

浜寺シールド出張所 殿

急曲線施工の問題点と対策

平成 8 年 3 月

(株) タ ッ ク

1. 急曲線施工の問題点

急曲線施工においては、通常の掘削管理のみでは対処できない場合が多く、地山条件・シールド機・セグメント・余堀り量・裏込注入・補助工法などを十分に検討する必要がある。

シールド機については、近年屈折型のシールド機が開発され、機長の長さを短くし、少ない余堀り量で急な曲線の施工が可能になってきている。

しかし、曲線施工を行なう場合に絶対に必要となる要素としての

① 余堀りの確保

② シールド機の反力確保

については問題点を残したままである。

余堀りの確保について言えば、シールド機に設けたコピーカッターによって余堀りを行い、この余堀りがシールド機が通過する間保っていることが必要である。また、シールド機の反力の確保について言えば、シールド機通過後のセグメント外周がいかにも早く裏込材によって固定できるかが問題なのである。ところが、余堀りによってシールド機外周に空隙ができるため、シールド機直後から裏込注入を行なうと裏込材が余堀りに回ってしまう可能性が高くなるし、裏込注入を遅らせるとシールド機の反力の確保が難しくなってくるという矛盾が生じてくる。

また、コピーカッターによるせっかくの余堀りも、掘削時間が長くなる（応力解放時間）と地山の押し寄せによる崩壊で、余堀りが潰れてしまい地盤変状（路面沈下）の要因となってしまう。

こうした問題点を明らかにし、確実な施工ができる対策を検討する必要がある。

2. 主な対策

① 補助工法

補助工法の代表的な例は、地盤改良の薬液注入工である。薬液注入工には、地盤全体を改良する一般的な注入工法と、曲線のガイドと沿線の家屋防護のための地中杭注入工があるが、これらは土質を見ながら適宜決定すべきである。

薬液注入工によって周辺地盤が安定化すれば、余堀り部の応力解放時間が長くなり、余堀りの崩壊が防止できるため、曲線施工のみならず、路盤変状の防止にもなる。

ただ、地中杭注入工法は、曲線施工に乗り切れなかった場合、カッターの食い込みにより掘削が難しくなったりする場合もあるため、ガイドとならず障害となる場合もあるため、十分な検討を行なっておくべきである。

② セグメント

曲線部分ではセグメントはテーパの短セグメントを用いるのではあるが、場合によってはセグメントとシールド機のセリを少なくするために外形を一般部より一回り小さくしたものを用いることもある。

曲線部においては、ジャッキの片押しによる偏荷重がかかることが多く、セグメント部材は充分それらに耐えるものでなければならない。

また、曲線の内周側は、引っ張り応力が発生し、セグメントの接合部に開きが生じることがあるため、ボルトの数を増したり、開き防止の部材を用意する必要もある。

③ 余堀り量

余堀り量は、シールド機外周、機長、アールの大きさ、シールド機の屈折角度などから計算によって求めることができるが、問題はコピーカッターの伸びの長さ分が100%余堀り量となるかという点である。

コピーで乱した土量が100%チャンバー内に取り込まれることがないため、曲線の開始時や施工中のシールド機の軌跡から類推し、適切な余堀り量を確保することが肝要である。

④ 裏込注入工

裏込注入工は、シールド機反力確保のためにはシールド機直後まで行なう必要があるが、余堀り部に注入材が回り込んで余堀りを潰してしまうかもしれない、非常に難しい工種である。

そこで、この問題を解決するために、裏込注入の補助工法が必要となって

くる。以下、裏込注入工について、詳細に検討する。

3. 裏込注入工

① 裏込注入材料

曲線部の裏込注入材に求められる性状は、一般部の注入材に求められる性状よりももっと条件がきついものである。

強度の発現は偏荷重に対抗するために、一般部よりは早く高くなるものが必要であるし、ゲルタイムは極めて早くし、限定区間以上に流れにくいものにし、ホモゲルのゲル強さは材料の自重によって流動化して流れていくのを防止できるものが必要である。

上記の条件を100%満たすだけの材料があれば、裏込注入工に補助工法は必要ないわけだが、こうした材料はまだ存在しない。

「ウレタン注入材」は、強度的な問題と、施工の難しさ（専門注入員が必要）以外では、有効な注入材であるが、材料代が非常に高価である。

NEO-TAC注入材は、標準配合ではゲルタイムが5～10秒であるためこうした処での条件には満たないが、ゲルタイム促進剤の添加や配合の変更によって、かなり条件に近づけることができる。

② 遮蔽板付きセグメント

遮蔽板付きセグメントとは、セグメントの外側に袋状のものを内装していて、セグメント注入口から裏込材を注入することによってこの袋を膨らませ、セグメント外周全体をこの袋で包むようにすることで、余堀り部とテールボイド部を仕切ることができるようになるセグメントのことである。

このセグメントを使用することによって、シールド機直後のセグメント固定と反力の確保ができると同時に、この袋の後部に十分な裏込注入を行っても余堀り部が潰れないメリットが生じる。

しかし、このセグメントは極めて高価で、製作日数がかかるデメリットもある。また、切羽解放型シールドでは余堀り部とテールボイド部を仕切る有効な手段であったこの工法も、密閉型シールドが主流となった現在、袋と袋の間のボイドには泥水や加泥材が満たされていることも多く、テールボイド

の注入に泥水抜きバルブの設置が必要となったり、余堀り部の崩壊防止には役に立たないなどという欠点もある。

③ミニパッカー工法

ミニパッカー工法とは、長さ30センチ位の円筒の中に布の袋を折り畳んで仕舞っておき、セグメント注入口に差し込んで、裏込材を注入するとセグメント外周に50センチほどのサブトン状の硬化物ができるという工法である。このサブトン状に広がるミニパッカーをセグメント外周に所々施すことによって、シールド機直後に施工できない裏込注入（直後から注入するとしても余堀り部に注入材が廻るため）の反力確保を助ける工法である。

問題点としては、この筒状の内側での出っ張りがシールド作業を制限する点と、外側に施工するため袋の膨らみ具合を確認することが困難な点である。

④クレーショック工法

クレーショック工法とは、粘土系材料であるTAC-β溶液（500CP程度）と水ガラス系凝集材であるTAC-3Sを比例混合させて、数秒で2～30000CP程の高粘性な可塑状粘土ゲルを作る工法で、この材料をシールドマシンの側部注入口から余堀り部に注入することによって、

イ)可塑状充填物で余堀り部の崩壊を防止する。

ロ)裏込注入材が余堀り部に廻りにくくする。

という効果を求める。

問題点としては、裏込注入材によって可塑状粘土ゲルが押し出されるくらいのゲルと、裏込注入材が入らなくなるまでの硬さのゲルの調整に気をつけなければならないことと、注入手順が1工程増えることである。

4. 本工区の対策

①裏込以外の対策

本工区では、シールド機は中折れ式であり、十分な折れ角がとれる構造になっていて、コピーカッターの伸び長さは計算値よりも大きくとれる能力を有している。

セグメントの強度計算はもちろんのこと、内周側の目開き防止用の鉄板も検討している。

薬液注入工も、当然用いることにしている。

②裏込注入工

注入材料は、NEO-TACの特殊配合を用いる。ゲルタイムを3秒以下にし、ゲル強度を上げ、強度発現は1時間2・・以上の条件を満たす配合にアップする。

補助工法としては、クレーショック工法とミニパッカー工法を部分的に採用する。

本工区のように余堀りが大きく、土被りが少ない場合、コピーカッターで余堀りをした空隙は緩み領域となって、マシンの進行にともなって締まり始め、その緩みは地表面に上がり地盤沈下を招く可能性が高い。

そこで、余堀りを開始したら早めにクレーショック材をマシン周辺に注入し、緩やかな充填物で充填させてやる必要がある。しかも、マシン周辺に充填物があることによって、裏込注入材は余堀り部に廻りにくくなる。

また、裏込注入材をマシン通過直後に打設できない場合、反力確保のために1リングにつき2～3本のミニパッカーを使用して、セグメントを固定することにする。

5. クレーショック工法

クレーショックは、主材である高濃度の泥水と、粘性付加剤である塑強調整剤の2液を別々の配管で注入位置まで圧送し、注入口直前で2液を所定の割合比で混合して、高粘性な塑性流動化ゲルに変化させて注入する工法です。この塑性流動化ゲルは水希釈に強く、その粘性は時間経過に関わらず一定である特徴を有しています。

このクレーショックは、急曲線シールド施工の場合の余堀り充填材として開発されたものですが、現在ではその性状変化の特色を活かして、加泥シールド工法の高粘性な加泥材、あるいは噴発時の対策材料として、又砂礫土層掘進時のシールド機外周減摩充填材として、様々な用途に利用されています。

特に、主材である高濃度泥水の配合と、塑強調整剤の添加量によってその粘性を自在に変化させることが出来るため、通常では高粘性なために鋼管圧送ができない長距離において、必要な高粘性の材料を得ることが出来ます。通常、主材である高濃度泥水は500～1000cpで、これに3%の塑強調整剤を添加すると即時に10000cp程に粘性が上昇します。この添加量を6%まであげると、柔らかい粘土状まで性状が変化します。この反応はTAC-βの中に含まれる粘土粒子がTAC-3Sによってコロイド凝縮することからゲル化したようになるのではと推察されます。このコロイド反応は数秒のうちに起こり、以降の変化はありません。よって、この性状を利用して、用途によって配合は様々なことが出来ます。

*急曲線余堀り充填材

シールド機が急曲線施工をする場合、シールド機長がその扇形をとれるようにシールド機の外周にある程度の余堀りが必要ですが、この余堀り部は地山の押し寄せ・崩壊・裏込注入材の廻り込み等によってつぶれてしまうことが多い。

そこで、この余堀り部にクレーショックを注入することによって、地山の崩壊防止を図り、裏込注入材の廻り込みを防止して、カーブ掘進を容易にさせることが出来ます。

*標準配合

A 液		B 液
特殊粘土	水	塑強調整剤
T A C - β	—	T A C - 3 S
5 2 0 k g	8 0 0 ㎡	5 0 ㎡

6. 裏込注入工

急曲線部における裏込注入材は、ゲルタイムが長いと余堀り部に回り込む可能性が高くなるため、テールボイド部だけに限定して注入ができるようにゲルタイムが早い材料が望ましい。また、セグメントにかかる偏荷重に対抗できるように強度の発現が早いものが望まれる。

本工区で使用している N E O - T A C 材料は、ゲルタイムが 5 ～ 1 0 秒、1 軸圧縮強度（1 H）が 1 ～ 1.5 ㎡である。

急曲線部における裏込注入材に求められる性状としては、ゲルタイムが 2 ～ 3 秒までで、1 軸圧縮強度（1 H）が 2 ㎡以上のものが望ましい。また、2 液混合してゲル化した材料が自重によって流れてしまわないだけのホモゲル強度も要求されるのだが、1 軸圧縮強度（1 H）が 2 ㎡以上のものであればホモゲル強度もほとんど要求を満たすものであるといえる。

そこで、本工区の急曲線部では N E O - T A C 材料の特殊配合をつくり、上記の条件をみたすことにする。

<特殊配合>

A 液							B 液
タックメント	TAC- β	TAC-2	TAC-RX	促進剤	水	空気量	TAC-3S
300Kg	130Kg	0.5Kg	2.5Kg	3.0Kg	595 ㎡	13.3%	130 ㎡

＊ ゲルタイムを早めるために、ゲルタイム促進剤を用いる。

強度発現を高めるために、タックメントとT A C－3 Sを増す。

7. ミニパッカー工法

ミニパッカー工法とは、長さ30センチ位の円筒の中に布の袋を折り畳んで仕舞っておき、セグメント注入口に差し込んで、裏込材を注入するとセグメント外周に50センチほどのサブトン状の硬化物をつくるという工法である。このサブトン状に広がるミニパッカーをセグメント外周に縦一列に施すことによって、遮蔽板付きセグメントと同様の効果を得ようとすることも可能ではあるが、問題点としては、この筒状のミニパッカーがシールド掘削作業を行なっている坑内切羽で、出っ張りとなってシールド作業を制限する点と、セグメントの外側に施工するため袋の膨らみ具合を確認することが困難な点である。

そこで、セグメント外周全体をミニパッカーで仕切るとは、作業環境の困難性と施工結果の不確実性と言う問題点があるため、本工区では反力確保のための限定注入効果を求めることとする。