

新潟大学 正○大川秀雄
福田組 正 岡崎康明

1. はじめに

都市の複雑化にともない、埋設管が従来のものより深く敷設される場合が出て来ている。そのような場合、管に作用する土圧がどのようなものであるか知ることは設計上欠かせない。そこで、地盤自重によりたわみ性埋設管がどのような土圧分布を受けるかについて、平面歪問題として弾性解析を試みたので報告する。

なお、地盤を等方弾性体と置くのは現実的でないように思えるが、管と地盤の間の力のやり取りを考慮した理論解析を行うには、他に方法がない。また、現象の基本的性質を知る上で、弾性解の持つ意味は大きいと言える。

2. 解析方法

双極座標(図1)を用い、半無限弾性地盤を対象とした解析である。地盤自重を厳密に解析に入れ込むことが困難なので、次善の策として無限遠で一様な圧縮応力を作用させる近似的手法を採った。圧縮応力の作用のさせ方は、Mindlinに見倣って、(1)静水圧的な場合、(2)静止土圧的な場合、(3)鉛直方向土圧だけが作用し水平方向土圧がない場合、の3種類に対応させて解析したが、今回は一般的な応力状態に近いと思われる(2)の場合について報告する。これは、水平方向の土圧分布が静止土圧分布的になっている場合であって、静止土圧係数が、

$$K = \nu / (1 - \nu) \quad \text{ただし、} \nu \text{ は地盤のポアソン比}$$

で与えられると仮定する(図2)。このとき、作用させる土圧分布の応力関数 ϕ/J は、 η に関してフーリエ展開したもので表示すると、

$$\begin{aligned} \phi/J = & -0.5wa \left(e^{\xi} + e^{2\xi} \cos \eta + 2 \sinh \xi \sum_{k=2}^{\infty} e^{k\xi} \cos k \eta \right) \\ & + 0.5waK (\sinh \xi + 2 \sinh \xi \sum_{k=1}^{\infty} e^{k\xi} \cos k \eta) \end{aligned}$$

$$\text{ただし、} J = a / (\cosh \xi - \cos \eta), \quad w = \gamma H$$

γ : 地盤の単位体積重量

H : 管中心の深さ

となる。これを、応力の一般解を表現する応力関数に重ね合わせれば、全体の応力状態を表現する応力関数となる。さらに、それに対応する変位関数も求める。そして選点法を用いて(16点とした)、管と地盤の境界面上でそれらの各々に対して、平衡条件と適合条件を満足するように式中の未定係数を解いた。

3. 解析結果

本解析法は、管の表面が完全に滑る場合(Slipと表現する)と、全く滑らず地盤との摩擦が完全に働いている

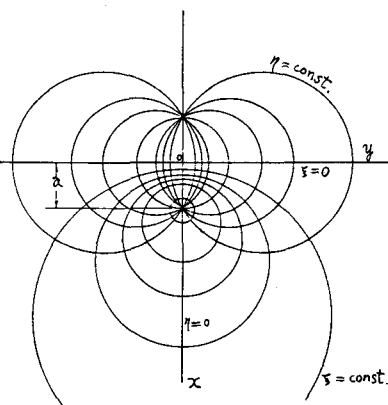


図1 双極座標

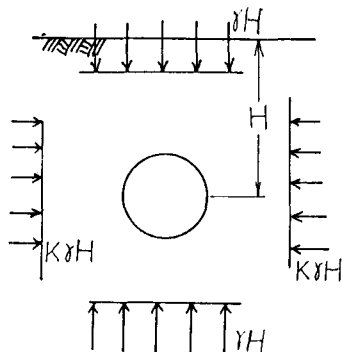


図2 作用土圧

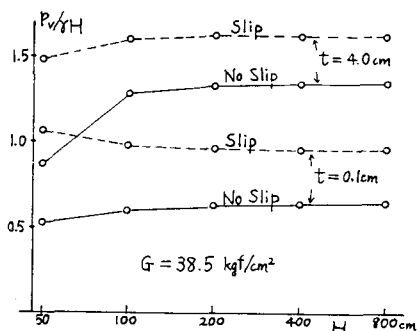


図3 深さによる管頂土圧

場合 (No Slip) の二つについて扱うことが可能である。用いた計算諸量は、管を鋼として、 $E = 2.1 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ 、管厚 $t = 0.1 \sim 4.0 \text{ cm}$ 、管半径 $R = 25 \text{ cm}$ 、地盤のせん断弾性係数 $G = 38.5 \sim 1212 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比は管・地盤とも $\nu = 0.3$ 、地盤の単位体積重量 $\gamma = 1.7 \text{ grf/cm}^3$ である。

管の中心の深さ H に対して、管頂土圧 p_v の変化を示したものが図3で、管厚 t が 0.1 cm と 4 cm のときの結果である。これによると、 $H = 800 \text{ cm}$ で $p_v / \gamma H$ は一定値となっており、計算に用いた管半径 $R = 25 \text{ cm}$ に対して十分深い状態と言える。この深さで $t = 0.25 \text{ cm}$ 、 4 cm の管に作用する半径方向土圧 p の様子を図4に示す。また $H = 800 \text{ cm}$ のときの管頂土圧 p_v と管側土圧 p_h を、管の剛性を示すパラメータ $(E/G)(t/R)^3$ に対して無次元表示したものが図5、図6である。図4より、剛性管に対しては、管頂土圧の集中が大きく、側圧は小さいが、たわみ性管に対しては、等圧的な土圧分布を示していることが分かる。また、どちらの管に対しても Slip 条件の方が管頂土圧の集中が大きく、逆に側圧は小さい。このことは、図5、図6からもうなづける。図5、図6は $R = 25 \text{ cm}$ のとき得られる曲線である。 R を大きくすると、少し曲線が上へ移動するが、左右端の漸近する値は同じである。これら、管のたわみ性が著しく大きい場合と、逆に剛性が大きい場合の無次元土圧 $p / \gamma H$ の漸近値は、No Slip、Slip条件で表のようにまとめられる。ここで、管頂と管側の値を加えると、 $1.8 \sim 1.9$ 程度となる点が注目される。また、管のたわみ性がどのような値であっても同様のことが言える。図の左端のように著しく薄い管は使用されることはなく、実際に用いられるたわみ性管は、 $p / \gamma H$ の値が1付近の値のものとなっていると考えられ、力学的には有利であることが分かる。なお、表の値は、Höeg の実験値とよく一致している。

参考文献

- ・ Mindlin, R.D. (1939): 'Stress distribution around a tunnel', Trans. ASCE, Vol. 94.
- ・ Höeg, K. (1968): 'Stress against underground structural cylinders', Proc. ASCE, Vol. 94, No. SM4.

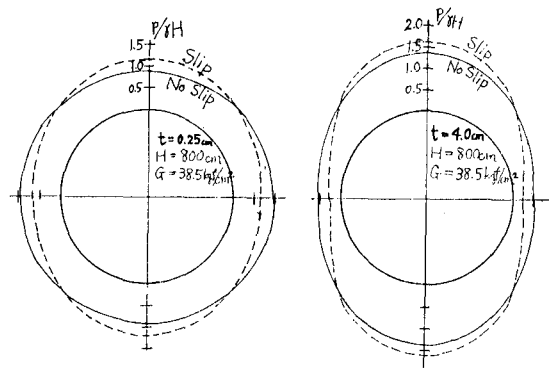


図4 半径方向土圧

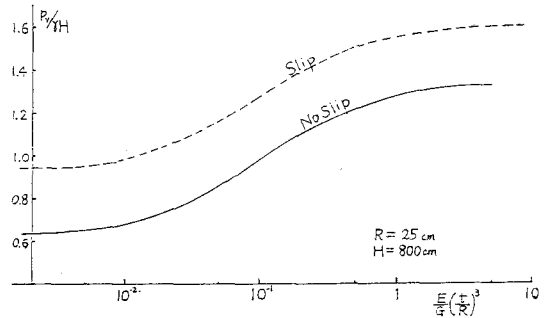


図5 管頂土圧の無次元表示

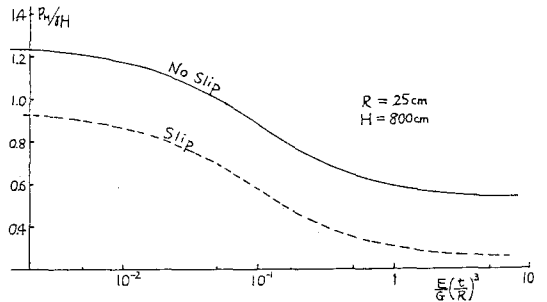


図6 管側土圧の無次元表示

表 管頂・管側での土圧 ($p / \gamma H$)

		管頂	管側
たわみ性大	No Slip	0.63	1.25
	Slip	0.95	0.94
剛性大	No Slip	1.35	0.53
	Slip	1.60	0.25