

## 論 說 報 告

第 24 卷 第 4 號 昭和 18 年 4 月

## 大阪市高速鉄道に於ける小野式隧道工法工事報告

會員 光 井 三 郎\*

**要 旨** 小野諒兄博士によつて提唱されたる地下鉄道建設新方法を大阪市高速鉄道工事に實施し、昭. 11. 2. 着工、昭. 11. 7. 竣工した結果を報告したものである。

## 1. 緒 言

大阪市高速鉄道隧道建設方法として行はれたる工法は、大部分、鋼矢板又は鉄杭土留による路面開鑿方法であつて、一部工區に於ては、潜函工法（圧搾空氣潜函沈下工法）、が採用せられ、更に第 1 號線路中省線關西線南側（西成區東四條三丁目）に延長 50 m の區間に於て、小野式隧道工法を応用實施せられた。

小野式隧道工法に關しては同工法考案者小野諒兄博士により土木學會誌（18 卷 8 號及 20 卷 8 號）及土木建築雜誌（第 12 卷 2 號）に掲載され東京地下鉄道新橋停留場聯絡道路の一部約 7 m に於て試験的に施工されたるも本格的施工としては當大阪市高速鉄道に於ける工事が其の最初のものである（圖-1）。

本工事報告に於て特に小野式隧道工法を特記せずして本工事報告中に併述する事とする。

## 2. 施 工 法

(1) 構築側柱打ち込み工 地表面より隧道兩側壁の位置に 1.263 m（北側）及 1.337 m（南側）の間隔に I 型鉄柱を打込む。この所定の位置に垂直に打込むことは本工事中最も重要にして且つ最も困難なる工事である。従來施行した杭打鉤のみによる時は杭の傾斜を來すを以て本工事に於て次の様な方法によつて、ほゞ其の目的を達した（圖-2 (a), (b)）。

即ち長さ 11 m の I 型鉄柱を垂直に立て込む装置と共に柱を靜かに所定の位置に下ろすために最初約 5 m 位迄をウォーターゼットによつて打込んだ。

前者はローラー付き鉄製型枠を杭打櫓の鉄塔に上下 2 ケ所に取付け（圖-3）之に I 型鉄柱を嵌め込み 2 方向から杭が垂直なる様に下げ鉤によつて測定し、鉄杭、杭打櫓共に垂直なる様に調節する。

後者のウォーターゼットは 10 IP と 5 IP のウォシントン タービンポンプを直連結せしめ圧力を 100  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  以上ならしめた。ウォーターゼットは 圖-3 (b) の様なものを用ひた。

## 1 本の鉄柱打込に對する各種調査

(1) 1 本の鉄柱（長さ 11 m）打込に要する時間

最小時間 1 時間 3 分、 最大時間 2 時間 18 分

内訳：注水沈下による時間（打込長 5.5 m）4~11 分

鉤打込による時間（打込長 5.5 m）8~21 分

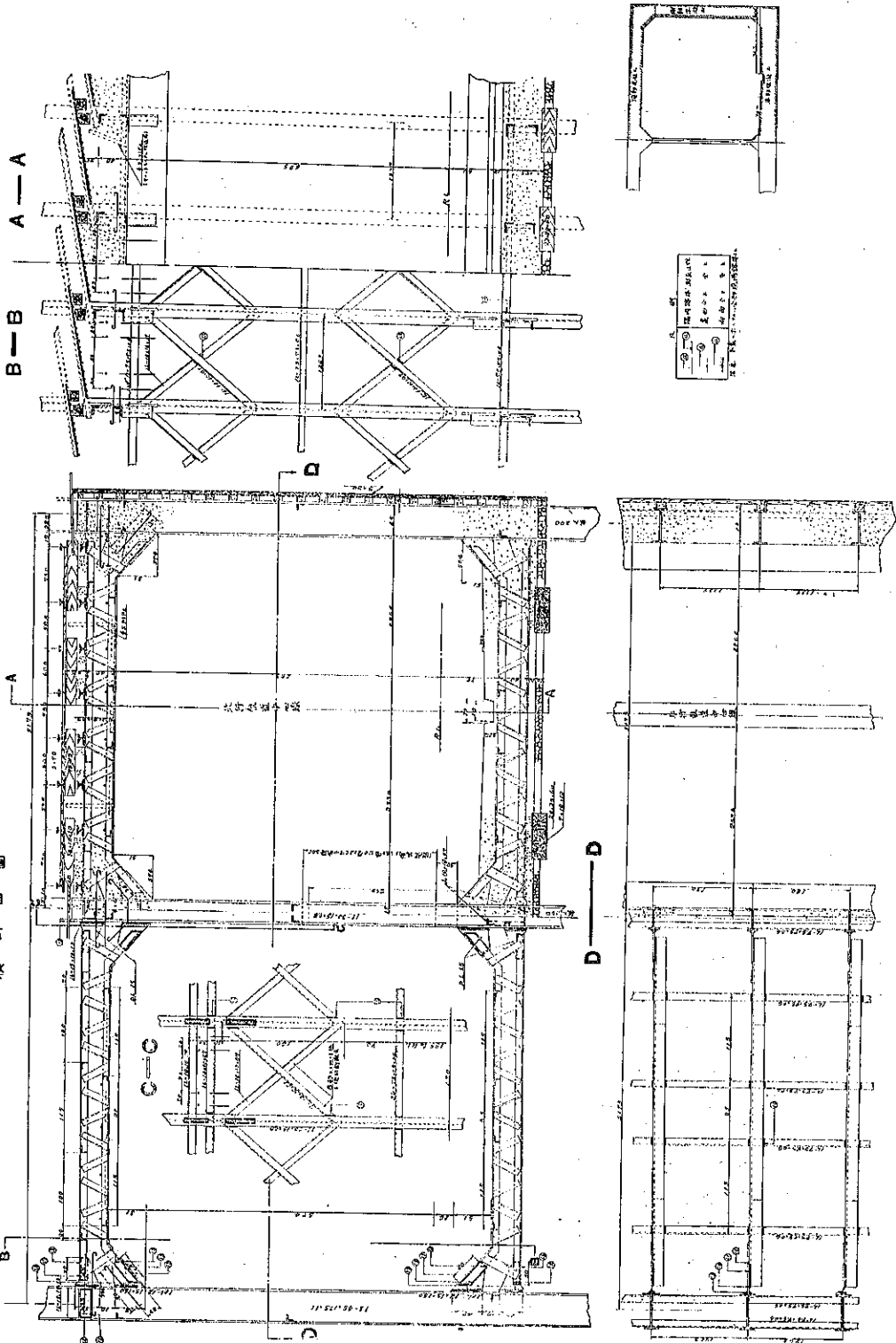
1~2 時間は作業準備時間である。

(2) 1 本の鉄柱を、ウォーターゼットで 5.5 m 沈下せしめるに要する水圧は 100~125  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  又、1 回に要する水量 約 3.01  $\text{m}^3$ 。

\* 大阪市技師 工学士

図-1.

横断面図



- (3) 1日鉄柱打込数 5本作業人員 高 4人, 機工 1人,  
 1日作業時間 総作業時間 最大 13時間, 最小 9時間 30分  
 純作業時間 最大 2時間 6分, 最小 1時間 46分
- (4) 鉄柱の最終沈下状態  
 圧力 最大 80  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  最大沈下 31mm, 圧力 最小 75  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  最小沈下 20mm.
- (5) 鉄杭打込後の状態

初め鉄杭の打込みに當りて屈曲, 傾斜等を豫想して隧道外側の鉄杭を 10cm 幅廣く施行した。

表-1 に示す通り屈曲, 傾斜等大体正確を期し得られ工事に支障が認められなかつた。

図-2a. 正面図

図-2b. 側面図

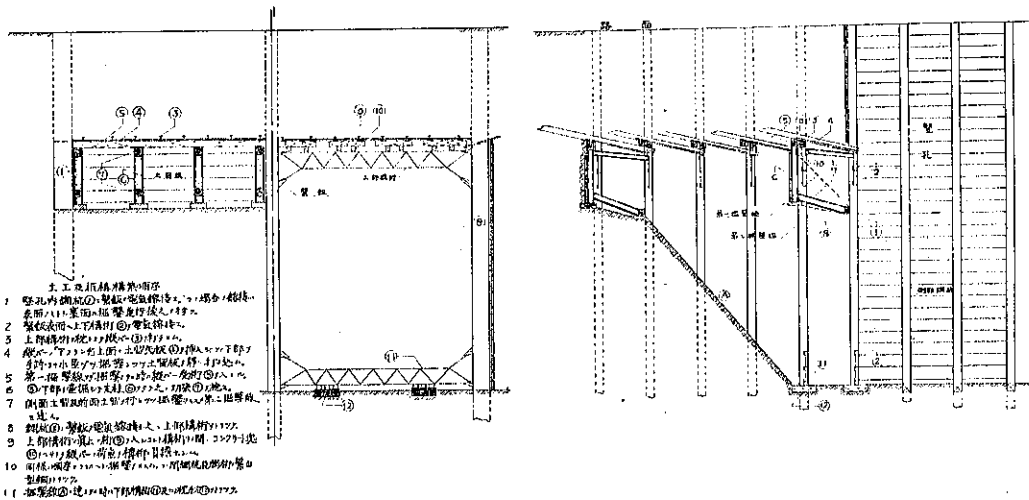
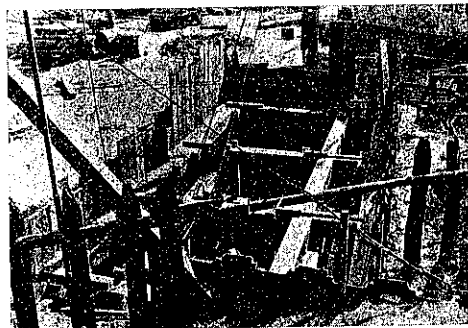


図-3a. ウォーターゼットにより鉄杭を垂直に打込む図

図-3b.

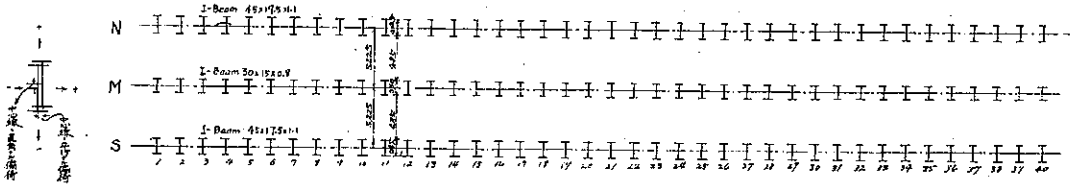


図-4. 工事開始用堅坑



- (2) 工事開始用堅シャフト掘鑿 側柱及中央柱打込終了後本工事始點部に於て延長約 5m に互り工事開始用堅

表-1. ウォーターゼットによる鉄杭打込後の偏倚測定表



I ビーム番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40											
中心線並行に偏倚	N	地上上面	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
	N	地下上面	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	M	地上上面	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	M	地下上面	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
中心線並行に偏倚	N	地上上面	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	地下上面	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	M	地上上面	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	地下上面	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

坑を土留横板(厚 6cm)を施し、掘り下げ 2 段の支保工をつつた(図-4)。

工事をこの箇所から始めると共に材料の出入、掘鑿土砂の搬出口に供すると共にポンプを設けて地下水を低下せしめる様にした。

(3) 横桁取付工 本工事に隣接せる省線關西線下隧道部は既に完成し居たるため地下水は低く路面上から約 5 m 位の所にあつて、横桁取付及土留作業は割合容易であつた。

先づ兩側鉄柱と中央柱間に横桁を取付けた。初め桁を所定の位置に置き打込鉄柱に多少の位置変位あるにより、取付調節のため緊釘を上下することによつて桁及柱に電気溶接した。溶接はその電源は 100 ボルト、75 アンペアにして溶接棒は長さ 40 cm、径 5 mm の電極棒(大和溶接會社製品)を使用した(図-5)。

横桁 1 本溶接に要する時間 6~4 時間 溶接工 1 人 助手 1 人

(4) 天井縦バー打込み 前記の横桁を枕として縦バーを打ち込み天井留板骨組となすもので掘鑿前に打ち込みおく必要があるから豫め穿孔機を用ひて穿孔し縦バーを差し込む(図-6)。

図-5. 中央鉄柱に上部鉄桁を溶接するところ

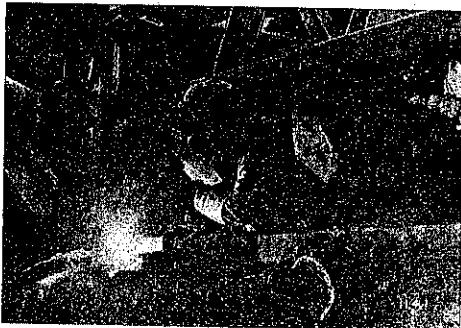
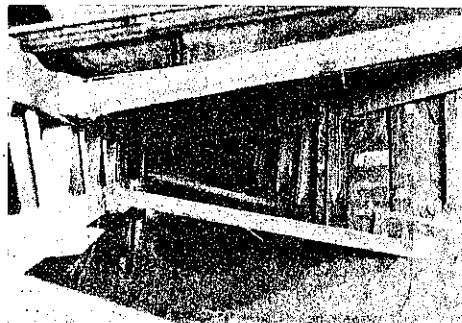


図-6. 前方掘鑿土留施工中を示す



縦バー打込みも相當施工困難にして長さ 2.6 m の I 型鉄棒を打つには既に溶接せる横桁の中から差し込んで前方の横桁の上へ打込むを要する。然るに横桁の高さ 40 cm なるためと兩支點に近く隅鋸あるため、この附近の縦バーは規定の勾配に打込むことが出来ず又同時に隧道方向に沿ふて打込むを得ない即ち楔形に打込み従つて縦バー土留板挿入に一層の困難を來した。この點に就ては地面沈下の項に於て述べることにする。

「穿孔機」直径 7 cm のモミ錐型長さ 2.4 m 位のものを使用した。土砂排出多量のため中途使用を中止し縦バーはハンマーと、ジャッキによつて押し込んだ。

「縦バー」100 cm×7.5 cm×0.5 cm 2.60 m の I 型鉄棒の下方フランジ部に 0.5 cm×6 cm×2.60 m の鉄板を兩方に溶接した。これは土留板を縦バー 2 本の間に挟むためと縦バーの土砂支持力を増大せしむる目的である。縦バーの間隔は約 60 cm にして土留板は 60 cm×6 cm×40 cm のものをジャッキによつて挿入する。

鉄桁 1 格間に於ける所要縦バー 16 本打込みに要する時間は約 11 時間であつた。

(5) 縦バー下部掘鑿 前記打込みたる縦バーの下部を手元より少しづつ掘鑿し縦バー間に横板を挿んで土留となしたるも餘掘多く且つ土砂崩れ落ちて危険なるため掘鑿しつゝジャッキによつて横板を押し込んだ。

(6) 側部土留工 導坑の側部土留工は初め鉄柱の前面フランジに深さ約 40 cm 位假土留横板を入れ横桁取付後側壁頂部に水平板を打ち込み然る後漸次掘り下げる。この施工は相當困難である。即ち横土留板は鉄柱外側に移動する必要あり、若し土質粘土にして且つ含水せざれば施工容易なれども砂質にして且つ地下水あるときは横板の隙間からと鉄柱フランジの外側壁（横板の継目）にコンクリートブロックをあてゝ更に土留板あるため漏水及土砂流れあつて最初の方法をやめて一先づ地下水低下を待ち且つ鉄柱外側フランジコンクリートブロック挿入も中止し直接横板をあてた。然しこの横板の継目も不充分なるため漏水止め及土砂流れ止めを完全に施工する事が出来なかつた。

側部コンクリートを打つ時ジャッキによつて横板を押し込みフランジとの間にコンクリートブロックを入れた。理想的施工法としては横板を(圖-7)の如く端を切り尖らせて板を密接せしむれば土砂流れを止め又漏水止めに效あると思ふが實際の現場工事としては相當困難な事と思ふ。

#### (7) 鑿鉄及底桁溶接(圖-7. 8. 9.)

上部横桁鑿鉄は當初設計のものよりも増加した。側部鉄柱、鑿鉄、中央柱鑿鉄及底桁溶接は設計通り施工した。

#### (8) コンクリート填充工(圖-10. 11.)

型枠は鉄柱前面に取り付け底部、側部、中央支柱部は従來のコンクリート打と同様の方法によつて施工し、天井は 2 格間毎完成する様にし、手投込みの方法をなした。

圖-7(a). 下床版鉄桁組立圖



圖-7(b).

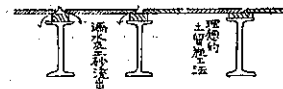


図-8. 上床版土留工

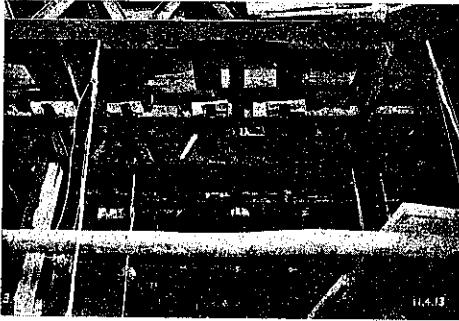


図-9. 上床版鉄骨組立完了



図-10. 下床版コンクリート打

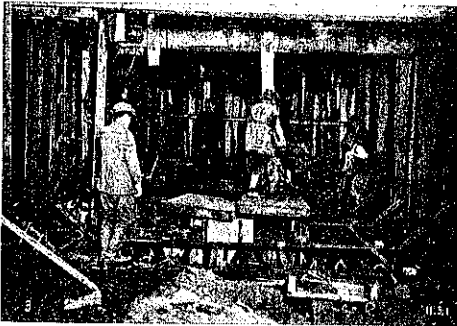
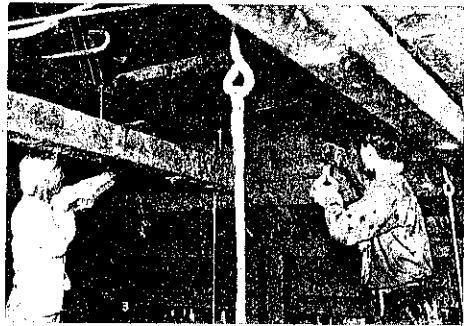


図-11. 上床版にコンクリートを手打ち込みせるところ



天井コンクリート打施工は、鉄骨とコンクリートとの密着度を増加するため2格間宛完成せしめることとし初め130cm×63cmの大きさの型枠を横桁下面に取り付け2格間の両端には直立の假板をあて、スランブ1cm位のコンクリートを手投込となす。このコンクリート打順序は次の如し(図-12)。

2格間分の上床版コンクリート量 約11m<sup>3</sup>。 打込時間 約12時間

尙天端土留板と上床コンクリートとの間隙を工事竣工後モルタルを充填するために各格間毎に2本(片側)の

図-12.

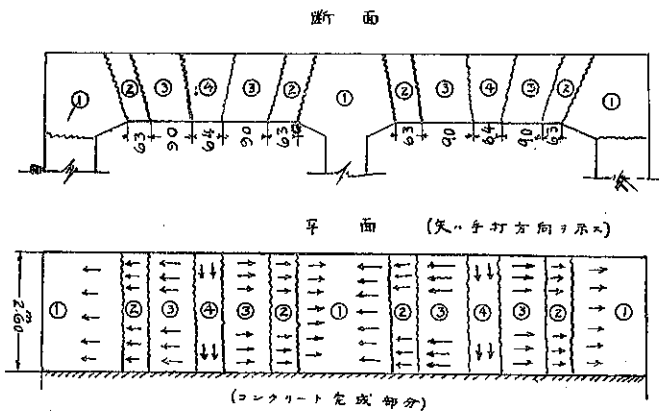


図-13. 完成後セメントグラウテイング施工図



鉄管を入れてコンクリートグラウティング用にした(図-13)。

鉄材の主要材は全部コンクリートにて被包せらるゝも側柱、中央柱の下端は切断せずして地中に残した。

上床鉄桁とコンクリートとの附着力を増大せしむるために径 16 mm の鉄筋(長さ 50 cm)を 1 格間(両側)に 12 本及両端、支柱部に径 16 mm の鉄筋(長さ約 70 cm)を 12 本挿入した。

(7) 防水工 在來の隧道に於ては外部防水であつたが本工事では、内部防水によるか、コンクリート躯体に特種の考慮を拂ふを要する。即ち、防水工は中止して、セメントはシリカセメントを用ひた。

本工事に使用したシリカセメントは繁業セメント株式會社製品にしてポルトランドセメント焼塊と可溶珪酸白土とを重量比約 75:25 の割合に混和粉砕して粉末としたものである。シリカセメントと普通モメントとによるコンクリートの透水度の比は 1:100 であつた。工事竣工後しばらくの間は、漏水箇所も、見受けたが 1 年経過した今日、漏水もなくなつた。

#### コンクリート強度試験

	スランブ	3 日	7 日	28 日
No. 1. (下床版 側壁、支柱) W/C=65%	16.7 cm	73 kg/cm <sup>2</sup>	109 kg/cm <sup>2</sup>	226 kg/cm <sup>2</sup>
No. 2. (上床版) W/C=55%	1.1 cm	79 kg/cm <sup>2</sup>	134 kg/cm <sup>2</sup>	253 kg/cm <sup>2</sup>

工事完成後天端土留板と上床版コンクリートとの間に多少の空隙あるを以つてこれにセメントグラウティングをした。機械はヤマト式複動式横型のものにしてモルタル配合はセメント 1 砂 0.3 とした。圧力は 30~70 kg/cm<sup>2</sup> にして、全孔數 100 個に對しセメント 640 袋を要した。

### 3. 路面沈下に就て

小野式隧道施工法の最も特色とする點は閉鑿式によらず在來路面そのままとして交通に支障なからしむるにある。従つて掘鑿により地盤沈下なき事最も必要である。

當工事に於て地盤沈下及土砂崩れによる 洞孔を生じた。この原因に種々あり或は本施工方法に改良すべき點又は設計に於ける不十分なる點、或は初めての工事のため未経験による失敗等あるものと考へる。

以下 2, 3 項にわたり地盤沈下の諸原因及其の對策について述べん。

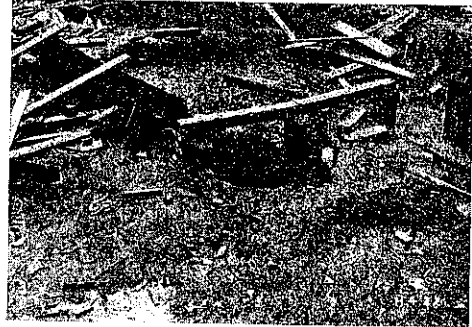
(1) 土質不適當なりしたため 今回施工したる關西線南側附近の延長約 50 m の部分の土質は地表面から約 3 m 迄は砂質及砂礫を含めるものにして、6 m 迄は青暗灰色砂質、9 m 迄は淡青色粘土である。土質良く隧道工事としては好適の土質にして申分なきも地表面から約 3 m の即ち天井土留を施行する層は砂礫層にして全然凝集力なく本工事施工には最も不適當な土質であつて、一瞬たりとも土留板挿入を怠るときは忽ち土質崩れを來す心配あり即ち如何に細心の注意と機敏な 施工をなすとも凝集力のない土質に於ては本工事は最初から不適當と云ふべきである。この施工法は幾分とても凝集力ある様な土質に適當である。

(2) 縦バー挿入による土地沈下 本工事の最初の間は長さ 2.4 m、直径 7 cm のモミ錐を以つて所定の位置にさし込み土質をゆるめ其の後に縦バーを入れた。かくする事によつて多量の土砂をとり出すため地表面に掘鑿地點から約 5 歩勾配位の地表面(即ち 1 格間前方の地面)に割目を生じた。故に工事中頃から縦バー挿入は直接鎚及ジャッキによつて押し込む事とした。次に上部横桁の兩端に隅鋸あるため縦バーは断面に直角の方向に押し込む能はず即ち楔形となる。従つて土留板挿入にあたり楔形と同形のもの押し込む能はず、このためその部分は 1 枚天端の土砂を少量づゝ掘鑿しつゝ挿し込むために土砂崩れを來した。これを防ぐには横桁の高さを高くし隅鋸の位置を考慮せば土砂崩れを防止する事が出来る。

(3) 側柱, 中央柱附近土砂陥没 (図-14)

側柱, 中央柱の天端に於ける天端土留板挿入工は成績不良であつた。之は鉄柱が I 型なるため腹板と突縁部との間に隙を生じこの箇所より土砂崩れ落つ。又天端上部に於てコンクリート打施工前に切断せなければならぬ。この切断によつて上部約 3m 程の鉄柱は自重によつて沈下の傾向あり, それと共に土砂陥没を來し處々に洞孔を生じた。此の對策としては側柱, 中央柱共に打込む時, その鉄柱の頭部にヤットコを使用して上床版の天端迄打ち下げれば鉄柱の工費節約と共に土砂崩れの防止をなす事が出来る。

図-14. 中央鉄柱附近土砂陥没せるところ



4. エ 費

本工事は高速鉄道工事に最初に施工せられたため設計, 施工共充分の安全率をとり, コンクリート鉄材共稍過量たりしかの感あり, このため工費意外に嵩んだ。この點考案者たる小野博士の御計畫方針にも相反する結果となり誠に申譯け無き事で今後の施工にはコンクリート量も約 3 割位節約しうる設計案も工夫せられ, 掘鑿費も堅坑を數箇所につれば割安となり總工費 (1m 當り) に尙約 2 割位安く施工し得ると思ふ。

表-2. (但 昭和 11 年 1 月契約による)

工 種	摘 要	金 額
土 留 工	側 部 土 留 及 堅 坑 支 保 工 其 他	4 400.00
天 井 土 留 工	縦 ば ー 材 及 打 込 代, 天 井 土 留 板 一 切	7 690.00
鉄 骨 工	側 柱 材 費	10 251.00
	中 央 柱 材 費	3 116.00
	中 央 柱 打 込 費 一 切	2 520.00
	構 桁 材 同 取 付 費 及 繋 材 一 切	8 340.00
コンクリート工	セ メ ン ト 材 料 費	7 260.00
	砂, 砂 利 材 料 費	3 000.00
	コンクリート打込其他一切	11 173.00
基 礎 工	材 料 費 共 一 切	320.00
掘 鑿 工	埋 戻 及 搬 出	12 645.00
土 留 工	撤 去 一 切	540.00
雜 費		1 960.00
計		87 213.00
	1m 當り 約	1 702.00

5. 工 期

本工事は未経験であつたけれども掘鑿工事, コンクリート打工事其他熔接工共不自由なる現場内の作業なるため能率上らず延長約 50m 區間を約 230 日, (鉄柱打工 40 日, 本構築工 160 日, 後片付 30 日) 間を要したれども, この工區域も大に堅坑も 30~40m 毎につくり, 前後から掘鑿, 熔接土留工等を施工せば 1 格間を 4 日平均或は更に短縮されるだらうと思ふ。表-3 は本工事中一區域作業日程表にして今後施工せらるべき延長大なる工



事には不適当なものと考へるが参考として掲げておく。

### 6. 結論

本工事によつて次の様な結論を得た。

- (1) 凝集力なき土質には本工事土留施工には充分の注意を拂ひ土砂崩れを極力防止する様工夫する事。
- (2) 鉄桁取付後全荷重がこれに作用するため構造設計にあたりては鉄柱、鉄桁を以つて全荷重を支へる様せざるべからず。其の他掘鑿施工中も足場、其の他相當の荷重を加ふ。

- (3) 本工事に於ては上床鉄桁の高さ 40 cm けれど土被厚の大小に拘らず之を約 60 cm 位とし鉄骨の小なる寸法のものを用ひ且つ取付位置にも考慮を拂はねばならぬ。然して上床版及側壁コンクリートは其の量を減ずる方法として 図-15 の様にせばよろしからん。

- (4) 工事施工の項に於て述べた様に 側柱裏側の土留板挿入は 困難な事であつて土質良く地下水少き本工事現場にては稍容易に施工し得られたるも土質若し悪く地下水多量にして砂泥り粘土なる時は恐らく施工不可能ならん。

若しかくの如き悪質土砂の部分に於ては 施工以前少くも 2~3 ヶ月以前から地下水排水用井戸を 適當間隔に設けて完全な地下水低下を行はねばならぬ。

- (5) 適度のウォークアブルなる事はコンクリート施工の 難易水密度及強度に重大な關係がある。

本工事土床版コンクリート打に於てはスランプ 1 cm 位のコンクリートを以つて手打ちせねばならぬ 關係上強度に於ては満足なる結果を得るも防水及鉄骨との密着度の點より見て稍心配である。この方面を更に工夫し或はコンクリートバイブレーターの様なもので打てば理想的なコンクリートを得ると思ふ。

- (6) 本工事施工によつて小野式隧道施工法は其の土質條件さへ良ければ土被り 3 m 位迄の径間 4~5 m 位の地下道施工に本工事を採用せば容易に施工しうと思ふ。( 図-16 ) 。

表-3.

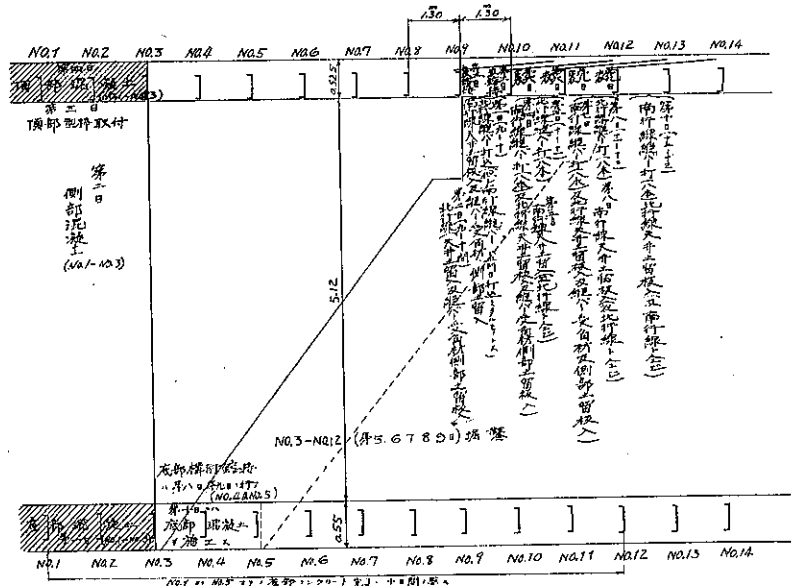


図-15.



図-16. 完成せる隧道

