

23. 英仏海峡トンネルシールド機と施工

三菱重工業(株)：三浦 正昭

1. ま え が き

イギリスとフランスを隔てているドーバー海峡。この約37kmの海峡にトンネルを構築して、両国を結びつける工事がいま最盛期を迎えている。初めてこの構想が現れたのは18世紀のルイ15世の時代にさかのぼる。以来イギリス・フランス両国間で幾多の計画が提案された。その中には気球で橋を吊るして保持するような実現性に乏しい案もあったが主に、両国間の軍事的思惑の不一致、物騰による経済問題等により実現には至らなかった。この構想が本格的に動きだしたのは、1981年サッチャ首相とミッテラン大統領とのトンネル建設再開合意であり、1987年には両国政府建設協定の調印が行なわれた。事業主体であるEuro tunnelは英・仏民間共同企業体で両国政府の資金援助は行なわれていない民営方式で進められている。予定では1993年5月15日に永年の夢が実現する。

完成後には、自動車・乗客を同時に運ぶシャトル列車と新幹線が走り、ロンドン〜パリ間がわずか3時間で結ばれることになる。トンネルは列車が走る上下線2本の本トンネルとその保守点検に用いられるサービストンネル1本の計3本で構成され、両国海岸辺に構築された発進基地よりそれぞれ海側・陸側に向けてシールド工法により施工されている。

このうち、フランスの陸側サービストンネルT4（シールド外径 ϕ 5,590mm、掘進距離3251m）の貫通式が1989年4月27日に盛大に挙行された。予定された工期よりも2ヶ月余り早く、しかも、最大月進836.7mという驚異的な記録も達成された。

ここではこの工事について、おもにシールド機に適用された技術的対応と掘進実績について紹介する。

2. 工 事 概 要

- ①シールド機種：E.P.B.シールド
- ②工事延長：3,251m
- ③土かぶり：最大100m、発進立坑部40m
- ④地下水圧：最大 3.5kg/cm^2 、最大土圧 5kg/cm^2

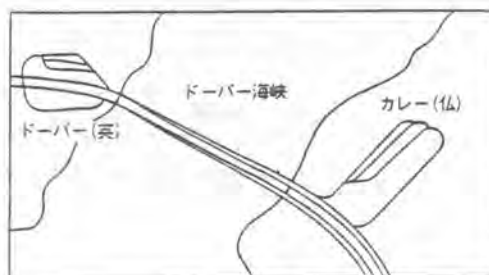


図-1 位置図

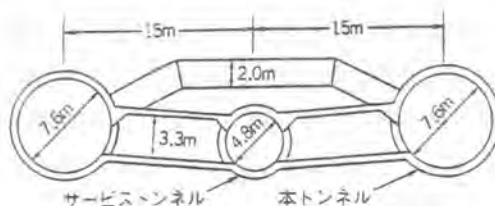


図-2 トンネル配置図

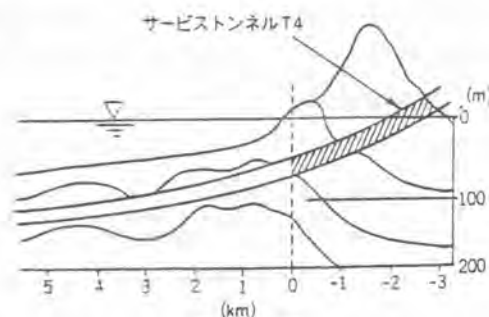


図-3 縦断面図

- ⑤曲線半径：R=1,000m×2ヶ所，4,215m×1ヶ所
- ⑥縦断勾配：登り2%
- ⑦立坑：直径φ5.5m，深さ約70m

3. 土質条件

土質はchalk層である。成分の約80%以上が鍾乳石と同じ炭酸カルシウムであり，その生成時期・色相・Flint（chalk層の中にレンズ状に含まれる岩石）の有無により，地質学的に分類され，個々の性状は表-1に示す。

図-4の土質縦断図からもわかるように，Sangatteの立坑より発進し，約200m付近で大断層に出くわす。ここではSt.MARTIN山から流れてくる大量の出水が予想される。その後，個々のchalk層を横切るような形で掘進し，約1,100m付近からはFlintを含んだ層に遭遇することになる。

地下水位は発進立坑で3.5kg/cm²と最も高く，登り勾配のため掘進につれて徐々に低下して行き到達付近では0となる。また，発進部のCENOMANIEN J~H層は一軸圧縮強度100kg/cm²を越えており，非常に硬い。基本的には全区間にわたって地山は自立していると考えられる。

4. セグメント

主要諸元を表-2に示す。このセグメントはヨーロッパで多く使用され，その特長は

- ①円周方向の接合部はナックル構造である。
- ②接合各面は2本のボルトにて結合され，1リング組立に必要なボルト数は22本と少ない。
- ③14mmのテーパセグメントであり，キーセグメントの位置によってテーパ方向を変えることができる。

表-1 Chalkの物性

名称	含水比 wt %	乾密度 g/cm ³	一軸圧縮強度 kg/cm ²	フリント含有量 %	透水係数 m/s
UPPER CHALK	19~32	1.4~1.7	14~64 平均:28	5~10	1.10-5
				5~10	
MIDDLE CHALK	7~10	2~2.2	37~100 平均:57	<1	
				0	
JK=WHITE CHALK	13.4	1.93	15~147 平均:81	0	1.10-5
HI=GREY CHALK	6.9~17.7	1.8~2.2	15~140 平均:80	0	
CHALK MARL	18.2~5.7	1.8~2.4	50~166 平均:88	0	5.10-7
ALBIEN (Gault Clay)	13.8~25.4	1.5~1.9	6~29 平均:18	0	1.10-9

表-2 セグメント主要諸元

名称	T 4	T 5
タイプ	RC (一部ダクティル)	
セグメント外径	φ5440	φ8400
セグメント内径	φ4800	φ7600
厚さ	320	400
幅	1400 (14mmのテーパ有)	1600 (25mmのテーパ有)
分割数	5+key (keyは差込式)	
最大重量	3.5ton/piece	8.5ton/piece

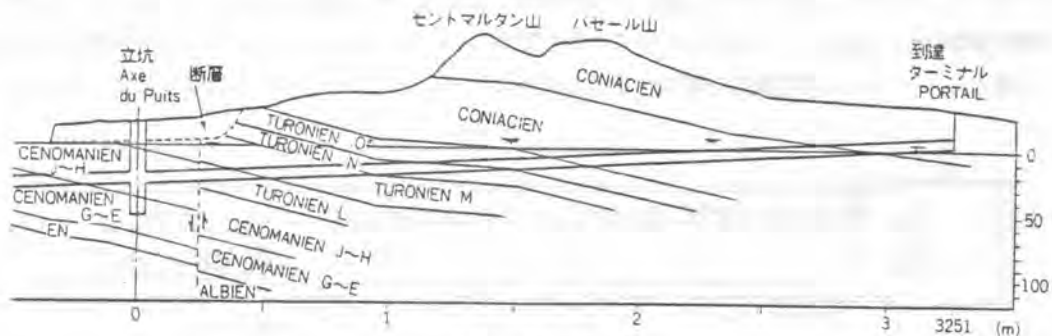


図-4 土質縦断図

5. シールド機

1年以上に及び客先(TML)との打合せが実施された。要求された性能の主なものを記述する。

5-1 特異な性状のchalk への対応

カッタヘッドはスポークタイプを採用し、開口率をできるだけ大きくして付着による閉塞現象を防止した。スクリュコンベアはカッタチャンバ下部に配置し、掘削土が自然に移動して下部の排土口に集まる構造とした。チャンバ内は突起物を最小限にすると同時に、内面には摩擦係数の低い高分子樹脂を取付けた。スポーク上には、ローラカッタを全断面に配置し、バイトカッタより先行させることにより圧縮強度の高い、Grey chalk及びFlintにも適用できるよう考慮した。また、注水口を各スポーク前面、バルクヘッド、スクリュコンベアに配し、Chalkの流動化対策とした。

5-2 高速施工への対応(瞬間掘進スピード8cm/min以上、セグメント組立時間24.2分/R以内)

5-2-1 セグメント搬送装置：ヨーロッパでは一般的である後続台車上部空間を利用した搬送方式を採用した。No.8台車のセグメント積上げ装置からエレクトまで約130mにわたって台車上部にローラコンベアを装備した。常時3リング分以上のセグメントをストックできるだけでなく、レール布設作業やずりトロの走行が阻害されることなく効率的で安全にセグメントを供給することができるものである。

5-2-2 真空吸着装置を用いたセグメント把持方式：セグメントを把持する方法に真空吸着式を採用した。従来のピン挿入による機械的把持方式に比べセグメントの脱着動作を瞬時に行うことができる。

5-2-3 ダブルグリップエレクト：ローラコンベアにより運ばれてきたセグメントはNo.1台車先端に設けられたフィーダによりエレクトに供給される。エレクトには真空吸着グリップを180°相対する位置に2台装備し、旋回所要時間の短縮をはかった。

5-2-4 シールドジャッキのスピードの高速化：セグメント組み立て時には、組もうとしているセグメントの位置に相当するシールドジャッキの伸縮操作がつかまとう。この時間を短縮するため、シールドジャッキ5本操作した場合の伸速度を100cm/min、縮速度を350cm/minと高速化した。

5-3 高水圧への対応

5-3-1 スクリュコンベア：Chalkは自然状態では粘性が高く固結しやすいし、過分の水を含むと非常に流動化して止水ゾーンを形成することがむずかしい。そこで、スクリュコンベアを直列に連結して2段とし、ケーシング内抵抗を増大させると同時にケーシングローテータを装備した。これはケーシ

表-3 シールド機主要諸元

項 目	T4諸元	T5諸元
シールド外径	φ5590	φ8620
本体長さ	10595mm	12610mm
総装備電動機出力	約2400kw	約4100kw
カッタ電動機	75kw×10台	90kw×16台
カッタ装備トルク	407t・m	1308 t・m
カッタ回転数	1.79/0.9rpm	1.0 /2.0rpm
シールドジャッキ推力	200t×20本	300t×30本
シールドジャッキストローク	3000mm	3500mm
エレクト旋回トルク	30t・m	90t・m
エレクト回転数	0 ~1.2rpm	0 ~1.2rpm
スクリュコンベア内径	φ750mm	φ1200mm
スクリュコンベアトルク	4.5t・m	30 t・m
スクリュコンベア回転数	0 ~20rpm	0 ~15rpm

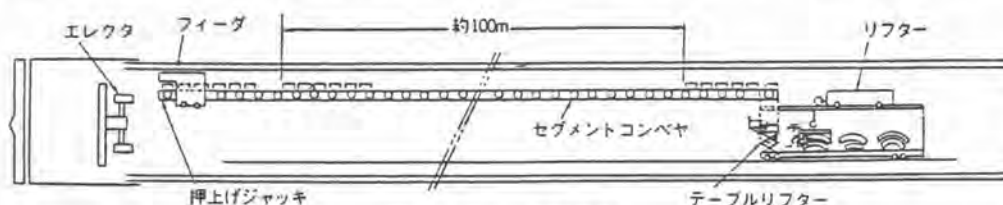


図-5 セグメント搬送システム

ングの一部を独立回転させ、スクリュとの相対回転速度を制御することによりケーシング内の掘削土に背圧をかける装置である。

5-3-2 土砂シール:10気圧の耐久・耐圧試験で検証済の高圧用リップパッキンを4段装備し、パッキン間には強制グリース給脂を実施した。また、カッタが高速回転のため、リップ摺動面での発熱を押さえるため強制水冷却システムも装備した。

5-3-3 テールパッキン:ワイヤブラシ式を3列装備した。高水圧に対する止水性向上のために、シールドスキンプレート外周8か所にパイプを配置し、ワイヤブラシ間にテールグリースを均一に連続注入できるようにした。同時裏込め注入用のパイプも合わせて配管した。

5-5 付帯設備一式を搭載した後続台車

シールドマシンから合計13台からなる後続台車一式を供給した。総設備長は220mにも及ぶ。この中でマシンおよびマシンを駆動するPU台車、セグメント吊上台車、セグメントコンベアは日本から海上輸送し、残りの9台の後続台車およびベルトコンベアは現地調達した。この一連の後続台車には簡単な修理工事ができる作業場、休憩・軽食のできる食堂、トイレ、救護室なども設けられた。

6. 施工実績

掘進出来高の推移を図-6に、主な記録を表-4に示す。このように、シールド施工が予想以上に高速度で進行できた要因として前述した後続設備も含めたシールド掘削システムに適用した各項目が十分に意図された機能を発揮したことによるところが大きい。

次のような要因も高速掘進に寄与している。

- ①カルフォーニャンを後続設備としてけん引することによるずり台車入換時間の短縮
- ②ずりトロ3輦(6輦/リング)の一括反転装置による立坑底部への高速投棄
- ③立坑底でずりをスリラー化し約1.8km離れた地点に設けられた人工池までパイプによる連続ポンプ排土
- ④3シフト/dayの1シフトをマシンを含む設備全体のメンテナンスシフトとして常設
- ⑤当社スーパーバイザの掘削シフトへの常駐

7. おわりに

均一で安定したChalk Marl層を掘進する英側と異なり、仏側の特に陸側は断層や個々のChalk層を横切ような形で掘進するため土質が常に変化する。しかも水圧が高い。このように複雑な土質に実績の多い日本メーカーへの期待は大きいものがあった。結果的には客先要求性能を全て満足し、しかも高速度で工事を完了することができた。日本で培われた技術と客先との協調が大きな成功要因であったと考える。当社においてはフランス陸側本トンネル用T5が稼動中でありT5貫通後にはUターンしてT6の掘削に入る。T4同様早く貫通させたいものと鋭意努力している。

表-4 主な記録

項目	記録
日進	40.6m/day
月進	886.7m/月
掘間掘進速度	20cm/min
セグメント組み立て時間	16min/Ring
土水圧	5 kg/cm ²

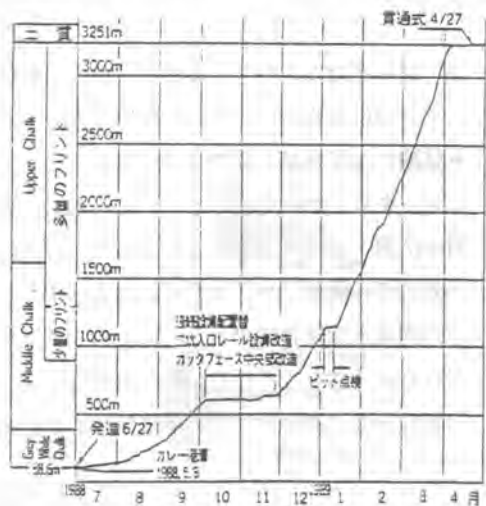


図-6 掘進出来高の推移