

溝幅の狭い条件で布設された管および埋戻し土の変形挙動 Behavior of pipe and backfill installed with narrow ditch condition

○藤田 信夫*
FUJITA Nobuo

毛利 栄征**
MOHRI Yoshiyuki

有吉 充***
ARIYOSHI Mitsuru

1. はじめに

一般に管布設にあたっては、砂質土や礫質土などの良質な材料を用い、所定の厚さごとに撤出し転圧を行って締固め管理することとされている。

ところが管と側壁との間に転圧機械が走行できないような掘削溝幅の狭い条件では、管側部の締固めが難しい。また、管周辺の埋戻しに砂質土や礫質土より低強度の粘性土等を用いる場合も締固めは難しいが、このような材料が有効利用できれば工事費の削減や環境負荷の低減が期待できる。管底部や管側部の埋戻し地盤の剛性と均一性は、パイプの変形抑制という観点で設計・施工上の重要な要求性能である。一方で、管上部の埋戻し施工にあたって、薄層撤出しと十分な転圧を実施することによってその下層部の管周辺の基礎材も間接的に締固められ、極端な緩みや空隙はある程度解消できる可能性もある。

本報告では、粘性土を基礎材に用いた場合を例に、3軸圧縮試験から求めた変形係数をパラメータとして線形弾性解析を実施し、路面荷重作用時の挙動を実験結果と比較するとともに、管上部の締固めの影響についても検討した。

2. 土槽実験と解析モデル

(1) 実験条件 呼び径 800 のダクトイル鋳鉄管 AL1 種(厚さ 12mm)を供試管として標準溝幅より狭い土槽内に布設し、基礎材に粘性土を使用して埋め戻した。粘性土は緩い状態を再現し、不飽和状態で団粒化した材料を層厚 0.2m で敷き均し程度(間隙率 $n = 70\%$)とした。転圧は 60kg タンパを用い、管頂レベルと、管上部の粘土および路盤の各 2 層で実施した。土かぶりは路盤を含め 0.8m とし、埋戻し完了後に T-25 相当の路面荷重(35.2kN/m²)をアクチュエータにより 10000 回繰返し負荷した。

(2) 数値解析モデル 土槽実験の 2 次元要素分割モデルを図 1 に示す。要素は四角形二次要素とした。パイプは円周 64 分割(半円周 32 分割)とし、パイプと地盤の間には厚さ 5mm の薄層を設けてヤング率急変の影響を緩和した。境界条件は、①底面は Y 軸拘束、②中央対称面は X 軸拘束、③側壁は地盤反力と摩擦力を考慮して X 方向バネ $3.0 \times 10^7 \text{N/m}$ ・Y 方向バネ $1.0 \times 10^6 \text{N/m}$ による拘束、とした。路面荷重は土かぶり 1.2m の未舗装路面での T-25 の後輪荷重を考え、管頂深さに作用する等分布荷重を求めて実験と同様に模型地盤上面に負荷した。

(3) 材料特性データ 管心深さの静止土圧相当の拘束圧(20、40kPa)を負荷して行った粘性土の 3 軸圧縮試験結果を図 2 に示す。φ200 モールドを用いて間隙率 n は 50% と 70% の 2 条件とし、水浸飽和状態でも試験した。主応力差~軸ひずみの関係から変形係数 E_{50} を求め、バラツキを考慮して設定した解析パラメータを表 1 に示す。なお、明確なピークが現れない場合は軸ひずみ 15% の値をもとに決定した。表 1 には過去に実施した低拘束圧状態(30kPa)での霞ヶ浦砂と、管頂~管心部の不飽和粘土に管上部締固めの影響を想定して変化させたパラメータを併せて示す。

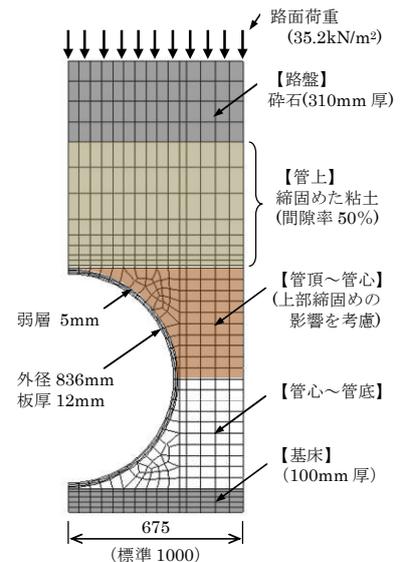


図1 土槽実験の数値解析モデル

* 株式会社クボタ Kubota Corporation, ** 茨城大学農学部 Faculty of Agriculture, Ibaraki University, *** 農研機構農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO, キーワード: 埋設管, 埋戻し, 土中挙動

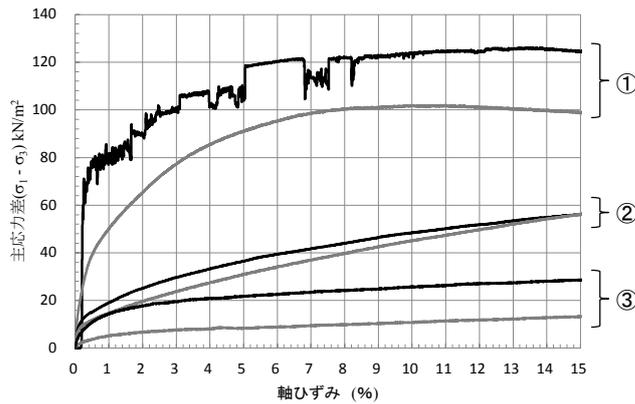


図2 粘性土の3軸圧縮試験結果

3. 結果と考察

(1) 実験結果概要 地表面沈下量と管のたわみ率を図3に、管のひずみ分布を図4に示す。載荷板直下での地表面沈下量は8.5mm、供試管のたわみ率は0.24%であった。また、10,000回載荷時の管の円周方向ひずみ分布は図4に示すとおりであり、最大値は管底部で 268×10^{-6} とダクタイル鋳鉄管の許容応力の16%程度であった。

(2) 解析結果概要

①埋戻し土の影響 土槽実験で用いた間隙率70%の不飽和粘土に加え、砂と水浸粘土のパラメータを用いて表2のケースA、B、Cの挙動を比較し図3に示す。

不飽和粘土の変形係数と比較して砂は25倍、水浸粘土は0.5倍である。地表面沈下量は不飽和粘土の9.0mmに対して砂では1/3程度に低減するが、水浸粘土では11.3mmであり、変形係数の相違に比べてその増加割合は小さい。管のたわみ率も不飽和粘土の0.73%に対して砂で0.18%、水浸粘土で0.83%と地表面沈下量と同様の傾向である。溝幅が狭い場合には埋戻し材の物性より埋設管剛性の影響を大きく受けることを示している。

②管上部の締固めの影響 不飽和粘土について、管上部締固めの影響を検証するために管頂～管心部のパラメータを変化させ、表2のケースA、D、Eの挙動を比較した。図3より管頂～管心部の変形係数が大きいほど地表面沈下量、鉛直たわみ率ともに減少する。また、図4に示す管のひずみ分布では管頂～管心部の変形係数が増大するほど管頂部の発生ひずみが低減し、管全体の分布形状も上下対称から管側部の最大ひずみ地点が下方に移動し、実験値に近づくことがわかる。なお、管側部でのひずみの差は、実験条件の方が側方の拘束効果が大きいことを示すものと考えられる。

4. まとめ

溝幅の狭い条件で布設された管および埋戻し土の変形挙動を実験と数値解析で比較した。管上部の締固め効果や埋戻し土の拘束効果、管の剛性を評価することにより、標準的な溝幅よりも狭い条件で布設されるパイプの安全性を確保するための新たな設計手法の可能性が示唆される。

【参考文献】藤田,井谷,竹谷: ALW形管の発生土を用いた道路下埋設のための基礎実験,農業農村工学会誌,85(6),15-18

表1 解析パラメーター一覧

材料特性	E (kN/m ²)
①n=50% 締固めた粘土	15,000
②n=70% 不飽和粘土	800
③n=70% 水浸粘土	400
④砂 (低拘束圧状態)	20,000
⑤ ②×2.5	2,000
⑥ ②×5	4,000
⑦碎石/締固めた砂質粘土	50,000
ダクタイル鋳鉄	1.6×10^8

表2 解析ケース

解析ケース	材料特性			
	管上	管頂 ～ 管心	管心 ～ 管底	路盤 & 基床
A	①	②		⑦
B		③		
C		④		
D		⑤	②	
E		⑥	②	

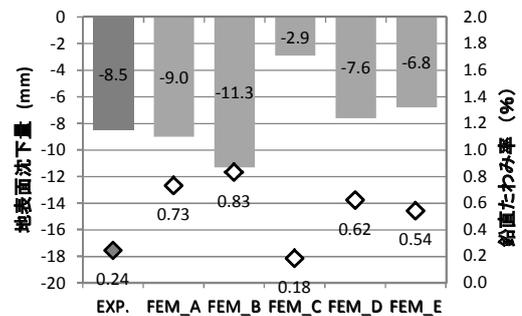


図3 地表面沈下量とたわみ率の比較

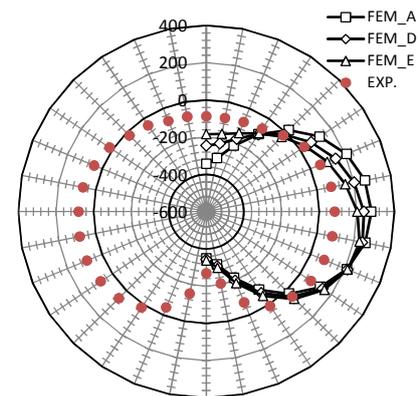


図4 管円周方向ひずみ分布の比較