地中埋設管の変形と強さ(資料)*

溝 口 孝 喜^{*1}, 平 野 俊 雄^{*2}

Deformation and Strength of an Underground Pipe (Technical Data)

Koki MIZOGUCHI and Toshio HIRANO

In this report, we obtained the useful results of the stress and deformation of an underground pipe fixed at both ends and subjected to the soil pressure due to a vertical concentrated load acting on the surface of the ground by the method proposed in the previous paper. Numerical computations were carried out for the more various cases and the results were shown graphically to be practical use.

Key Words: Structural Analysis, Thin Shell Theory, Underground Pipe, Soil Pressure

1. 緒 言

地中埋設管は流体や気体の輸送方法として広く利用されており, 大量供給, 長距離輸送の有効手段として今後もますます需要は増えてゆくものと予想される。

著者らは以前に, 地表面に集中荷重を受ける場合の地中埋設管の変形と応力の解析方法を開発し, 報告した^{(1)~(3)}。その後, British Gas Corporation より埋設管の設計, 施工に当たっての参考資料となるような広い範囲の強度解析データを発表するように希望された。したがって, 我が国でも当然広範囲の資料が必要と思われる。

実際, 埋設管の使用条件は, 管径, 肉厚, 長さ等の寸法や, 埋設深さはもちろんのこと, 材料についても鋼管, 鋳鉄管, ヒューム管等に加えて最近では塩化ビニル管, 強化プラスチック管等高分子材料が用いられたりして多種多様にわたっている。また, 埋設される地盤についても砂質土, 粘性土あるいは軟弱地盤, 硬地盤等があり, さらに締め固め程度によっても複雑な状態の中で使用されている。

本報では, 埋設管と地盤の性状の広い範囲について数値計算を行い, 解析データを得たのでここに報告する。

表 1 計算諸元

a/h	50.25
$\xi_o = l/a$	5, 7, 10, 15, 20, 25, 30
$Z_o = z_o/a$	3, 5, 10, 15
$\gamma_o = y_o/a$	0.0~4.0
$f = ak/E$	$10^{-5}, 10^{-4}$
$f_o = ak/E_o$	0.1
ν	0.3
ν_o	0.5

図 1 地中埋設管

* 原稿受付 昭和 61 年 12 月 2 日。

*¹ 正員, (〒655 神戸市垂水区塩屋北町 2-11-10)。*² 正員, 高松工業高等専門学校 (〒761 高松市勸使町 355)。

2. 数 値 計 算

記号等は図1のように、管の半径 a 、肉厚 h 、長さ 2

図2 半径方向変位 w' 図3 表皮応力 σ_x, σ_θ ($Z_0=3$) 図5 表皮応力 σ_x, σ_θ ($Z_0=10$)

l 、深さ z_0 、荷重位置 y_0 、管と地盤の弾性係数およびポアソン比をそれぞれ E, E_0 と ν, ν_0 、さらに地盤反力係数を k として、表1のような場合について示した。

解析方法については以前の報告⁽¹⁾⁻⁽³⁾によるものとして省略する。

本報では、まず最初に集中荷重が埋設管の中央直上に作用した場合(図1において $y_0=0$)について埋設管の長さによるたわみ、応力の変化を示し(図2~6)、次に両固定端の影響を受けない場合、すなわち両端が無限遠と考えられる場合において、集中荷重が管から任意の距離に作用する時のたわみ、応力を求めた(図7~18)。

計算は多種類の管に対して行っているのですが、 ν も各種類の値が考えられるが、 ν による変化はほとんどない。また、地盤にも広範囲のものを取っているのですが、 E_0 自身の变化はあるが、 $f_0 = ak/E_0$ についてはあまり変化がないので、すべてについて $f_0 = ak/E_0 = 0.1$ と取った。

図4 表皮応力 σ_x, σ_θ ($Z_0=5$) 図6 表皮応力 σ_x, σ_θ ($Z_0=15$)

図 7 半径方向変位 w' ($Z_0=3$)

図 8 半径方向変位 w' ($Z_0=5$)

図 9 半径方向変位 w' ($Z_0=10$)

図 10 半径方向変位 w' ($Z_0=15$)

図 11 表皮応力 σ_x, σ_θ

図 12 表皮応力 σ_x, σ_θ

図 13 表皮応力 σ_x, σ_θ

図 14 表皮応力 σ_x, σ_θ

図 15 表皮応力 σ_x, σ_θ

図 16 表皮応力 σ_x, σ_θ 図 17 表皮応力 σ_x, σ_θ 図 18 表皮応力 σ_x, σ_θ

3. 計算結果

図は次のような無次元化を示している。

$$\left. \begin{aligned} w' &= Ehw/P \\ \sigma_x &= ah\sigma_{x\text{out}}/P \\ \sigma_\theta &= ah\sigma_{\theta\text{out}}/P \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

実線、破線はそれぞれ Boussinesq ($\mu=3$)⁽⁴⁾, Fröhlich ($\mu=5$)⁽⁵⁾の土圧式によるたわみと応力の結果を示す。 μ は土圧式における応力集中係数と呼ばれており、実際の地盤においては、粘土質地盤に対して Boussinesq ($\mu=3$)の土圧式が、また砂質地盤に対して Fröhlich ($\mu=4 \sim 5$)の土圧式がよく合うとされている⁽⁵⁾。

まず、集中荷重が埋設管中央直上の地表面に作用する場合について述べる。図2に埋設管中央上部でのたわみの最大値 $w_{\max}$ の埋設管長さ $\xi_0 = l/a$ についての変化が示してある。管が長くなれば、たわみは大きくなる傾向にあるが、 $f=10^{-4}$ の時 $\xi_0=15$ 以上で、また $f=10^{-5}$ の時 $\xi_0=30$ 以上でほぼ一定となる。表皮応力 σ_x, σ_θ については、図3～6に示されている。図中の A, B, C は次の各応力を意味する。

A: 管の中央上部外側での軸方向表皮応力 σ_x

B: 管の端部上部外側での軸方向表皮応力 ($-\sigma_x$)

C: 管の中央上部外側での周方向表皮応力 σ_θ

埋設管が短い場合には、B(端部の $-\sigma_x$)が最も大きい。が、長くなると B は急激に小さくなる。これに代わって C(中央の σ_θ)が最も大きい値となり、その値は $\xi_0=15$ 以上になるとほぼ一定値をとる。埋設位置が深い場合には $\xi_0=30$ ぐらいでも B が最も大きな値となっているが、 ξ_0 がさらに長くなれば徐々に小さくなって

いき、C の値以下になると思われる。

次に、埋設管の両固定端の影響がないと考えられるような長い場合において、荷重位置をいろいろ変えて数値計算を行った。ここでは $\xi_0=30$ とし、図7～10にたわみ、図11～18に応力の変化を示した。図中の σ_x, σ_θ は、管中央の上部付近での最大表皮応力であり、 σ_x^* は管両端の上部付近での最大表皮応力を示す。埋設管位置が浅い場合最大応力は中央部の σ_θ で、荷重が管から離れるとたわみ、応力ともにすぐに小さくなる。深い場合は荷重位置の移動に対してあまり変化しない。図には $\xi_0=30$ としているので管が深い場合については端部の σ_x^* も併せて示している。

4. 結 言

前論文^{(1)~(3)}で報告した地中埋設管の強度解析の方法により、埋設管と地盤の性状の広い範囲について数値計算を行った。これらの結果は、埋設管の強度設計に対して有用な資料となるものである。

最後に、本研究に協力された高松工業高等専門学校 高木聡技官に感謝する。また、数値計算には大阪大学 大型計算機センターを利用させていただいた。

文 献

- (1) 溝口・平野, 機論, 43-374 (昭52), 3691.
- (2) 溝口・平野, 機論, 46-403, (昭55), 337.
- (3) 溝口・平野, 機論, 50-456, (昭59), 1508.
- (4) Timoshenko S. P. and Goodier J. N., *Theory of Elasticity*, 3rd Ed., (1970), 401, McGraw-Hill.
- (5) 赤井, 土質力学, (昭45), 200, 朝倉書店.