

埋設管を有する地盤の弾塑性有限要素解析

Elasto-Plastic Finite Element Method Analysis of Buried Pipe

－弾塑性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*, KATO Makoto*

1. はじめに： 農地地盤の表面に静的及び動的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、埋設されたパイプの変形問題および安定性についての研究は多数の報告がある。本研究では、既往の研究(ムフタル・加藤, 2006)の続きとして、埋設管を有する多層地盤の弾塑性有限要素法解析プログラムを開発し、任意の荷重に対する荷重と地盤沈下量の関係に加え、各荷重段階での地盤及び埋設されたパイプの変形と応力分布、荷重の増加に伴う地盤内の破壊領域の進展状況とパイプの断面力等の分布も調べた。また、プレプロセスの部分では自動メッシュ分割を行い、ポストプロセスの部分では計算結果を視覚的に表示し、分かり易さを図った。

2. 定式化： 非線形な材料の弾塑性体に対するつり合い方程式は、次式で表される。

$$[K(\{d\}, \{f\})]\{d\} = \{f\} \quad (1)$$

ここで、 $\{f\}$ は節点力ベクトル、 $\{d\}$ は節点変位ベクトル、

$[K]$ は接線剛性マトリクスである。式(1)の解法として粘塑性法を採用した。取り扱える材料は弾完成塑性体の MC-CP モデルである。このモデルでは、降伏基準に Mohr-Coulomb と Von Miss 式を採用した。

3. 解析例と解析モデル： 解析には、複雑な変形挙動するパイプを有する4層地盤モデルを採用した。Fig. 1 に示すように、地盤の表面上に幅2mの等分布荷重が作用している。また、奥行には全く同一の力学系が存在すると考えられ、二次元平面歪場の解析を適用した。Fig. 2 に有限要素メッシュ分割を示す。パイプの内径は0.4m、地盤長さ $a=3.0\text{m}$ 、高さ $b=1.5\text{m}$ である。また、地盤の物性値は次の通り、粘着力 $c=100\text{kPa}$ 、弾性係数 $E=5000\text{kPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、パイプの弾性係数 $E=200\text{e}+9\text{kPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とした。地盤の左右は自由或い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。以上の条件で上端面に100kPaから最大550kPaまで段階的に等分布荷重を与え、解析を行った。プログラムの精度を確認するため、Griffiths の計算モデルを(Griffiths, D.V. 2004)を採用した。次に、計算例として、Von Miss の降伏基準を用いた弾塑性モデルによる非排水状態の埋設管を有する地盤について解析を行った。最後に、比較のため、土質力学の分野において多くの破壊問題でよく使われている Mohr-Coulomb の降伏基準に基づいて解析を行った。

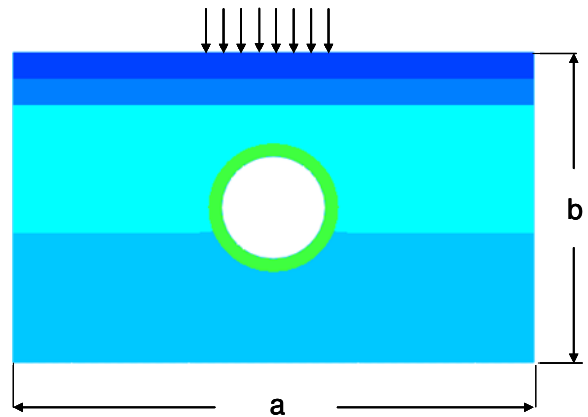


Fig. 1 埋設管を持つ多層地盤の構造図
Structure of the multilayer foundation with buried pipe

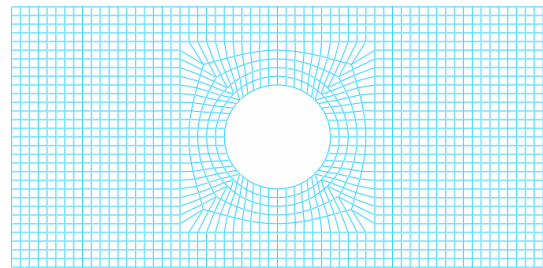


Fig. 2 は有限要素メッシュ分割
Finite Element meshes

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

キーワード： 弾塑性有限要素法、多層地盤、埋設パイプ

なお、パラメータとして、粘着力、弾性係数、ポアソン比、内部摩擦角、初期静止圧係数、ダイレイタンシー角等を用いた。

4. 数値解析結果： Fig.2 は本研究で開発したプログラムの計算結果と Griffiths の計算結果との比較を示す。横軸は載荷圧 q を粘着力 c の比であり、縦軸は中心線の沈下量 δ である。計算した極限支持力は Prandtl 解に近い値となった。本プログラムの計算結果と Griffiths の計算結果はほぼ同じ値であり、同等の精度であることが確認できた。

VonMiss の降伏基準を用いた場合の地盤及びパイプ周辺の変位分布図を Fig. 4 を示す。Fig. 5 には 300kPa 荷重時における主応力分布図を、また同じ Mohr-Coulomb 降伏基準を用いた場合の地盤及びパイプ周辺の歪分布図を Fig. 6 を示し、各パラメータは図中に示す。

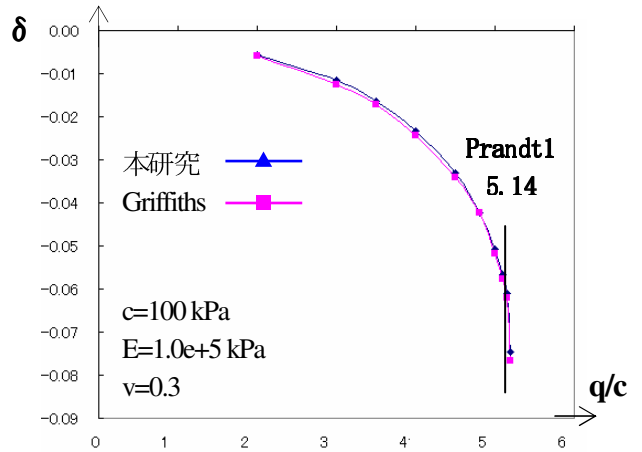


Fig. 3 載荷圧の沈下変位に対してプロット
Plot of bearing stress versus centerline displacement

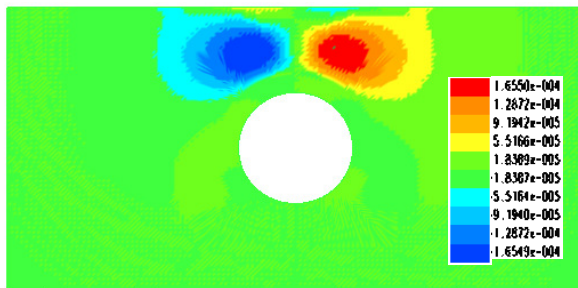


Fig. 4 地盤とパイプの変形分布図
Displacement distribution diagram

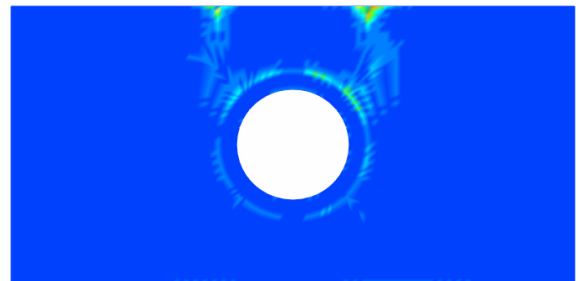


Fig. 5 主応力の分布図
Principal Stress distribution diagram

5. まとめ：本研究では暗渠パイプを持つ多層地盤の弾塑性有限要素法解析プログラムの開発を行った。本プログラムを基に任意の荷重に対する荷重と地盤沈下量の関係に加え、各荷重段階での地盤及び埋設されたパイプの変形と応力分布、荷重の増加に伴う地盤内の破壊領域の進展状況とパイプの断面力等の分布を調べた。地盤とパイプの相互作用問題及び連成問題について今後の研究課題としたい。また、今回開発したプログラムは、比較的簡単に解析を行うことができるのが特徴である。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、本プログラムの実用性を上げていく予定である。

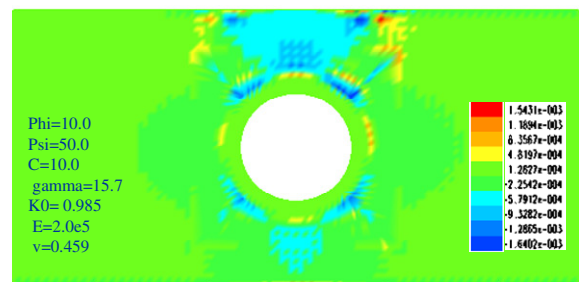


Fig. 6 せん断歪分布図
Share Strain distribution diagram

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：

MUHTAR, Sader. KATO, Makoto (2006)：平成 18 年度農業土木学会大会講演会要旨集

地盤工学会(2003) 地盤技術者のための FEM シリーズ 1, 2, 3

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