

暗渠パイプを持つ地盤の動的有限要素解析

Dynamic Fine Element Method analysis of buried pipe

— 動的有限要素法プログラムの開発 —

○ムフタル・サディール* 加藤誠*
 MUHTAR Sader* and KATO Makoto*

1. はじめに： 農地地盤の表面に静的及び動的な荷重の作用によって発生する埋設パイプの力学挙動を把握することは非常に重要である。従来では、埋設されたパイプの安定性についての研究は多くされている。本研究は暗渠パイプを持つ多層地盤の動的有限要素法解析プログラムの開発し、荷重によって埋設されたパイプの応力、ひずみ、パイプの断面力等の分布を調べた。また、埋設管の土かぶりと管底モーメントの関係も調べた。

2. 定式化： 一般運動方程式は、次式で表される。

$$KU + M\ddot{U} = F \quad (1)$$

ここで K 、 M は各々剛性マトリクス及び質量マトリクスを表し、 U 、 \ddot{U} はそれぞれ変位と加速度、 F は力ベクトルを表す。次式は離散化された式である。

$$[K_e]\{U\} + [M_e]\{\ddot{U}\} = \{F_e\} \quad (2)$$

ここで $[K_e]$ 、 $[M_e]$ は各々要素剛性マトリクス及び要素質量マトリクスを表し、 $\{U\}$ 、 $\{\ddot{U}\}$ はそれぞれ

変位ベクトルと加速度ベクトルを表す。 $\{F_e\}$ は要素力ベクトルである。式 (2) は有限要素法で離散化し、時間領域の積分には Wilson の θ 法を用いた。

3. 解析例と解析モデル： はじめに、パイプを有するモデル地盤の解析を行った。本研究が対象とする等分布荷重の作用した、パイプを有する4層モデル地盤をFig. 1に示す。地盤の表面上に幅2m等分布荷重が作用している。荷重の大きさは $100 = \text{kPa}/\text{m}^2$ である。また、奥行き方向には全く同一の力学系が存在すると考えられるので、二次元平面歪場の解析を適用した。今回は土の自重成分を除き、外力による純粋な応力伝播のみについての計算を行った。パイプの内径は0.3 m、地盤長さ $a = 30$ m、高さ $b = 15$ m である。弾性係数 $E = 5000$ kPa、ポアソン比 $\rho = 0.3$ とした。また、地盤の左右は横方向変位を拘束し、下端は固定端とした。パイプが埋設された地盤の有限要素法メッシュ分割には、8 節点四角要素を用いた。次に計算例として、上述した例の地盤の表面に幅3 mの等分布荷重が作用し、パイプの位置は深さ方向にそれぞれ異なる4つの深さで解析を行った。さらに、100 kPa, 140 kPa, 200 kPa, 250 kPaの4つ荷重を設定し、

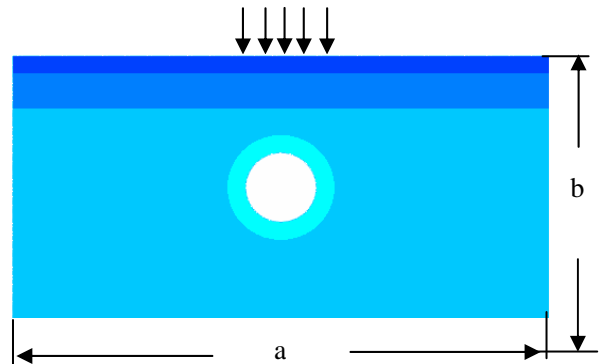


Fig. 1 暗渠パイプを持つ地盤の構造図

Structure of the multilayer foundation with a buried pipe

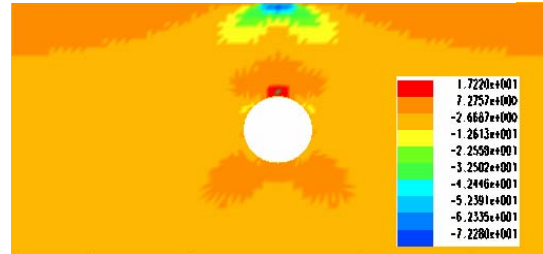


Fig. 2 x 方向の応力分布図

Stress distribution diagram of x direction

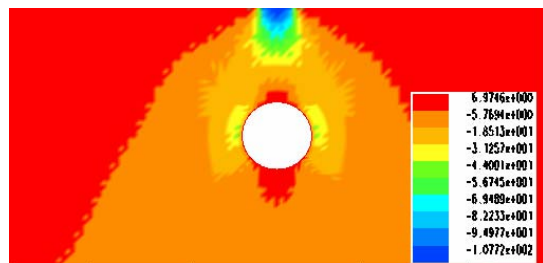


Fig. 3 y 方向の応力分布図

Stress distribution diagram of y direction

*東京農工大学 Tokyo University of Agriculture and Technology

キーワード： 動的有限要素法、多層地盤、応力、曲げモーメント、埋設パイプ

別々の計算を行った。

4. 数値解析結果 : Fig. 2 はx方向の応力分布、Fig. 3 はy方向の応力分布、そして Fig. 4 はパイプ外周の変形を示す。Fig. 5、Fig 6 は各々、パイプ外円上節点の応力変化と内円上節点の応力変化、ならびにパイプ断面の半径方向のせん断応力の変化を表す。Fig. 6 より、内円上節点のせん断応力の値は α (rad) の変化に対し、ほぼ0の値を示すことが分かった。このことから実際の値と一致しているのが確認できる。Fig. 5 と Fig. 6 において横軸は角度を表し、縦軸は各応力度を示す。Fig. 7 は Fig. 5 および Fig. 6 をわかりやすく応力度図で表したものである。Fig. 8 はパイプ断面の各断面力の変化を表し、Mは曲げモーメント、Nは軸力、Qはせん断力を示す。次にパイプ埋設深（土かぶり）と管底に生じる曲げモーメントとの関係を Fig. 9 に示す。Fig. 9 の結果から土地改良事業計画基準設計（1999）とよく一致した傾向が見られる。

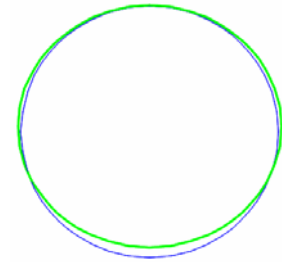


Fig. 4 パイプ外周の変形図
Deformation of pipe

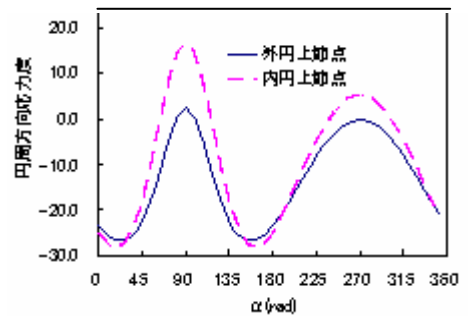


Fig. 5 パイプ断面の円周応力変化
Shear stress deformation of pipe section

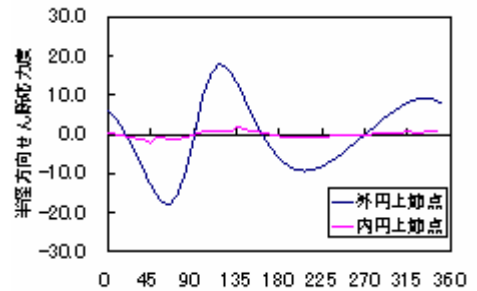


Fig. 6 パイプ断面のせん断応力変形図
Shear stress deformation of pipe section

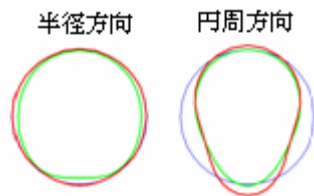


Fig. 7 応力度図
Stress Diagram

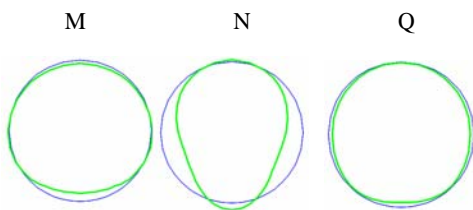


Fig. 8 パイプ断面の各断面力
Force of pipe section

5. まとめ : 静的・動的荷重が作用する時、暗渠パイプに発生する変形及び応力を解析できるプログラムを開発した。本プログラムでは、静的・動的解析の両方を行うことができるが、本発表では静的解析のみを扱った。動的あるいは衝撃荷重の問題を次の引き続き研究に譲りたい。また、今回開発したアプリケーションは比較的簡単に解析を行うことができることが特徴である。今後、モデル地盤を再現した土槽試験結果との比較を行い、実用性のあるプログラムを開発する予定である。

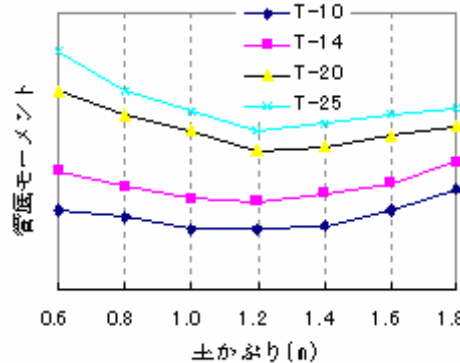


Fig. 9 埋設深と管底に生じる曲げモーメントとの関係
Relationship between the caused-bend moment of the tube laying underground and buried depth

使用コンパイラ : Digital Visual Fortran Version 6.0

利用ライブラリー : Griffiths (2004) の有限要素解析ライブラリー

引用文献 :

農林水産省構造改善局 (1999) 土地改良事業計画基準設計「パイプライン」

Smith, I. M., Griffiths, D. V. (2004) Programming the Finite Element Method 4th Ed., John Wiley & Sons, England