

1 まえがき

本研究の目的は、有限要素法を用いて盛土化に埋設されたコルゲートパイプに生じる応力・変形をできるだけ正確に予測することである。そのために従来の経験的なファクターの概念を廃し、盛土や裏込め材料の三軸圧縮試験から得られる非線形で応力依存特性を解析に導入し、盛土の逐次盛り立て過程を考慮している。コルゲートパイプは曲線はり要素として表現している。この解析の実用性を調べるため実施工した高盛土下のコルゲートパイプから得られる実測値と計算値を比較検討するとともに、従来の研究による結果とも比較する。

2 解析手法および適用工事の概要

本解析では次の基本仮定を設けている。i) 三次元問題を二次元平面ひずみ問題で表わす。ii) 土は等方性である。iii) 盛土構築中は排水が許されず非排水状態である。ここで用いる有限要素は土に対しては三角形要素、コルゲートパイプは円形はり要素である。盛土材および裏込め材の応力-ひずみ関係は、側圧一定の三軸圧縮試験結果の軸ひずみと軸差応力の関係を双曲線型応力-ひずみ関係で近似した。そして側圧の関数として変形係数を求めた。

当解析の実用性を検討するために、静岡県御殿場のゴルフコース造成用盛土下に埋設されたコルゲートパイプを例にとる。コース造成用盛土は、谷を横断して高さ14~25mである。そして谷の流水の仮排水路としてコルゲートパイプを設置した(φ1750×t6mm)。また、盛土内の土中水の排水を促進するために多数の小孔をあけたコルゲートパイプを水平パイプに直角に結合した。測定は、この縦パイプが水平パイプに与える影響を知るために結合部の周辺で行われた。したがって、当解析では縦パイプが存在しない状態の変形応力を計算しているので少し不都合であるが、以下では縦パイプから2.1m(一番離れた)地点の測定値とを比較している。この盛土の解析に用いた横断面をFig.1に示す。盛土は約7ヶ月間で行われた。コルゲートパイプの埋設施工は、(i)現地盤にクッション用のスコリヤからなる厚さ30cmの基床厚とパイプ径の合計2.05mのミゾを掘削する。(ii)上記断面を有するコルゲートパイプを組み立て基床の上に設置する。(iii)裏込め材として粒径0~10cmのラバックスを用い十分締固める。(iv)盛土部は原地産のロームを用いた。その三軸試験結果をFig.2に示す。なお、湿润密度は 1.7 t/m^3 、 $C=2.5\text{ t/m}^2$ 、 $\phi=14^{\circ}33'$ で、図中の破線は解析に用いた双曲線近似である。

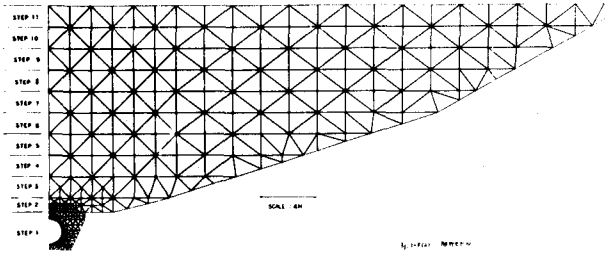


Fig. 3 有限要素モデル

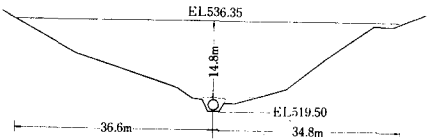


Fig. 1 埋設位置断面図

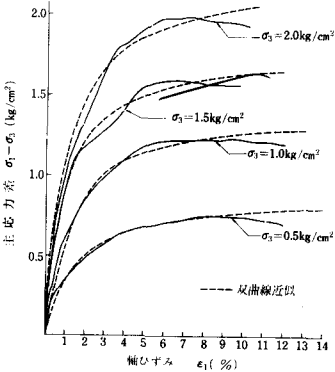


Fig. 2 盛土材UU試験

以下の解析では、右岸と左岸の形状がほぼ相似していることから、左岸のみを取り出して左右対称モデルと仮定した。このモデルの有限要素分割図をFig. 3に示す。盛土材料の応力依存非線形特性を表現するために、盛土の盛り立て過程を11段階に分けて行った。なお、裏込め材の試験が行われていないために、解析には盛土材料で代用した。

3 解析結果と測定値および従来の研究との比較・検討

(1) 土圧

Fig. 4 にパイプ頂部にかかる鉛直土圧の解析結果と実測値及びMarstonによる計算値を示している。この適用例の設置状況はミゾ型設置と完全突出型設置の中間の状態である。このような状態の鉛直土圧をMarstonの土圧式で正確に決定するのは難しい。一方、FEMを用いれば、どのような設置状況に対しても簡単にモデル化できるし、その実用性も、この図からわかるように高い。

(2) 変形

Fig. 5 にパイプの上下方向のたわみ量の解析結果と実測値及びSpanglerの式による結果を示している。Spanglerの式は、 $\eta = Fd \cdot Fk \cdot WR^3 / (EI + 0.061KR^4)$ である。ここで、 Fd, Fk は、それぞれ土のクリープ係数とすえつけ角による定数、 EI はパイプの曲げ剛性、 R は半径、 W はパイプ単位長さ当りの鉛直荷重で、ここでは実測の値を用いた。測定とFEM解析の結果では、盛土高さが小さい間はよく一致しているが、その後測定値の方が1.4~1.5倍になっており盛土高さとの線形関係を示している。これは、パイプをはりと仮定したことや裏込め材を盛土材料で代表させたこと及び縦パイプの影響等が考えられる。Spanglerの式では裏込め材の水平地盤反力係数 K や係数 Fd, Fk を正確に設定するのが難しい。

(3) 応力

Fig. 6 にパイプ頂部の曲げ応力の比較を行っている。曲げ応力の測定値は、測定されるひずみから換算したものである。Schulze und Duddek(Spannungen in Schildvorgetriebenen Tunnel, 1964)の式は、シールドセグメントの応力を算定する目的で提案されたもので適用対象から少しずれるが、比較の対象としてあげた。この理論値は測定値やFEM解析の結果と比べてかなり小さく傾向も逆である。一方、FEM解析と測定値とでは、たわみが1.4~1.5大きく生じているため曲げ応力も1.5倍ほどFEM解析の結果よりも大きい、盛土高さと曲げ応力との傾向は比較的良好一致している。

4 むすび

当解析の中で設けた諸仮定を今後さらに検討する必要があるが、従来の手法に比べて比較的良好コルゲートパイプの挙動を表現しているように思う。今後の実測データの蓄積を行ない、さらに精度の高いものにする予定である。

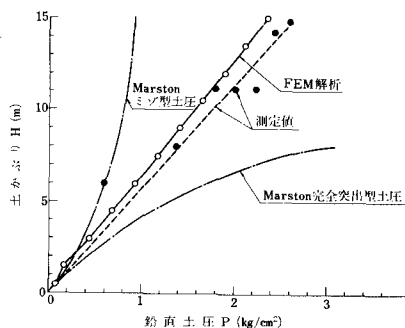


Fig. 4 パイプ頂部にかかる鉛直土圧

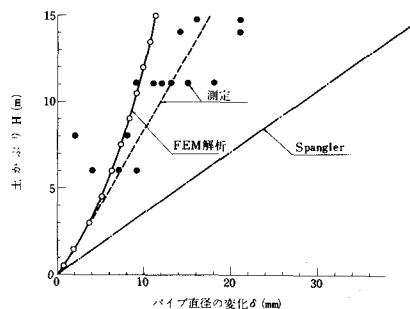


Fig. 5 上下方向パイプのたわみ

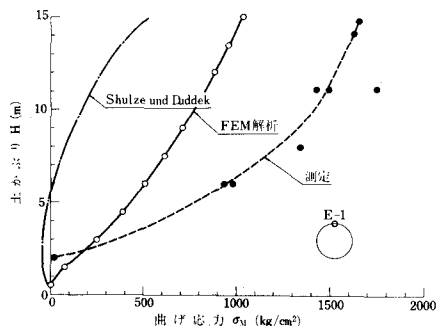


Fig. 6 パイプ頂部の曲げ応力