

IV-5 多摩丘陵地帯のトンネル(武蔵野南線生田トンネル)掘さく

日本鉄道建設公団東京支社  
正会員  
森藤真治

1. まえがき

日本鉄道建設公団では昭和45年より東京外環状線の一部を構成している。武蔵野南線生田トンネルを建設中である。生田トンネルは新第三紀層よりなる多摩丘陵を土盛り20~80mで抜けるアーストンネルであるが、全長10.3kmのうち約4kmが流砂現象で非常に難工事となった。4kmもの長い区間に亘り、地質状況、滞水状況、地表利用状況等がかなり異なっており、流砂現象の対処法も地域の性状に添ったものとなった。本稿では4kmの流砂区間のうち、東長沼、菅、生田3工区について述べる。

2. 生田トンネルの地形および地質

生田トンネルの通過地域は、東京都と神奈川県に亘る長くて広がる多摩丘陵である。多摩丘陵は第三紀鮮新世の三浦層群を基盤としており、これを第四紀の段丘礫層および関東ローム層が不整合におよんでいる。右の部分には沖積層が5~20mの深さで存在し、全体として海拔70~100m程度の丘陵地となっている。最近この地域での開発は急で、住宅団地や民間の宅地造成等により、かなりの範囲で原状をどめなくなっている。生田トンネルの通過する深さでの地質は、三浦層群のうち高津互層、箱崎砂層からなっている。新鷲見起莫10kmから15kmまでは一部細砂層をはさんだ泥岩層(高津互層)で18kmから20km間は細~中砂からなる中園錐の箱崎砂層で、15kmから18kmはこの二つの層が指交状となったり、レンズ状となり激しく層相が変化していて同時異層と考えられている。14km以上は同斜構造、20km以上は管斜構造がある(図-1)。

3. 生田トンネルの施工計画

全長10km余の長大複線長大断面道であるので、工程および作業基地設置が可能な条件で9工区に分割した。地質を鑑み起莫側より4工区は盾构専攻先遣上半掘さく工法、パンチカット工法、残り5工区は側壁専攻先遣上半掘さく工法とし、支

凡例

第三紀	鮮新世	T <sub>c</sub>	固結シルト
		T <sub>s</sub>	細~中砂
第四紀	沖積世	O <sub>1</sub>	砂れき
			風化火山灰
	沖積世	t, D <sub>1</sub>	表土, 二次ローム
		A <sub>1</sub>	砂質土
世		A <sub>2</sub>	砂れき
			粘性土

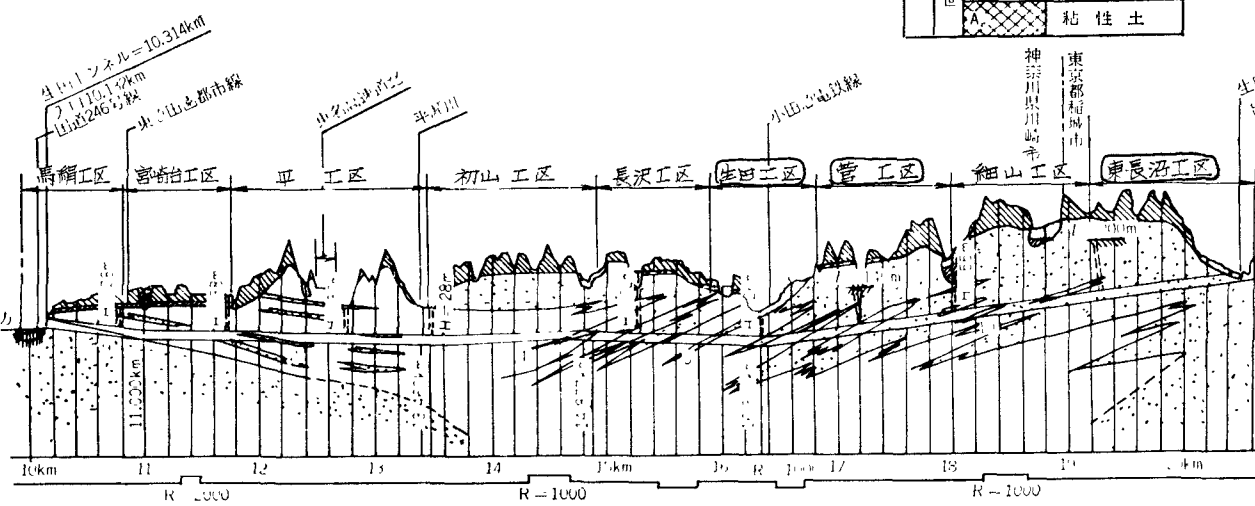


図-1 生田トンネル地質縦断面図

保工は200軒ないしは216戸を0.9~1.0mピッチで、巻厚は一律に70cmとした。図-2は側壁基礎区間の施工基準図である。

#### 4 東長沼工区の施工

(1) 地形および地質—地表はゴルフ場、森林で土被りは50~70mあり、地盤沈下、井戸涸渇等の影響はほとんど考える必要のないところである。当初の地質調査ではN値50以上の一様な中固結核とされていたが、斜坑掘るときに流砂現象が生じ掘進が不可能となった。この時地質構造を行ない、流砂部分と自立部分との比較が表-1である。この結果から流砂現象の有無はバインダー分(シルト+粘土分で74μ以下の粒子)に大きく影響を受けると考えられた。箱城砂層での流砂現象は切露表面の粒子が透水によって流され、奥の方へ連鎖反応

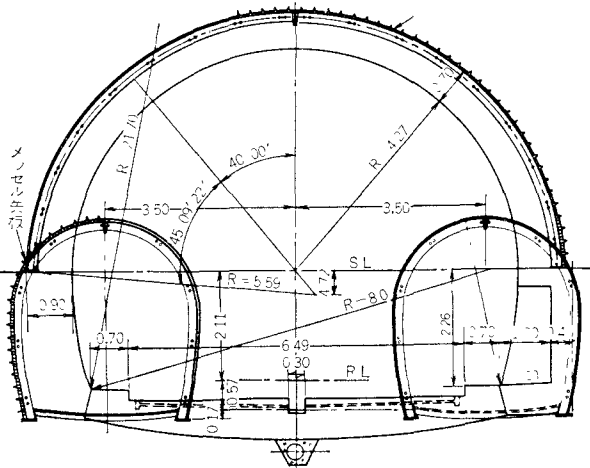


図-2 施工基準図

項目		流砂部分	自立部分
比	重	2.70	2.68
含	水	6.1%	33.4%
飽	和	20.1%	90.4%
バ	イ	1.0%	14.7%
ン	ダ		
グ	ー		
分	間	0.82	0.99
	け		
	き		
	比		
	均	1.60	3.60
	等		
	係		
	数		
三	軸	$c'=0$	$c'=1.05\text{kg/cm}^2$
軸	圧	$\phi'=42^\circ$	$\phi'=31^\circ$
縮	試		
験	験		
室	内	$2.55 \times 10^{-3}\text{cm/sec}$	$1.04 \times 10^{-4}\text{cm/sec}$
透	透		
水	乱		
試	した		
験	水	$9.43 \times 10^{-3}\text{cm/sec}$	$1.75 \times 10^{-5}\text{cm/sec}$
	試		
	験		
	乱		
	さない		
電	気	900Ω-m	260Ω-m
検	層		

表-1 東長沼工区斜坑の調査結果

を引起すものである。この様な状況ではバインダー分の持つ粘着力が流砂に抗するものと理解できる。表-1のうち他の項目はバインダー分によってほぼ説明出来る。以上の結果をもとに工区全域にわたってバインダー分、比抵抗値、水頭の調査を行なった。図-3はバインダー分含有率縦断面図で、流砂現象の有無は斜坑掘るときの実績よりバインダー分が0~10%では流砂が発生し、10~20%では要注意と考えられ、施工の資料とした。

また比抵抗値はバインダー分と比較的良好の相関関係があるのび補助として用いた。施工基準図の水頭は20~30mである。図施工—流砂発生および要注意区間について、水板工法、圧入工法、注入工法、流水シルト工法等それぞれを水検討した。地質、工期、工費、地表状況等により

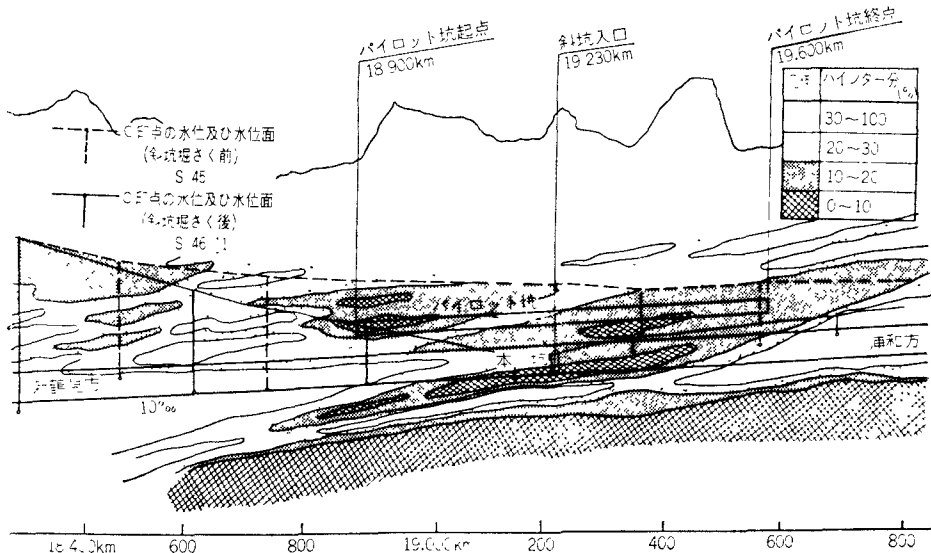


図-3 東長沼工区 バインダー分含有率縦断面図

による水抜工法が最適と考えられた。地表のゴルフ場なので本坑上部のバインター一分が深く水頭も小さい所にパイロット坑を二本掘り、約15mの間隔でディープウエルを削孔した(図-4)。ディープウエルによる水抜きは順調に進み、ポンプ110台稼働時に2,300 $\frac{m^3}{分}$ の最大揚水量があり、水位低下も期待したものが見られた。ディープウエルだけではどうしても残留水頭が大きいので、専坑掘るときはウエルポイントを支保工一基毎に二本掘り、建設段階にはあったが、浮きんじり流砂は生じなかった。上半掘りにおいては完全にドライワークで、矢板の向から砂粒子がササササ落下しその防止に手向を要した。しかしながら水を抜くことにより、地山が軟化しバインター一分10%以下の地層では、約7mの工荷重が生じ200t支保工が産生、沈下し260t支保工を使用した。上半の平均進捗は1.8%であった。

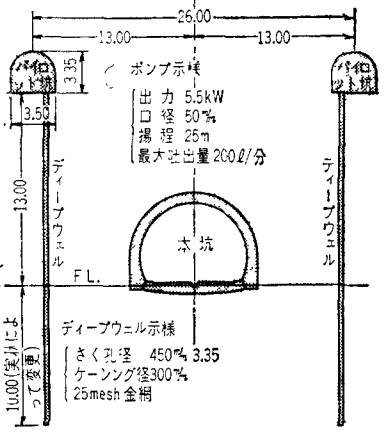


図-4 東長沼工区水抜工法断面図

5. 管工区の施工

1) 地形および地質 - 全長1.850 $\frac{km}{m}$ のウエグ割が森林、残りが荒地で半分程度家が建っており、工幅りは30~70mである。地質は一般に軟弱な厚さ2~5mの泥岩にバインター一分20%以下、厚さ0.3~1.2mの砂層がくさくさ状にばらばらしており、最大60mの水頭に於いて流砂現象が発生する。ボーリングは地質を含めて平均100m間隔で粒度試験、電気探査、水圧測定を主体に行なった。流動の有無の判定法として、この工区では10%粒径より導かれる含水係数(ヘーゼンツの式)から10 $\frac{3}{10}$ % $\leq$ 10%粒径 $\leq$ 0.031 $\frac{mm}{mm}$ 以上のオーガーは流砂区画と考えた。この判定法も非常に有効であり、バインター一分による節法との差は少ない。

2) 施工 - 専坑掘り時に多少の流砂を生じたが、突如出来の箇所で上半掘りとは、水抜きも十分行なわれたいところから問題ないと考えられたが、施工時に三の大型付近より400 $\frac{m^3}{分}$ の水と共に740 $\frac{m^3}{分}$ の大流砂に思うほど。地質的には1.2m厚の一枚の砂層であるが、その内の中では微細な粒度の荒々さにより水脈が存在し、上半掘り時に水脈に当たったものと考えられた。今後の施工方針としては砂層厚としては0.3~1.2mと大きくないので、専坑を出来を止め築造させ地質の確認と長期間水抜きを行なう。水脈に当たった場合でも掘削が

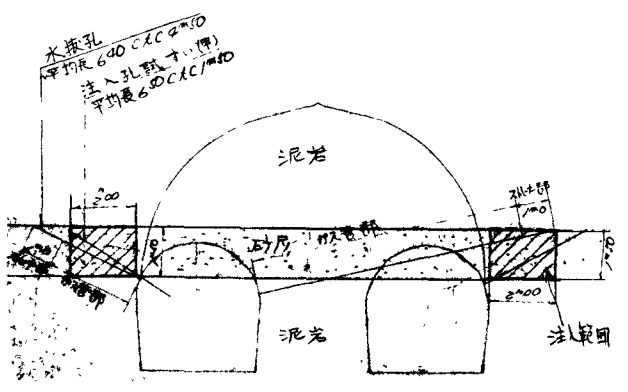


図-5 管工区カーテンケラウト注入工法

小さいので何とか処理出来るとした。上半掘りについては、先述された専坑より上半の周囲に幅2mのカーテンケラウトを施工(図-5)その外側に水脈キエックの役目を持つ水抜ボーリングを45mピッチで削孔する計画とした。注入剤には土留、日東SSを使用。上半周囲地盤を3~10%程度に改良した。注入は1.5m間隔、ケルタイム2分、最終注入圧10%を標準とした。地質、水頭、地表条件が異なる区域では上半周囲に於て掘り進んだ断面内にも注入した。水抜きボーリングが水脈に当たった所では100%の本の湧水があり、地盤改良とあわせてたいとう効果があった。カーテンケラウト実施区画の上半実績は1.8~3.7%である。又、この地域の泥岩は水抜き後、縦のクラックが生じて肌落ちし空洞形成に至った。又、流砂が生いても放置しておくとも地山がゆるむので、速く掘って速く巻く原則を特に重要視した。

6. 生田工区の施工

1) 地形および地質 - トンネル上には20~40mの工幅りで新興住宅地が連続して並び、工区中心の沢に小田急

電鉄線、主要県道世田ヶ谷町線と工被り16mで交差して、施工は厳しい状況のもとにある。地質は泥炭と砂層が複雑にからみあっており、本坑深度にはボーリング一分6%長さ150mの第1砂礫層、ボーリング一分10%の第2砂礫層がある。2層の厚さはそれぞれ4~4.5mと2~5mで、2.5%が被圧されており、付近の民家の掘り抜き井戸は自噴している状況である。この工区は生田トンネルのうち最も住民ハザードの強固なところであり、最初の地元説明会から工事着手まで約5年の歳月を費やした。着工後も毎日1回定期説明会が行われ、住民の過剰な工事の進捗、地質、地盤況下、湧水量さらには設備変更や施工技術的存続問題にまでおよび、従って住民に余分な動揺を与えない範囲で流砂現象に対処しなくてはならなかった。

①施工 - 生田工区のエールポイントに与える水抜き工法の工期、工費、破壊とも他の工法より勝る。住民に既知刺激を避けるので断念し、本坑の両層にパイロット坑を掘り、そこから本坑部分に注入する計画とした。パイロット坑から第1砂礫層への注入は長さ133m、幅16.3m、厚さ4~4.5mの範囲で、注入剤は水がラス条と高粘度を兼ねる地質により硬い分、最大間隔2m、4ルタームに分、最終注入圧1.5kg/cm<sup>2</sup>で行ない、一応満足するまで注入と判断された。注入終了後導坑掘り直しを開始した。水が4mの区間で60~200kgの水と共に約140kgの砂が周囲にわたって流出した。この時点で注入工法は第2砂礫層を突破するのをやめ、①パイロット坑からのエールポイント②パイロット坑からの深礎掘り③導坑切羽からの水平ボーリング④導坑からの水抜き工法の4種の水抜き工法を行なった。その後流砂は6回発生し、流量は400m<sup>3</sup>におよんだ。流砂が発生した際に多量の湧水があり、補助注入を行ない何回も突破出来たが、予算の費用と長期間を要した。住民の最も心配している況下は、空洞に30倍に膨脹するG.B.がウレタンを注入し、住居地での最大沈下50mmにおさえ、こもりを確保した。第1砂礫層の施工基面より下の区間ではエールポイントが有効で、流砂は発生しなかった。この第1砂礫層150mを導坑が突破するのに要したのは180日であった。第2砂礫層では住民の了解と水抜き工法を主体とした。左側側壁導坑の外側に横坑を掘り、基礎に第2砂礫層にあたって長さ30~70mの水水平ボーリングを行なった。礫層に対しての削孔は今まで非常に効率が悪かったが、ボーリングホールと呼ばれるトルクヒッパーカミシヨンの両方を備え、ボーリング機械を用いて、施工速度が大幅に上がった。湧水区間にはポリパイプのストレッチをさそう入し、線集水とした。左側合計24本のボーリング

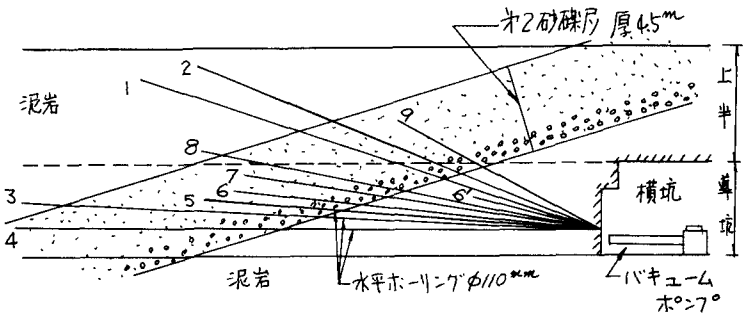


図-6 生田工区第2砂礫層水抜き工法

にはバキュームをかけ、最大300kg/台の排水があった。ストレッチを通し若干の砂が流出した。ドライワークで平均36~45mと進行があった。(図-6)第1、第2の砂礫層には水脈が歴然と存在し、その確認に手こずった。大規模な水抜きを長期間行なえば、流砂はほとんど発生しなかったと考えられる。

7 結論

- ①流砂現象の発生が予測されるトンネルでの事前調査は、A.粒度分析試験 B.電気探査 C.水頭測定を主体に、最小間隔100m程度で行なう。流砂現象発生を目安としては経験的にボーリング一分(シルト+粘土分)20%以下、10%粒径0.075mm以上があげられる。
- ②対策工法としては、水抜きを長期間、大規模に行なう。特に地質の悪い区間では薬液注入による地盤改良(水柱めとしては無理)を補助的に行なう。