

未固結滞水砂質土層におけるトンネル掘削

Tunnelling in Saturated Sandy Ground

阿部 直* 田井治 好美**
Naoshi Abe Yoshimi Taiji

要 約

日本鉄道建設公団盛岡支社発注の津軽トンネル（高石股工区）工事における未固結帯水砂層のトンネル掘削において、地質及び湧水等の調査並びに水位低下のための補助工法として施した先進水抜きボーリングについて報告する。

目 次

- §1. 工事概要
- §2. 施工経緯
- §3. 掘削
- §4. 上砂流出及び対策
- §5. 流砂現象
- §6. 湧水対策
- §7. 水抜き工法の検討
- §8. 長尺ボーリングと短尺ボーリングの実績
- §9. 考察
- §10. おわりに

§1. 工事概要

1-1 工事概要

津軽海峡線本州方取付部トンネル群のうち津軽トンネルは、津軽半島の北東部に位置し、行政区画は蟹田町今別町内にある。当高石股工区は蟹田町北部の国有林内にある。昭和57年8月末に「その1工事」が、その後順次「その2工事」「その3工事」「その4工事」と発注された。導坑掘削は昭和58年2月に開始し昭和59年11月に完了した。昭和60年11月までには全体工事が完了する予定である。掘削方法は側壁導坑先進上部半断面リングカット残核工法であり、トンネル仕上り断面は新幹線断面である。

全体工事の概要を Fig.1 に示す。

1-2 地形・地質

当高石股工区付近は、標高200~300mの起伏を持った

* 東北(支)津軽トンネル(出)所長

** 東北(支)津軽トンネル(出)

丘陵地形で、向斜構造となっている。坑口付近には蛇行した蟹田川が流れ、その支沢が発達している。また、Fig. 2のトンネル縦断に示すように土被りは全体的に薄く最小土被りは3mで10m程度の土被り箇所は4箇所ある。

グリーンタフ地域にあり、路線全体の地質構造は新第三紀の堆積盆と考えられる。掘削箇所の地質は鮮新世の蟹田層といわれている固結度の低い帯水性を有する細~中粒砂岩を主とし、泥岩、凝灰岩、礫岩を挟在している。また本層の砂は比重2.6前後、粒径0.074mm以下のもの10~20%、平均粒径0.3mm、均等係数は10以下であるとの土質試験結果を得ており、一般に、流砂現象を生じ易い性質を有すると判断できる。導坑掘削中に流砂現象を生じた箇所の土質工学的性質等の詳細は後述する。

§2. 施工経緯

当トンネルの周辺地山は、未固結帯水砂層が主体であり、地下水の流動と相まってわずかな湧水でも流砂現象を引き起こす。その対策としては、掘削に先立ち、掘削断面の外側にトンネルに平行して長尺ボーリングを削孔して地質及び湧水の調査を行い、その孔を利用して水を抜き、その状況を確認しながら導坑を掘進する計画を立てた。

昭和58年1月坑口の左右から $l=350\text{m}$ の長尺ボーリングを開始したが、左側は236mの地点、右側は262mの地点でジャーミング等のトラブルを起こして削孔不可能となった。原因はケーシングと地山との摩擦が予想以上に大きく、ケーシングの回転が不可能であることが解った。そのため削孔を中止してその地点でストレイナーを

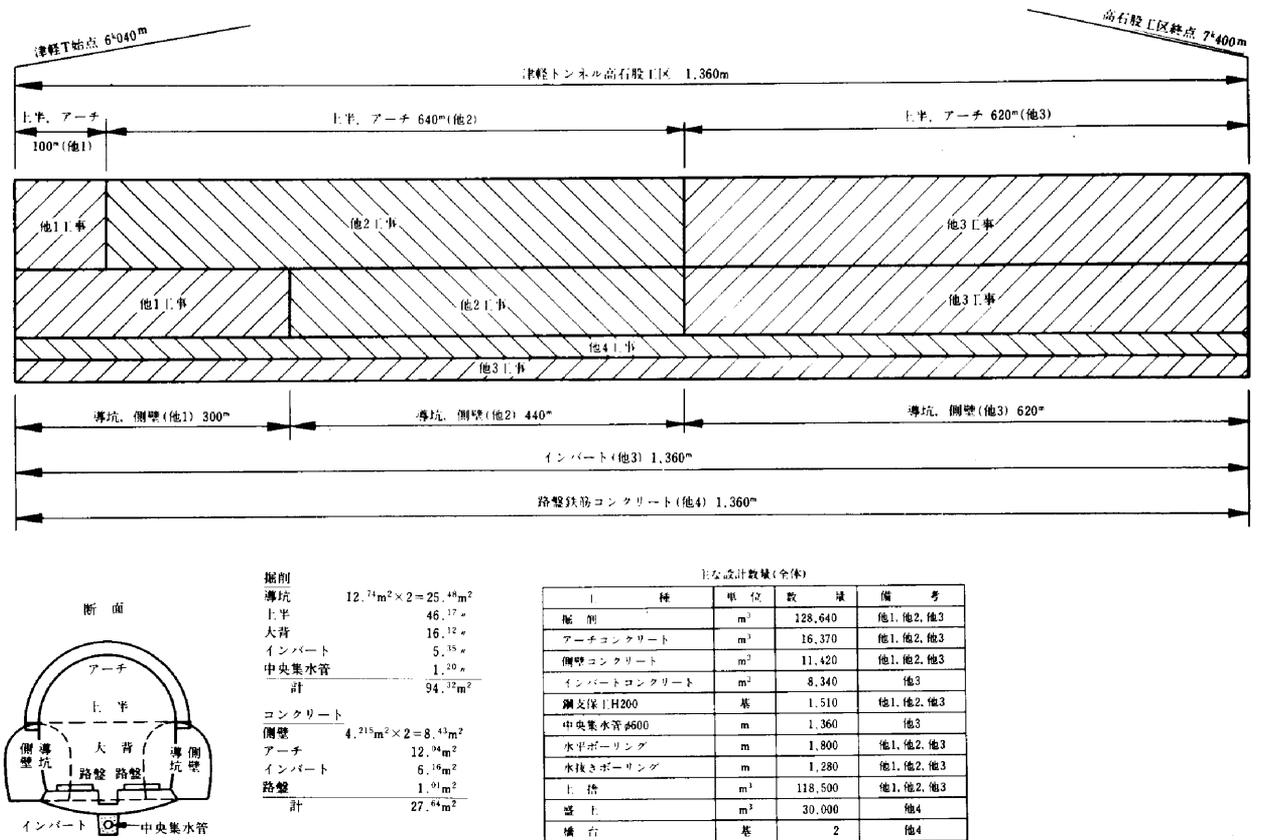


Fig.1 工事概要

挿入し水抜きを行った。左右とも湧水量は約1000ℓ/minあった。時間の経過(約2週間)と共に湧水量は減少し約400ℓ/minまで下がったが以後あたり変化が見られないので2月16日から導坑の掘削を開始した。その後200mまでは導坑掘削も順調に進捗したが、その付近から少量の湧水(切羽全面に出汗した状況)を伴う小規模の流砂現象が見られた。そこで一切羽ごとにエヤオーガでl=3~5mの探り削孔をして湧水状況を確認ながら掘進したが、207m地点で探り孔から湧水と共にモルタル状の砂が流出するに及び導坑掘削を中止して、応急対策としてバルクヘッド等を築き流砂を防いだ。この時流出した土砂は約180m³であった。導坑の掘削再開に際し反対側の導坑から短尺ボーリング(外管φ130,内管φ87の二重管リバース工法l=30~50m)で水抜きを行った結果、流砂現象が見られなくなったので掘削を再開し無事その地点を掘削することができた。この原因は坑口から施工した長尺ボーリングからの水抜きが200m付近までしか抜けていなかったことである。水が抜けている箇所では容易に掘削が可能であることを基にして当初計画を変更し、以後導坑が150m進むたびに200mの長尺ボーリングで地質及び湧水状況を調査し、水抜を行うと共に湧水

の状況に応じて50m程度の短尺ボーリングを複数で切羽から左右に削孔して水抜きを行った。その結果昭和59年11月に1360mの導坑掘削を大事なく完了させることができた。

§3. 掘削

掘削工法は、先進水抜きボーリングを補助工法とした側壁導坑先進上部半断面リングカット残核工法を採用した。この工法の採用理由は次のとおりである。

- 1 多量の湧水と流砂が心配される未固結水砂層の掘削において先進水抜きボーリングが左右導坑のどちらからでも施工できる。
- 2 左右導坑を先進させるので導坑自体が水抜き孔の役目を果たすことになり、上半掘削時の安全性及び施工性が向上する。
- 3 万が一側壁導坑が湧水流砂等で閉塞された場合でも一方の導坑から手当てが可能である。

上記工法で導坑掘削を行った結果を述べると全長1360mの内、膠結砂岩部あるいは固結度の高い泥岩凝灰岩部で人力によるピック掘りの不可能な箇所では発破工

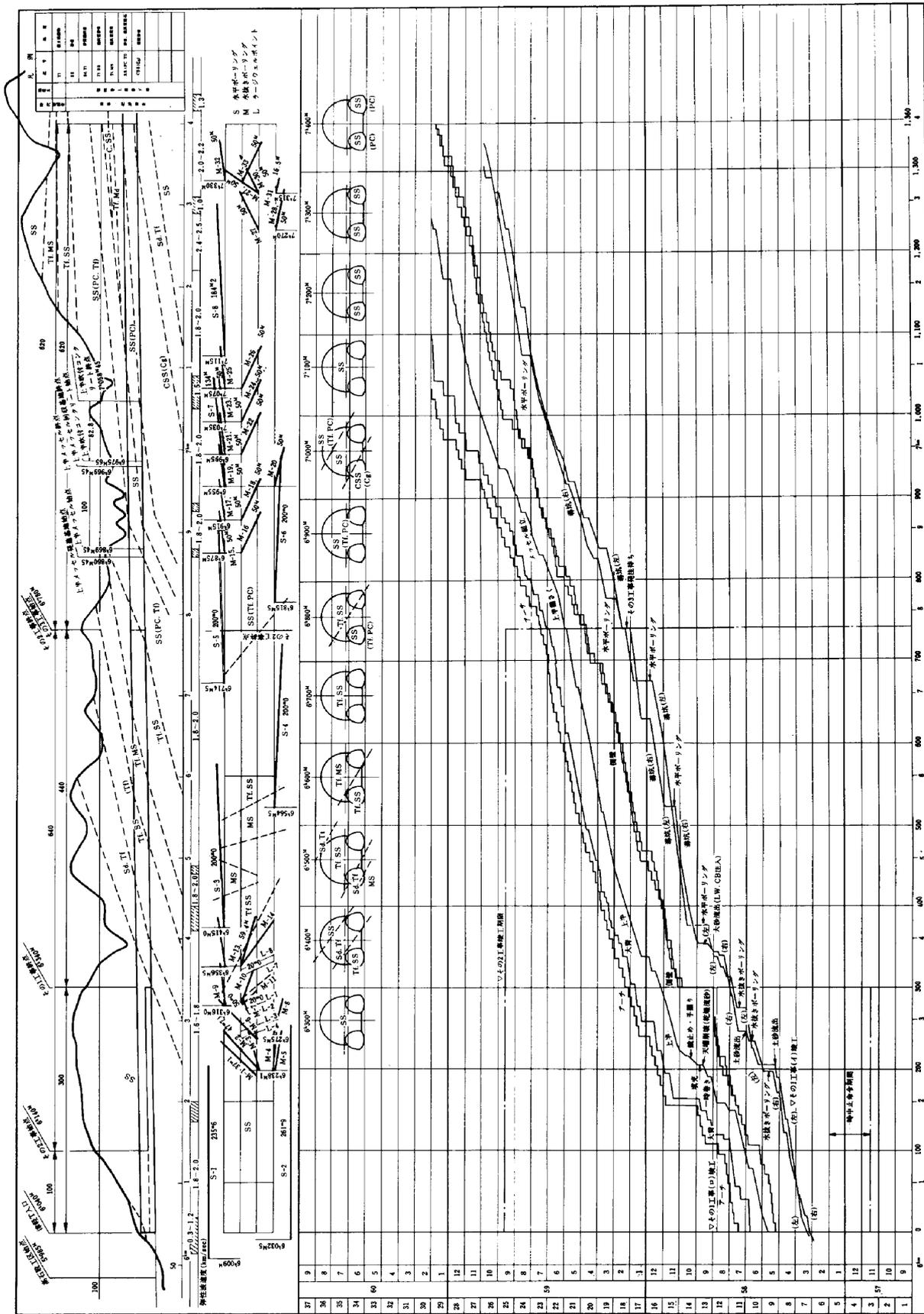


Fig.2 工事概要

法を用いた。上半掘削時に於ては砂層部の水分が抜け過ぎて乾燥流砂を生じ矢板の隙間から砂時計のように砂が流れ出し矢板の裏に大きな空隙ができたこともある。土被りの薄い箇所(3m)の上部は沢が蛇行しているため、沢水をφ500の硬質塩ビパイプで切替え坑内流入を防ぎ更に約100m間にわたるメッセル工法を用いて上半掘削を行った。青函トンネルへの送電用鉄塔の下部通過箇所(土被り20m)では地表沈下及びトンネルの内空変位等の測定をしながら将来の沈下を考慮して吹付コンクリートで早期仮巻を行い大事に至ることなく無事通過した。現在は従来の矢板工法で上半掘削を進めており昭和60年3月末には完了の予定である。

実施工程を Fig.2 に、施工順序図を Fig.3 に示す。

§4. 土砂流出及び対策

4-1 土砂流出

昭和58年2月から導坑掘削を開始して坑口から200mまで順調に進捗したが左導坑200m地点から切羽全面に汗状の湧水が見られるようになった。204mまで掘り進んだところで天端の節理面から30ℓ/minの湧水と共に土砂流出を引き起こした。エヤオーガで探り孔を掘り湧水を確認しながら207mまで進んだ地点で探り孔から濁水と共にモルタル状の土砂が流出した。その後断続的に1~3トンの濁水と共に砂が流れ出し鏡を崩壊したので切羽より3m手前に第1の土砂流出防護柵を設け様子を見た。しかし流出した砂が防護柵を越え出したので更に5m手前に第2の土砂流出防護柵を設けたがそれでも押え切れずに第3の土砂流出防護柵を設けようやく流砂を押えることができた。この時の土砂流出量は180m³に達した。なお地表の変位に異状は見られなかった。

4-2 対策

復旧対策として、左右導坑から短尺の水抜きボーリングを行い流出により生じた空洞はモルタルで填充した。(Fig.4 参照)

(Fig.4 参照)

- 1) 右側導坑から短尺の水抜きボーリングを5本削孔
 - 使用機械 TOP-L, 外管 φ130, 内管 φ87ケーシングパイプによる二重管リバーシ工法 $l=37.1m \sim 47.7m$
 - φ101.6ストレーナ(スリット加工 $l=2.7m$ 12本 メクラ $l=2.7m$ 7本) で水抜き
- 2) 左側導坑からの水抜け具合を調べるため、4本のチェックボーリングをトンネル縦断に平行に削孔
 - 使用機械 KS-5 φ65ケーシングパイプ使用
- 3) 左側導坑から空洞を調べるため、10本のチェックボーリングをトンネル縦断に対し仰角40°~50°に削孔
 - 使用機械 THS-70 φ50ケーシングパイプ使用
- 4) 流出土砂による空洞に対しモルタル及びコンクリートの填充を行う。

導坑上部…エヤモルタル填充

上半上部…モルタル及びコンクリート填充

(Fig.4 参照)

以上の作業に約1箇月を要したが、水の抜け切った地山(一部崩壊土砂も含む)は比較的簡単に掘削ができた。その後50mの短尺ボーリングで水抜きを繰り返し、一部ウエルポイントも併用しながら掘削した。地質がある程度良くなった地点で200mの長尺ボーリングと50mの短尺ボーリングを組合せ土質調査と水抜きを確実なものとし導坑掘削を進めた。長尺短尺ボーリングによる水抜きパターンを Fig.5 に示す。また先進水抜きボーリングによる排水状況を Photo 4,5 に示す。

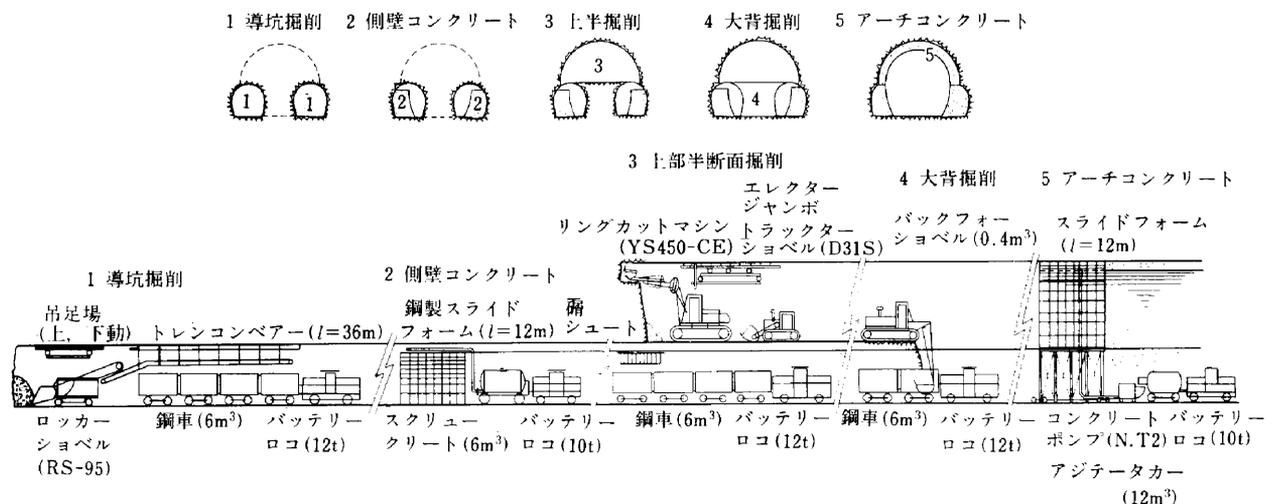


Fig.3 施工順序図

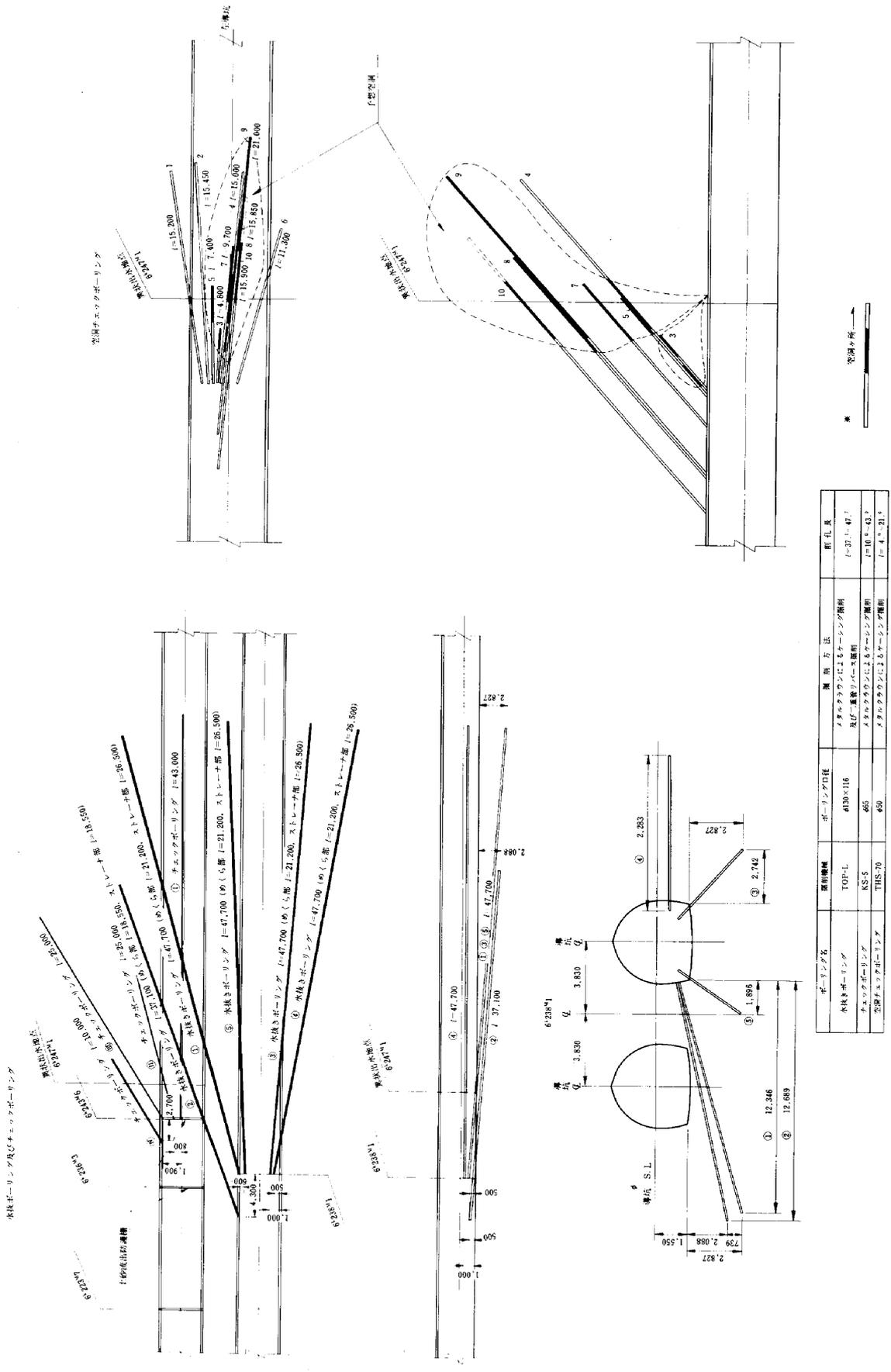


Fig.4 出水箇所調査ボーリング

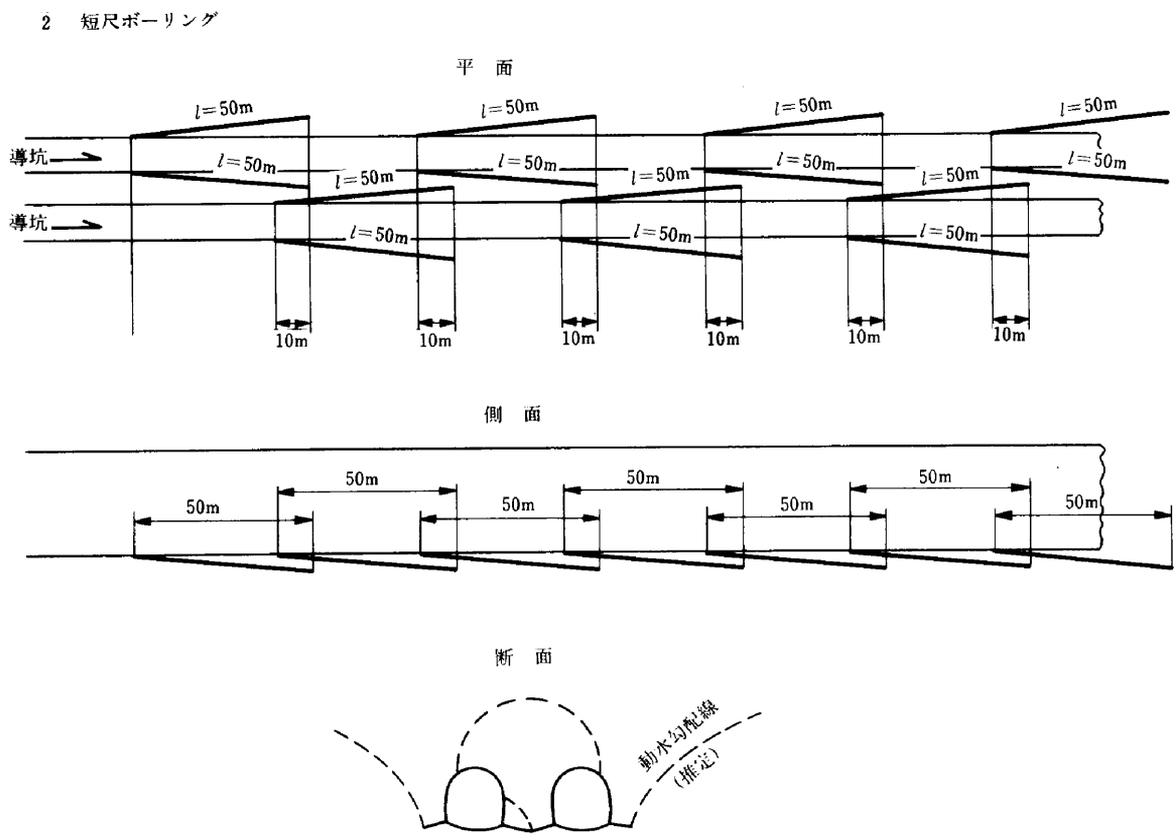
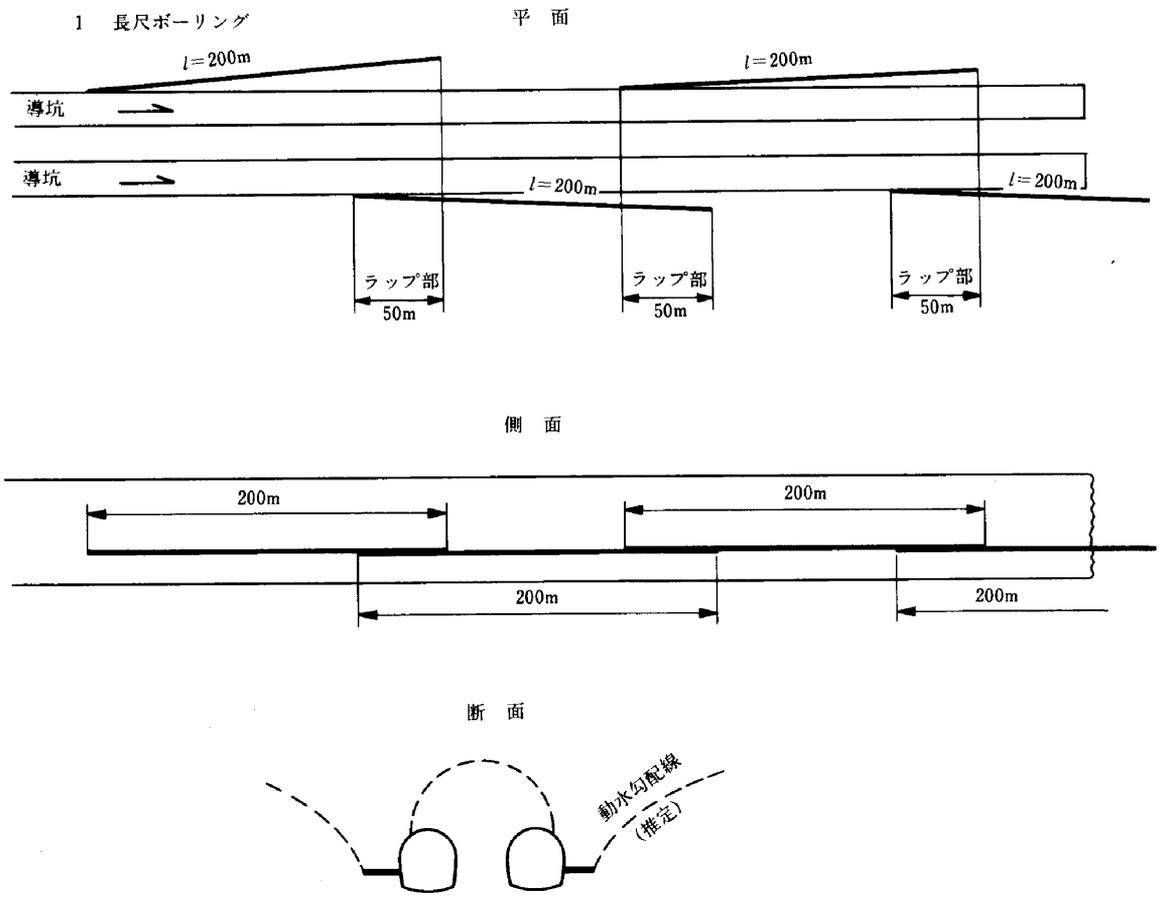


Fig.5 ボーリングのパターン

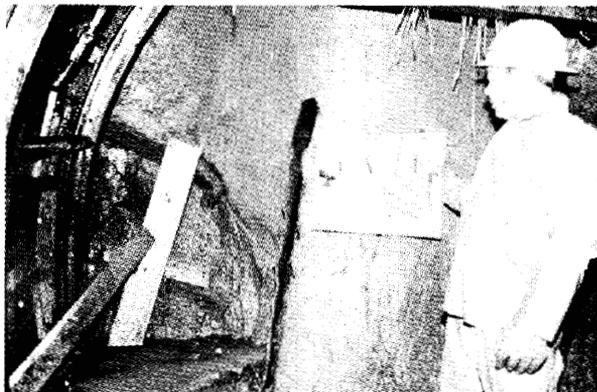


Photo1 左導坑湧水状況

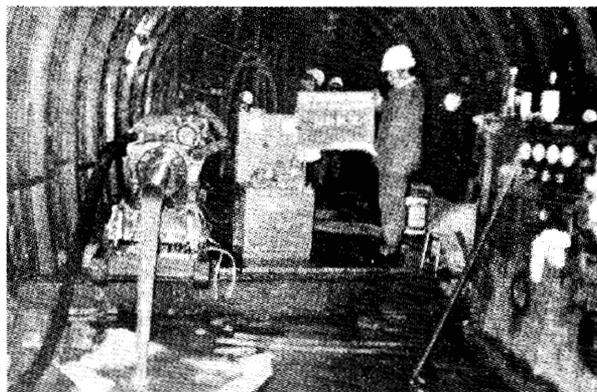


Photo4 水平ボーリング掘削状況

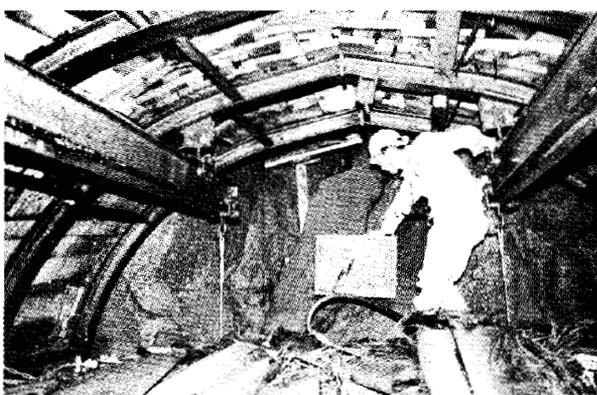


Photo2 導坑切羽

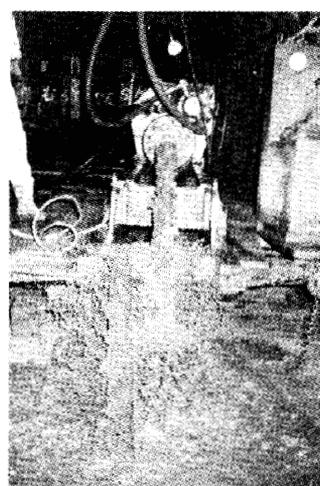


Photo5 水抜き孔排況

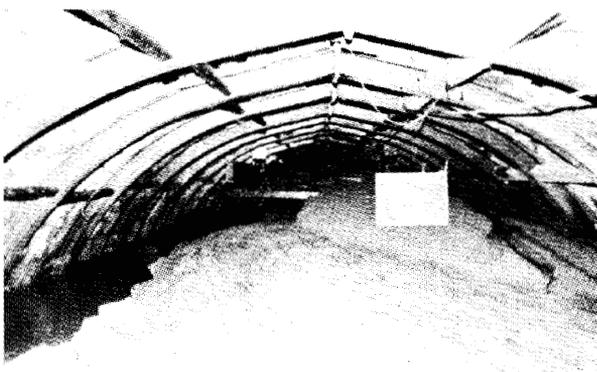


Photo3 左導坑砂流出状況

§5 . 流砂現象

当導坑掘削における流砂現象は、比較的少量の湧水により切羽表面の砂粒子が流され、坑奥へと連鎖し広がって行くものであった。流砂発生箇所の粒度分布を Fig.6 に、土質工学的性質を Table1 に示す。これによると流砂発生箇所の地山は流砂を発生し易い条件（バインダー成分が10%以下は「流砂発生範囲」10%~20%は「流砂注意範囲」）をことごとく満足しており、この現象を裏付

けるものである。また、先進ボーリング削孔中に削孔水あるいは湧水によりバインダー成分が洗い流されケーシングの周囲で流砂現象が発生し、流れ出した砂とケーシングとの摩擦により回転トルクが上昇し削孔中断を余儀なくされた箇所もあった。上記の理由により流砂現象の生じ易い砂層におけるボーリングは技術的に最大200mが限度であることを知った。

§6 . 湧水対策

当トンネルの地質はおおむね透水係数が $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/sの透水性のよい地山であるが、この砂層中には薄い難透水層が複雑に挟在しており、同じような砂質でありながら微妙な地相の違いにより湧水状況が異なり掘削に影響を及ぼしている。各切羽の流砂発生状況の観察及び長尺先進ボーリングの地質調査等を併せて区分した地質ごとの特徴をまとめたものを Table2 に示す。

この表をもとにして長尺及び短尺ボーリングで知り得た地質の情報を参考に湧水対策を立てた。

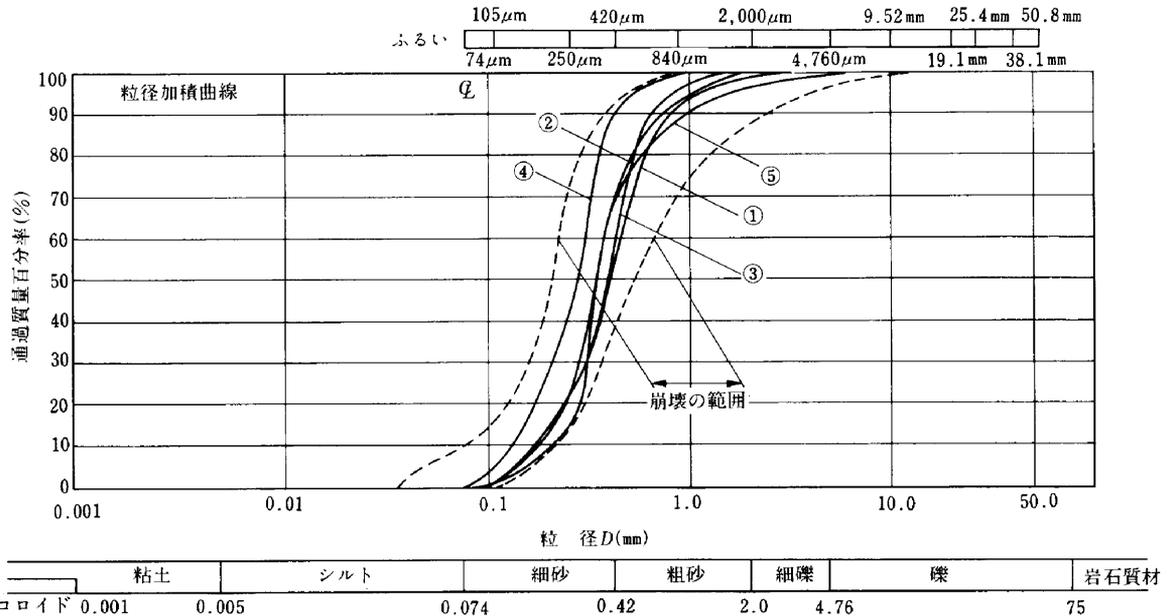


Fig.6 粒度分布

Table1 流砂現象を起こした箇所の土質工学的性質

位置 名称 No.	6*955m			7*115m	7*315m	流砂の起き易い条件
	45m	75m	132m	181m	5	
比重	2.59	2.58	2.58	2.59	2.60	$G < 2.65$
バインダー分	0.5	0.7	0.3	3.0	1.4	$< 10\%$
均等係数	2.0	1.95	1.64	2.4	2.5	$VC = D_{60}/D_{10} < 4$
10%粒径	0.22	0.19	0.22	0.12	0.17	$D_{10} < 0.15\text{mm}$
60%粒径	0.44	0.37	0.36	0.29	0.43	$D_{60} < 1.5\text{mm}$
砂の含有量	98.7	96.5	99.1	97	98.5	$> 90\%$
備考	流砂	流砂	流砂の為、ケーシングを取られ中止	左同	左同	

§ 7. 水抜き工法の検討

上記湧水対策を踏まえ有効な水抜き方法を比較検討した。その中で実際に施工した工法を Table3 に挙げ長所短所を比較してみた。

§ 8. 長尺ボーリングと短尺ボーリングの実績

地質、湧水状況の確認及び水抜きの効果等補助工法としての上記ボーリングも初期の目的をほぼ達し終了したのでここに施工実績を Table4, Table5 に示す。

長尺ボーリングにおいて、日平均進行を見るとかなりのバラツキが見られる。これは流砂現象の発生したかどうかの違いが主な原因である。しかし、流砂現象の発生した箇所においても、S-1とS-2及びS-7とS-8と

較べると約1.7倍もの差がある。これは流砂等によるトラブルの処置の方法の違いである。つまりS-1, S-2は流砂の発生が認められても当初の計画通り削孔しようと無理に続行しケーシングの切断等の事故に見舞われ、ケーシング回収等に日数が費やされたためである。S-7, S-8の場合はそれまでの経験から削孔中止の基準を程度の差はあるが流砂の発生した地点と決めたため、早めの処置ができて損失日数が少なくて済んだことである。これは作業日数の「その他」の欄を見れば解る。流砂現象の見られなかったS-4, S-5, S-6は地質が一定だったことと比較的固結した地層が長く続いたため、削孔速度は遅いが確実な進行が取れたことである。

短尺ボーリングは1回の機械搬入で2~5本を施工しているため、1本当りの日平均進行は多少バラツキが有

Table2 地質による特長及び水抜きの方法

	地質区分	流砂発生	切羽の自立性	湧水	水抜き方法	問題点	水抜効率	ボーリング方式
1	均質でゆるい砂岩層（中～細粒砂岩から成る）	湧水に伴ない発生率が大きい	湧水が少なければ自立する		水抜きボーリング(短尺) ウェルポイント	地山をゆるめる。地山に空洞を作る可能性あり	良好	短尺ボーリング
2	凝灰質砂岩及び膠結砂岩を挟むゆるい砂岩層（中～細粒砂層と固結した砂岩の互層部）	湧水に伴ない発生し易い（中～細粒砂層が多い場合）	10～20ℓ/min程度の湧水でも一応は自立する	地質の境界面から湧水する	水平ボーリング(長尺) 水抜きボーリング(短尺) ウェルポイント	水抜き時間がかかる	良好	長尺ボーリング 短尺ボーリング
3	凝灰質泥岩、砂質凝灰岩及び泥質砂岩層を挟むゆるい砂岩層(互層)	砂岩優勢な層では湧水に伴ない発生する	凝灰質泥岩、砂質凝灰岩が優性であれば自立する	地質の境界面から湧水する。ガマ部がありそこに当たると湧水する	水平ボーリング(長尺) 水抜きボーリング(短尺)		泥岩層が不透水層となり効率が悪い	水平ボーリング
4	軽石及び礫混りの砂岩（粗粒～中粒砂岩）	発生率は少ない	自立する	多量の湧水を生じる時がある	水平ボーリング(長尺) 水抜きボーリング(短尺) ウェルポイント		極めて良好	水平ボーリング 水抜ボーリング ウェルポイント
5	膠結砂岩層砂質凝灰岩泥質砂岩層の互層	発生率は極めて少ない	自立する	ガマ部があり時々多量の湧水がある	水抜きの必要はないがチェックボーリング等でガマを調べる必要あり			削岩機（オーガ） l=5m程度

Table3 各水抜き方法の特徴

工法	内容	長所	短所	工期	工費
ウェルポイント (ジャンボウェルも含む)	導坑切羽から前方斜め下方へ打込バキュームで強制排水 l=1.8m～5.5m	<ul style="list-style-type: none"> 設備が簡易である 切羽の状況を見て判断できる為効果的である 掘削のサイクルに組込める 透水係数$10^{-2} \sim 10^{-3}$cm/secの砂層で有効 	<ul style="list-style-type: none"> 多量の地下水の排水は困難である 細粒砂では効果が少ない 	早い	小
水平ボーリング (長尺)	導坑切羽から前方200mのボーリングをしてストレーナを入れて排水する自然排水又はバキュームで強制排水できる	<ul style="list-style-type: none"> 施工の回数が少なくてすむ 切羽前方の排水が可能である 事前に前方の地質、湧水等を把握できる 	<ul style="list-style-type: none"> 段取りに時間がかかる 排水に伴なう砂流出により地山に空洞を作る可能性あり 流砂にともなうジャーミング等のトラブルを生じる可能性多い 孔曲りの可能性が多い トラブルが生じると復旧に手間どる 	遅い	大
水抜きボーリング (短尺)	導坑切羽から前方へ50m前後ボーリングをして排水バキュームで強制排水及び自然排水	<ul style="list-style-type: none"> 仮設が簡易ですむ 施工が早い 掘削サイクルに組み込める 事前に前方の地質、湧水等を把握できる 	<ul style="list-style-type: none"> 排水に伴なう砂流出により地山に空洞を作る可能性がある ボーリングの回数が多くなる 	早い	小

Table4 長尺ボーリングの実績

No	延長 m	作業日数(日)				作業人員数(人)				日当り平均進行(m/日)			人員(歩掛)(人/m)			備考
		仮設日	削孔日	その他	計	仮設	削孔	その他	計	削孔日 当り	削孔日 その他 含む	作業日 当り	削孔	削孔及び その他	全体	
S-1	235. ⁶	8	12	9	29	38	60	34	132	19. ⁶³	11. ²²	8. ¹²	0.225	0.399	0.560	坑口(左)流砂
S-2	261. ⁹	9	13	8	30	39	105	30	174	20. ¹⁵	12. ⁴⁷	8. ⁷³	0.401	0.515	0.664	坑口(右)流砂
S-3	200. ⁰	5	12	10	27	28	113	97	238	16. ⁶⁷	9. ⁰⁹	7. ⁴¹	0.565	1.050	1.190	6 ^A 415 ^M (左)流砂
S-4	200. ⁰	5	12	1	18	31	114	10	155	16. ⁶⁷	15. ³⁸	11. ¹¹	0.570	0.620	0.775	6 ^A 564 ^M (右)
S-5	200. ⁰	5	12	1	18	30	116	9	155	16. ⁶⁷	15. ³⁸	11. ¹¹	0.580	0.625	0.775	6 ^A 714 ^M (左)
S-6	205. ⁰	4	8	2	14	43	77	19	139	25. ⁶³	20. ⁵⁰	14. ⁶⁴	0.376	0.468	0.678	6 ^A 815 ^M (右)
S-7	134. ⁰	2. ⁵	4. ⁵	1. ⁵	8. ⁵	25	45	15	85	29. ⁷⁸	22. ³³	15. ⁷⁶	0.336	0.448	0.634	6 ^A 955 ^M (左)流砂
S-8	184. ²	2. ⁵	5. ⁵	6	14	20	55	26	101	33. ⁴⁹	16. ⁰²	13. ¹⁶	0.299	0.440	0.548	6 ^A 915 ^M (左)流砂
計	1,620. ⁷	41. ⁰	79. ⁰	38. ⁵	158. ⁵	254	685	240	1,179	20. ⁵²	13. ⁷⁹	10. ²³	0.423	0.571	0.727	

*仮設……機械搬入、掘削段取、撤去、搬入、片付
 削孔……削孔、ケーシング挿入、抜管、ストレーナ挿入
 その他……機械故障、修理、トラブル(管の切断、回収、流砂が管内に入り洗浄、ジャミング他)
 *NoはFig.2参照

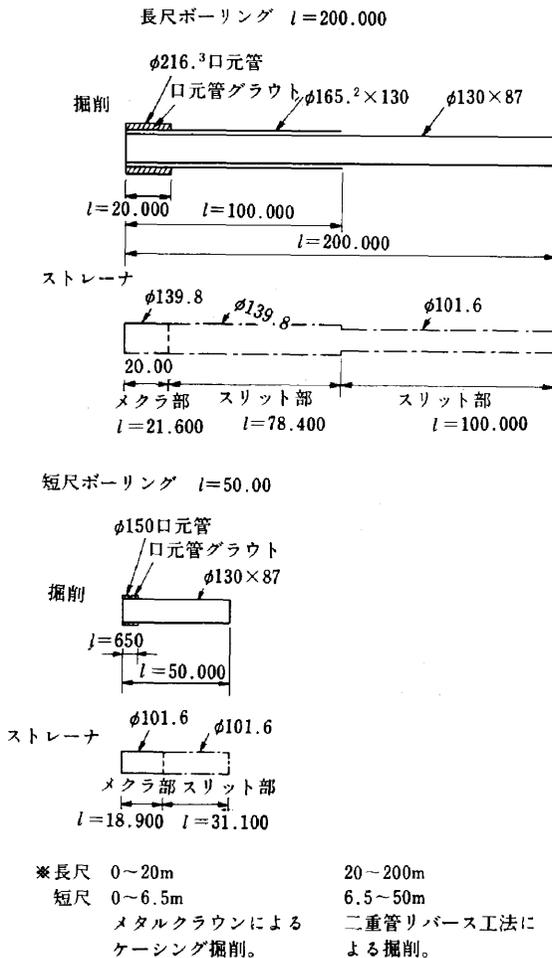


Fig.7 長尺ボーリング及び短尺ボーリング施工標準

るが1回当たりでは平均している。

長尺ボーリングと短尺ボーリングの施工標準を Fig.7 に示す。

§9. 考察

長尺ボーリング及び短尺ボーリングの実績を整理比較したものを Table6 に示す。これによると日当り平均進行、作業人員において、長尺ボーリングは短尺ボーリングの約2倍を要した。また、トラブルの復旧においても長尺は短尺に較べ約2.6倍の日数を要していることが解る。これは未固結帯水砂層における先進長尺ボーリングは孔曲りジャミング等のトラブルの生じる率が高いことが原因である。固結度が高く流砂等の心配の無い地山においては長尺の方が有利であると思われるが、未固結帯水砂層におけるボーリングは短尺の方が切羽を止める回数が増えるが確実にトンネルを掘ることができるので経済的にも安全的にも有利である。

§10. おわりに

未固結帯水砂層地山の掘削の初期において湧水、土砂流出等の貴重な経験から得た教訓は、トンネル掘削を円滑に進める上で、地山の水をいかに早く抜くかというこ

Table5 短尺ボーリングの実績

	延長 (m)	作業日数(日)				作業人員数(人)				日当り平均進行(m/日)			歩掛(人員/m)			備考	
		仮設日	削孔日	その他	計	仮設	削孔	その他	計	削孔日 当り	その他 を含む	作業日 当り	削孔	削孔 その他	全体		
1	M-1	37.1	0.3	0.5		0.8	3	6	9	74.20		46.38	0.162		0.239		
	M-2	47.7	1.0	1.2		2.2	10	12	22	39.75		21.68	0.252		0.462		
	M-3	47.7	0.6	1.9		2.5	7	19	26	21.11		19.08	0.398		0.545		
	M-4	47.7	0.5	1.0	0.5	2.0	6	12	5	23	47.70	31.80	23.85	0.252	0.356	0.482	
	M-5	51.2	0.8	1.2		2.0	9	11		20	42.67		25.60	0.215		0.391	
	小計	231.4	3.2	5.8	0.5	9.5	35	60	5	100	39.90	36.73	24.36	0.259	0.281	0.432	
2	M-6	50.35	1.2	1.3		2.5	11	13	24	38.73		20.14	0.258		0.477		
	M-7	50.35	0.3	0.7	1.0	2.0	3	7	11	71.93	29.62	25.18	0.139	0.357	0.417		
	M-8	50.35	0.2	0.8		1.0	2	9	11	62.94		50.35	0.179		0.218		
	小計	151.05	1.7	2.8	1.0	5.5	16	29	11	56	53.95	39.75	27.46	0.192	0.265	0.371	
3	M-9	51.0	1.5	1.2		2.7	15	15	30	42.50		18.89	0.294		0.588		
	M-10	51.0	0.3	1.2		1.5	4	13	17	42.50		34.00	0.255		0.333		
	M-11	23.11	0.2	0.7		0.9	2	7	9	33.01		25.68	0.303		0.389		
	小計	125.11	2.0	3.1		5.1	21	35	56	40.36		24.53	0.280		0.448		
4	M-12	59.40	1.2	1.3		2.5	12	14	26	45.69		23.76	0.236		0.438		
	M-13	59.40	0.3	1.8		2.1	3	14	17	33.00		28.29	0.236		0.286		
	M-14	59.40	0.2	0.9	0.3	1.4	2	9	3	14	66.00	49.50	42.43	0.152	0.202	0.236	
	小計	178.20	1.7	4.0	0.3	6.0	17	37	3	57	44.55	41.44	29.7	0.208	0.224	0.320	
5	M-15	50.50	1.5	1.6	0.7	3.8	10	9	4	23	31.56	21.97	13.29	0.178	0.257	0.455	
	M-16	50.50	1.0	1.7		2.7	8	8	16	29.71		18.70	0.158		0.317		
	小計	101.00	2.5	3.3	0.7	6.5	18	17	4	39	30.61	25.25	15.54	0.168	0.208	0.386	
6	M-17	50.68	1.1	1.0		2.1	9	8	17	50.68		24.13	0.158		0.335		
	M-18	50.45	1.5	2.3		3.8	12	19	31	21.94		13.28	0.377		0.614		
	小計	101.13	2.6	3.3		5.9	21	27	48	30.65		17.14	0.267		0.475		
7	M-19	50.0	1.0	1.3		2.3	10	13	23	38.46		21.74	0.260		0.460		
	M-20	50.5	1.4	1.6		3.0	14	16	30	31.56		16.83	0.317		0.594		
	小計	100.5	2.4	2.9		5.3	24	29	53	34.66		18.96	0.289		0.527		
8	M-21	50.45	0.8	1.1		1.9	8	9	17	45.86		26.55	0.178		0.337		
	M-22	50.45	1.2	1.2		2.4	9	9	18	42.04		21.02	0.178		0.357		
	小計	100.90	2.0	2.3		4.3	17	18	35	43.97		23.47	0.178		0.347		
9	M-23	50.50	0.9	1.1		2.0	8	8	16	45.91		25.25	0.158		0.317		
	M-24	50.40	1.1	1.4		2.5	9	11	20	36.00		20.16	0.218		0.397		
	小計	100.90	2.0	2.5		4.5	17	19	36	40.36		22.42	0.188		0.357		
10	M-25	51.40	1.4	0.9		2.3	9	6	15	57.11		22.35	0.117		0.292		
	M-26	51.80	1.2	1.0		2.2	8	7	15	51.80		23.55	0.135		0.290		
	小計	103.20	2.6	1.9		4.5	17	13	30	54.32		22.93	0.126		0.291		
11	M-27	52.0	1.3	0.9	0.6	2.8	11	9	4	24	57.78	34.67	18.57	0.173	0.250	0.462	
	M-28	52.0	0.9	0.8		1.7	9	7	16	65.00		30.59	0.135		0.308		
	小計	104.0	2.2	1.7	0.6	4.5	20	16	4	40	61.18	45.22	23.11	0.154	0.192	0.385	
12	M-29	52.65	1.1	1.2		2.3	11	8	19	43.88		22.89	0.152		0.361		
	M-30	52.65	0.8	1.2		2.0	5	7	12	43.79		26.28	0.133		0.228		
	M-31	16.55	1.0	0.5		1.5	7	5	12	33.10		11.03	0.302		0.725		
	小計	121.75	2.9	2.9		5.8	23	20	43	41.98		20.99	0.164		0.353		
13	M-32	51.4	0.4	1.0		1.4	4	8	12	51.40		36.75	0.156		0.233		
	M-33	51.4	1.8	1.1	3.4	6.3	16	9	49	46.73	11.42	8.16	0.175	0.642	0.953		
	小計	102.8	2.2	2.1	3.4	7.7	20	17	24	61	48.95	18.69	13.35	0.165	0.399	0.593	
計	1,621.94	30.0	38.6	6.5	75.1	266	337	51	654	42.02	35.96	21.31	0.208	0.239	0.403		

1回セット当り 全平均	124.8	2.3	3.0	0.5	5.8	20.5	25.9	3.9	50.3	41.60	35.66	21.51	0.208	0.239	0.403	
トラブルあり 1回セット当り	144.7	2.3	3.0	1.1	6.7	21.0	29.3	8.5	58.8	43.86	32.90	21.60	0.202	0.261	0.406	
トラブル無し 1回セット当り	107.6	2.4	2.8	0	5.2	20.0	23	0	43	38.44		20.70	0.213	0.213	0.399	

Table6 水平ボーリング(長尺)と水抜きボーリング(短尺)との比較

名称	日当り平均進行(m/日)			歩 掛(人員/m)			ボーリング1回当り 仮設日数(日/回)	ボーリング1回当り 仮設の人員(人員/回)	備 考
	削孔日当り	その他を含む	作業日当り	削 孔	その他を含む	全 体			
水 抜	42. ⁰²	35. ⁹⁶	21. ³¹	0.208	0.239	0.403	2. ³	20. ⁴	
水 平	20. ⁵²	13. ⁷⁹	10. ²³	0.367	0.571	0.727	5. ¹	31. ⁷	
水抜/水平	2. ⁰	2. ⁶	2. ¹	0. ⁶	0. ⁴	0. ⁶	0. ⁵	0. ⁶	

とがいかに重要であるかということである。当トンネルのように流砂現象を生じ易い地山に対する先進水抜きボーリングは、長尺ボーリングを従に短尺ボーリングを主に用いることにより、確実な排水と施工を可能し、トンネル掘削に有効な補助工法となり得た。地形地質等の違いにより当然水抜きの方法は種々異なり各トンネルにおいてその諸条件に見合った水抜き工法を検討する必要があると思われる。当トンネルの経験がその一助となれば望外の喜びである。