

シールド発進立坑の省面積化 システムの開発に関する研究

1. 研究目的

最近、市街地における上下水道、通信電力、地下鉄工事などでは道路交通や周辺環境に与える影響を考慮して、シールド工法の採用が多くなっている。

さらに、既存地下埋設物や構造物の基礎をさけるために地下深いトンネルの構築が必要とされ、都市トンネル工事の大部分がシールド工法になっている。

しかし、市街地でのシールド工事においては、その発進立坑用地の確保が容易でないケースが目立ってきている。特に、シールド工事の8割を下水道管渠の工事が占めており、このままでは下水道整備の推進に支障をきたすことも考えられる。

本研究は、このような状況に鑑み、狭い敷地での発進立坑用地の確保、と同時にそれに伴う用地難の解消、工事の安全性及び周辺環境保全の向上等を目指し、発進立坑用地を従来の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ の面積に削減できるシステムの開発を模索するものである。

2. 研究内容

2.1 研究概要

現在行われているシールド工事は、泥土圧式、泥水式の2工法が主流である。両工法ともに同じシールド工法であり多くの設備は共通であるが、切羽の安定方法が異なるため別の設備も必要とする。従って、それぞれの工法に対応した省面積化のアプローチが必要である。

また、面積を狭くした場合に問題となるのが立坑の施工方法である。従って、省面積での立坑施工法についての検討も必要である。

今年度は、「両工法共通設備」「泥土圧シールド」「泥水シールド」および「狭隘用地における立坑施工法」について検討を行った。

2.2 研究項目

従来工法における施工実績にもとづき、必要面積を両工法について検討した結果、共通設備ではセグメントストックヤード、車両搬入スペース、泥土圧式では加泥裏込設備、泥土処理設備、泥水式では泥水設備、裏込め設備が $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ の面積を占めることが判明した。

従って、今年度は、

1. 両工法共通設備：「セグメントスタッカー」「防音ハウス」
2. 泥土圧シールド：「泥土改質材料」「連続固化設備」
3. 泥水シールド：「粘性主体の切羽安定機構の開発」「連続粘性計による泥水管理」「濃縮サイクロン、遠心分離機による二次処理の連続化」
4. 狭隘用地における立坑施工法について、検討を行った。

3. 研究成果

3.1 両工法共通設備

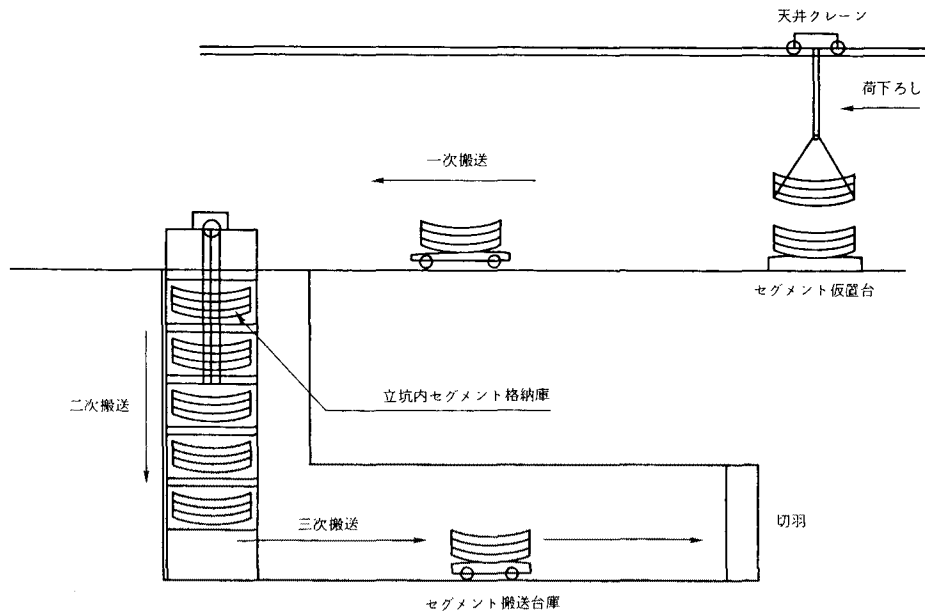


図-1 立坑内収納型セグメント搬送模式図

3.1.1 セグメントスタッカー

セグメントストックヤードの省面積化に対するアプローチとしては、

- ・セグメント置き場における集積密度の増加
 - ・従来使用していない用地の有効利用
- が考えられる。集積密度の増加のためにセグメントをむやみに積み重ねることは安全性、作業効率を犠牲にすることとなる。

そこで、自動倉庫等に利用されているスタッカー技術をセグメントの収容に応用し、自由に任意のセグメントを取り出し、セグメントの集積密度を増加させることのできる、セグメントスタッカーを採用した。セグメントスタッカーの採用により、従来使用されていなかったシールドマシン発進後の立坑を有効利用することも可能となった。

結果として、地上面積で120㎡程度必要であったセグメントストックヤードをすべて立坑内に納めることが可能となった。図-1に一例として立坑内収納型のセグメント搬送模式図を示す。

3.1.2 防音ハウス

地上面積の縮小化には従来から行われている、一次立坑等による地下化と地上設備の高層化がある。地上設備の高層化は使用機材の重量が大きいことと、周辺環境に与える影響が考慮され採用例は多くない。

ところで、一種住専地域での建築物の高さは10mである。防音ハウスは仮設構造物なのでこの制限を受けないが、これを極端に上回ることは好ましくない。そこで、ハウスの全高を15m以内に押さえ、さまざまな施工条件に柔軟に対応するよう検討を行った。

検討の結果、支柱長を12mとすることで15m以内に押さえることが可能となった。また、支柱長を統一することにより、従来一回使いであった部材の大部分の転用化が可能となった。施工条件によって使用設備が異なるため、ハウス本体と2階中床部分を分離構造とすることにより、柔軟な対応を可能とした。

3.2 泥土圧シールド

泥土圧シールドにおける地上面積の縮小化には加泥裏込め設備と泥土処理設備の縮小が必要である。加泥裏込め設備は2階へ配置することが可能であるが、泥土処理設備の土砂ピットとバックホウの積み込みスペースは地上面積を大きく占有している。

地上土砂ピットの容量は通常掘削量で定められているが、改質処理前の掘削泥土を立坑下設備にストックすれば、この容量は泥土改質に要する養生時間によって決まる。従来、土質によって6時間程度養生していたが、これを1～2時間にまで短縮することが可能となれば、土砂ピット容量を減らすことが可能となる。

養生時間の短縮には、「改質材料の性能向上」と「改質材の泥土への均等な混合」に対する検討が必要である。

検討の結果は以下のとおりである。

- ・改質材料には強度発現の早いエトリンナイト系の改質材を使用する。
- ・連続混合用の混練り機は土質への対応、処理能力の大きさからパドルミキサー方式とする。図-2にその模式図を示す。

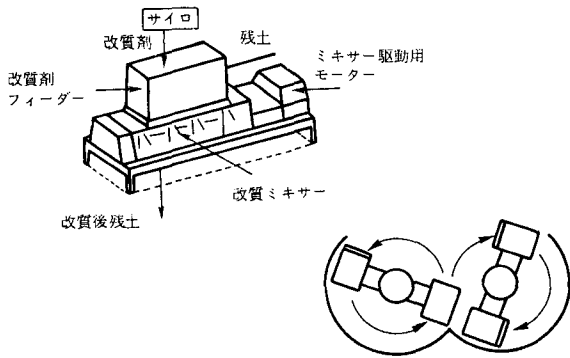


図-2 パドルミキサー方式の模式図

また、養生時間を3時間とした場合の、仕上がり内径5000mmの残土処理のシミュレーション例を図-3に示す。省面積型泥土圧工法のフローチャートを図-4に示す。

3.3 泥水シールド

3.3.1 リアルタイム切羽安定管理システム

泥水式シールドの省面積化には「泥水設備」の縮小が必要である。しかし、従来の泥水比重主体の管理方法では、これ以上の縮小が難しい。そこで、粘性主体の泥水管理の導入し、全体設備の縮小を図った。

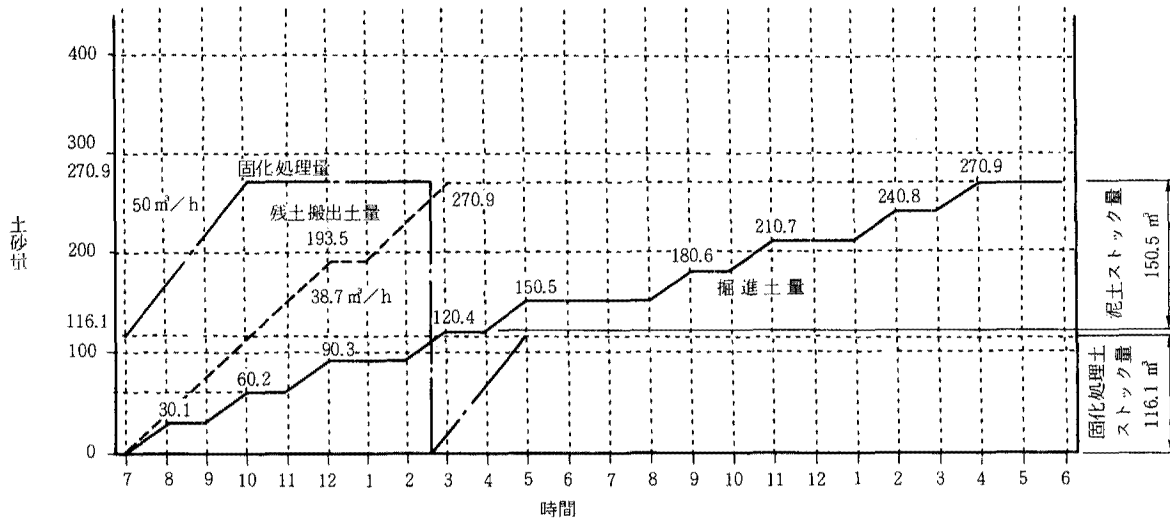


図-3 残土処理シミュレーション

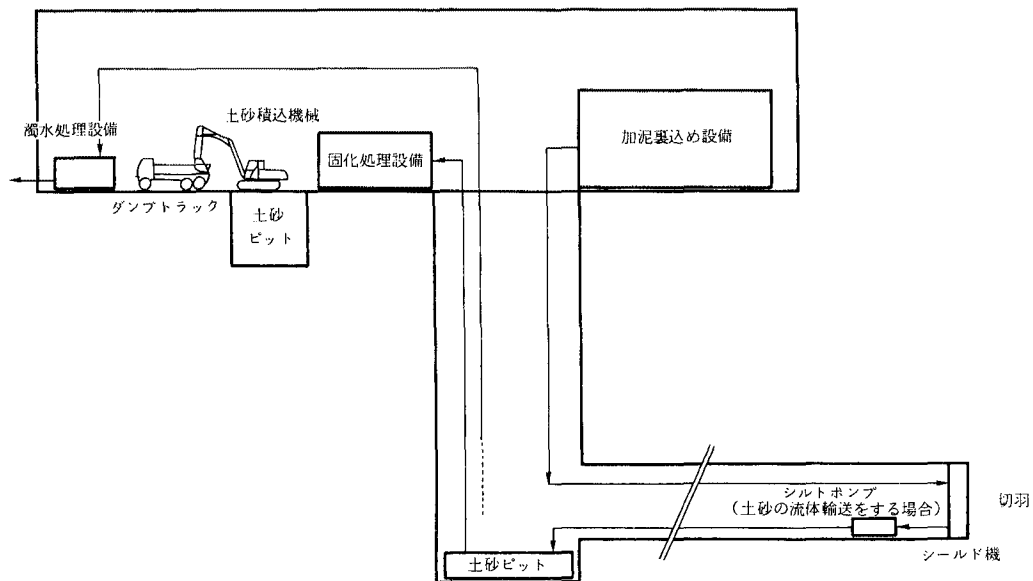


図-4 省面積型泥土圧工法フローチャート

検討にあたり、まず粘性主体の切羽安定機構を検討し、次に粘性の連続的な測定方法と泥水調整方法を検討した。さらに、2次処理設備の連続処理化も検討した。

省面積型泥水工法のフローチャートを図-5に示す。

検討の結果は以下のとおりである。

・粘性主体の切羽安定機構

粘性を増加させた水による定水位透水試験と透水モデル理論により、粘性の増加によって透水量が減少する、つまり、動水勾配が大きくなることが確かめられた。これにより、泥水の粘性を調整することにより、泥水の浸透層を介して泥水の加圧力が地山に伝達され、切羽の安定が確保されることがわかった。増粘剤濃度（重量%）と透水係数の関係を図-6に示す。

・粘性の連続的な測定方法と泥水調整方法

円管内を流れる流体の圧力損失が流体の粘性に影響されることはよく知られている。ニュートン流体に対してはダルシーワイズバッハの式により定式化されている。今回、泥水シールドの泥水などのビンガム流体に対して定式化を行い、圧力損失と流速によって、層流、乱流いずれの状態でも泥水の粘性を計測可能であることがわかった。連続粘性系はシールド現場における実証試験も完了している。

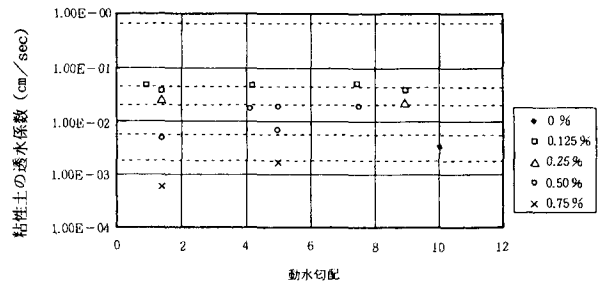


図-6 粘性流体の透水試験

粘性主体の管理による泥水の調整方法は、従来のように比重を上昇させるために粘土を作泥槽の中で溶解させる必要がなく、液体の増粘剤を必要量添加混合するだけでよい。そこで、送泥管内に直接増粘剤を添加し、管内の泥水の流れるエネルギーを用いるラインミキサーにより管内で直接混合する方法が可能となった。また、増粘剤の添加量は清水の場合でも重量で1%にも満たないことから、前述の連続粘性計と組み合わせ、シールドマシンの後方台車に設置することが可能となった。その結果、調整槽を縮小し作泥槽を無くすことができた。

・2次処理設備の連続処理化

粘性土の卓越する地層を掘削する場合、2次処理設備での残土処理量が多くなる。2次処理設備では

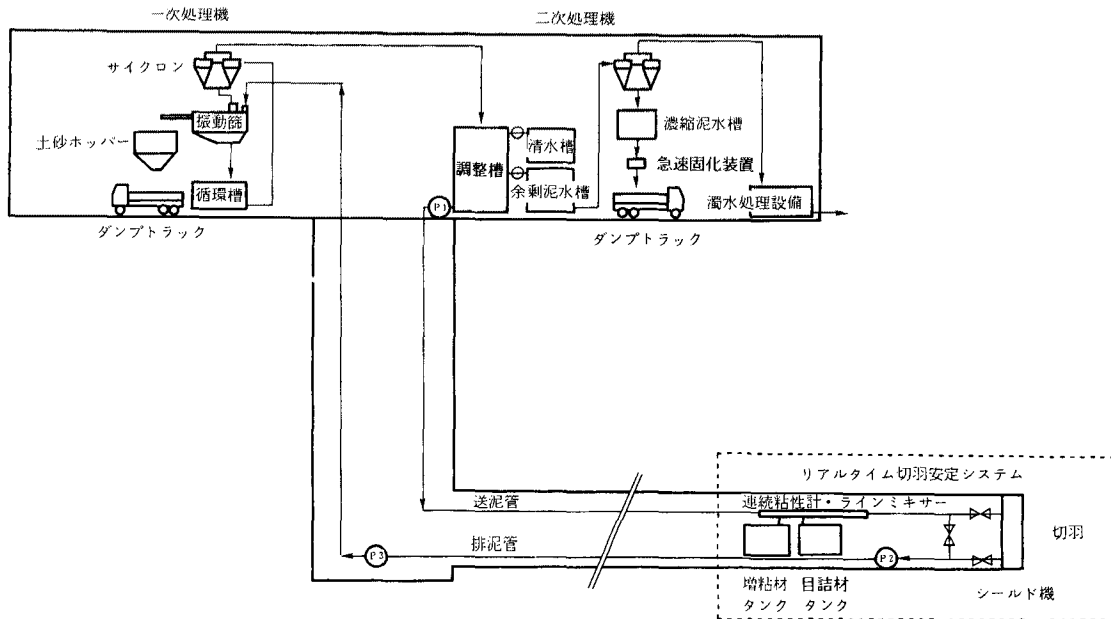


図-5 省面積型泥水工法フローチャート

フィルタープレスによる残土処理が行われているが、バッチ処理のため、大変大きなスペースを必要とする。この2次処理設備を連続処理にすることにより省面積化が可能となる。連続処理のために並列集合サイクロンと遠心分離機を採用する。

3.4 狭隘用地における立坑施工法

省面積システムにおける立坑面積は、シールド機を据え付けて発進できる最小面積、立坑内部に施工設備をなるべく収納できる面積、人孔築造に必要な面積を考慮し決定される。省面積システムにおける立坑必要面積を表-1に示す。

立坑施工法に関して15種類の工法を比較検討した結果、「深礎工法+ソイルモルタル止水壁工法」「圧入ケーソン工法」の2工法を採用する。

3.5 全体システム

本年度の研究の結果、従来システムと省面積システムのケーススタディーを仕上がり内径4,000mmの泥土圧式、泥水式について行った。必要面積は、

従来型 952 m²
省面積型 408 m² 42.8%

泥水式

従来型 1,156 m²

省面積型 391 m² 33.8%
となった。

4. まとめと今後の予定

4.1 まとめ

今年度はシールド発進立坑の省面積化に関する個々の課題に対する理論的考察を行った。「両工法共通設備」「泥土法シールド設備」「泥水シールド設備」「狭隘面積における立坑施工法」各々についての結論が得られ、それにもとづいた「全体システム」のケーススタディーでも1/2~1/3の省面積化がはかることができた。

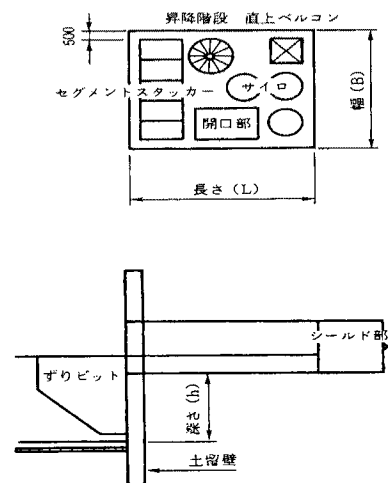
4.2 今後の予定

今後は本年度の研究をふまえ、施工中現場での各要素実験を積み重ね、全体システムでの施工を行い、それに伴って派生する様々な問題点を把握し、その解決策を検討しシールド発進立坑の省面積化システムの完成を目指すものとする。

表-1 省面積型立坑必要面積

仕上り 内径	長さ (L)			幅 (B)				深さ (h) 注3)		
	セグメント スタッカー	その他 注1)	小計	長さ (L)	セグメント スタッカー	その他 注2)	小計	幅 (B)	泥水式	泥土圧式
1,500									400	
1,650										
1,800										
2,000	2800	5500	8300	8300	6300	1000	7300	7300	700	3800
2,200										
2,400										
2,600				*1)				*2)		
2,800										
3,000	2800	6000	8800	9200	6300	1000	7300	7300	700	4500
3,250				*1)				*2)		
3,500										
3,750	3200	6000	9200	9700	6300	1000	7300	7300	700	5500
4,000				*1)				*2)		
4,250										
4,500										
4,750	3900	6500	10400	10700	6300	1000	7300	8300	700	5900
5,000				*1)				*1)		

本表は立坑の内法寸法を示した。
注1) その他：土留支保工、資材投入用開口部、昇降階段、残土搬出用直上ベルコン及び裏込材サイロ等の設置スペース
注2) その他：山留め支保工及びスタッカーとの余裕スペース (0.50m×2=1.0m)
注3) 深さ(h)：シールド機底面から基礎コンクリート天端までの深さ
*1) シールド機を据え付けて発進できる最小スペースから決定。
*2) 立坑内部に施工設備をなるべく収納し、掘進できるスペースから決定。



●この研究に関する問い合わせは

研究第二部長	藤田 昌一
研究第二部主任研究員	山下 順市
研究第二部主任研究員	伊藤 紀夫