

高盛土下に埋設される排水管の変形挙動(弾性FEM解析)

タキロン 正会員 日野林譲二

大阪市立大学 正会員 東田 淳・正会員 寒竹英貴(現中央復建コンサルタンツ)

まえがき 合理的設計法が存在しないため、高盛土下に埋設される排水管が過度の変形や破損を引き起す事例が増大している。そこで、適切な設計法の構築に向け、遠心実験¹⁾で調べた排水管の変形挙動を弾性FEMによりシミュレートした。

解析方法 解析は、土と管を線形弾性体と仮定し、平面ひずみ条件で行った。計算の対象とした実験は、S0(乾燥砂、Loose)による管周りの裏込め有り・盛土材料S30(シルト質砂)の条件で、土被り高H/Dを44、17の2通り、模型管をF*管、M*管、R*管の3通り、基盤と管底の距離H_s/Dを2、0の2通りに変えた12ケースである。実験では遠心加速度を100gまで10gずつ増加させたが、解析では各ケースとも遠心加速度を100gまで20gずつ変えた5通りについて計算した。図-1に解析に用いたメッシュを示す。これは管底と基盤との距離H_s/Dが2の場合のもので、H_s/D=0の場合は管底から0.5cm以深を省略したメッシュを用いた。

管要素は、外径DとしてM*管とR*管の23.52mmをどのケースに対しても与え、管厚t、ポアソン比ν_p、単位体積重量γ_pは各模型管の諸元に合わせた。その

結果、解析に用いたF*管のS_p値は模型管(D=23.01mm)のS_p値よりも6%だけ小さくなったが、この影響はほとんど無いことを確認した。つぎに、管要素のヤング率E_pは、硬質アルミ製のR*管を用いた実験では模型管の材質の値をそのまま用いた。しかし、ポリエチレン製のF*管とM*管のE_pは温度によって変化するので、試験時の温度Tを変化させてF*管とM*管の集中線荷重載荷試験を行い、得られた荷重～管の鉛直たわみ量ΔD曲線(図-2)のΔD=1mmにおける割線勾配からTとS_pの関係を求めた。結果を図-3に示す。F*管とM*管を用いた実験の解析では、遠心実験時のTに対応するE_pを図-3のS_pから求め、これを管要素に与えた。

盛土要素は、実験に合わせて、管頂から10cm上までを盛土とし、散弾重量を盛土上面に節点荷重として与えた。盛土要素のヤング率は、管中央深度の地盤応力レベルにおけるS30の変形係数E_sをK₀試験の結果(図-4)から読み取り、どの深さの盛土要素にもこの一定値を与えた。管周囲の裏込め要素のヤング率は、別報²⁾のF管とR管の解析に基づいて、以下のように決めた。まず、管中央深度の地盤応力レ

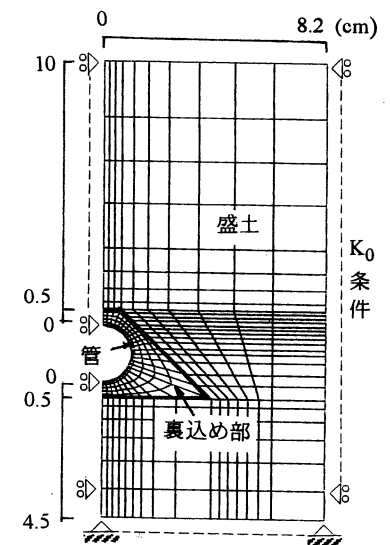


図-1 FEメッシュ

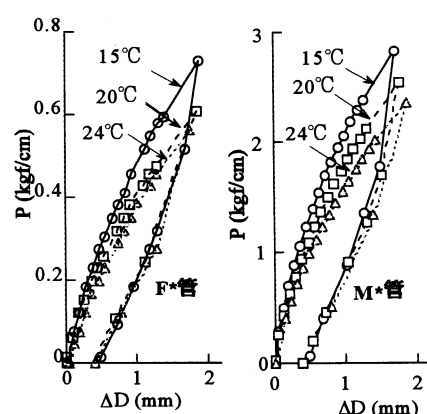


図-2 温度変化によるP～ΔD関係の変化

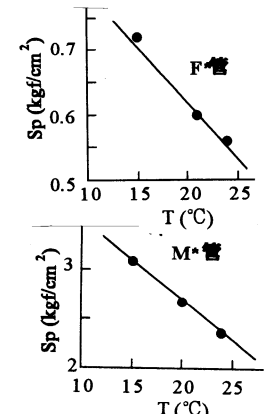
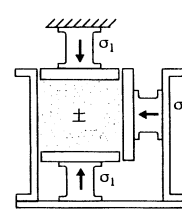


図-3 温度～S_p関係



$$\nu_s = \frac{\sigma_3 / \sigma_1}{1 + \sigma_3 / \sigma_1}$$

$$E_s = \frac{1 - \nu_s - 2\nu_s^2}{1 - \nu_s} \cdot \frac{\sigma_1}{\epsilon_1}$$

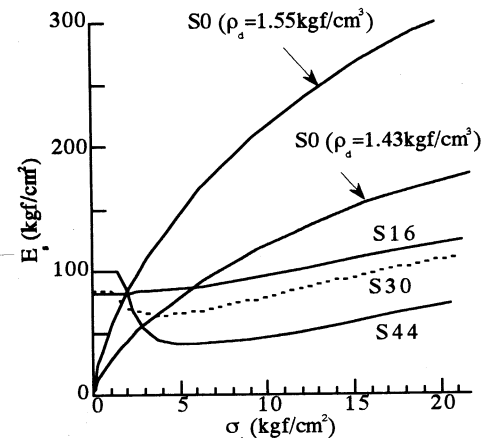


図-4 K₀圧縮試験とσ₁～E_s関係

キーワード: 高盛土、排水管、変形、数値解析、FEM、遠心模型実験

連絡先: 大阪市住吉区杉本3-3-138、大阪市立大学工学部土木工学科、東田 淳 (Tel & Fax 06-6605-2725)

ベルにおけるS0の変形係数 E_s を K_0 試験の結果から読み取って基準値とした。つぎに、別報2)で設定したのと同じ範囲が模型作成時にゆるんだものと仮定し、その範囲の E_s を別報2)の設定と同じ比率(ゆるみ領域の E_s /管側深さの E_s)で低減させた(F*管・M*管の実験は別報2)のF管の実験に、R*管の実験はR管の実験に合わせた)。なお、管中央深度における地盤応力レベルが H/D と遠心加速度によって異なるので、盛土・裏込め両要素に与えた E_s は計算ごとに異なる。盛土・裏込め両要素のポアソン比 ν_s は、 K_0 試験の結果に基づいてどの計算でも一定値(S0で0.29、S30で0.30)を与えた。また、単位体積重量 γ_s は模型地盤作成時の値(S0で1.43gf/cm³、S30で1.904gf/cm³)を与えた。

管面の境界条件は、管面にせん断剛性 k_s がゼロのジョイント要素($k_n=10000\text{kgf/cm}^2$)を挿入して完全滑動の条件を与えた。地盤の下端境界と側方境界にはそれぞれ結合条件と K_0 条件を与え、裏込めと盛土の境界は連続とした。

実験結果との比較 計算で得られた管のたわみ率 $\delta(=\Delta D/2R, R: \text{管厚中心半径})$ を実験で測定された $\delta(1g$ 場を初期値とする増分)と比較して図-5に示す。図の横軸は原型管の外径 $D_p(=D \times n, \text{ここに、} D: \text{模型管の外径、} n: \text{遠心加速度/重力加速度})$ である。また、図のabcがF*管、M*管、R*管の場合で、各図の左側、右側がそれぞれ H_s/D が2、0の場合を表す。これらの図から以下のことが分かる。

測定 δ が他よりもかなり大きな2ケース(F*管とM*管で $H_s/D=2 \cdot H/D=44$ の場合)では、計算 δ は測定 δ よりもかなり小さい。また、測定 δ が小さい他のケースの計算 δ と測定 δ は良く近似しているものの、F*管とM*管では D_p (すなわち遠心加速度)が大きくなって測定 δ が増えるにつれて、やはり計算 δ が測定 δ よりも小さくなる傾向を示す。すなわち、F*管とM*管では測定 δ が大きい範囲(概略 $\delta > 4\%$ の範囲)で計算と測定の結果が合わなくなる。これは、解析においてポリエチレン製の両管の非線形性を無視し、 S_p 値を一定とおいたためである。この解析で与えた S_p 値は、F*管とM*管の集中線荷重試験で

得られた荷重 $\sim \Delta D$ 曲線の $\Delta D=1\text{mm}(\delta \div 4\%$ に相当)における割線勾配から決めたものであるが、実際には、両管の荷重 $\sim \Delta D$ 曲線は非線形性を示し、 S_p 値は ΔD の増大につれて減る。そこで、試みにF*管・ $H_s/D=2 \cdot H/D=44 \cdot 100g$ 場の測定 ΔD を、F*管の集中線荷重試験の荷重 $\sim \Delta D$ 曲線にあてはめて割線勾配を決め、これから求めた S_p 値を与えて解析したところ、測定 δ にかなり近い結果を得た。よって、F*管とM*管を用いた実験に対しては、材料非線形性を解析に導入すれば、実験結果をうまくシミュレートできる見通しがたった。

参考文献 1)寒竹他、高盛土下に埋設される排水管の変形挙動(遠心模型実験)、土木学会第55回年講。2)徳増他、遠心模型による盛土型埋設排水管の土圧・変形挙動、土木学会第55回年講。

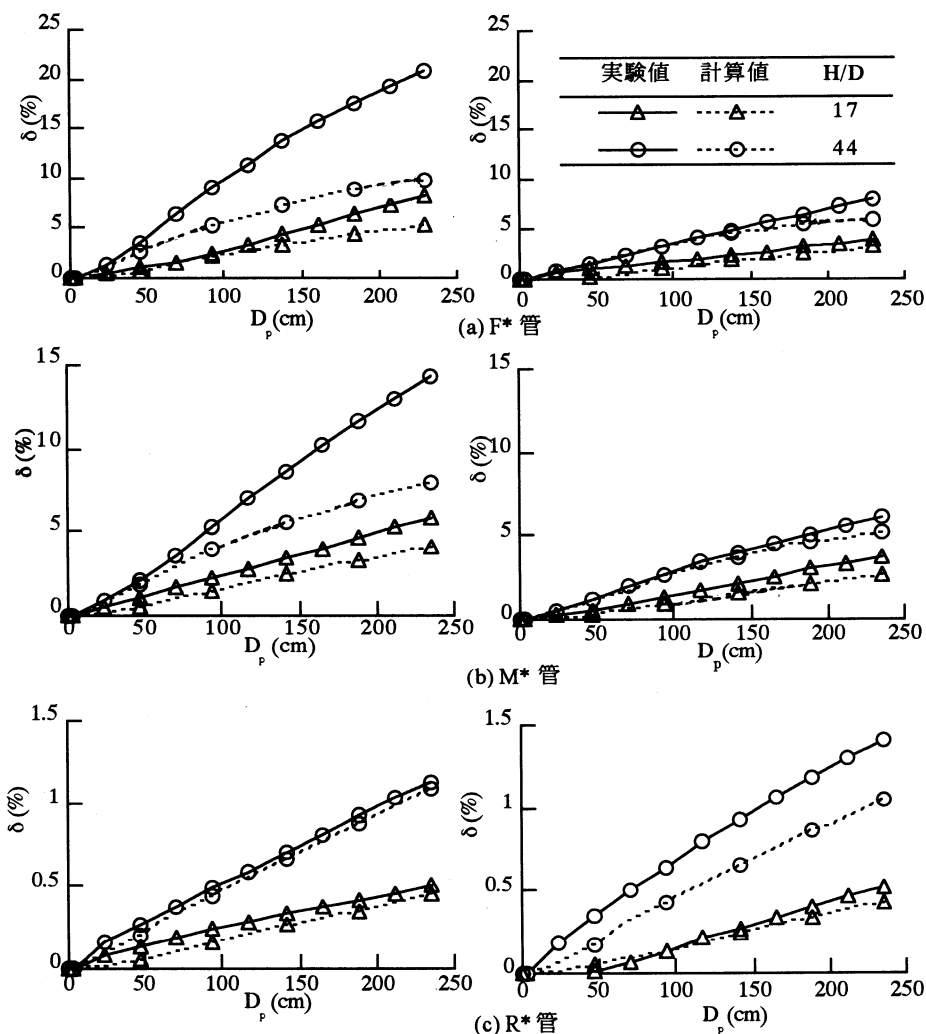


図-5 δ と D_p の関係: 実験と計算の比較