

広島大学工学部 ○弥勒昌史 高知高専建設システム工学科 フェロー 多賀谷宏三
香川大学工学部 山崎順一 高知高専建設システム工学科 正会員 岡林宏二郎

1. はじめに

我が国の都市においては、近年、都市機能を支える埋設管の数は増加の一途をたどっている。しかし、地中埋設管などに作用する土圧及び埋設管に発生する応力は、複雑で不明な点が多い。

従来の設計法は、円形埋設管を中心軸直角方向にスライスして解析しており、鉛直方向の応力は考慮されていない。これらの仮定における解析結果は、精度が悪く、設計上、不経済な場合が多いと考えられる。そこで本研究では、下水マンホールなどのように鉛直に埋設された底版のある円形埋設管を対象として、S.Timoshenko のシェル理論及び板の理論¹⁾の解析結果を用い、埋設管をスライスすることなく、応力及び変位について解析を行い、相似模型を用いた遠心载荷実験で求めたひずみより応力を求め、解析結果と比較する。

2. 解析方法

底版付き鉛直シリンダーの解析のフローを図1に示す。

底版付き鉛直シリンダーを円筒シェルと底版に分け、それぞれの変位をS.Timoshenko のシェル理論及び板の理論¹⁾の解析結果により、一般式として次式のように示す。

$$w = -\frac{a^2}{Eh} \left(P_0 + \frac{P_H - P_0}{H} x \right) + \frac{a\sqrt{N_0}}{Eh} - \frac{e^{-\beta x}}{2\beta^3 D} [\beta M_0 (\cos \beta x - \sin \beta x) + Q_0 \cos \beta x] \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$u = \frac{q(a^2 - r^2)}{64D'} \left(\frac{5+\nu}{1+\nu} a^2 - r^2 \right) + \frac{M_0}{2D'(1+\nu)} (a^2 - r^2) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 a : 円筒シェル側壁中心までの半径、 h : 円筒シェル側壁の厚さ、 t : 底版の厚さ、 H : 円筒シェル側壁の高さ、 D : 円筒シェル側壁の曲げこわさ、 D' : 底版の曲げこわさ、 P_H : 円筒シェル上端部に作用する水平土圧、 P_0 : 円筒シェル下端部に作用する水平土圧、 q : 底面反力、 N_0 、 Q_0 、 M_0 : 円筒シェル下端部に作用する単位長さあたりの軸力、せん断力、曲げモーメント、 x : 底版からの高さ、 r : 底版中心からの距離である。これらの式に、境界条件を与え、連立方程式を解くことで、未知数である Q_0 、 M_0 を求めることができる。

この際に、連立方程式の N_0 を円筒シェル側壁の周面摩擦力の条件によって仮定する。ここで求めた Q_0 、 M_0 を、(1) 式、(2) 式に代入し、円筒シェル及び底版の変位を求める。一方で、S.Timoshenko のシェル理論及び板の理論¹⁾の解析結果より、円筒シェル及び底版の任意の場所におけるせん断力、曲げモーメント及び軸力を求め、円筒シェル及び底版の任意の場所における応力を求める。

3. 遠心载荷実験

本研究の理論解析の結果を検証するため、遠心载荷装置を用いて、模型実験を行う。模型縮尺は、1/60であり、遠心加速度60Gの下で遠心载荷実験を行う。

遠心载荷実験は、高知工業高等専門学校土木工学科所有の有効半径1.55mの遠心実験装置を用い、表1に装置の性能を示す。

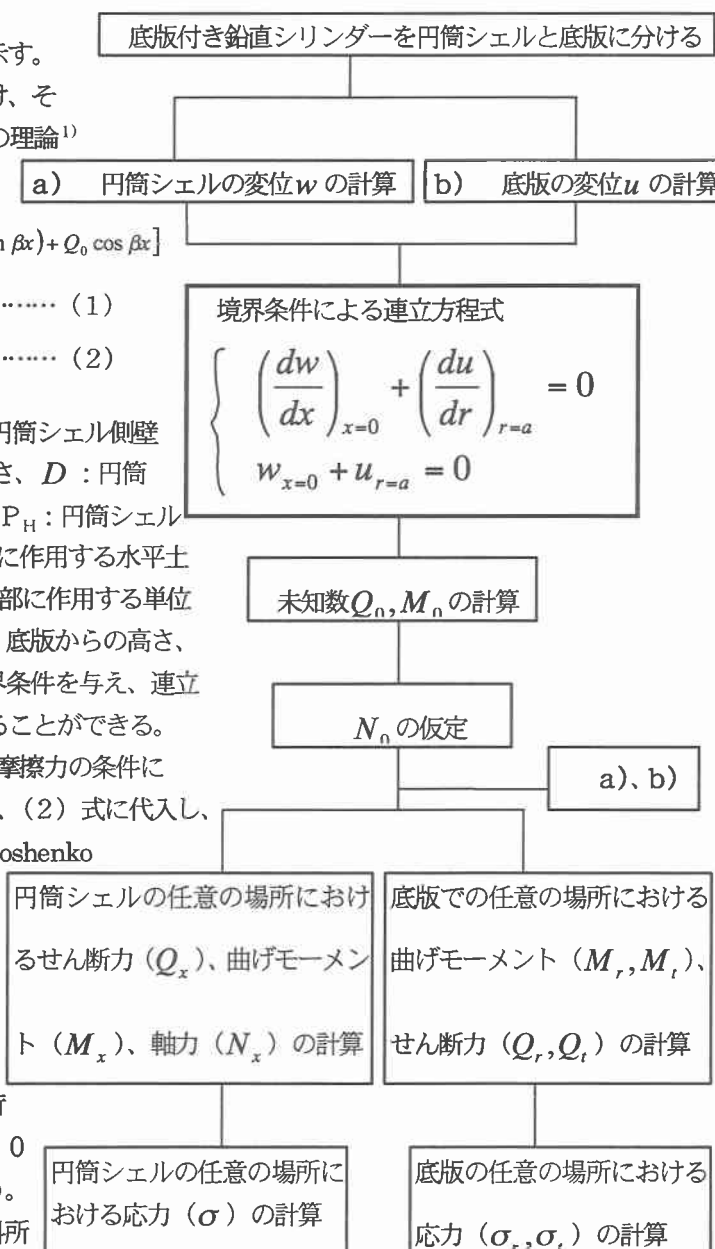


図1 底版付き鉛直シリンダーの解析

実験に用いた試料容器は、硬質アルミニウム容器（内寸法450×150×300mm）である。土圧、ひずみの計測のための模型装置は、材質アルミニウム、外径26mm、高さ88.1mm、円筒シェルの厚さ0.5mm、底版の厚さ0.7mmの底版付き鉛直シリンダーであり、模型地盤表面から、深さ80mmの位置に、鉛直に埋設する。実験には、豊浦標準砂を試料として用いた。その物理的・力学的性質を表2に示す。このような実験条件の下で外力を評価するために土圧を測定し、応答を評価するためにひずみを測定した。実験では、変位はきわめて小さいため、計測しないものとする。

4. 解析結果及び実験結果

理論解析では、砂の相対密度を2通り、壁面摩擦角 δ を3通り仮定してそれぞれの条件の下で変位及び応力について、解析を行う。

理論解析による結果は、円筒シェル及び底版の変位、円筒シェル及び底版のそれぞれについての内側の応力及び外側の応力がある。実験の結果から円筒シェル及び底版の外側の応力が明らかになるので、理論値と実験値の比較は、円筒シェル及び底版について行い、それ以外については解析値のみを示す。砂の相対密度が密な場合の円筒シェルの変位を図2に、底版の変位を図3に、円筒シェル外側の応力を図4に、底版外側の応力を図5に示す。

5. 考察

- 1) 円筒シェル下端部から高さ3mmの場所では、壁面摩擦角 δ に関わらず、円筒シェル外側への変位が最大となる。
- 2) 底版の変位は、壁面摩擦角 δ に関わらず、円筒シェルの側壁中心で0となり、底版中心から約8mmの場所で鉛直下向きに最大となる極値を示し、底版中心で鉛直上向きに極値を示す。
- 3) 円筒シェル外側の下端部では、他の場所に比べて極端に大きな引張応力が作用し、上端部では応力は作用しない。
- 4) 円筒シェル下端部からの距離が3mm、9mm、10mmの場所では、円筒シェル外側の応力は、実験値と解析値が近い傾向を示した。
- 5) 底版外側の応力は、底版中心で圧縮応力が最大となり、円筒シェルの側壁中心で引張応力が最大となる。
- 6) 底版外側の応力は、壁面摩擦角 δ に関わらず、底版中心からの距離が5.5～6mmの場所で0となる。
- 7) 底版中心からの距離が0mm、6mm、10.75mmの場所では、底版外側の応力は、実験値と解析値が近い傾向を示した。

6. まとめ

本研究では、S.Timoshenkoのシェル理論及び板の理論¹⁾の解析結果を用いて、底版付き鉛直シリンダーの変位及び応力について検討を行ったが、応力に関し、実験値と解析値が近い値を示した。

今後の課題として、実験において、寸法効果を十分検討するなどして実験値の信頼性を高める必要がある。解析においては、有限要素法解析も行い、解析の妥当性を検証すべきである。

7. 参考文献

- 1) Timoshenko, S. and Woinowsky-Krieger, S.: Theory of Plates and Shells, McGraw-Hill Book Company, 1959.

表1 遠心载荷実験装置の諸元

有効半径	1.55 (m)
最大加速度	200 (G)
最大搭載質量	146 (kgf)
駆動馬力	22 (kW)
試料容器搭載型式	スイングアップ式

表2 試料の物理的・力学的特性

相対密度 D_r (%)	80	10
単位体積重量 γ (kN/m^3)	15.4	13.4
せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)	41	35

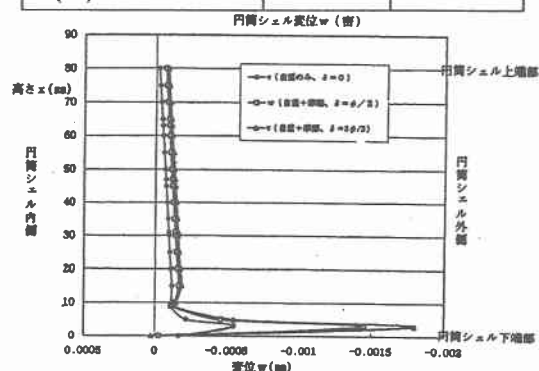


図2 円筒シェルの変位 (砂の相対密度…密)

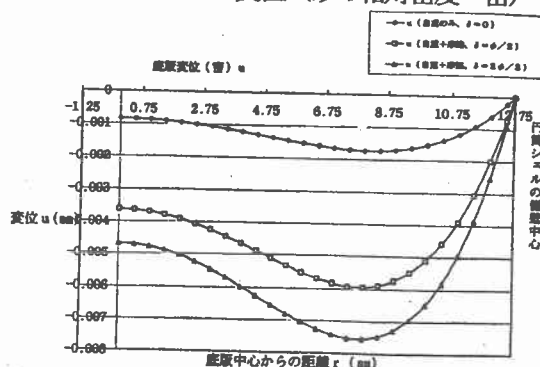


図3 底版の変位 (砂の相対密度…密)

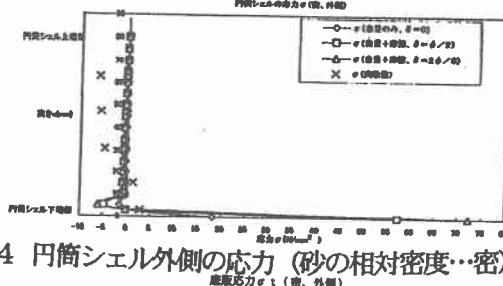


図4 円筒シェル外側の応力 (砂の相対密度…密)

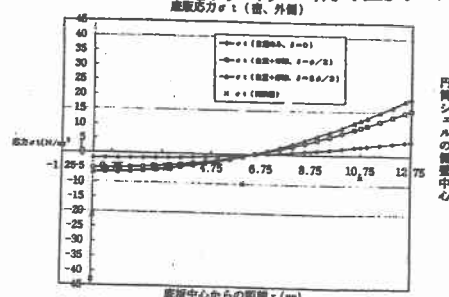


図5 底版外側の応力 σ_r (砂の相対密度…密)