

# 論 說 報 告

第 20 卷 第 8 號 昭 和 9 年 8 月

## 地 下 鐵 道 建 設 新 方 法 に 就 て

會 員 工 學 博 士 小 野 諒 兄 \*

Special Method of the Construction of Subway

By Ryokei Ono, Dr. Eng., Member.

### 内 容 梗 概

地下鐵道建設方法に就て改良すべき點を擧げ新方法を提唱してこれを現地に實施したその結果を報告したものである。

### 1. 緒 言

地下鐵道建設方法として今日迄行はれて居る方法は路面開鑿方法及地下掘鑿方法である。前者は土被薄き處に用ひられ後者は深度大なる處に用ひらる。工費の點に於て後者は著しく高價に上る故に或る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多大なると崩壞の危険を伴ふことは免れない。従つて現今の方法は改良を要する點が多い。著者はこの改良方法を提唱して本會誌（昭和 7 年 8 月第 18 卷第 8 號）に掲げ更にこれを本年 2 月新橋停車場聯絡道路に於て試験的に施行して良好なる成績を得て將來これを地下鐵道工事に實施し得る所信を得たるによりて工事の詳細を記載せんとす。

### 2. 建設方法改良の目的

建設方法として求むべきは第 1 に施工の安全、第 2 路面交通に支障なきこと、第 3 建設費の低廉なることである。都市の中心地帯の施設なるが故に工事の安全を期するは勿論で又市中最も繁華なる所の施設なるが故に交通に毫も支障なきを要して出来るなれば地表に顯れざる施行方法に據るを可なりとする。又建設費は開通後の收益に對し適當の費額なるを要するは無論のことである。今迄の施行方法を見るに初め準備假設工事を施して土砂を掘鑿し然る後に本構築に着手する順序なるが工事中の危険はこの假設工事中に起り又多大なる建設費も假設工事費が占め全工費に對して半額以上に達し第 1 表に示す如く全構築費 1 哩 330 萬圓に對して假工事費は 170 萬圓で丁度半額以上に上るが故に危険を防止する點又工費を節減する點より直ちに本工事に着手する方法換言すれば今迄の假工事を本工事になす方法の案出によりて達することが出来る。

第 1 表 在來開鑿建設方法工費 1 哩當り 3317000 圓 （本表は第 18 卷第 8 號に掲載したるものなるも時價に反映する時は金額増進するによりて訂正得致すこととした。東京地下鐵道會社施工方法による）

内 譯  
地下鐵道本構築費 (1 領當)

	數 量	單 價	金 額	備 考
掘 鑿 土 砂	150 立坪	23.0 円	3450.0 円	
同 運 搬	150 "	6.0	900.0	

\*北海道帝國大學教授

	數量	單價	金額	備考
敷砂利	3.5立坪	30.0 円	104.0 円	
敷コンクリート	4.6"	78.0	358.8	
防水工	—	—	1403.2	
鐵構築	41.8 <sup>ton</sup>	180.0	7524.0	
同 掘付	"	18.0	752.4	
鐵筋コンクリート	37.0"	140.0	5180.0	
頂部保護コンクリート	4.0"	78.0	312.0	
計			19984.4 (1 哩當 1598752.0 圓)	
同 準備假設費 (1 鎖當)				

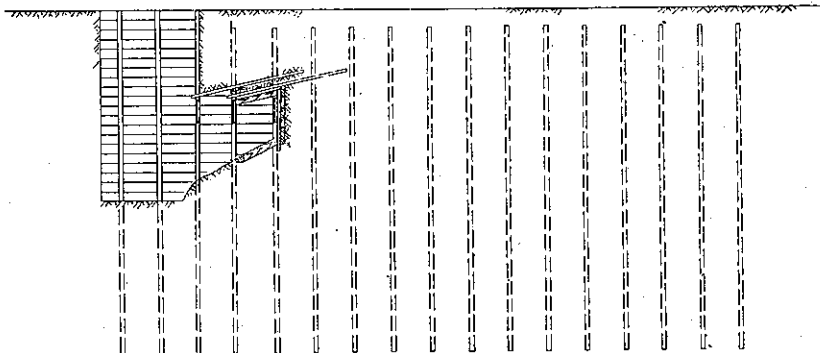
	數量	單價	金額	備考
土留鐵杭 65# I ビーム 長 37 呎 40 本	44.0 <sup>ton</sup>	37.0 円	1628.0 円	3 回使用し得るものとす
同 打込み	40 本	21.0	840.0	
路面電車軌道受桁其他	25.1 <sup>ton</sup>	37.0	928.7	"
路面覆工及び桁掘付共	60.0 <sup>面坪</sup>	51.0	3060.0	
切開き掘鑿土砂	120.0 <sup>立坪</sup>	23.0	2760.0	
同 跡埋	"	13.0	1560.0	
路面覆工撤去	60.0 <sup>面坪</sup>	12.0	720.0	
鐵杭抜き	40.0 <sup>本</sup>	21.0	840.0	
路面鋪裝復舊	60.0 <sup>面坪</sup>	48.0	2880.0	
電車軌道復舊	66.0 <sup>呎</sup>	50.0	3300.0	
架空線處理	"	15.0	990.0	
埋設物防護	198.0"	4.0	792.0	
同 上復舊	198.0"	6.0	1188.0	
計			21486.0 (1 哩當 1718936.0 圓)	

總合計 1 哩當 3317688.0 圓

### 3. 改良方法

囊に説明せる如く初め構築物の側柱となるべき鐵柱を道路の兩側に沿ひて 1~1.5 m の間隔にて打ち込み次に

第 1 圖 縱 斷 面 圖



工事の始點となるべき處に兩側鐵杭間に豎シャフトを設け材料の搬出入に供し同時に相當深さに達せしめその内に井を設け湧水を汲み上げ地下水位の低下を行ひ地中を乾燥せしむ。次に横桁を地下鐵道の頂部となる處に渡し兩端は側柱に銲接する。次にこの桁を枕として縦の方向に縦バーを並列して打ち込みこの間に土留板を挿入しつゝ下部を掘鑿し次の鐵柱に達する時に第 2 の横桁を取り付け再び縦バーを打ち込みて同様なる方法を繰返して前進すると共に下方は底部迄掘鑿し底桁を入れ最後に鐵材をコンクリートにて被覆して工を竣るのである。

#### 4. 改良方法の實施

東京地下鐵道新橋停車場と鐵道省線新橋驛との聯絡道路に實施した。地表以下構造物迄 3 m にして内幅 4 m、高さ 2.36 m にして地下鐵道單線に比して幅に於て稍廣く高さに於て稍低きも大體同じ大きさである。故に斯る大きさの 2本の並列によりて地下鐵道を形成することが出来る。(第 2 圖参照)

##### (1) 施工順序

施工順序は (1) 構築側柱打ち込み、(2) 横桁取付け、(3) 天井縦バー打ち込み、(4) 縦バー下部掘鑿、(5) 鑿鐵及び底桁銲接、(6) コンクリート填充、(7) 防水工である。

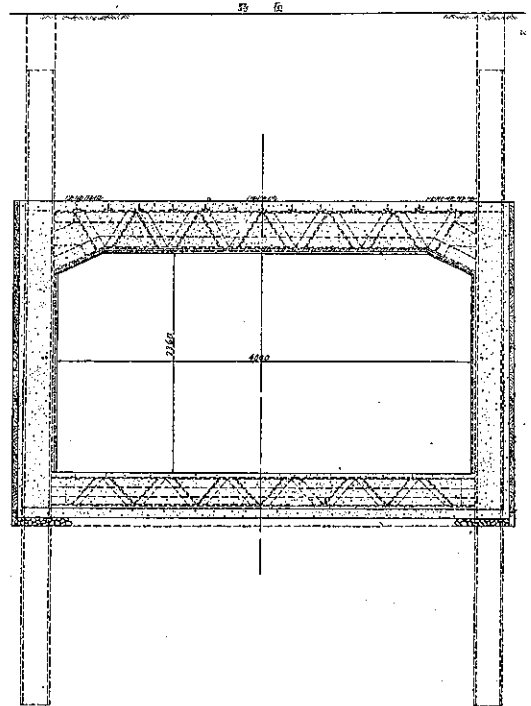
##### (1) 構築側柱打ち込み

地表面より地下鐵道兩側壁の位置に 1 m の間隔に I 型鐵柱を打込む。所定の位置に垂直に打込む爲には鑿孔機を使用して導孔を穿ちて構造物の底部迄達せしめ鐵柱を挿入し以下は杭打機によりて打ち込み相當の支持力を得せしめた。

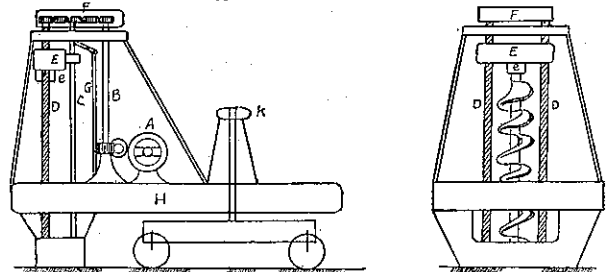
**鑿孔機** 鑿孔機は眞島氏の考案になり東京地下鐵道會社にて製作したもので初め杭打込みの際の騒音を除去する目的にて製作しその後使用せざりしものを今回の目的に再用したるものにして第 3 圖に示すものである。

臺架 H の上に載せ K によりて移動し得せしめ F はギヤ・ボックスにしてモーター A (30 馬力) の回轉によりて B シャフトを廻し B より C に C より D に回轉を傳ふる時はギヤ・ボックス E は昇降す。E の e 部に錐を取り付く。クラッチ、レバー G によりて C のみ回轉することを得。E 内のギヤによりて錐を回轉して穿孔す。鑿孔しつゝ D の回轉によりて E は下降して鑿孔を進行せしむる。錐の徑は 35 cm にして長さは先端 2.7 m これに繼ぎ足すものは 2 m 宛である。3 本機となして 5.5 m を鑿孔した。1 日 (8 時間) の鑿孔の工程 22 m なりしも倍迄に増加し得る。所要人員 1 日 5 人宛であつた。錐の徑は 30 cm の I 型鐵に對して 35 cm は稍太き感があつた。併し鐵杭下部をコンクリー

第 2 圖



第 3 圖

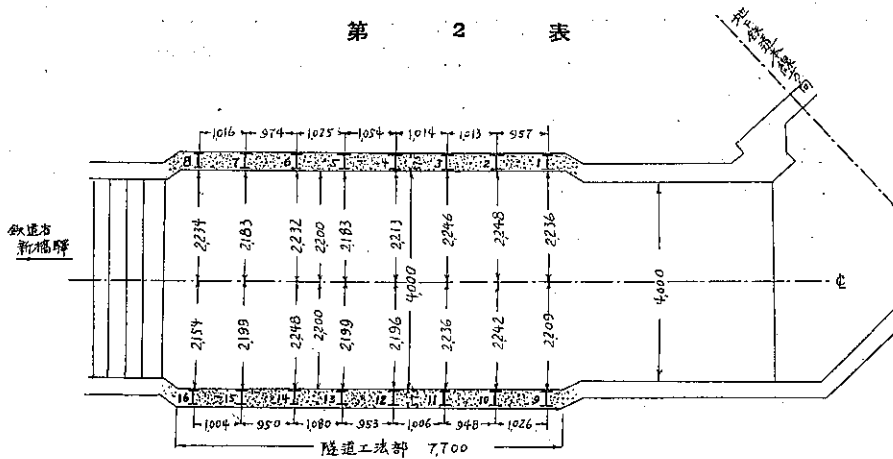


トにて被覆する場合には尙太きものを要する。

杭打機 高さ 50 呎、錘 2.5 ton、モーター 30 馬力、杭 I 型鐵—300×150×8 mm にして長 8 m で初め 5.5 m 鑿孔し置きたる爲、打込みは 1 本に對し 2.5 m で打込杭數 16 本に對して 1.5 日にて竣つた。

鐵杭の打込後の状態 初め鐵杭の打込みに當りて屈曲、傾斜等を豫想して聯絡道路はこの工法部分の幅を稍廣くなし施行した。斯くして土砂掘鑿後に検査せしに第 2 表に示す通りにして初め正確を期することを得られざりしが漸次正確となり後には鑿孔機によらず直ちに打ち込みたるも工事遂行上何等の支障を認めなかつた。

第 2 表



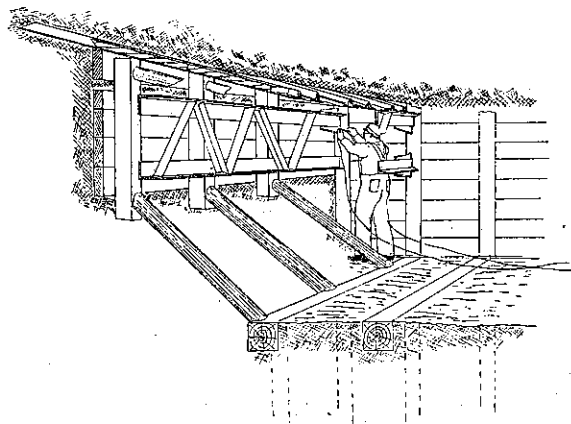
偏倚度	杭	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
隧道中心線 平行+L方向	偏倚度	0'	-45'	+130'	+31'	+7'	-15'	-41'	0'	0'	-17'	-7'	-135'	-17'	+14'	+23'	+126'
垂直+L	"	+28'	+10'	+50'	-7'	+50'	0'	+24'	0'	0'	+31'	-4'	+4'	-14'	+35'	-17'	-52'

\* + 符号、圖上左方  
 ⊙ + 符号、隧道外方

(2) 横桁取り付け

本聯絡道路の一端は既に地下鐵道の軀體仕事を施行中で地下深く掘鑿しありしを以て地下水位は低く直ちに工事に着手することが出来た。先づ兩側鐵杭間に横桁を取り付けた。初め緊鉸を鐵柱に銲接し更に横桁をこの鉸に銲接するものにして鐵杭の多少の間隔の相違に對して横桁の長さを変更せざるも緊鉸によりて整正することを得せしめた。銲接は電氣銲接とし 200 V, 80 A にして銲接棒は長さ 35 cm, 徑 4.5 mm の鍍金棒を使用した。銲接は初め接目板の前面のみをなし土砂掘鑿後に背面を施工した。横桁全體として銲接に 4 時間を要した。(第 4 圖參照)

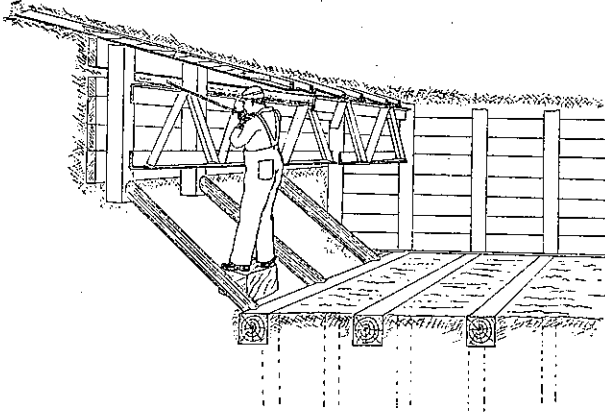
第 4 圖



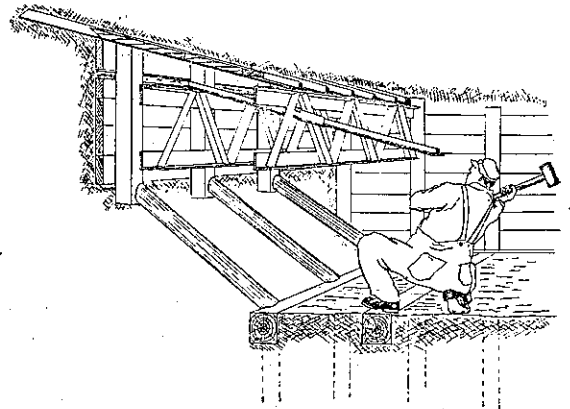
## (3) 天井縦バー打ち込み

前記の横桁を枕として縦バーを打ち込み天井土留板の骨組となすもので掘鑿前に打ち込み置くを要するによりて豫め穿孔機を用ひ穿孔して縦バーを差し打ち込む。穿孔機は次のものを試用し成績良好なりしも地質柔軟なりし爲、終には使用せず直ちに鐘撞きにて打ち込みをなした。(第5圖, 第6圖参照)

第 5 圖



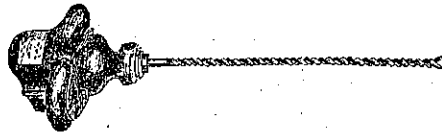
第 6 圖



穿孔機 泉式電動掘鑿機 (型式 600)。

石炭層に穿孔するものを本工事に試用した。その大きさは次のものである。

第 7 圖



穿孔し得る孔径	40 mm	3 相交流誘導電動機	型式 籠型
穿孔の速度	毎分 1~1.5 m	所要電圧	200~220 V.
機體の重量	12 kg	周波数	50~60 サイクル
錐の回轉速度	毎分 250~320 回	毎分の回轉數	3 000~3 600 回
價 格	270 圓		

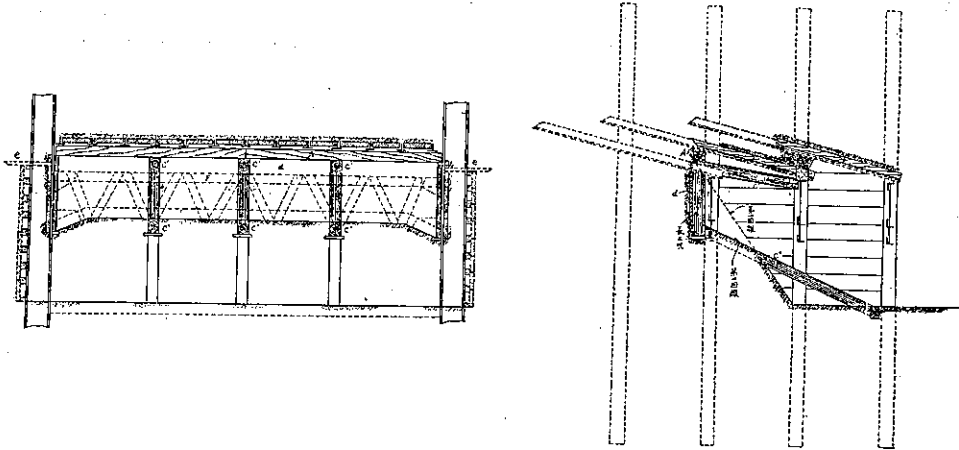
錐の徑 40 mm なるも本工事に使用に際しては尖端を 70 mm に太くなし錐の長さを 3 m 2 本繼に改造した。

縦バー 上形を用ひ 8×8 mm 長さ 2.5 m を用ひた。實施に際して土留板を 2 本の間に挟む關係上平鐵を底部の兩羽へ——狀に銲接し 30 cm の間隔に並列せしめた。縦バーを穿孔中へ打ち込むには 1 本に付き 2 分位にて可なりしも鐘撞きによる時は 5~15 分を要し 1 パネル全體にて 3~5 時間を要した。

## (4) 縦バー下部掘鑿

前記打ち込みたる縦バーの下部を手許より少し宛掘鑿し縦バー間に横板を挿みて土留となしたるも餘掘多く間隙を生じ易きによりて縦矢板をバー間に打ち込み良好なる結果を得た。縦矢板を打ち込むにはパネル間隔小なる爲二つに切斷して前半打ち込みたる後に更に後半を押打ちにした。掘鑿の前面は適當なる勾配にして作業に差支へなき程度になし餘分の掘鑿をなさざる様に努むると雖も次回の横桁の取り付け支けの高さは掘鑿せなければならぬ。この際に前面に土留を要し第8圖の順序によつた。

第 8 圖



- (a) 天井土留矢板を打ち込みつゝ第 1 回掘鑿線に至る
- (b) A なる敷木を入れ縦バーの先端を支ふ
- (c) B なる壺掘をなして支柱を立つ
- (d) 切梁 c' 及び c'' を入れる
- (e) 土留板 d を入れつゝ第 2 回掘鑿線に至る
- (f) 横桁 F を挿入溶接す
- (g) 縦バー横桁間に角材を入れその下部にコンクリート塊を入れて支持せしむ
- (h) 次回の縦バーの打込みをなす

斯く注意を拂ひて施行せしは上方の土が前面に移動して表面の沈下を恐れたる爲なりしが實施に當りてはこの傾向を毫も認むることなく安全に施工することが出来た。

側方の土留板は初め鐵柱の前面フランジに支へ横桁取付後に頂部矢板 e を打ち込み然る後に後面に移し漸次掘り下げる。この際に鐵柱外側にはコンクリート塊を挟み更に木楔にて土留板を土の面に押し付くるを要す。これはコンクリート施行の際鐵柱を全部被包せしむる爲である。

(5) 鑿鐵及び底桁溶接

掘鑿するに従つて鐵柱の扭れを防止する爲に柱間に鑿鐵溶接をすると共に下部迄掘鑿後に底部横桁を入れる。横桁は地盤軟弱なる時は鐵柱の負荷重を分擔せしめその沈下を防止する。この際に下部にはコンクリート塊を挟み角材を置く。

(6) コンクリート填充

型枠は鐵柱前面に取り付けコンクリートは底部及び側壁は手投込みとなし天井はコンクリート・プレーサーを使用した。

コンクリート・プレーサー	大  小	長 2.6 m × 幅 0.9 m × 高 1.4 m	重  量	2.5 ton
	軌  間	24"	1 回の容量	7 切
	鐵  管	6"	空  氣  圧  力	85 #/sq'

天井施工の順序は 1 パネル宛完成するもので初め型枠を横桁下面及び直立面に取り付けプレーサーの鐵管の先端にはフレキシブル・パイプを連結しその先端を横桁上端の縦バーの間隙に宛てこれよりコンクリートを注入し(最上部に残る小空隙には礫を填充し又は豫め細き鐵管を通し置いて最後にセメント・グラウチングを爲す), 斯く

してコンクリートの流れ出でざる程度の硬化を俟ちて直立面の型枠を次のパネルに移し工事を進むるのである。鐵材の主要材は全部コンクリートにて被包せしむべきも側柱の上下兩端は地中に残る故に上端は打ち込みの際にストラットを當て、構造物の上端迄打ち込み置くか又はコンクリート施工前に酸素にて切斷するを良しとす。下端は切斷困難である故に底桁を取付け上部の重量を支持したる後に或深度迄柱の周圍を掘りコンクリートにて被覆す、又は打ち込み前に鐵杭下方をコンクリートにて被包し置くを可とす。この場合は導孔中に挿入する部分は打ち込み容易に以下は困難なるもそれだけ支持力を増加し得るの利便がある。又他の方法として鐵柱下部を亜鉛鍍金になし腐蝕を防止するも一方法である。近來亜鉛針金を高壓電氣にて鎔しつゝ壓縮空氣にて鐵材に吹き付け鍍金をなす方法行はれ仕事も容易に工費も低廉である。

### (7) 防 水 工

防水工は全部内部防水となした。在來は外部防水とせしも施行困難にして漏水は殆んど免ることは出来ない。内部防水は施工容易であるが防水層を作ると共に内面より押へ付くる方法を講ぜなければならぬ。防水層は側壁及び底面は在來の方法に準じてアスファルト・シートの重ね合せにて可なるも天井面は全能アスファルト(asphalt tile)を使用する。アスファルトを石綿に滲透せしめたるものにして鏝にて容易に塗抹することが出来て厚薄自由である。防水層を押へる方法としては鐵網を全面に張りボルトを鐵柱又は横桁面に銑接して平鐵にて網を押へ付けセメント・ガンにてモルタルを吹き付け相當厚さに仕上げる。

### (2) 路面沈下の有無

本工事の實施に際して最も危懼したのは地表面の沈下であつた。この區間は地質軟弱で表面は埋土で底部に至りて細砂にて杭の打ち込み沈下大にして導孔以下僅々錘の 2.5 回の打下しにて降下した。従つて幾分の沈下は期待したが實地には殆んど沈下を見なかつたのである。工事區間の道路面(地下掘鑿の直上)に於て構造物の兩側と中央箇所の 3 列に 3 本宛の木杭を打ち込み表面は敷板にて蔽ひ工事期間に互り測定した。本工事に隣接せる地下鐵道の軀體工事は道路面を開鑿して地下 50 呎に及び従つて開鑿の兩肩は引かれて幾分沈下を免れなかつた。この軀體に稍並行に連接しある本工事もこの影響を受け測定點に於てこの方へ近き列の 3 點は 43 mm, 57 mm, 37 mm の沈下を示し中央も殆んど同じきが遠き列の 3 點は 5 mm, 4 mm, 9 mm の沈下であつた。斯く列によりて異り遠き方より傾斜するは軀體工事開鑿の爲の影響なりと認むべくこの内には本工事の爲の沈下を含むとするもこの測定數字によりて極めて少きものならんは推定することが出来る。

斯く鐵杭の支持力僅少なるに尙沈下殆んど無きは工事方法の因て來る所なりと認むべくそれは天井の長き縦バーによりて上部の重量は該當鐵柱の外前後の鐵柱に分布せられその鐵柱周圍を掘鑿の爲、支持力減退するも沈下に至らず、而して掘鑿後は直ちに底桁を挿入しこれによる地盤上の支持力の増加によりて柱の支持力再び増加することゝなり次に又隣接鐵杭は掘鑿せられて支持力の減退するもよく引受くることゝなる。

前記は本工事に於ける状態なるも一般には長き杭打ちによりて支持力を大ならしめて沈下を除去することが出来る。

次に又路面の沈下を引き起す原因は天井縦バー間の掘鑿の際の間隙なるも矢板の打ち込み方法によりてこの間隙は全然除去することが出来る。

### (3) 工 期

工事の進捗を支配するものは先走りの天井受け作業であつてこの進行が全體の工事の工程を支配するものとなる。實際に當りて施工の所要時間は次の通りである。

横 桁 鋸 接	5 時間
天井縦バー挿し通し	4 "
下 部 掘 鑿	6 "
計	15 時間

この 15 時間は工事初期の所要時間なるも漸次短縮し得る可能性あり、12 時間にはなすことは容易である。故に 1 晝夜 2 パネルは進行し得る。今 1 パネル 1.25 m とせば 2 パネル 2.5 m にして兩口より進行せしむるとせば 1 日 5 m を進行し得て 1 km に付き 200 日の割合となる。途中で堅坑を設くるによりて尙倍加することも出来る譯である。

(4) 工 費

本工事は短き部分の試みで且つ特殊の大きである故にこれを以て地下鐵道の建設費となす事は出来ない。

前述の通り在來の施工は構造物の工費は 1 哩 3 300 000 圓で内 1 700 000 圓は假設費である。本法に依る時は假設費を省略することが出来るがこれが爲に多少これに代る工事が伴ひ長き側柱及び縦バーの打込みを要する。併しこれに要する金額は大體 1 哩 20 萬圓位である。これを差引く時は 1 500 000 圓で出来ることになる。併し乍ら工事の初期に於て工事不慣れの爲餘分の工費を要するは免れ難く地表鋪裝の修理等も見込まなければならぬ。これ等を見込み前掲の表を參照して工費を算定する時は次表の通りで 1 哩に付き 2 280 000 圓にて竣工し得ることとなる。尤もこれには堅坑その他雜費は見込んでないが運搬車を坑内に運び入れる方法又はボストン・ドーチエスター隧道に於る如き坑内にて掘鑿土砂積込設備等の應用によりて工費を尙低減し得ると信ずるものである。

特殊工法建設費 1 哩當 2 285 000 圓

内 譯	(1 領當)		金 額	備 考
	數 量	單 價		
杭 材 400×150 (72kg/m)	36 <sup>ton</sup>	110.0 <sup>円</sup>	3 960.0 <sup>円</sup>	長 10 m
杭 打 込 長 10 m	50 <sup>本</sup>	25.0	1 250.0	
横 桁	21.8 <sup>ton</sup>	190.0	3 924.0	
横 桁 取 付	"	20.0	436.0	
コンクリート	37 <sup>立坪</sup>	140.0	5 180.0	
掘 鑿	150 <sup>坪</sup>	36.0	5 400.0	
堅 パ ー 材	6.8 <sup>ton</sup>	110.0	748.0	
同 打 込	230 <sup>本</sup>	0.5	115.0	
敷 砂 利	3.5 <sup>立坪</sup>	30.0	104.0	
敷 コンクリート	4.6 <sup>坪</sup>	78.0	358.8	
防 水 工			1 403.2	
頂 部 填 充 込 コンクリート吹込	4.5 <sup>坪</sup>	150.0	675.0	
路 面 鋪 裝 復 舊	60 <sup>面坪</sup>	30.0	1 800.0	
電 車 軌 道 復 舊	66 <sup>坪</sup>	15.0	990.0	
架 空 線 處 理	"	20.0	1 320.0	
剩 土 運 搬	150 <sup>立坪</sup>	6.0	900.0	

28 564.0 圓 (1 哩當 2 285 120.0 圓)



## 5. 結 論

前記する處によりて本新方法は工事中の危険を除去し安全に施行し得るのみならず道路上に於ける交通の支障も尠く單に杭打ち込み中のみに止り在來の方法の如く最も困難とする杭抜き取り作業を要せない。又工事は全部地中にて施行し得られ停車場等の廣き面積に互りて構築せらるゝ場合も本工法の並列施行によりて容易に達せらる又工事費に於ても準備假設費を省略し得著しく節減することが出來將來地下鐵道の建設方法として相當考慮を拂ふべき方法と信ずるものである。

尙本工事施行に因りて得た工事上の注意事項を附記する時は次のものである。

鐵杭の打込みに際し豫め導孔の掘鑿は硬き地盤の外柔き普通の地盤なる時はその必要を認めず眞直に打込み得られ一層工費を節約し得らるものである。

前面の掘鑿土留は土の移動して路面の沈下を懼れ施行したるものなるも掘鑿の深さは僅々横桁高さに止りその傾向は毫も認むることなかりしも施工安全の爲には或程度の土留を必要とする。

側方掘鑿土留は在來の施工方法と同様であつて今日迄土留の崩壞事故は鐵杭の扭れより生ずるものなるにより掘鑿の進むと共に繫鐵の銕接は本工事に於ても必要である。

地下水位の低下は最も必要にして工事を確實に進捗し得るのである。而して豎井の湧水を汲み揚ぐるによりて達せらる。併し乍ら他の例より推し相當の時日を要し深度によりて異なるも萬世橋附近に於ては豎井掘鑿後40日を要した(本會誌第18卷第8號796頁參照)。(完)