

Ⅲ-3 底版付き鉛直埋設管に作用する周面摩擦の影響

高知高専専攻科建設工学専攻 学生 ○中内 洋志
高知高専建設システム工学科 正員 岡林宏二郎
高知高専建設システム工学科 フェロー 多賀谷宏三
高知高専専攻科建設工学専攻 学生 治徳 一城

1. はじめに

下水マンホールやトンネル立坑などの底版を有する鉛直埋設管の設計では、底版に作用する反力、摩擦力、水平土圧などによる上下方向の応力も大きく、現在の設計法では十分とは言えない。そこで、3次元弾性FEM解析、Timoshenkoによるシェル理論と板理論を組み合わせた解析¹⁾、遠心載荷実験などを行ってきた。本研究では、応力ひずみ関係が非線形を示すDuncan-Changモデル²⁾を用いて地盤を含めた軸対象弾塑性FEM解析を行い、埋設管に発生する応力、周面摩擦力について比較検討を行った。

2. 解析条件

2. 1 3次元弾性FEM解析

埋設管モデルは底版直径26mm、側壁高80mm、底版厚0.7mm、側壁厚0.5mmの既製の底版付アルミ円筒管に、重力加速度60Gを加えた遠心載荷実験に使用したモデルを対象とした。周面摩擦角は $\delta=0$ の場合と $\delta=\phi/2$ とし、埋設管に作用する水平土圧はJaky土圧を採用し、底版反力、周面摩擦力をそれぞれ外力として与えた。モデル寸法と境界条件を図1に示す。なお、モデルは鉛直方向に対称であるので1/4モデルとした。

2. 2 軸対象弾塑性FEM解析

埋設管モデルは3次元弾性FEM解析と同じものを用い、周辺地盤は水平方向に200mm、鉛直下方向に200mmをモデル化した。埋設管と地盤の間にすべりを考慮するためにジョイント要素を挿入した。モデル寸法、境界条件を図2に示す。

2. 3 材料特性

埋設管は実験で使用したアルミニウム製とし、地盤は相対密度 $D_r=80\%$ の豊浦標準砂とした。地盤の構成則はDuncan-Changモデルを用いて解析を行った。埋設管、地盤およびジョイント要素の材料特性を表1に示す。Duncan-Changモデルは非線形応力ひずみ関係を双曲線関数で近似したもので、拘束圧のレベルに応じて弾性係数を変えるモデルである。Duncan-Changモデルに使用した豊浦標準砂の相対密度 $D_r=80\%$ に対する特性値を表2に示す。荷重係数 K_L および荷重指数 n は初期弾性係数を、破壊強度比 R_f は接線弾性係数をそれぞれ求めるための定数で、三軸圧縮試験から求められる。

表1 材料特性

	埋設管	地盤(豊浦標準砂)	ジョイント要素
弾性係数E	700000N/mm ²	20N/mm ²	-
ポアソン比 ν	0.33	0.3	-
単体重量 γ	6.9099×10^{-5} N/mm ³	1.5426×10^{-5} N/mm ³	-
内部摩擦角 ϕ	-	41°	-
粘着力C	-	0	-
直角方向バネ定数 K_n	-	-	10 ⁵
せん断バネ定数 K_s	-	-	100

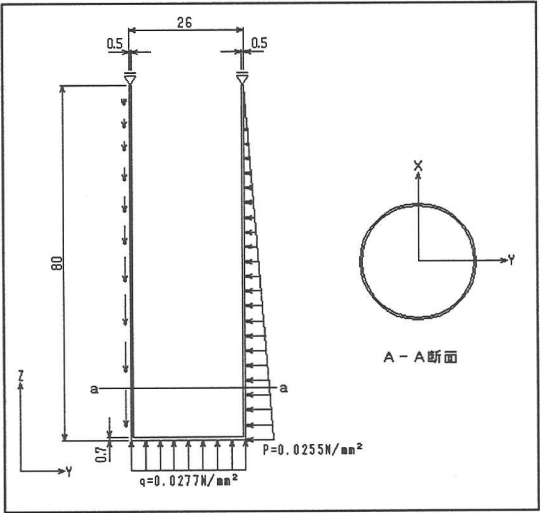


図1 3次元弾性FEM解析モデル

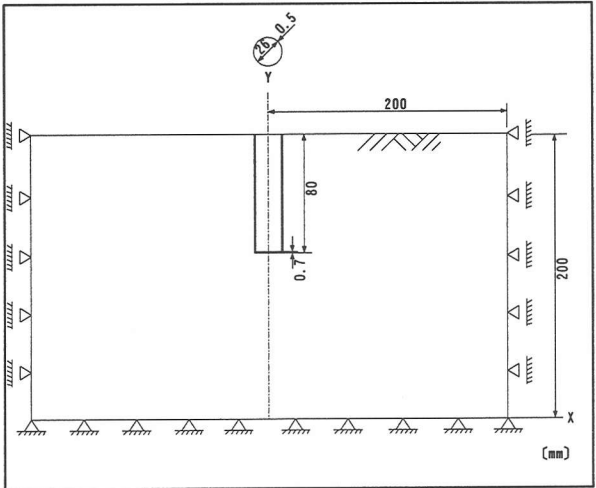


図2 軸対象弾塑性FEM解析モデル

表2 Duncan-Changモデルに使用した特性値

Duncan-Changモデル	
荷重係数 K_L	341
荷重指数 n	0.2
気圧 P_a (N/mm ²)	0.10132
破壊強度比 R_f	0.86

3. 解析結果および考察

3. 1 埋設管応力

図3に埋設管側壁に作用する応力分布を、図4に底版に作用する応力分布を示す。いずれも傾向は良く一致しているが、Duncan-Chang モデルによる弾塑性解析値はシェル・板理論値、3次元弾性解析値より大きな値を示した。シェル・板理論値と3次元弾性解析値はほぼ一致しており、実験値1ともよく一致している。底版では中央部で大きな応力が発生し側壁、底版ともに接合部付近に大きな応力が発生している。

3. 2 周面摩擦力

解析に用いた特性値についてパラメトリックスタディを行った結果、弾性係数 E や内部摩擦角 ϕ 、荷重係数 K_t 、破壊強度比 R_f は解析結果にほとんど影響せず（これは地盤がほぼ弾性領域にあるためと考えられる）、埋設管重量が解析結果に与える影響が大きいことがわかった。図5に埋設管の見かけの単位体積重量 γ_p と地盤の単位体積重量 γ との比（ γ_p/γ ）を変化させた場合の埋設管周面に作用する摩擦力分布を示す。3次元弾性FEM解析では周面摩擦力を下端で最大になるように三角形分布と仮定したが、埋設管下部で上向きの摩擦力が作用することがわかる。上向きの摩擦力は（ γ_p/γ ）が大きくなるに従って増加する。図6より、（ γ_p/γ ）が約1.5で上向きの摩擦合力 F_u と下向きの摩擦合力 F_d が釣り合うことがわかる。

4. おわりに

埋設管においては、側壁と底版の接合部付近及び、底版中央で大きな応力が発生していることより設計的には下部に注目する必要がある。地盤のFEM解析では、上向きと下向きの壁面摩擦力が発生し埋設管下部付近で壁面摩擦力 $f=0$ の変曲点がある。今後の課題として、壁面摩擦力の変曲点の存在を実験方法の改善により確認する必要がある。その結果、壁面摩擦力についての本解析の結果が検証されれば、シェル板理論の適用方法を改良し比較する。また、種々の解析条件（メッシュの大きさ、初期応力、境界条件、ジョイント要素など）の結果への影響を明らかにすることや、漸増自重解析を行うことが必要である。以上のような検討をした後、実際の地下マンホールなどの設計法を改良していく。

（参考文献）

- 1) Timoshenko, S. and Woinowsky-Krieger, S. : Theory of Plates and Shells, McGraw-Hill Book Company, 1959.
- 2) Duncan, J.M and Chang, C.Y.(1970) : Nonlinear Analysis Stress and Strain in Soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.96, No.SM5, September 1970, pp.1629-1654

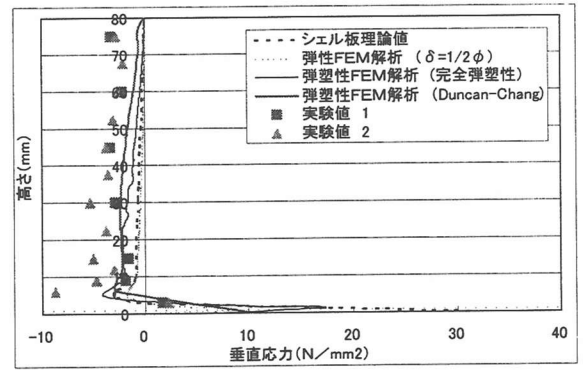


図3 側壁応力分布

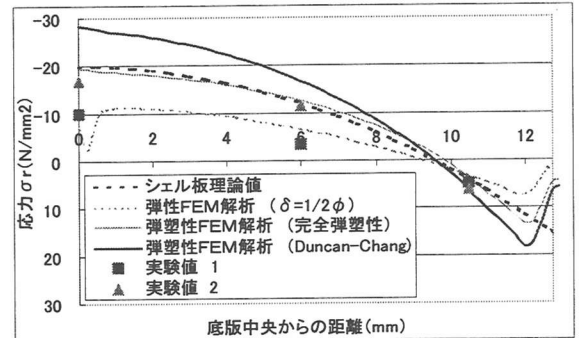


図4 底版応力分布

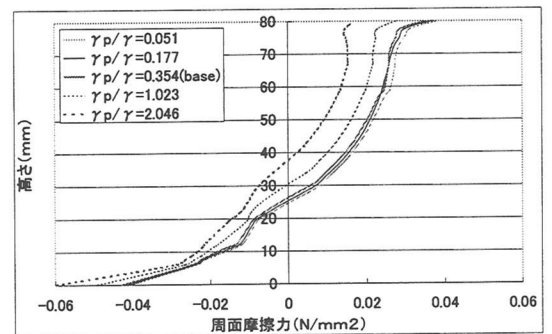


図5 周面摩擦力分布

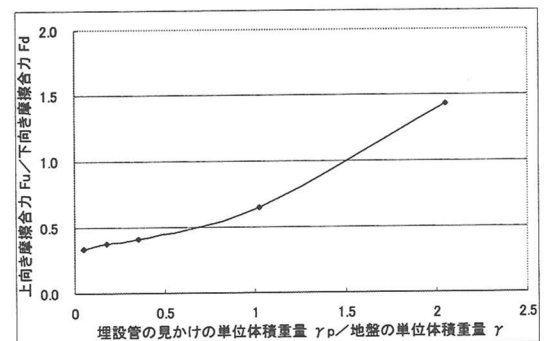


図6 上向き下向きの摩擦力比と埋設管の見かけ比重の関係