

(Ⅲ-8) 老旧下水管の内部をフレキシブルパイプによりライニング修復した断面の力学特性

木更津工業高等専門学校 環境建設工学科 学生会員 ○木村 真也

1. まえがき

老旧下水管を修復する一手法として内部にフレキシブルパイプ (FP) を挿入し、旧管との空隙をモルタル等で充填する工法が考えられる。本報告はその理論的根拠を得るために行った市販 FEM (3D) ソフトを用いた数値実験・解析結果のうち、地層構成・上載荷重及び管渠材質を変化させた時の、管渠断面の変位・静的応力計算結果にしぼって報告する。

2. 方法

(1) 解析条件

- ・ 解析地盤モデル：解析境界範囲は図-1 に示すように $10.0 \times 10.0 \times 20.0$ (m) で $GL-4.0 \sim -6.0$ m に直径 2.0 m の管渠が位置する。地層構成は地表面～ $GL-4.0$ m までは埋戻し層 U 、管渠下には $GL-6.0 \sim -10.0$ m に基盤層 B が存在し、側方も原地盤条件を反映できるように区分けし、全 4 ブロックとした。また原地盤上には盛土荷重 $\Delta P = \gamma_t \times (1.5 \times 3.0 + 4.5)$ m による 3 ステップの上載荷重を想定した。
- ・ 解析ソフト：市販 3 次元静・動解析 FEM ソフト
- ・ 構成則モデル：管渠 - 線形モデル
地層 - 任意の応力ひずみ曲線 (HD モデルの双曲線) を再現できる Drucker-Prager 型を降伏条件とするモデル

(2) 解析ケース

- ・ 地層構成：図-1 に示した $U \cdot S \cdot B$ 部に対して表-1 に示す解析条件となる地層を想定とした 8 ケースの解析を行った。解析に用いた物性値は表-2 のように設定した。
- ・ 上載荷重：図-1 に示すように、地表面に等分布荷重が作用する状態を想定した。
- ・ 管渠材質：FP は一般に縦断方向に波型をしており、断面方向と縦断方向とで断面剛性等の平均的物性値が大きく異なると考えられ、その値を求めることは難しい。今回は HP 管の E と γ を基準に (HP の物性値を $E=10^5 \text{ t/m}^2$, $\gamma=2400 \text{ kg/m}^3$ 定)、その $1/10$, $1/100$ の値を取りうると想定した 3 ケースの計算を行った。(FP の断面剛性等は実験的に求めるために実験準備中)

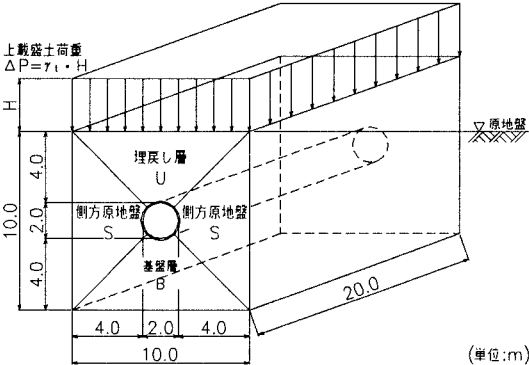


図-1 解析地盤モデル (作成：木村)

表-1 地層構成区分表 (作成：木村)

構成 No.	埋戻し U	基盤 B	側方原地盤 S	記号	解析条件
1	砂質土	岩盤	関東ローム地山	◆	関東ローム地盤で基盤非常に強固
2	"	砂質土	"	■	関東ローム地盤で基盤砂礫層
3	"	関東ローム地山	"	▲	関東ローム地盤で基盤ローム地山
4	"	沖積軟弱層	関東ローム盛土	●	関東ローム盛土で基盤沖積軟弱層
5	"	岩盤	沖積軟弱層	◇	関東ローム地盤で基盤非常に強固
6	"	砂質土	"	□	沖積軟弱地盤地盤で基盤砂礫層
7	"	関東ローム地山	"	△	沖積軟弱地盤地盤で基盤ローム地山
8	"	沖積軟弱層	"	○	沖積軟弱地盤地盤で基盤沖積軟弱層

表-2 各地層の物性値 (D-P 型モデル) (作成：木村)

項目		地層区分					単位・備考
名称	記号	岩盤	砂質土	ローム	軟弱層		
単位質量	γ	2,700	2,800	2,650	2,600	kg/m ³	
粘着力	c	100	3	20	1	98kPa(=tf/m ²)	
せん断抵抗角	ϕ	40	35	20	5	°	
弾性係数	E	20000	10000	2000	500	98kPa(=tf/m ²)	
ポアソン比	ν	0.47	0.35	0.45	0.50		
せん断弾性係数	G	6.7 E+7	3.6 E+7	6.8 E+6	1.6 E+6	Pa G=E/2(1+ ν)	
体積弾性係数	K	3.4 E+7	1.9 E+7	3.4 E+6	8.2 E+5	Pa G=E/3(1+2 ν)	
材料パラメータ	α	0.31	0.27	0.15	0.03	$\alpha=2\sin\phi/\sqrt{3(3+\sin\phi)}$	

キーワード：老旧下水管修繕・フレキシブルパイプ・FEM・Drucker-Prager 型非線形モデル・HD モデル

連絡先：〒292-0041 木更津市清見台東 2-11-1、木更津工業高等専門学校 TEL&FAX 0438-30-4155

3. 計算結果

FEM解析に用いたメッシュ割り図を図-2に示す。今回は図-2における管渠の縦断方向(y)の中央断面における変位、応力解析結果について報告する。

(1) 地層構成と変形との関係

$\Delta P=2.7\text{tf/m}^2$ 時の地層構成No. 毎で $E=10^3\text{tf/m}^2$ (FP管を想定) の管変形図を図-3に、 $E=10^5\text{tf/m}^2$ (HP管を想定) の管変形図を図-4に示す。これから以下のことが読み取れる。

FP管の場合、地層構成の違いによる断面変形は、SがロームのときはBの影響を受けないが、Sが軟弱層のときはBにより影響を大きく受ける。

HP管の場合、地層構成1~7は比較的変形が少ないのに対し、B・Sとも軟弱層の8で大きな変形及び沈下が生じる。

(2) 管材弾性係数Eと管底部主応力 σ との関係

$\Delta P=2.7\text{tf/m}^2$ 時の管底部における地層構成No. 毎の ΔP - σ 関係図例を図-5に示す。これから以下のことが読み取れる。

管材Eの違いによる管底部主応力はほぼ比例関係が見られる。側方原地盤がロームと軟弱層では、発生する応力は後者の方が1オーダー程大きく現われる。

4. 考察

一般に管渠設計における側方土の扱いは、たわみ性管の場合は考慮し、剛性管の場合は考慮しない。しかし今解析では管の軟・剛に関わらず側方土の影響は無視できないことが分かった。このことは、管布設時に良質裏込め材を用い締固めを充分に行う必要性を示していると言える。

今後は、FP管に対する情報を得、さらに今後の計算結果等も加味して実用上の指針等を得るよう研究を進めていく所存である。

5. あとがき

本研究にはまだ多くの検討事項があり、研究が進展し、成果が得られ次第順次報告していく所存である。なお木更津工業高等専門学校 田中邦熙教授には種々ご指導いただきました。ここに謝意を表します。

【参考文献】

- 最上武雄：土質力学 第5章、技報堂、1969.8
地盤工学会：土質調査試験結果の解釈と適用例、1979.8
田中修二：下水道管渠学、環境新聞社、2001.3

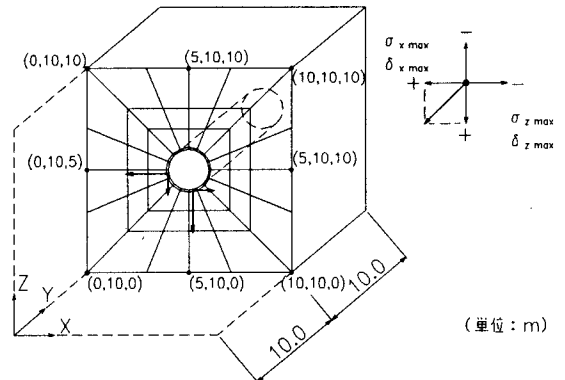


図-2 FEM解析メッシュ割り図

(作成：木村)

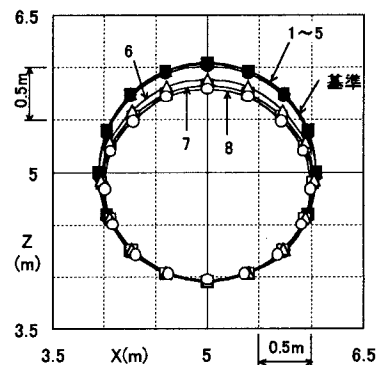


図-3 管変形図 - $E=10^3$ (tf/m²)

(作成：木村)

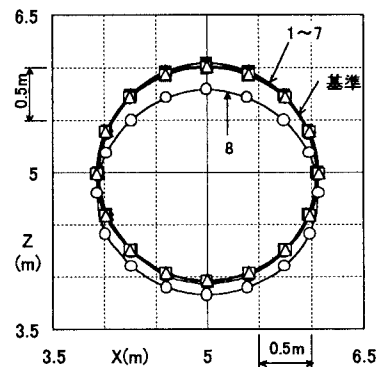


図-4 管変形図 - $E=10^5$ (tf/m²)

(作成：木村)

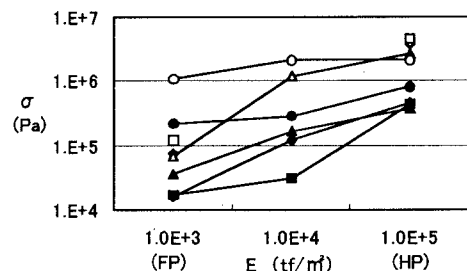


図-5 管底部主応力度 $\sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_z^2)}$ - E (作成：木村)