

講 演

土木學會誌 第十八卷第八號 昭和七年八月

地下鐵道建設方法に就て

(昭和七年四月六日第二回工學會大會土木部會に於て)

會員 工學博士 小 野 諒 兄

A Method of the Construction of Subway.

By Ryokei Ono, Dr. Eng., Member.

内 容 梗 概

現時の地下鐵道施工法に於て改良を要すべき點を擧げ一新法を提案して改良の必要を説きたるものなり。

目 次

	頁
第一章 緒 言	1
第二章 世界各所に於ける地下鐵道建設方法	2
第三章 前記諸様式批判	6
第四章 地下鐵道建設方法に就て改良意見	10
第五章 地下鐵道建設改良方法新案に就て	11
第六章 結 論	15

第一章 緒 言

晩近文化の進展に伴ひて都市集中の傾向は著しく大となり、都市の膨脹發展は實に驚嘆すべきものがある、従つて交通の情勢は日に月に益々繁劇を加へ、滔々として押し寄せ来る洪水の如き觀を呈し、最早今日迄の都市交通機關にては敏活を缺き、多大の危險に曝露せられて都市生活の一大脅威を與へて居る。此間にありて當面及將來の交通情勢に應じて大なる抱擁力を有し、之等の交通量を都市心臓部に吞吐せしめ、其量の増加と共に益々其眞價を發揮せしむるものは地下鐵道の外はない、斯く重大使命を有するに拘らず地下鐵道が計畫せられて既に十數年を経過し、其進捗遅々として進まざる所以のものは大體三つに歸着せしむることが出来る。

(i) 工事困難なること

- (ii) 市内街路の埋設物が幾多の管理の下に置かれ敷設認可繁雜にして工事の着手迄に相當の長日月を要すること
- (iii) 建設費の莫大なること

以上の内第三の理由が主なるもので建設費に對して開通後に於ける利益が伴はないからである。賃金には社會政策上一定の限度あり今日の社會狀態より推察して、且つ外國の例を見るに特殊線路の外は四分以上の利益を擧ぐることに困難とせられてある故に投資金額に對して之に相當する利益を擧ぐるに建設費の低減より外途がない、之を半減することが出来れば四分は八分となりて恰も明治の中葉に於ける鐵道の勃興時代の如き地下鐵道の隆盛時代を現出することは困難でない。

叙上の研究は至難の問題であるが何うしても解決せざるべからざる問題にして、吾人 civil engineering に關係する者の間にありて解決すべき社會に對する責務であると信ずる。

第二章 世界各所に於ける地下鐵道建設方法

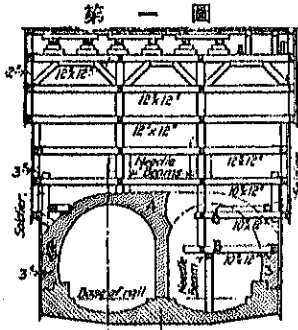
地下鐵道の掘鑿方法としては開鑿式と地下掘鑿式とある。前者は路面より切開きて工事を施行する故に土留方法に付き異なりたる方法がある、後者は地中掘鑿による roof shield を用ひ又は特殊隧道式による方法がある。

第一節 路面開鑿方法

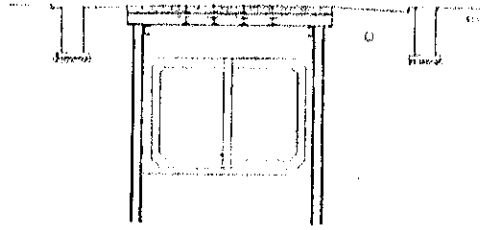
(a) 切開き木材土留工法 (第一圖参照) 今日迄世界各所に於て一般に用ひられた方法で路面に木の桁を渡して板張りをなし、道路面を受け兩側には矢板を打込み切張りをかい間柱を立て上部の重量を支持しつゝ掘下り底部に至りて茲に本構築を築造するものにして其建設に際して前記の木柱及切張りは一部宛取外し本構築にて代用しつゝ建て進む。此際に鐵骨又は煉瓦構造によるをよしとコンクリートを用ふるときは其凝結する迄支保として用ふることが出来ない故に建築に時日を要す。此方法は各所に於て用ひられた方法であるが路面軌道は他に移し open cut にしたことが多い。

(b) I-beam 打込みによる方法 (第二圖参照) 東京地下鐵道の建築方法にして伯林地下鐵道の工法に準據したるものである。

其方法は道路の兩側に沿ひて2列に3'~5' 間に I-beam を打込み上部には [形鐵を取付けて之に直角に I-beam を渡して電車軌道を支持せしむると共に此上に覆工をなして路面交通に差支へなからしむ。斯くして覆工の下部を順次掘鑿し兩側は鐵枕間に土留板を施し兩側相對する鐵枕間には木材の切張りをかい鐵枕の前面に傾くを防止する、水道下水等の地中の埋設物は軌道受の I-beam より吊り下ぐる。掘鑿終るときは底面コンクリートを施し兩側は



第二圖

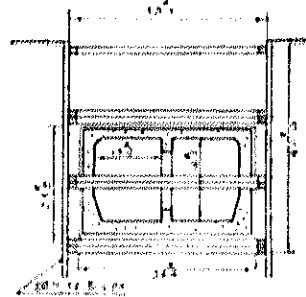


鐵杭の前面に薄きコンクリート壁を作り、底面と同時に防水布を張る。此コンクリート壁と鐵杭前面との間には施工上（腹起し取付の關係）間隙を有するによりて構築完成後に上より細砂を填充する。次に構築主體となる鐵骨組立をなす、又は鐵筋コンクリートにて築造するときは鐵筋の組立をなし最後にコンクリート打ちをなして主體構築を終る。構築の上部跡埋土砂は水流し込となし充分土砂の沈下したる後に路面鋪裝の復舊をなす。

(c) Sheet pile 打込みによる方法（第三圖参照）

大阪地下鐵道に於て用ひ居る方法で又此方法はボストンに於て特に崩壞の虞ある所に用ひたる方法である。前記方法の I-beam を打込む代りに sheet pile を連続打込みて土留となし、土壓は sheet pile 前面に切張りによりて防止す。切張りは深さを増すに従つて其數を増す、此式は土壓に對しては全く此切張りによるものなるにより其數も多く設置するを要し、又電車軌道を受くる所にありては更に間柱の設置を要するも施工繁雜になる故に多くは此區間交通を遮斷して open cut の儘工事を進む。

第三圖



(d) 縦桁による方法（第四圖参照）

縦桁を横たへ此下部に横桁を緊結し、之に stringer を載せて電車軌道を受け又此上に木桁を渡して覆工して路面を受く、縦桁は I-beam にして長さは全工區に亘り継ぎ合すものとす。斯くしたる後、高所横桁の下部を掘下り上部の荷重は此縦桁によりて前後の道路面にて支持せしむ。所定の深度に達するときは縦桁は長徑間になるによりて横桁の下方に支柱を立て、之を支へ此横桁は縦桁の支點となり向縦桁前後は路面にて受く、順次次の横桁の位置迄掘進み次の支柱を立てつゝ前方へ進む。土留は縦矢板とし支柱より切張りをかい土壓に對す。

第四圖



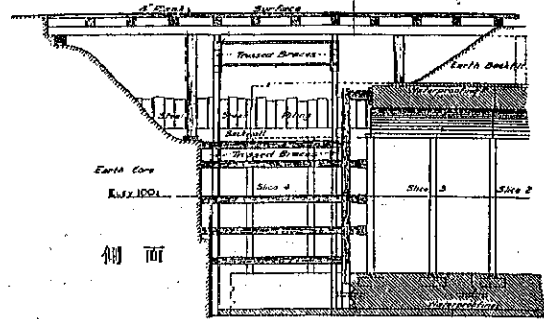
此方法は掘鑿の内部廣きによりて power shovel が使用せられて工事容易である。

(e) Slice method (第五圖参照)

地下鐵道の掘鑿に際して兩側は矢板土留によりて切張りをかいて土砂の崩壊を防止すると雖も土質柔軟なるときは更に進む方向へ土留をなし土砂の崩壊を防止しつゝ掘鑿せざれば土の緩みを生ず。斯かる際には前面の土留を確實ならしむる爲に一部分宛本構築を完成して之より切張りをかいて工事を進む、同時に此法は

小部分宛完成せしむるによりて工事の確實性を帯びしむることが出来る、然れ共工事期限と工費の増加は免れない、此方法はボストン地下鐵道に於て高き寺院の前を通過の際試みられたる方法で兩側には sheet pile を打込み cement grouting にて周圍の地盤を固めた後に施行したのである。

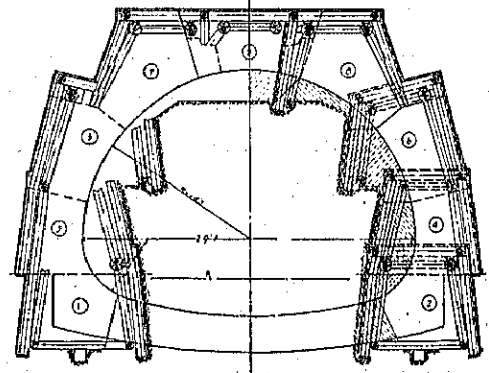
第五圖



第二節 地下掘鑿方法

(a) 獨逸式掘鑿方法 (第六圖参照) 此方法は所々に用ひられて土被大ならざる所でも路面の沈下比較的僅少である。先づ隧道の側壁に當る部分より導坑を掘鑿し、相當長さ到達する時坑奥より側壁を積み退き來り、更に其上に導坑を作り同様に疊築し順次上部迄及びし、斯くして隧道の被保工を完成し、最後に中部の core を除去してインバートを造る方法でボストン又は巴里にて用ひ東京地下鐵道萬世橋附近に於ても施工したる方法である。防水方法としては新舊コンクリート間に境目に銅板を埋込み底部にはアスファルト・シートを張つた。

第六圖



(b) 中央部掘鑿方法 (第七圖参照)

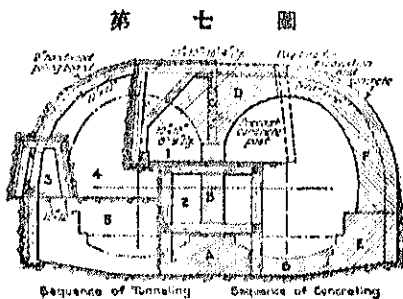
掘鑿方法としては German system であるが隧道掘鑿中路面の沈下する隧道断面の

中央部の掘鑿の際である故に複線隧道になし、中央壁を完成して上部を受け側方に及ぼす方法で、先づ中央部に導坑を掘り底部迄掘下り隧道の中央壁と上部のアーチの一部分を丁度傘

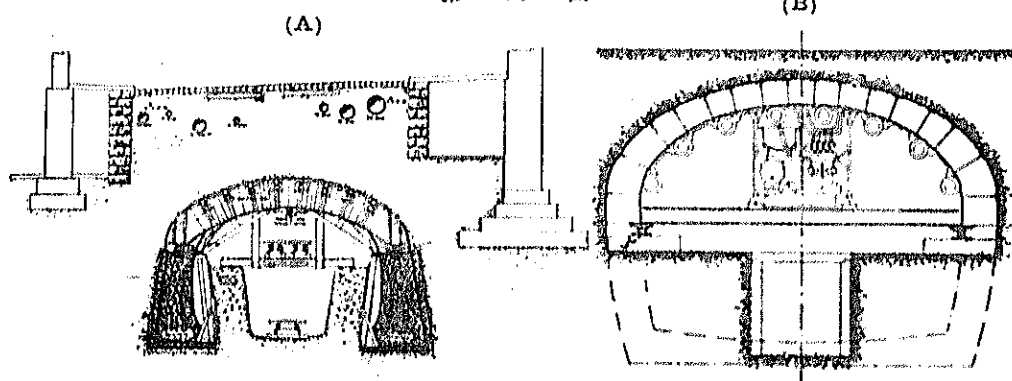
狀に疊築して上土の重量に堪へしむる。次に側壁の部分に導坑を掘りて順次上部に及ぼして側壁とアーチの残りたる部分を完成し最後に中間の土を除去してインバートを作る方法である。

(c) Shield による方法 (第八圖 (A) 参照)

巴里の地下線又はボストン紐育等所々にて用ひた方法である。一般には roof shield を用ふ。工事方法として隧道側壁に當る部分兩側に導坑を設け 100 呎位に達する時は側壁コンクリートを打ち退き來り、此上に roof shield を据え付ける。roof shield の構造は幅約 30 呎の鋼鐵屋根



第八圖



形にして、長さ 12' 位上平の爲に變形せられない骨組をなし、屋根の一端は刃先にして他端は周圍に沿ひて hydraulic jack を取付け、shield の下端兩側には roller を備へ付く。shield が所定の位置に据付けらるれば刃先の上砂を掘鑿して hydraulic jack にて押出す時は roller は側壁の上を轉りて前方に押進めらる。1 回の進行 30 吋位にして此進行に伴ひて後部の空きたる所 shield の tail 内面に沿ひてコンクリートにてアーチを作り覆工とし再び同一方法を繰返す。hydraulic jack の踏へはコンクリート・アーチを用ふる時はコンクリートの柔軟なる間は用ふる能はざるによりコンクリート填充に際して丸鐵棒を埋込み、之を jack の踏へとして前進せしめ又はアーチ・センターリングを利用する。

斯く側壁の上にアーチを竣成したる後に側壁の間を掘りてインバートを完成せしむる。此工事を施工するに際して隧道の一端堅坑を掘鑿して shield を此坑の内にて組立つると共に材料の搬出入に供する、巴里に於ては shield の形の異りたるもの澤山のものを使用したが其内最も結果の良好なりしものは champignon shield (第八圖 (B)) で中央に導坑を穿ち、専ら之を土砂の搬出と材料の搬入に用ひ、roof shield は側壁に當る部分を切斷して横枕木

を並列して此上に rail を敷設して此上を滑らしめ、側壁はアーチの完成後に抜堀になして構築したのである。

第三節 地下水位の低下方法（附圖第一参照）

1913年 Kylielleis により地下水位を低下せしめて土を乾燥状態となして工事を遂行する方法が提唱せられてより伯林の地下鐵工事には盛に行はれ河底隧道にも採用せられたる例がある。之より先き Boston の地下鐵工事の沼澤中の通過線路に試みられて良好なる成績を挙げ、又東京地下鐵工事に於て最近萬世橋附近工事に於て同一工法が試みられて良好なる成績を得た。Boston に於けるものは沼澤中の線路となる 兩側に堰堤を作り中央に徑 30 呎、深さ 50 呎の堅井を掘りてポンプ 4 臺を以て水を汲上げ地下水位を低下せしめた、此際の湧水量は 1 分時 120 立方呎なりしと云ふ。萬世橋附近のものは（附圖第一参照）160 呎を隔て堅井 (14.5'×9') 2 個を掘鑿し、深さ 50 呎に達せしめ汲水したるに地下水位は初め路面下 10 呎なりしも順次に低下して遂には 50 呎に達した。汲上げたる水の量は 1 分時 10 立方呎で隧道工事は之が爲乾燥状態を保ち工事は極めて容易に進行することが出来た。地下水の低下に就ては初め底設導坑を掘進せしに堅坑の掘鑿を終了すると共に之が作業に着手せしに、未だ充分なる水位の低下を見ず砂粒滲水と共に崩流して頗る危険を感じしかば一時作業を中止して専ら地下水の汲出しに止め、約 15 日間（堅坑の掘鑿を終了してから約 40 日間）之を放置したる後再び掘鑿を續行せるに完全なる水位の低下に成功し、以後は毫も地下水に悩まされなく作業を進捗せしむることが出来た。茲に面白いのは此區間に接して神田川が 9 呎深さの水をたゞへあるにも係らず河底以下 25 呎の處迄地下水位は下降したことである。堅坑底部には 12 呎深さの井戸棒を沈め汲水に便せしめた。水位の勾配は底設導坑の掘進と共に精密に底部より滲出する水位高を調査したるに堅井を中心として 1/40~1/60 であつた。

第三章 前記諸様式批判

前記諸様式を批判するに土地の状況と地質によりて一概に云ふことが出来ないが、開鑿法は土被の薄き所に用ひ、地中掘鑿式は深度大なる所に適す。工費の點に於ては地中掘鑿式は著しく高價に上る故に或程度の深さなる時は開鑿式を優れりとする。併し乍ら開鑿式は地上の交通を支障すること大なると崩壞の危険を伴ふは免れない。次に開鑿方法の内木材土留工法は初期施工のものは路面の荷重を受くるに困難の爲 open cut になして交通機關は他へ迂廻せしめた。交通の閑散なる地域に於ては工事簡單にして工費も比較的尠い。

I-beam 打込による工法は電車軌道を受け 覆工して交通の支障を最小限度に止むることが出来るも開鑿法は何れも崩壞の虞あるによりて之に備ふる方法を要する。

sheet pile 打込による方法は地盤の悪しき所に用ひて安全であるも、道路面の荷重を受け

しむるに困難なる關係上 open cut にする場合多く此方法は或る特殊箇所に限り行ふべくして都市全部に亘りて行ひて交通を支障するは考ふべきである。

縦桁による方法は工事方法が簡單で掘鑿の廣さ大きく器械によりて工事進捗を大にならしめ得るも土留の切張りは縦桁の支柱を用ふる關係上地盤の悪しき所に於ては特に兩側間に切張りを要し、其爲廣さを狭め此式の長所を失ふことになり地質の良好なる場合に限らるゝことになる。slice method は特殊地域に用ひらるゝ方法で餘分の工費と工期を要す。

地中掘鑿式は路面の交通の支障なしと雖も多少の沈下は免れない。此内 shield method は地質悪しき箇所に用ひ、或る場合は壓搾空氣を入れて土の崩壊を防止して工事を進める。又土壓大にして殊に側壓を受ける場合には German system は可にして中央部掘鑿方法は路面の沈下を最小限度に止め得る。地下水位の低下は前記何れの方法にも併用して工事を容易ならしむる。尙一般に亘り數項に分ちて批判する時は次の様である。

第一節 建設工費に就て

地質によりて建設費に相違あるは勿論である、又施行方法によりて著しき相違を生ずる、地中掘鑿方法は最も多額を要し開鑿式は安價である。今開鑿式工費を擧ぐる時は次の通りである。勿論土留の方法によりても異なるが普通地盤にして工事も簡單にして工費も比較的安價なる T-beam 打込工法による工事費を擧ぐ。之は東京地下鐵道に於ける複線工費で幾分廉く見積つてある。

第一表 東京地下鐵道開鑿式複線 1 鎖に要する工事費

工 種	數量	單 價	土留より後埋に至る迄の假工事に要する金額	本構築に要する金額	合計金額	摘 要
鐵杭 (65 呎 1-beam) 長 37 呎、40 本	44 ^本	27.00	1188.00	—	1188.00	(鐵杭は3回使用 し得るものとす)
同上 打 込	40 ^本	12.00	480.00	—	480.00	
路面電車軌道受街其他	25.1	27.00	677.70	—	677.70	
同上 取 付	—	—	57.00	—	57.00	
路面掘工及街掘付共	60 ^{立方呎}	28.00	1680.00	—	1680.00	
掘 鑿 土 砂	180 ^{立方呎}	15.13	—	2723.40	2723.40	
切開き掘鑿土砂	120.0 ^{立方呎}	15.13	1815.00	—	1815.00	
剩 土 運 搬	180.0 ^{立方呎}	6.00	—	1080.00	1080.00	
敷 砂 側	3.5 ^{立方呎}	24.00	—	84.00	84.00	
敷 コ ン ク リ ー ト	4.0 ^{立方呎}	80.00	—	320.00	320.00	
防 水	—	—	—	1403.20	1403.20	
間 隙 砂 填 充	11 ^{立方呎}	25.00	275.00	—	275.00	
鐵 構 枠	41.8 ^{立方呎}	95.00	—	3971.00	3971.00	

工 種	數量	單 價	土留より後埋に至る迄の假工事に要する金額	本構築に要する金額	合計金額	摘 要
鐵 構 棒 掘 付	41.8 ^{立坪}	18.00	---	752.40	752.40	
鐵筋コンクリート	37.0 ^{立坪}	105.00	---	3,885.00	3,885.00	
頂部保護コンクリート	4.0 ^坪	86.00	---	344.00	344.00	
跡 埋 土 砂	120.0 ^坪	13.00	1,560.00	---	1,560.00	
路面覆工撤去	60 ^坪	8.00	480.00	---	480.00	
鐵 杭 拔	40 ^本	13.00	520.00	---	520.00	
路面鋪裝復舊	28 ^坪	30.00	840.00	---	840.00	
電車軌道復舊	66 ^坪	45.00	2,970.00	---	2,970.00	
架空線處理	66 ^坪	15.00	990.00	---	990.00	
埋設物防護	198 ^坪	2.00	396.00	---	396.00	
同上復舊	198 ^坪	6.00	1,188.00	---	1,188.00	
合 計	Ⅰ 鎖に付 Ⅰ 埋に付	---	15,117.90	14,638.60	29,756.50	
		---	---	1,209,432.00	1,171,088.00	2,380,520.00

第一表を見るに總工費は1哩に付きて2,380,000圓1呎當り450圓である。之は本線複線工費にして停車場を含むときは尙高價に上る。此工費に就て解剖する時は構築費と之に必要な掘鑿費は1哩に付き1,171,000圓で其他の本構築に至る迄の準備費と云ひ得べき土留としての鐵杭打、路面覆工、電車軌道受等は1哩に付きて1,209,000圓を要して全工費に對し半額以上に上り、此工費は本構築を作る迄の全く假工事又は跡始末費にして竣工後は何等形を備へざる消失すべき工費である。

次に地下掘鑿式工費を擧ぐれば第二表の如くである。之は東京地下鐵道萬世橋附近の工事に於ける獨逸式掘鑿法によれる工費である。

第二表 地下掘鑿式工事費

隧道延長 443 呎、巾 29 呎、高 31 呎 (内側)

工 事 量	掘 鑿	2,014 ^{立坪}
	堅 坑	2 ^個
	鐵 筋	180 ^噸
	防水アスファルト層三重	315 ^坪
	鋼 板	592 ^坪
	コンクリート	1,350 ^{立坪}
工 事 費	セメント・グラウチング (1:4)	37 ^{立坪}
	隧道工費	260,008.80 (1立坪に1,171圓 (掘鑿費等) 附加し、地下鉄建設費の概算を1.17)
	剩土運搬費	23,034.00
	セメント 10 130 ^噸	45,164.00
	アスファルト 10.5 ^噸	550.50
	アスファルト・シート 1 175 ^坪	1,180.75
合 計		360,912.95 (1 呎當り 814.4)

即ち1呎當り 814 圓 を要して開鑿式の1呎當り 450 圓に對して殆んど倍額に達す。

開鑿式工費に於ては大阪の如く sheet pile を用ひ open cut になす時は路面覆工軌道受桁の費用を除き得るも、市中交通支障の爲受くる間接損害に對して明かに金額を以て表すこと困難なるも、之が爲市民の受くる損害は鮮少なからざるものである。

第二節 路面交通の支障と工事方法の危険性に就て

地下鐵道の建設にて市内交通を支障するは何れの方法も皆無にする事は不可能にして、其程度を異にするのみ開鑿法に於ては最も多く支障して建設期間中共同交通を遮斷して工事を行つた場合もあるが、多くの場合は覆工によりて支障を最低限度に止め施行する、地中掘鑿方法は市中交通を支障する事少くして材料の搬出入を或る一定區間内に限定して、工事は表面に表はれず全部地中にて施行する、此點開鑿法に優る事數等である。

工事の危険性に就ては開鑿法は廣き區間を開鑿して兩側に土留をなし、切張りに依りて兩方の土留を押へるものなれば切張りの工法如何に依りては兩側に緩みを生じて往々崩壞の原因ともなる。殊に此土留組立方法は線路と直角の方面には強きも線路の方向には弱く此方向の異様の土の壓力に對しては抵抗力少くして東京地下鐵道の事故の如きは此爲で土留として打込みたる T-beam を捻り崩壞を生じたのである、之を防止する方法としては横に強き H-beam を用ふるか又は T-beam を互に結合し一つの framed structure として resist せしむる方法なるも、工事最後に T-beam は抜き取る關係上此こと困難にして現時僅かに腹起しを用ひて此の缺を補ひあるのみである従つて絶對安全とは稱し得ない。

地中掘鑿法に依るは工事區域を一小部分に限定して遂行せしむるものなれば、危險も其區間に限られて大なる崩壞を生ずるものではない。只今日遂行はれたる處の地中掘鑿に依る時は表面の沈下は何れも免れなかつた。之が大なる時は交通の支障を生ずるのである。

第三節 地中掘鑿式による道路面の沈下に就て

Roof shield 工法に依る地表面沈下は shield を押しやつた後に隧道の周圍の土と被保工との間隙は少く共 3 吋ある。此間隙には豫め埋込める細き鐵管を通して cement grouting によりてモルターを注入して填充すると雖も充分なる結果を得る事少く之が沈下の原因ともなる。巴里の地下鐵道で最も好成績を挙げたる Champsignol shield の例であるが shield が前進する時に周圍の土が攪亂せられて此實行は不可能であつた。ルイリー第一工區に於ける例は土被 6 呎であつた。shield の進行と共に地表面は沈下して大なる所は 30 吋にも達し又所々に孔が出来尙同第八工區に於ては沈下極めて大なるものがあつたが之は shield を載せてある rail が重さに堪へず、沈下したる爲全體が下降したのであつた。斯く土被の厚さと土質の如何によりて沈下の程度を一概に言ふ事が出来ないが幅 30 呎、長さ 20 呎の鐵の屋根が數百噸の壓力にて前方に押しやられるが故に shield の周圍の土が 1 呎乃至 2 呎攪亂せらるゝ

は容易に想像することが出来る、此際上の土は shield と共に移動して其處に空隙を生じ路面の沈下の原因となり移動量の大小によりて路面に凸凹を生ずるのである。隧道工法に依る表面の沈下を見るに東京地下鐵道の萬世橋附近の例であるが、前述の通り初め掘削を掘りて地下水を低下し German system に依りて隧道を掘削した、地質は締りたる細砂で土被は構築の上 20 尺であつた。初め地下水位低下の際には地表面に何等の沈降を認むる事が出来なかつた。導坑は下方に兩側の壁になる所に設け順次上方に及びし 4 段宛にて頂部に達せしめたが最下部を掘削した際に支保工には何等の壓力のかゝりたるを認むること能はざりしも表面幾分宛の下降を見、初め底部導坑兩側を掘削の際に約 1 寸、次の上部兩側の 2 段 3 段の掘削に於ては 3 寸となり、最後の 4 段目の相隣接せる隧道頂部の 3 個の導坑を掘削の際には更に増加して合計 1 呎の沈下を生じた。之と同時に地表面には隧道に沿ひて底部より plane of rupture 附近に細き龜裂を生じたが之は修繕を要する程度のものではなかつた。又斯かる沈下に何等交通の支障は來さなかつたが路面の舗装は修繕を要した。

地下水位の低下による地表面の沈下に就ては水位の低下によりて土は乾燥して收縮し、表面の沈下を起す順序となるが實際には各所の掘削に於て神田驛附近の柔き地盤に於ても之が爲毫も沈下を認めなかつたのである。東京の地質は含水の有無に依つて收縮に著しき相違があるが、粘土と砂及 silt の量により異なる土質が砂及 silt のみなる時は乾燥しても收縮しないが、粘土なる時は著しく收縮する。要するに粘土と砂及 silt の比なる所謂 mechanical ratio の大小によりて收縮に大小ある譯であるが神田驛附近の如き粘土の地質にありて收縮を見なかつたのは粘土は地下水位の低下によりても尙水分を保持して乾燥状態にならないものと推定せらる。

第四章 地下鐵道建設方法に就て改良意見

第一節 交通支障の除去

地下鐵道建設地域は市の中核で交通の最も頻繁なる所である、斯かる所に一時なり共道路路面を開鑿して交通を阻害して市中を混亂せしむること既に主旨に於て間違つて居る。出来得るならば地中掘削方法によりて地表面にて知られない間に工事を竣成せしむる様なる方法を撰ばなければならぬ、今日迄の地中工事は何れも工費の著敷く高きと道路面の沈下は免れない故此事項に關し他に適當なる改良方法を講ぜなければならぬ。

第二節 工事費の低廉

建設費に就て吾人の希望する所は低廉なる事である、今日の建設費は投資金額に對して之に相當する利益は擧げられない故に建設費を低減せしむるを要するは前述の通りである、然るに實際の工事費用を見るに其半額は構築を築造する迄の假設工事である故に此假設工事を

廢する方法を講ずば其目的を達することが出来る譯である。前掲の建設費は本線路に對する構築費で停車場に於ては2倍又は3倍を要する、従つて又其節約し得る額も大である、之以外に變電所費、送電費、信號費及軌道費等を要するも之は構築費に比して其額尠くして構築費の節約は建設費を低廉ならしむることになる。

第三節 假工事の省略

工事施工方法に就て吾人の常に遺憾に思つて居る問題は何れの工事に於ても本工事と假設工事とを別々に2重になし居ることである、地下鐵道工事に於て見るも本構築を構成する迄に杭打又はシート・パイルを打込み、土留工事をなし、路面には交通を支障せざらしめんが爲に覆工をなす等本構築費とは何等關係なきものにして、之が本構築より高價に上るのみならず往々にして崩壞等の事故を生ずるは若此處より發するのである故に本工事は假設工事ともなり又假設工事は本構築ともなる方法を採ばねばならない。

第四節 地下水の低下

地下水位の低下は近來の地中工事に一大進歩を與へた事は前述の通りである、地質軟弱と認めらるゝ所も排水によりて強固なる地盤ともなる故に工事開始に先だちて地下水を低下して強固となるや否やを検し、夫れに適當する設計によりて施工し徒に柔き地盤と同様なる設計により工費を高むる如き劃一主義に陥らざる様努めなければならぬ。

第五節 防水方法

防水方法に就ては防水布を張り、防水煉瓦積をなす等工費少きものにてても1哩に付き10餘萬圓を要して居る、而して防水布其物は防水の役目をなすも工事の不完全より生ずる漏水を免る事は出来ない、何程注意を拂ふも些少の不完全より漏水ありて實際に於ては殆んど不可能の状態にあり、若しコンクリート中に防水セメント又は硅藻土の如きものを混合して密度を大になし、コンクリートの新舊の継手箇所には薄き鉛板を挿入し、又は施工に相當の注意を拂ふ時は之を廢止するも漏水を防ぎて費用を節約する事が出来る。尙又滲出する水に對しては表面よりミーカーの類を塗抹して防止する事も出来る、東京地下鐵道神田驛附近で防水布を張る事不能の箇所に應用して効果を擧げて居る例がある。

第五章 地下鐵道建設改良方法新案に就て(附圖第二参照)

前記の改良意見を基としたる地下掘鑿式にして道路面を掘鑿せず、只構築の主體となるべき側柱を道路面より打込み同時に之を土留柱となし、地中を掘鑿し又之によりて路面の荷重を受けて路面の沈下を防止し、最後に此鐵柱をコンクリートにて包み、本構築となす方法であつて施工方法は次の順序による。

第一節 施行方法

(a) 構築側柱打込み 地表面より地下鐵道兩側壁の位置に 3 呎乃至 5 呎の間隔に鐵柱を 2 列に相對して打込み、之を本構築の側柱となす。側柱は I 型又は H 型鋼鐵となし、打込み方法は地面所定の位置にスクリー・ボーリング機にて鑿孔し、建造せんとする構造物の底部迄達せしめ、之に鐵柱を挿入し、底部以下は強く打込み、上部の重量に對して充分の支持力を得せしむ。鐵柱を鑿孔中に挿入するは柱を直立ならしむると共に掘鑿に際しては柱の周圍を掘る故に土との摩擦が減するが故に支持力は底部以下にあらしむる爲である。支持力は最後の打止め沈降によりて算定し構造物上部の土の重量に堪ふる事を要す、鐵柱を打込みに當りて柱の上部に strut をあて打込みて strut は後に抜取り柱の頭部は地表面以下に止まらしむ。

(b) 工事開始堅シヤフト掘鑿と地下水位の低下 前記道路面の兩側柱列間には堅シヤフトを土留板を施しつゝ掘下げ工事を此箇所より始むると共に地下水位を低下して地質を乾燥せしめ堅シヤフトの表面には覆工をなして交通に支障なからしむ。(附圖第二(A)参照)。

(c) 横桁取付け(第十圖正面圖参照) 前記シヤフトの隧道側の壁に兩側柱間構造物の頂部となる處に横桁を渡し、兩端は鐵柱に取付く。兩鐵柱間の間隔の伸縮に對して自由に取付け得る爲接合鐵釘を介して電氣銲接をなす。接合鐵釘を初め鐵杭に銲接し、次に横桁を之に銲接す、横桁は上部土の重量と路面の活荷重を支持し得るものにしてトラス型又は I 型桁とす。

(d) 縦バー打込み 前記の横桁を枕として土留板の間隙より L 型縦バーを隧道の方向に打込む。バーの打込みを容易ならしむる爲に簡單なるロータリー・ドリルの如きものを以て豫め小なる孔を穿ち其孔に打込むを良しとす。縦バーの相互の間隔は土質により異ならしむるも約 2 呎とす。長さ及巾は手許の下部を掘鑿するも尖端にて支持し得る丈けの大さとなす(第十圖(A)参照)。

(e) 縦バー下部掘鑿(附圖第二(A)及(B)参照) 前記打込みたる縦バーの下部を手許より少し宛掘鑿する、此際天井土留として縦バー間には矢板を蓋して打込みつゝ掘鑿す、若し土質良好にして縦バー間隔廣き時は掘鑿に伴ひて横板を 1 枚宛かいつゝ進む。斯く掘鑿して次の鐵柱の位置迄達する時は前面には土留板を施して、切張りを後方の横桁よりかい、土の緩みを防止す。而して掘鑿の深さは次の横桁取付けに差支へなき深さとす。

(f) 第二横桁取付け及掘鑿(附圖第二(c)参照) 前記掘鑿終る時は次の横桁を前同様取付け、上縁はパツキングに依りて縦バーを支持す。然る後に尙掘下り深さ 6 呎位に達する時は木材切張りを鐵柱間に入れ、鐵柱の前方への傾きを防止す。切張りの上には歩み板を張

りて土砂の運搬に供すると共に次の土留の支材の後踏へとして利用す。

(g) 土砂掘鑿 側面の土留は側柱に土留板をかいつゝ掘鑿す、此際に土留板は鐵柱の外椽に沿ひ間隙には木の楔をかいて外方へ土を押し付くる様になし、楔の厚さは今後施工すべき保護コンクリート壁厚と同じく約3吋とす。掘鑿終る時は底面下へ角材を鐵柱間に埋込み杭の前面に倚るを防止する。

(h) 鐵柱間の繫鐵 掘鑿の進行に伴ひて山形鋼にて側柱間を繫ぎ合せ、framed structure になし、柱の捻れを防止す。其繫ぎ方法も電氣銲接に依るを便とす。

(i) 防水工 掘鑿せる底部を一樣に敷き均し適當厚に砂利を入れ、3吋位のコンクリート工を施し兩側面は鐵柱の外椽楔の厚さ丈けコンクリートを填充し保護壁を作る。此際鐵柱と土留板との間の木楔はモルタル製のものと取換ふるものとす。斯くしてコンクリート底面及壁面にはアスファルト・シートを張り、側壁はシートの兩端を鐵柱内面に張付ける。天井の防水はセメント・ガンにて上面にモルタルを吹付け、其面に側壁と同様アスファルト・シートを張付ける。此施工方法は従來の方法に準據するものなるも、寧ろ個體コンクリートに防水セメント又は耐濕土を混和してコンクリートの質を密になして漏水を防止するを優れりとする。

(j) 底部横桁取付け 上部のものと同様に取付け茲に全部鐵材構築を終る。

(k) 軀體コンクリート工(附圖第二(1)及正面圖參照) コンクリートを施工するには鐵柱の前面及上部横桁の下椽に型枠を取付け、コンクリートを填充し天井の分は壓搾空氣コンクリート填充法による。此際に横桁と縦バーの間にあるバツキングはモルタル製のものと取換へ横桁は全々土と接觸せしめざるを要す。

(l) Cement grouting 最後に道路面より鐵管を挿込み、軌道床以下に空隙を生じたる處ある所には cement grouting によりてモルタルを注入する。此方法は工事の開始前に當りて地質の空隙多き所に用ひて地質を固め沈下に備ふることを得る。

第二節 工事方法の批判

(a) 工事の安全 之に就ては道路面より打込みある鐵柱を直ちに本構築になすによりて掘鑿に従ひて各柱の間を結び合せ、framed structure になし得るによりて凡ての方向に強度を増し、土壓の何れの方向に對しても強固となり崩壞の虞れを除去する事が出来る。

(b) 工事の簡易化 道路面を掘鑿せず又土留柱は直ちに本構築となるに依りて工事を簡易化し、従來の方法の如き切張り中の狹隘なる内に於て尖を一部分宛撤法しつゝ鐵骨を組立つるに比しては著しく工事を容易になす事が出来る。

(c) 道路面の沈下 地下水位の低下によりて土の收縮に基く沈下は實察に認めざりし

は前に述べたる様である。尙一般の場合に於ては構築の上面は地下水位の上にあるによりて収縮に就て全々考ふるを要せない場合が多い。沈下の原因は天井土留の沈下にあるが、本工法は掘鑿前に縦バー全體を打込み、其後端は固定せる横桁にて支持し、土中奥深く入れあるバー間に矢板を支へつゝ打込み、バーの中程迄下方を掘鑿する故に従來の隧道工事の方法に於ける如く單に矢板のみを使用して掘鑿し、矢板が前に垂れる方法とは全然趣を異にし、縦バーが下らない限りは矢板は下らない、縦バーは適宜其數並に大きさを土質に準じ支持力以内にあらしめ得る。加之掘鑿前面は前述の slice method と同様に土留切張りを横桁よりかいつゝ掘下る故に土の緩みを防止し此處を除去する事が出来る。

(d) 停車場構築 停車場構内は幅廣く従來の方法にては土留杭間の切張りは長尺に亘り爲に中央部にも杭打ちをなして中繼して一度に掘鑿した、従つて崩壞の危險存す。新工法による時は中央の杭打ちにて片側宛の工事を完成して2回に亘りて施工して工事區域を縮小する事が出来、中央の杭はアイランド式ホーム上に於ける柱となり、又は工事完成後に至りて柱を切斷して其數を減ずる事も出来る。

(e) 工事施工上の機械化 新工法は掘鑿場所廣くして power shovel の使用自由なるを以て土工自動車を隧道内に入れて積込み、適宜の箇所にて設けたる堅坑より地表に運び出すことが出来る。

(f) 工費に就て 本工法は構築に要する假工事を省略して只構築の側柱を路面より打込むのみなれば、假工事としては鋪裝の一部と柱打込みの爲の電線路の處理のみにして、之が金額は 100 000 圓で足る。併し乍ら本法は隧道式による故に天井の土留を要し、縦バーの差込みの爲1哩に付き 100 000 圓位を要す。鐵柱の打込みは本構築に屬すれば假工事としては合計 200 000 圓にして前述の開鑿式の假工事費の 1 220 000 圓に對するものにして約 100 萬圓の低減である。勿論工事の開始に當りて堅シャフトを要するも多くの場合は既設隧道より連続して工事を起す故に之が設置を要せず、構築費としては前記の側柱打込み費と柱の餘分の長さとの費用を増し此額は地質によりて異なるが約 10 萬圓餘とす。之に横桁を取付くるものなるも之は丁度従來工事の鐵骨組立リベット打ち作業に對するもので切張内の狭き場所に於ける工事に比して寧ろ容易である。土砂の掘鑿費に就ては縦バーの下部の掘鑿に際して工費を増すも、切掘げ場所は廣き爲機械の使用に適して却て全工費を節減し得る。又土砂の搬出の爲に假堅坑を設くるを要するも之が増額は全工費に對しては小額にて足り其他 cement grouting に要するも之は特種の地質に用ひらるゝのみである。

前記する所は本線構築費の節約なるも之が停車場となる時は其節約は構築の大なる丈け大にして本線に比して倍額又は以上に達して總建設費に於て著しき工費の節減を見ることが出

來る。

(g) 鐵骨の腐蝕に就て 鐵柱及橫桁は全部コンクリートに包まるゝ故に腐蝕の虞れがない。只鐵柱の上下の部分は土中に殘される故に此部分の腐蝕は免れない。併し乍ら構造物として必要以外の處である故に介意する要なきも長年月の中には腐蝕は鐵柱を通じてコンクリート壁中に侵入せざるなきやは保せない。

斯かる際最早地質も固まり丁度伯林の地下鐵道の設計に於けるが如きコンクリート側壁の上、に鐵筋コンクリート蔽蓋を有する構造物として考へることが出来る。

第三節 前記新方法補案

(a) 地質柔軟にして縦バーの尖端の支持力少き場合には大倉土木會社の考案に依る I-beam 地中水平並通し方法に據る時は便である。此方法は道路面に約 200 呎を隔てゝ二つの堅シャフトを掘り、此間に初め細き鐵棒を平に並通して一端に I-beam を結び付け、他端より引寄せるのである。I-beam の長さは堅シャフトの幅大なるによりて引寄せるに従ひ繼ぎ合はず。此方法によりて I-beam を平に並列して用ふる時はその天井を造る事になり、前記の縦バーに代用する事が出来る。斯くして横桁を各側柱毎に取付けて此天井を受けつゝ掘鑿を進めるのである。

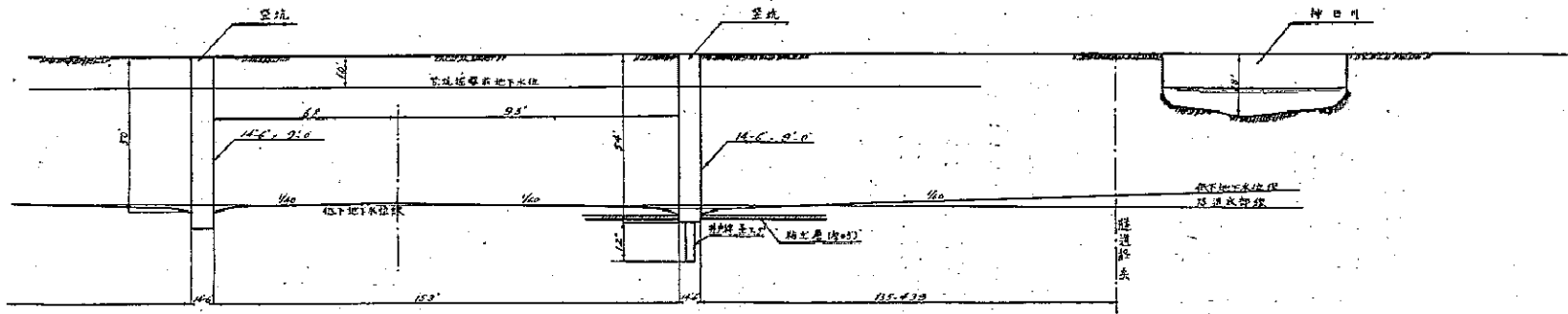
(b) 前記の方法の工費を尙一層節減せんとする方法にして、線路の往復線を上下に重ね築造する。掘鑿費は地下水位の低下によりて深度増すも其割合に増加せずして横桁の徑間を半減し得て、天井の土留費用を半減する事が出来る。勿論線路は停車場に至りては並列せしむるが、聯絡驛に於て線路を上下に配置する場合に用ひて極めて便利である。

第六章 結 論

地下鐵道の普及を圖らんとせば建設方法を改良して建設費を低減せしむるにある事は既に述べた通りである。今日迄の建設方法を見るに從來の方法のみを踏襲して何等改善の跡を認めない。建設費の遞減等は全く顧られて居ない。偶々工費を低廉ならしむるとせば、それは單に請負金を如何に低廉ならしめんとするに過ぎない。設計の改善施工方法の改良の如きは著も認むべきものがないと云ふも過言ではないと思ふ。前記する所は改良の一方法に過ぎずして而も工費は半減せんとしてゐる。今日の地下鐵道工事に於て最も大切にして急務なる問題は此點で徒に多額の金額を無益に地中に埋没せしむるに忍びない、まして線路建設の遅々として進まざる所以のものも原因は茲に存在するからである。著者は此點を高調して斯界多數の人々の注意を喚起せんとする次第である。

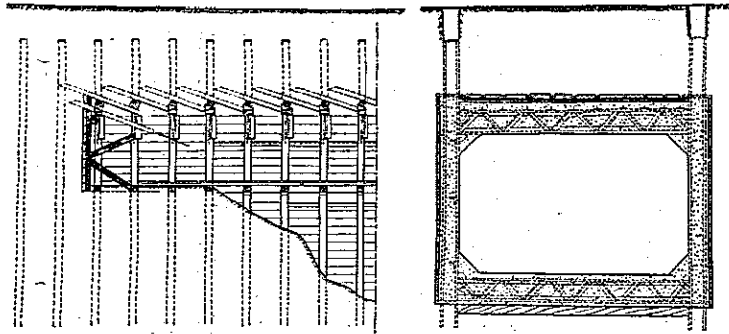
(終)

附圖第一



附圖第二

(D)



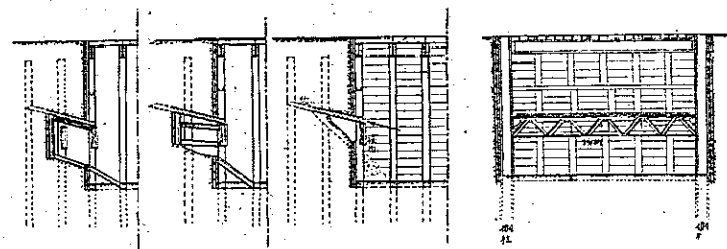
掘鑿側面圖

樑架正面圖

(C)

(B)

(A)



豎坑側面圖

豎坑正面圖