

水道用耐震型高性能ポリエチレン管 埋設強度計算書
(建築設備用ポリエチレンパイプシステム研究会からの資料提供)

平成26年12月

目 次

1. はじめに	P 2
2. 水道用耐震型高性能ポリエチレン管について.....	P 2
2-1 土圧	P 2～ 4
2-2 管のたわみ	P 5～ 6
2-3 曲げ周応力	P 6
2-4 埋設強度計算結果表	P 7
3. おわりに	P 7

1. はじめに

高性能ポリエチレン管を土中に埋設する場合、その埋設条件によって管体に作用する外圧が異なる。管種及び管の土被り等、基礎条件の決定に当たっては、管の持つ強度特性に従って埋設強度の検討を行わなければならない。

ここで、一般的に用いられる高性能ポリエチレン管の埋設理論に従って、埋設強度の計算を行う。

2. 水道用耐震型高性能ポリエチレン管の埋設強度について

厚生省の水道施設設計指針に従って、一般的な埋設条件に対する埋設強度の計算を行う。

2-1 土圧

地下に埋設される管に作用する外力は、大きく分けて次の通りである。

- (1) 埋戻し土圧(静土圧)
- (2) 車輪土圧(動土圧)
- (3) 水及び管自重(塩ビ管は小径管であるため無視してよい)

これらの土圧は、土砂の性質、土の締め固め状態、溝型や盛土埋設の場合、車輪の重量、路面の状況などにより異なるもので相当複雑である。

埋設下の土圧については、かなり前から欧米では実験を繰り返して来ており、我が国でも相当の実験結果が得られ、現在種々の土圧に関する公式が発表されている。

上記のごとく、土圧は種々の条件で大きく異なるものであるため、多くの公式の中から必要な条件に合わせ最適の公式を採用するのは極めて困難なことである。

ここでは、一般に認められ、さらに使用する上でも適当と考えられる公式を採用することとした。

1) 埋戻し土圧(静土圧)

埋設管に作用する埋戻し土による土圧計算には、フリューリング、マーストン、垂直土圧公式等があるが、ここでは最もよく用いられてくるマーストンの式を用いる。

$$P_e = C_d \cdot \rho \cdot B \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここに

$$C_d = \frac{1 - e^{(-2K \cdot \tan \phi \cdot H/B)}}{2K \cdot \tan \phi}$$

$K = \text{ランキンの主動土圧係数} \quad \{=(1 - \sin \phi)/(1 + \sin \phi)\}$

P_e : 埋戻し土による土圧 (N/mm^2)

ρ : 埋戻し土砂の単位体積重量 (=0.000018) (N/mm^3)

ϕ : 埋戻し土砂の安定角 (deg)

H : 土被り (mm)

B : 管頂部の溝巾 (mm)

呼び径 50以下…………… 500mm

〃 75…………… 500mm とする。

〃 100…………… 500mm とする。

〃 150…………… 600mm とする。

〃 200…………… 600mm とする。

埋設管上をトラック等の走行荷重が作用する場合の輪荷重計算は、フレリッヒ、ブーシネスク、道路構造令則による45°分散式などあるが、ここでは実験値ともかなりよく合うブーシネスクの式を用いる。

$$P_t = \alpha (1+i) P \cdot \beta$$

ここに

P_t : 輪圧 (N/mm²)

β : 断面力の低減係数(土被り4m未満の場合:0.9)

i : トラック等の衝撃係数 (=0.5)

P : トラックの1後輪片荷重 (25トントラックの場合 98067) (N)

α : トラック荷重による鉛直荷重係数

$$\alpha = \frac{\Sigma \sigma H}{L/2 \cdot D/2} = \frac{4 \Sigma \sigma H}{L \cdot D}$$

$\Sigma \sigma H$: ブーシネスクの式により求められる深さHに於ける荷重面積上に作用する鉛直荷重の和

H: 埋設深さ(土被り) (mm)

L: 輪荷重の分布長さ (mm)

D: 輪荷重の分布巾 (=管外径とする) (mm)

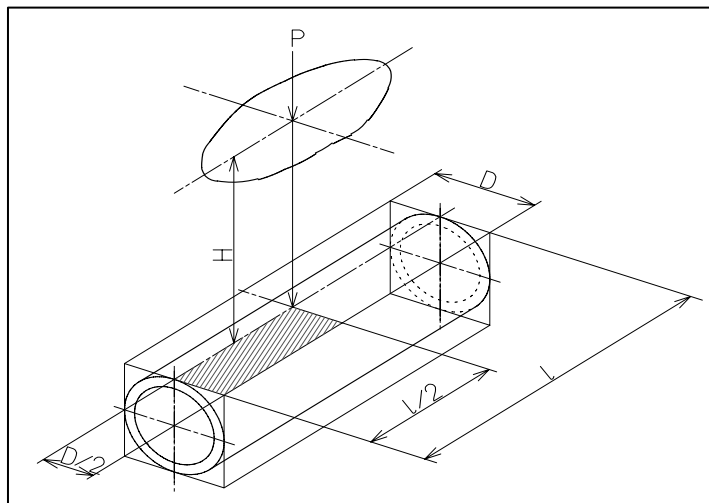


図-1

集中荷重P直下の1隅にあたる長方形(L/2×D/2)の面積に働く鉛直荷重の和 $\Sigma \sigma H$ は、 $A=L/2$, $B=D/2$ とすると次式で表される。

$$\Sigma \sigma H = F(A, B, H) = 0.25 - \frac{1}{2\pi} \left[\left\{ \sin^{-1} H \sqrt{\frac{A^2 + B^2 + H^2}{(A^2 + H^2) \cdot (B^2 + H^2)}} \right\} - \frac{A \cdot B \cdot H}{\sqrt{A^2 + B^2 + H^2}} \left(\frac{1}{A^2 + H^2} + \frac{1}{B^2 + H^2} \right) \right]$$

①トラック1台で $H < 1,200\text{mm}$ の場合

後輪直下より左右対象に500mmすなわち $L=1,000\text{mm}$ とする。
荷重は後輪1個について考える。

$$\begin{aligned}\Sigma \sigma H &= f(L/2, D/2, H) \\ \alpha &= \Sigma \sigma H / (L/2 \times D/2)\end{aligned}$$

②トラック1台で $H \geq 1,200\text{mm}$ の場合

後輪間隔内について考慮することとし $L=1,750\text{mm}$ とする。
荷重は後輪2個について考える。

$$\begin{aligned}\text{P1による荷重} & \quad \Sigma \sigma H1 = f(L/2, D/2, H) \\ \text{P2による荷重} & \quad \Sigma \sigma H2 = f(L, D/2, H) - f(L/2, D/2, H) \\ \therefore \text{合計} & \quad \Sigma \sigma H = \Sigma \sigma H1 + \Sigma \sigma H2 = f(L, D/2, H) \\ & \quad \alpha = \Sigma \sigma H / (L/2 \times D/2)\end{aligned}$$

③トラック2台の場合

トラック2台が並行同時通過の時は、隣接し合うトラックの後輪間隔をとり
 $l=1000\text{mm}$ とする。荷重は後輪4個について考える。

$$\begin{aligned}\text{P1による荷重} & \quad \Sigma \sigma H1 = f(1750+L/2, D/2, H) - f(1750, D/2, H) \\ \text{P2による荷重} & \quad \Sigma \sigma H2 = f(L/2, D/2, H) \\ \text{P3による荷重} & \quad \Sigma \sigma H3 = f(L, D/2, H) - f(L/2, D/2, H) \\ \text{P4による荷重} & \quad \Sigma \sigma H4 = f(1750+L, D/2, H) - f(1750+L/2, D/2, H) \\ \therefore \text{合計} & \quad \Sigma \sigma H = \Sigma \sigma H1 + \Sigma \sigma H2 + \Sigma \sigma H3 + \Sigma \sigma H4 \\ & \quad = f(1750+L, D/2, H) + f(L, D/2, H) - f(1750, D/2, H) \\ & \quad \alpha = \Sigma \sigma H / (L/2 \times D/2)\end{aligned}$$

2-2 管のたわみ

PE管の埋設強度の計算は、撓性管で一般的に用いられるスパングレーの式を用いる。スパングレーの式は可撓性管を地中に埋設した場合、土圧、輪圧等の荷重並びにその反力が図-2に示すようなものとして想定して理論的に誘導されたものである。計算は、管の撓みによって発生する管周方向応力について行い、撓みについては、5%以下、曲げ応力については、8.0MPa (81.6kgf/cm²) 以下になるように管基礎の支承角、突き固め条件等を決定する。

1) たわみ量 (mm)

$$\delta v = \frac{2Fd \cdot Fr \cdot r^4}{EI + 0.061E' \cdot r^3} \times P_v$$

2) たわみ率 ($\delta v / 2r \leq 5\%$)

$$\frac{\delta v}{2r} = \frac{Fd \cdot Fr \cdot r^3}{EI + 0.061E' \cdot r^3} \times P_v \times (100\%)$$

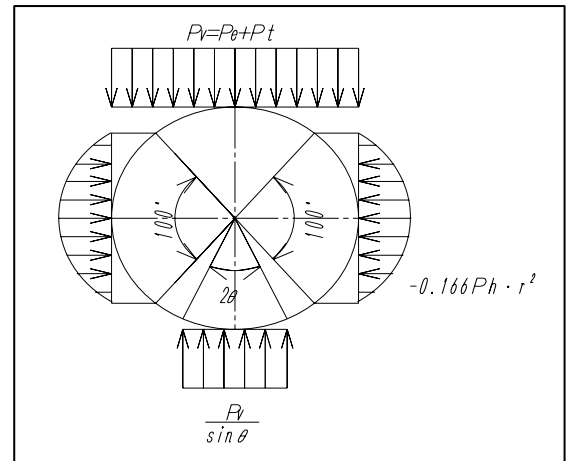


図-2 スパングレーの土圧分布図

ここに

P_v : 埋設管にかかる鉛直方向土圧(土圧+輪圧)	(N/mm ²)
δv : 埋設管の撓み	(mm)
r : 管厚中心半径	(mm)
r : $(D-t)/2$	(mm)
D : 管外径	(mm)
t : 管肉厚	(mm)
Fd : 埋戻し土の締め具合の遅延係数(経験的に1.5)	
Fr : 埋戻し土管基礎の支承角によって決まる係数	(N/mm ²)
E : PE管の曲げ弾性係数(10,700)	(MPa)
E' : 埋戻し土の受動土圧係数(表-1より)	(N/mm ²)
I : 管長1cm当たりの断面二次モーメント($=t^3/12$)	(mm ⁴ /mm)
δb : 管の曲げ周応力	(MPa)
K : モーメント係数($M=K \cdot w \cdot r$) (表-2より)	

表－1 高性能ポリエチレン管におけるスパングラ－式のE'値

突き固め	土 質		
	砂	砂質壤土	ローム
有	10	7	4
無	1以下	1以下	1以下

表－2 モーメント係数 $K=M/\omega r=m/2rPv$

支承角		0°	30°	60°	90°	120°	180°
K	管底 Kb	0.294	0.235	0.189	0.157	0.138	0.125
	管頂 Kt	0.150	0.148	0.143	0.137	0.131	0.125
	管側 Ks	0.153	0.152	0.147	0.140	0.133	0.125

2－3 曲げ周応力 ($\delta b \leq 8.0\text{MPa}$)

$$\delta b = 12(r/t)^2 \cdot \left[K - \frac{Fr \cdot E' \cdot r^3}{12(EI + 0.061E' \cdot r^3)} \right] \times Pv \quad (\text{MPa})$$

埋設強度計算 計算結果

＜ 計算前提条件 ＞

- ①管体 : 水道配水用ポリエチレン管
 ②自動車荷重 : $P_m=98\text{kN/輪}$ (T-25、2台並列走行)
 ③埋め戻し土 : 砂突き固め $E'=10\text{MPa}$
 ④支承角 : 120°
 ⑤許容値 : 許容応力 8.0MPa 、許容たわみ率 5%

$\sigma_{\max}$ =曲げ応力 (MPa)

[PWA001, 005]

$\delta h/2r$ =たわみ率 (%)

土被り	呼び径																	
	20		25		30		40		50		75		100		150		200	
(mm)	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$
300	4.6	1.4	5.8	2.1	6.8	2.8	6.9	2.9	6.9	2.8	6.9	2.9	6.8	2.8	6.6	2.8	6.4	2.7
400	3.4	1.1	4.4	1.6	5.1	2.1	5.2	2.2	5.2	2.2	5.2	2.2	5.2	2.2	5.1	2.1	5.0	2.1
500	2.8	0.9	3.6	1.3	4.1	1.7	4.2	1.7	4.2	1.7	4.2	1.8	4.2	1.7	4.2	1.7	4.1	1.7
600	2.3	0.7	3.0	1.1	3.5	1.4	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	1.5
900	1.6	0.5	2.0	0.7	2.4	1.0	2.4	1.0	2.4	1.0	2.4	1.0	2.4	1.0	2.4	1.0	2.4	1.0
1200	1.2	0.4	1.5	0.6	1.8	0.7	1.8	0.8	1.8	0.8	1.8	0.8	1.8	0.8	1.8	0.8	1.9	0.8
2400	0.7	0.2	0.9	0.3	1.0	0.4	1.1	0.4	1.1	0.4	1.1	0.4	1.1	0.4	1.1	0.5	1.2	0.5

$\sigma_{\max}$ =曲げ応力 (MPa)

[ISO 4427]

$\delta h/2r$ =たわみ率 (%)

土被り	呼び径																	
	250		300		350		400		450		500		550		600		650	
(mm)	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$	$\sigma_{\max}$	$\delta h/2r$
300	6.0	2.5	5.8	2.4	5.5	2.3	5.2	2.2	5.0	2.1	4.7	2.0	4.4	1.8	4.1	1.7	3.7	1.6
400	4.8	2.0	4.7	2.0	4.6	1.9	4.4	1.9	4.3	1.8	4.1	1.7	3.9	1.6	3.7	1.5	3.4	1.4
500	4.0	1.7	4.0	1.7	3.9	1.6	3.8	1.6	3.7	1.6	3.6	1.5	3.5	1.4	3.3	1.4	3.1	1.3
600	3.4	1.4	3.4	1.4	3.4	1.4	3.3	1.4	3.2	1.4	3.2	1.3	3.1	1.3	3.0	1.2	2.9	1.2
900	2.4	1.0	2.4	1.0	2.4	1.0	2.4	1.0	2.3	1.0	2.3	1.0	2.3	1.0	2.3	0.9	2.2	0.9
1200	1.9	0.8	1.9	0.8	1.9	0.8	1.9	0.8	1.9	0.8	1.9	0.8	1.8	0.8	1.8	0.8	1.8	0.8
2400	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.3	0.5	1.3	0.5	1.3	0.5	1.3	0.5