

底版付き鉛直埋設管の変形及び応力の計算法に関する研究

東京工業大学大学院 学生員 杉本 貴之
 高知工業高等専門学校 正会員 岡林 宏二郎
 高知高専テクノフェロー フェロー 多賀谷 宏三

1. 緒 言

近年，我が国における都市機能の集中と高密度化に伴い，都市機能を支えるための連続円形地中壁，電線地中化マンホール，下水マンホール等の底版付き円形埋設構造物は増加の一途をたどっている．しかし，このような構造物に作用する土圧分布，底版と側壁の一体化による剛性変化の影響等は不明な点が多く，必ずしも合理的な設計が採用されているとは言い難い．

以上の背景より，筆者らの研究室では底版付き鉛直埋設管についてより合理的な設計法を提案するため，静的土圧荷重が作用する状態でのたわみ・応力計算をする方法を考案する研究を行ってきた．この計算法は Timoshenko のシェル理論と板の理論¹⁾を組み合わせたもので，シェル・板理論²⁾と名付け，遠心模型実験や FEM 解析の結果との比較により理論の妥当性の立証を試みてきた．しかし，昨年までの研究ではこれらの結果は精度良く一致しているとは言い難く，理論の妥当性はまだ立証できていない．その理由として，理論計算法に修正すべき点があると考え，シェル・板理論を改善することを試み，さらに遠心模型実験と FEM 解析の方法も再検討し，理論計算法の妥当性を評価する研究を行った．

2. 理論計算法・遠心模型実験・FEM 解析

2.1 対象モデル

理論計算，遠心模型実験，FEM 解析は全て同一のモデルを対象として行う．本研究では一様な砂地盤中に埋設されたアルミニウム製埋設管（図 2，図 3）を対象モデルとする．埋設管寸法は底版の直径 64.05mm，板厚 1.20mm で側壁の高さ 72.00mm，板厚 0.93mm である．

2.2 改良シェル・板理論

シェル・板理論に 2 つの改良を加えた計算法を改良シェル・板理論とし，理論計算を行った．改良シェル・板理論による計算フローを図 1 に示す．この計算法が以前の方法と異なる点は，図 2 に示すように底版の土圧分布を等分布荷重から 2 次曲線分布荷重に変更したこと，及び

底版のたわみ・応力を求める際に軸方向の一樣荷重 Q_0 の影響も考慮したことである．改良シェル・板理論により，埋設管側壁及び底版のたわみ，断面力，応力の理論値が得られる．例として側壁下端からの距離 x の位置におけるたわみ w ，曲げモーメント M_x ，軸方向応力 σ_x の式を示す．

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

$$M_x = \frac{e^{-\beta x}}{\beta} [\beta M_0 (\cos \beta x + \sin \beta x) + Q_0 \sin \beta x]$$

$$\sigma_x = \frac{N_x}{h} + \frac{12M_x}{h^3} z, \quad \beta = \sqrt{\frac{Eh}{4a^2 D}}$$

ここに， D :側壁の曲げこわさ， M_0, Q_0, N_0 :それぞれ，側壁下端における曲げモーメント，せん断力，軸力， a :底版の半径， E :埋設管の弾性係数， h :側壁の厚さ， P_0 :側壁下端における水平土圧， P_H :側壁上端における水平土圧， H :埋設管の高さ， v :埋設管のポアソン比， N_x :側壁の軸力， z :断面中立軸からの距離(管内側方向が正)，である．

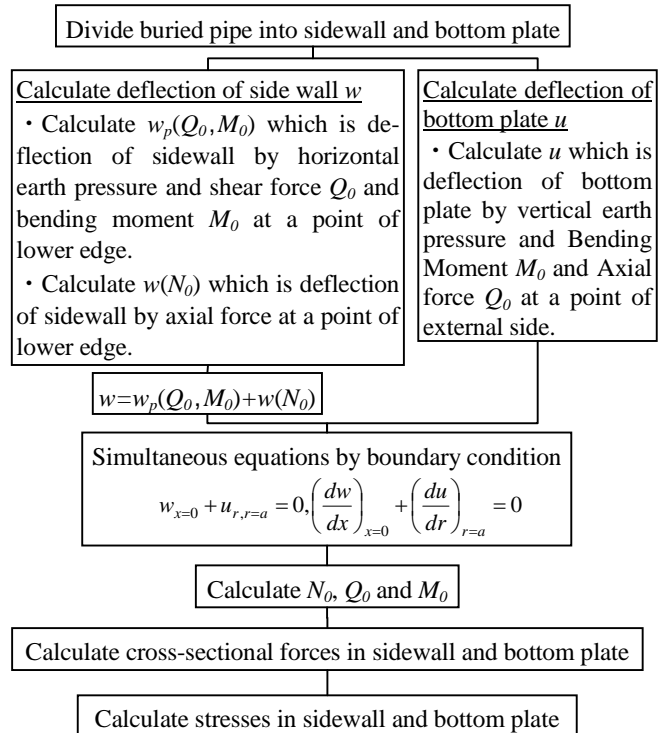


Fig.1 Calculation flow chart of Improved Shell-Plate Theory

キーワード：底版付き鉛直埋設管，シェル理論，板の理論，遠心模型実験，FEM 解析

連絡先：〒783-8508 高知県南国市物部乙 200-1 高知工業高等専門学校地盤工学研究室 TEL 088-864-5589

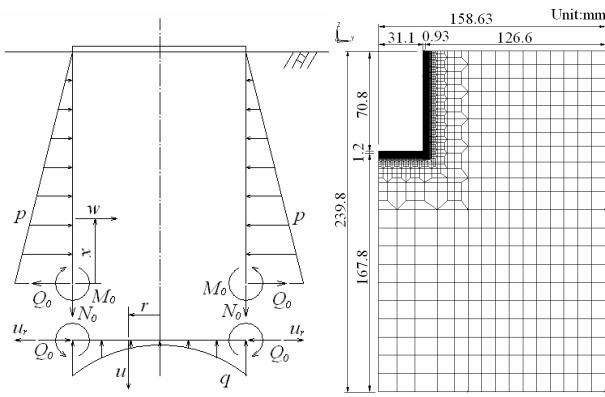


Fig.2 Conceptual diagram of Improved shell-plate theory and Analytical model of FEM

2.3 遠心模型実験

図3は遠心模型実験の実験モデルである。模型埋設管には、図3左側に示す容器壁面から離れた側の側壁に土圧計を8箇所、ひずみゲージを20箇所貼り付けた。埋設管及び地盤の材料定数は表1に示す通りである。

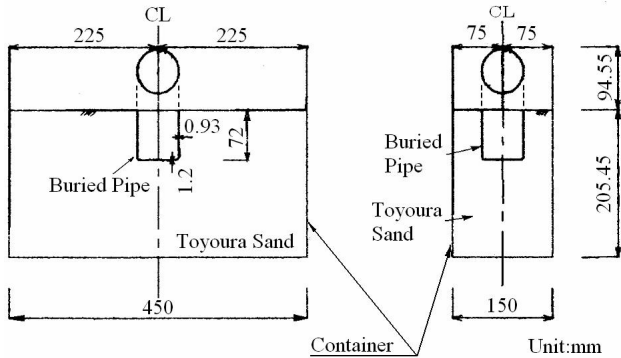


Fig.3 Experimental model of centrifugal model test

Table1 Characteristic values of materials

	Buried Pipe	Toyoura Sand
Elastic Modulus $E(N/mm^2)$	70000	40
Poisson's Ratio ν	0.33	0.3
Unit Weight $\gamma(N/mm^3)$	2.6589×10^{-5}	1.5729×10^{-5}
Shear Resistance Angle ($^\circ$)	-	39.5

2.4 軸対象弾性 FEM 解析

図2は軸対象弾性 FEM 解析の解析モデルである。この解析では埋設管と地盤の不連続性を表現するため、埋設管と地盤との境界をばねで結合している。ばね定数は、壁面摩擦角 $\delta = 1/2$ となるようにせん断方向を $1.0N/(mm \cdot rad)$ 、圧縮方向を $1.0 \times 10^5 N/(mm \cdot rad)$ とした。

3. 結果及び考察

側壁及び底板それぞれのたわみ、軸方向(半径方向)応力、円周方向応力について結果の比較を行った。また、改良シェル・板理論で仮定した土圧分布が正しいものであったかということも検討した。土圧の実験結果、解析結果はここでは図示していないが、側壁水平土圧及び底板反力ともに比較的仮定通りの結果が得られた。たわみ、応力の比較の例として側壁外側軸方向応力の比較のグラフを

図4に示す。図4より、改良シェル・板理論による計算結果は軸対称弾性 FEM 解析の結果とよく一致しているが、実験結果とは大きく異なることが分かる。その原因として、完全な軸対称問題となっていれば円周方向の変形は生じないはずであるが、実験により計測された側壁の円周方向ひずみが鉛直方向ひずみの10倍程度と大きな値であったことが関係していると考えられる。また側壁の円周方向ひずみは外側が圧縮、内側が引っ張りとなり上端に近づく程大きくなっていった。このような結果となった理由として、容器壁面の摩擦の影響により試料容器水平面内の沈下量が不均一になり、側壁に作用する水平土圧の大きさに違いが生じた可能性が考えられる。図3右側の図に示す壁面から近い側の側壁の土圧が、ひずみゲージ側の側壁土圧より小さく、楕円形の変形を生じた結果上述のような計測結果となったと考えれば説明がつく。よって、容器壁面の摩擦の影響が生じないような実験法の検討を行い、試料容器内で完全な軸対称状態を再現した実験を行った上で再度結果の比較を行うことが今後の課題であると考えている。

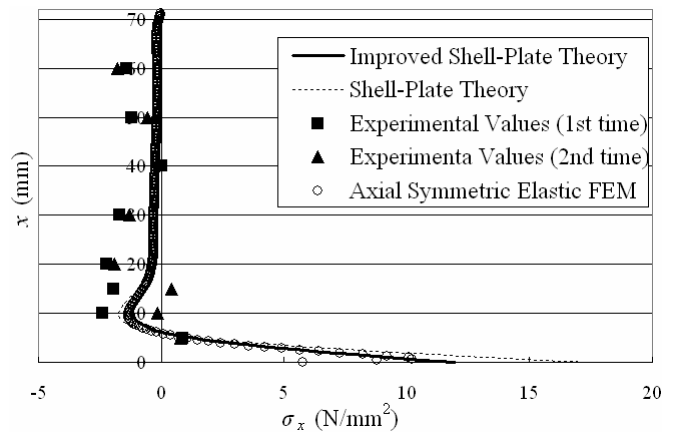


Fig.4 Results of axial rim stress in sidewall

4. 結 言

改良シェル・板理論により計算したたわみ及び応力は FEM 解析結果と良く一致し、以前の計算法よりも精度を高めることができた。今後、設計法としての提案のため次のような検討を行うことが必要であると考えている。

- (1)地下水のある多層地盤の場合の計算法の検討
- (2)地震時の安定性についての検討
- (3)設計計算を簡単に行うため設計チャートを描く
- (4)FORTRAN による設計プログラムの作成

参考文献

- 1) Timoshenko, S. and Woinowsky, S.: Theory of Plates and Shells, Mc Graw-Hill Book Company, 1959
- 2) 山本誠：底板付鉛直埋設管の応力解析, 土木学会四国支部第7回技術研究発表会講演概要集, pp.224 ~ 225