

III-432 輪荷重による埋設管の周方向ひずみに関する考察

新潟大学工学部 正 員 大川秀雄

東京ガス株式会社 正 員 高木宣雄

新潟大学大学院 ○学生員 宮前勝美

1. まえがき

埋設管の力学挙動に関する理論解析の現場への適用には多くの問題が残されている。そこで、東京ガス株式会社で行われた実測結果¹⁾と、地表面の自由境界を考慮した平面弾性解析²⁾による結果を比較しながら理論解析の問題点の把握および実測値の定性的な把握を行おうとするものである。

2. 解析方法および結果

埋設管の材質は鋼であり、諸元は、外径 $D_o = 40.64\text{ cm}$ 、内径 $D_i = 39.06\text{ cm}$ 、肉厚 $t = 0.79\text{ cm}$ である。トラックの車輪荷重の位置は図1のようになっており、実験ではすべて右側車輪を管の測定点上に位置させて行われた。実測での土被り・荷重条件は種々あるが、それらの中で土被り厚 $d = 30, 120\text{ cm}$ の2種のみを示す。深い方の土被り厚 120 cm に対し、左右の輪間隔は 200 cm であるから、右側の輪荷重の影響のみを対象とし、左側のそれは無視して解析を進める。荷重パターンとして右側輪荷重 $F = 2940\text{ kgf}$ 、 $D = 4280\text{ kgf}$ 、 $T = 4190\text{ kgf}$ の一例を対象とする。また周方向ひずみの測定点(外面)は、図2のように管頂を 0° とし右回りに 30° おきに配置されている。まず測定結果による周方向ひずみ分布図を図3に示す。

さて、解析するにあたり輪荷重が埋設管に及ぼす土圧の三次元的効果の考慮は現在のところ複雑かつ困難であるから、便宜的に二次元解析すなわち平面ひずみ問題に置き換えて解析する。つまり、地表に集中荷重(線荷重) P_2 が作用する場合の地盤-管の相互作用を考慮した弾性解析を行う。この場合、集中輪荷重を P_3 と置いて、輪荷重のタイヤ接地面積 A を実験式

$$A(\text{cm}^2) = 130.77 + 0.1293 \times P_3(\text{kgf})$$

で与え、 A を円形として $q = P_3/A$ の円形等分布荷重 q として輪荷重が作用していると考え、円荷重中心直下の深さ z での鉛直土圧 σ_z が管底で等しくなるように線荷重 $P_2(\text{kgf/cm})$ を決める。すなわち、

$$2P_2/\pi z = \sigma_z$$

より P_2 を決め、管に作用する土圧分布を計算する。なお、解析では地盤のせん断弾性係数 G を 100 kgf/cm^2 、地盤と管のPoisson比をともに 0.3 と与えた。土圧分布のFourier展開

$$p(\theta) = g_0 + \sum g_n \cos n\theta + h_n \sin n\theta$$

の係数列 g_n, h_n 等が求められるから、この係数列を用いて曲げモーメント

$$M(\theta) = -R^2 \sum \left(\frac{g_n}{n^2 - 1} \cos n\theta + \frac{h_n}{n^2 - 1} \sin n\theta \right) \quad \text{ただし } R \text{ は半径}$$

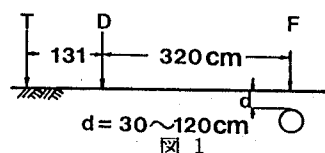


図 1

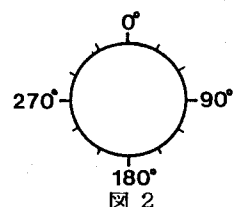


図 2

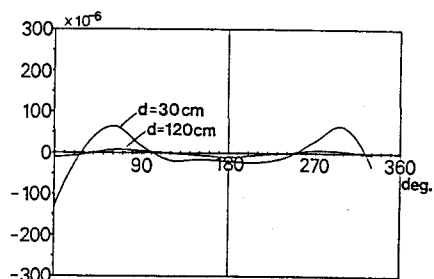


図 3

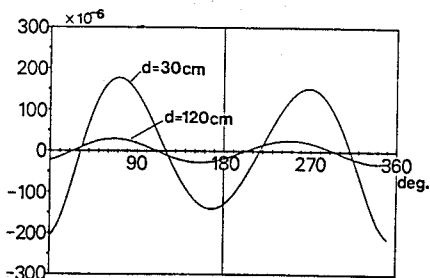


図 4

を直接求めることができ、これよりひずみ分布が求められる。埋設管表面での境界条件として、完全な摩擦が生じる場合（No Slip 条件）と、摩擦が生じず滑る場合（Slip条件）があるが、以下前者の条件で議論する。解析で得られたひずみ分布を図4に示す。

本解析手法では、管の真上の輪荷重のみでなく偏心している輪荷重の影響を重ねることが可能である。そこで $d = 30\text{ cm}$ のとき、地表面での輪荷重が F だけの場合、 F と D の場合、 F と D と T の場合のそれぞれのひずみ分布を図5に示して重ね合わせ効果を調べる。

3. 考察

実測結果と計算結果を比較すると次のことが言える。

①計算結果の方が全ての場合について、実測結果より大きくなっている。

②計算による管頂ひずみ（負）、管側ひずみ（正）、管底ひずみ（負）は、この順に絶対値が小さくなるが、それらの差は小さい。しかるに浅い場合（ $d = 30\text{ cm}$ ）、実測による管底のひずみは管頂のひずみよりかなり小さく、曲線の形状は正弦波形的ではなく、平らな形を示している。

③実測結果の管側でのピーク値（正）の位置は、計算でのピークより少し管頂に寄った位置にある。

④計算結果によれば、Slip条件の場合の方が No Slip 条件より大きな値を示す。

また、計算結果から輪荷重の重ね合わせの効果を調べると、

⑤重ね合わせることで土圧値そのものは大きくなるが、偏心した荷重による土圧分布はそのピーク値が荷重のある方に寄っているため、重ね合わせることで土圧分布が一様化し、管の変形すなわち管周方向ひずみは小さくなる。

ところで、①に関しては、計算値が実測値よりどれだけ大きいかの倍率を調べ、各埋設深でその土圧計算に用いた P_2 を倍率で除して縦軸にプロットすると図6が得られる。得られた曲線は、

$$P_{23} = \alpha P_0 / z^2 \quad \text{ただし } \alpha \text{ は定数}$$

で近似できる。ここで、 P_0 は深さゼロでの荷重値であり、載荷円の直径（ $\pi D^2 / 4 = A$ ）で輪荷重 P_3 を除したものである。なお、 P_2 の算出法の代わりに、直接的に

$3P_3 / 2\pi z^2 = 2P_2 / \pi z$ すなわち $P_2 = 3P_3 / 4z$ を用いて計算してもほぼ等しい値が得られる。これは、Saint-Venant の原理の意味するところである。この P_{23} は、地表の有限長（すなわち、長さ D ）の線荷重が深さ z に対してどのように減衰するかを管周方向ひずみから表現したものと解釈される。また、この式は

$$P_{23} = (\alpha / D) \cdot (P_3 / z^2)$$

と書けることから、式の形は三次元 Boussinesq 式と同じになる。

4. あとがき

ひずみの実測値が計算値より小さいからといって、作用する土圧が同様に小さいとは速断できない。また、管真上の荷重の他に偏心荷重が同時に作用した場合、ひずみが小さくなる可能性があるということは面白い。

〈参考文献〉

- 1) 高木他(1989)：輪荷重が埋設管の管周方向変形に与える影響に関する実験、「東京ガス機技術研究所報告」, 第33号, pp.121-141.
- 2) 大川(1984)：集中荷重によるたわみ性埋設管の挙動,「土質工学会論文報告集」, Vol.24, No.2, pp.153-160.

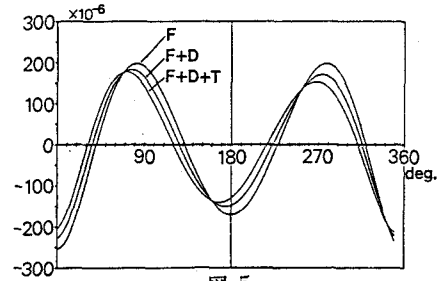


図 5

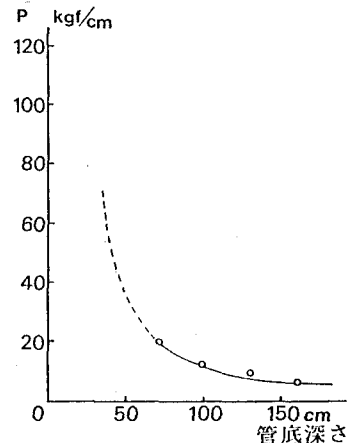


図 6