

土木技術

9

1992

CIVIL ENGINEERING VOL.47・NO.9

●小岩道路の設計と施工

●さぬき府中湖橋の設計と施工

●大規模海底トンネル掘削工法

●中島川の暗渠BP水路工事

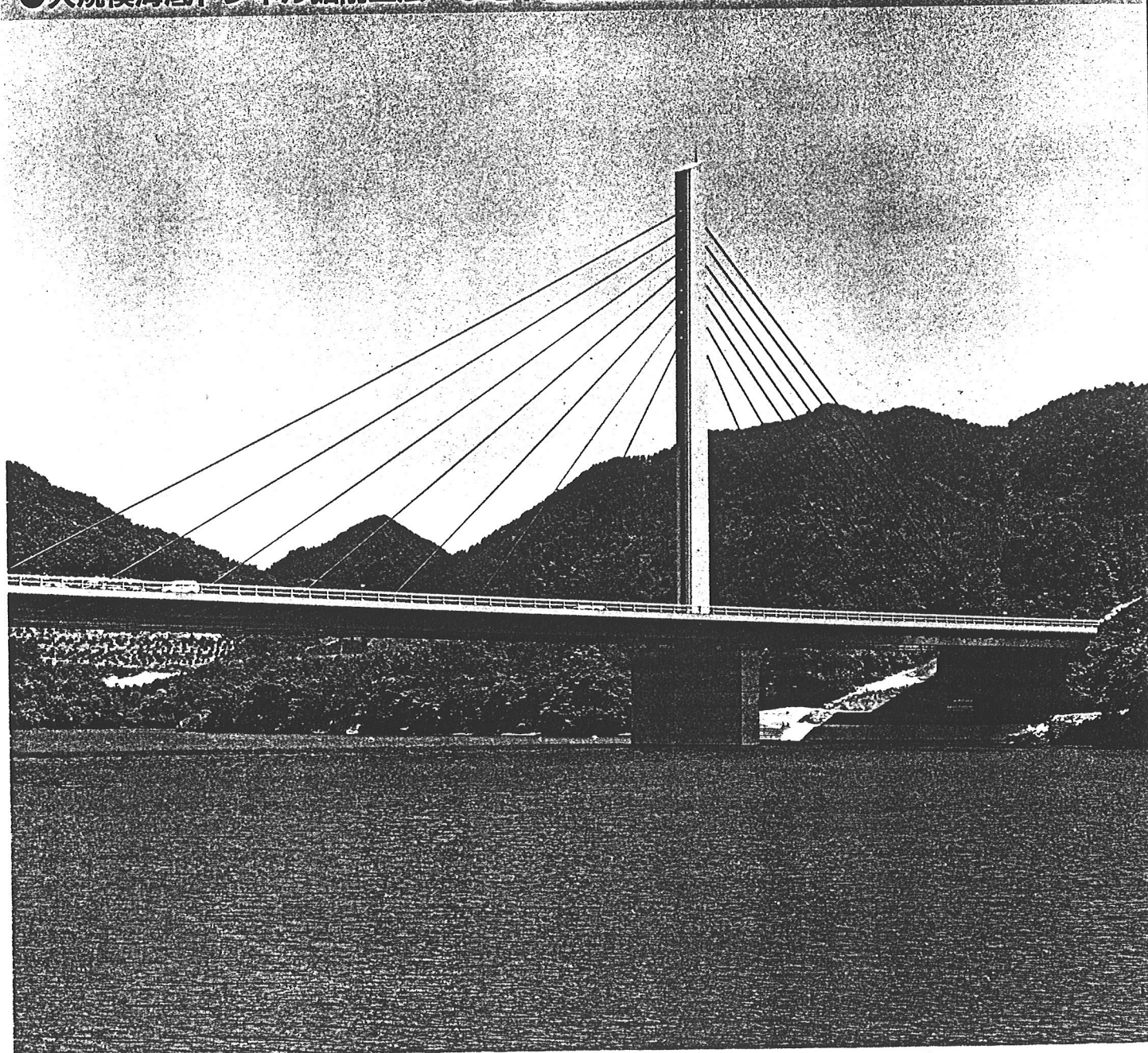
●横浜港大栈橋改造工事

●地下連続壁立坑挙動計測

●砂礫地盤とN値

●東京湾横断道路

●直角掘進シールド



さぬき府中湖橋

日本道路公団高松建設局
川崎重工業・三井造船^共同^企業^体

土木技術

第 47 卷・第 9 号 Vol. 47・No. 9

平成 4 年 9 月・1992 September

目 次

■ 巻頭写真

- 小岩道路の設計と施工……………(11)
 さぬき府中湖橋の設計と施工……………(14)
 横浜港大栈橋改造工事……………(16)

■ 中 写 真

- 土木・お国じまん ④ 宮 城 県 ……(79)
 中島川の暗渠バイパス水路工事……………(85)

■ 時 評 ……(22)

■ 工事報告

- 小岩道路の設計と施工……………川西 寛
 角谷 弘…(25)
 さぬき府中湖橋の設計と施工……………小島 治雄
 井手 俊也・古川 満男…(33)

■ 技術紹介

- 大規模海底トンネル掘削工法……………鬼頭 誠
 蝦名 克彦・地田 信也…(42)

■ 改良工事

- 中島川の暗渠バイパス水路工事……………瓜生 宣憲…(50)
 横浜港大栈橋改造工事……………森 好生
 菊地 博・剣持 達治…(58)

■ 挙動計測

- 正多角形地下連続壁立坑の施工時の挙
 動計測結果……………内山 洋・武田 義見…(65)

■ 基礎知識講座

- N値の話〔4〕砂礫地盤とN値……………岡部 洋…(89)

■ 東京湾横断道路の建設

- 〔10〕橋梁②景観検討・多径間連続化検
 討・耐風設計……………吉田 修
 成田 和由・加藤 久人…(96)

■ 下水道・新工法紹介

- 直角掘進シールド工法……………府川 好夫…(106)

■ そ の 他

- 海外ニュース速報……………(75) 10月号・予定目次……………(88)
 鉄道 100 年のエピソード…(77) 編 集 室……………(114)
 珍しい橋・珍しいアーチ…(87) back・number ……(117)

表紙写真

さぬき府中湖橋は、橋名からも分かるように府中湖というダム湖に架かる斜張橋である。

香川県は年間降水量が少ない上に、大きな河川も無いため、昔から灌漑用ため池が整備されその数は1万を優に越える。そして、坂出市に工業地帯を誘致する際にも同様な理由から、水源確保の問題が発生し、坂出市府中町を流れる2級河川綾川を堰止めてできた湖が府中湖である。この湖は工業用ため池ともいえ、さぬき府中湖橋はこうして香川県の水との歴史の上に架けた橋である。

日本道路公団高松建設局

TEL 0878-23-2111

川崎重工業(株)西部橋梁設計
 部 TEL 0794-35-8413

▶ 技術紹介 ◀

大規模海底トンネル掘削工法

Makoto Kitô	鬼 頭	誠*
Katsuhiko Ebina	蝦 名	彦**
Shinya Tida	地 田	信 也***

1. ま え が き

世紀の大事業として注目を集め、1988年に開業した青函トンネルは、年間300万人の旅客と600万tの貨物を通し、北海道と本州の大動脈としての役割を着実に果たしつつある。

本トンネルは延長54kmで最大水深140mと深く、地質も悪く、大量出水等多くの困難な問題を克服し、本坑掘削に13年もの歳月をついやした。

そして1980年、英仏両国の条約調印で再開されたドーバー海峡トンネルは、1988年本格掘削が開始され、わずか3年間で開通し、来年の開業を目指してヤード施設等、周辺工事が急ピッチで進められている。

本トンネルは、延長50kmであるが、水深は60m程度で地質も200~400kgf/cm²のブルーチョークであり、比較的安定した状況で、青函に比較して掘削しやすいトンネルとされていた。

こうしたことから、本トンネルには徹底した機械化工法を適用しφ8.8m、L=14mの大型掘削機が採用され、延長17km・月進500mと

いう長距離高速掘進が実現し、世界の海底トンネル技術の進歩に多大の貢献をしたものとして高く評価されている。

こうした状況のなか、これまで高水圧で延長が長く難工事で、工期も長くなりすぎ実現性が低いものとされていた海底トンネルについての認識も変わり始め、ベーリング海峡、ジブラルタル海峡、スンダ海峡、日韓トンネル等技術的な面からの検討も一部に始められてきている。

以上のような状況のなかこれまでの施工実績や各種掘削工法について検討を加え、実験を行なうなどして、海底トンネルの新しい工法として大規模機械化掘削工法の基本条件をまとめたので、我が国にとって最も近い韓国との鉄道トンネルという事での事例としてその概要を以下に述べる。

2. 海峡トンネルの概要

1) 延長・水深

日本と韓国のトンネルについて検討の概要を示したのが図-1で、海峡部を主体としておよそ延長で190kmもあるが、中間に壱岐島、対馬、巨済島があり、海底トンネルとしては呼子~壱岐島が25km、壱岐島~対馬が53km、そして最も長い対馬~巨済島が66kmとなる。

* 日本鉄道建設公団本社設計室調査役

** " (同設計室)補佐

*** " 東京支社工事七課補佐

表-1 世界の海底トンネル比較

項目 トンネル名	総延長 距離	海峡幅	最大水深	土被り	水圧 (水深+土被り)	岩強度	トンネル 断面	覆工	工期 (掘削)	工費
青函トンネル	54km	23.3km	140m	100m	24kgf/cm ²	50~150 kgf/cm ²	複線 新幹線 内径 φ9.7m	コンクリート厚 70cm	13年	約5,300億円
ユーロトンネル	50km	37km	60m	50m	11kgf/cm ²	200~400 kgf/cm ²	単線2本 内径 φ7.6m	セグメント厚 40cm	3年	約1兆 5,000億円
日韓トンネル	191km	65km 49km 28km	150m	50m	20 kgf/cm ²	400 kgf/cm ² 数~数10 kgf/cm ²	円形複線 内径 φ10.0m 面積 79m ²	セグメント厚 40cm コンクリート厚 40cm	6~7年	約3兆 6,000億円

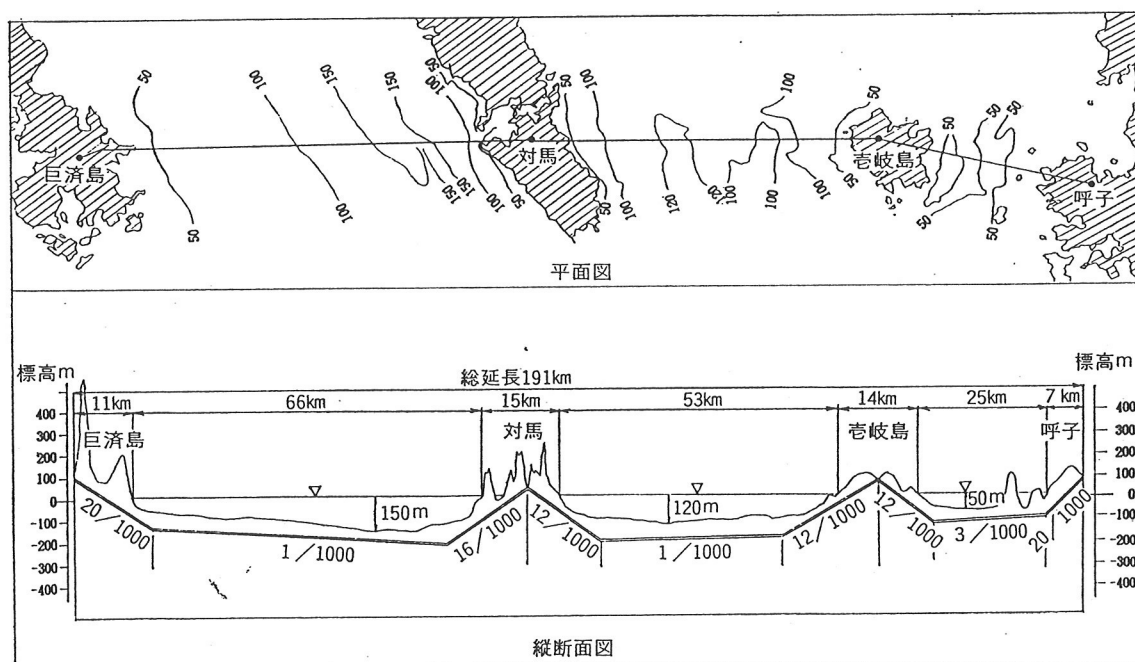


図-1 日韓海峡トンネル平面図および断面図

最大水深は各々 50 m, 120 m, 150 m となり、計画土被りをドーバー海峡並みの 50 m として計画すると、トンネルに作用する最大水圧は 10 kgf/cm², 17 kgf/cm², 20 kgf/cm² とかなり大きくなる。

2) 地 質

佐賀県・呼子～韓国・巨済島間を結ぶ路線の地質は次のとおりである。

呼子～巨済島間の地質は第三紀（漸新世～中新世）の砂岩・頁岩・礫岩・凝灰岩等の堆積岩類と火山噴出岩や玄武岩、花崗岩等の火成岩類

および第四紀相当と推定される新期堆積物が分布している（図-2）。海底トンネルではこれらの地質が掘削対象地山となる。各々の地質の分布する長さは堆積岩類が 110 km, 火成岩類が 30 km, 新期堆積物が 50 km である。

断層は陸上部では壱岐島に東西性の規模の大きいと考えられるものが認められる他は、特に土木地質的に問題になるようなものはない。海底部には路線に現れると考えられる断層は、南北性のものが 4～5 条存在すると推定されている。

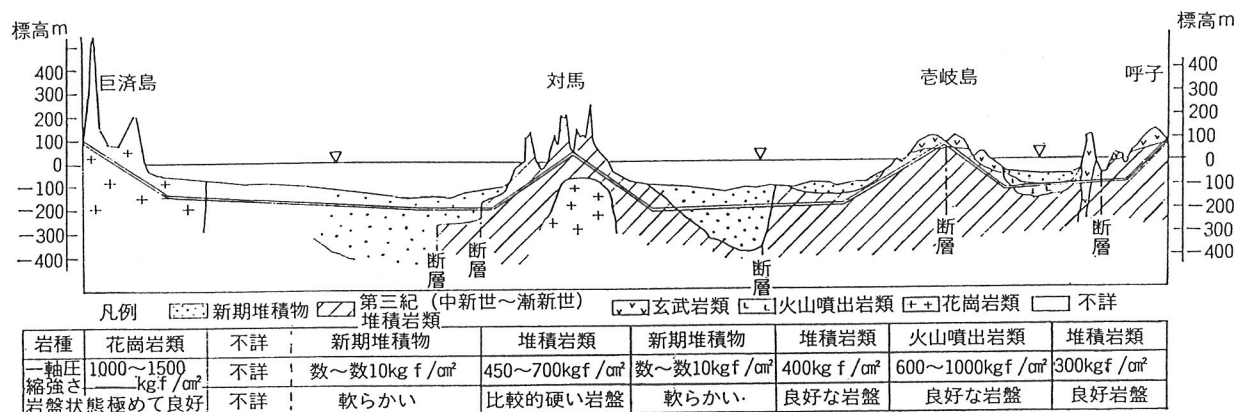


図-2 日韓海峡地質断面図

工学的性質のうち一軸圧縮強さは、第三紀の堆積岩類では 450 kgf/cm^2 、火山噴出岩や玄武岩類では $600 \sim 1,000 \text{ kgf/cm}^2$ 、花崗岩類では $1,000 \sim 1,500 \text{ kgf/cm}^2$ で比較的良好な岩盤であると推定されている。また、海峡部にかなりの広範囲に分布すると考えられる新期堆積物は、詳細は明らかではないが数 10 kgf/cm^2 程度の軟らかいものと推定されている。

3) トンネル断面

トンネル断面については機械化掘削を前提とした円形断面とし、ドーバートンネルのように単線トンネル方式とした場合の経済性、トンネル完成までの工期、技術的困難度を検討した結

果、青函トンネルと同様の複線トンネル方式を基本とすることとした（図-3）。

また、断面としては内径 10 m 、 80 m^2 におさえ、高速列車運行を想定し、断面内の列車すれ違い抵抗、風圧等を考慮して全断面を有効に活用する梁支持、スラブ軌道を採用し、下部空間を保守用、異常時対応、換気、排水等複合活用するよう計画した。

さらに、将来の通信、エネルギー問題に対応して下部空間の一部に光通信ケーブル、超電導電力輸送設備を設置するよう配置した。

覆工としては $300 \text{ t/m}^2 \sim 200 \text{ t/m}^2$ の土圧、水圧を想定し最大推力等から設計厚を 80 cm と

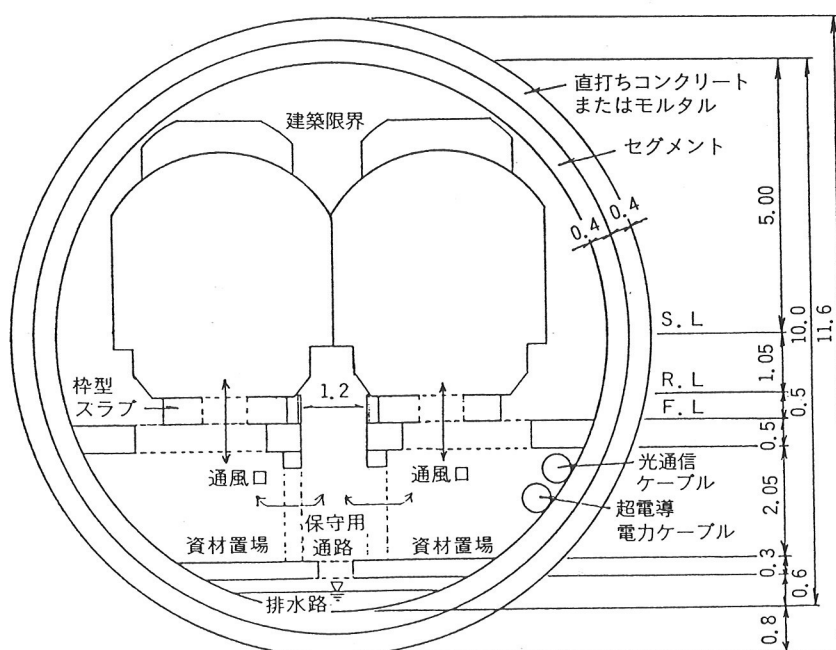


図-3 トンネル断面図

し、これまでの施工実績を検討し、直打ちコンクリート 40 cm, セグメント 40 cm の安全で確実な合成構造覆工とすることとした。

以上のように、日韓トンネルは延長が 191km であるが中間に島が存在し、最長部で 66km, 最大水深 150 m であり、大方の岩強度も 400 kgf/cm² 程度でこれまでの海底トンネルと比較して桁はずれの状況ではなく、実現性は高いものと考えられ、その技術的方向としては高水圧性能の高い大規模な高速掘削・覆工機械化工法が適当であろうとの見解が得られた。

3. 新工法の概要

前述のトンネルを対象に検討を加えた結果、掘削についてはドーバー等の実績からローラーカッター、ビットカッターを装着し、硬軟両層に対応した T.B.M. を主体とし高水圧下での止水性と地山に密着した安全で耐久性の高い覆工体を構築する要件から、裏込め注入のかわりに直打ちライニング工法を用いセグメント工法と併用した掘削・覆工機械として計画・設計した。

これらの概要を示したのが図-4、表-2であり、外径は 11.6m, 長さ 12.9m, 全体重量 2,800t, 推力 21,000t, 長距離掘削をめざして、ローラーカッター、ビットカッター等の材質は超高強度合金、ダイヤモンド、車両タイヤ鋼練

表-2 シールド掘進機諸元

掘削径	φ 11,600mm	
機械長さ	12,900mm	
本体重量	2,800 t	
カッターヘッド	トルク	1,000 t-m/2,000 t-m
	回転数	2.3 rpm/1.15 rpm
	動力	2,640 kW
スラスト推進ジャッキ	ストローク	1,650mm
	推力	6,000 t
シールド推進ジャッキ	ストローク	1,600mm
	推力	2,100 t
最大水圧	20 kgf/cm ²	
妻枠ジャッキ	125t×30本	

鉄等を用い、本体にはステンレス材、耐摩耗鋼材を使い特殊メッキ、塗装を行なうこととした。

また、掘削に対し各種カッターが磨耗し、その取換えが必要なことから、ドーバートンネルの実績を参考に先端部が 1.0m 程度後退できる構造とし、先端部に化学系固化剤を注入し、30 kgf/cm² で固化後十分な止水ゾーンとして、マンロックからカッター交換をするように工夫している。これらの交換については、ドーバーの実績および特殊カッタービットの材質、日韓トンネルの岩質を基におおよそ 2~5 km 程度と予想されている。

そして T.B.M. の推進は地山の良好な区間

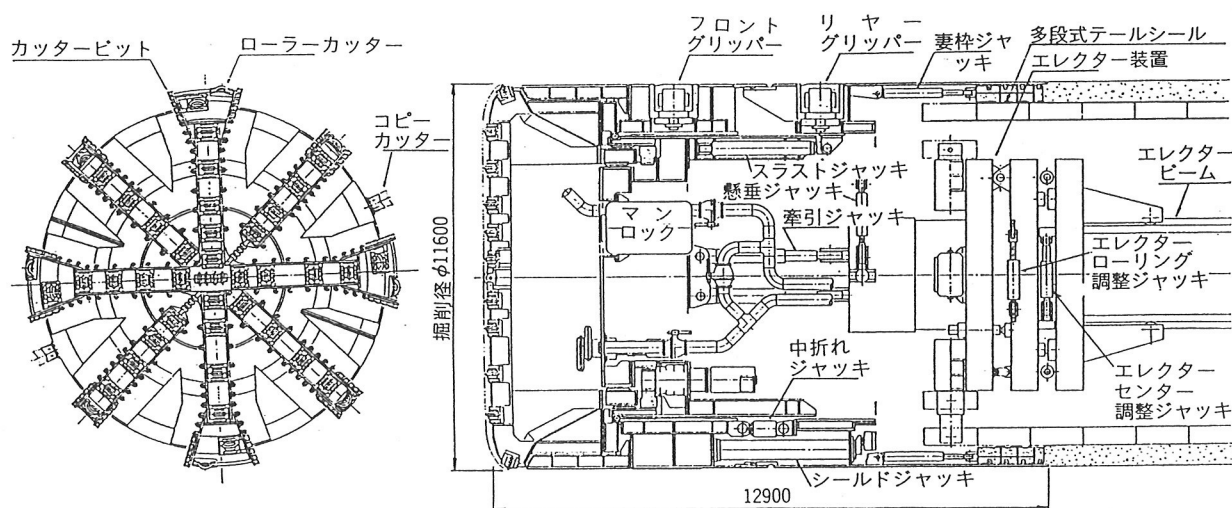


図-4 シールドマシン

ではグリッパーを主体として、地山が不良な所ではセグメントを反力としたシールドジャッキ推進とし、高速性を発揮できるように計画した。

覆工の施工についてはこれまでのセグメントの施工実績やドーバーの実績を調査・分析した結果、6段もの多段型式のテールシール装置を用いても推定される 20 kgf/cm^2 の水圧では止水性が長期間保てないことが判明した。

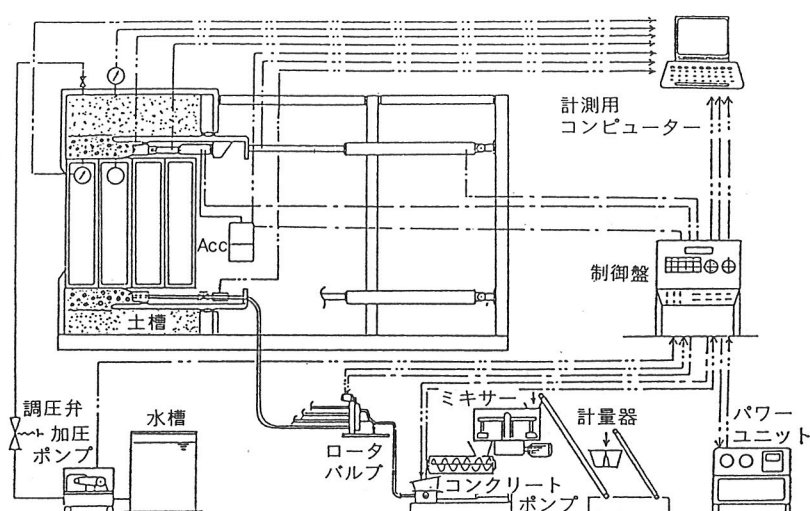
また、セグメント工法の裏込め注入についても、 20 kgf/cm^2 での連続注入で、しかも半永久的に材質が変化せず、所定の高強度が保たれセグメントと地山の間に完全に充填できるという観点から検討をしたが困難なことが予想された。

さらに、シールが磨耗した場合等のシール交換が大きな問題となった。

こうした問題を解決するため、コンクリートを連続加圧打設し、地山に密着した覆工を形成し、その止水性も高いものと評価されている直打ちコンクリートライニング工法に着目し、その打設システムについての各種高圧実験を行ってきた。基本実験として円筒容器の下部に $1\sim 3 \text{ mm}$ 程度のスリットを設け、コンクリートを打設後高水圧を作用させ骨材とセメントペーストの分離・流出状況を検討しセメントペーストが流出せず十分な止水性を有する粘性値と適正な配合条件を求めた。

そして、これらのコンクリートを用いて高水圧下での打設部分機構の性能実験を繰返し、その基本条件を決定した。

こうした実験の結果を踏まえ



実験条件

- | | |
|--------------------------|---|
| (1)コンクリート覆工外径: 2800 [mm] | (4)仮想水圧: $6\sim 10 \text{ [kgf/cm}^2]$ |
| (2)コンクリート覆工内径: 2000 [mm] | (5)仮想地盤: 滞水地盤 |
| (3)コンクリート覆工厚: 400 [mm] | (6)覆工形成速度: $20\sim 30 \text{ [mm/min]}$ |

図-5 実験設備の概要

て、総合機械実験を行なった(図-5)。

この打設実験は径 2.8 m で 10 kgf/cm^2 程度の水圧下で実施したが、打設実験結果等から流動性コンクリートの充填部については水圧が高くても一部にコンクリート中の水分が絞り出されるが、外部の水は流入せず高い止水性が保たれることが判明した(写真-1, 2)。

また、打設されたコンクリートは地山とセグメントの間に完全に充填され地山に密着した良好なコンクリート覆工を形成していた。そこで、日韓トンネルの高水圧 20 kgf/cm^2 に対応

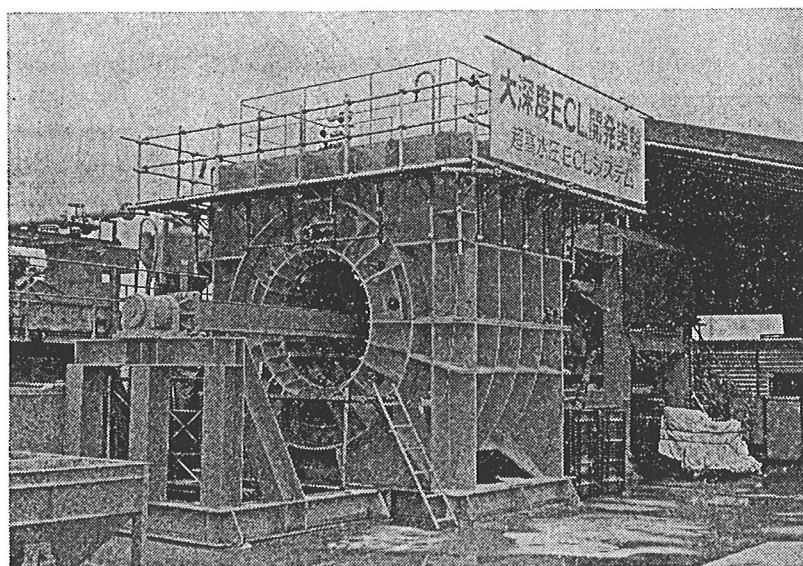


写真-1 超高水圧実験装置

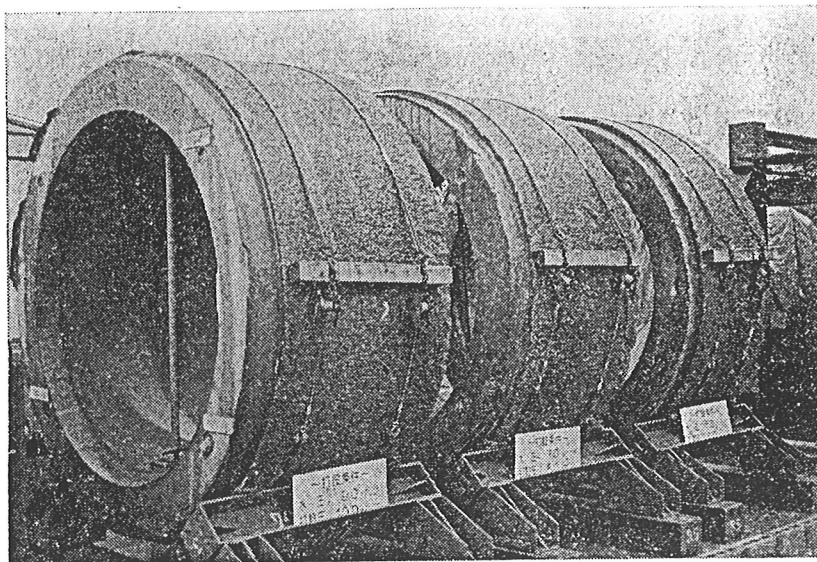


写真-2 超高水圧打設後の覆工体

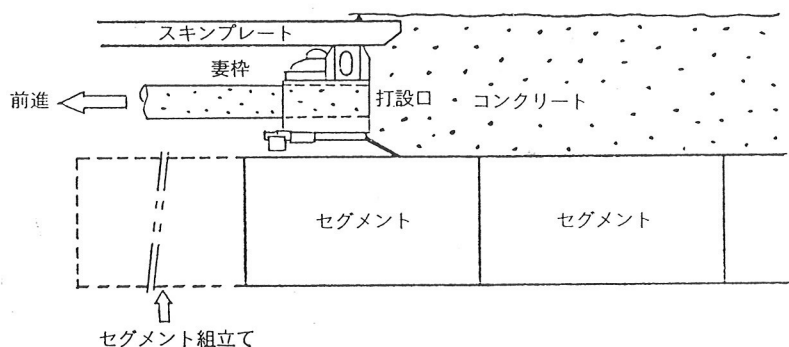


図-6 コンクリートの打設方法

するため、セグメントの裏込については直打ちライニング用の粘性コンクリートを用い、地山とセグメントの間隙を密実に高性能コンクリートで充填し、その安全性と耐久性を高める方式として図-6の直打ちライニング・セグメント併用の覆工工法とした。これはセグメントをスキンプレート内で組立て、掘削と並行して高品質の粘性コンクリートを3m以内に設けられた打設穴を通じ連続加圧打設し、また、セグメントを組立て、同様の打設を行なうもので施工速度も速い。この直打ちライニング工法については、欧州ではリヨン、エッセンの地下鉄、我が国では国鉄・信濃川発

電所、北陸新幹線・秋間トンネル等に用いられており、システムとしての信頼性も高い(写真-3)。

さらに、高水圧であることから直打ちライニング工法の打設管の上・下に緊急用の補助パッキンを装備するとともに、これまで用いられている4段程度のテールシール装置を併用し、止水性を高めることとした(図-7)。

テールシール交換という大きな問題に対しては図-8のように直打ちライニングの特性を生かし、組立てたセグメント内に打設した密着性コンクリートが硬化した後セグメントを取外し、テールシール、妻枠パッキン等を交換することで解決することができた。

4. 工期・その他

高速掘削を実現するため、直打ちライニングとセグメントについては、1リング長を1.5m

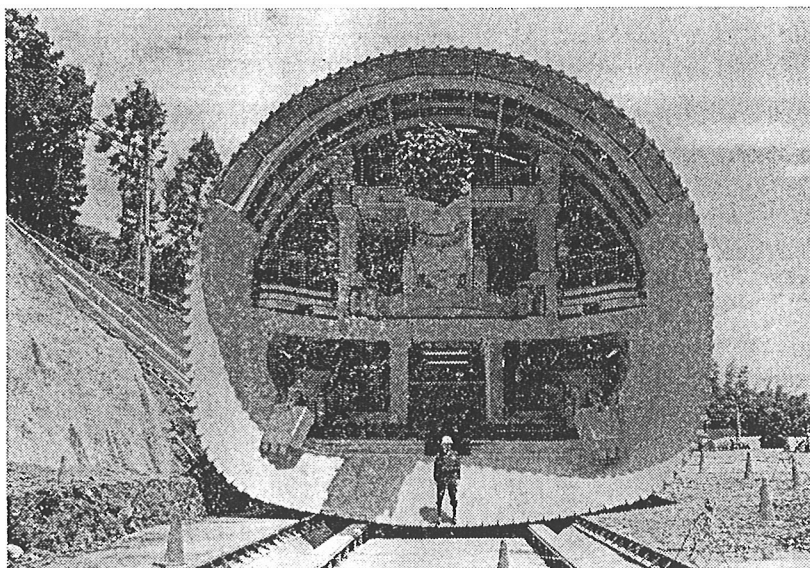


写真-3 秋間トンネルで使用しているオープン型直打ちコンクリートシールド機

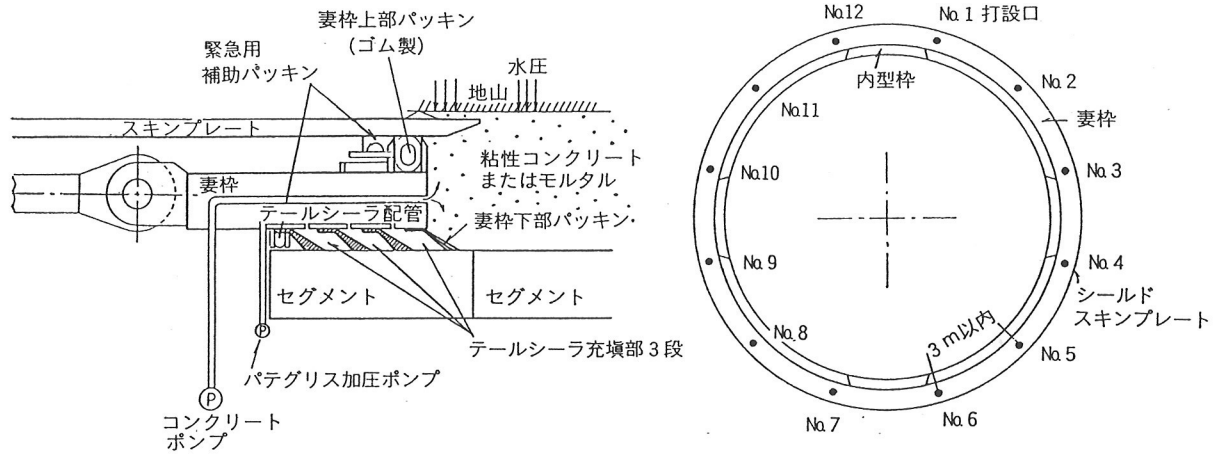


図-7 高水圧対策コンクリート打設機構

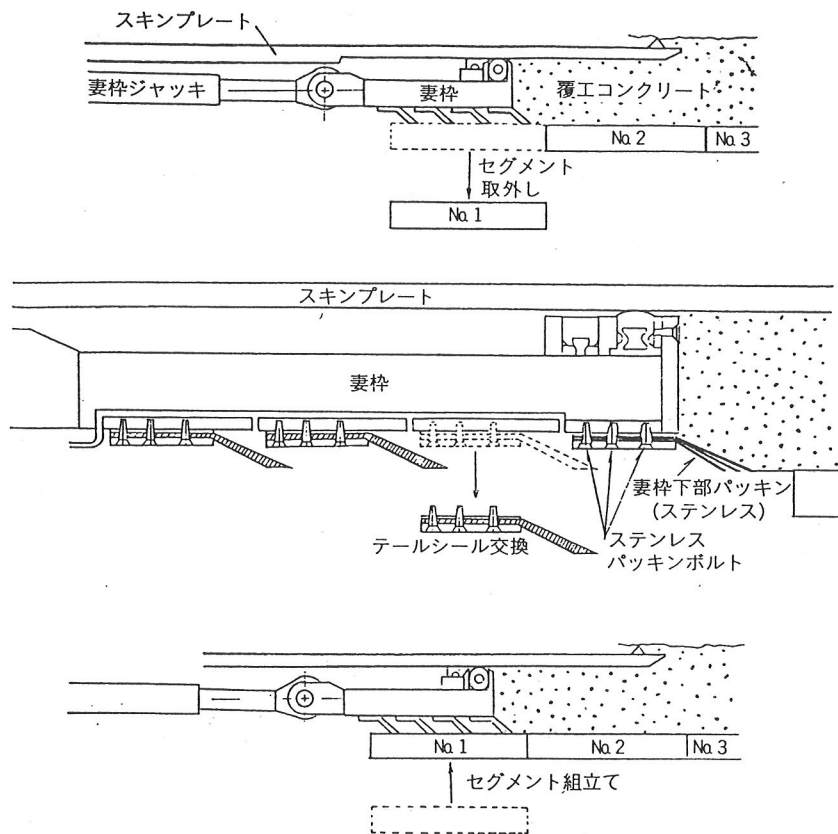


図-8 テールシール変換図

程度にすると共に、セグメントの継手については、地質の状況から判断して圧縮力が主体となることからなるべく簡易で組立てが簡単なホズ継手を主にボルトはセグメント組立て程度とした。また、ドーバーで実施したようなダブルエレクトションセグメント自動搬送設備を用い、地質が良い所では掘削・エレクトション同時作業ができるよう配慮すると共に、ズリ出し材料搬入

には大規模な複線列車輸送方式を採用するよう計画した。

こうした条件を具備した場合の施工速度は、表-3に示したように岩石強度 400 kgf/cm^2 で、 $200 \text{ m}^3/\text{時}$ 掘削として、25日稼働で $500 \text{ m}/\text{月}$ 程度となり、ドーバー海峡の実績とも良く符合する。

したがって、本坑掘削工期はおおよそ6～7

表-3 サイクルタイム

- ・作業条件：13リング/日・3交代(8h/方) ・1セグメント長：1.5m
 ・稼動日数：25日/月 ・掘進速度：25mm/min

(岩石強度：400kgf/cm²)

施工時間 (分)	30	60	90	120	150	180
掘削工	60					
	掘削等		調整等			
直打ちコン クリート打 設工	60					
セグメント 組立工			45			
測量および 軌道盛替	45		45			
累計施工時 間			105分/1.5m		進 行	
m当り施工 時間			70.0分/1.0m		日進量 20.0m 月進量 500m	

年程度となる。

工費としては極めて概算であるが、掘削機製作・保守で4,500億円、覆工が2兆6,000億円、軌道・電気1,900億円、排水・換気設備・コンクリート工、その他等3,600億円で総計3兆6,000億円程度と試算される。

以上、大規模高速機械化海底トンネル工法についてこれまでの検討の結果を基に概述した。まだまだ課題もあるがこのようなシステムを用いれば表-1に示したように有効な海底トンネル技術として実用に供することができるものと推察している。

5. あとがき

新しい海底トンネル工法について概述したが、本トンネルの効果についてはつぎのように推察されている。

現在、日本・韓国間については、旅客140万人/年、貨物1,000万t/年程度となっているが、本トンネルの影響は鉄道網全体として見た場合は単に両国間にとどまらず近隣影響圏として、北朝鮮・中国・ロシアが対象になり、全体としては東南アジア諸国、中近東、欧州各国の広

大な地域に及び、経済・文化交流等、各方面の効果は膨大なものになるものと期待されている。

たとえば、沿線各国の列車速度を200km/h程度に整備した場合、近隣諸国を主体に900万人/年の需要が推定された。

さらに、フランスやドイツで目標とされている400km/hの超高速列車運行を適用した場合、パリ、ベルリンまでが1日半となり、朝出発して翌日の昼に到着できるようになり、2,300万人/年程度の需要が喚起される

ものと推定されている。

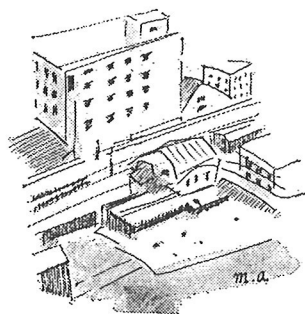
貨物についてはスエズ運河経由、欧州大陸行きで1カ月もかかっているものが、日本～フランスで1週間程度となり、これまでの物流を大きく変えるような大きな効果が生じ、近隣諸国を含めて将来的には16,000万t/年程度もの需要が見込まれる。

また、本トンネルに共同敷設した光ファイバ通信は増加する将来の通信需要を効果的にまかない、世界的な通信時代に対応すると共に、超電導電力輸送システムは夜間余剰電力を各国に有効分配するなど国際エネルギー効率の向上に多大な貢献をするものと注目を集めている。

こうした経済効果とは別に文化・文明面からの大規模交流による効用にも多大の関心がよせられている。

以上のように、「海底トンネル」はその建設に多くの資金と高度な技術力を要する一方、地球規模での効用を及ぼすものであり、これらの事柄をバランスよく調整し、世紀の国際プロジェクトとして大所・高所から計画を検討・推進することが肝要であろう。

(完)



編 集 室

☆いま夏も盛りで、東京は屋間閑散としているが、夕方には盆おどりの音楽や花火の音がどこからか聞こえてくる。しかし、この号が諸兄の手元に届けられる頃には、暑さもやわらぎ、読書の秋に向けて日焼けした顔に輝きを増しておられることと思う。

☆四国横断自動車道の府中湖上に架けられた“さぬき府中湖橋”は、カヌー競技の支障とならないように、また公園として景観に配慮した美しい斜張橋である(表紙写真参照)。地元ではこの橋の近くにあるニールセン橋を“亀橋”と、この橋を“鶴橋”と呼ばれ親しまれることが期待されているそうだ。諸兄よりもまず“鶴橋”の愛称で呼んで欲しい。

☆54kmの青函トンネル、50kmのドーバー海峡トンネルに自信を得て、海峡トンネル実現の可能性が飛躍的に広がっている今日、“大規模海底トンネル掘削工法”は、日本と韓国との間(約190km)の海峡鉄道トンネルの技術的検討を紹介するものである。本坑掘削等に6～7年の工期と、約3兆6億千円の工費が見込まれている。

☆10月号は“特集：コンクリートに関する最近の話題”を予定している(本文88頁・予定目次参照)。建設省土木研究所の河野広隆室長のご企画によるもので、新材料、設計や施工に関して等、豊富な話題を用意していただいている。

編 集 顧 問 (五十音順)

浅井 新一郎	首都高速道路公団顧問
井上 章平	参議院議員
坂井 順行	運輸省技術参事官
陣内 孝雄	参議院議員
杉山 好信	日本高速通信(株)副社長
西亀 達雄	日本高速鉄道技術(株)代表取締役社長
深谷 俊明	(株)長大監査役
松田 芳夫	建設省河川局治水課長
村上 永一	川田建設(株)取締役・相談役
吉田 正吾	鹿島建設(株)取締役・東京副支店長

編 集 委 員 (五十音順)

委員長

河北 正治	古河機械金属(株)常任顧問
-------	---------------

委員

阿部 英彦	宇都宮大学工学部教授
木本 英明	運輸省港湾局計画課長
中本 至	日本下水道事業団副理事長
平野 實	日本道路公団東京第二建設局局長
前野 陽治	(財)電力中央研究所FBR課長
松浦 屹	建設省道路局国道一課長
松崎 彬磨	トピー工業(株)取締役・相談役
宮崎 修輔	日本鉄道建設公団設計室調査役
横塚 尚志	建設省大臣官房政策企画官
渡辺 隆二	国土開発技術研究センター副会長

(本書の内容の一部、あるいは全部を無断で複写複製(コピー)することは、法律で認められた場合を除き、著作者および出版社の権利の侵害となりますので、その場合には予め小社あて許諾を求めて下さい。)

© (禁 転 載)

土木技術 (毎月1回1日発行)

平成4年9月1日 発行

定価 900 円 (本体 874 円)

(定期購読)	購読料 (税込)	送料	計
半年前金	5,400 円	300 円	5,700 円
1年前金	10,800 円	当社負担	10,800 円

御送金は振替東京 7-170593 または郵便為替でお送り下さい。

本誌取次店 東販・日販・栗田出版販売・大阪屋
・中央社・誠光堂

編 集 者 青 木 卓 郎

発 行 者 柴 山 和 夫

企 画 制 作 理工図書株式会社

印 刷 所 三美印刷株式会社

発 行 所 土 木 技 術 社

(102) 東京都千代田区富士見 1-8-19

電話 (03) 3230-0221 (代表)

3230-0225 (編集部)

FAX (03) 3262-8247

製本・島崎製本