

飛鳥建設(株) 正会員 福島 啓一

1. はじめに：埋設管に働く土圧の計算式としては、Janssenのサイロ内の粉粒体圧力の式と同じ考え方にもとづいて、Anson Marston が導いた式が一般に用いられている。又、トンネルに働く土圧についての Terzaghi の式も同じ考え方によって導かれているが、トンネル天端の沈下量は相当に大きいと仮定しているの、Marstonの式の特別な場合と考えることが出来る。Marstonの式は今も広く用いられているが、式の誘導の途中に現実と合わない仮定があったり、粘着力Cの項を無視している事、管渠の天端の圧力しか求められず、大型の管渠やトンネルに利用する時不便である、などの事があるので、この改善を試みるものである。

2. Marstonの式 (Spanglerによる改善を含む) 及 Terzaghi の式 ; 図1の微小土塊ABCD (幅B, 高さdh) に働く鉛直力の釣合いを考えると(1)式が成立つ。

$$p + r dh = p + dp \pm \frac{2(K\mu + C)}{B} dh \quad (1)$$

こゝに r : 土の単位体積重量, K : 側圧係数, $\mu = \tan \phi$; 土の摩擦係数, C : 土の粘着力, 符号は管渠の変形が周辺地山の变形より大きい時+, 小さい時-。この式を積分して地表 ($h = 0$) で, $p = q$ (地表面載荷重) の境界条件を与えると次式が求められる。

$$p = \frac{-2C \pm rB}{2K\mu} (1 - e^{\pm \frac{2K\mu}{B} h}) + q e^{\pm \frac{2K\mu}{B} h} \quad (2)$$

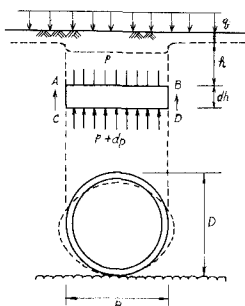


図1

K. Terzaghiは トンネルの支保が掘削後ある時間が経ってから施工される事や、支保工と地山の間には隙間が残っている事を考えた様で、常にトンネル支保の变形の方が十分に大きいと仮定して上式のうち、符号を+にとったものをトンネル支保の計算式として提案している (但し砂質土中のトンネル)。Anson Marston は 沈下量の差によっては管渠よりある高さ H_e までしか側面の摩擦力は働かないとし、この高さ (等沈下面) に $q = rH_e$ の載荷重が働くと考え、 q による沈下量が直上土柱と隣接土柱で等しくなる点を等沈下面と考え次式を導いた (但し $C = 0$ と仮定)。

$$\frac{rH_e}{E} H_e + y_m + y_g = \int_0^{H_e} \frac{H_e r}{E} e^{\pm \frac{2K\mu}{B} h} dh + y_f + y_c \quad (3)$$

(3)式を解くと(4)式が求められる。

$$e^{\pm \frac{2K\mu}{B} H_e} \pm 2K\mu \frac{H_e}{B} = \pm 2K\mu \delta \frac{D}{B} + 1 \quad (4)$$

こゝに D : 管渠の高さ, y_g : 隣接土柱下の地盤地下, y_f : 管渠下地盤の沈下, y_m : 隣接土柱の管渠の高さに相当する部分の变形 ($y_m = rH_e D/E$), y_c : 管渠の变形, δ : 沈下

比, ($\delta = (y_m + y_g - y_f - y_c)/y_m$)。この式は等沈下面までの土の自重によるおくれ変形は考えていないし、隣接土柱の变形でも、せん断力により伝達されて来た力の影響を無視しているなど問題が多い。

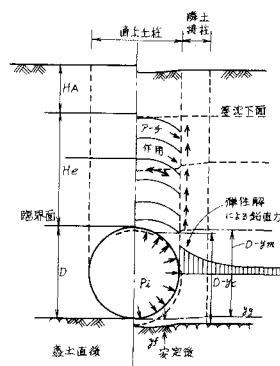


図2

3. 計算式の改善：1) トンネルの施工法、支保工の材料によっては沈下量が大きくないこともあるので、トンネルの場合も埋設管と同じくMarstonの等沈下面の考え方をとり入れる。逆にMarstonの式に粘着力Cの項も入れて埋設管もトンネルも同じ式で計算出来る様にする。2) Marstonは (特にその理由は説明していないが) 等沈下面より上の荷重による沈下量の差と、そのため生じるせん断力のみを考えているが、盛立て後かなりの期間に亘って沈下・変形が起り、そのためせん断力が生じるので、全荷重を考える様にする。但し、おくれ変形係数を考えるか、弾性係数を低減するかする。3) 管渠又はトンネルの天端だけでなく、任意の高さの点での土圧を計算出来る様にする。4) 水平土圧はアーチ作用により静止土圧よりも増大し、受働土圧に近づく場合もあると考えられるが、一応 MarstonやTerzaghi

にならない、鉛直圧力×側圧係数と考える。5)隣接土柱の幅は従来無限大と考えていたが、幅B'を考え、その中では鉛直力は等分布とする。幅B'については次の様を考える。臨界高さでの直上土柱内の鉛直圧力をpi、隣接土柱内の同じ高さでの鉛直圧力を(3.0-K)γH-pi≐2.5γH-piとし、B+2B'幅での鉛直圧力の平均はγHになるものとする。∴pi・B+(2.5γH-pi)・2B'=γH(B+2B') ∴2B'/B=(γH-pi)/(1.5γH-pi) 今pi=(1/3~1/2)γH≐γH/4とすると2B'/B=0.6となる。剛性管渠の場合は多少これと違って来ると考えられるが、一応上式が成立つとする。6)撓み易いコルゲートパイプなどでは曲げ抵抗が小さいので、全周に亘って土圧は曲率半径に比例した強さになる(圧力リング説)ので、円型パイプ(又はトンネル)では全周等分布の土圧となり変形は殆んどゼロになる。但し水平土圧は受働土圧であ

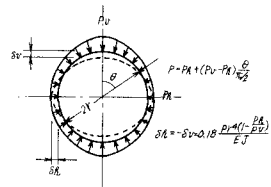


図3

り、最初はゼロで最後にPuになるので変形量の計算の時はPh=Pv/2だけが有効とする。又変形は天端部と底盤部の高さ0.3rの部分でのみ起り、側壁部の高さ1.4rの部分は変形しないものとする。
7)土柱の沈下は $y = \frac{PH}{E}$ 又は $\int \frac{pdh}{E}$ で求める。基礎の沈下は $y = p/k$ で求める(k:地盤反力係数)。
8)管渠の自重は無視する。計算例を示す。この場合沈下量が一致していないので、更に等沈下面の高さの仮定を変えて繰返し計算する必要がある。

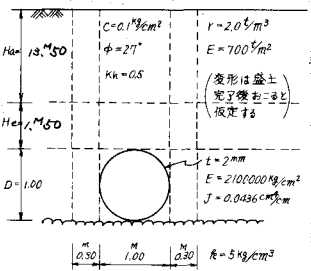


図4

4. おわりに:少々荒っぽい仮定も入っているが、計測結果をより良く説明出来る様になった。

	直上土柱	せん断面	隣接土柱 B'=0.3m×2=0.6m
地表面	P=0 t/m ²		P=0 t/m ²
H _A =13.5 m		τ=0 t/m ² S=0 t/m	
等沈下面	P=γH=2×13.5=27 t/m ² N=P/B=27 t/m	τ=C+K _u γH =7.75 t/m ²	P=γH=27 t/m ² N=P×0.6=16.2 t/m
He=1.5 m	$y = \int \frac{pdh}{E} = \frac{27 \times 1}{2 \times 0.5 \times 0.5} \times \frac{1 - e^{-\frac{2 \times 0.5 \times 0.5}{1} \times 1.5}}{700} = 4.0703 \text{ cm}$	S=γH-N =15×2-12.7539 =17.2461 t/m	$y = \frac{27 + 60.7435}{2} \times \frac{150}{700} = 9.4011 \text{ cm}$
管渠天端	$P = 27e = 12.7539 \text{ t/m}^2$ N=P/B=12.7539 t/m	τ=1.0+0.5×0.5×12.7539 =4.1885 t/m ²	N=16.2+17.2461+1.5×2 =36.4461 t/m P=N/B'=60.7435 t/m ²
天端アーチ 0.3r=15cm	$y = 0.18 \frac{Pr^4(1-ph/pv)}{EJ} = 0.18 \frac{12.7539 \times 50^4 \times 0.5}{2.1 \times 10^8 \times 0.0436} = 7.8354 \text{ cm}$	S=2τH=4.1885×0.15×2 =1.2566 t/m	$y = \frac{60.7435 + 63.3378}{2} \times \frac{15}{700} = 1.3294 \text{ cm}$
45°上 肩	N=12.7539-1.2566 =11.4973 t/m P=N/B=11.4973 t/m ²	τ=1.0+0.5×0.5×11.4973 =3.8743 t/m ²	N=36.4461+1.2566+2×0.15 =38.0027 t/m P=N/B'=63.3378 t/m ²
13cm	y=0cm	S=2×3.8743×0.13 =1.0073 t/m	$y = \frac{63.3378 + 65.4500}{2} \times \frac{13}{700} = 1.1959 \text{ cm}$
1.4r=70cm	N=11.4973-1.0073 =10.4900 t/m P=10.4900 t/m ²	τ=1.0+0.5×0.5×10.4900 =3.6225 t/m ²	N=38.0027+1.0073+0.13×2 =39.2700 t/m P=N/B'=65.4500 t/m ²
等沈下面 57cm	y=0cm	$S = \frac{3.6225 + 13.7189}{2} \times 2 \times 0.57 = 9.8846 \text{ t/m}$	$y = \frac{65.4500 + 50.8757}{2} \times \frac{57}{700} = 4.7361 \text{ cm}$
45°下 脚部	N=10.4900+9.8846 =20.3746 t/m P=N/B=20.3746 t/m ²	τ=1.0+0.5×0.5×20.3746 =6.0937 t/m ²	N=39.2700+2×0.57-9.8846 =30.5254 t/m P=N/B'=50.8757 t/m ²
インバートアーチ 0.3r=15cm	$y = 0.18 \frac{20.3746 \times 50^4 \times 0.5}{2.1 \times 10^8 \times 0.0436} = 12.5172 \text{ cm}$	S=6.0937×2×0.15 =1.8281 t/m	$y = \frac{50.8757 + 54.4558}{2} \times \frac{15}{700} = 1.1286 \text{ cm}$
	N=20.3746-1.8281 =18.5465 t/m P=N/B=18.5465 t/m ²		N=30.5254+0.15×2+1.8231 =32.6535 t/m P=N/B'=54.4225 t/m ²
基礎	y=p/k= $\frac{18.5465}{5} = 3.7093 \text{ cm}$		y=p/k= $\frac{54.4225}{5} = 10.8845 \text{ cm}$
トータル 変位量	Σy=28.1322cm		Σy=28.6756cm