

28. 場所打ちライニング工法

大林組 山本 進・*牧野 雅紀

1. まえがき

昨今、シールド工法は、市街地における上下水道・電力あるいは地下鉄のトンネル築造方法として、数多く用いられ、その主流を占めている。これは、同工法が適切な施工法・補助工法の選択により、工事中地上に及ぼす影響を少なくすることができるためである。しかしながら、地盤沈下による家屋や既設埋設物への被害が少なからず発生しており、地盤沈下の防止に関する抜本的な解決方法になりえていないのが現状である。また、シールド工事の増加に伴い、効率的な施工、即ち、工期の短縮、工費の低減、等はより一層追求されなければならない問題である。このような観点から、セグメントを使わないシールドのライニング工法として開発されたのが、場所打ちライニング工法である。

本報告は、場所打ちライニング工法の概要・実機を使用したの現場実験の方法・結果を述べたものである。

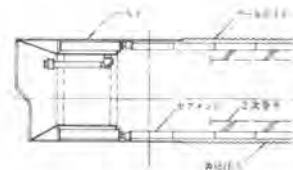
2. 場所打ちライニング工法の概要

本工法とセグメントを用いた場合の施工法の比較を図-1に示す。本工法は従来のセグメント工法のセグメント組立時に、テール内に鉄筋を組み、所定の巻厚を確保してテール内に型枠を組み、テールプレートと型枠の間にコンクリートを打設し、妻型枠兼用のプレスリングを介してまだ固まっていないコンクリートに推力を伝達し、高圧でプレスしながら、この反力を利用してシールド機を前進させる。この時切羽の掘削はセグメント工法と同様の方法にて行なうが、シールド機の推進によって生じるテールプレート厚相当のテールポイドを、瞬間的にフレッシュなコンクリートで充填でき、テールポイドに起因する沈下問題を解消できる。また、セグメント工法での一次覆工、裏込注入、二次覆工の三工程を一度に施工できる。このような施工を行なう場所打ちライニング工法はセグメント工法と比較して次のような利点を持っている。

(1) シールドの推進と同時に発生するテールポイドを瞬間的にフレッシュなコンクリートで充填できるのでテールポイドに起因する地盤沈下がない。(一般にテールポイドに起因する沈下量は全沈下量の40~50%、大きい場合には80%程度である。)

(2) 一次覆工・裏込注入・二次覆工の三工程を一度に施工出来るので全体工期を短縮出来る。

セグメント工法



場所打ちライニング工法

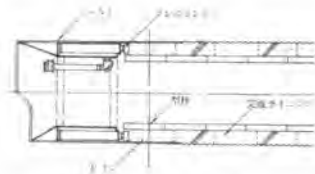


図-1 施工法比較図

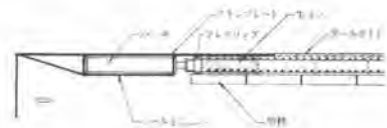


図-2 プレス工程詳細図

- (3) 高圧でコンクリートをプレスするので高品質で緻密なライニングが出来る。
- (4) 覆工断面の縮小および覆工材料費の低減によって工事費が低減できる。

3. 現場実験

本工法の基礎研究は1974年より当社技術研究所にて開始され、これらの結果を基にして1977年と1979年の2次に亘って、現地盤にシールドトンネルを掘って現場実験工事を実施した。

3.1 現場実験概要

- (1) 場所 : 埼玉県川越市南台1丁目10-4 (大林組東京機械工場内)
- (2) 工期 : 1977年10月~1978年2月
1979年10月~1980年1月

(3) 施工条件

- シールド外径 : 2160%
- 仕上り内径 : 1616%
- 覆工厚 : $t=250\%$
- 土被り : $h=3.5m$

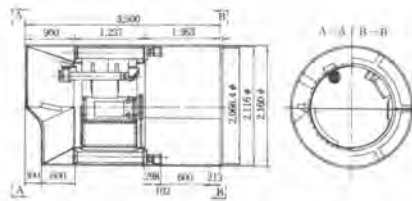


図-4 シールド概略図

(4) 地質

G.L.0m~-4.5mまではよく締った関東ローム層で、G.L.-4.5m以深は最大20%程度の礫を含む砂礫層である。地下水位はG.L.-5.0mである。

(5) 主要機械および装置

- シールド機 : 外径2160%手掘りシールド
 装備推力 60t×6本=360t
- 型枠 : 外径 1616%
 1409.6%
- スキンプレート $t=3.2\%$
- リブ厚 9%
- リブ高 100%
- 巾 75%
- プレスリング : 6分割した鋼製リング
- コンクリートポンプ :

シューピング社製 KSP-5S型 (第1次実験) 図-5 テーバ型枠 (第2次実験)

富士物産 フジフェーバーミニ (第2次実験) 表-1 コンクリートの配合表

(6) コンクリートの配合

実験に使用したコンクリートの配合を表-1に示す。設計基準強度は270Kg/cm²とした。

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランパ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W (kg)	セメント C (kg)	粗骨材 S (kg)	粗骨材 G (kg)	混和剤
25	12	4	50.5	42.0	150	297	796	1114	3.30
-	15	-	-	42.7	157	311	796	1083	3.45
-	18	-	-	44.8	166	329	820	1022	3.65

ケース	1	2
工期	1977-10~1978-2	1979-10~1980-1
施工場所	大林組工場敷地内	同 左
主目的	* 施工性の確認	* 前掲施工 * 有効化 (AC, SRC)
施工条件	* シールド外径 2160% * 仕上り内径 1616%	同 左
備考	* 手掘りシールド * 道床・基盤	* 同 左 * R=50m

図-3 現場実験内容

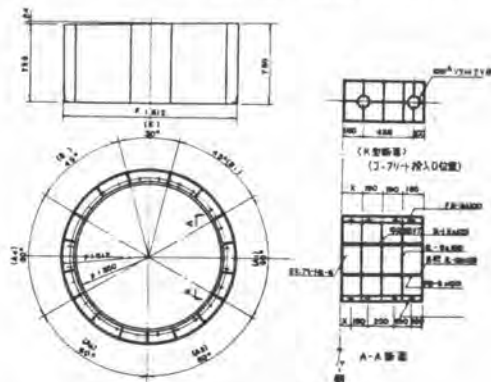


図-5 テーバ型枠 (第2次実験)

3.2 第1次現場実験

実験目的のうち主なものを次に示す。

- まだ固まっていないコンクリートをシールドジャッキでプレスしながらシールド機を前進させる。
- 型枠コンクリートに発生するひずみ・応力を計測する。
- プレスコンクリートの品質の確認をする。

施工方法を図-6に示す。シールドトンネルを約10m直線にて掘削し、そのうち8回(8Ring×0.75m/Ring=6.0m)を覆工厚250%の無筋コンクリートで場所打ちライニングを行った。掘削ヤズリ出しは通常の手掘りシールドと同じ方法で行った。実験方法と結果を次に示す。

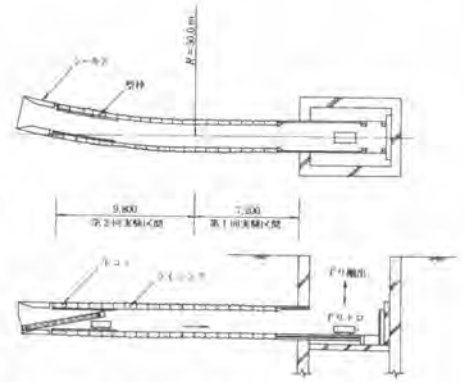


図-6 場所打ちライニング施工図

- (1) ジャッキ操作 — 全部のジャッキをプレスリングに固定した場合と下半分を固定した場合の2ケースを行った。その結果後者の方が、操作が容易で施工性が良かった。
- (2) コンクリートの打設量管理 — 型枠天端の圧力計で行った。測定の結果、圧力計の示度が2撃程度で100%充填できた。
- (3) コンクリートプレス力の管理 — シールドジャッキの油圧計(圧力変換器を油圧回路の途中に取付け自動記録とした。)と型枠天端の圧力計の読みで行った。その結果、最初コンクリートは圧密状態を呈し、シールドは前進しない。圧力計が最大値8撃程度になった時点から前進をはじめ、その後低下して4~5撃程度で保持される。
- (4) 地表面の沈下測定 — レベル測量により、掘削開始1週間前から終了後1週間経過まで毎日行なった。その結果、測量誤差と思われる1~2mmの変動であった。
- (5) コンクリートの品質管理およびその他の計測 — ライニングから採取したコアの平均圧縮強度は380撃で現場養生の供試体の強度に比べ20~70%高く、標準養生のそれと比べて10%程度高くなっている。また打継部から採取したコアの平均圧縮強度は360撃であり、また外観検査でもクラック等は発見出来ず、一般部と大きな差異は認められなかった。まだ固まらないコンクリートをプレスすると、型枠には600撃程度の応力が発生した。コアの採取長は27~30cm(設計巻厚25cm)であり、この結果からもテールボイドがコンクリートによって十分充填されていることがわかった。

3.3 第2次現場実験

実験目的のうち主なものを次に示す。

- ライニングの有筋化
- 曲線施工($R=50m$)
- ライニングの品質確認

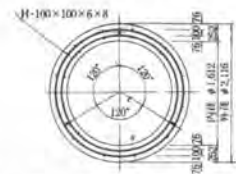
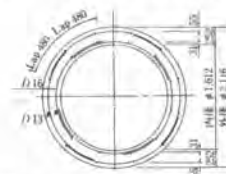


図-7 鉄筋組立断面図 図-8 鉄骨組立断面図

第二次実験は一次実験に引続いた区間において行なった。(図-6参照)曲線半径 $R=50m$ 、施工延長 $8.25m (= 0.75m/Ring \times 11Ring)$ の線形を覆工厚250%、R.C.およびS.R.C.構造の場所打ちライニングで施工した。ここでは、主にライニングの品質、計測結果について報告する。

(1) ライニングの有筋化 — ライニングは、鉄筋（主筋D-16, etc. 150）と鉄骨（H-100×100, etc. 750）を使用した。図-7.8に配筋断面図を示す。配力筋は、プレスリングに孔をあけておき、そこに通した。これは配力筋の継手長を確保するためのものである。鉄筋組立に要した時間は40分程度、鉄骨は20分程度であった。

(2) 曲線施工 — 曲線施工は曲線半径R=50mとし、型枠はテーバー型枠を用いた。シールド機を所定の曲線に進める方法は種々考えられるが、この実験では①抵抗板の挿入、②余掘り、を採用した。推進は最初全ジャッキで行い、しばらく進んだ後に片押を行った。推進管理は型枠の定点とシールド機の定点の相対距離を把握し、行った。曲線は設計曲線に対して3cmの誤差で施工出来た。

(3) ライニングの品質 — ライニングの強度について、実験結果を表-2に示す。コアの強度は、現場養生の供試体と比べ1.3～1.9倍の値であり、いずれも標準養生を上回っている。また位置的には、左右で大差なく、一般に下端で高い傾向にある。縦断方向では、プレスリング近傍のNo.4のコアと最遠端部のNo.3のコアの強度差も殆んどない。したがって、ライニングの強度はジャッキの片押しあるいは余掘へのコンクリートの流動による悪影響が見られず、均一で緻密なコンクリートを得られることが判明した。なお、曲線施工のためにシールド外側に最大15cm程度余掘りを行ったが、この部分にもコンクリートは完全に充填されていることが、コア採取長および目視観察より十分確認出来た。

(4) プレス圧力の伝達 — 図-9に推進時のプレス圧力の経時変化を示す。この実験ではプレス圧力は9.5～23.6kg/cm²であった。圧力のピークが発生するのはシールドと既設ライニングの縁が切れる直前、すなわちシールドが動き出す直前である。プレス圧力の伝達結果を表-3に示す。前リング打継部でのプレス圧力の伝達率は50%程度であった。

4. あとがき

本実験によって所期の目的を達成することが出来、本工法の施工法の基礎が確立出来、有筋化・曲線施工も十分可能であり、ライニングも高強度で緻密な品質を有していることが確認出来た。今後さらに、各種の条件下の研究・開発を続けて行く予定である。

（参考文献）山本 進他、場所打ちシールドライニング工法に関する

研究（その1）～（その4）

第36回 土木学会年次学術会議論文

表-2 コンクリート強度プレス状況

No	コア 位置 平均値 (kg/cm ²)	現場養生 供試体 平均値 (kg/cm ²)	コア位置 No.1 (kg/cm ²)	コア位置 No.2 (kg/cm ²)	コア位置 No.3 (kg/cm ²)	コア位置 No.4 (kg/cm ²)	備考
102-1	4.70	2.70 (1.20)	11.20 (4.0)	10.0	+	3.10 (1.6)	2-10m 不動体率77%
102-2	3.89	2.50 (1.1)	10.0	10.0	-	3.10 (1.6)	不動体率75%
102-3	3.67	2.40 (1.0)	10.0	10.0	5.3	3.10 (1.6)	不動体率75%
102-4	3.35	2.30 (1.0)	10.0	10.0	10.0	3.10 (1.6)	不動体率75%

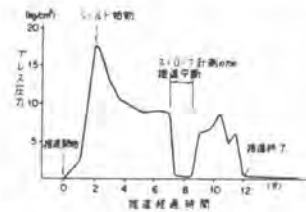


図-9 プレス圧力の経時変化

表-3 経過時間に伴う
プレス圧力伝達率

経過時間	プレス圧力 (kg/cm ²)	土圧計 (kg/cm ²)	伝達率
0'-0"	1.7	0.8	73%
0-30	4.5	2.5	56
1-0	0.4	4.5	-
1-30	16.0	8.7	54
2-0	11.2	6.0	54
2-30	8.9	4.3	48
3-0	5.8	2.9	50