

東京急行電鉄(株)新王川線建設事務所 正員 有藤 喜重

〃 〇小倉 正勝

1. まえがき

わが国地下鉄シールドは、現在全国で単線シールド88km、複線シールド8km、90工区に及んでいる。しかしながら都市における地下鉄シールド工法には、まだ未解決の問題を多く残している。「都市鉄道のトンネル建設工事におけるシールド工法の適応性」(シールド工法技術調査研究会)によれば、シールド施工上の問題のうち特に施工困難な地盤として ①地下水の高い砂および砂レキア ②崩壊性砂 ③互ア中の滞水砂ア ④軟弱流動性粘土 ⑤硬軟面地アの境界部 などがあげられている。

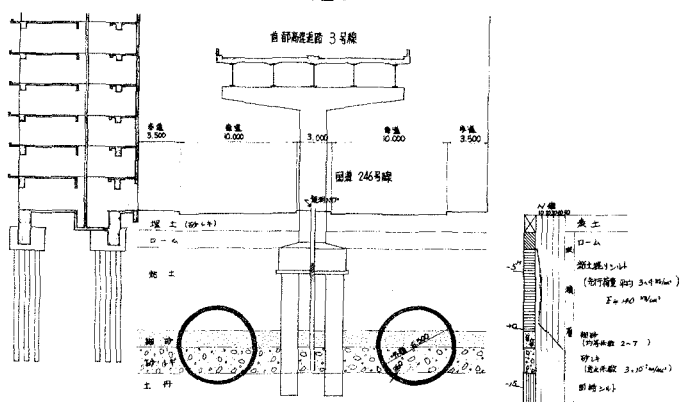
本文は、上記5項目のうち④項を除く全ての項目が台致した新王川線中里シールドの施工に際しとられた地山安定処理対策について、その経緯と施工結果を報告するものである。

2. 工事概要及びトンネル設置条件

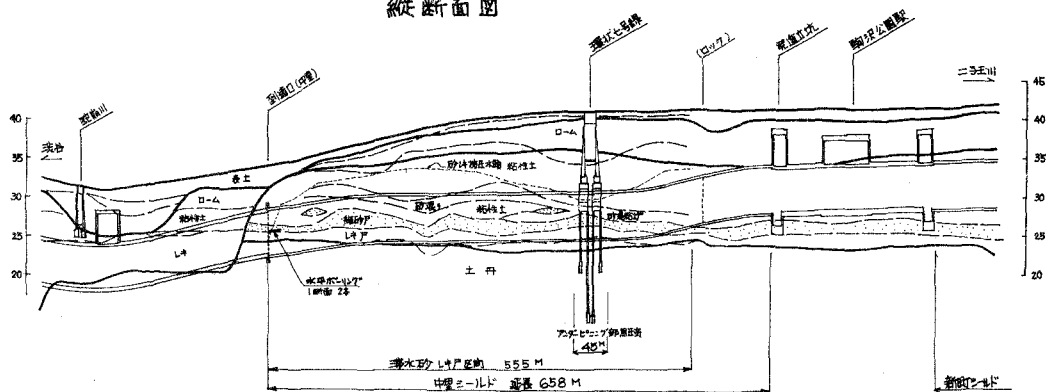
中里シールドは、国道246号線下を駒沢公園駅発達立坑より中里に至る延長658m、外径6.5mの単線並列トンネルである。本工程は、昭和47年末より東急新王川線の一部として、新町シールドに続き施工されているものであり、現在土木工事のほとんどが終了している。本工程に先立ち、立坑となる駒沢公園駅は、昭和46年首都高速3号線建設工事に際し、同時施工のため首都高速道路公園への委託工事として構築が完成しているものである。

国道の幅員は30mであるが、中央に首都高速の基礎があるため沿道建物、首都高速基礎との離れは最小1.0m

横断面図



縦断面図



平均 2.5mm と非常に近接している。さらに土被りは首都高壁への影響を考慮し、トンネル断面を基礎下端より上部に設定したため最大 10.1mm、最小 5.4mm (15D~0.8D)、平均 5.9mm (0.9D) と著しく浅いものとなった。

本シールドは荏原台地下であり、その土質は上部より、表土、関東ローム層、粘性土、シルト混り砂、細砂、東京レキ、土丹の順に堆積しており、表土を除いて関東ローム層へ東京レキまでは洪積層であり土丹以下は第三紀とされている。以下各層の概略を述べると、まず関東ローム層は厚 3~5m で N 値は 4~9、粘性土との境界にはかなりのたまり水を有する。粘性土は厚 6~7m で N 値は 1~8、過圧密状態で不透水とみられる。シルト混り砂及び細砂は、それぞれ厚 1~2m で N 値は 20 以下が多い。自然含水率は、シルト混り砂 40~100%、細砂 20~60% であり、その粒度組成は、シルト分以下の細粒土がそれぞれ 30%、10%、砂分はそれぞれ 70%、85%、レキ分はそれぞれ 0%、5% であって、均等係数については、それぞれ 2~270、2~7、となっており、細砂はかなり均一な砂で構成されているが、東京レキは厚 1~2m N 値は 50 以上で非常によく締まっている。採取された試料では最大粒径 130mm であった。

砂レキ中の被圧水頭は 5~10m と高く、透水係数は砂レキで 1×10^{-2} cm/sec、細砂で 5×10^{-3} cm/sec、砂混りシルトで 3×10^{-3} となっており、この被圧水頭は発達 110m より到達部まで延長 540m 間にわたって切羽に現れる。

3. シールド施工に伴う補助工法決定の経過

シールド施工に関連する地上、地下の諸条件は前述のとおりであり、補助工法なくしてはシールドの施工は困難である。ここで一番問題になるのは被圧水の処理であり、これに最も適する補助工法としては、圧気工法であるが、砂レキ中の圧気は通常空気消費量が大きく、必要圧気圧を確保することが困難であるとみなされている。

補助工法決定の経過は概略表に示す通りである。決定への最初のキツカゲは新町シールド到達部の切羽状況、環ヒアンダーピニングの漏洩予測並にディープウェル揚水状況、中里到達部水平ボーリング湧水状況などであったが、最後の決め手は中央分離帯に設置した $\phi 60$ ~11本、 $\phi 200$ ~4本の観測孔、民地内 $\phi 300$ 連続揚水井などの観測設備であった。すなわち平均 33mm 年に観測孔が設置されたために、切羽前方 30m のろう気、酸欠、地下水の変化などがわかること、この観測データにより揚水の必要があった場合には $\phi 200$ ~4本の観測孔はそのまま揚水井として利用できるようにしたこと、さらに圧気の影響範囲内での揚水能力に対する不図に対しては、民地内に連続揚水井を設置し常時観測できるようにしたことなどである。これ等の観測設備を施工管理用として活用することで補助工法の実施に伴う不安が解消されたのである。

このような経過によりパイロットシールドに始まった地山安定処理工法の検討で最終的には切羽兼注によることが決定され、工費は最も低いものとなった。

4. 施工された地山安定処理状況

発進に際しては上、下線同時発進とすると地山状況の変化による影響を同時にうけることと、先行シールドの排水効果が期待されるため、地下水流の上流側である上り線シールドを先行させた。

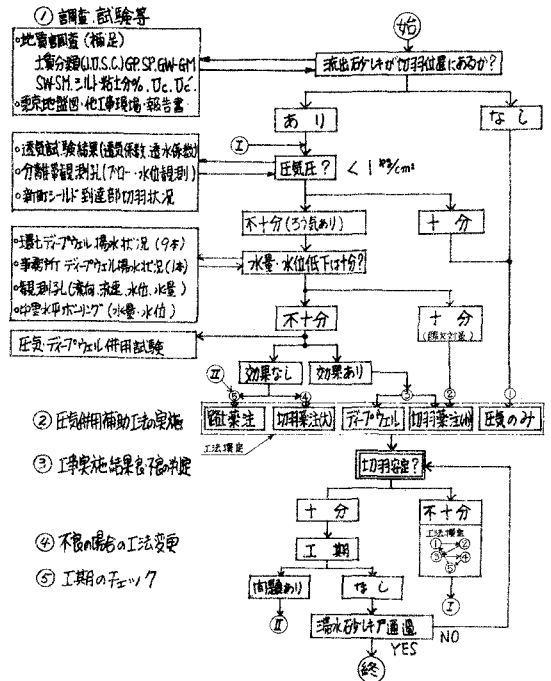
決定された補助工法は、そのまま実施するのではなく工事の進行にともない変化する地山状態をよく観察し、事前調査資料と比較しながら施工法に反映させ適切な処置を講じて、その工法効果を最大限に活かすのがよい方法と思われる。このことを基本に地山安定処理工法の施工管理方式を決定した。すなわち切羽兼注に決ったのであるが地山状態に応じて対応することとし、可能な限り圧気工法で進むことにした。圧気工法だけで進むことが実際に困難になった場合でも一度にその程度を上げるのではなく程度の低いものを試してから必要に応じて順次あげてゆくことにし、出来るだけロスのないようにしたのである。

一般に地山安定処理は切羽より前方に処置するものであるがテールより後方の処置が全く無関係であると言うわけではない。特に切羽注入の場合には、切羽の停止時間が長くなるため地山へのゆるみが抜かり易い。これを防ぐためには切羽を肉そくして施工するのが理想的であるが進行が著しくおくれる。ところが土被り分の地質

地盤安定処理工法決定の経過

起業順序	工 法	備 考
① S47 要 要前	バロカナル	○ 首都圏基礎等のバロカナル工法の安定効果。 ○ 工費大。
② S47 取 要時	表土表注	○ 表土使用。 ○ 表土使用に限りあるの理由を両方から説明不能。 ○ 表土使用の効果が低い場合、表土切羽補注を要注の必要。 ○ 工費大。
S47 未 試験時	現場透気試験	○ 表土使用に限りあるの理由を両方から説明不能。 ○ 表土使用に限りあるの理由を両方から説明不能。
③ S48 未	シールド・バロカナル	○ 表土使用困難、シールド使用困難。 ○ 表土使用に限りあるの理由を両方から説明不能。 ○ 表土使用に限りあるの理由を両方から説明不能。
S49 春	到達部中央バロカナル 分層表注	○ 表土使用に限りあるの理由を両方から説明不能。 ○ 表土使用に限りあるの理由を両方から説明不能。
④ S49 夏	切羽表注	○ 切羽注入の目的、表土注入の目的を説明不能。 ○ 切羽注入に限りあるの理由を両方から説明不能。 ○ 切羽注入に限りあるの理由を両方から説明不能。

シールド切羽安定処理工法決定 流れ図



によって切羽にゆるみが生じて、そのゆるみが地表にあらわれる前に、テール直後で繰返して注入することによりゆるみをおさえることができる場合がある。

当工区では表込注入にビルトン・CB方式を採用しているが、ビルトンと圧入する際高圧の圧縮空気を使用するためゆるい砂戸では地山を荒らす。さらにビルトンが填充されているという好印象からC・B注入がおくれがちであり、ビルトン・CBとよにたれ流しの状態になるため、テール直後の天の部分で常に未填充となる傾向がある。

表込注入の理想は常時加圧注入であるが、テールパッキングに十分な機能を果たすものが開発されていないため、従来の硬質ゴムシールを使用しており、常時加圧注入は不可能であって、即時加圧注入によらざるを得なかった。この場合表込注入はテールガイドの崩壊がはじまる以前に行なわなければならないが、当工区のシルト質砂、細砂、砂れき、はいずれも崩壊が早くシールド推進時にテールガイドは埋まってしまふ。このため即時加圧注入であってもその注入は砂れきに浸透しゆるみ範囲の空隙に圧入可能なものでなければならぬ。このゆるみを放置すればゆるみ範囲は切羽にまでおよび、突込み勾配であることもあって、細砂は湧水とともに切羽に流出するおそれがあり、一旦ゆるめると回復が困難である。

以上のことから表込注入をLWに変更し、硬化時間の短縮を計り注入を繰り返すことによりパッキングへの負担を軽減するとともに、たれ流しを避け、テール直後まで填充を可能にした。LWの砂れきへの浸透に必要かつ十分な注入圧は、テールプレートとセグメント外面との間にセメント袋をパッキングすることにより確保された。テールガイドを完全に填充することによりセグメント周囲の地下水を遮断するため、トンネル内への止水効果も少なくなかった。

以上の処置により路面の況下、沿道建物、首都圏基礎等への影響は防ぐことができた。当初切羽注入で出たのであるが、以上の結果アンダーピーニング無圧気部及びその前後と到達部無圧気区画を除いては切羽注入を

実施せざるんとか切抜くことができた。前記無圧気圧区間以外、分離帯の水位観測孔をはじめとする豊富な観測設備により、圧気工法をフルに活用できたため、工期を左右しないテール直後での二次注入方式によって、地山安定処理の初期の目的を達成することができた。その反面 20 cm ~ 30 cm の玉石のあるレキアの掘削とハドロ化した粘性の掘削土の泥土処理には多大の労力と時間がついやされ、土砂搬出機械の故障のほとんどはこれに起因するものであり多くの犠牲を払わねばならなかった。

5. 砂戸切羽の自立性についての考察

もとより、この1例をもって砂戸の切羽の自立性を論ずることは不可能であるが、他工事の現場見学等もいくつか参考になったのでこれらを含めた感想として述べてみたい。

切羽の地質はほぼ事前調査の通りであるが、砂レキアは質度が高く湧水による砂の流出をさまたげるかのような堆積状態がみられた。このことは事前調査資料からは判断することはできず、土質調査より土質の堆積過程から想定できたことであり、着手前の切羽の自立性の予測に際しては土質試験によるミクロ的な調査も必要ではあるが、むしろマクロな地質学的判が重要であると察した。また当初均等係数等で崩壊が予想された細砂戸についても、圧気 0.3 ~ 0.4 のもとではほとんど崩壊しなかった。

砂の堆積過程から数メートルの砂戸がすべて同一な均等係数をもつものとは一般には考えられず、当新玉川線シールド延長約 5000 m についてみても数 cm ~ 数 10 cm 単位で異なった粒度組成からなっている。ところが数メートルの砂戸全体としては自立するものであつても、極く一部に崩壊性のゆるい砂戸を挿入していると、この一部の砂戸が流出崩壊することによりそれより上部の砂戸は当然崩落するであろう。（挿入する崩壊性のゆるい砂戸の現場での判別は、着色した日東 SS 30 R などの粘性が最も水に近い薬液を砂戸に注入するのが良い。浸透した薬液の状態がそのまま、もっともゆるく湧水の多い戸をあらわしている。）この様な砂戸全体の崩壊のプロセスから崩壊後に粒度特性を調べても流出した砂戸と自立していた砂戸とを区別することは不可能であつて、ここに切羽における砂戸自立性の限界を「シルト以下の細粒土が 10% 以上、かつ均等係数 10 以上」と云う土の性質上不合理と思われる報告になる原因があるのではないかと考えられる。すなわちシルト以下の細粒土が 12% 以上の砂の性質は、均等係数より液性限界と塑性指数との関係によって判断されるものだからである。当現場の実績からは、圧気及び地下水圧と地山の性質との関係は「自然水位の影響はその土質の 10% 粒徑の低減に従って消える傾向がある」（S. 41 田中 敏下）と云う説明が最も良く表現しているように思う。

いずれにしても切羽の自立性については以上の理論に終ることなく、切羽滞在時間の最も長い現場技術者の経験の集積から判断するべきでありこの方面の発表に期待したい。

6. あとがき

当社としては初めてのシールド工事で、種々トラブルはあったが予定の期間内になんとか無事故で貫通できたのは、国道工事の勞務をはじめ道路管理者の方々の厚意と施工業者の努力に負うところが大きであつたが、この種の工事にがかわる切羽安定処理対策については、最終的な工法決定に至る経過及び実施段階での管理の方式が具体的に報告された例は数少ないとみられるので、工法検討と切羽管理に苦勞した現場にいる者の声として、あえて本文を掲載する次第です。他工事に関係される皆様の御批判を頂ければ幸いです。

道場関係に助言を頂いた皆様が、この工事で調査に努力された底層建設・緊急建設共同企業体の各位に厚くお礼を申し上げます。

(S. 50. 11)

参考文献

1. 都市鉄道のトンネル建設工事におけるシールド工法の適用性

2. シールド工法による鉄道トンネル復旧集

3. 新玉川線流るシールド工事報告書 (S. 50. 5)

4. シールド工法の年刊 (その1)

5. 新東海線地下線における地盤安定処理工法「土木建築」23-41

6. 土質力学

7. 東京の自然史

シールド工法関係調査委員会

日本鉄道建設技術協会

加藤 英治

田中 敏下、松下 邦太郎

河田 博之

長城建設、渡辺隆、山打樹樹、

奥塚 英平