

# 論 說 報 告

第十九卷第六號 昭和八年六月

## 鐵道線路下暗渠に及ぼす土壓及列車荷重

准員 工 學 士 島 田 昇 二

Earth and Train Load Pressure to the Culvert under Rail Road

By Shoji Shimada, C. E., Assoc. Member.

### 内 容 梗 概

地下埋設建造物に及ぼす土壓の算式は數多あれども、其計算基礎假定に鐵道線路下暗渠に對しては適合せずと思はるゝ點ありて、其儘鐵道線路下暗渠に適用するには不安である。本文は夫等よりは尙合理的なりと考へらるゝ計算方法を誘導し、專ら鐵道線路下建造物への土壓及列車荷重を論じたものである。

### 緒 言

地下埋設建造物に及ぼす土壓及活荷重壓力の誘導式は數多あれど、孰れも一つの假定を挿入して最後の結果を推定するに過ぎず、従つて論者により其結果に少なからざる差異あり、實地設計に當りてはその孰れに依りて然るべきや常に迷ふ所にして輕擧を許さずと雖も、實地應用箇所にも近き假定より誘導したる結果を信憑するに過ぎず、即ち隧道、街路下水、鐵道線路下建造物等により自ら異なる結果を生ぜざるべからず。多くの實驗の結果眞に近しと主張する結果にしても實驗状態が實地應用箇所にも近からざる時は何等頼むに足らず。

鐵道線路下建造物への土壓及列車荷重の適確な算出は著者の固より企て及ばざる處なるも、茲に一法を誘導したるを以て敢て發表する次第である。

先づ著者の式との比較を便ならしむる爲、從來使用せらるゝ二三の土壓論を紹介し、最後に著者の誘導せる結果を述べん。

## 第 一 章 各説紹介及其鐵道線路下暗渠に適せずと思はるゝ點

### 1. Janssen 氏 説

Janssen 氏は深き穀倉に及ぼす穀類の壓力を次式を以て表はしたり。

$$V = \frac{Rw}{f'k} \left( 1 - e^{-\frac{f'L}{R}y} \right)$$

但し

$f'$  : 穀類と倉壁間の摩擦係數,

$w$  : 穀類 1 立方呎當り重量

$V$  : 任意點に於ける垂直壓力,

$L$  : 任意點に於ける水平壓力

$k$  :  $L/V$ ,

$A$  : 穀倉水平斷面積

$U$  : 穀倉内側周長,

$R$  :  $A/U$

$y$  : 穀類表面より任意點までの距離

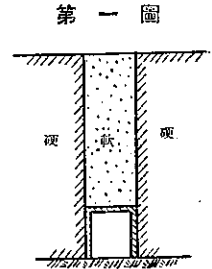
尙上式を地下埋設建造物への土壓に適用すべく、變形して

$$V = \frac{wb}{2f'h} \left( 1 - e^{-\frac{2f'h}{b}y} \right)$$

但し  $b$  : 暗渠の幅

上式は最初の目的が穀倉壁に對する壓力の誘導なるを以て第一圖の如き場合にのみ適用せらるべく、建造物上の土柱が兩側土の間を摺動せんとする傾向を有する場合に對してのみ適用せらるべし。即ち既に落ち付きを終りたる街路下を溝形に掘り下げて下水道を築造する如き場合に適用せらるべきなり。

然るに鐵道線路下の建造物は建造物完成後盛土を行ふものなる爲、第一圖の如き落ち付きを了せる硬質土と落ち付きを起すべき軟質土の區別あるべからず、盛土中及盛土完成後築堤全體が沈下して或る期間を過ぎて全く落ち付きを終るものなるを以て、築堤全體が全く等質同等状態の下にあり、從つて建造物上の土柱と其左右の土の間には相對的運動傾向を想像し得ず。之は建造物上土柱と兩側土の間に摩擦抵抗無き事を意味し、Janssen 氏説の假定に反す。

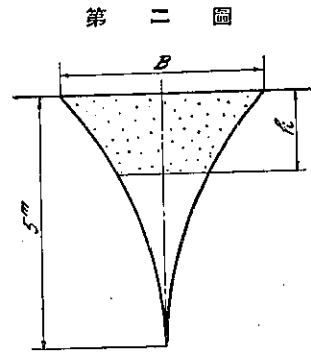


### 2. Flühling 氏説

$$p = \frac{1}{3} w \left\{ 5 - \frac{(5-h)^2}{5^2} \right\}$$

Flühling 氏は土の arch action と摩擦抵抗の爲、埋設建造物に來る土壓を第二圖の如き拋物線に境さる土の重さを以て表はした。

此説も前記 Janssen 氏説と同様なる状態にのみ適用さるべく、尙管類の如き小徑間のみに限られ、鐵道線路下建造物土壓の式とは成り難し。



### 3. Bierbaumer 氏説

Bierbaumer 氏は第三圖に於て AM, BN なる二つの破壊面を假定して、次の式を誘導せり。

$$Q = Bh\gamma \quad D = \frac{1}{2} \gamma h^2 \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right)$$

$$P_f = (b+2s) p_f \\ = \gamma (b+2s) h \left[ 1 - \frac{h}{b+2s} \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right) \right]$$

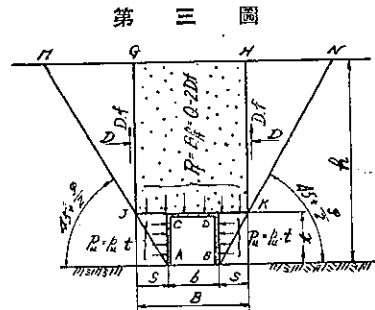
$$p_f = \gamma h \left[ 1 - \frac{h}{b+2s} \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right) \right]$$

$$p_u = p_f \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right)$$

然るに

$$s = t \operatorname{tg} \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right)$$

$$p_f = \gamma h \left[ 1 - \frac{h}{b+2t \operatorname{tg} \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right)} \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right) \right]$$



式中

$f$  : 土の摩擦係數                       $\gamma$  : 土 1 立方米當り重量  
 $\varphi$  : 土の息角

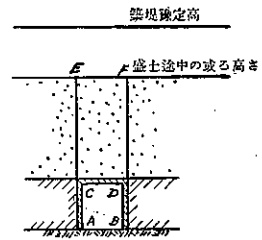
第三圖より明かなる如く二つの破壊面により  $D$  なる側壓を生じ、建造物上部土柱と兩側土との間に  $Df$  なる摩擦抵抗を假定する事 Janssen 氏と同じ。之も明かに建造物上土柱と兩側土との相對的運動を必要條件とす。それは隧道の如く既存土塊底を掘鑿する事により必然起る現象なれば、隧道疊築工に及ぼす土壓計算に對しては適するも、無條件に  $Df$  を假定せる爲 Janssen 氏説と同じく、鐵道線路下埋設建造物への土壓式には適せざるべし。

## 第二章 著者の誘導せる算式

### 1. 土 壓

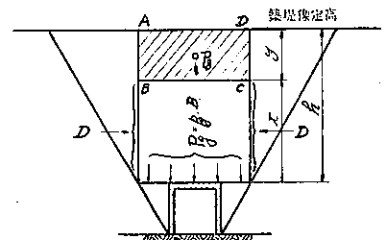
上述の如く街路下埋設物及隧道疊築工に於ける土壓の如き、其深さと共に土壓の減殺作用の増大は、建造物上土柱の兩側土に對する相對的移動傾向を假定しての摩擦抵抗により可能なり。従つて兩者の相對的移動を假定し得ざる鐵道線路下埋設建造物に來る土壓は以上の如き假定による減殺作用は働かず、寧ろ建造物上土柱全部が作用する傾向あり。然れども盛土途中に於ても不斷に落ち付きを續けるものなる爲、豫定高に達する前或る一定高になりたる時第四圖に示す如く建造物左右の土は落ち付きを終り、夫以上壓力が加はるとも沈下なしと假定し得。

第四圖



其時建造物に來る土壓は明かに CEFD の土柱の全重量なり。尙豫定高に達する迄盛土を續ければ、建造物並に左右の土部も同様に壓力の増加を來たすべし。然るに建造物は荷重の増加に伴れて、必然的に撓曲を起し、左右土は既に沈下を起さざる状態にある爲、土柱 CEFD の撓動を生ず。土柱 CEFD の撓動に伴ひ、CE, DF 面に摩擦抵抗を生じ、之に打ち勝つ土壓が EF 上加はるにあらざれば建造物 CD には壓力の増加を來たさず。

第五圖



即ち EF 上或る一定高に盛土が達する迄は平衡を保つべし。此一定高を豫定築堤高とすれば、建造物は CEFD の土柱を以て設計高とすべく、次の考察方法により其値を發見す。

第五圖に於て、 $h$  なる高さを有する築堤下の建造物が  $x$  なる高さで設計されたとし、尙夫以上高さ  $y$  を加へて  $h$  なる土覆を完成するも、構造物に對する壓力に變化なしとすれば次の關係を得る。即ち  $y$  部の土柱 ABCD の重量は  $x$  間の  $D$  なる側土壓による摩擦抵抗により減殺されると考へる。

今  $p_0$  を以て ABCD の土柱による建造物への土壓の増加とせば、

$$D = \frac{1}{2} \gamma (x+y)^2 \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right) - \frac{1}{2} \gamma y^2 \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right) = \frac{1}{2} \gamma \{ (x+y)^2 - y^2 \} \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right)$$

$$P_y = (b+2s)p_0 = (b+2s) \left[ (b+2s)\gamma y - 2 \times \frac{1}{2} \gamma \{ (x+y)^2 - y^2 \} \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right) \operatorname{tg} \varphi \right] \frac{1}{(b+2s)}$$

$$\therefore p_y = \gamma y - \frac{\gamma \{ (x+y)^2 - y^2 \}}{(b+2s)} \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right)$$

然るに

$$s = t \operatorname{tg} \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right)$$

$$\therefore p_y = \gamma y - \frac{\gamma \{ (x+y)^2 - y^2 \}}{b + 2t \operatorname{tg} \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right)} \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right)$$

今  $\varphi = 30^\circ$ ,  $b = t$  とすれば,

$$p_y = \gamma y - \frac{\gamma (x^2 + 2xy)}{b + 2b \operatorname{tg} 30^\circ} \operatorname{tg}^2 30^\circ = \gamma y - \gamma (x^2 + 2xy) \frac{0.089}{b}$$

然るに建造物には高さ  $x$  の土柱による壓力より, 豫定築堤高迄に於ては, 如何なる築堤高の場合にても土壓の増加を來たさずとするを以て,

$$p_y = 0$$

$$\therefore \gamma y - \gamma (x^2 + 2xy) \frac{0.089}{b} = 0 \qquad y - (x^2 + 2xy) \frac{0.089}{b} = 0$$

$$x^2 + 2xy - y \frac{b}{0.089} = 0 \dots \dots \dots (1)$$

(1) 式は求むる式なり。

其利用を便にする爲

$$h = 0 \sim 15 \text{ m}, \qquad b = 0.5 \sim 5 \text{ m}, \qquad \gamma = 1600 \text{ kg/m}^3$$

とし,  $x$  なる高さ及夫に相當する土壓を圖示すれば第十圖の如し。

### 2. 列車荷重

列車荷重を第六圖の如き等布荷重に考へて活荷重の分布を述ぶ。

覆土の極少のもの, 深きもの及徑間の大なるものには此假定は不適當なるも, 實際考へらるる地下埋設建造物は, 覆土極少と雖も等布分布をするに足る深さを有し, 又地下深き建造物に對しては列車荷重の影響は後述する如く全くなきか又は極少なり。

尚徑間大なるものに對しては橋梁として別の考察方法をなすを以て, 上の如き假定を採用するも實際には不都合ならず。

列車荷重の深さに伴ふ左右の分布は第七圖の如く假定す。

$$p_0 = \frac{4 \times 18}{6.5} = 11.08 \text{ t/m}$$

$$p_h = \frac{11080}{2.65 + h} \text{ kg/m}^2$$

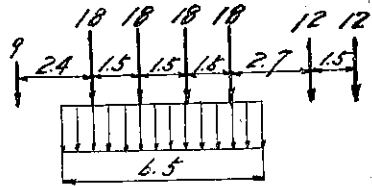
軌道, 道床も列車荷重と同様に考へて

$$p_h' = \frac{2500}{2.65 + h} \text{ kg/m}^2$$

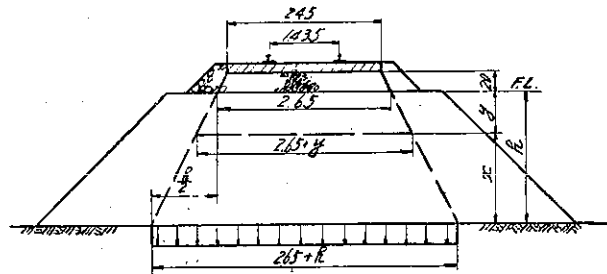
尚列車荷重に對しては次の衝擊率を考へる。

$h = 0 \text{ m}$	$i = 0.6$	$h = 3 \text{ m}$	$i = 0.1$
$h = 1 \text{ "}$	$i = 0.3$	$h > 3 \text{ "}$	$i = 0.0$
$h = 2 \text{ "}$	$i = 0.2$		

第六圖

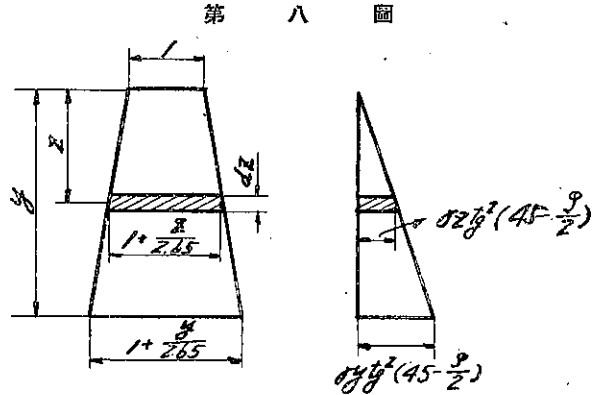


第七圖



扱て列車運轉開始の時期になれば築堤は最上部まで相當の落ち付きを了するを以て、列車荷重に對しては建造物より築堤上面迄の全高に於て摩擦抵抗を引き起すべし。然るに  $x$  部は既に土壓に對して全部計上済なるを以て、前述土壓計算の場合摩擦抵抗を起さざりし  $y$  部に於て列車荷重に對しては摩擦抵抗を考慮すべきなり。

F.L. に於て單位長さを有し深さ  $y$  なる間に於て摩擦抵抗を與へる面積及強さを圖示すれば第八圖の如し。



今摩擦係数を  $\text{tg } \varphi$  とすれば減殺力  $R$  は

$$R = \text{tg } \varphi \int_0^y \left(1 + \frac{z}{2.65}\right) \gamma z \text{tg}^2 \left(45 - \frac{1}{2} \varphi\right) dz = \text{tg } \varphi \left[ \frac{\gamma \text{tg}^2 \left(45 - \frac{1}{2} \varphi\right)}{2} z^2 + \frac{\gamma \text{tg}^2 \left(45 - \frac{1}{2} \varphi\right)}{3 \times 2.65} z^3 \right]_0^y$$

$$= \left\{ \frac{\gamma \text{tg}^2 \left(45 - \frac{1}{2} \varphi\right)}{2} y^2 + \frac{\gamma \text{tg}^2 \left(45 - \frac{1}{2} \varphi\right)}{7.95} y^3 \right\} \text{tg } \varphi$$

$\gamma = 1600 \text{ kg/m}^3$ ,  $\varphi = 30^\circ$  とすれば、

$$R = 38.7 y^2 + 154 y^3 \dots \dots \dots (2)$$

(1) 式により徑間、深さ別に  $y$  を出し、其  $y$  に應じ (2) 式より壓力減殺力を算出す。次に深さ別による衝撃率を考慮して算出したる F.L. に於ての單位幅壓力より (2) 式により出したる減殺力を差し引き其残りを  $P$  とすれば、次の關係にて建造物に分布さる。

$$P_h = \frac{P}{1 + \frac{h}{2.65}} \text{ kg/m}^2 \dots \dots \dots (3)$$

一例を取りて示さば

$$b = 0.5 \text{ m}, \quad h = 3 \text{ m}$$

(1) 式より  $y = 1.3 \text{ m}$

次に  $h = 0$ , 即ち F.L. に於ける單位幅壓力は、

列車荷重	衝撃荷重 (0.1)	道床	計
4 130	410	930	5 500 kg/m <sup>2</sup>

(2) 式より  $R = 350 \text{ kg}$

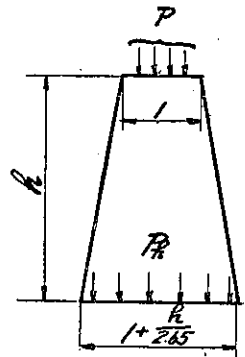
$$P = 5 500 - 350 = 5 150 \text{ kg/m}^2 \quad P_h = \frac{5 150}{1 + 3/2.65} = 2 420 \text{ kg/m}^2$$

之等を計算し第十圖に掲げたり。

結 言

以上が著者の誘導したる方法なり、從來の式に比し其誘導法に一異色ありと思ふ、若し先輩諸賢の御批評を受ける價值あれば幸甚なり。

第九圖



第十圖 地下埋設建造物の受ける垂直壓力圖表

