

第三章 地下線路

地下線路とは街路の下、河底、其の他の地下に埋設せらるゝ高速鐵道の地下線路である。而して歐洲ではこれを Under ground railway といひ米國ではこれを Subway と稱して居る。又街路の下に埋設せるものを路下線路、河底に在るものを河底線路と言て居るが何れも一般には地下線路である。而して説明に當り地下線路では分り難い處があるので、これを地下隧道路、下隧道又は河底隧道と言ふ文字を使用したいと思ふ。然るに隧道なる言葉は地下を穿孔して隧道式工法を以て築造したる地下線路を言ふものであつて、地上より掘開して掘開埋戻式工法に依て築造したる地下線路には正確なる言葉ではないであらうが、便宜この隧道なる文字を使用することを許されたいと思ふ。

第一節 地下線路の種類

一 地下線路を分類すれば下の通りである。

一 埋設位置に依る分類

路下線路	道路の下に敷設するもの
河底線路	河川の底下に敷設するもの
専用地下線路	道路外の敷地に敷設するもの

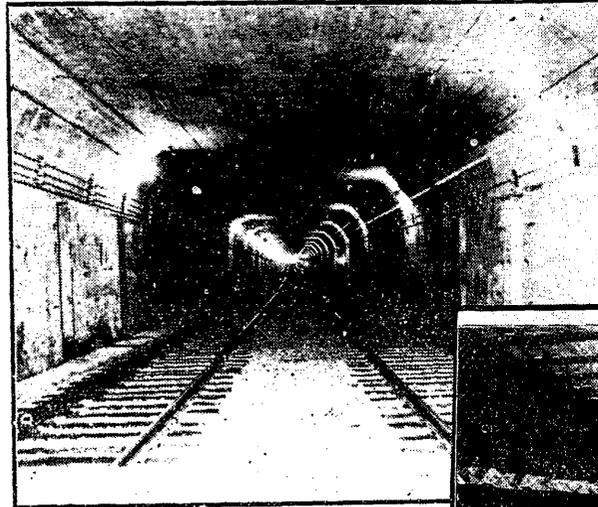
二 埋設深度に依るもの

浅地下線路	地上より深く埋設せらるゝもの
深地下線路	地上より深き位置にあるもの

二 路下線路は街路下に埋設せらるゝ爲に一般に浅地下式である。而して浅地下線路は路上より掘開して築造したる上、土砂を舊形に埋戻すもので低廉の工費を以て仕上らるゝものである。然るに深地下線路は地上より掘開せず地下を穿孔

して隧道式工法を以て築造するもので多額の工費を要するものである。

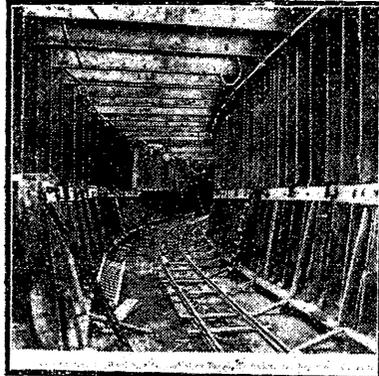
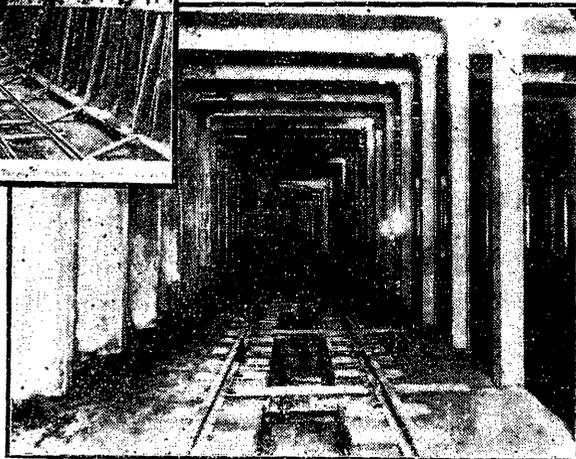
三 前記各種の地下線路の内深地下線路は鐵道工事に於ける山岳の下を通過する隧道と同様のものであるか、又は地下水を縫ふて軟弱なる地質にシールド工法を以て穿孔する隧道である。而してシールド式工法は西曆千八百十八年ブルネル氏に依り、英國にて發明せられたる壓搾空氣を使用して水中隧道を掘鑿築造する工法であるが、其の機械設備等の準備に多額の金額を要し僅かなる延長の河底工事等には直ちに使用し難きものであれば、深地下隧道に就ては其の説明を省略し重に浅地下線路のみに就て述べようと思ふ。何れ本高等土木工學の隧道篇に於てそれ等のことは記述せらるゝことと思ふ。幸に諒せられんことを望む。



米國ホストン市地下隧道



ベルリン路下隧道底部防水工事

ベルリン單線路下
隧道壁體工事

費府地下線軌道敷設

第二節 地下線路の設計

一 地下線路は多額の工事費を要し高速鐵道は大量輸送を目的とするものなるを以て、開通當初乗客數の少き間は到底收支の均衡を得ること困難にして、數年後乗客數が増加し一列車の連結車輛數が相當の長さに達するまでは經營の困苦を覺悟せねばならぬものである。然るに乗客數愈々増大すれば利益率は年と共に増加するものである。故に高速鐵道線路、就中地下線路の設計は及ぶ限り低廉なる工事費を以て完成せらるゝことに留意せねばならぬ。又一面には地下線路は陰鬱不衛生の嫌ありて断面の大き換氣通風の裝置等、此缺點を除去すべき完全なる工事を要求するを以て、此互に矛盾せる兩者を適當に折衷して充分の調査研究を必要とするものである。

二 淺地下隧道の内にも地下極めて淺く埋設せらるゝものと、河底隧道又は渡河點附近の如く相當に深く埋設せらるゝものと二種あるので、其の断面の形狀其他設計の方法を異にせねばならぬことが多い、又地下に埋設せられて居る下水道の深淺に依ては、下水道の方を改築して隧道を淺く作るか又は下水道を其の儘にして隧道が其の下を深く潜るか、工事費等の關係で何れかに決定するものである。然れども地下隧道は一般に淺く築造する程工事費が低廉である。

地下線路のみに限らず高架線路にも關係することであるが、高速鐵道線路を設計するに當り先づ定めねばならぬ基本事項があるので下の如き順次にそれを一通り説明しようと思ふ。

- 一 建築定規
- 二 車輛定規
- 三 最急勾配
- 四 最小曲線半徑
- 五 電線路の型式（電氣方式）

六 列車の走行速度

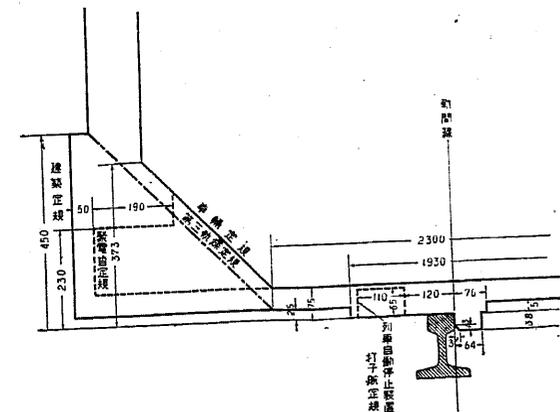
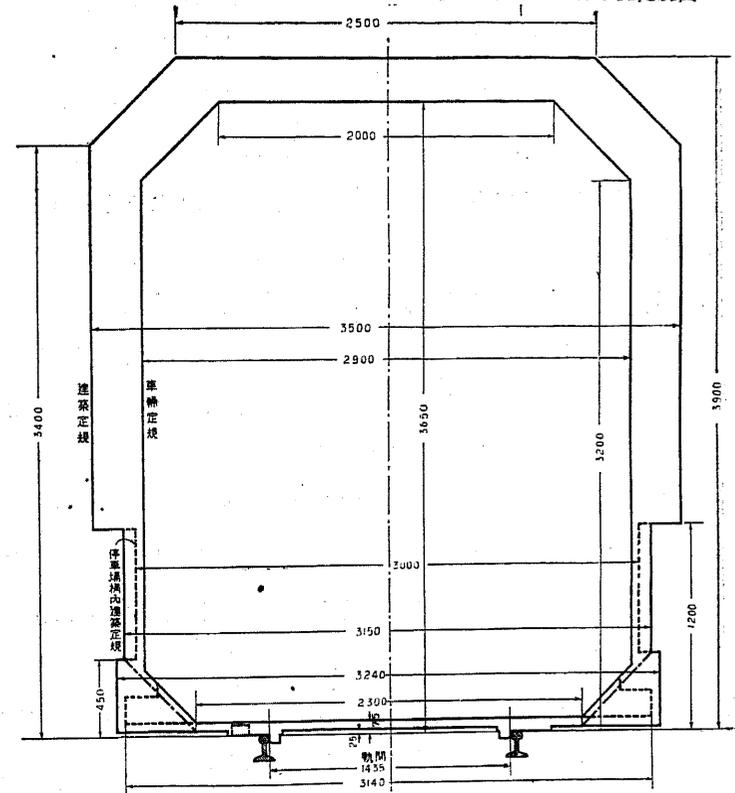
以上の内、車輛の大きさが隧道の断面を定むる基本となり、車輛定規より建築定規が生じ建築定規が隧道の寸法を定むるものである。而して建築定規も曲線部に在て電車の走行速度に依て遠心力の関係から電車を内方に傾斜せしめ曲線部に在て隧道の幅員及高さを増大せしめ曲線部に於ける建築定規を生んで来る。又電線路が架線であるか第三軌條式であるかに依て隧道の高さ及車輛定規の形を變更せらるゝものである。又勾配の緩急に依り水平部と勾配との取付及勾配の代る地點に於ては勾配の急變化を緩和する爲、半径の極めて大なる縦截面曲線を緩和曲線として使用するを以て、此部分に於て軌條面の高さに著しき高差を生じ隧道の天井を高くせねばならぬことになるものである。

三 建築定規及車輛定規 車輛定規は車輛の寸法より割出し、其の車輛を運轉する爲には其の車輛定規の大きさに内に車輛の大きさを納むべき範囲を示すものである。而して高速鐵道に使用する車輛は大量輸送の目的に添ふべき大型車輛を要求することは勿論其の收容すべき乗客数は少くとも百人以上の定員とするを可とすべく、又車輛の長さは停留場の長さを増大し列車長を増加せしむるを以て可成幅員を大らなして長さを出來得る限り小にすることを望む。普通高速鐵道に使用する歐米各都市の車輛の幅員は八呎半乃至十呎であるが八呎半の如き狭き幅員は舊型にして幅員は漸次増大さるゝのである。

建築定規は車輛定規に相當の餘裕を見込みて車輛の運轉に支障なき建築物の大きさを指示する定規である。而して車輛が曲線部を通過するときは車輛の傾斜に依り建築定規は増大せられ直線部の定規と曲線部の定規の二種となり、更に曲線半径の大小により異りたる曲線部の定規を作るのである。又停留場内に在ては乗降に支障なからしむる爲乗降場に面する箇所の定規の形を縮小して停留場内定規を作るのである。斯く直線及曲線部の各建築定規は更に停留場外建築定規と停留場内建築定規の二つに分れるのである。

建築定規及車輛定規圖

附 第三軌條定規、架電呑定規及列車自動停止裝置打子軌定規圖



四 最急勾配 線路の勾配は列車の牽引抵抗を増加するを以て、水平線路にて牽引すると同一速度にて走行せんとすれば多大の電力を消費すべき事は當然の理である。然れども實際の列車運轉には勾配線路にては多少其の速度を減ずるを以て其の電力消費量も遙かに小にして餘り重要視する必要もないことが多い。又電氣鐵道では鐵道の蒸汽機關車の働輪の受る抵抗に比すれば、電氣發動機は其の回轉數大なる爲勾配抵抗は極めて小さく、従て速度を減殺せらるゝことも少いので勾配は相當の急なものを使用し得ると同時に電車の重量は蒸汽機關車に比すれば遙かに軽きためにブレーキを強力に使用せられ電氣制動器等制動方法が完全であるので急勾配の危険は大に緩和されるのである。蒸汽鐵道では勾配は牽引力を定むる重要事項であるが電氣鐵道では割合に軽く取扱ふて宜しいのである。而して三十分の一又は二十五分の一勾配を制限として差支ない。

五 縦截面曲線 (Vertical Curves) 縦截面曲線は水平より勾配へ、又は一の勾配より他の勾配へ移り代るときに其の勾配線の縦截面に於ける方向の變換角度が或程度より大なるときは、車輛の受くる急激なる變化を避くる爲に徐々に車輛の方向を變換せしむべく、半径の極めて大なる縦截面曲線を入れるのである。縦截面曲線は普通の拋物曲線であるが理論上よりすれば勾配抵抗が均等に變化して行くべき特種の曲線を可とし極めて複雑なものになるであらうが、實施困難の爲に拋物曲線を使用して居る。而して其の曲線半径は規定として適當と認むる大さを使用すれば宜しいが其の運轉速度の大小に依て加減せねばならぬ。

鐵道省にては標準を定め表示して居る。

大阪市高速鐵道にては下の如く定めて居る。

$$\alpha = \frac{d}{2l} N^2$$

但し二次拋物曲線で勾配變換率は長さ二十米の點を取れば約 $\frac{10}{1,000}$ となる

α = 水平距 N に於ける縦距(耗)

N = 縦曲線の始點又は終點よりの水平距(米)

l = 縦曲線の長(米)

d = 隣接勾配の差

$$l = dR$$

R = 頂點の半径にして 1,500 米 又は 3,000 米 を採る

六 最小曲線半径 高速電氣鐵道は蒸汽鐵道に比すれば車輛の重量は小なれども、其の運轉回數著しく頻繁なる爲曲線部に於ける磨損は意想外に甚しきものがある。然るに市街高速鐵道に於て街路下を通過するものは街路の區劃、沿道建築物及地價等の關係に依り屈曲點に於て半径の大なる曲線を使用する事は極めて困難なる立場にある爲に、郊外部に於ける蒸汽鐵道の如く半径の大なる曲線を使用することが出来ぬので更に軌條の磨損を促進するものである。斯かる矛盾は已むを得ざるものとして出来得る限り半径の大なる曲線を用ゆるに力めねばならぬ。従て路線の經過地點を定むる場合に於ては、大略最小曲線半径の程度を豫定して線路屈曲地點が、大建築物の地下室又は基礎工事等に支障なくして通過し得るか又は街角を切取るとして其の地價及建築物切斷に要する費額等の調査をして置かねば決定後工事の實施に蹉跌を生ずる場合がある。尙ほ曲線半径小に過るときは保線作業上及列車の運轉上不斷の難所として困ることが起るのである。

歐米都市に於ては當初は驚くべき急曲線を使用し、紐育市に於てすら九十五呎又は百五呎のものを使用した處がある。然れども近來は曲線半径の決定は重要な事項とし半径を増大するに力めつゝあるのである。而して其の實例としては紐育市は最小半径を三百五十呎と定め巴里市にては七十五米(約二百五十呎)伯林市に於ては八十米倫敦市に於ける各高速鐵道會社にては其の經過地點の關係もあるが四鎖(約二百六十呎)乃至十鎖(六百六十呎)のものを用ゐて居る。然れども巴里市のもは車輛も小さく速度も割合に小なるを以て我邦では下の如く考へて居れば良からうと思ふ。

最小曲線半径 三百呎

但し出来得れば四百呎乃至六百呎位のものを用ゆるを可とす。

七 緩和曲線 (Transition Curves) 勾配の代り目に縦截面曲線を使用すると同様

に平面に於ける曲線の終始点即ち直線より曲線への代り目の箇所に急激なる車輛の方向變換を避くるため緩和曲線を挿入し大なる半徑の曲線より初まり漸次其の半徑を小にせる曲線に移り、終りに其の主曲線の半徑となる如く適當の曲線を用ゆるのである。此曲線は理論上は曲線半徑が短距離の間に、徐々に變化する第三次拋物線曲線 (Cubic parabola) を使用するを可とするが敷設複雑なるを以て圓弧の複曲線が用ゐられて居る。其の實例は下の如きものである。

鐵道省にては三次拋物線にして表示して定めて居る。

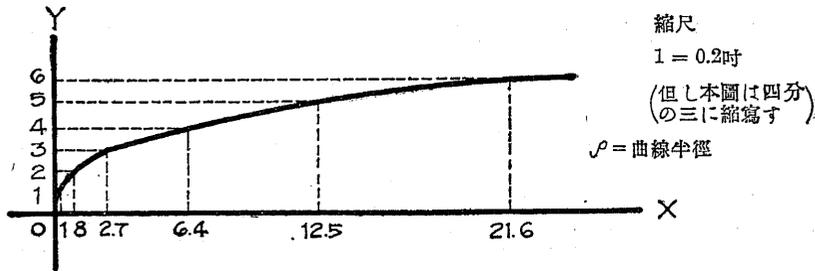
大阪市高速鐵道にては $y = dx^3$ なる三次拋物曲線 (Cubic parabola) を使用し高度の遞加百五十分の一とし、半徑百米以下の曲線に使用することとして居るが何れも鐵道省と同様表示して定めて居る。

(参考) Transition Curve の原理に就ては先年著者が路面軌道緩和曲線決定の實際調査考察したるものあるを以て参考のため茲に掲載して置く。

緩和曲線原理 (Cubic Parabola)

曲線の公式 $y^3 = Ax \dots\dots\dots(1)$
但し XY 軸の交點は曲線の項點にあり

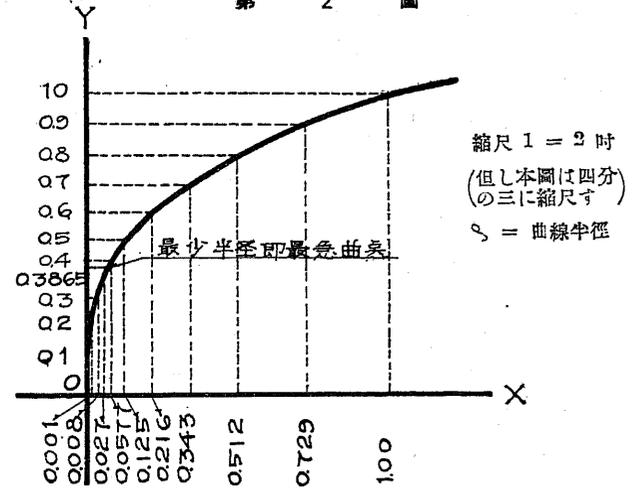
第 1 圖



同一曲線を表はす公式なれども其の尺度の單位を定め、縮尺を表はすため一般に下の如き公式を用ふ。

$y^3 = Ax \dots\dots\dots(2)$
但し A は何尺又は何領とか云ふ一定の單位を有する或る定數なり。

第 2 圖



例へば A = 1尺 とすれば $y^3 = x$ なる公式により示さるる x 及 y の長さは一尺を單位とし y = 1 といへば y = 1 尺と知るべし。

A = 100尺 とすれば $y^3 = 100x$ 即ち $\sqrt[3]{A}$ なる數字 ($\sqrt[3]{100} = 10$ 尺) が x 及 y の縮尺を定むるものにして y = 3 とあれば y = 30尺 と知るべし。

上述の如く係數 A は其の平方根 $\sqrt[3]{A}$ を其の縮尺單位なりとす故に $y^3 = x$ も $y^3 = 100x$ も同一曲線を示すものなり。唯其の縮尺の選び方の異なるのみなりとす。従て曲線の性質を研究するには繁雜を避くるため $y^3 = x$ なる公式を用ふ。今第一圖及第二圖を見るに第一圖は縮尺は 1 = 0.2'' を用ひ第二圖は縮尺 1 = 2'' を用ひたり。故に其の曲線の公式は各下の如し。

第一圖 $y^3 = .04x \dots\dots(時)$ A = $0.2^3 = .04$

第二圖 $y^3 = 4x \dots\dots(時)$ A = $2^3 = 4$

而して兩曲線を一見するに全然異なる曲線なるが如きも然らず。第一圖は y=6 迄を記し、第二圖は之を $\sqrt[3]{A}$ 即ち $\sqrt[3]{100} \times 0.4 = 10$ 倍 $\times 0.4$ に擴大して y = 1 迄を示したるのみにして同一曲線なりとす。

該曲線を緩和曲線に最も適當なる理由は下の如し。

曲線の項點に於ては其の曲線の曲度 (Curvature) 即ち半徑は無窮大にして x 及 y の増加するに従ひ急に其の曲度を減じ僅少の曲線を進みたる $x=0.0577$ $y=0.3865$ なる點に至りて曲線度最少に達し其の曲線半徑 $\rho=0.56744$ となる。更に曲線に沿ふて進めば曲線半徑は漸次増加して $y=\infty$ に至らざれば $\rho=\infty$ とならず。斯くの如く其の半徑長に

比し比較的少なる曲線長の間に於て半径 $\rho = \infty$ より $\rho = 0.56744$ に遞減せらるる曲線は他に類例少しとす。是れ緩和曲線として適當なる所以なり。

次に緩和曲線として使用する適當なる縮尺を定むるに

$$A = 6Ry_s$$

但し $R =$ 本曲線半径 (radiny of main curve)

$y_s =$ 緩和曲線の長

$$y^3 = 6Ry_s x \dots\dots\dots(A)$$

なる公式を用ふ。

緩和曲線として用ふる曲線部は上述の $y = 0$ より $y = 0.3865$ 迄即ち曲線頂部より最小半径の點に至る曲線部の、更に其の一部にして頂點より最小半径の點に至る65%の曲線長なり。換言すれば

$$y = 0 \text{ より } y = 0.3865 \times 0.65 = 0.251225$$

$$x = 0.0577 \times 0.65 = 0.037505$$

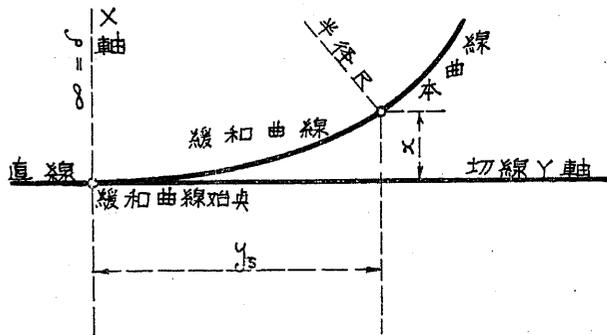
の點迄の曲線長なりとす。

何故に斯かる點迄を選びしかといへば Cubic Parabola の性質を研究するに $x=0$ $y = 0$ 即ち頂點より

$$x = 0.0577 \times 0.45 = 0.025965$$

$$y = 0.3865 \times 0.45 = 0.173925$$

迄は y の増加と殆んど同様の増加率を以て其の半径増大さるゝもそれより $y=0.3865 \times 0.65 = 0.251225$ 迄は多少 y の増加率より半径の遞減率大となりて比例せず。それより先の曲線は y の増加するに従ひ半径の遞減率急に減するを以て緩和曲線に適せず。理想的緩和曲線は $y = 0.3865 \times 0.45$ 迄なれども、それにては實驗上緩和曲線の長さ即



ち y の長さ少し短きに失するを以て、更に少し y の長さ、即ち緩和曲線の長を増加せしめんがため、實驗上支障なき程度なる $y = 0.3865 \times 0.65$ 迄を探るものとしたるものとす。此曲線に於て實地に適合せしむるものなれば $y = 0.3865 \times 0.65$ の點に於ける曲線半径が本曲線の半径 R に相當し y が緩和曲線の長さ y_s に相當するものと知るべし。而して其の點に於ける x が緩和曲線への切線よりの枝距 (offset) と知るべし。

$$y^3 = 6Ry_s x$$

$$\text{而して } y = 0.3865 \times 0.65 = 0.251225 = y_s$$

$$x = \frac{y^3}{6Ry_s} = \frac{y_s^3}{6Ry_s} = \frac{1}{6R} y_s^2 = \frac{1}{6R} \times (0.251225)^2$$

今 $R = 100$ 尺 $y_s = 30$ 尺 と定め之に對する緩和曲線の公式を求むれば

$$y^3 = 6 \times 100 \times 30x = 18,000x$$

$$\text{而して } y = 5 \text{ 尺 } \quad \text{枝距 } x = \frac{5^3}{18,000} = 0.0348$$

$$y = 10 \text{ 尺 } \quad x = \frac{10^3}{18,000} = 0.055$$

$$y = 15 \text{ 尺 } \quad x = \frac{15^3}{18,000} = 0.0986$$

以下斯くの如くして曲線上の各點を求むる事を得べし。

前述各事項の計算法を示せば下の如し。

(1) $y^3 = x$ の曲線に於て最小曲線半径の箇所を求む。

$$\text{曲線公式 } x = y^3$$

$$\text{曲度即 } (x,y) \text{ 點に於ける曲線半径 } \rho = \frac{[1 + (\frac{dx}{dy})^2]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2x}{dy^2}}$$

ρ の最小値は $\frac{d\rho}{dy} = 0$ の時なり

$$\frac{dx}{dy} = 3y^2 \dots\dots\dots(x = y^3 \text{ 第一次微分})$$

$$\frac{d^2x}{dy^2} = 3 \times 2y = 6y \dots\dots\dots(\text{同上第二次微分})$$

$$\rho = \frac{[1 + (3y^2)^2]^{\frac{3}{2}}}{6y} = \frac{[1 + 9y^4]^{\frac{3}{2}}}{6y} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{d\rho}{dy} = \frac{1}{6} \frac{d\{ \frac{[1 + 9y^4]^{\frac{3}{2}}}{6y} \}}{dy} = \frac{1}{6} \left[\frac{\frac{3}{2}(1 + 9y^4)^{\frac{3}{2}-1} \times 4 \times 9y^3y - (1 + 9y^4)^{\frac{3}{2}}}{y^2} \right]$$

$$= \frac{1}{6y^2} \left[(1+9y^4)^{\frac{3}{2}} \left\{ \frac{3}{2} \times 4 \times 9y^4 - (1+9y^4) \right\} \right] = \frac{(1+9y^4)^{\frac{3}{2}}}{6y^2} (45y^4 - 1) \dots (2)$$

$$\frac{d\rho}{dy} = 0 \text{ なる爲めに } 45y^4 - 1 = 0 \text{ 之に於て } y^4 = \frac{1}{45}$$

$$\therefore y = \sqrt[4]{\frac{1}{45}} = 0.3865$$

$$x = y^3 = (0.3865)^3 = 0.0577 \dots (3)$$

此點が最小曲率なり

$$\text{最小曲線半徑 } \rho_{min} = \frac{[(1+9y^4)^{\frac{3}{2}}]}{6y} = \frac{[1+9 \times \frac{1}{45}]^{\frac{3}{2}}}{6 \times 0.3865} = 0.56744 \dots (4)$$

$$\rho_{min} = 0.56744 = 1.46815 \times 0.3865 = 1.46815y \dots (5)$$

斯くの如く曲線半徑と y との割合は小なるものなり

即ち近距離内にて無窮大半徑即ち直線より此 ρ_{min} なる小なる半徑迄減することを得。

(2) $y^3 = Ax$ なる公式の A なる係数は曲線の縮尺を示すものにして曲線の形状に差違なきを證す。

曲線公式 $y^3 = Ax$

$$\text{又 } x = \frac{y^3}{A} \dots (1)$$

$$\frac{dx}{dy} = \frac{3y^2}{A} \quad \frac{d^2x}{dy^2} = \frac{6y}{A}$$

$$\rho = \frac{[1 + (\frac{dx}{dy})^2]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2x}{dy^2}} = \frac{[1 + (\frac{3y^2}{A})^2]^{\frac{3}{2}}}{\frac{6y}{A}} = \frac{(A^2 + 9y^4)^{\frac{3}{2}}}{6A^2y}$$

$$\frac{d\rho}{dy} = \frac{(A^2 + 9y^4)^{\frac{3}{2}}}{6A^2y^2} (45y^4 - A^2) \dots (2)$$

$$\rho_{min} \text{ のためには } y^4 = \frac{A^2}{45} \quad y = \sqrt[4]{A} \times \sqrt[4]{\frac{1}{45}} \dots (3)$$

$$= 0.3865 \sqrt[4]{A}$$

$$x = \frac{(0.3865 \sqrt[4]{A})^3}{A} = 0.0577 \sqrt[4]{A}$$

$$\rho_{min} = \frac{[A^2 + 9 \times (\sqrt[4]{A} \times \frac{1}{45})^4]^{\frac{3}{2}}}{6A^2 \times 0.3865 \sqrt[4]{A}} = \frac{[A^2 - 9 \times \frac{1}{45} \times A^2]^{\frac{3}{2}}}{6A^{\frac{3}{2}} \times 0.3865} = \frac{A^{\frac{3}{2}} (1 + 9 \times \frac{1}{45})}{A^{\frac{3}{2}} (6 \times 0.3865)}$$

$$= 0.56744 \sqrt[4]{A} \dots (4)$$

之れを前項の x, y, ρ_{min} の値と比較すれば $\sqrt[4]{A}$ を乗じたるのみにして其の方法を $\sqrt[4]{A}$ 倍したるに止る即ち縮尺を $\sqrt[4]{A}$ 倍したるのみにして曲線の形状に相違なきを知るべし

(3) 曲線半徑 ρ と y との割合が $y = 0.3865 \times 0.45 = 0.173925$ 迄は殆んど反比例を

なし $y = 0.3865 \times 0.65 = 0.251225$ 迄は稍 ρ の割合小となり。それより先は ρ の減率著しく急なることを證す。

$\rho = \frac{[1+9y^4]^{\frac{3}{2}}}{6y}$ より y の値を入れ計出し下の表を得る

y	ρ	y の増率	ρ の減率	摘 要
.05	3 3386	1	1	} y の増率と ρ の減率は殆んど比例す
.10	1 6689	2	1 998	
.15	1 1187	3	2 980	
.173925	9609	3 479	3 469	} ρ の減じ方早きに過ぐ然し甚しく急ならず
.20	8514	4	3 916	
.25	7019	5	4 750	
.251225	6994	5 075	4 766	} ρ の減じ方 y の増加より急なり
.30	6174	6	5 400	
.35	5758	7	5 789	

(備考) (1) 0 點即ち曲線の頂點に於ける曲線半徑無窮大なること

$$y^3 = x \quad \text{今} \quad y = 0 \quad \rho = \frac{[1+6y^2]^2}{6y}$$

$$\therefore \rho_0 = \frac{1}{0} = \infty$$

(2) $y = 0.251225$ の時 y と ρ との割合は

$$\frac{\rho}{y} = \frac{.9604}{.173925} = 5.525 \text{ 弱}$$

(4) 緩和曲線公式として $y^3 = 6Ry_s x$ を採りし理由

R = 本曲線半徑即ち緩和曲線最小半徑 ρ_{min}

y_s = 緩和曲線の長にして之れを y に近似値とする

$y^3 = Ax$ に於て前述 (2) の如く

$$\rho = \frac{[1 + \frac{9}{A^2} y^4]^{\frac{3}{2}}}{\frac{6y}{A}}$$

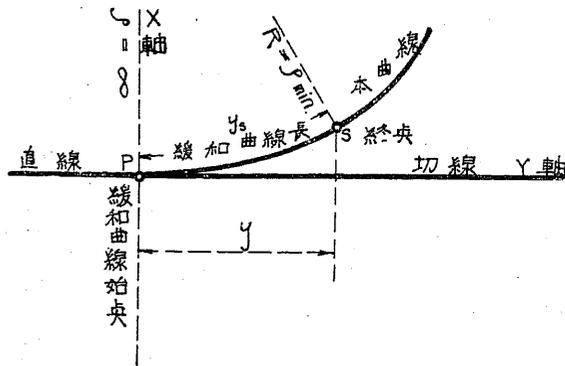
此式を展開すれば

$$\rho = \frac{A}{6y} \left[1 + \frac{3}{2} \frac{9}{A^2} y^4 + \frac{3}{2} \left(\frac{3}{2} - 1 \right) \left(\frac{9}{A^2} \right)^2 y^8 + \dots \right]$$

$$= \left[\frac{A}{6y} + \frac{9}{4A} y^3 + \frac{81}{16A^3} y^7 + \dots \right]$$

$A = 6Ry_s$ にして y に比し可なり大なる數なるを以て第二項以下小なるものとして省略すれば以下の公式を得

$$\rho = \frac{A}{6y} \quad \text{即ち} \quad A = 6\rho y \dots (1)$$



實地に於ては $\rho_{min} = R$ $y = y_s$ と看做すも大差なし、故に(1)より下の關係を得べし。

$$A = 6Ry_s \dots\dots\dots(2)$$

緩和曲線として使用する曲線部は無論 $y = 0$ より $y = .251225$ 迄の曲線部たるものなり。今第二項以下を省略した爲めに生ずる誤差を求むれば下の如し

$$y^3 = 6Ry_s x \dots\dots\dots(1)$$

$$\rho = \frac{A}{6y} = \frac{6Ry_s}{6y} = R \dots\dots\dots(2)$$

} 實地

$6Ry_s$ なる係数は縮尺を示すものなるを以て單に $y^3 = x$ なる曲線により計出すれば y と ρ との關係は下の如し。

(3) より y に對する ρ の眞價を得

(4) より第二項以下を省略せば ρ の値に對する公式は下の如し。

$$\rho = \frac{1}{6y} \dots\dots\dots(2)$$

之に依り下の如く計出せる表を得

ρ	ρ の 眞 價	第二項以下を省略せる ρ の値	誤 差
.173925	.9609	.95827	0.275 %
.251225	.6994	.66341	5.15 %

〔備考〕

(1) 公式(2)より $y = .173925$ の時には $\rho = \frac{1}{6y} = \frac{1}{6 \times .173925} = .95827$

$y = .251225$ $\rho = \frac{1}{6y} = \frac{1}{6 \times .251225} = .66341$

(2) 誤差 = $1 - \frac{95027}{9609} = 1 - .99725 = .00275$

” = $1 - \frac{66341}{6994} = 1 - .9485 = .0515$

先に曲線半径減率急なりとし放棄したる $y = .251225$ より先きの曲線に於て曲線の最小半径 $y = 0.3865$ の點迄曲線を用ふるものとし同様の計算をなし誤差を計出すれば次の如く著しき誤差を生ずるを見る

$$\rho = \frac{1}{6y} = \frac{1}{6 \times 0.3865} = 0.43123$$

$$\rho \text{ の 眞 價 } = 0.56744$$

$$\text{誤差} = 1 - \frac{0.43123}{0.56744} = 1 - 0.76 = .24$$

即ち 24 %

R と y_s の 決定 割合

(1) 上述の如くにして ρ を $y = .251225$ 點以内に止むる必要あり。爲めに下の如き最も必要なる R と y_s との決定方法を生ずべし。

(條件) $y = .251225$ 以下なる爲めには $\rho = .694$ より大なるを要す。

斯くて

$$\frac{R}{y_s} = \frac{\rho}{y} \geq \frac{.6994}{.251225} = 2.78 \dots\dots\dots(B)$$

即ち $R \geq 2.78 y_s$

例へば $R = 100$ 尺なれば

$$y \leq \frac{100}{2.78} = 36 \text{ 尺以下たるを要す。}$$

(2) 更に理想的の緩和曲線として既述の如く $y = .173925$

$\rho = .9609$ に止めたし。其の爲めには下の關係を得。

$$\frac{R}{y_s} = \frac{\rho}{y} \geq \frac{.9609}{.173925} = 5.524 \dots\dots\dots(C)$$

$$R \geq 5.524 y_s$$

例へば $R = 100$ 尺なれば

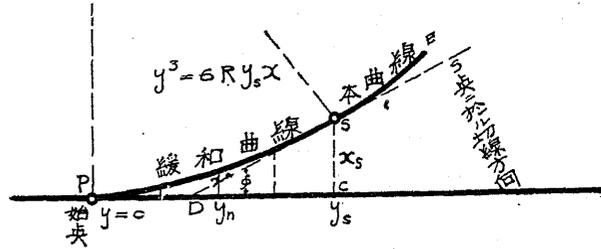
$$y_s \leq \frac{100}{5.524} = 18.1 \text{ 尺以下}$$

既述の如くこれにては y_s の長さ小に過ぎ不都合なり。

(3) 縮尺は R を呎にて出せば全部寸法は呎にて示され、R を釐にて示せば全部釐となることを知る可し。鐵道に應用する場合には y の各點に對する ρ 即ち枝距を公式(A)より計出して曲線の位置を定め、電鐵等に用ふるには他に此方法を基礎として 30 呎又は

30 呎以下に y_s を採り Spiral rail 一本を以て緩和曲線を作ることとし、屈曲に都合好き様種々の之に類似したる簡單なる計算方法あり

枝距に依る曲線の設點



(1) $y^3 = 6Ry_s x$ R, y_s 既知
 $y = y_s$ の時には $x = x_s = \frac{y_s^3}{6Ry_s} = \frac{1}{6R} y_s^2$ (1)

(2) $y = y_n$ $x = x_n$ の時には
 $x_n = \frac{y_n^3}{6Ry_s} = \frac{y_n^2 y_s}{6Ry_s^2} = y_n^2 \times \frac{y_s}{6Ry_s^2}$ (2)

但し $\frac{x_s}{y_s}$ は (1) より計出し置けば定數なり

(例) $R = 10$ 鎖 $y = 3$ 鎖とすれば

公式 (B) により

$R = 10 > y_s \times 2.78 = 3 \times 2.78 = 8.34$ にて適當なり。

$y = y_s = 3$ 鎖の時には $x_s = \frac{1}{6R} y_s^2 = \frac{1}{6 \times 10} \times 9 = \frac{9}{60}$

$\frac{x_s}{y_s} = \frac{9}{60} \times \frac{1}{27} = \frac{1}{180}$

$y = 1$ 鎖の時には $x_1 = 1^2 \times \frac{1}{180} = \frac{1}{180}$ 鎖 = $\frac{66'}{180} = 0.333$

$y = 2$ の時には $x_2 = 2^2 \times \frac{1}{180} = \frac{8}{180}$ 鎖 = 2.667

緩和曲線の終點に於ける本曲線切線の方設置

既述の如く曲線の位置を設置したる後、起る問題は緩和曲線の終點より R なる半径の本曲線を如何に設點すべきやといふ事なり。其の爲に本曲線は圓弧なるを以て終點 S に於ける本曲線との切線の位置方向を知られば定めりとす。今是れを求むるに前項の圖面を參照すれば切線の位置は \overline{DS} 線の延長線なり。故に S 點は既設點なるを以て \overline{PO} 切線上の D 點の位置を知る可し。 \overline{DS} は緩和曲線にも本曲線にも S 點に於て切線なり。

$\angle SDC = \phi$ とす

緩和曲線 $y^3 = 6Ry_s x$ に (x_s, y_s) 等に於ける切線は下の公式にて表はすことを得。

ϕ の切線 = $\text{tangent } \phi = \frac{dy}{dx} = \frac{1}{6Ry_s} \times 3y^2$

然るに切線は (x_s, y_s) に於て曲線に切するを以て

$\text{tangent } \phi = \frac{3y_s^2}{6Ry_s} = \frac{y_s}{2R}$ (D)

然るに R 及び y_s とは既知なるを以て ϕ は計出することを得。

次に \overline{PD} 又は \overline{CD} の長さを求むること下の如し。

$\overline{CS} = x_s$

$\therefore \text{tan } \phi = \frac{CS}{DC} = \frac{x_s}{DC}$

$\therefore DC = \frac{x_s}{\text{tan } \phi}$
 $\overline{PD} = y_s - DC$ (E)

斯くて $x_s, \text{tan } \phi, y_s$ は既知なるを以て \overline{DC} 及 \overline{PD} の長さを知り D 點を設置し \overline{DSE} なる所要切線を定めるを得本曲線は設點するを得。

更に D 點の位置を調査するに、下の如き簡單なる關係ありて、直ちに設置することを得べし。

$\text{tan } \phi = \frac{y_s}{2R} = \frac{x_s}{DC}$ 公式 (D) (E) 及前項 (1) より

$= \frac{1}{DC} \cdot \frac{y_s^2}{6R}$

$\therefore DC = \frac{y_s^2}{6R} = \frac{2R}{y_s} = \frac{y_s}{3}$ (F)

$\overline{PD} = y_s - \frac{y_s}{3} = \frac{2}{3} y_s$

斯くて D 點は \overline{PO} を三分したる點にあることを知るを以て、別に計算を用ひずして設置せらる可し。

八 曲線部に於ける外軌の高度 (Cant or Superelevations of the outer rail)

或程度以上の急曲線に於ては車輛の運轉に際し、遠心力の爲車體が曲線の内方に傾斜し、外方軌條より浮上り内側軌條に著しき荷重を偏負せしむるを以て、それに適應する爲外方軌條を高めて、内外軌條に來るべき荷重を平均せしめ荷重偏負の虞なからしむるのである。此外軌を高むる事は、水平に置かれたる直線部の軌條より、徐々に高めつゝ曲線部に入る箇所に至り所定の高さに高めらるゝ様に

漸次に高めて行くのである。而して曲線部に於ける外軌の高度及直線部より外軌を高め初むる箇所、即ち高度を附すべき長さは曲線の半径と列車走行速度に依つて異なるものであつて、其の實例を擧れば下の如きものである。

大阪市	最大高度	十五種	外軌の高度遞加勾配	百五十分の一
紐育市	"	"	"	"
伯林市	"	$h^m = 1.18 \times \frac{(\text{velocity in Km. per hour})^2}{(\text{Radius in meter})}$	"	三百分の一乃至百分の一

第一 鐵道省ノ規定

曲線ニ於ケル軌間ノ擴張及軌條ノ高度整備並緩和曲線敷設方法(大正 12.4.24 研 甲 217 號)

第一章 曲線ニ於ケル軌間ノ擴張

第一條 曲線ニ於ケル軌間擴張ハ下式ヲ應用シ別記軌間擴張表ニ依ルモノトス

$$S = \frac{5620}{R} - 5$$

但シ S = 擴張 (mm.)
R = 曲線半径 (m)

第二條 擴張ハ 30mm. ナ最大限度トス、但シ輪鐵ノ幅員ナ 124mm. ト假定ス

第二條ノ二 擴張ハ緩和曲線ノ全長ニ於テ始終スルコト、緩和曲線ヲ採用セサル場合ニハ圓曲線ノ始終點ヨリ高度 400 倍以上ノ直線長ニ於テ始終スルコト

第三條 擴張ハ曲線ノ内方軌條ニ於テ之ヲ施工スルモノトス

第二章 曲線ニ於ケル軌條ノ高度

第四條 軌條ノ高度ハ左ノ第一公式ヲ應用シ別記高度表ニヨルモノトス

但シ第二公式ノ條件ヲ具備スルヲ要ス

$$C = \frac{gV^2}{0.127R} \dots\dots(1) \quad \frac{V_1^2 - V_2^2}{127R} \cdot \frac{H}{g} \leq \frac{1}{8} \dots\dots(2)$$

C = 外軌高度 (mm.) g = 軌間 (m)

R = 曲線半径 (m) V = 列車平均速度 (Km/h)

V₁ = 列車最大速度 (Km/h) H = 車輛ノ重心ヨリ軌條面迄ノ距離 (m)

前項ノ列車ノ平均及最大速度ハ營業線ニ在リテハ實際運轉セル列車ノ平均速度及最大速度ニシテ新設線路ニ在リテハ營業開始當時ニ於ケル豫定運轉列車ノ平均速度及最大速度トス停車場内ニ於ケル列車不通過線路ノ軌條ニハ高度ヲ附セサルモノトス

第五條 高度ハ 115mm ナ以テ最大限度トス

第六條 高度ヲ遞減シテ全廢ニ至ル迄ノ距離ハ緩和曲線ノ全長トス但シ緩和曲線ヲ採用セサル場合ニハ甲乙兩種線路トモ圓曲線ノ始終點ヨリ直線ニ於テ 400 倍トス

第七條 高度ハ線路ノ水平ト勾配トノ間ハ内側軌條ヲ施工基面ニ應シテ敷設シ外方軌條ニ於テ高度ヲ施スモノトス

第三章 緩和曲線

第八條 線路ノ曲線ニハ緩和曲線ヲ採用ス

緩和曲線ハ三次拋物線ニシテ其ノ敷設法ハ別記第一法ニ依ルモノトス

但シ既成線路ニシテ圓曲線頂部(Apex)ノ移轉困難ナル場合ニ於テハ小半径ノ圓曲線ヲ中間ニ挿入シ其ノ敷設法ハ第二法ニ依ルヘシ

第九條 緩和曲線ノ長サハ甲種線路ニ在リテハ計畫高度ノ 600 倍乃至 800 倍、乙種線路ニ在リテハ 480 倍乃至 600 倍トス

第十條 新線路建設又ハ既成線路改築ノ場合ニ於テハ將來ニ於ケル列車運轉ノ最大速度及最小速度ヲ豫定シ左ノ公式ニ依リ其ノ平均運轉速度ヲ算出シ之ヲ第四條ノ公式ニ應用シ第五條ノ制限内ニテ計畫高度ヲ定メ前條ニ依リ緩和曲線ノ長サヲ定ムルモノトス

$$V = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2}{2}} \quad V = \text{平均速度 (Km/h)}$$

$$V_1 = \text{豫定最大速度 (〃)}$$

$$V_2 = \text{豫定最小速度 (〃)}$$

前項ノ最大速度及最小速度ハ豫定スルニハ左ノ條件ヲ必要トス

$$\frac{V_1^2 - V_2^2}{127R} \cdot \frac{H}{g} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{127R} \cdot \frac{H}{g} \leq \frac{1}{8} \text{ 又ハ } \frac{V_1^2 - V_2^2}{127R} \cdot \frac{H}{g} \leq \frac{1}{4}$$

但シ H = 車輛ノ重心ヨリ軌條面迄ノ距離 (m)

各前項ノ最大速度ハ左ノ制限ヲ超ユルコトヲ得ス

半径 (m)	600	400	300	240	200	100
速度 (Km/h)	113	89	72	64	58	48

第十一條 緩和曲線最長限度ハ緩和曲線挿入前ノ圓曲線全長ノ 3/4 トス

(備考) 表ハ省略

第二 大阪市高速鐵道

一 曲線ニ於ケル軌道ノ擴張

$$S = \frac{l}{2r}$$

但シ

S = 軌間ノ擴張 (耗)

l = 車輛ノ車軸距 (耗)

r = 曲線半径 (米)

Sノ最大限度ハ 30 耗トス

二 外軌ノ高度

$$C = 11.3 \frac{V^2}{r}$$

但シ

C = 外軌ノ高度

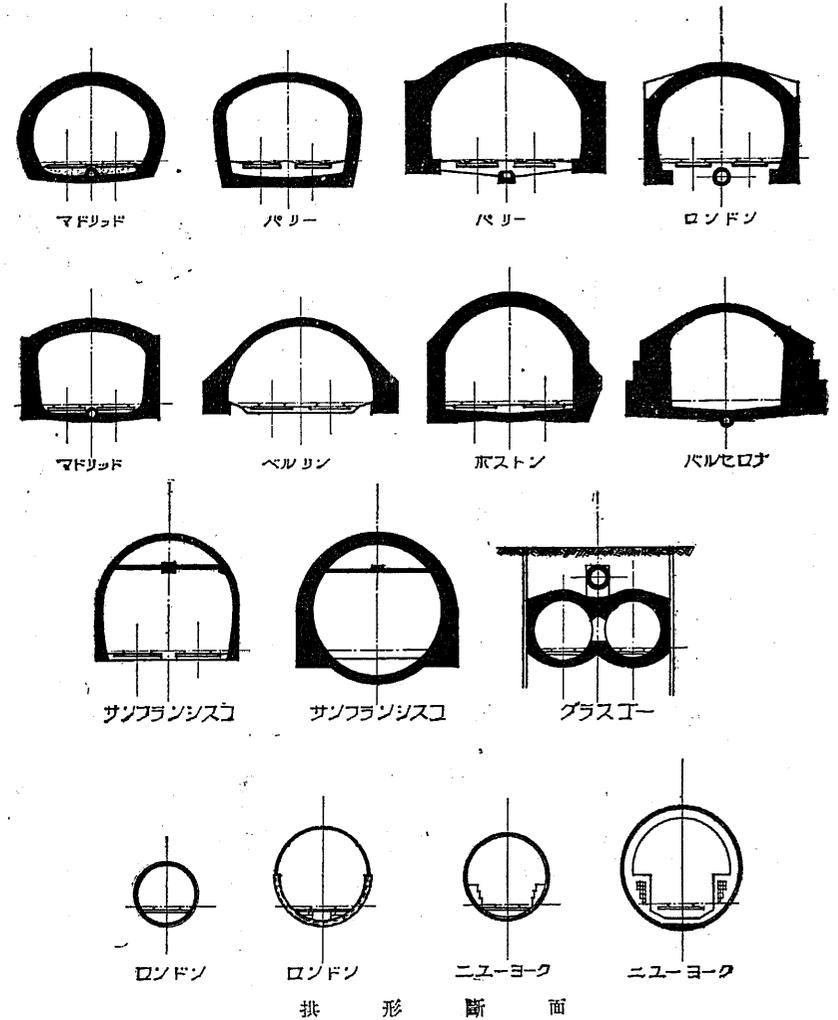
V = 列車ノ速度 (浬/時)

r = 曲線ノ半径 (米)

Cノ最大限度、150 耗トス

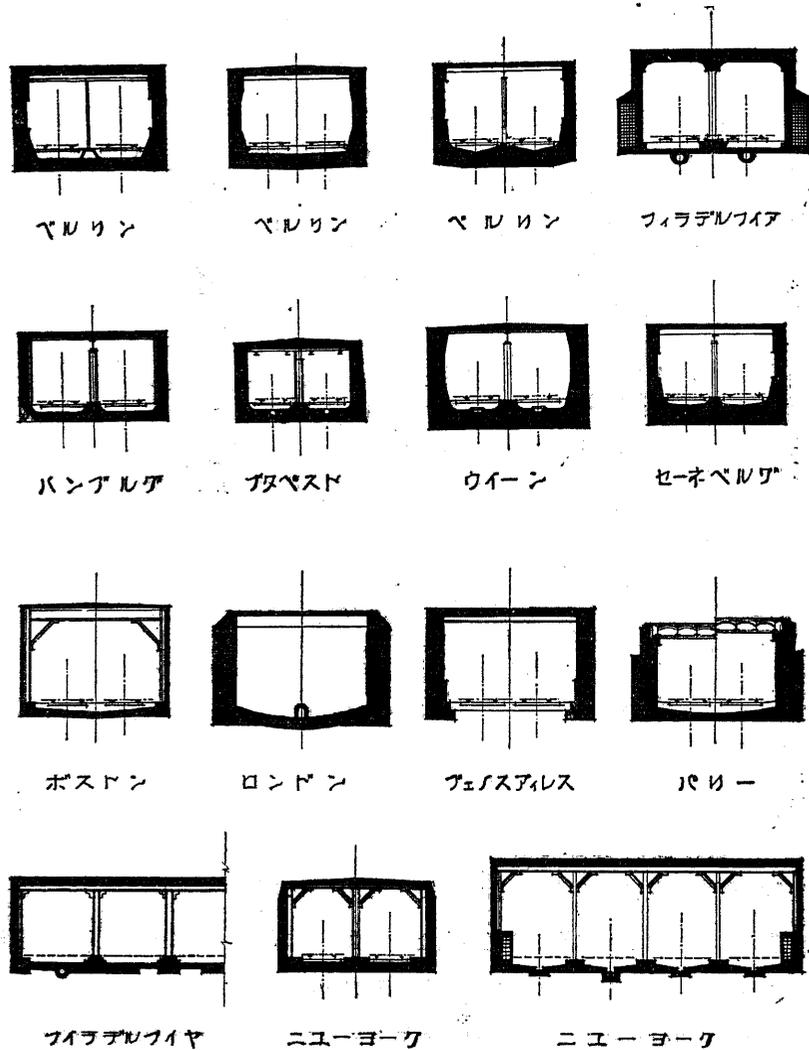
九 電線路の型式 電車に動力を供給すべき電路の型式は二種ありて、一は架空線に依るもの、一は第三軌條に依るものであるが、第三軌條式は軌道の片側に電氣を送るべき軌條を置き、車輛より突出せるシューに依り電車に動力を取入るゝもので、隧道の断面は車輛を通し得れば特に其の断面を増大する必要はないものである。然るに架空式に依れば、電車の屋根にボール又はサドルを置き架空動力線より受動するものにして、ボール又はサドルの高さ及架空線の取付に要する高さだけ隧道の高さを大にせねばならぬ。従て隧道の断面を大ならしめ掘鑿深を著しく深くするので、建設費に影響を來すのである。斯くて計畫の當初より電線路の型式を豫定して其の設計を進むる必要がある。

十 隧道の断面 地下隧道の断面形狀を大別すれば、拱形と函形の二種である。拱形とは天井を拱形とするものにして、側壁は垂直又は傾斜若くは圓弧等を用ひ任意の形狀を有するものなるが、隧道断面の高さが函形よりも高くなる爲に隧道の埋設深度を大ならしむるものである。函形とは天井の平らなるものにして、普通四角又は長方形の断面を有するものであるが、隧道断面の高さ最小なる爲埋設深度は最小である。兩者を如何なる場合に用ゐるかは設計者の意思に依ることであるが、淺地下隧道には一般に函形を用ゐられ、淺地下隧道にても深度の大なるものには拱形を用ゐて有利なることがある。然れども深地下隧道にては殆んど拱形又は圓形のものに限られて居ると言ても宜しい。複線隧道にては函形のものには中央に支柱を樹つるか、又は壁を以て二室に分ち其の断面を小ならしむると同時に、脱線事故に際し異線に支障を及ぼさざる様にするを可とし換氣に列車の進行に依るピストン作用を應用せんとするときは、中央壁を以て二室に分つを可とす。

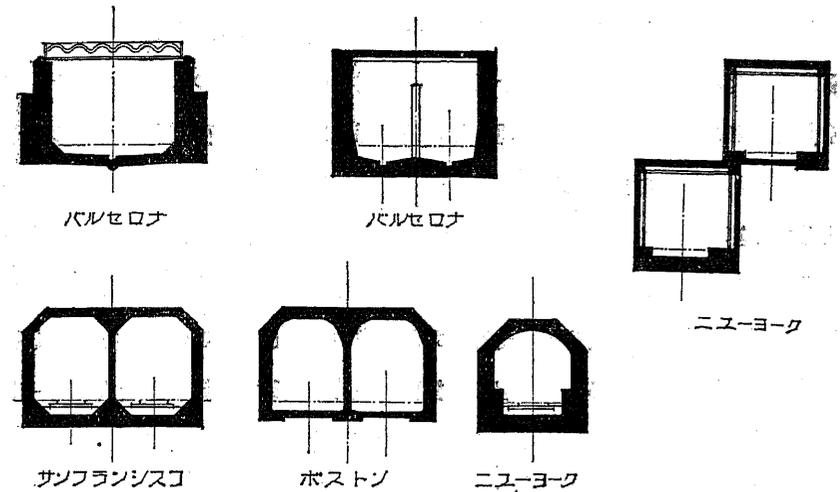


隧道断面形狀に就て拱形、函形の優劣強弱は其の埋戻深度、地質、含水量其の他幾多の條件に依りて比較研究の上ならでは、直に論議することは出来ぬが複線隧道を二室に分ち又は換氣の爲に、其の断面を最小限度に定むる場合には函形を有利とし、複線隧道を一徑間に造る必要ある場合又は停留場に於て特に天井の高さを要求され徑間長の異なる場合には拱形を有利とするものである。倫敦市の如

き深地下式のもの又は巴里市の如き白堊質地質に於て淺地下隧道でさへも隧道式工法を以てシャフトを掘下げ、それより横に穿孔し天井の拱を造りて側壁を掘下げ施工するものにては拱形を用ゆることが便利であるが、紐育市や伯林市の如く



函形断面 (一)



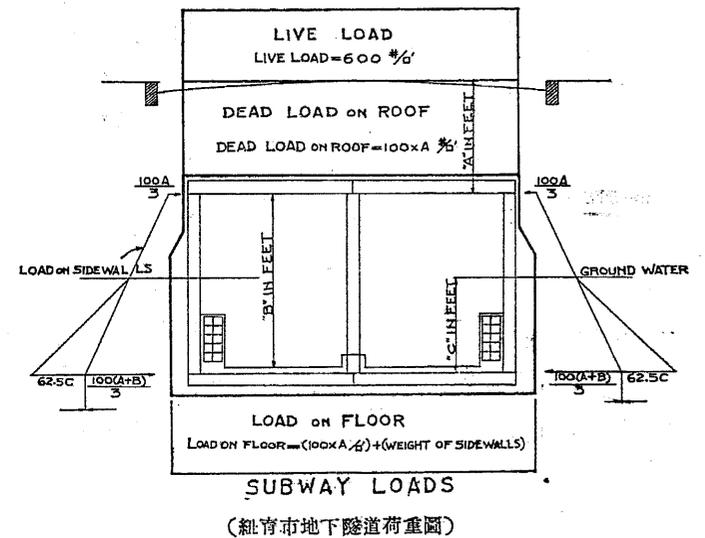
函形断面 (二)

掘開式工法を以て路下に埋設するものは函形を可とするものである。

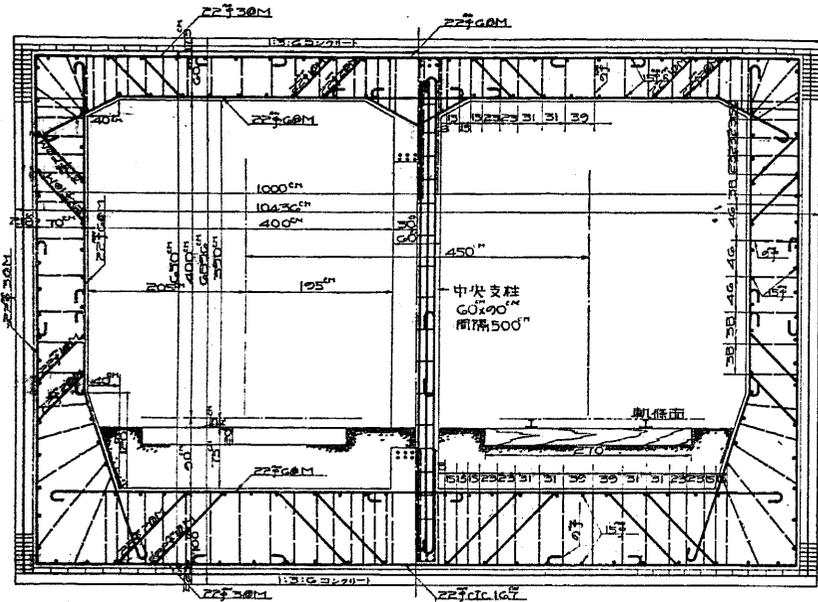
十一 隧道の受る荷重 隧道断面の耐力計算方法は拱形のものには鐵道に於ける普通隧道の例に依り函形のものにはラーメン式計算法に依るものであるが、特種のものでないで之を省略し隧道の受くる荷重の定め方のみを例示するに止む。

紐育市函形
淺地下隧道荷
重

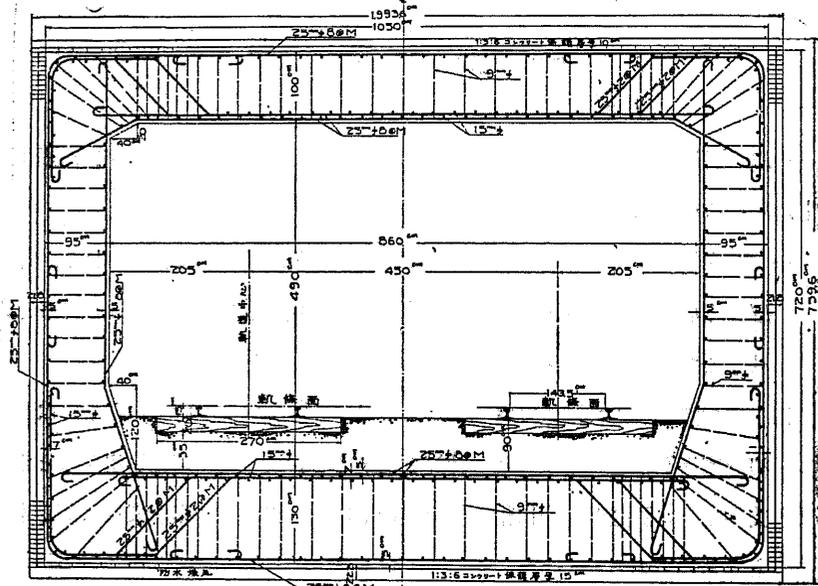
天井に来る
荷重は路面下
天井までの土
砂の重量全部
と路面を通
過する活荷重と
を加へたるも
のとす土砂の



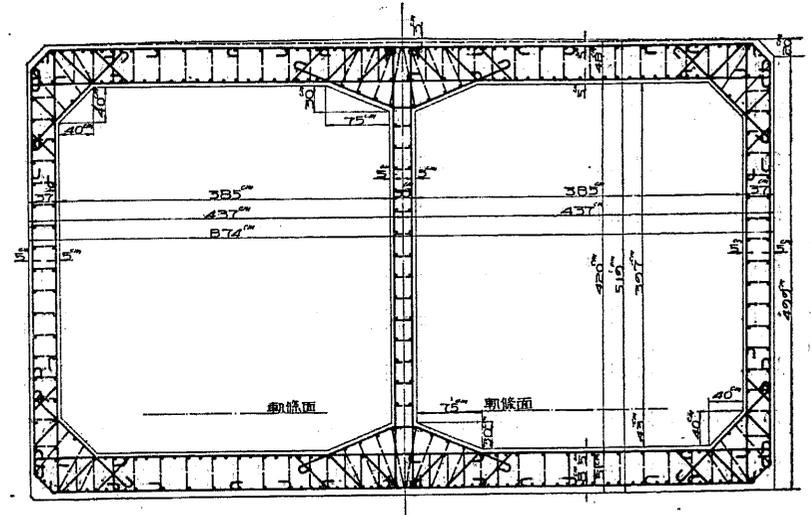
(紐育市地下隧道荷重圖)



大阪市高速鐵道地下線路計畫斷面圖 (土被六米半の分)



大阪市高速鐵道地下線路涉り線筒所斷面圖 (土被六米半の分)



東京地下鐵道株式會社新斷面圖 (土被五米半)

が鐵骨の骨組を組立て、其の鐵骨枠に全荷重を受けしめ、鐵骨枠間は荷重を鐵骨枠の傳ふるだけの設計を採る場合は別として、全部鐵筋混凝土構造とする時は柱形に荷重を集むるよりも一枚の均一の厚さとして平均に負荷せしむる方が、構造も簡單で工事にも型枠等が簡單であるのみならず完成後の體裁も良からうと思ふ。此柱形は荷重大なる爲に、殆ど連續して設けられ五尺以上の間隔を取る事は困難なる爲に、其の工事費も低廉ではなからうと思ふ。

四 函形隧道の設計の最も主要なる選擇はIビームを使用して鐵骨を主とするか又は鐵筋混凝土のみとするかの二の問題である。鐵骨を主とするものは鐵骨を六呎乃至七呎半位の間隔に組立て其の間を鐵筋混凝土壁にて平面又は拱形に連結し其の荷重を鐵骨枠に傳ふるもので、鐵筋混凝土壁及床の厚さは極めて薄く出來上り最も工事費の低廉なる構造である。而して複線隧道の中央支柱の如きは混凝土にて被覆せずして鐵のみの露出柱である。此例は紐育市及伯林市、又は東京市の上野淺草間の地下鐵道であるが、餘り體裁の良いものでない林立せるIビームの中央支柱や、柱形の凹凸せる壁面は何となく貧弱の感を與ふるものである。尙ほ其の工事施行に當り掘鑿坑内支保材の縦横に設けられたる中で鐵骨の組立を行ふ事は容易の業でないのと、鐵骨全部の

組立を終りたる後、鐵筋材を組立て然る後混凝土工を施工するものである爲に鐵骨組立初めより混凝土工の完成までには相當の時日を要するのである。故に地質軟弱なる箇所及埋設線の大なるもの等に在ては施工中支保工の取外の危険を長時日放置することとなりて多少危険の虞もあり、鐵骨組立の困難は混凝土量の節約し得る程度と、施工費の増額等と比較して幾許の利益にもならぬのでないかと思ふ。鐵筋混凝土設計にては下段の支保工取外しまでにそれより下の側壁を完成するを得て必要な時に支保工を取外して鐵筋を繼足し組立て、行くので、施工は極めて簡易で工事期間も著しく短く且つ危険の虞が少いのである。紐育市及獨逸では鐵骨設計を主唱して居り、最も低廉なる工法であると謂て居るが我邦の如き湧水多く地質軟弱なるものに對し、更に鋼材の價格低廉ならざることを考ふれば、必ずしも鐵骨工法を謳歌することが出来ないのである。此點に就ては、設計には充分に研究し比較して其の選擇を誤らざることを望む。

五 湧水多く地質不良にて沿道に危険なる建築物の多き處では掘鑿の深さを一尺にても淺くする必要がある。掘鑿深は深さの二乗の割合にて工事の困難を増加すると言はれて居る通り、僅少の深さにても減少し得ば少しの無理は忍んでよいと思ふ。普通不良なる地質では僅かなる深さの差異にて湧水に遭遇し又は軟弱なる地層に到達して甚しき工事の困難を惹起する事がある。

六 隧道の天井の路面よりの深さは、下水道は別として其の他の地下埋設物例へば電信、電話、水道、瓦斯、電纜等の埋設せられて居る深度に依て決せられるもので、歐米の都市にては五呎乃至六呎位である。我邦にてもその位を取れば充分であらう。斯くて隧道を出来る限り淺くする爲には其の天井は路下五呎又は六呎と定むるのが、最も賢明なる方法である。而して下水道は一般に深く設けらるゝので、下水道との關係は箇所毎に考究して下水道を移動する費額と隧道を深くする費額とを比較して何れかに決定すべきものである。

紐育市の如きは最近地下工作物の移轉改築等の爲に、巨額の工事費を要し遠からずして深地下隧道とする方が低廉なりといふ時に到達すると言て居るが我邦にては左様な心配はないが下水道との關係は特に注意すべき事である。

大正十二年關東大震災直後帝國飛行協會より帝都復興に關し政府へ提出せる建議書の内に、爆彈の威力に對する防護強度を示せるものに依れば、地下隧道を爆彈の避難場として使用する爲に、其の天井の強度を爆彈に堪へ得るものとする爲には、埋設深度を少くとも三米以上とせざれば如何なる構造を採るも、到底之れに堪る事は出来ぬ有様である。同建議書に記載せる鐵筋混凝土の防護強度を見るに普通の都市攻撃用の重量三百瓩の爆彈に對し、掩護土層の厚さ二米以下にては鐵筋混凝土の厚さ一米四五を必要とし、三米に達すれば零米三十五となり、四米に達すれば零米二十となり、五米に達すれば零米十に減じ、六米に達すれば全く被害を受けざるものである。而して二米の深さまでは土層に對し却て爆彈の爆發藥の裝填係数を増加し多大の厚さを要求し、又爆彈の大きさは普通百瓩乃至五百瓩なるも最大千瓩に達するものありと言ふて居る。爆彈の大きさは年と共に愈々重くなるであらう而して都市の住民が爆彈の避難すべき場所を地下鐵道又は大建築物の地下室の外に求められぬとすれば地下隧道の埋設深度に就ては、或程度まで考慮し河川を濬る等の關係から多大の工費を増加せずして、相當の深さを取り得る場所は考慮に入れて置くがよろしからうと思ふ。工事費を甚しく増大する場合に在ては到底之れに應ぜしむることは困難である。

七 淺地下隧道掘鑿の底面より湧水ある時、又は地質軟弱なる時は隧道工事を施工する迄に、先づ水止工及地盤の地固工をなさねばならぬ。地質の堅牢にして湧水なき時は薄層の砂利敷均をなしたる上に厚さ四吋か六吋の保護混凝土層を施工して、直ちに防水工に着手して差支ないが地質が軟弱にして湧水ある時は、之を防止するに足るべき割石を敷均し目潰敷均砂利をなし、其上

に六吋乃至一呎位の水止混凝土を施工せねばならぬ。又湧水の量極めて多く水中作業を要する如き場合は急硬セメントの袋詰混凝土を疊積して湧水を阻止したる上、水止混凝土を施工するが宜しい。而して割石及混凝土の厚さは其の状況に依り適當の厚さに定むるのである。然れども是等の施工は何れも掘鑿深を増加するものであれば掘鑿の困難と工費を増大するので仰筒の力の許す限りは強力なる水換作業に依りて水切をなし、普通の保護混凝土のみにて止むるか、又は其の厚さを出來得る限り少くすることに力むべきである。而して地質軟弱なときは割石を以て地均をなし目潰砂利を敷均し、其の上の混凝土工を施工すべきものである。是等のことは隧道設計當初より隧道断面と共に豫定して置く必要がある。

八 隧道の本體の施工は少くとも一段又は二段の支保工を取外してなさねばならぬので、鐵筋混凝土の配置は支保工の位置に於て繼手を作り下より一段目の支保工を外さずして其の支保工の下までは一旦鐵筋を組立て側壁を仕上げ矢板と側壁外面との間に土砂を填充して矢板の壓力を少しにても受けさせたる上に於て、支保工を取外し其の上の鐵筋を繼足して、組立てる様に鐵筋の配置を最初より設計して置くことを望む。支保工の取外し危険なるを知りて鐵筋の配置を変更することは施工上危険を來すことがある。同様に天井と側壁は同時に施工すること困難にして側壁の工事を終りたる上に天井の工事を初むるものであれば、鐵筋の繼手は工事の順序を考へて適當の位置に豫め作つて置くが良いと思ふ。

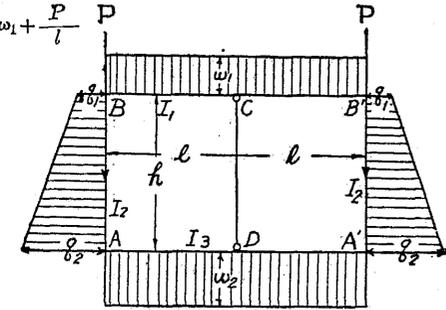
(参考) 大阪市地下隧道計算公式

(一) 撓角法に依る路下隧道の解法

1. 記 號

- q_1 = 側壁上端荷重
- q_2 = 側壁下端荷重
- I_1 = 上床版の断面二次率
- I_2 = 側壁の " "

- P = 側壁自重
- ω_1 = 上床版荷重
- ω_2 = 下床版荷重 = $\omega_1 + \frac{P}{l}$
- I_3 = 下床版の 断面二次率

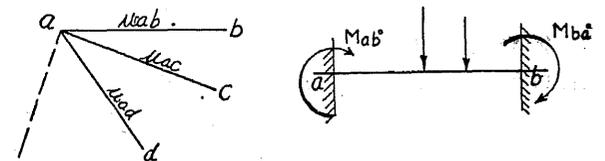


$$\begin{aligned} \mu_1 &= 1 & \alpha A' &= \frac{EI_1}{l} \alpha A \quad \text{但し } \alpha A = A \text{ 點の撓角} \\ \mu_2 &= \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{l}{h} & \alpha B' &= \frac{EI_1}{l} \alpha B \quad \alpha B = B \text{ 點の撓角} \\ \mu_3 &= \frac{I_3}{I_1} & \varphi &= \frac{EI_1}{l} \varphi \quad \varphi = \text{部材 } BC \text{ の廻轉角} \end{aligned}$$

2. 撓角及び廻轉角

曲能率及び節點撓角の符號を該部材の時計の方向に働く時、並に部材が節點で時計の方向に變位する時正とす。

一般に節點 a に部材 ab, ac, ad, \dots が集まる時次の關係あり



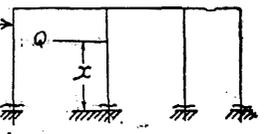
$$\sum M_a = 0 \text{ により} \quad 4\alpha_a (\mu_{ab} + \mu_{ac} + \dots) + 2(\mu_{ab}\alpha'_b + \mu_{ac}\alpha'_c + \dots) - 6\sum \alpha_b \varphi_{ab}' = -\sum M_{ab}^0 \dots \text{ (1)}$$

但し

M_{ab}^0 は部材 ab の兩端緊固の時該部材上の荷重のみに依り支點に生ずる彎曲率を意味す。

上圖の如き荷重に對して M^0 の値を算出せば次の如し

$$\begin{aligned} M^0_{AB} &= -\frac{l^2}{60} (3q_2 + 2q_1) & M^0_{AD} &= \frac{\omega_2 l^2}{12} \\ M^0_{BA} &= -\frac{l^2}{60} (2q_2 + 3q_1) & M^0_{BC} &= -\frac{\omega_1 l^2}{12} \end{aligned}$$



又 $\sum H = 0$ により

$$\sum Q_x + 6 \sum \mu_{ab}(\alpha_a' + \alpha_b' - 2\varphi_{ab}') = -\sum(M_{ab}^o + M_{ba}^o) \dots \dots \dots (II)$$

但し

x は柱脚に於ける水平切断面より荷重點までの距離。

Q の切断面に平行なるものを意味す。

圖の如く框構及び荷重が對稱的なるときは $\alpha_C' = \alpha_D' = 0$ なり、又部材廻轉角は BO 及び AD のみに起り得 即ち $\varphi'_{BO} = \varphi'_{AD} = \varphi'$ とす

(I) 式を用ひて

$$\sum M_A = 0 \text{ より, } 4\alpha_A'(\mu_2 + \mu_3) + 2(\mu_2\alpha_B + \mu_3\alpha_D) - 6\mu_3\varphi' = -M_{AB}^o - M_{DA}^o = A$$

$$\sum M_B = 0 \text{ より, } 4\alpha_B'(\mu_1 + \mu_2) + 2(\mu_1\alpha_C' + \mu_2\alpha_A') - 6\mu_1\varphi' = -M_{BA}^o - M_{BC}^o = B$$

(II) 式の $\sum H = 0$ は本問題にては $\sum V = 0$ に相當す、即ち CD にて切斷面を考へ外力と支力との平衡を考ふれば

$$\sum V = 0 \text{ より, } -Pl + \frac{P^2}{2}(\omega_2 - \omega_1) + 6\mu_1(\alpha_B' + \alpha_C' - 2\varphi') + 6\mu_3(\alpha_A' + \alpha_D' - 2\varphi') = -\sum(M_{AD}^o + M_{DA}^o) = 0$$

上記の三式に於て $\mu_1 = 1, \alpha_C' = \alpha_D' = 0$ を代入し整理すれば

$$\begin{cases} 4(\mu_2 + \mu_3)\alpha_A' + 2\mu_2\alpha_B' - 6\mu_3\varphi' = A \\ 2\mu_2\alpha_A' + 4(1 + \mu_2)\alpha_B' - 6\varphi' = B \\ 6\mu_3\alpha_A' + 6\alpha_B' - 12(\mu_3 + 1)\varphi' = Pl - \frac{P^2}{2}(\omega_2 - \omega_1) = C \end{cases}$$

この三式より三未知數 $\alpha_A', \alpha_B', \varphi'$ を容易に求むることを得。

3. 節點彎曲率

任意部材 ab 撓角 α_a', α_b' 及び

廻轉角 φ_{ab}' が既知なる時部材

ab に a 點に於て働く彎曲率

M_{ab} 及び b 點に於ける M_{ba} は

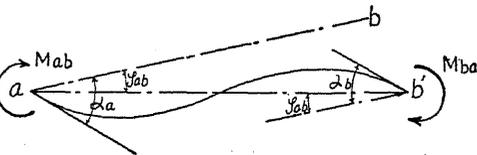
次の如し。

$$\left. \begin{aligned} M_{ab} &= 2\mu_{ab}(2\alpha_a' + \alpha_b' - 3\varphi'_{ab}') + M_{ab}^o \\ M_{ba} &= 2\mu_{ab}(2\alpha_b' + \alpha_a' - 3\varphi'_{ab}') + M_{ba}^o \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (III)$$

(III) 式を用ひて框構各部材の節點彎曲率を求むれば次の如し。

$$M_{AB} = 2\mu_2(2\alpha_A' + \alpha_B') + M_{AB}^o \quad \text{但し} \quad M_{BA}^o = -\frac{l^2}{60}(3q_2 - 2q_1)$$

$$M_{BA} = 2\mu_2(2\alpha_B' + \alpha_A') + M_{BA}^o \quad M_{AB}^o = +\frac{l^2}{60}(2q_2 + 3q_1)$$



$$M_{BC} = 2(2\alpha_B' - 3\varphi') + M_{BC}^o \quad \text{但し} \quad M_{CB}^o = -\frac{\omega_1 l^2}{12}$$

$$M_{CB} = 2(\alpha_B' - 3\varphi') + M_{CB}^o \quad M_{OC}^o = +\frac{\omega_1 l^2}{12}$$

$$M_{AB} = 2\mu_3(2\alpha_A' - 3\varphi') + M_{AB}^o \quad M_{OA}^o = +\frac{\omega_2 l^2}{12}$$

$$M_{DA} = 2\mu_2(\alpha_A' - 3\varphi') + M_{DA}^o \quad M_{OA}^o = -\frac{\omega_2 l^2}{12}$$

(二) 拱形路下隧道の解法

1. 解法の原理

圖の如き天井アーチ形の閉ちたる框構の一點 A に於て框構を切り放し A 點にて緊定された一つの桁桁と考ふるときは切斷前に A 點に働きたる反應力を他の自由端 A に働かしめれば應力状態には何等の變化なし。

今ある一點 O をとり AO を剛に連結し A 點の反應力の代りに O 點に作用する三未知力 $H_o'' V_o'' M_o''$ を用ふるも差支えなし。

然る時は任意の點 P に於ける彎曲率 (M) 軸壓力 (N) 及剪力 (S) は次の如くして求むる事を得。

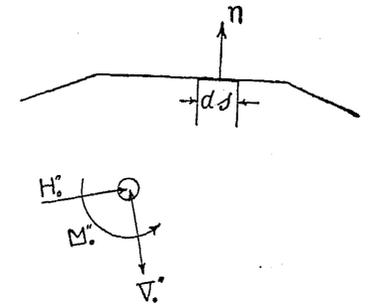
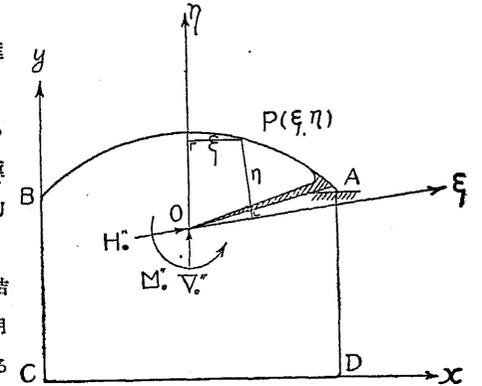
$$\begin{aligned} M &= M' + M'' & M'' &= M_o'' + H_o''\eta - V_o''\xi \\ N &= N' + N'' & N'' &= H_o'' \cos(H_o'' ds) + V_o'' \cos(V_o'' n) \\ S &= S' + S'' & S &= H_o'' \cos(H_o'' n) + V_o'' \cos(V_o'' m) \end{aligned}$$

M', N', S' = 外力が桁桁に生ぜしむる應力

M'', N'', S'' = 反應力 $H_o'' V_o'' M_o''$ に依る應力

2. H_o'', V_o'', M_o'' を求むること

A 點が移動せざるものとすれば O 點も亦休止状態にあり、最小働の原理に依り未知反力にて内働を微分せる價、即ち變位量 δ は零となる可し。内働の内 S に依るものは M に依るものに比し無視し得べく又 N に依るものは兩端緊定の拱の場合にはやゝ大なるも框構に於ては同様無視し得る程度に過ぎず。



故に内働 $A = \int \frac{M^2}{2EI} ds$ のみとすれば $\delta = \frac{\delta A}{\delta X} = 0$ に依り (X は未知力) 次式を得

$$\int \frac{M}{EI} \frac{\delta M}{\delta M_o''} ds = 0 \quad M = \underline{M}' + \underline{M}_o'' + H_o'' \eta - V_o'' \xi$$

$$\int \frac{M}{EI} \frac{\delta M}{\delta H_o''} ds = 0$$

$$\int \frac{M}{EI} \frac{\delta M}{\delta V_o''} ds = 0 \therefore \frac{\delta M}{\delta M_o''} = 1, \quad \frac{\delta M}{\delta H_o''} = \eta, \quad \frac{\delta M}{\delta V_o''} = -\xi$$

即ち

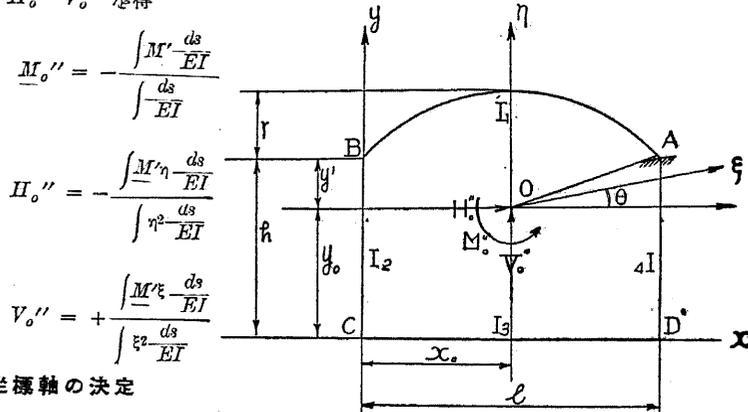
$$\int (\underline{M}' + \underline{M}_o'' + H_o'' \eta - V_o'' \xi) \frac{ds}{EI} = 0$$

$$\int (\underline{M}' + \underline{M}_o'' + H_o'' \eta - V_o'' \xi) \eta \frac{ds}{EI} = 0$$

$$\int (\underline{M}' + \underline{M}_o'' + H_o'' \eta - V_o'' \xi) \xi \frac{ds}{EI} = 0$$

此處に於て計算を容易ならしめるため

$\int \xi \frac{ds}{EI} = 0, \int \eta \frac{ds}{EI} = 0, \int \xi \eta \frac{ds}{EI} = 0$ の如く Co-ordinate axis を選ぶ
但し $\xi = x - x_o, \eta = (y - y_o) \cos \theta - (x - x_o) \sin \theta$ 然かるときは前記の三式より三未知数 $\underline{M}_o'', H_o'', V_o''$ を得



3. 坐標軸の決定

$\int \xi \frac{ds}{EI} = 0, \int \eta \frac{ds}{EI} = 0$ は原点 O が弾性荷重 ($\frac{ds}{EI}$) の重心點に當る事を意味す。

故に $x_o = \frac{\int x \frac{ds}{EI}}{\int \frac{ds}{EI}}$

$$y_o = \frac{\int y \frac{ds}{EI}}{\int \frac{ds}{EI}}$$

$\int \xi \eta \frac{ds}{EI} = 0$ は θ を決定する條件なり。

$$\xi = x - x_o, \eta = (y - y_o) \cos \theta - (x - x_o) \sin \theta$$

を代入して $\tan \theta$ を求めれば

$$\tan \theta = \frac{\int \frac{ds}{EI} \int xy \frac{ds}{EI} - \int x \frac{ds}{EI} \int y \frac{ds}{EI}}{\int \frac{ds}{EI} \int x^2 \frac{ds}{EI} - \left(\int x \frac{ds}{EI} \right)^2}$$

4. 慣性能率 (I)

框構各部の I を次の如く假定す

$$\begin{cases} I_1 = \frac{I_o}{f(Z) \cos \varphi} & \text{但し } I_o = \text{拱頂に於ける } I \\ I_2 = I_4 = \frac{I_o}{K} & I_1 = \text{拱の任意の點に於ける } I \\ I_3 = \frac{I_o}{K_2} & I_2, I_3, I_4 = BC, CD, DA \text{ の } I \\ & K_1, K_2 = \text{常数} \end{cases}$$

拱軸を Parabola とし

$f(Z) \cos \varphi$ を次の如くして定む。

但し φ = 拱軸上任意の點に於ける切線が x 軸となす角

I_s = 起拱點に於ける I

拱頂にては $I_o = \frac{I_o}{f(Z) \cos \varphi} (\varphi=0) \therefore f(Z) = 1$

起拱點にては $I_s = \frac{I_o}{f(Z) \cos \varphi_s} \therefore f(Z) = \frac{I_o}{I_s \cos \varphi_s} = m$ とす

即ち拱頂にては $f(Z) = 1$ 。起拱點にては $f(Z) = m$

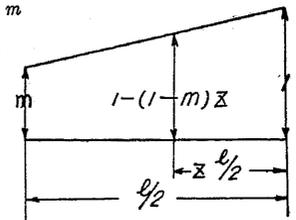
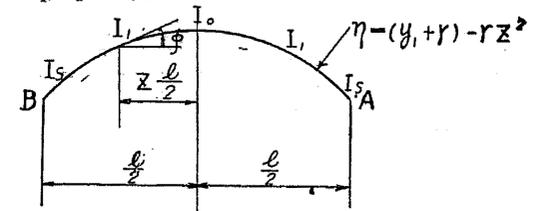
其の間は直線的に 1 より m 迄變化さすものとすれば

$$f(Z) = 1 - (1 - m)Z$$

$\cos \varphi$ を含めたるは $\cos \varphi ds = dx$ となり積分に便ならしめる爲なり。

5. $x_o, y_o, \tan \theta$ の値

框構が圖の如く左右對稱なる時拱軸の位置を計算すれば



$$\left\{ \begin{aligned} x_o &= \frac{\int x \frac{ds}{EI}}{\int \frac{ds}{EI}} = \frac{l}{2} \\ y_o &= \frac{\int y \frac{ds}{EI}}{\int \frac{ds}{EI}} = \frac{l}{2} \left[h(1+m) + \frac{r}{6}(5+3m) \right] + Kh^2 \\ I_{\text{rot}} &= \frac{\int \frac{ds}{EI} \left(xy \frac{ds}{EI} - x \frac{ds}{EI} \int y \frac{ds}{EI} \right)}{\left(\int \frac{ds}{EI} \int y^2 \frac{ds}{EI} - \left(\int x \frac{ds}{EI} \right)^2 \right)} = 0 \end{aligned} \right.$$

6. 反力 M_o'' H_o'' V_o'' の値

$$\left\{ \begin{aligned} M_o'' &= - \frac{\int \frac{M'}{EI} \frac{ds}{EI}}{\int \frac{ds}{EI}} = - \frac{\int \frac{M'}{I} \frac{ds}{EI}}{\int \frac{ds}{EI}} \\ H_o'' &= - \frac{\int \frac{M' \eta}{EI} \frac{ds}{EI}}{\int \eta^2 \frac{ds}{EI}} = - \frac{\int \frac{M' \eta}{I} \frac{ds}{EI}}{\int \frac{\eta^2 ds}{EI}} \\ V_o'' &= + \frac{\int \frac{M' \xi}{EI} \frac{ds}{EI}}{\int \xi^2 \frac{ds}{EI}} = + \frac{\int \frac{M' \xi}{I} \frac{ds}{EI}}{\int \frac{\xi^2 ds}{EI}} \end{aligned} \right.$$

分母;

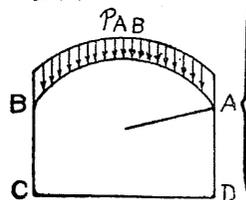
$$\int \frac{ds}{I} = \frac{1}{I_o} \left[l \left(\frac{1+m}{2} + K_3 \right) + 2Kh \right]$$

$$\int \eta^2 \frac{ds}{I} = \frac{1}{I_o} \left\{ \frac{l}{2} (y+r)^2 (1+m) - \frac{r}{3} (y_1+r)(1+3m) + \frac{r^2}{15} (1+5m) \right\}$$

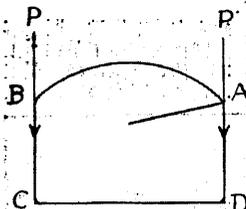
$$+ \frac{2}{3} K (y_1^3 + y_o^3) + K_3 y_o^2$$

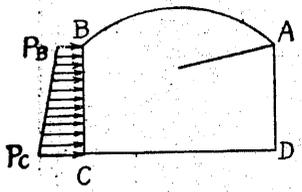
$$\int \xi^2 \frac{ds}{I} = \frac{1}{I_o} \frac{l^3}{48} \left[l(1+3m) + 24Kh + 4K_3 l \right]$$

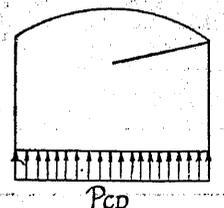
分子;

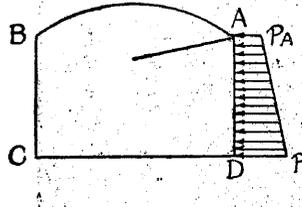


$$\left\{ \begin{aligned} - \int \frac{M'}{I} \frac{ds}{EI} &= \frac{1}{I_o} \frac{(7+9m) l^3}{96} P_{AB} \\ - \int \frac{M' \eta}{I} \frac{ds}{EI} &= \frac{1}{I_o} \frac{l^3}{480} \left[5y_1 (9m+7) + 4r(5m+7) \right] P_{AB} \\ \int \frac{M' \xi}{I} \frac{ds}{EI} &= \frac{1}{I_o} \frac{l^3}{96} \left[l(1+3m) + 48Kh + 8K_3 l \right] P_{AB} \end{aligned} \right.$$

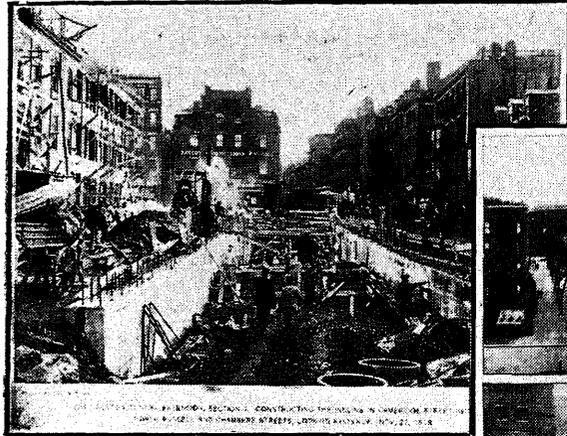


$$\left\{ \begin{aligned} - \int \frac{M'}{I} \frac{ds}{EI} &= \frac{-1}{I_o} l (Kh + \frac{1}{2} K_3) P \\ &\quad (P' \text{ に依るものは零なり}) \\ - \int \frac{M' \eta}{I} \frac{ds}{EI} &= \frac{-1}{I_o} l \left\{ Kh \left(\frac{h}{2} - y_o \right) - \frac{1}{2} K_3 y_o l \right\} P \\ \int \frac{M' \xi}{I} \frac{ds}{EI} &= \frac{1}{I_o} \frac{l^3}{12} (6Kh + K_3) P \end{aligned} \right.$$


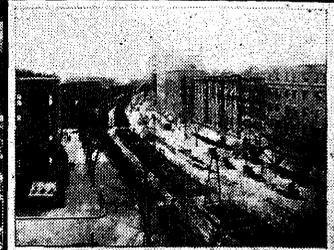
$$\left\{ \begin{aligned} - \int \frac{M'}{I} \frac{ds}{EI} &= \frac{1}{I_o} \frac{h^3}{24} \left\{ P_B (8K_3 l + 5Kh) - P_C (Kh - 4K_3 l) \right\} \\ - \int \frac{M' \eta}{I} \frac{ds}{EI} &= - \frac{1}{I_o} \frac{h^2}{120} \left\{ P_B \left[Kh(21h - 25y_1) + 40K_3 y_o l \right] + P_C \left[Kh(4h + 5y_1) + 20K_3 y_o l \right] \right\} \\ \int \frac{M' \xi}{I} \frac{ds}{EI} &= \frac{1}{I_o} \frac{K l h^3}{48} (P_B + 3P_C) \end{aligned} \right.$$


$$\left\{ \begin{aligned} - \int \frac{M'}{I} \frac{ds}{EI} &= \frac{1}{I_o} \frac{l^3}{6} (3Kh + K_3) P_{CD} \\ - \int \frac{M' \eta}{I} \frac{ds}{EI} &= \frac{1}{I_o} \frac{l^3}{6} \left\{ 3Kh \left(\frac{h}{2} - y_o \right) - K_3 y_o l \right\} P_{CD} \\ \int \frac{M' \xi}{I} \frac{ds}{EI} &= - \frac{1}{I_o} \frac{l^3}{24} (6Kh + K_3) P_{CD} \end{aligned} \right.$$


$$\left\{ \begin{aligned} - \int \frac{M'}{I} \frac{ds}{EI} &= \frac{1}{I_o} \frac{K l h^3}{24} (P_A + 3P_D) \\ - \int \frac{M' \eta}{I} \frac{ds}{EI} &= \frac{1}{I_o} \frac{K l h^3}{120} \left\{ P_A (4h - 5y_o) + P_D (11h - 15y_o) \right\} \\ \int \frac{M' \xi}{I} \frac{ds}{EI} &= - \frac{1}{I_o} \frac{K l h^3}{48} (P_A + 3P_D) \end{aligned} \right.$$

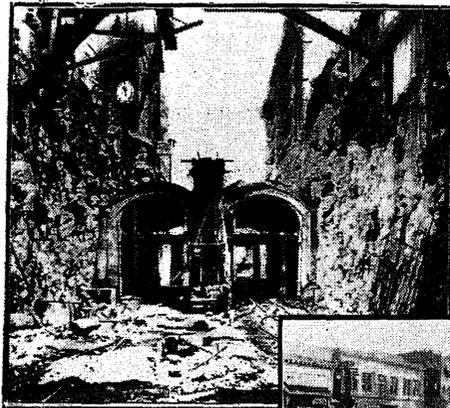


紐育市地下鐵道掘開工事
上圖は路面覆工最初の工
事方法、下圖は路面覆工
なせる現在の工事方法

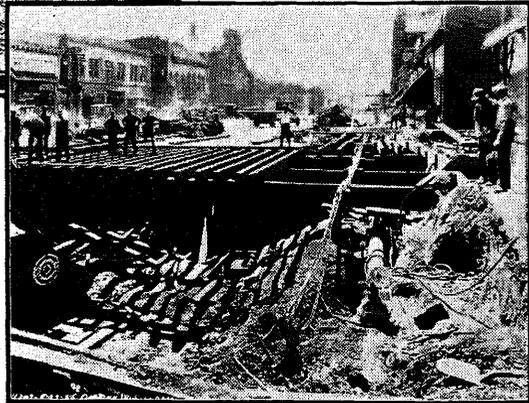


THIS AND OTHER METHODS OF EXCAVATING
STREETS
Upper Broadway During Construction of First
Subway; 2. Lower Broadway During Con-
struction of Second Extension, Showing
Different Method.

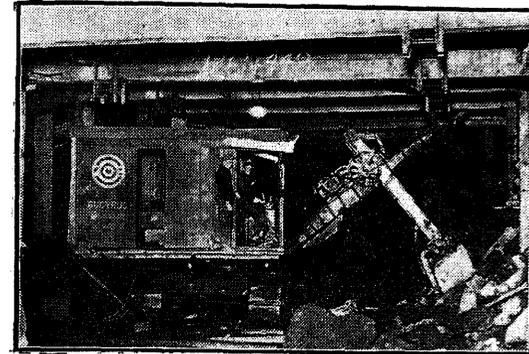
米國ホストン市地下鐵掘開工事



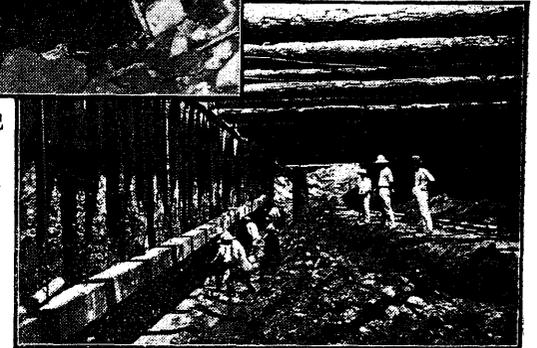
紐育深池下線掘開工事



紐育路下線路面覆工



紐育路下隧道土砂掘鑿狀況



大阪市高速鐵道御堂筋掘鑿狀況



大阪市高速鐵道御堂筋掘鑿狀況

第三節 地下線路の掘開

浅地下線路を埋設する爲に、路面より掘開する掘開式工法(Cut and Cover method)に就て矢板工、支保工及掘鑿に関する工事上の注意事項を記述する事とす。

掘開式工法は、路面に於て隧道の總幅に適當の餘裕を加算したる間隔に、鋼矢板又は他の土留工を施工したる後掘鑿を初め、支保工を以て兩側の土留工を支持し、其の位置を確保しながら順次に掘下げ所定の深さに達したるとき、基礎混凝土を敷均し、其の上に隧道を築造し、其の上へ路面まで土砂を埋戻したる上、鋼矢板又は土留工材を引抜き其の孔を埋めて、工事を終るものである。

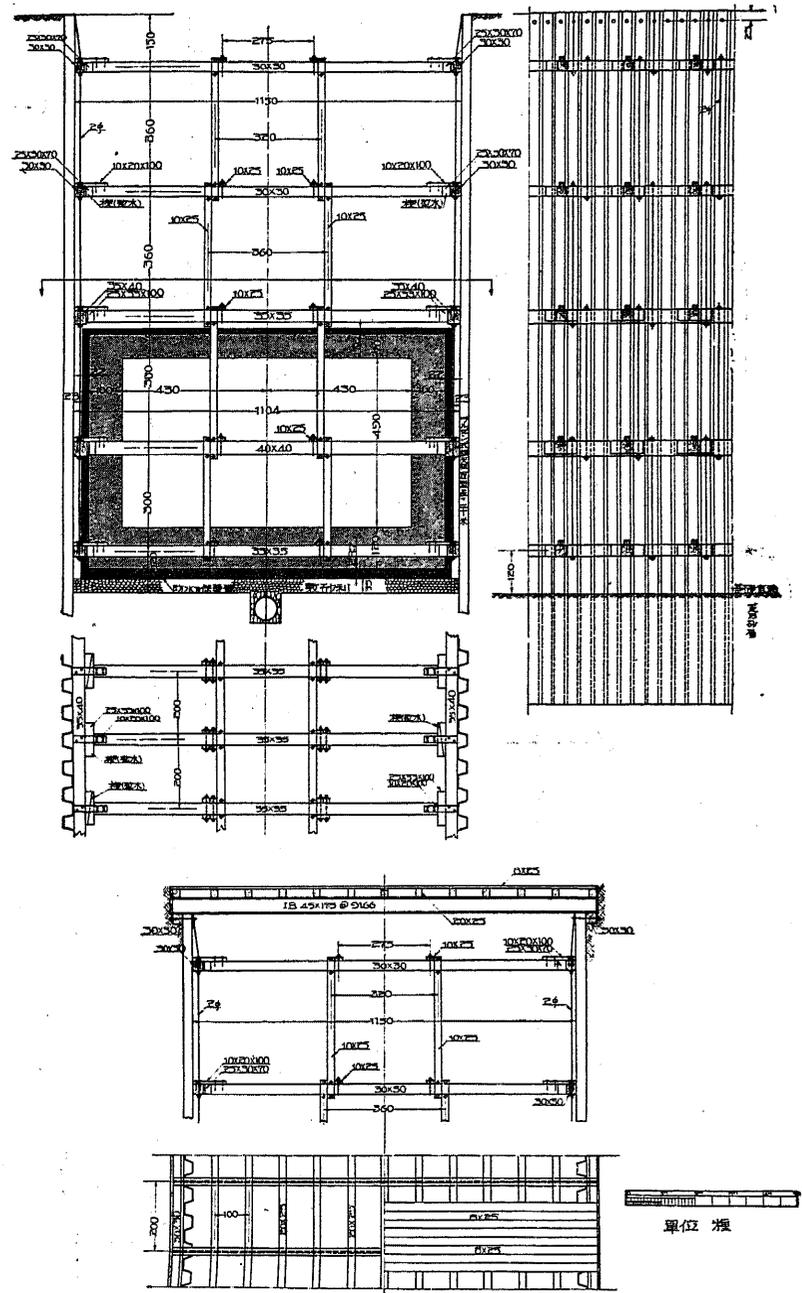
土留工は掘鑿に際し、兩端の地盤の土壓及水壓のために、押し出され且つ洩水の爲に、附近の地盤の沈下陥落等の危険を惹起せざる完全の方法たるを要し、普通用ひらるゝ方法に二種あり。

一 鋼矢板の打込

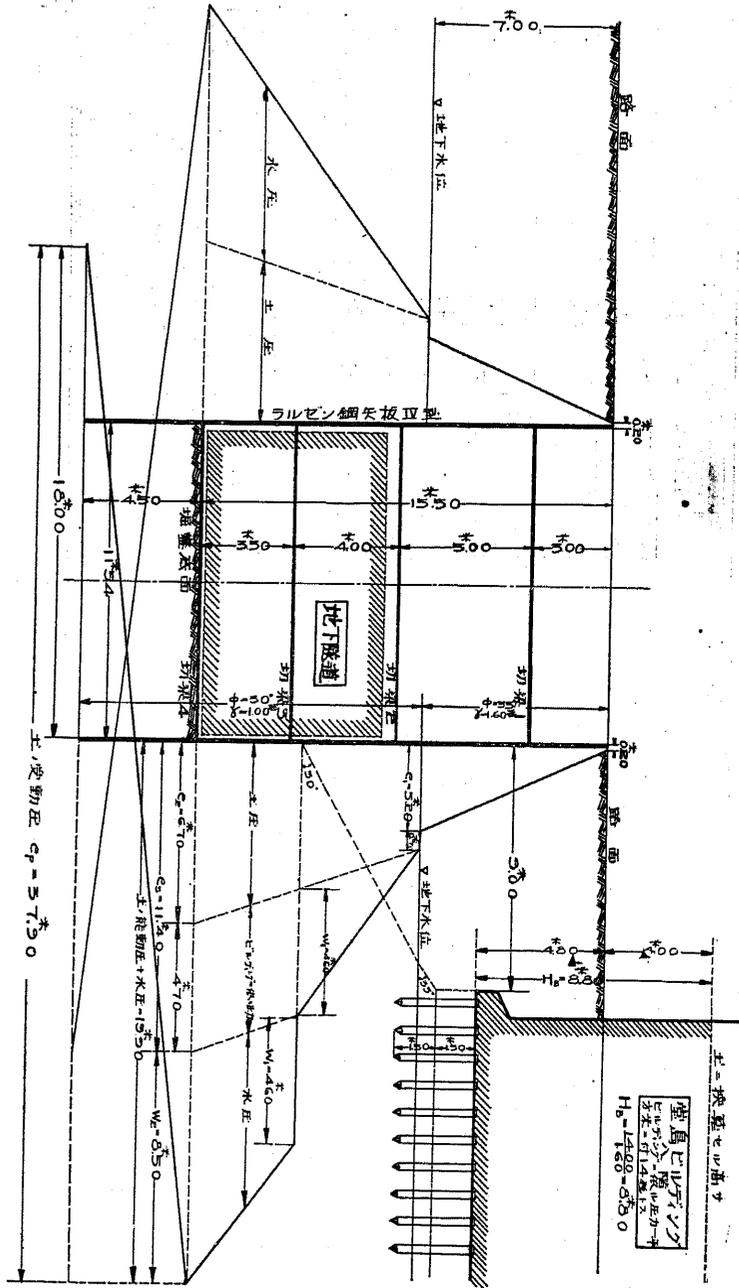
二 I ビーム打込、横矢板土留法

鋼矢板を打込み、支保工を以て支持する工法は最も完全なる施工方法にして、洩水を完全に阻止し掘鑿底部よりの廻り水、又は土砂の噴出等の危険を防止し得るも、I ビーム横矢板工法は、I ビームを適當の間隔に打込み、I ビーム間に横板を挿入し、土砂の崩壊を防ぎながら順次に掘下ぐるものにして、地下水の多き箇所又は地質の軟弱なる箇所に於ては、不完全にして危険なる方法である。横矢板を挿入する爲に土砂を掘下げ横矢板を挿込む間に、土砂の噴出又は地下水の湧出を阻止する能はざる危険があるので、地下水少く地質の堅牢にして、土壓の小なる場合でなければ面白くない、然れども工事は早く、工費も低廉でありI ビーム抜取後の始末も容易である。尙此工法は掘鑿底面より以下には、土留の方法がない爲に、それより下は掘鑿後に於て、周圍の土壓及水壓に依りて、掘鑿底面へ土砂の吹出し又は廻り水の危険を阻止する方法がないのである。

大阪市高速鐵道鋼矢板荷重圖



大阪市高速鐵道鋼矢板支保工圖



壁ビル前矢板計算圖の説明

土壓はランキンの公式を用ゐて計算する。

茲に ϕ = 土の安息角、 γ = 土一立方メートルの重さ

鋼矢板は圖の様な荷重を受ける五支點の桁として作用する。

此内切梁のなす四支點は自由支點で矢板の下端は土の抵抗ある故若干地面に固定される。矢板を四點、自由支點で下端固定せる桁として考へると頗る繁雜な計算になる。然も土壓は或る假定の下に近似的に計算し得るのみだから此様に嚴密な計算をすることは少しも必要でない。

故に各徑間を兩端で固定されたる桁と假定して彎曲力率を求め矢板の強度を檢することにする。

茲に q = 等布荷重、 l = 徑間を表はすものとすれば $Q = ql$

$$\text{支點上では } M_1 = M_2 = -\frac{Ql}{12}$$

$$\text{徑間の中央では } M_m = \frac{Ql}{24}$$

故に最大彎曲力率は支點上の $M = -\frac{Ql}{12}$ なる負彎曲力率である。

之は單桁と考へたときの彎曲力率 $\frac{Ql}{8}$ の $\frac{8}{12}$ に當る。

故に土壓に依て起る矢板彎曲率を略近似的に求むるには單桁の彎曲力率に $\frac{8}{12}$ を乗ずればよい。單桁彎曲力率は圖式的に求めることにする。

最大負彎曲力率は切梁 3 の上で起り其の値は

$$M = \frac{8}{12} \times 35.00 \times 1.35 = 31.50 \text{ 米遮}$$

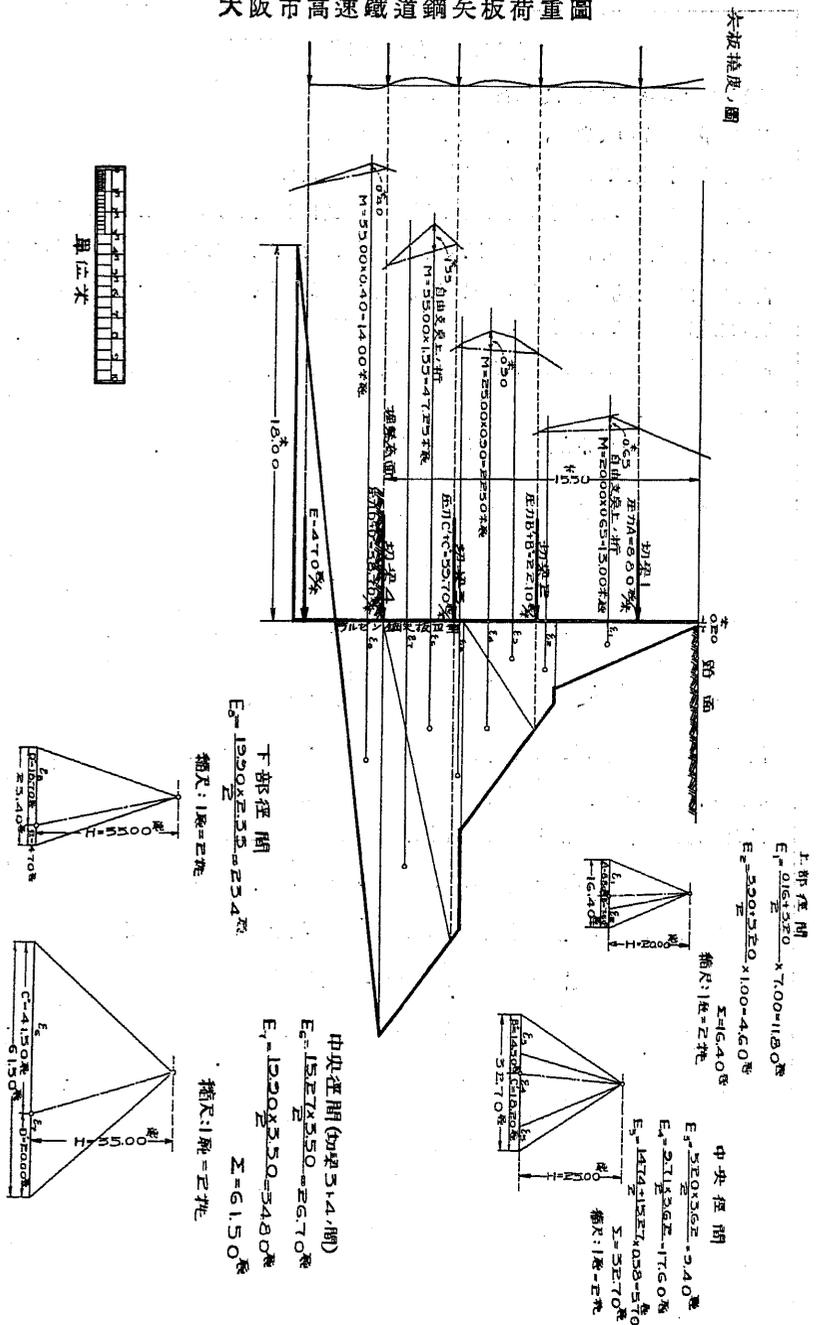
ラッセン鋼矢板 IV 型斷面剛率は一米に付き 2037 糎³ だから矢板の作用應力は

$$\sigma = \frac{3150000}{2037} = 1546 \text{ 糎/糎}^2$$

鋼矢板の破壊強度を 4500 糎/糎² とすれば安全率は

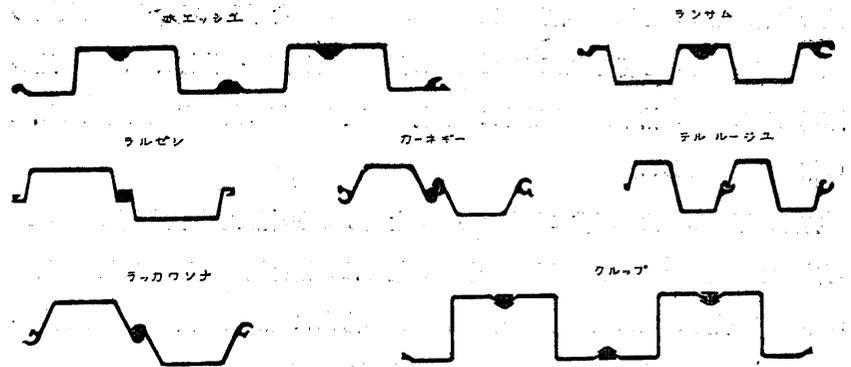
$$\frac{4500}{1546} = 2.9 \text{ になる。}$$

大阪市高速鐵道鋼矢板荷重圖



第一 鋼矢板土留工

一 鋼矢板の種類：鋼矢板は、現在は舶來品のみであるが、最近八幡製鐵所に於ても、特種の断面を定め試作品を、製作するまでの運びになつて居る様である。而して鋼矢板は歐米各種會社に於て、特許の断面を定め、互に其の特點を宣傳して居るが、何れも得失ありて完全のものとは言ひ難きも、我邦に於て廣く用ゐらるるに至りしは、東京市復興局の、橋梁工事を以て一時期を畫したる位にして、其の他は建築の基礎工事掘鑿に、使用せられるに過ぎず。然るに高速地下鐵道の工事を初むるに至り、已むを得ずして之を使用せねばならぬこととなり、京都市内に於ける新京阪電鐵の、地下線工事及大阪市の地下線工事に於ては、相當多量の使用を見つゝある有様である。而して舶來品の種類は大略下の通りである。



二 鋼矢板の打込 鋼矢板は其の掘鑿深に依り、又掘鑿底面より打込長に依りて、其の長さを定めらるゝものであるが、我邦に於て使用したる最長のものは、今回大阪市の河底隧道に用ゐつゝある、長さ二十米のものを最長とし、歐米に於ても餘り長きものを使用したる例は少く、和蘭に於て二十米のものを用ゐたる位である。然し鋼矢板は三十六米、即ち百二十呎位までは製作し得るといふことである。而して掘鑿底面より下に打込むべき深さは一定して居らぬが、地質軟弱にして、廻り水多く土砂を伴ひ噴出する如き箇所には、相當の根入を必要とし

其の他は普通二米乃至三米位で宜しいのである。

鋼矢板の打込位置は、隧道所要幅員に幾許の餘裕を置くべきかは、一定しては居らぬが、先づ矢板打込の不規則程度の見込と、防水工又は混凝土に要する型板を設くる餘裕を存すれば可成小なるを可とす。然れども地質堅硬にして、矢板を眞直に打込み難きときは、矢板の打込不規則となりて、隧道構築物の幅に不足を來すことがあるので、相當の餘裕を見込む方が安全である。而して餘裕多きに失すれば、土工量を増大し埋戻に際し地盤の弛緩より起る故障を生じ易い。先の見込は施工者の經驗に依るべきであるが、少くとも六吋以上一呎位を適當と思ふ。

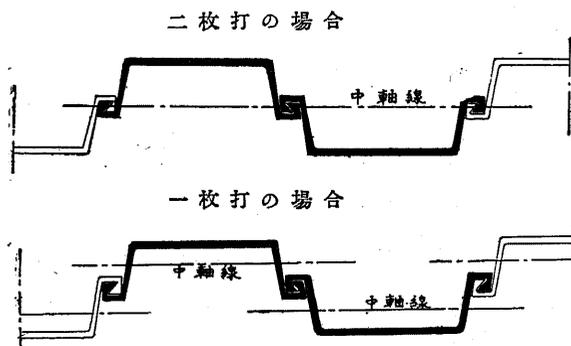
鋼矢板は自己の重量相當に大にして隧道に使用する十三米以上の矢板に在ては半噸乃至一噸以上にも及び、且つ打込には二枚宛繼ぎ合せたるものを、一時に打込むを普通とするを以て、打込には Steam Hammer を用ゐ、槌の重さは矢板の重さの二倍以上を必要とす。而して矢板の長さ大なれば、一枚打とすれば打込の際屈曲して不良の結果を來す爲特に二枚打を可とし、却て其の方が經濟的で施工の結果も良好である。

打込に用ゐる櫓は、相當に頑丈なることを要するも、絶えず移動を要するので、可成重量の輕きを可とす、又矢板一枚打の場合は、櫓を進行せしむる外に、矢板の中心が一定せぬ爲に矢板打込一枚毎に直角の方向に前進又は後退せしむる必要がある。然るに二枚打

とすれば、其の中心線は一定の線内にあるを以て櫓を前後に動かす必要はないのである。

又櫓を打込と引拔と兩方の用に供せんとする

ときは、櫓の強度を引拔のときに要する支桿としての強大なる強さを要する爲に



引拔のときには、ハンマー釣下げ等に要するよりも遙かに頑丈なる構造を必要とするので、櫓は矢板引拔のときにはこれを補強する方法を採り、櫓の構造は打込に必要な強さに止め、其の重量を軽くするを可とす。又櫓の高さは、矢板の長さにハンマーの高さを加へ、更に鐵條にて釣下るブロックの高さを加算し、それ以上適當の高さに定むるのである。又動力としては市街地に使用する場合には、重油其の他煙を發生せざるものを用ゐ、ハンマーの噪音を發生すること少く、蒸汽の爆音の少き構造のものを選ぶべきである。大阪市にて使用せるものは國産品として油谷製ハンマーを使用し好成績を擧げて居る。

一 油谷製杭打ハンマー (Steam hammer)

總重量九千封度、槌の重さ二千五百封度、シリンダー、ピストンの直徑九吋 ストローク二十一吋、一分間打撃數百回、蒸汽壓力百封度。

二 鋼矢板最長のものラルゼン NO III、長二十米一枚重量約 五五。

三 櫓

高さ七十二呎、自重二十二噸、臺の幅二十二呎、同長二十七呎。

櫓は電線下を潜るために平らに倒すことを得る装置とす。

四 油谷製杭拔機 (Pileextractor)

自重 三千五百封度、槌及ピストンの合計重量 四百五十封度。

ストローク 十六吋半、一分間打撃數百六十回、蒸汽壓力百封度。

鋼矢板打込に際しては豫め電信、電話、上下水道、電線、瓦斯管等の所在及深を調査し、且つ各戸引込及配給管等の有無を確め支障あるものは之れを移轉したる後、數尺の深さに溝掘をなし、舊建物の基礎石材等障礙物のなきことを認むる深さに達したる後、打込を始むるを可とす。而して打込に對し障礙の有無は矢板を屈曲せしめ、又は打込を不可能ならしむる等重大なる結果を招致するものである。

鋼矢板は連續して打進むに従て、普通「前ノメリ」に傾斜して行き、遂に打込を困難ならしめ、重ね打を以て繼續するか、又は撥形矢板を作りて傾斜を匡正し

て打進むこととなるのである。特に地質の堅牢なる箇所にては傾斜は甚しく數枚又は十數枚毎に、傾斜を匡正するを要することがある。而して重ね打方法は矢板が溝にて連結せられて居らぬので、其の間隙より洩水又は土砂の滲出すること多く、地質不良湧水多き場所に於ては、掘鑿に多大の危険と困難を來するを常とす、故に可成重ね打を廢して撥形矢板を用ひたいと思ふ、大阪市の地下鐵工事に於て、も重ね打又は矢板の障碍物のために、打込不能なりし場所等不完全なる打込の箇所には著しき困難を嘗めつゝあるのである。尙ほ撥形矢板は鋼矢板を二つ切とし其の間に撥形鐵板を鉸接して作るか又は銲接するのであるが、銲接の方が安價で打込抵抗も少ない方で大阪市では兩方を試験する筈である。鋼矢板の打込は其の打込の初めの矢板の位置に注意し分銅を垂下して傾斜偏位せざることを確め特に掘鑿内面への傾斜に注意して慎重に施工すべきものである。又打込の抵抗を小にする爲矢板の溝に油を塗り可成其の打込を容易ならしむるがよい。

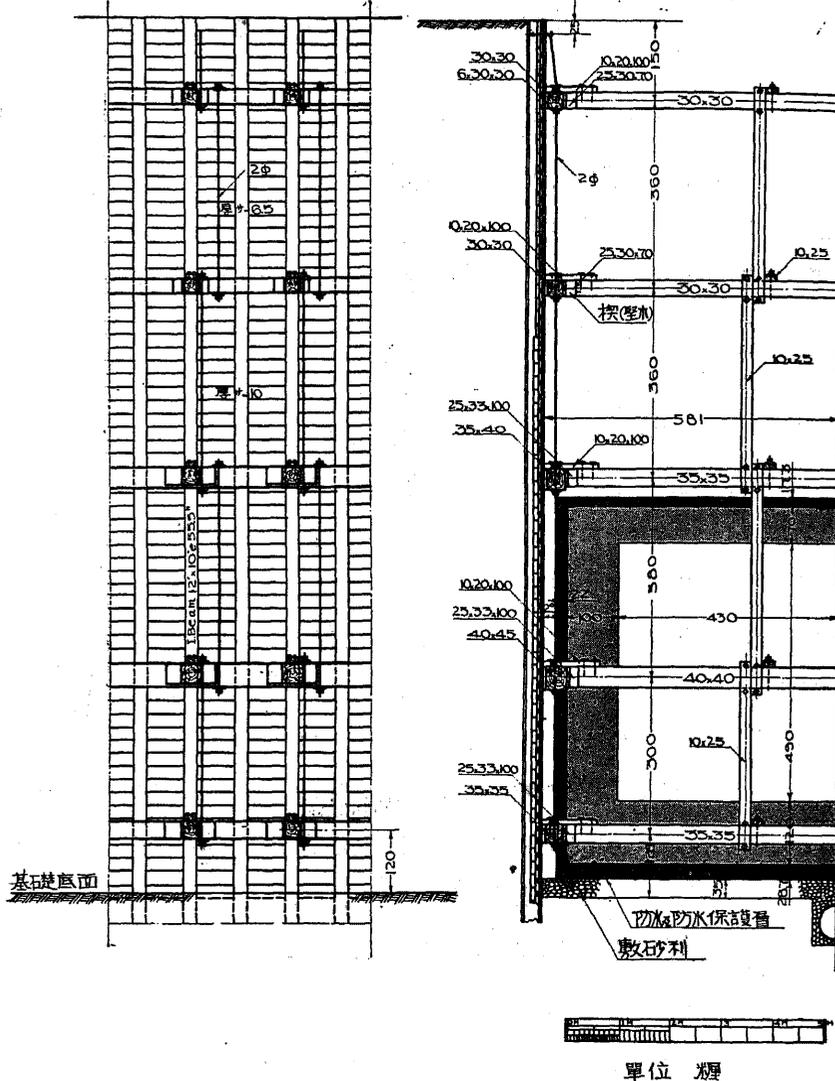
鋼矢板打込に Water-jet 工法を用ゐて地盤を緩め打込を容易ならしめハンマーの打撃の噪音を減殺することは不可能にはあらざるが如きも、矢板の屈曲偏位を大ならしめ特種の地質にあらざれば好結果を得ること困難なる様であるが、大阪市にては未だ其の試験をして居らぬ。市街地に於て矢板の打込は沿道の迷惑甚しきものがあり、噪音と街路上に杭打機を運轉する支障とは沿道住民苦情の種である。然れば噪音を發生せざる杭打機の發明せられざる限りは此噪音を出來得る限り緩和する方法を講じ、短期日に杭打工を終了するより外に途はないであらう。又杭打に依る地盤の震動は路面電車の發生する震動と大差なきが如く、大阪市地下鐵御堂筋に於て地震計を以て測定したる結果に依れば五米を隔て、上下動及水平動多少ありて二十米を隔て地震計に感ぜず、他の箇所にて測りたる路面電車に依るものと大差なきを以て震動に依る沿道の苦情は大なるものではないと思ふ。又杭抜のときに普通の杭抜機を使用する代りに水壓杭抜方法を考案し、大林組に於て現に試験中であるが、此方法に依れば何等の噪音もなく沿道の迷惑は全

く除去せられ得るものと思ふ。

三 支保工と掘鑿 支保工は兩側に打込める鋼矢板間の土砂を掘鑿しながら、兩矢板が土壓及水壓に依りて移動せざる様支持するものにして、鋼矢板に依る掘鑿の必須條件である。支保工は土壓又は水壓の大小に依り適當の寸法切梁を何段にも施工しこれを相當の水平間隔に配置するものにして、大體に於て圖面に示す様なものである。而して其の支持方法は種々あるが土壓水壓の甚大なる場合には互に支保材を連繫し、又は筋違材を施すなど種々の方法を採るのである。而して支保材の位置は土壓及水壓に依る矢板の彎曲すべき模様を調査し最も適當の位置に置くべきは勿論であるが、其の間隔は鋼矢板の耐力及腹起材の寸法により之れを定むべきである。又隧道築造に際し可成下より一段だけの支保工を取外すのみにて差支なき様に配置し、之を取外したるときに隧道工事中他の支保材及隧道底面の混凝土にて矢板を安全に支持し得るやをも調査し置く必要がある。尙土壓特に水壓の大なる箇所にては基礎混凝土即ち掘鑿底面に近く取外さざる捨支保材を取設くるを可とす尙支保材の水平間隔は普通一米乃至二米とし餘り廣くせざるを可とし、支保材(切梁)は鋼矢板に沿ふて角材腹起材を置き楔材を介して兩側の腹起材を支持するものにして楔材は切梁材の弛緩を匡正し腹起材は矢板を平等に支保するものである。故に荷重の大なる場合には腹起材は裂損の虞あるを以て楔材と腹起材との間に荷重を分布すべき相當の長さの木材又はチャンネル鐵を挿入する必要がある、又支保工は掘鑿進行して荷重を負荷したる後には多大の壓力を受け弛緩する虞なきも腹起材は施工組立の當初に於て釣下施工する爲鐵桿にて釣下げ置くを良とす。

掘下げ掘鑿の進むに従ひ地質軟弱にして湧水多き箇所にては掘鑿區域を定め縦斷方向に相當の距離に土留矢板を打込み、土砂の滲出又は流れ込を防ぎて掘下げざれば所定面まで完全に掘鑿することの困難なる場所がある。而して處々に井戸掘をなし唧筒に依る湧水の排除をなすは勿論その集水井戸まで掘鑿底面の中央に

大阪市高速鐵道工桁横矢板土留工圖



水路を作りて湧水を導き入るのである。尚排水充分ならざれば掘鑿に際し土砂を泥濘化し作業に著しき困難を來すものである。

第二 工桁横矢板式工法

工桁横矢板式土留法は一米位の間隔に工桁を打込み掘鑿底面下一米乃至二米位の根入を有する位に打込み掘鑿に伴ふて木材の横板を工桁間に挿入して土留をなし、且つ兩側の工桁は圖面に示す通り支保工を施しつゝ掘下るのである。而して腹起材、楔材、切梁材に對する注意は鋼矢板土留法に於けると同様であるが、横矢板の隙間より洩水して土砂を滲出せしめ附近に空隙を生じ地盤の陥落を招致することあり。又地質不良の箇所にては掘鑿をなして横矢板を挿込む間に土砂を噴き出し大孔を生ずることなど危険の場合多しとす。尙ほ横矢板は掘鑿底面以下土砂を遮るものなきを以て不良の地質にては矢板の下を掘りて土砂の押出さるゝことありて土留の裏に空隙を生じ土地の陥落を出すことあるので地質の良否を篤と調査したる上に使用するを要す。又横矢板の空隙よりの洩水は空隙を填充して或程度まで防止する事を得れども湧水多き處にては不適當の工法である。

此工法は隧道掘開箇所を横斷せる水道幹管、下水道管等、容易に移動し能はざるものに対しては鋼矢板打込不能なる爲、其の兩端に工桁を打込み其の部分だけを横矢板土留法にて掘下ることがある。然るに全部鋼矢板なるに此局部のみ洩水し易き工桁横矢板式なるに、鋼矢板に依て阻止せられたる水が此處に集中して著しき洩水を來し、施工の難所たらしむることが多く、大阪市の地下鐵工事に於ては到る處に横斷道路の地下埋設物の處理を此方法を用る多大の困難に遭遇して居るのである。相當の移轉費を投じてても地下埋設物を移動し鋼矢板工法に依るを反て經濟的であり、工事も容易であつたと思ふのである。

第三 地下工作物の處理

現に我邦に於て地下に埋設せられ居る工作物は、電信、電話、電纜、壓搾空氣、氣送管、上下水道、瓦斯管の如きものにして其の埋設位置は横斷道路の箇所にて地下隧道上に横斷せるもの、地下隧道に沿ふて道路下を通過せるもの又は不規則に地下を縫ふて斜に或は深く或は淺く走つて居るものもある。就中工事中支保材にて支持し或は釣下げ、種々の方法に依りて掘鑿工事中防護するに最も困難なる

ものは相當の壓力を有する氣送管、水道管、瓦斯管にして特に鉛管より成る氣送管、直徑大なる水道幹管、火力の危險ある瓦斯幹管は絶えず之れを使用せられ一時も切斷休止を許さずも、代管を新設するに多額の工費を要するものである。又下水道は一般に埋設の深さ大にして其の幹管は斷面の大なるもの多く、又高壓電纜は混凝土管内に收められ居ると雖も、其の接手箇所にて少許の移動沈下でさへも破損の虞あると共に一時も使用を休止し能はざる厄介物である。

是等の地下工作物の處理は何れも當該関係者と協議の上、適當の方法を講ずるのであるが、多大の費用を要するものである。紐育市の如きは地下工作物の處理に苦み早晚淺地下隧道の工法を、深地下式に変更する必要ありと言ふて居る有様である。

参考の爲に、大阪市に於て實行して居る一例を擧げて見よう。大阪市にては下水幹管の横斷には混凝土下水管を横斷箇所だけ鐵板製の半圓形樋管に作り代へ工事終了後は之れを混凝土にて掩き其の儘埋設する筈である。然れば埋戻し土砂に多少の沈下あるとも何等の支障を來さざるものと思ふ。又瓦斯管は瓦斯會社に於て横斷箇所だけ一本の鉛接管と取換へ破損漏洩の虞なき様にして居る。又水道、下水、瓦斯、電氣等工事中一時切斷して他の線路を迂迴せしめ得る處は可成休止又は移轉をして居るのである。又横斷せる水道下水等の支持物の受桁の長さは横斷掘鑿の幅より相當に長くして、支點は矢板の裏が多少崩壞しても差支なき程度に後退せしめて置く必要がある。大阪市にても一箇所この爲に水道鐵管を沈下破壞せしめた實例がある。

第四 掘開箇所の覆工

覆工とは掘開箇所の上を板橋にて覆ふて車馬の通行に便することである、土留工を施工したるとき、土砂の掘鑿を初めざる前に路面と同一高に板張をなし路面交通に支障を來さずして、其の下にて掘鑿を初め支保工、混凝土工等一切の工事を進めるのである。紐育市の地下鐵工事や東京市の地下鐵道も此方法を採用して居る。

が一般に多大の冗費と隧道工事費を増大し、工事期間を延長せしめ工事としては望ましからぬことである。然れども街路に於ける工事なるを以て沿道住民を初め道路交通に支障を及ぼさざる爲には最良の方法である。

路面覆工は掘開箇所全般に亘ることあり、又は横斷通路の箇所に限らるゝことあり四圍の狀況が許すならば、横斷道路の覆工のみに止め其の他は掘鑿の儘施工することを望むものである、沿道の住民及路面使用者に於ても工事中多少の不便を忍び、工事期間を最小限に短縮するを得ることにて満足されたいものである。銀座日本橋通の如き大道路に在らば已むを得ざるものと諦めねばならぬが、或る程度の街路にては必ずしも全面の覆工は望ましくないのである。而して覆工を施工する場合に於ては、其の橋桁の支持點は可成土留工の鋼矢板又は工桁に負荷せずして別に桁受基礎工を設け土留工に震動其の他の影響を及ぼさぬ様にするがよい。又覆工の幅は掘鑿幅より相當に廣くして置く必要がある。然らざれば鋼矢板又は工桁土留の裏が崩壞したる場合覆工を破壞して交通人車馬に危險を來すことがある。大阪市の地下鐵工事に於ても一二箇所其の例を見て居るのである。

第四節 地下線路の築造

一 土留工及支保工を終り掘鑿の完成したるときは、其の掘鑿底面に水止混凝土を施工したる上所定の隧道工事に着手するのである。地質堅牢にして湧水なき場合は砂利を敷均し、薄層の混凝土基礎層を設くれば澤山であるが、地質軟弱にして湧水ある場合は割栗石を敷均し砂利の目潰をなし、適當の厚さの水止基礎工を施工せねばならぬ、此基礎混凝土は矢板面まで完全に施工して中間の切梁材を取外したるとき、矢板が壓力の爲に押出さるゝを防止する一種の支保材として働くもので、單に水止又は基礎工のみとなるのではない。掘鑿底面に近き支保材は矢板の移動に對する強力有効なる抵抗物であることを留意せねばならぬ。大阪市地下鐵御堂筋の湧水多く地質不良の箇所にては割栗石厚一尺、配合 1:2:4 混凝土

土厚一尺のものを施工して居るのである。尚ほ此外に割栗石の處に直徑一尺の米松丸太の切梁材を底面の捨支保材として使用して、鋼矢板の水壓の爲に押出さるのを防止して居る。

二 隧道の鐵骨又は鐵筋混凝土工は、充分注意して完全なる工事を遂行するといふより外に特筆すべきことはないが、餘り水量の多き軟き混凝土は使用せぬが良いと思ふ。又混凝土は計量器附の攪拌機を使用するか、又はインデーターを使用するか、又は兩方を併用するかであるが、必しも兩方を使用せざるも何れか一方を使用すれば充分であらうと思ふ。然し混凝土を高所より樋管輸送をなす場合には使用前一度容器に取りて充分攪拌したる後これを使用し、又遠方より手車を以て運搬し來れるときも必ず現場に使用する前に同様充分攪拌して使用することに心掛けねばならぬ。又コンクリート・ミキサーの容量は隧道斷面の大きさに依り適當のものを使用すべきもので、餘り小なるものは工程を妨げ餘り大なるものは移動に困ることがある。

三 隧道工完成したるときは、矢板工と隧道外面との空隙には丁寧に水締方法に依りて徐々に土砂を填充し、完全なる施工を期せねばならぬ。而して隧道天端面より路面までの埋戻し土砂も同様に二尺乃至三尺位の厚さに順序埋戻し行くべきである。

四 鋼矢板は土砂埋戻完了の上抜取るのであるが、鋼矢板抜取の空隙を完全に填充すべき方法は、未だ大阪市に於ては實施の期に達して居らぬので、如何なる方法を最良とするか不明であり、如何なる程度に施工し得らるゝやる危んで居るのであるが抜取と同時に少許の水を壓力を以て流し込みつゝ、抜取りが良からうと考へて居る。普通の地質ならば案外容易に施工せらるゝと思はるが粘土質の箇所にては鋼矢板に粘土が甚しく附着し矢板に膠着したる有様で抜け上るので其の孔埋は餘程困難であるものと考へて居る。特に長さ二十米に達する矢板に對しては完全なる孔埋は困難であらうと思ふ。

五 隧道の周圍に施工すべき防水工は地下水のある箇所には、是非必要なる者である。隧道を構成する混凝土に水分を滲透せしめ、隧道の内部に水分を發散せしむる時は不衛生なるは勿論隧道内の換氣を完全に施行するも、空氣の濕度を増大して熱度の調節を無効に歸せしむるのである。而して防水工を大別して二種とす。

一 瀝青布貼付工法

二 瀝青マスチック工法

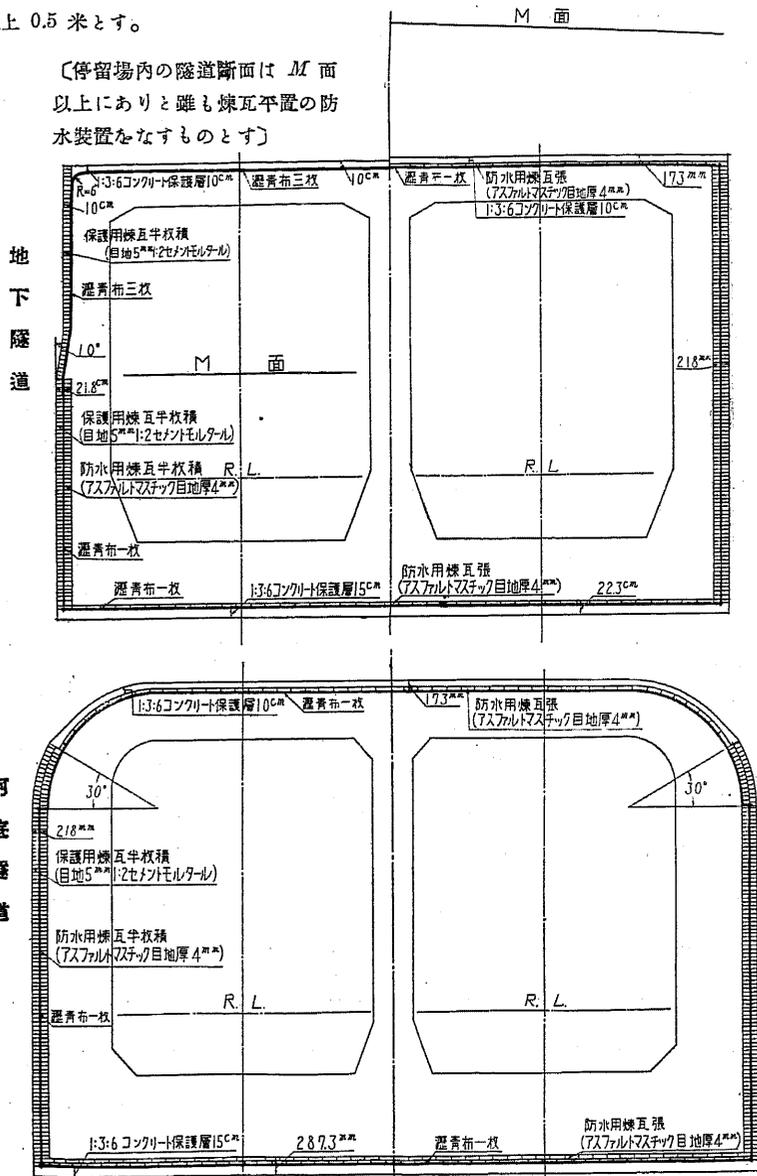
六 瀝青布貼付工法 瀝青布防水は保護層とアスファルトを用ひて貼布せる瀝青布より成り、瀝青布は適當の孔（一吋に付き二十二位）を有する綿布又は麻布にしてこれをアスファルト液に浸し充分アスファルトを吸収せしたるものである。而して瀝青布は普通三枚貼付で水分の少く水壓の小なる箇所に用ゐらるゝものである。地下隧道工事では掘鑿幅を少しにても小ならしむる爲、隧道壁と矢板工との間に間隔少く隧道本體を築造したる後に其の外面に防水工を施工する餘地がない爲に、先づ防水工を先に仕上げて其の内面に隧道本體を築造するのである、先づ矢板面に近く遣方を設け保護煉瓦層（混凝土を用ゆることあり）をモルタル積にて積上げ其の内面に充分アスファルト液を塗布したる上瀝青布を貼付けローラー其他の方法にて充分これを煉瓦積面に押付け密着せしめ、空氣泡を追出し其の上にアスファルト液を塗布し更に二枚目の瀝青布を同様の方法を以て貼付け所定の枚數を貼付けるのである。此防水工を了りたる後鐵筋を組立て隧道本體の混凝土工を施行するものである。而して此工法に於て特に注意すべき事項は瀝青布が初めアスファルトに浸したるときに、不規則なる收縮をなし貼付の際空氣泡を追出すことの困難なること、即ち平らに貼付し難きことがある。之れは瀝青布の縦糸と横糸との數を同數にするとか特許せられたる筋糸入りの瀝青布を使用するとか其の原料の選擇に起因するものである。次の注意は瀝青布に熱したるアスファルト液を塗布するときに瀝青布の孔よりアスファルトが滲出して貼付重

大阪市高速鐵道地下隧道防水工標準圖 (一)

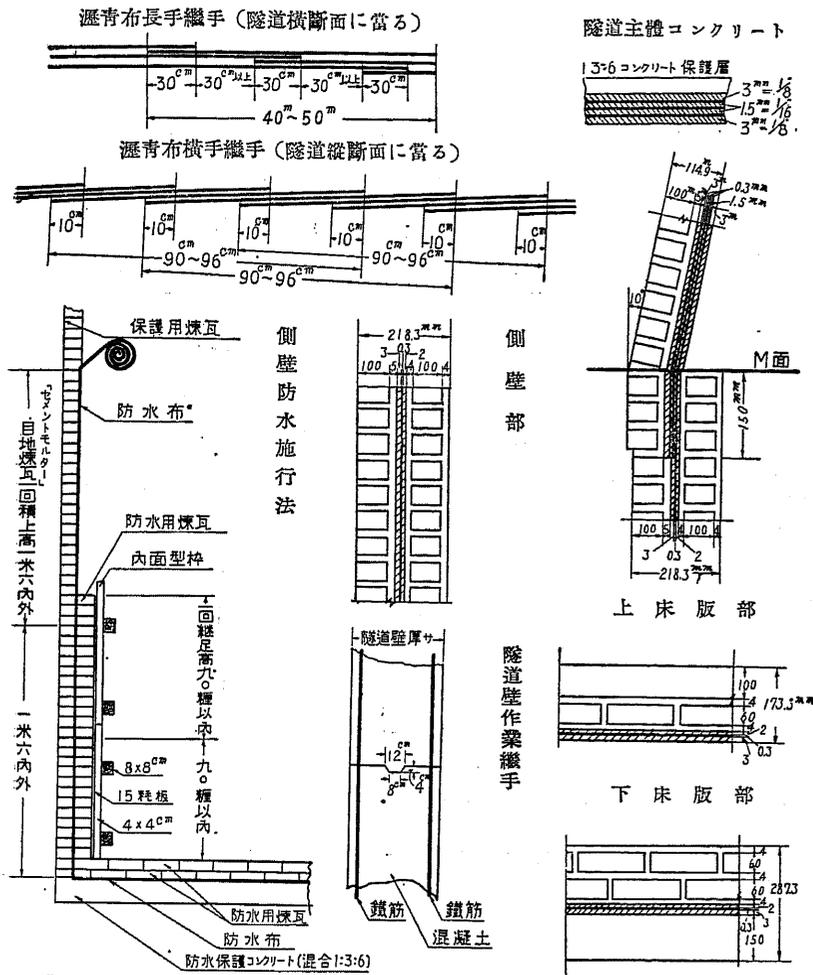
隧道防水工は常時水中に埋没すると否とに依り其工法を異にするものとし之が基準面を M とす。

M 面は普通 M, H, W 面上 0.5 米とし附近地下水位の更に高位にある部分は其地下水位上 0.5 米とす。

〔停留場内の隧道断面は M 面以上とありと雖も煉瓦平置の防水装置をなすものとす〕



大阪市高速鐵道地下隧道防水工標準圖 (二)



備考

- 一 防水用煉瓦はアスファルト・マスチック積とし目地及び被覆は厚さ 4 耗とす。
- 二 隧道底面が M 面以上にある場合は側壁瀝青布を 1 米程底部廻はすのみにて底部の中央部には防水工を施行せず。
- 三 防水布の重ね合せ方、側壁防水布の張り方は上より来るものを外面へ重ね合すものとす。
- 四 アスファルト・マスチックの配合、容積比にて大約瀝青 1~2, 洗砂 1, 石灰石粉 1, とす。

ね合せたる瀝青布を互に連絡し、防水効力を發揮するものなるを以て孔の大き即ち一時當りの糸の數を適當に定むるが宜しい。又塗布すべきアスファルト液は四季を通して寒暑の程度に依り適當の針入度のものを使用せねばならぬ。又瀝青布貼付のときは充分密着して氣泡を残さざる様平に押付てローラー等にて空氣を追出すことを必要とす。若し空氣の残留するものあればアスファルト液の冷却するに従ひ、氣孔を生じて空氣が逸出し防水工に氣孔を残し折角の防水効力を減却するものである。又瀝青布の製接即ち重ね合せ方は上よる來るものが下のものゝ上に重る様に注意せねばならぬ。而して重ね合せの長さは水壓程度にも依るが普通一尺位で宜しいと思ふ。

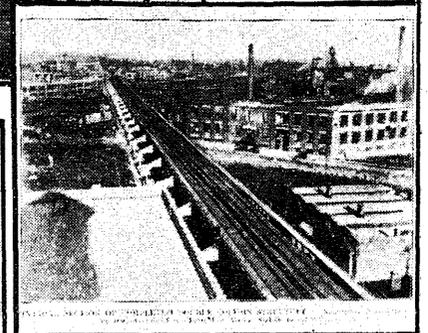
七 瀝青マステック工法 瀝青マステック工法とは、煉瓦をアスファルトにて包み防水の効果を顯著ならしむるものにして、先づ煉瓦保護層を作り其の煉瓦積面に一枚の瀝青布を貼付し二分位の瀝青(アスファルト)目地を有する煉瓦積を其の内面に施工するものである。此一枚の瀝青布は、工事中アスファルトの外部より濕氣の滲透せざる爲である。而して瀝青煉瓦積は先づアスファルトの滲出せざる堅固なる型板を設け、此型板と保護煉瓦積との間にアスファルトを流し込み其の内へ煉瓦を厚さ二分位の目地となる様に浮し積みをするのである。故に煉瓦は熱したるアスファルトへ氣孔を生ぜざる様充分乾燥したるものたるを要し、相當の溫度に熱し煉瓦内の空氣を追出したるものを使用すれば、更に良好の結果を得るのである。又アスファルトは夏期溫度の高きとはは針入度の大なる軟きものを使用せざるを良とす。而してアスファルトは純アスファルトに石粉及砂を混入して熱したるもので石粉の代りにセメントを使用することもある。

八 簡易なる防水工 地下水も少く堅牢なる地質に在りては、簡易なる防水工を施行することもある。Sika の如き防水劑のモルタルを隧道の外面に塗付するだけにて複雑なる方法を取らぬこともあるが、我邦の如き地下水の多き處にては防水には可成完全なる工法を選択するを良しとす。

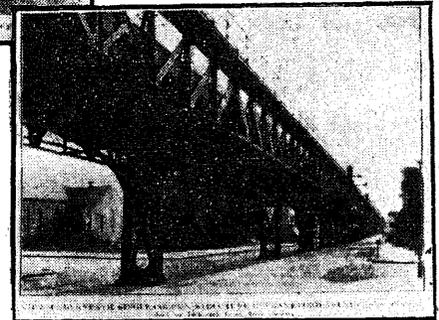
ペ
ル
リ
ン
高
架
橋



費府單脚高架橋下部詳細



費府雙脚高架橋



費府單脚高架橋



費府高架線軌道構造