# 青函トンネル海底中央部における固結度の低い砂質岩層の地質調査

The Geological Survey of Low Consolidated Sandy Strata in Central Section of the Undersea Portion of the Seikan Tunnel

## 1. はじめに

青函トンネルは昭和21年に調査が開始されて以来,多大 の労苦と年月を費やして,昭和58年1月に先進導坑の貫通, 続いて昭和60年3月に本坑の貫通を経て,本年3月13日津 軽海峡線として開業した。

本稿では,海底中央部の先進導坑ならびに本坑で遭遇し た多量の地下水を胚胎した固結度の低い砂質岩層の地質調 査について,その概要を述べる。

## 2. 地質調査経緯と地質の概要

# 2.1 地質調査経緯の概要

青函トンネルの地質調査は昭和21年から開始され,有効 と考えられるあらゆる方法を駆使して陸上ならびに海上か ら調査(弾性波探査,ドレッジング,音波探査,ボーリン グ,磁気探査等)が続けられたが,津軽海峡の海潮流が速 く,気象変化が激しいため多大の労苦と年月を費やした。 昭和39年調査坑掘削開始後は,坑内からの先進ボーリング による切羽前方探査に重点が置かれたが,当初は水平ボー リングの実績がほとんどなく,1回の掘進長は数百mが限 界であったため,長尺化を目指して種々の試験を重ねる一 方,特に海底中央部の地質解明をより早く,高精度で行う ため海上からの調査が引き続き行われた<sup>1),10)</sup>。

#### 2.2 青函トンネルの地質概要

本地域一帯は、東北日本グリーンタフ地域に属し、トン ネル海底部分は、下位より新第三紀層の福山層、訓縫層 (下位からKn1~Kn5部層に分類されており、これらのう ち奇数番号は火山砕屑岩類、偶数番号は泥岩によって特徴 づけられる)、八雲層および黒松内層からなり、安山岩、流 紋岩、玄武岩等の火山岩脈を伴っている。大局的には本州 側、北海道側ともに両海岸から海底に向かって次第に上位 の地層が出現し、中央部で盆状の向斜を形成する最上部層 の黒松内層に到着する構造となっている<sup>10)</sup>(図-1参照)。

## 3. 先進ボーリングの経緯と工法の概要

3.1 先進ボーリングの経緯

青函トンネルでは,水平長尺ボーリングの実績がほとん

\*日本鉄道建設公団 青函建設局 計画課長 \*\*日本鉄道建設公団 青函建設局 計画課補佐

July, 1988

どなかった工事開始当時から先進ボーリングを掘削システムに取り入れ,正確な地質情報の把握,長尺化ならびに高速化を目指して試行錯誤を重ねて技術の改良,開発を行ってきた。

当初は、在来の探鉱ボーリング用の試錐機および掘削工 具と同規模のものを用いてワイヤーライン工法を採用し, 1孔当たりの掘進長 600m~1000mを目標にコアボーリン グを行っていた。また湧水状況に重点を置いた探査の場合 には、より高速掘進のできるトリコーンビットによるノン コア工法を採用して湧水箇所や不良地質箇所をセメンテー ションしたり、ケーシングパイプの挿入によって突破し、 坑道切羽より先進して前方予知の役目を果たしてきた。吉 岡側では昭和47年, 竜飛側では昭和48年ころから粘土鉱物 (主にモンモリロナイト)を多量に含む吸水膨張性の崩壊 しやすい地層(新第三紀訓縫層の凝灰岩および泥岩)に遭 遇することが多くなった。そのため、特にワイヤーライン 工法ではアニュラー面積(ロッドと孔壁の間の環状面積) が狭いために崩壊した岩屑やスライムを十分に排出するこ とができず、ロッドの抑留事故が多くなり、崩壊防止のた めのセメンテーション回数も著しく増加し、掘進能率が極 度に低下した。

そこで,エア掘り工法,二重管リバース工法等を試行す るとともに,小型で高性能の水平専用の試錐機の開発なら びに掘削工具の改良を行った。その結果,高圧湧水を伴う 崩壊しやすい地層に対しては単管リバース工法が,また断 層破砕帯等の著しく崩壊しやすい地層に対しては二重管リ バース工法が最良の工法として定着し,掘進速度も速く, コアの採取率も良好となった。不良地質に遭遇して一時期, 月進100m以下にまで低下したものが工法変更後は,数百 m以上に向上したので常に切羽より数百m前方を探査する ことが可能になった。

## 3.2 先進ボーリング工法

主要な工法について概要を述べる(図-2参照)。

(1) ワイヤーライン工法

コアが入ったインナーチューブ(長さ3m)を水圧によ り送入するオーバーショット(ワイヤーつき)により引き 上げる方法で,ロッドを引き抜くことなくコアを採取でき るのが最大の利点であるが,下記の欠点により,リバース 工法に変更した。



土と基礎, 36-7 (366)





二重管リバース工法



図-2 ボーリング工法の概念図

- (イ) 吸水膨張,浸水崩壊性の地質や断層破砕帯では,ア ニュラー面積が狭いため崩壊した岩屑や滞留したスラ イムによりロッドが抑留されることが多い。
- (P) 上記のような不良地質箇所では、特にインナーチュ ーブ引上げの際のオーバーショットの送入と引抜きで は、孔内圧力に著しい差が発生することにより孔壁崩 壊を誘発する。
- (1) 上記の不良地質および亀裂の多い火山岩でコア詰まり(割れたコアがインナーチューブ入口でくさび状になって詰まり,掘進できなくなること)が著しく,インナーチューブ引上げ回数が多くなる。
- (=) 先端部分が重いため,孔が下降しやすい(実績では約25mにつき1度の降角率)。
- (対) 水平孔のため、水圧により送入するインナーチュー ブが先端部分に完全にセットされたかどうか確認困難 の場合があり、完全にセットされないままで掘進する とコアが採取できない。
- (\*) 湧水量が 200 *l*/min 以上になるとインナーチューブ の挿入が困難となり,セメンテーションが必要となる。
- (b) 湧水の塩分濃度が高いのでインナーチューブやオー バーショットなどの小部品の消耗が激しく故障が多い。
- (2) リバース工法

リバース工法は送水の圧力損失を少なくするため,基本 的にはオーバーサイズのビットを使用してアニュラー面積 を大きくするとともに、ロッドの振動によるコア採取率の 低下と孔曲がりを防止するためスタビライザーを取り付け て掘進する。送水量はコアの管内運搬時間等を考慮し、管 内流速が100 m/min 程度になることを目標とした。

リバース工法の利点をあげると,

(イ) コアチューブが不要で, 短時間のうちにコア採取が

**July**, 1988

できる(深度 500m で約10分)。

- (ロ) スライムが管内に流通するので、スライム滞留によるロッド抑留事故が極めて少ない。
- (\*) セメンテーションが必ずしも必要ではなくなり、また、孔内湧水を利用できるので送水が不要になることがある。

欠点としては下記のことがあげられる。

- (イ) 逸水の著しいところでは掘進ができない。
- (ロ) 固結度の低い地層を掘進する時、ボーリング深度が 特に深くなると、コアが管内に運搬される間に水流と 振動により崩れて円筒状に採取できないことが多い。
- (3) 二重管リバース工法

崩壊しやすい軟弱な地質や断層破砕帯に遭遇した場合, 特に水平孔では,ロッド引抜き後,崩壊した岩屑が孔内を 埋め,ケーシングパイプの挿入が困難となることが多い。 このため掘進とケーシングパイプ挿入を同時に行うことを 計画し,種々の試験を経て開発された工法で,断層破砕帯 などの軟弱な地帯を突破する最も確実な工法となっている。 その送排水方式は外管と内管の間を送水し,内管の中を排 水するリバース式にしている。

外管と内管を同時に回転させて掘進するため,高トルク の試錐機とねじり強度の高い厚肉管が要求される。

# 3.3 先進ボーリングにおける孔曲がり測定および孔曲 がり修正

孔曲がりの測定は原則としてボーリング長25mごとにス ペリーサン式孔曲がり測定器によってボーリング軌跡の計 測を行っているが,一般には重力により孔下がりがあるの で孔曲がり修正をする必要がある。

孔曲がりの修正はボーリングビットの形状,スタビライ ザーの間隔および給進圧力を変化させることによるボーリ ングロッドのたわみを利用して修正する。

孔曲がり測定の精度については、ボーリング孔跡が坑道 に出現した例が2回あり、水平および垂直方向ともに1.0 m前後の違いが認められたが、切羽前方数百m間の地質状 況を把握する目的を十分達せられる精度であると考えてい る。

## 4. 海底中央部の地質調査経緯

図一1に示すように海底中央部の地質は,青函トンネル 海底部で最も地質年代の若い,新第三紀層の黒松内層(砂 質泥岩を主とし,秋田地方の船川層に対比)からなり,緩 傾斜の盆状の向斜を形成している。この向斜構造は,昭和 28年から34年までに行われたドレッジングおよび音波探査 によって推定され,軟質の砂質泥岩のほか,固結度の低い 凝灰質砂岩が海底中央部に広く分布していることが分かっ ていた<sup>1)</sup>。

その後,昭和43年に試料採取位置の正確なリモコン式の 沈潜式短尺ボーリングによるコアの採取が試みられたが,



図-3 25K000m~26K400m間地質図

土と基礎, 36-7 (366)

速い潮流に阻まれて達成できなかった。しかし,技術改良 後,昭和53年9月にようやく中央部で44点のコアの採取に 成功し(コア径86mm,最大掘進長6.0m),コアを用い て岩石試験を行って圧縮強度等の物理的性質を 把握することができた2),5)。一方,先進導坑の 掘削は昭和55年末に、本州側が23km地点、北 海道側が26km地点に達した。この付近で北海 道側から行った先進ボーリングおよび止水注入 の削孔中に、湧水を伴った土砂の流出(流砂現 象)が認められたので,先進ボーリングを追加 して精査の結果, 25.5 km から 26 km までの約 **2**0m 500 m にわたって多量の地下水を胚胎した固結 度の低い砂質岩層(最大層厚25m)が緩傾斜の 向斜を形成して坑道に沿って分布していること が判明した。

なお、上記 23 km から 26 km までの 未掘削 区間を調査するため、昭和56年3月、本州側か らTB 29 号孔(l=1488 m),北海道側からB35 -1号孔 (l=2150m) の先進 ボーリングを成 功させ, 掘進新記録を 達成 するとともに 確度 の高い先方予想地質図を作成することができ た3),4)。

海底部の坑道の掘削に付随する調査として, 本坑掘削工事を開始した昭和47年から59年まで 専門技術者を現地に常駐させた。先進ボーリン グの情報および既に掘削した坑道の調査結果 (先進導坑,作業坑は縮尺1/200,本坑は1/1000 の坑道地質図を作成)に基づき,切羽前方数百

m間の湧水ならびに地質状況を推定して想定地質図 (縮尺 1/1 000)を作成して、月1回 現地で地質検 討会を開催し,止水注入および掘削を安全かつ計画 的に行うための基礎資料とした。

#### 北海道側先進導坑における調査 5.

#### 5.1 先進ボーリングの実施状況

上記の固結度の低い砂質岩層と坑道の位置関係を 明確に把握するため、方位および傾斜を変えて多数 のコアボーリングを実施した。このような数多くの ボーリングが行われた背景には、公団直轄のボーリ ング班によって主としてリバース工法3)を採用して, ある程度自在にボーリングできる技術と作業体制が 確立されていたことがあげられる(図-3参照)。

5.2 先進ボーリングにより判明した地質構造等

図-4に示すように、方位の異なる各ボーリング (B34-1など)でそれぞれ固結度の低い部分(コア 採取率が低く、砂粒となって湧水とともに流失した り、円筒状のコアが採取できない部分で、以下「不 良岩盤」と呼ぶ)が認められ、その不良岩盤を通過

した距離から計算した層厚は、いずれも約25mと予測され た。また、湧水箇所が不良岩盤内に散在することから、浸 透性(透水性)の岩層であることが推定された。



10200m

July, 1988

NII-Electronic Library Service

9900m

図-5 先進導坑地質柱状図の対比

表—1	吉岡不良岩盤岩石試験一覧表(1)	
-----	------------------	--

分	層名	層 (1	厚 m)	25k750m 付近地質 柱 状 区	比. 前	重湿	圧縮 強度 (kgl/cm²)	E裂 強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	P波 速度 (km/s)	吸水 率 (%)	含水 率 (%)	粒 粘土 5	度組成 シルト µm 7-	え(%) 日 4µm	膨張率 (%)	浸 水 崩壞度	
7	上立層				1.30	1.78	. 47.1	3.9	1.55	37.3	46.9	2	35	63	11.2	A	
不	上部層	5.6	$     \begin{array}{c}       0.3 \\       1.0 \\       1.5 \\       1.3 \\       1.5 \\      1$				(整形)- (不能)- 35.0	(#) 3.8	(#)			2	20 38	78 60	-	A —	図 C
良	中郊	10.9	5.2		-	-	32.0	2.4	-			2	23	75	-	A	
岩	層		1.0 0.1 4.6		_		38.0	2.6	-	1	-	4	22	74		A	( ] 
盤	下 部	8.7	$   \begin{array}{c}     0.8 \\     1.6 \\     1.6 \\     1.5   \end{array} $			1.88 (#2)		 1.5 	  (**2)	31.0 (*2)	45.3 (**2)	1	30 	69 	7.8		*
	層		3.2		1.39	1.85	( <u>*1</u> )3.4 16.7		0.84	33.1	46.6	3	18 24	79 74		 A	*
仁月	下立層				1.40	1.85	34.3	3.7	-	32.6	45.6	3	22	75	9.2	A	

地質凡例) \_\_\_\_ 砂質泥岩 ××× 細粒凝灰岩 二、 凝灰質砂質泥岩 (固結度低い) · 一
一
砂質凝灰岩 (固結度極めて低い) 浸水崩壊度〕 もの。 B 岩塊としては、分離するが粒 子の分散しないもの。 C 稜角部が崩壊するもの。 D 原形を留めないもの。 1……切羽採取の岩塊を立方体 (6cm角)に整形, ロード セルおよびストレインメ ーターによる。 2……坑道(先進導坑25k795m) からの垂直ボーリングコ アによる。 (上記以外は,先進ボーリ ングコアによる。)

なお,採用したリバース 工法の欠点として, 固結度 の低い岩層では, 深度が深 くなると、コアが排水とと もに管内を運搬される途中 で崩壊したり, 球状となっ たりすることがあり,この A ほとんど変化が認められない ような岩層では正循環方式 のワイヤーライン工法によ る方がコア採取率が良くな るものと考えられた。この ため, B34-4号孔でワイ ヤーライン工法の採用を試 みた結果,リバース工法を 採用したものに比べて全体 として採取率の向上が認め られた。

> その後,緩傾斜の向斜を 形成している不良岩盤層の

表一2 吉岡不良岩盤岩石試験一覧表(2)

番				比	:	重	 弾性	波速	度(m/:	s)		- • 肺 下	縮離	庻	標試	粒	粒	度(%)	·····································	吸	含	空	[
	試 料 採取場所	岩石名	岩石の特徴	乾	湿	自	ボー グコ	リン	速度相	贠層	(	(kgf)	cm <sup>2</sup>	$\hat{)}$	準験 貫 入	子比	シルト 粘土	砂	应 小 係 数	水率	水率	隙家	記事
号				燥	[ 潤	然	P波	S波	P波	S波	1	2	3	平均	(N值)	重	( <sup>74µm</sup> ) 以下)	( <sup>75µm</sup> ) 以上)	(cm/s)	(%)	(%)	(%)	
A	先進導坑 9836m (25K973m) 垂直ボーリ ング	砂質泥 岩	暗灰色 粗粒 でもろい。微 化石を含む。	1.36	1.82	1.82	1 897	-	1 900	830	16.4	11.8	15.8	14.7	50以上 (50回 (23cm)	2. 55	25.7	74.3	2.54 ×10 <sup>-6</sup>	33.8	46.0	46.6	
в	先進導坑 9837m (25K972m) 垂直ボーリ ング	砂質凝 灰岩	<ul> <li>灰色</li> <li>しろい</li> <li>しろい</li> <li>おの</li> <li>おい</li> <li>の</li> <li>おい</li> <li>おい</li> <li>の</li> <li>細</li> <li>の</li> <li>編</li> <li>を</li> <li>成</li> <li>す。</li> </ul>	1.27	1.76	1.76	1 788	_	1 700	640	3.6	1.1	3.5	2.7	50以上 (50回 (21cm)	2.56	10.3	89.7	3.27 ×10 <sup>-4</sup>	38.5	49.0	50.3	
с	先進導坑 10015m (25K794m) 垂直ボーリ ング	沙質凝 灰岩	灰色 固結度 低くもろい。 火山ガラスお よび石英に富 む。	1.49	1.89	1.89	1 850		_		3.6	3.6	4.9	4.0	_	2.63	14.0	82.0 ( 礫 4 %)	2.58 ×10 <sup>-4</sup>	26.8	40.0	43. 3	不良岩 盤下部 層



土と基礎, 36-7(366)



写真-1 吉岡先進導坑 10K051.6m 切羽上半 不良岩盤下部層で砂質凝灰岩を挟む凝 灰質砂質泥岩の部分。 縦横に走る黒色脈は注入跡。 左上方に見えるのは注入用パイプ。

表—3	PS	検層に	よ	る物理定数
-----	----	-----	---	-------

深度 (m)	単位体積重量 (gf/cm <sup>3</sup> )	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	動的ポアソン比	動的ヤング率 (kgf/cm²)×10 <sup>4</sup>	動的剛性率 (kgf/cm <sup>2</sup> )×
0~1	·	0.35	0.23	_	_	-
1~2	1.82	1.1	0.33	0.45	0.58	0.20
2~3	1.82	1.9	0.65	0.43	2.3	0.80
3~6	1.82	1.9	0.83	0.38	3.6	1.3
6~8	1.76	1.7	0.64	0.42	2.0	0.70
8~9.5	1.82	2.0	0.90	0.37	4.2	1.5

向斜軸の先方(本州側)をB35-2', B35-4, B35-5'号 孔などで追加調査した結果,不良岩盤の層厚は先方で次第 に薄くなっていることが判明した(図-5参照)。

5.3 ボーリングコアを利用した各種岩石試験結果

コアによる岩石試験結果を表一1および表一2に示す。 本地域の黒松内層は,軟質であるが安定した砂質泥岩が 主体をなしており,これに固結度の最も低い砂質凝灰岩層, やや低い凝灰質砂質泥岩層,細粒凝灰岩層および極硬質の 泥灰岩薄層を挟んでいる。

先進ボーリングで円筒状のコアが採 取されなかった砂質凝灰岩の性状につ いては、坑道掘削後,垂直ボーリング (ダブルコアチューブ使用)によって コアを採取するとともに,標準貫入試 験,PS 検層によって調査した<sup>8)</sup>(図一 6参照)。これは切羽からの止水注入 によって圧密されている(掘削後の坑 道の観察では、グラウトは縦横に脈状 に注入されている。写真一1参照)部 分を調査したことになるが、円筒状の コアを採取できたこと、一軸圧縮強度 が約4kgf/cm<sup>2</sup> あったことから、砂質 凝灰岩と名付けている層は「未固結」 と呼ぶよりは、「固結度の低い」とい

July, 1988

う表現が適切ではないかと思われた。

25K972m~25K974m間の坑内からの垂直ボーリングを 利用して行った PS 検層について述べると、3孔の区間速 度,速度境界はほぼ同じで,平均的に表-3のように物理 定数が求められ,地層構成,岩盤状態から以下の4層に分 類される。

① 0~1m 路床材の砕石,ずりを主とする。

② 1~6m この間は同一の地質状態と考えられるが、 1~3m間は、トンネル掘削による緩みにより岩盤強度 が低下しているものと考えられる。

3~6m間を岩盤本来の強度とすると,動的剛性率の 低下の割合は,(3~6m):(2~3m):(1~2m) = 1: 0.6:0.2となる。

③ 6~8m 固結度の低い砂質凝灰岩で動的剛性率は 上位,下位の地層の約50%である。

④ 8~9.5m 新鮮で堅固な岩盤に相当する<sup>8)</sup>。

5.4 湧水について

図-7に切羽止水注入時の削孔での
 10<sup>4</sup> 層準別湧水状況の一部を示したが, 湧
 水は不良岩盤の下部層に多くなってい
 ることが分かる。

湧水の水質は表-4のとおりであり, 海水に極めて近いものである が, K+ および SO<sub>4</sub>-- が海水値に比 べてやや

低い特徴がある"。

なお,一般的な岩盤から出てくる湧水の性質は,浸透し てくる間に岩盤と反応し,海水そのものの性質とは多少異 なってくるのが通常であり,海水に近いということは,岩 盤との接触面積,接触時間が少ない,すなわち透水係数が 大きいことを示すものである。

# 5.5 先進導坑の掘削状況

掘削後の切羽および側壁を観察した結果,不良岩盤通過 区間は断層が少なく,また落差も小さく,向斜軸付近で最



図ー7 「不良岩盤」の層準別湧水量(先進導坑第 141~147 回注入の湧水量)

表一4 吉岡先進導坑湧水化学分析值

	採水位置 (本坑換算粁程)	pH	Na <sup>+</sup> (epm)	K+ (epm)	Ca <sup>++</sup> (epm)	Mg <sup>++</sup> (epm)	Cl <sup>-</sup> (epm)	SO4 <sup></sup> (epm)	SO <sub>4</sub> /Cl- (epm 比)
1	9690m(26K120m)	7.8	432.8	5.0	21.5	68.7	487.2	38.1	0.08
2	9 820 (25K990m)	7.3	453.5	4.4	17.6	90.9	535.6	41.6	0.08
3	9930 (25K880m)	7.2	463.2	4.8	19.6	81.2	529.9	38.7	0.07
4	10 010 (25K800m)	7.6	460.2	4.5	18.7	81.7	531.6	39.8	0.07
5	10 330 (25K480m)	6.8	470.9	4.8	24.4	84.5	535.6	41.6	0.08
6	10 430 (25K 380m)	7.2	458.9	4.8	18.3	90.5	529.9	48.5	0.09
7	10 500 (25K310m)	7.2	461.1	6.3	20.2	93.9	531.7	49.6	0.09
(参考)	吉岡漁港海水		463.4	10.6	23.4	103.7	538.5	54.3	0.10

表一5 吉岡先進導坑における掘削後の緩み状況

測 定 区 間 (本坑換算粁程)	緩み深さ (m)	第1層 (緩 み層) 速度 (km/s)	第2層速度 (km/s)	記事
10K588m~10K300m (25K221m~25K509m)	1.0~1.5	1.70~1.80	1.90~2.10	······································
10K250m~10K130m (25K559m~25K679m)	1.0~1.5	1.30~1.50	1.70~1.90	10K214m(25K 595m)付近で緩 み最大3m
10K122m~10K050m (25K687m~25K759m)	1.0~1.5	1.30~1.50	1.70~1.90	
10K025m~9K905m (25K784m~25K904m)	1.0~1.5	1.30~1.50	1.70~1.90	9 K979m(25K 830m)付近で緩 み最大 3 m
9 K905m~9 K713m (25K904m~26K096m)	1.0~2.0	1.45~1.60	1.90~2.00	
9 K677m~9 K605m (26K132m~26K204m)	1.0~2.0	1.45~1.60	1.90~2.00	

大落差1.5m であり,破砕帯は認められない。全体的に滲 出水~滴下水があり,部分的に肌落ちがあるが,水抜き孔 の施工や切羽で注入パイプを固定したままで掘削する方法 によって崩落防止に成功している。

なお,掘削工法は,砂質凝灰岩の部分等でショートベン チ工法を採用した以外は全断面発破工法(150H馬蹄型支 保工0.6~1.0m間隔に建込み)によっており,LW注入に よる止水効果が十分表れているものと考えられる。一方, 本坑においても入念な注入後,無事掘削を完了している (図-3参照)。

5.6 掘削後の調査について

表-5に示すとおり,先進導坑において昭和60年5月~ 6月に本坑側の側壁に受振器(間隔1m)をセットして弾 性波速度測定を行った。

測定は,鉄道公団が研究を委託した鉄道技術研究所地質 研究室が開発した弾性波探査(屈折法)用高速度処理装置 を用いて行われ,緩み層の厚さが求められた<sup>99</sup>。

なお,先進導坑9K700m~11K300m間の6箇所で昭和 61年3月から62年7月まで月1回,以後6箇月に1回内空 変位を測定しているが、特に異常は認められなかった。

#### 6. 今後の課題

青函トンネルの建設にあたり,海上等からの海底地質調 査法,二重管リバース工法等,水平長尺ボーリングなど種 々の新調査技術を開発し,大きな成果を得ることができた。 特に水平長尺ボーリングの技術は,山岳トンネルにおいて も採用されており,今後は都市トンネルにおいて応用され ることが期待されるところである。

なお,固結度の低い岩盤の調査では,水平ボーリングに よるコアの完全採取は困難であることが多いため,調査の 信頼性を向上するには物理検層の一層の充実を図る必要が ある。そのため,水平ボーリングの深度数百m以上で実施 が可能な音波検層等の検層技術の開発が望まれる。

#### 参考文献

- 伊崎 晃:津軽海峡西口海底の地質,鉄道技術研究報告, No.274、1962.
- 2) 星加博二・大鹿春郎:津軽海峡西口付近におけるマリンドリルの施工,応用地質, Vol.25, No.2, 1984.
- 松下芳亮・前田憲一:水平長尺先進ボーリング,鉄道土木, Vol.25, No.3, 1983.
- 4) 星加博二・前田憲一・関口義則:青函トンネルの施工(12), 海底中央部の先進ボーリング、トンネルと地下,12-11, 1981.
- 5) 吉田不二夫・下河内稔:青函トンネルの施工(11),海底中央 部,トンネルと地下,12-1,1981.
- 6) 松下芳亮・佐々木裕:青函トンネル建設工事,先進導坑海峡 中央部不良岩盤層(含未固結砂層)の施工(上),(下),土木 施工,24巻2号,3号,1983.
- 7) 青山芳夫・立松英信・阿部 弘・松村宮吉:青函トンネル坑 内水の地球化学的研究,鉄道技術研究報告, No.1107, 1979.
- 8) 日本鉄道建設公団青函建設局:吉岡地質調査(22~28)報告書, 1980~1984.
- 9)日本鉄道建設公団青函建設局:吉岡弾性波速度測定報告書, 1985.
- 10)前田憲一・殿田広太郎・鈴木 隆:青函トンネル海底部の地 質(その1)一地質調査方法と地質の概要一,(その2)一層位 と不整合一,応用地質,24巻3号,4号,1983. (原稿受理 1988.5.17)