

# 34. 常時加圧自動裏込注入装置

佐藤工業株式会社 久保田 清 三

## 1. まえがき

シールド工法は、不安定な地盤中トシールド機械を押し込み、トンネルを掘るので、地盤沈下はさける水なり性質を持つている。この地盤沈下を如何ト最少限度ト、止めるのが大きな問題トある。

特ト、シールド機械と共にテールボイドによる応力解放の生じる弾性および塑性沈下の影響は裏込注入の施工法によつて大きく左右されてゐる。この水を、最少限度ト押さえるための、掘進中のテールボイドは裏込注入材が常時加圧され注入充填がさ水なけ水はなすなり。このため、突進ト裏込注入を行なう装置を開発した。この裏込注入装置は設定した注入圧力の上限値、下限値によつて、注入圧力を自動制御し、注入流量管理、注入稼働時間の記録をする。

注入ポンプは特殊ポンプを使用することによつて、注入状態を突進ト掌握し、地盤沈下等ト肉すト技術的解析を容易トさせな。その結果、比較的土被りが浅く、地下水値の高し、砂質土と粘性土との互層の施工と、さりと軟弱粘性土への河川横断の施工であったが、無気圧で行なう管橋管理工の問題も満水になると、作業環境のよシ施工が出来な。以下ト本装置の突進結果を報告する。

## 2. 工事概要

土圧バランスタイプシールド工法と共に開発された常時加圧自動裏込注入装置は江東区豊洲、塩浜の両工事トあつて突進した。

表-1ト示すやうな地質で、豊洲トあつては、交通量の多い道路下で、重要地下埋設物が存在してゐる。さりと地上トは貨物線軌道が横断してあり、ビル構造物が近接してゐる悪条件下での施工であった。

塩浜トあつては、非帯ト軟弱粘性土の地盤中ト河川横断があつ、近くトは橋台、橋脚が近接し、護岸基礎杭直下での掘進とソつた悪条件下での施工であった。

表-1 工事概要

項目	施工例	豊洲シールド	塩浜シールド
シールド工事期間		0851.1~0851.6	0852.3~0852.4
目的		下水道	下水道
工法		土圧バランスタイプシールド工法	土圧バランスタイプシールド工法
シールド外径		2,870mm	2,870mm
仕上り内径		2,000mm	2,000mm
施工延長		532.1m	112.5m
土被り		55~65m	23.0m
最少回半径		R=100m	R=0
土質	上半	砂質土	粘性土
	下半	粘性土	
N値	上半	1~14(平均5)	1~3
	下半	0~3	
含水比	上半	29~37	48~72
	下半	48~62	
74%以下 (%)	上半	18~37	71~93
	下半	55~88	
74~420% (%)	上半	44~80	71~30
	下半	8~44	
420%以上	上半	2~20	0
	下半	0~2	
透水係数	上半	2.8 x 10 <sup>-3</sup>	5 x 10 <sup>-7</sup>
	下半	4.8 x 10 <sup>-6</sup>	
地下水値		GL-14~18m	GL-18~30m
施工条件		重要地下埋設物直下。鉄道軌道直下。地上構造物の近接	河川の横断。護岸基礎杭直下。橋台、橋脚の近接

### 3. 常時加圧自動裏込注入装置

常時加圧自動裏込注入装置は図-1に示すように、注入方法は、まず、セグメント組立中ト坑外で採ワテ注入材を運搬車ト入ホテ、後換台車ト搭載シホテ注入ポンプまで運搬シ、注入ポンプを逆回転させテ注入材を運搬台車ホテポンプ自身のホッパト吸込ホテ、一時貯メテ、シールド推進と同時トポンプを正回転させテテールシールドで注入材を注入ス。

#### 3-1 注入圧力自動制御装置

この装置は注入ポンプの吐出側ト圧カプロテクタを取付ケ、テ水トよッテ作動スルコンタクト接点付圧カ計ト上限値、下限値を設定シ、注入ポンプの起動、停止を自動的ト制御ス。

シールド推進と同時ト注入ポンプが作動シ、注入を開始ス。推進が停止シテ、注入圧カが上限値ト達スルトポンプが停止シ、再び推進スルト注入圧カが低下

シテ下限値ト下ルトポンプは起動シ、注入材は常時加圧サホテ注入ス。

注入圧カの設定値はテールシールドの破損、セグメントスキャンレートワはスホテ、セグメントワ浮上ワ等ト考慮シテ上限値1.5 MPa、下限値0.5 MPaト設定シ。

#### 3-2 裏込注入ポンプ

このポンプは、正回転トよッテ吐出、逆回転トよッテ吸込ホテ別々ト行ホテ一軸スクリウポンプト、ポンプ上部トは注入材を一時貯メテホッパを取付ケホテ、注入材を後換台車ト搭載シテ、注入距離ト常ト一定トシ。

注入ポンプの仕様は表-2ト示ス通りト。

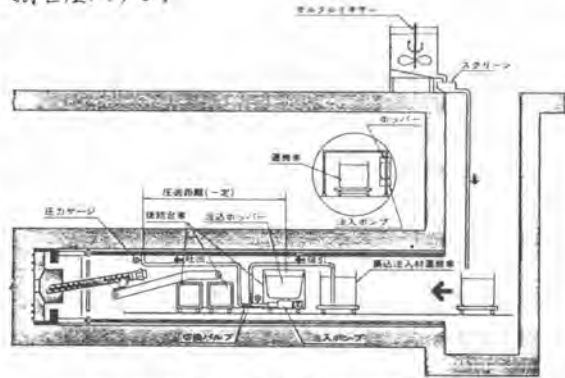


図-1 常時加圧自動裏込注入装置

表-2 注入ポンプの仕様

名称	電動機変速機付一軸式
吐出量	0.5 ~ 4.0 m <sup>3</sup> /hr
吸引量	0.25 ~ 2.0 m <sup>3</sup> /hr
吐出圧	3 MPa
出力	3.7 kW

### 4. 裏込注入材

裏込注入材は現場条件ト適スルよう次の条件ト設定シ。

- ① 強度  $\sigma_{30} > 1 MPa$
- ② 流動性 P. ロート 15 ~ 20秒
- ③ 収縮率 3% 以下
- ④ 材料分離 認めホテ存ホテ

表-3 裏込注入材の配合表 (1 m<sup>3</sup>当リ)

シリカ	砂	セメント	水	発泡剤	空気量	70値	圧縮強度
200目	200目	200目	375L	1250g	40%	15~18分	0.70 MPa

室内ホテ現場実験ト種々の配合を上記条件トワッテ

検討シテ結果、表-3のようト配合を用リ。存ホテ、テールシールドセグメントジョイントワ止水ト、砂ト多く使用シ場合ト方、効果ト大ト。

### 5 常時加圧自動表込注入の実績と沈下量

土圧バランス型シールド機の外径 $2.87\text{m}$ 、セグメント外径 $2.75\text{m}$ 、テールホイドは片側の隙間 $60\text{mm}$ 、リング(90cm)当りの設計注入量は $0.47\text{m}^3$ である。地盤沈下量を減少させるための表込注入量は設計数量より増すことである。しかし、注入量の増加は注入圧力を上げることに伴って、セグメントのばりや浮上りによる組立精度、作業性等が非常に悪くなる。以上のようなことから、注入圧力上限値を決定した。

#### 5-1 豊洲シールド

地盤状況は、軟弱な沖積地盤で表土(埋立土:層厚 $1.0\sim 3.0\text{m}$ )の下は粘性土層と砂質土層の交互層である。全地域で連続した水平状の分布を不層構成となっている。

シールドは土破り $5.5\text{m}$ ~ $6.5\text{m}$ のシールド外径の2~3倍となっており、泥/砂質土層および泥/粘土層を掘削する。

砂質土層は $N$ 値 $1\sim 14$ (平均 $5$ )、自然含水比 $29\sim 37\%$ のシルト質の細かい微細砂であり、粘性土層は $N$ 値 $0\sim 3$ 、自然含水比 $48\sim 62\%$ の非常に軟弱な、地域的に砂分を多量に含む。

埋設物はシールド天端上 $1.5\text{m}$ の位置に高圧ケーブル(6万k.V.A)の横断をはじめ、ガス、水道管が平行している。また貨物線の軌道が工事路線を横断している。

このための各関係当局より地下埋設物は $20\text{mm}$ 以下の沈下量、軌道部の沈下量を $9\text{mm}$ 以下に抑えるための軌道部通過前後 $1.5\text{m}$ の範囲の注入圧力上限値を $1.5\text{kg/cm}^2$ 、 $1.8\text{kg/cm}^2$ と上げ

注入量を増し沈下量を抑える方法とした。表込注入の実績を表-4に示す。この結果、軌道部では最大 $7\text{mm}$ の沈下を抑えることが出来た。その他の測定4所の平均沈下量は $1.5\text{mm}$ で施工が出来た。

図-2はトンネル直上での最終的地表面沈下量の縦断面図を、図-3は地表面沈下の横断面図を示す。

#### 5-2 塩浜シールド

地盤状況は、軟弱な沖積地盤で表土(埋立土:層厚 $3.6\text{m}\sim 3.8\text{m}$ )の下は軟弱な粘性土層で、全地域で連続した水平状の分布を不層構成となっている。

シールドは土破り約 $2.3\text{m}$ のシールド外径の約3倍となっており、泥/粘土層を掘削することに伴う。

表-4 表込注入実績

設計注入量	実注入量	注入率	注入圧
$267.93\text{m}^3$	$358\text{m}^3$	134% (軌道部) 171%	軌道部付近 上限 $1.5\text{kg/cm}^2$ 下限 $0.5\text{kg/cm}^2$ 上限 $1.8\text{kg/cm}^2$ 下限 $0.5\text{kg/cm}^2$

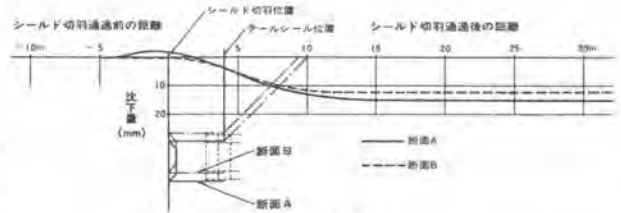


図-2 地表面沈下(縦断)

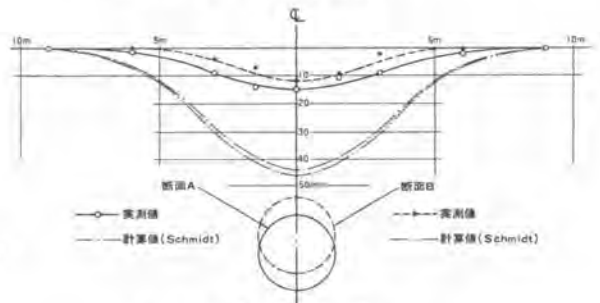


図-3 地表面沈下(横断)

表-5 表込注入実績

設計注入量	実注入量	注入率	注入圧
$59.22\text{m}^3$	$69.2\text{m}^3$	113%	上限 $1.4\text{kg/cm}^2$ 下限 $0.5\text{kg/cm}^2$
$0.47\text{m}^3/\text{リング}$	平均 $0.53\text{m}^3/\text{リング}$		

掘削延長の約45%は運河横断である。N値は1~3、自然含水比48~72%の非常に軟弱なシルト層があり、地質的には、砂分を25%程度含むT11。

シールド通過路は、汐見運河(幅2.8m)を横断する。この運河の給橋橋台、橋脚が近接し、運河護岸の基礎杭(シートパイル)直下約1.8mのヒコウを通過する。このような地盤中を掘削し、周辺構造物に影響を与えず施工を行なった。

表-5に表込注入の成績を示す。地表面流下の測定結果は図-4。図-5に示すように、最終流下量は12mm~15mmと非常に少ない。

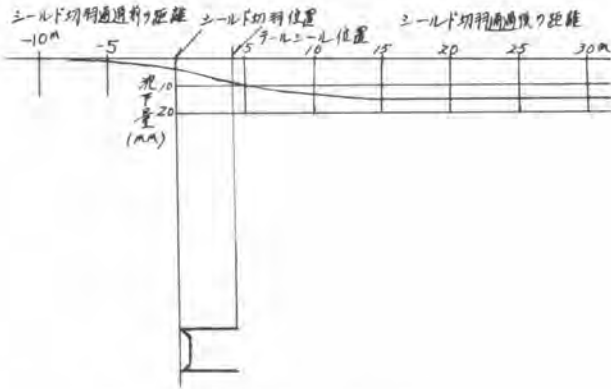


図-4 地表面流下(縦断面図)

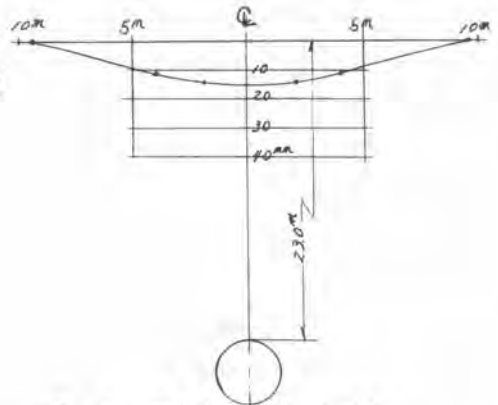


図-5 地表面流下(縦断面図)

## 6. 常時加圧自動表込注入装置の特徴

この装置の特徴は次のようである。

- ① 注入ポンプを使用台車に搭載しているため注入距離が一定となり、注入効率を向上し、注入材の適用範囲が広く出来る。
- ② 掘進と同時にテールシールドまで注入されるため地盤流下を抑えるのが効果的である。
- ③ 同時注入であるため坑内への漏水が少なく高圧気密施工を容易にする。
- ④ 注入圧力自動制御装置が確実に行えるための注入作業の手間を省ける。
- ⑤ 注入ポンプは振動、騒音が少なく、騒音は全くない。
- ⑥ 低圧注入の時の地山を介さずテールシールド、セグメントジョイントパッキンを破壊することはない。
- ⑦ ポンプ、ホース等流漏、修理が簡単である。

## 7. あとがき

土圧バランス型シールド工法と常時加圧自動表込注入装置の採用により、報告(下)より軟弱なゼロメートル地帯の地盤で地表面流下量が理論計算値より小さく施工出来た。以上のように、如何に表込注入が地表面流下を抑えることに役立つ重要性と、さしと再認識を促す。