行はサービストンネルで500m/月、本トンネルで750m/月である。

青函トンネルを掘削するにあたっての最も大きな技術的な問題点は、止水注入と前方地質予知のための先進ボーリング工である。これは、津軽海峡付近の地質構造が非常に複雑であり、止水注入を行わずに掘削することが不可能だからである。一方、ドーバー海峡付近の地質は比較的安定しており、特別な先進ボーリング、止水注入の必要は、現段階では考えられていない。仮に湧水があった場合でも、けい酸系の薬液を注入することで対処可能であろう。

覆工には、コンクリートセグメントが使用される。セグメントの大きさは、サービストンネルで幅1.25m、厚さ36cm、本トンネルで幅1.25m、厚さ45cmとなっており、ともに5ピースと調整用1ピースの計6ピースで構成される。

工事は第1期工事として現在施行中のサンガットの試験工事、第2期工事として1973年夏から工期約20か月で斜坑およびサービストンネルを海底部に両側から約1.5kmずつ掘削するもの(予定)、さらに1975年の夏ころまでに施工体制を確立し、第3期工事として残りの全工事を発注するもの(予定)の3つに分けることができる。全工期は約8年で、1980年7~10月ころを完成のめどとしている。工費は路盤関係、車両、ターミナル設備を含めて約3000億円とされている。

表-5 ドーバートンネルと青函トンネルの施工法比較

種別	ドーバートンネル	青函トンネル
掘削	全断面トンネル掘進機	先進導坑(トンネル掘進機、ヘッディングマシン、在来工法の組合せ) 作業坑(ヘッディングマシン、在来工法の組合せ) 本トンネル(ヘッディングマシン、在来工法の組合せ)
覆工	コンクリートセグメント	コンクリート覆工
切羽	英仏側各2か所(陸向、海向)	連絡坑より必要に応じて増加
止水注入	なし	セメント水ガラス系の注入
想定湧水量(m <sup>3</sup> /min・km)	16(破砕帯部)	2(全線平均)
先進ボーリング	切羽より40m程度のさぐり削孔	各種水平ボーリングの実施(500~1000m)

## 7. サンガット試掘トンネル

カレーから約 8 km 離れたサンガットに、1880～1883 年にかけて掘削された試掘坑がある。これを利用して、-38 m および -65 m の位置に 2 本の試験坑を掘削し、本工事に備えて各種の試験を行っている。地層はチョーク層で、-38 m の試験坑はかなりの湧水があり、H 型鋼, V 型鋼を支保工として使用している。-65 m 坑道には湧水もほとんどなく、掘削にはウエストファリア型掘削機を使用し、鋼製支保工を用いず吹付コンクリートを施工している。ここで、本坑断面程度の切上げ、土圧測定を行い、さらに、本工事に使用される予定のセグメントやコンクリート覆工の試験も実施される予定である。

## 8. むすび

以上、簡単にドーバートンネルと青函トンネルとについてその大略を述べたが、現在のところドーバートンネルについての資料も不十分であり、不備な点の多いことをおわびする。

### 参考資料

- 1) Tunnel sous la Manche, British Channel Tunnel Company LTD, Société Française du Tunnel Sous la Manche.
- 2) British Railways and the Channel Tunnel.
- 3) The Channel Tunnel.
- 4) Channel Tunnel still matting for a decision, Tunnels and Tunneling, May 1973.
- 5) 日本国有鉄道・日本鉄道建設公団共編：海峡連絡鉄道文献集 (1973. 12. 4・受付)

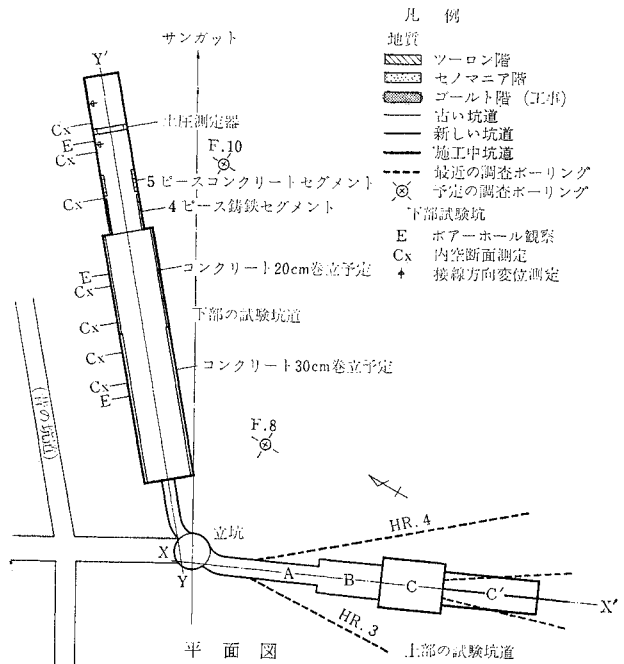
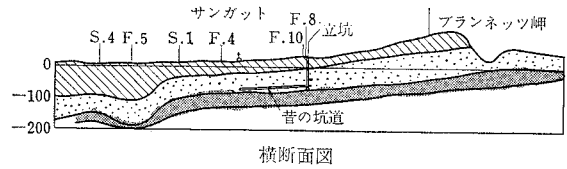


図-9 サンガット試掘トンネル, 平面, 横断面図

# ダム基礎 岩盤グラ ウチング の施工実 例集

### ●重カダム 26 件

田子倉・下久保・早明浦・石手川・江川・緑川・蘆原・菅沢・素波里・永源寺・静内・祝子・岩尾内・生野・新猪谷・油木・旭川・神浦・四十四田・仏原・下新冠・釜房・花貫・田原・永楽・和田川

### ●中空重カダム 5 件

畑雑第一・井川・高根第二・蔵王・穴内川

### ●アーチダム 19 件

黒部第四・奈川渡・高根第一・矢木沢・一ッ瀬・川俣・上椎葉・小波・新成羽川・豊平峡・矢作・水殿・裾花・青蓮寺・雨畑・高山・小貝野々・奥新冠・稻核

### ●ロックフィルダム 7 件

九頭竜・水窪・牧尾・喜撰山・石淵・大津岐・日出生

A 4 判 348 ページ 上製箱入 13000 円 (〒500)